



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

**RÍOS DEL PÁRAMO AL VALLE,
POR URBES Y CAMPIÑAS**
Building climate adaptation capacity
in water resources planning

FINAL REPORT

COOPERATIVE AGREEMENT NUMBER AID-514-A-12-00002 WITH
STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE U.S. (SEI-US)



September 2015

This publication was produced for review by the United States Agency for International Development.

It was prepared by SEI-US.

'RÍOS DEL *PÁRAMO* AL VALLE, POR URBES Y CAMPIÑAS'

BUILDING CLIMATE ADAPTATION CAPACITY IN WATER RESOURCES PLANNING

COOPERATIVE AGREEMENT NUMBER AID-514-A-12-00002 WITH
STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE U.S. (SEI-US)

Submitted to:

The United States Agency for International Development - USAID

Prepared by:

Stockholm Environment Institute U.S.

Language:

The document is in English

DISCLAIMER:

This document is made possible by the generous support of the American people through the U.S. Agency for International Development (USAID). The contents of this document are the sole opinion of SEI-US and do not necessarily reflect the views of USAID or the U.S. Government.

CONTENTS

List of Tables	5
List of Figures	6
Acronyms	7
Glosary of terms	9
Acknowledgements	13
Executive summary	15
Introduction	18
Context of the program	20
Methods	27
Results	33
Context Otún Watershed	36
The program - Otún Watershed.....	37
Performance of adaptation options - Otún Watershed	38
Lessons learned and recommendations	42
Major accomplishments	43
Context La Vieja Watershed	46
The program – La Vieja watershed.....	47
Performance of adaptation options – La Vieja watershed.....	48
Lessons learned – La Vieja	54
Major accomplishments	55
Context Alto Magdalena	57
The program – Alto Magdalena	59
Performance of adaptation options – Alto Magdalena.....	63
Lessons learned and recommendations – Alto Magdalena	64
Major accomplishments	65
Context Magdalena-Cauca	67
The program	69
Performance of adaptation actions – Magdalena Cauca.....	70
Lessons learned	73
Major accomplishments	74

Monitoring and evaluation	76
The Project Performance Management Plan	76
Evaluating outcomes, Lessons Learned AND Reccomendations	80
Managerial lessons learned	80
Technical lessons learned.....	82
Governance lessons learned	86
Recommendations regarding best practices	91
Discussion and Conclussions	94
References	96

LIST OF TABLES

Table 1. Summary of watershed areas, population, average streamflow and identified adaptations	23
Table 2. Summary of WEAP model building and deployment process	33
Table 3. Otún watershed XLRM	37
Table 4. La Vieja watershed XLRM	48
Table 5. Alto Magdalena watershed and tributaries under study, and planning processes being supported	58
Table 6. Alto Magdalena XLRM	60
Table 7. Project Indicators, targets and cumulative numbers	77
Table 8. List of selected publications and hyperlinks	84
Table 9. Lessons learned per component from indicators	89
Table 10. Qualitative assessment of levels of empowerment of RDS steps. Example for CAM	95

LIST OF FIGURES

Figure 1. Map with study sites location: La Vieja, Alto Magdalena and Magdalena Cauca	21
Figure 2. RDS steps, timing, and participation levels.	29
Figure 3. Otún watershed location in Colombia.....	36
Figure 4. Vulnerability map for Otún River at the diversion point.....	40
Figure 5. Average of streamflow contribution from <i>páramo</i> for the six GCMs used at Nuevo Libaré intake at Río Otún.	41
Figure 6. La Vieja watershed location	46
Figure 7. Water quality profile for La Vieja for 2040 with the implementation of strategies	49
Figure 8. Vulnerability map of urban demands in Rio La Vieja.....	52
Figure 9. Change in vulnerability of urban demand with e-flows (QE) and reduction of unaccounted water (RIANF) in the Rio La Vieja.....	53
Figure 10. Alto Magdalena watershed location.....	57
Figure 11. Regional indicators ERA using WEAP, and legend of each indicator.	62
Figure 12. Map of the Magdalena River Basin showing the upstream hydropower reservoirs (existing and projected), location of the low floodplains system, gauge stations referenced in the text.	68
Figure 13. Existing and potential small hydro development in Colombia.....	69
Figure 14. Simulated impacts of upstream regulation between 1% and 30% (expressed as total reservoir volume / average yearly runoff) in wetland dynamics.....	71
Figure 15. Flow alteration with respect to PCH.....	72
Figure 16. Flow alteration and IHAs due to small hydro in Rio Aipe	73
Figure 17. Schematic of the two-layer soil moisture model including a surface storage component, showing the different hydrologic inputs and outputs.	74
Figure 18. Number of WEAP Downloads per year in Colombia and in project cities.	78
Figure 19. Management and administration structure.....	81
Figure 20. Levels of competence and resources investment to build capacity applied to RDS	91

ACRONYMS

ASOCARs	Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales
CAM	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena
CAR	Corporación Autónoma Regional
CARDER	Corporación Autónoma Regional de Risaralda
CIDERA	Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y el Ambiente
CENICAFE	Centro Nacional de Investigaciones de Café
CINARA	Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico.
CMGRD	Comité Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre
CRQ	Corporación Autónoma Regional del Quindío
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DEM	Digital Elevation Model
DOR	Average Annual Discharge
ELOHA	Ecological Limits of Hydrologic Alteration
EMCARTAGO	Empresas Municipales de Cartago E.S.P.
ENA	Estudio Nacional del Agua
ERA	Estudio Regional del Agua
GCMs	General Circulation Models
GIRH	Gestión Integrada del Recurso Hídrico
GIS	Geographic Information System
ICWE	International Conference on Water and the Environment
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
IHA	Hydrologic Alteration
IWRM	Integrated Water Resources Management
m.a.s.l.	Meters above sea level
MW	Megawatt
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NGOs	Non-Governmental Organizations
PCH	Pequeñas Centrales Hidroeléctricas
PMEC	Planning, Monitoring, Evaluation & Communication
PMP	Performance Management Plan
POMCA	Plan de Manejo y Ordenamiento Cuenca Hidrográficas
PORH	Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
PSMV	Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos
QUAL2K	River and Stream Water Quality Model

RCP	Representative Concentration Pathways
RIANF	Reduction of unaccounted water (Reducción del Índice del Agua No Facturada)
RDM	Robust Decision Making
SEI	Stockholm Environment Institute
TNC	The Nature Conservancy
UAESPNN	Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales
UNFCCC	United Nations Framework Convention to Combat Climate Change
Univalle	Universidad del Valle, Cali, Colombia
USAID	United States Agency for International Development
UTP	Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
WEAP	Water Evaluation And Planning System
WH	Watt-hour
WWF	Wild World Foundation
XLRM	Exogenous Factors L ever, R elationships and M etrics.

GLOSSARY OF TERMS

Adaptation: In human systems, the process of adjustment to actual or expected climate and its effects, in order to moderate harm or exploit beneficial opportunities. In natural systems, the process of adjustment to actual climate and its effects; human intervention may facilitate adjustment to expected climate.

Adaptive capacity: The combination of the strengths, attributes, and resources available to an individual, community, society, or organization that can be used to prepare for and undertake actions to reduce adverse impacts, moderate harm, or exploit beneficial opportunities.

Baseline/reference: The baseline (or reference) is the state against which change is measured.

Capacity: The combination of all the strengths, attributes, and resources available to an individual, community, society, or organization, which can be used to achieve established goals.

Catchment: An area that collects and drains precipitation.

Capacity building: The practice of enhancing the strengths and attributes of, and resources available to, an individual, community, society, or organization to respond to change.

Climate change: A change in the state of the climate that can be identified (e.g., by using statistical tests) by changes in the mean and/or the variability of its properties and that persists for an extended period, typically decades or longer. Climate change may be due to natural internal processes or external forcing, or to persistent anthropogenic changes in the composition of the atmosphere or in land use.

Climate model: A numerical representation of the climate system that is based on the physical, chemical, and biological properties of its components, their interactions, and feedback processes, and that accounts for all or some of its known properties. The climate system can be represented by models of varying complexity, that is, for any one component or combination of components a spectrum or hierarchy of models can be identified, differing in such aspects as the number of spatial dimensions, the extent to which physical, chemical, or biological processes are explicitly represented, or the level at which empirical parameterizations are involved. Coupled Atmosphere-Ocean Global Climate Models (AOGCMs), also referred to as Atmosphere-Ocean General Circulation Models, provide a representation of the climate system that is near the most comprehensive end of the spectrum currently available. There is an evolution toward more complex models with interactive chemistry and biology. Climate models are applied as a research tool to study and simulate the climate, and for operational purposes, including monthly, seasonal, and inter-annual climate predictions.

Climate projection: A projection of the response of the climate system to emissions or concentration scenarios of greenhouse gases and aerosols, or radiative forcing scenarios, often based upon simulations by climate models. Climate projections are distinguished from climate predictions in order to emphasize that climate projections depend upon the emission/concentration/radiative-forcing scenario used, which are based on assumptions concerning, e.g., future socioeconomic and technological developments that may or may not be realized and are therefore subject to substantial uncertainty.

Climate scenario: A plausible and often simplified representation of the future climate, based on an internally consistent set of climatological relationships that has been constructed for explicit use in investigating the potential consequences of anthropogenic climate change, often serving as input to impact models. Climate projections often serve as the raw material for constructing climate scenarios,

but climate scenarios usually require additional information such as about the observed current climate.

Climate variability: Climate variability refers to variations in the mean state and other statistics (such as standard deviations, the occurrence of extremes, etc.) of the climate at all spatial and temporal scales beyond that of individual weather events. Variability may be due to natural internal processes within the climate system (internal variability), or to variations in natural or anthropogenic external forcing (external variability).

Deforestation: Conversion of forest to non-forest. For further discussion of the term, see forest and related terms such as afforestation, reforestation, and deforestation.

Decision space: scope within which discussions regarding potentially useful water management adaptations to climate change and other uncertainties take place. It constitutes a framework composed of policies, plans and policy setting processes within which a range of management options are available for decision makers to consider and potentially implement.

Ecosystem: A system of living organisms interacting with each other and their physical environment. The boundaries of what could be called an ecosystem are somewhat arbitrary, depending on the focus of interest or study. Thus, the extent of an ecosystem may range from very small spatial scales to, ultimately, the entire Earth.

Forest: A vegetation type dominated by trees. Many definitions of the term forest are in use throughout the world, reflecting wide differences in biogeophysical conditions, social structure, and economics. Particular criteria apply under the Kyoto Protocol. See also afforestation, reforestation, and deforestation.

Downscaling: Downscaling is a method that derives local- to regional-scale (up to 100 km) information from larger-scale models or data analyses.

Ensemble: A group of parallel model simulations used for climate projections. Variation of the results across the ensemble members gives an estimate of uncertainty. Ensembles made with the same model but different initial conditions only characterize the uncertainty associated with internal climate variability, whereas multi-model ensembles including simulations by several models also include the impact of model differences. Perturbed parameter ensembles, in which model parameters are varied in a systematic manner, aim to produce a more objective estimate of modeling uncertainty than is possible with traditional multi-model ensembles.

Exposure: The presence of people; livelihoods; environmental services and resources; infrastructure; or economic, social, or cultural assets in places that could be adversely affected.

Flood: The overflowing of the normal confines of a stream or other body of water, or the accumulation of water over areas that are not normally submerged. Floods include river (fluvial) floods, flash floods, urban floods, pluvial floods, sewer floods, coastal floods, and glacial lake outburst floods.

Glacier: A mass of land ice that flows downhill under gravity (through internal deformation and/or sliding at the base) and is constrained by internal stress and friction at the base and sides. A glacier is maintained by accumulation of snow at high altitudes, balanced by melting at low altitudes or discharge into the sea.

Governance: The way government is understood has changed in response to social, economic, and technological changes over recent decades. There is a corresponding shift from government defined strictly by the nation-state to a more inclusive concept of governance, recognizing the contributions

of various levels of government (global, international, regional, local) and the roles of the private sector, of nongovernmental actors, and of civil society.

Glacier: A mass of land ice which flows downhill under gravity (through internal deformation and/or sliding at the base) and is constrained by internal stress and friction at the base and sides. A glacier is maintained by accumulation of snow at high altitudes, balanced by melting at low altitudes or discharge into the sea.

Integrated water resources management (IWRM): The prevailing concept for water management which, however, has not been defined unambiguously. IWRM is based on four principles that were formulated by the International Conference on Water and the Environment in Dublin, 1992: 1) fresh water is a finite and vulnerable resource, essential to sustain life, development and the environment; 2) water development and management should be based on a participatory approach, involving users, planners and policymakers at all levels; 3) women play a central part in the provision, management and safeguarding of water; 4) water has an economic value in all its competing uses and should be recognized as an economic good.

Management points: locations in the watershed where the amount of water flowing in a river is either measured or manipulation (e.g. stored, diverted, returned). These can be natural points such as rivers junctions which delineate sub-watersheds, or man-made points such as diversions or reservoir locations.

Mitigation (of climate change): A human intervention to reduce the sources or enhance the sinks of greenhouse gases.

Projection: A projection is a potential future evolution of a quantity or set of quantities, often computed with the aid of a model. Projections are distinguished from predictions in order to emphasize that projections involve assumptions concerning, for example, future socioeconomic and technological developments that may or may not be realized, and are therefore subject to substantial uncertainty

Resilience: The ability of a social or ecological system to absorb disturbances while retaining the same basic structure and ways of functioning, the capacity for self-organization, and the capacity to adapt to stress and change.

Scenario: A plausible and often simplified description of how the future may develop, based on a coherent and internally consistent set of assumptions about driving forces and key relationships. Scenarios may be derived from Projections, but are often based on additional information from other sources, sometimes combined with a narrative storyline.

Stakeholder: A person or an organization that has a legitimate interest in a project or entity, or would be affected by a particular action or policy.

Streamflow: Water flow within a river channel, for example expressed in m³ /s. A synonym for river discharge.

Sustainable Development (SD): The concept of sustainable development was introduced in the World Conservation Strategy (IUCN 1980) and had its roots in the concept of a sustainable society and in the management of renewable resources. Adopted by the WCED in 1987 and by the Rio Conference in 1992 as a process of change in which the exploitation of resources, the direction of investments, the orientation of technological development, and institutional change are all in harmony and enhance both current and future potential to meet human needs and aspirations. SD integrates the political, social, economic and environmental dimensions.

Uncertainty: An expression of the degree to which a value (e.g., the future state of the climate system) is unknown. Uncertainty can result from lack of information or from disagreement about what is known or even knowable. It may have many types of sources, from quantifiable errors in the data to ambiguously defined concepts or terminology, or uncertain projections of human behavior. Uncertainty can therefore be represented by quantitative measures, for example, a range of values calculated by various models, or by qualitative statements, for example, reflecting the judgment of a team of experts.

Vulnerability: Vulnerability is the degree to which a system is susceptible to, and unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate change and variation to which a system is exposed, its sensitivity, and its adaptive capacity.

Water consumption: Amount of extracted water irretrievably lost during its use (by evaporation and goods production). Water consumption is equal to water withdrawal minus return flow.

References for Glossary of Terms

Glossary of Terms used in the IPCC Fourth Assessment Report ([Glossary of Synthesis Report](#)).

IPCC, 2014: Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 117-130

Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)

ACKNOWLEDGEMENTS

Water management in Colombia, as well as in Latin America, is evolving to catch up with growing pressures posed by economic activity and development. As part of that evolution, in 2010 we were contacted by the universities in La Vieja – the watershed where traditionally coffee has been grown in Colombia - who were starting to use WEAP in their efforts to modernize water resources planning and regional support for the water authorities, CARs. In July of that year we met **Carlos Sabas** from Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) on a fateful day – his brother had died the day before and the Soccer World Cup Final was capturing the attention of all Colombians. Despite all these extraordinary events, Carlos attended the meeting which was crucial to discuss a joint research agenda and to start networking with local actors. After that day we continued in communication with the La Vieja team, that included **Juan Mauricio Castaño** also from UTP, **Gabriel Lozano** from UniQuindío **Alberto Galvis** from CINARA and **Jorge Marulanda** and **Adalberto Arroyave** from Aguas y Aguas de Pereira. Together we proposed a technical support project to build tools and capacity on water management adaptation to the DGP (Developments Grant Program) of USAID Washington. In early 2011 we met the USAID team led by **Chris Abrahms** who indicated their interest in our proposal, and in May that year we received communication from him about the intention to add two more components to our program: work with CAM to support the climate action plan under the leadership of **Claudia Martinez** from E3 and work with TNC for WEAP technical enhancements for the Magdalena-Cauca initiative under the leadership of **Tomas Walschburger** and **Juliana Delgado**. We finalized the contract in mid-2012 and developed work plans the end of that year. In 2013 we reached out to IDEAM as a key boundary partner, and established contacts with **Omar Vargas**, **Maria Teresa Martinez** and **Vicky Guerrero** from the different sub directorates leading on hydrology, climatology and adaptation activities respectively. In addition to acknowledging the crucial role of the above mentioned individuals, we acknowledge:

- The hard work of the research technicians and students in La Vieja, including **Juliana Valencia, Norma Castro, Cesar Rodriguez and Maria Fernanda Jaramillo**.
- The honest contributions to keep the project grounded within the CARs from **Abelino Arias, Agelica Mocada, Epifanio Marín, Amparo Duque, Jose Alberto Riascos, Paola Patinho, and Lina Alarcón**.
- The commitment from the CAM director at that time **Rey Ariel Borbon** and his management team including **Carlos Cuellar** (who became the CAM director in 2014) and **Edisney Silva** to establish a WEAP team formed by **Carlos Vargas, Freddy Medina, Paula Anacona, Cesar Barreiro, and Oscar Moncayo**.
- The timely contributions from the IDEAM technical team including **Jose Franklin Ruiz, Hector Fabio Aristizabal, Andrea Rodriguez** and **Guillermo Armenta**.
- The clever collaboration for WEAP enhancements from **Hector Angarita** from TNC.
- The genuine support for climate scenarios from **David Yates** from NCAR.
- Our own technical team from SEI, including **Francisco Flores, Laura Forni, Bart Wickle, and Jack Sieber**, and our local consultants **Luisa Cusguen** and **Nilo Lima**.

Finally, we acknowledge the crucial role of the USAID representatives **Marta Albanese, Daniel Lopez, Danielle Spinard** and **Miguel Atuesta** who made administrative matters run smoothly. In

particular we acknowledge the constant appeal to ensure the program demonstrated impact and derived lessons for the future, made by **Carolina Figueroa**.

The actors mentioned in this acknowledgements are leaders in water management in Colombia, and their enhanced knowledge through this program on how to integrate climate into watershed planning will serve Colombia in the adaptation efforts that will be a crucial part of a sustainable peace in the country in years to come.

Sincerely,

Marisa Escobar and David Purkey

EXECUTIVE SUMMARY

The *Rios del Páramo al Valle* program operated from 2012-2015 applying a participatory planning process developed by Stockholm Environment Institute U.S., SEI-US, referred to as Robust Decision Support, RDS, in support of capacity building and tool development that can support climate adaptation in Colombian watersheds. This process integrated the contributions from academic institutions and Corporaciones Autónomas Regionales, CARs, and helped create regional and national leaders with long-term capacity to manage and plan the development of watersheds while integrating climate considerations. Working in close coordination with the technicians and decision makers from the CARs, the program evaluated and prioritized a viable set of adaptation alternatives that can reduce climate vulnerability, laying a foundation for sustainable development and the conservation of vulnerable ecosystems.

The RDS process was useful to clarify the steps required to develop useful information about watershed adaptation. By interacting with CARs, it was clear that the rich legal framework for watershed development in Colombia can be overwhelming (Blanco, 2008). Local autonomous authorities' participating in the project complied with national level requirements to the best of their knowledge and capacity by often relying upon contracts with external consultants for support. In contrast, this program's WEAP-based RDS approach sought to enhance CARs participation through capacity building activities that will lead to them obtaining and understanding the building blocks of watershed adaptation analysis. Identifying the decision space – which is defined here as the scope within which watershed actors can discuss potentially useful water management adaptations to climate change and other uncertainties and choose to implement the most promising alternatives –, mapping the regional actors, defining the key scenarios of uncertainty and action, and building tools within the first year of the program gave the initial baseline information. During the second year, the focus was on generating a large dataset of cases, defined by external pressures such as climate and by available adaptation options, in order to understand the key locations of high climate vulnerability and to discover key adaptation options. Sharing this information in useful and dynamic graphs provided a vehicle to communicate complex information with decision makers at the regional and national levels. The complete process responded to the needs to incorporate regional knowledge from actors into decision making about water management (Lynam et al., 2007).

Adaptation actions in the different watersheds ranged from watershed conservation to wastewater treatment plants. Preserving e-flows was highlighted as a necessary option to maintain ecosystem health. In addition to climate, population growth and hydropower development at a small and large scale are increasing the challenges for water systems management.

The process generated impact by promoting the use of WEAP and other program tools in the planning of watersheds outside of the original project case studies, such as Bolo Frayle. Other planning instruments influenced by the project related to the territorial planning of municipalities, as was the case for the Salento EOT. At the national level, the use of the tools for regional water studies - ERAs, and the consideration for use of ENA to support for the national water studies, demonstrate the potential for scaling of the project outcomes to the country level.

SEI teamed up with TNC to build a model of the Magdalena River Basin using SEI's Water Evaluation And Planning (WEAP) system. Along with ecosystem impacts, the project team set out to study flood risks. The Mompos Depression is highly vulnerable to extreme floods, and in 2010–

2013, a particularly wet “La Niña” led to severe floods that caused numerous deaths and widespread property damage in the lower Magdalena basin. Since those floods, several studies have been conducted to identify ways to reduce flood risks, and some identified the development of hydropower dams as a potentially helpful measure. But those studies did not look at flood dynamics in the basin as a whole, nor did they fully consider climate change. Initial results of the WEAP analysis show that hydropower dams could substantially reduce water flows during the dry months, and thus harm wetland ecosystems. But the dams would not protect lowland communities from extreme floods during periodic high flow events, because upstream reservoirs would have to release water for dam safety.

The project had an approach that was gender-focused, which enabled both women and men to influence policy and decision-making; and employ strategies that respond to gender-based vulnerabilities and promote inclusion. In different stages of the RDS process, gender considerations were mainstreamed. In particular, three key aspects were included within specific activities: 1) actor mapping identifying female participation in water management in order to set up a baseline condition, 2) information recording gender to track contributions and interventions at the watershed level, and 3) generating conditions for female participation in technical aspects of the project in order to promote female leadership in watershed management.

All project indicators were achieved and some were exceeded indicating compliance with the project Performance Management Plan - PMP (Appendix 1). In particular, stories of change produced at the request of USAID as part of the Cooperative Agreement (Appendix 2) document the achievement of the main capacity building objectives of the program. Universities and CARs in La Vieja also achieved joint work plans for future work applying the WEAP-based RDS framework in response to future water management planning and decision making challenges (Appendix 3). Technical results were reported and published in fact sheets and discussion briefs summarized for technical and lay audiences, including decision makers (Appendix 4). Scientific progress in terms of modelling and tools to support water management decision making was reported upon in peer reviewed articles submitted to scientific journals (Appendix 5).

Lessons learned at different levels of the project suggest possibilities for potential improvements. At the management level, it is clear that a focus on young professionals and on working with academic legacy institutions is important for the continuity of the program in the long term. Also, CARs engagement will have to be reevaluated in future applications to ensure stronger commitments to participate by devoting personnel’s time to the project.

At the technical level, although the end product of a model building exercise is comparable to having a laboratory for watershed analysis, it is important that the process is streamlined to reduce time spent and avoid frustration. The consolidation of a community of practice may lead to opportunities to improve the automation of the process, which will in turn contribute to streamlining steps for obtaining results. The lack of data, including socio-economic information, continues to hinder trust in modeling tools; this can be overcome by further characterizing uncertainties associated with data. Finally, the presentation of results to different audiences needs to be further refined to reach larger audiences.

Regarding governance, key recommendations relate to clarifying the linkages between watershed planning and current mandated planning instruments, and to including climate consideration in these

instruments. The Colombian water governance system, decentralized to the CARs, creates opportunities for regional management and challenges for integration at the national level, and requires a strengthening of learning exchange between regional and national experiences. For instance, the leadership of IDEAM within IWRM efforts is key. Finally, the exploration of how to navigate adaptation funding would be an important next step for any watershed climate adaptation study.

Building capacity in climate adaptation for watershed planning requires time and effort. Participating actors in this project were exposed to the process in order to gain competence. The learning curve is still on an upward slope and requires additional efforts in order to scale up. The continuity that young professionals and legacy institutions, such as the universities that will continue working to apply the concepts of RDS to support climate adaptation after the program ends as part of their research, teaching and public engagement, can provide will be key to taking those additional steps needed to achieve higher levels of competence in analyzing the best alternatives for watershed adaptation using a set of technically sound tools.

INTRODUCTION

In 1992, participants at the International Conference on Water and the Environment published what has become known as the Dublin Statement on Water and Sustainable Development (ICWE, 1992). This statement, with its references towards defining fresh water as a finite and vulnerable resource, essential to sustain life, which should be managed through broadly participatory approaches, with full recognition of the essential role of women in water management and acknowledgement of water as an economic good, motivated the emergence of Integrated Water Resources Management (IWRM) as a frame for public policy setting involving water resources (Blanco, 2008). Fundamentally IWRM requires a broad and coordinated view of water and watershed management that allows for water allocation to support economic activities, while maintaining ecosystem integrity and the water security of future generations (Jonch-Clausen, 2004).

In Colombia, the response to the Dublin Statement and the emergence of IWRM is evident in the evolving institutional and legal framework related to water and watersheds in the country (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), leading to the promulgation of several new mandated planning processes to be undertaken at the scale of watersheds, and municipalities located within watershed. There still is, however, work to do to achieve the promise of IWRM to coordinate water resources management planning and decision making amongst policy actors and economic sectors (Blanco, 2008). Acknowledging that pending work should not be viewed as an indictment of Colombia and/or Colombian water managers; most countries of the world find themselves in a similar position. Since Dublin, however, efforts to implement IWRM have increasingly confronted the growing recognition that climate change creates a large amount of uncertainty that should, in principle, be considered within the participatory processes anticipated by the Dublin Statement.

The challenges that climate change poses for countries that are pursuing sustainable development related to water, such as Colombia, are real (Steinhoff et al., 2015). They are akin to changing the rules of the game in the middle of a match, as seen most clearly in the decision by the Colombian Ministry of the Environment and Sustainable Development to exclude explicit requirements to consider climate change within recently published guidance documents related to several mandated water and watershed plans. They simply did not feel that they had enough information and insight to craft defensible guidelines at this point in time. As such, the formulation of IWRM-based protocols to identify adaptation strategies to respond to climate change impacts on hydrology, water management and water quality is a pending and necessary task (Ludwig et al., 2014).

At the global level, the Nairobi Work Program of the United Nations Framework Convention to Combat Climate Change (UNFCCC) has initiated an effort (UNFCCC, 2009) to compile resources that can support watershed planners, water managers, water utilities, irrigation districts, water users, environmental regulatory agencies and NGO, and stakeholders in general in considering the complexities of climate change in planning and decision making process. Universities and research institutes are key partners in this effort as many have received support to develop the tools required to respond to this complexity. For example, funding from the U.S. National Science Foundation allowed the RAND Corporation to tailor a generic strategic decision making under uncertainty framework (Lempert et al., 2003) referred to as Robust Decision Making (RDM) to the needs of the

water management community (Lempert and Groves, 2010). At the core of this effort is the Water Evaluation and Planning (WEAP) system (Yates et al., 2005) developed by the Stockholm Environment Institute. WEAP itself was updated, with support from the U.S. Environmental Protection Agency Office of Global Change Research, to better accommodate climate uncertainty in the evaluation of water management options. In complex water management settings such as California, RDM and WEAP have demonstrated promise in assisting decision makers in implementing IWRM-based processes with full consideration of climate uncertainty.

This report synthesizes three years of experience by the Stockholm Environment Institute, along with a large set of Colombian partners, to explore how these specific tools might contribute to a similar evolution in Colombia. With the support of USAID-Colombia, the SEI team deployed these tools at a number of scales across the Colombian water management landscape. As part of this deployment, substantial attention was focused on (i) building the capacity of Colombian institutions to master these tools, (ii) demonstrating the utility of these tools within formal water and watershed planning and decision making processes in Colombia, and (iii) connecting local experiences using these tools to the national level discourse modifying these formal water and watershed planning and decision making processes to better accommodate the complexity associated with climate change.

The activities documented in this report suggest that a new approach for water resource planning and decision making is emerging that can work across Colombia. The *Rios del Páramo al Valle* project created an opportunity for the exploration of innovative participatory processes, advanced water system modeling and novel communication approaches towards that end. Evidence of increased technical capacity and of an enhanced ability to evaluate adaptation alternatives at the watershed level suggests that the methods and techniques tested in this project can be both replicable and broadly useful in Colombia. This is not, however, a step-by-step guidance document; it is rather a story of change that can illuminate new possibilities for water managers in Colombia, and beyond, as they seek to integrate climate change considerations into their efforts to respond to the ideals contained in the Dublin Statement.

CONTEXT OF THE PROGRAM

Since the creation of the Colombian Ministry of Environment and Sustainable Development in 1993, there has been an evolution of legislation to replace the 1984 Decree 1594 which, along the lines of other clean water legislation in other countries focused on water quality, with new and more extensive powers to plan for the management of water and watersheds. In large measure, these reforms were motivated by the Dublin Statement and subsequent discussions at the 1992 UN Conference on Sustainable Development in Rio de Janeiro, Brazil. Since its creation, the Ministry has crafted several environmental planning instruments related to water, watershed and land use, such as the POMCA (Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – Decree 2759 of 2002), PORH (Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico – Decree 3930 of 2010), POT (Plan de Ordenamiento Territorial – Law 388 of 1997) and PSMV (Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos – Resolution 1433 of 2004). Guidance for the implementation of these plans provided by the Ministry to the local authorities (mandated to deliver them) make allusion to the importance of participatory processes, and to an integrated approach to improving outcomes related to water quality and quantity, ecosystems, and disaster risk reduction. What these guidance documents do not contain is a mandate to consider climate change as part of the development of these plans. The Ministry simply did not feel confident that they had enough information and insight to propose defensible guidelines at this time.

In addition, the typical manner in which local authorities develop these plans is by contracting with external consultants who seek to implement the Ministry guidelines as closely as possible, focusing the majority of available resources on data collection and an assessment of current conditions. The result is that very little space is left for innovation to consider climate change in the development of these instruments and that little capacity for analyzing the complexity of climate adaptation is created. This is the context within which SEI implemented the *Rios del Páramo al Valle* project. SEI offered a framework and structure that integrated climate change within the principles of IWRM. Based on its prior positive experience using the WEAP-based Robust Decision Making approach, SEI designed the project to focus on deploying this technique at a variety of scales within the Magdalena-Cauca River Basin system.

Within the Magdalena-Cauca Basin, the project focused on two distinct sub-regions: the La Vieja-Otún watersheds in the Cauca Sub-Basin and Alto Magdalena watershed (Figure 1). Both are important coffee growing regions, but they are distinct in many ways. La-Vieja-Otún's major challenges are water quality and ecosystem protection while multi-sector water allocation are the key challenges in the Alta Magdalena watershed. Both watersheds lie within high -performing *Corporaciones Autónomas Regionales* – CARs, regional government organizations in charge of resource use permitting – which are responsible for coordinating water and watershed planning and decision making. This made them ideal locations for the sort of innovation contemplated within the original project design. By focusing on these sub-regions, the project was able to address emerging concerns of numerous important target stakeholders in these watershed systems charged with managing natural resources to the benefit of their constituencies, now and in the face of a changing climate. In particular, key actors such as managers of Colombia's high Andean *páramo* ecosystems, urban residents, representatives from the Colombian coffee industry, and staff from local and national government institutions were part of the project and were engaged at different levels of participation in different activities of the project.

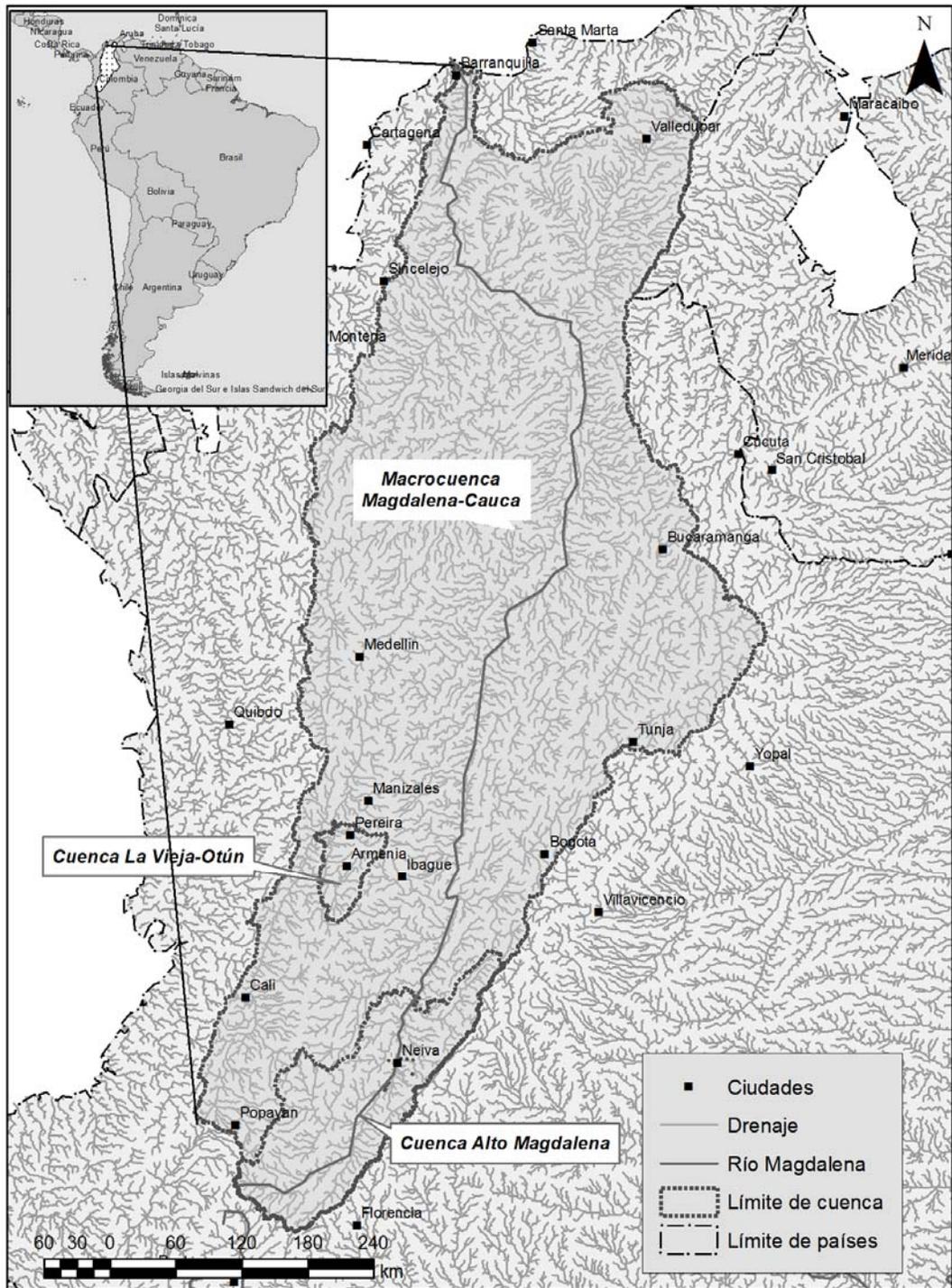


Figure 1. Map with study sites location: La Vieja, Alto Magdalena and Magdalena Cauca

The Rio Otún watershed is the source of water supply for the city of Pereira. The municipal utility, Aguas y Aguas, diverts water for the City of Pereira and other smaller communities, as well for a hydropower producer, and transfers untreated wastewater to the Rio Consota (a Rio La Vieja

tributary). The water quality in the Rio Consota is important due to the fact that the river flows into lower Rio La Vieja, which is the source of water supply for the downstream city of Cartago. Including the Rio Otun in the project design allowed for the consideration of two specific issues of significant concern to CARS in Colombia: reversing water quality degradation downstream of urban centers and conserving páramo ecosystems as an effective climate change adaptation. The basin offered a compelling setting to investigate water management and climate change challenges that are common to many regions of Colombia.

In the Rio La Vieja watershed, the project worked with the three CARS (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, Corporación Autónoma Regional del Quindío, CRQ y Corporación Autónoma Regional de Risaralda, CARDER) that have shared jurisdiction for managing the basin. The watershed has a total area of 2,900 km² with a main stem river length of 101 km running from south to north through the Eje Cafetero. The total population of 1,140,000 inhabitants within the watershed is distributed across 21 municipalities. The Rio La Vieja has 23 tributaries that descend from the western flank of the Andean Cordillera Central, fed by climate sensitive glacier and páramo ecosystems that provide valuable contributions to vital dry season base flows in the watershed. Due to the sensitivity of these ecosystems to changing climatic conditions and to pressure from land use change, the focus on páramos as a priority ecosystem is a good complement to the water quality challenges faced in the La Vieja system.

In the Alto Magdalena watershed, the project focused on supporting the water component of the Climate Action Plan that was being developed by the local CAR. This watershed spans an area of 22,200 km² which encompass the whole Huila Department as well as areas from the Cauca Department within the Rio Paez sub-watershed and from the Tolima Department with the Rio Patá and Cabrera sub-watersheds. With a population of approximately 765,000 inhabitants, this region of Colombia is of particular importance at a national level because of the current and potential hydropower production capacity available in the Huila Department. There are also important agricultural productions systems, particularly for coffee, rice, aquaculture, and livestock. Finally, as the source of the vitally important Magdalena River, the Alta Magdalena watershed produces 555 m³/s of water, on average, affording enormous benefit to downstream water users and ecosystems, and to the nation.

A key dimension of the project was its consideration of climate change at the larger Magdalena-Cauca River Basin scale. In particular the project focused on implementing new functionality in WEAP to characterize floodplain inundation as function of flows through time along a river network. Based on information available on recent flooding in the lower Magdalena system, work was carried out to conceptualize, design, implement and test new functionality in WEAP that would allow for assessing how downstream conditions might be impacted by climate change and various water management proposals in the upper watershed, in particular hydropower development. In addition to this focus on downstream floodplains, SEI also enhanced WEAP to link the tool to the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) software developed by TNC as part of its Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA) initiative. TNC has classified sub-basins within the Magdalena-Cauca system in terms of their ecological integrity and importance and has assessed which IHA indicators are most critical for each classification. Working in close collaboration with TNC, SEI programmed routines into WEAP that permit the estimation of critical IHA metrics under different future climate change

and water management conditions. These two enhancements are powerful contributors to efforts to factor ecosystem sustainability into emerging IWRM protocols in Colombia.

The context within which the *Rios del Páramo al Valle* project operated, and the scales at which the project engaged, constitute a powerful learning laboratory for testing a set of decision support processes as well as provides analytical tools that allow local Colombian environmental management institutions to contribute to an emerging national discourse on climate change and water management in Colombia. The success of a national Symposium at which the “bottom-up” experiences of SEI and its partners were presented suggests that the project achieved this goal.

A summary of the watersheds analyzed is presented in Table 1.

Table 1. Summary of watershed areas, population, average streamflow and identified adaptations

Watershed	Area (km²)	Population (aprox. miles)	Average flows (m³/sec)	Identified Adaptations
Otún	500	400	21.8 (wet) 7.2 (dry)	Watershed conservation E-flows New storage
La Vieja	3000	1,200	149 (wet) 49 (dry)	Improve coffee processing Wastewater treatment plants
Alto Magdalena	22,000	750	555 (wet) 215 (dry)	Small hydropower Irrigation efficiency Reduction in unaccounted for water
Magdalena-Cauca	210,000	30,000	7200	Watershed conservation Wetland management Operation of existing reservoirs

Box. Rios del Páramo al Valle: An agreement that achieved its goal and objectives

The goal of the project was to build regional capacity to support the sustained integration of climate change adaptation into water management plans and strategies within Corporaciones Autonomas Regionales (regional environmental authorities in Colombia) focusing on the Rio La Vieja and Alto Magdalena watersheds, and to extend the benefits of that learning to all Corporaciones in Colombia (*Figure 1*). The activities included an evaluation of climate change adaptation alternatives for water resources planning, the development of analytical tools and capacity building. As indicated in detail the '**Context of the Program**' section of this report, we worked with several partners to achieve these goals and we briefly restate here what we did, how we did it and with whom. In Rio La Vieja we worked with three main partners. First, **EIS** – a research group within Universidad Tecnológica de Pereira - transferred capacity through workshops and co-learning with CARDER and Aguas y Aguas to build WEAP models to identify climate adaptations for the Otún and La Vieja watersheds. Second, **CIDERA** – a University of Quindío research group – collaborated with CRQ in data transfer and promoted the use of the WEAP systems modeling approach to identify adaptation options in terms of water quantity. Third, **CINARA** from UniValle worked closely with CVC to build capacity in water quality modeling to identify and promote adaptations to improve water quality conditions in urban and rural coffee runoff areas. In Alto Magdalena, we promoted co-learning, cooperation and participative research with **CAM** in the development and implementation of the water component of the Huila 2050 Climate Action Plan. At the Magdalena-Cauca level we worked with **TNC** to build and improve WEAP routines to understand the effect of upstream management and adaptation in downstream flooding of the Mompos Depression. *Figure 19* of the report shows how we collaborated with partners to achieve each component.

In order to meet the project goal, 3 specific objectives were formulated and achieved after project implementation, as described below:

- i. Assess current understanding of climate change and variability effects on water resources in the Rio La Vieja and Alto Magdalena watersheds using an innovative, participatory, problem formulation framework.

Current understanding of climate change and variability effects on water resources was achieved by implementing workshops that applied participatory research techniques with a set of stakeholders that were identified as relevant in water management decision making. Stakeholders were guided with questions and conceptual frameworks based on uncertainty characterization, the livelihoods framework and the ecosystem services framework to define key components of the water system to be considered. Such a process led to a complete characterization of the most relevant watershed elements that could be affected by climate change and variability. In the '**Methods**' section of this report we present the details of the methodology applied, in particular the application of the XLRM framework within the Robust Decision Support framework. Components were divided into those that are outside of the control of water managers (Xs in the XLRM framework such as climate change and population growth), those that can be acted upon with adaptation strategies (Ls in the XLRM framework such as infrastructure or páramo conservation), and the metrics to evaluate impacts (Ms in the XLRM framework such as reliability of water supply). In the '**Results**' section of this report there is detail about the watershed characterization that resulted from applying this methods, and a summary of XLRM results for the three basins is presented in *Tables 3, 4 and 6*.

- ii. Develop analytical tools based on WEAP to explore links between climate change, the conservation of priority ecosystems and the sustainable management of water resources in the Rio La Vieja and Alto Magdalena watersheds.

Development of analytical tools based on WEAP was achieved by investing a large portion of the grant's time and resources into generating WEAP models of the watersheds under study. The WEAP model building was accompanied by a series of training opportunities tailored to the Corporaciones' needs and availability. Climate information was downscaled and input into the models at the appropriate spatial scale to represent variability within the different parts of the watershed. Climate information was generated during capacity building workshops designed to create awareness of the complexity of climate data and climate model output and to provide

- iii. Build the capacity of local partners to the point where these partners can contribute to additional capacity building activities and needed institutional articulation of actions for climate change response at the regional and national level.

The RDS process included several steps that required knowledge about approaches to first characterize the watershed context, prepare the required data, and build tools, and second, to investigate the performance of adaptation actions that could be implemented (*Figure 2*). Each step and its associated approach included a capacity building method that helped internalize the concepts. Actor mapping used surveys that highlighted the connections between actors involved in water management. Problem formulation included a participatory workshop that generated knowledge about the key components of the watershed for all participants (mentioned in i). Model construction, climate scenarios definition, ensemble analysis and output exploration included a set of workshops, field visits and events that led to a clear understanding of climatic and non-climatic variables that could alter watershed hydrologic services (mentioned in ii). Capacity building in decision support was achieved by designing regional workshops in Cartago in Dec 2014 and in Neiva in Feb 2015 – that were attended by key watershed stakeholders and decision makers identified in the actor mapping process - and a national symposium in Bogotá in Jan 2015 where decision makers from a range of implicated national level organizations shared their approach to using the information produced to inform decisions about the future planning of the watersheds including climate considerations (a list of key stakeholders involved in these events is located in **Appendix 6** of this report. Also, these events as well as updates about the actors' are continually reported in the project's blog <http://weap-lavieja-otun.blogspot.com/>). The overall RDS process steps were implemented with the boundary partners leaving them on a path to higher competence levels (*Figure 20*), and also giving them a level of power to use these tools for future analysis (*Table 10*). By linking SEI-US's expertise in water resources adaptation to climate change together with local expertise in the Rio La Vieja, Alto Magdalena and Magdalena-Cauca watersheds, the project responded to needs identified for Climate Change Sector Adaptation activities under the 2011 DGP, including capacity building, tool and guidance development and dissemination, applied research and analysis in support of adaptation activities.

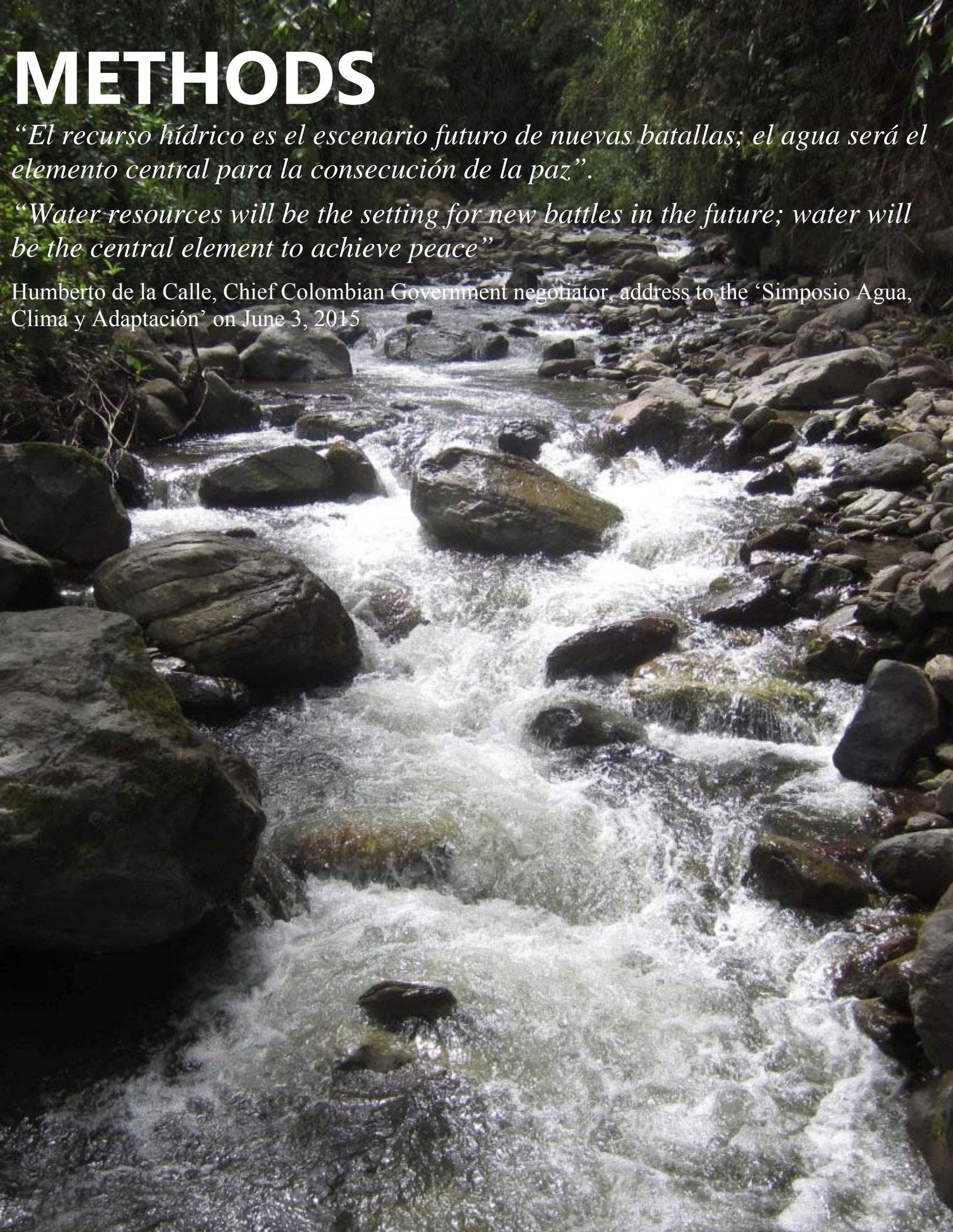
The above goals connected directly to USAID goals and priorities. USAID seeks to support the Government of

METHODS

“El recurso hídrico es el escenario futuro de nuevas batallas; el agua será el elemento central para la consecución de la paz”.

“Water resources will be the setting for new battles in the future; water will be the central element to achieve peace”

Humberto de la Calle, Chief Colombian Government negotiator, address to the ‘Simposio Agua, Clima y Adaptación’ on June 3, 2015



METHODS

As described in the previous section, the context for the project was the need and opportunity to include climate change considerations in the process of water and watershed planning and decision making at various scales in Colombia, with a geographic focus on the Magdalena-Cauca River Basin. The primary goal of the project was to build capacity for partners in the watersheds listed in Table 1, as part of a participatory planning process, to deploy, test, and potentially replicate the experience gained by SEI to help water, watershed and ecosystem managers in other parts of the world identify water management adaptations¹. Both the prior experience and the efforts in Colombia were based upon the application of SEI's Water Evaluation and Planning (WEAP) system within a participatory planning process referred to as Robust Decision Support (RDS).

The SEI practice of RDS is based on a theoretical decision making under uncertainty framework referred to as Robust Decision Making (RDM). RDM emerged from a program on strategic decision making under conditions of deep uncertainty within the RAND Corporation (Lempert et al., 2003). The starting point for the RDM framework is that traditional decision making approaches based on an assessment of the likely probabilities of future conditions do not respond well to a situation such as climate change, where there is no consensus about the likelihood of specific climate futures. SEI work with RDS has involved applying RDM theory to the challenge of water and watershed planning and decision making under climate change in a way that responds directly to the IWRM appeal for participatory water and watershed planning, based on a large body of literature (Folke et al., 2005; Pahl-Wostl, 2009; Pahl-Wostl et al., 2007).

Before presenting the key features of the RDS approach, it would be useful to present some context for understanding how participation in a project is crucial for incorporating social learning and capacity building (Bouwen and Taillieu, 2004; Lee, 1999; Lynam et al., 2007; Stringer et al., 2006). One useful framework, shown in the legend of Figure 2, defines a progression of levels of stakeholder engagement in a research project. The levels are relevant to analysis carried out in support of decision making processes as well. The lowest, and unfortunately perhaps the most common, level of engagement is characterized as information extraction. While soliciting information from informed stakeholders is necessary to the process of conducting useful analysis, if these stakeholders are not connected to the analysis it is difficult to assign it much relevance or credibility. The highest level, Participatory Action Research, involves granting full control of the design and execution of analysis to stakeholders. Between these two poles, are varying levels of stakeholder engagement in the analytical process. In implementing the RDS approach in Colombia, the project attempted to operate at all the levels of participation from Information Extraction to Participatory Research.

The central feature of the RDS practice is to acknowledge and intentionally incorporate the analysis of external factors such as climate change, but also potentially other factors such as population growth and economic development, into the evaluation of the potential benefits associated with specific water management adaptation actions. While grappling with the uncertainty associated with these external factors, decision makers engage in an iterative process of identifying the actions that can be taken at

¹ While the project contributed to the identification of specific adaptation actions, the project was not designed to actually realize them on the ground.

the watershed scale in order to reduce the climate vulnerability and increase the climate resilience of water systems. The steps in the RDS process are shown in Figure 2.

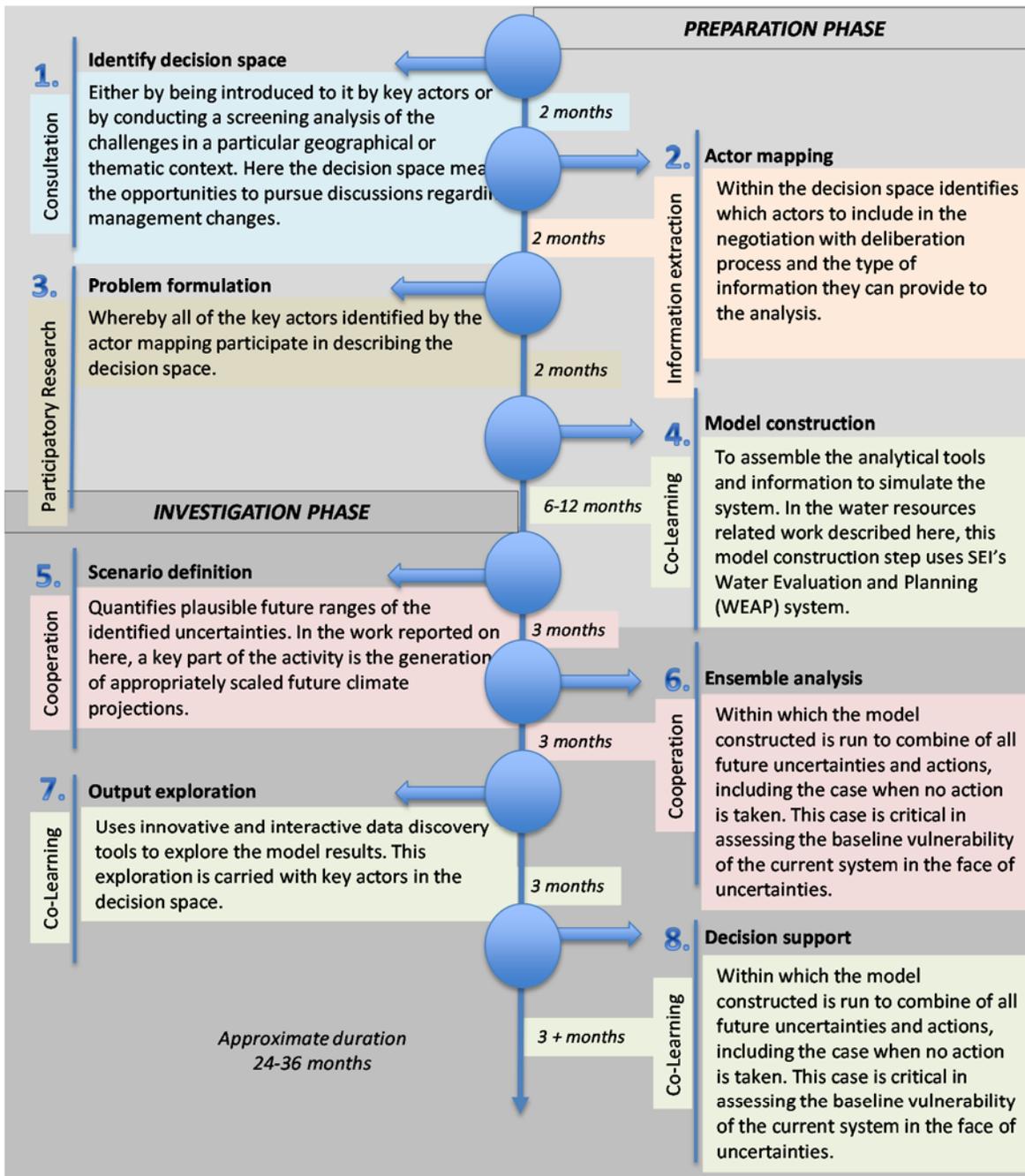
The steps of this process fall into two phases, preparation and investigation. The preparation phase, which generally takes around 12-24 months to complete, is designed to assure that all relevant stakeholders and decision makers are given the opportunity to participate in the critical problem formulation and analytical design process. The lower end of the timing of about 12 months corresponds to situations where a technical level on water modeling expertise exists among stakeholders. The higher end estimate of timing includes working with stakeholders to build capacity on water systems and management modeling. Specific steps in this phase are as follows.

Identify decision space: Either by being introduced to it by key actors or by conducting a screening analysis of the challenges in a particular geographical or thematic context. Here the decision space means the forums within which watershed actors engage in discussions regarding potentially useful water management adaptations to climate change and other uncertainties, and take decisions to implement the most promising options (Pahl-Wostl, 2009). *Level of Participation: Consultation*

Actor mapping: Within a decision space identify which actors to include in the negotiation and the deliberation process and the type of information they can provide for the analysis (Reed et al., 2009). *Level of Participation: Information extraction*

Problem formulation: Whereby all of the key actors identified by the actor mapping participate in describing the decision space via the application of the XLRM problem formulation framework (Lempert et al., 2003). *Level of Participation: Participatory research*

Model construction: To assemble the analytical tools and information to simulate the system. In the water resources related work described here, this model construction step uses SEI's Water Evaluation and Planning (WEAP) system. The model constitutes a laboratory for testing possible watershed futures (Groves et al., 2008). *Level of Participation: Co-Learning*



Increased participation ↑	Participation level legend		Example
	Participatory (Action) Research	Research is directed by participants, with the researcher acting as a facilitator	
	Co-Learning	Working together to define problems and find solutions	
	Cooperation	Working with people to determinate priorities, but the process is directed by the researchers	
	Consultation	Local opinions are sought and some dialogue occurs	
	Information Extraction	Researchers ask people questions and process the information	

Figure 2. RDS steps, timing, and participation levels.

Color coding indicates level of participation according to legend and approximate time for each step is included. Steps are shown in a linear way, but they overlap and can be iterative.

Scenario definition quantifies plausible future ranges of the identified uncertainties. In the work reported on here, a key part of the activity is the generation of future climate projections scaled appropriately for evaluating climate change adaptations at the watershed scale (Peterson et al., 2003).

Level of Participation: Cooperation

Two items referenced in this description of the RDS Preparation Phase warrant further presentation. The first is the XLRM problem formulation framework. XLRM is a tool developed by the RAND Corporation that divides a decision making process into four components.

X (**eX**ogenous factors) represents the uncertain factors outside the direct control of the actors within a particular decision making process but which have the potential to influence outcomes.

L (**L**ever) represents the specific actions that are available to these actors as they seek to improve conditions or outcomes in the face of future uncertainty.

R (**R**elationships) is the suite of analytical tools deployed to capture the exogenous factors and represent the levers identified by the actors, which when deployed produce estimates of...

M (**M**etrics of Performance), which are the means by which individual actors will evaluate the outcomes associated with a specific action considered as part of the decision making process.

The R component of the XLRM framework pertains to the tools used to support the analysis carried out as part of the effort to evaluate the performance specific adaptation actions. These often include models of the watershed/water management system in question. Under the current project, the primary model or analytical tool deployed was the Water Evaluation and Planning (WEAP) system which has been developed and supported within SEI for over 25 years. WEAP is an integrated hydrologic/water resources modeling platform that represents both the natural hydrologic or rainfall-runoff processes in a watershed as well as the physical and regulatory systems put in place to balance available supplies and existing demands as part of a multi-objective water allocation system. Over the years WEAP has been expanded to allow for the representation of groundwater hydrology, surface water quality, plant biomass production and many other processes at play within a watershed. In each of the Colombian watersheds, SEI worked in close collaboration with local technical experts to develop applications of the WEAP software.

At different points in the RDS Preparation Phase, gender considerations were mainstreamed. In particular: 1) the actor mapping exercise was designed to identify the roles that female currently play in the management of water resources within a watershed, allowing for the definition of a baseline condition; 2) the results of the actor mapping were used to promote female participation in the problem formulation exercise and in technical aspects of the project in order to promote female leadership in watershed management; 3) during the problem formulation, contributions were logged by gender in order to differentiate female perspectives from those held by men. Together these efforts led to greater awareness of gender issues among project partners and to greater participation of women on project activities. SEI is very proud of the level to which the project created opportunities for women to lead on the critical issues of climate change and water management.

In the RDS process, once the modeling platform has been constructed and calibrated based on historical climatic and hydrologic data sets, and potential future scenarios have been defined, the process switches to the Investigation Phase. During this phase, which takes approximately 12 months to complete, the models are run for each of several adaptation strategies articulated by the key actors (always including the 'no action' option in order to create a baseline for comparison), under each

scenario related to future climate and non-climate (e.g. population growth rate, per capita consumption, regional economic development) uncertainties of concern. A set of scenarios produces a large data base of results covering many dimensions of performance (e.g. demand satisfaction, reservoir storage levels, hydropower generation, and ecosystem health), that are explored using innovative data visualization techniques which provide critical inputs to the decision making process. Specific steps in this phase include:

Ensemble analysis: Within which the model constructed is run to combine all future uncertainties and actions, including the case when no action is taken. This case is critical in assessing the baseline vulnerability of the current system in the face of uncertainties.

Level of Participation: Cooperation

Output exploration: Uses innovative and interactive data discovery tools to explore the model results. This exploration is carried out in a participatory and dynamic fashion with key actors in the decision space.

Level of Participation: Co-Learning

Decision support: Based on the exploration of the outcomes, which are evaluated within the decision space, the performance of specific management actions can be evaluated relative to the no-action baseline and to each other. Upon viewing the results, actors can decide to either reformulate the problem or to accept a particular recommendation for a preferred course of action.

Level of Participation: Co-Learning

The exploration of WEAP outputs is simultaneously the most exciting and the most challenging step in the RDS process. It involves exploring, in close collaboration with watershed actors, the output of multiple model runs covering all combinations of future scenarios and possible adaptation responses, covering several dimensions of performance. The amount of information to digest is substantial and traditional techniques for sharing scientific and technical information with decision makers (maps, X-Y graphs, data tables) are not well suited. In the project, SEI and its watershed partners worked with a leading edge data exploration and visualization software package called Tableau. The sorts of graphics produced to support the evaluation of adaptation actions in project watershed are presented in the results section of this report. In addition to these sophisticated dynamic data visualizations, the project produced a whole series of fact sheets that distilled the key messages into more traditional media. These are found in the Appendices to this report.

In testing the RDS method as part of this project, SEI and its partners tried to directly relate the steps in the process to both the connections between the various water and watershed planning instruments mandated by Colombian Law (POMCA, PORH, POT, PSMV) and to the guidance documents pertaining to the formulation of each individual instrument. As such, the project was able to produce results that are feeding directly into national level dialogues pertaining to climate change and water management in Colombia.

RESULTS

“La modelación son los ojos del futuro. No podemos seguir viendo el país en el presente, no podemos hacer planificación a ciegas, tenemos que planificar con información”

“Modeling gives us a view of the future. We cannot continue seeing the country in the present, we cannot plan blindly, we need to plan with information”

Omar Vargas, Subdirección de Hidrología IDEAM Subdirector of hydrology at ‘Simposio Agua, Clima y Adaptación’, June 3, 2015



RESULTS

Since analytical tools, often models, are central to the scenario-based analysis conducted as part of the RDS process, many of the results presented in this section are derived from WEAP model output built in each project watershed. Before presenting these model output for each watershed, however, some explanation of the WEAP model building process and the type of information produced is warranted. As previously mentioned, WEAP is an integrated hydrologic/water resources modeling platform. As such the model building process involves the construction and calibration of WEAP model elements – such as watersheds, canals, reservoirs, demand sites - that simulate rainfall-runoff processes, water system operation, and river water quality (in the case of the La Vieja model). The steps in the model building process are summarized in Table 2.

Table 2. Summary of WEAP model building and deployment process

<p>Construct hydrologic units to simulate hydrologic processes</p>	<p>500 m Elevation bands were generated with a digital elevation model, or DEM. These bands were intersected with sub watersheds defined using the DEM to obtain polygons that represent hydrologic units or catchments. The number of catchments varies depending on the scale and resolution of each model. As needed, additional hydrologic units can be created to represent special ecosystems such as <i>páramo</i> or glaciers. Hydrologic units are characterized based on land cover type. In this particular case, land cover was characterized into glaciers, agriculture, forest, coffee, <i>páramo</i>, urban areas, water bodies, and bare soils. The WEAP catchment objects defined via the implementation of these steps are used to simulate rainfall-runoff processes in each modeled watershed.</p>
<p>Model building, water demands and calibration</p>	<p>Existing historic climatic data processed and input for each catchment. Model is run to produce streamflow and water balance components. Water demands characterized based on urban uses and agricultural requirements. Streamflow values produced by the model were compared to observe streamflow values. In the case of the La Vieja model observed water quality values were also compare to simulated values. A calibration process allowed for an adjustment of model parameters to represent the hydrologic behavior of hydrologic units, the operation of installed hydraulic infrastructure and water quality conditions in rivers.</p>
<p>Climate scenarios</p>	<p>A total of 35 General Circulation Models (GCMs) were processed and used to define possible future climate trajectories for the study sites. The time horizon for climate projections was set for 2050, and the most extreme greenhouse emissions path of RCP 8.5 was selected. The downscaling process included the use of data from local hydro-climatological station, to produce spatially varying climate inputs across each modeled watershed for all catchments into the model.</p>

**Ensemble
of runs and
analysis of
results**

In order to generate a more complete representation of future conditions, possible future trajectories of other uncertain factors were also defined and include in the ensemble analysis.

Adaptation measures were represented in the model and the results were compared across the uncertainties to define whether they will reduce climate vulnerability with respect to specific water quantity and quality objectives.

The sorts of results that are produced through the deployment of WEAP as part of a scenario based analysis include:

1. Streamflow values at various points in the watershed.
2. The contributions of various parts of the watershed and various land-use/ecosystem types to these streamflow values.
3. Water storage and diversion patterns associated with the operation of hydraulic infrastructure in order to satisfy demands in the watershed.
4. The level of demand associated with various use of water in the watershed and the level of satisfaction of that demand.
5. The ecological status of river reaches using Indicators of Hydrologic Alteration.
6. River water quality at various points in a watershed.

These are the model outputs that are used to estimate the value of performance metrics articulated by stakeholders as part of the problem-formulation step of the RDS process. Values are generated for each model run, or case, in an ensemble of cases, where a case combines a specific set of assumptions about the future based on the uncertainties identified in the problem-formulation step and a single management response proposed by the stakeholders. The ensemble is designed to generate model output for cases that span the range of uncertainties defined by stakeholders and the set of management responses they propose. The results of these ensembles are presented and analyzed for each project watershed in the following sections.

Otún Watershed



Context Otún Watershed

The Otún watershed is located in the department of Risaralda (Figure 3). Its headwaters have high slopes which generate erosive conditions. In this watershed there are 10,102 hectares of *páramo*, an important ecosystem for the regulation of baseflows, and home to specific endemic species. At a point 66 kilometers from its headwaters, the river becomes a major source of water supply. At El Porvernir, 2.35 m³/s are diverted for the cities of Pereira and Dosquebradas, 5 m³/s are channeled through hydropower generation facilities, and an e-flow of 3 m³/s is left in the river channel. This means the watershed needs to produce 10.35 m³/s of water to meet water management objectives at this point in the watershed.

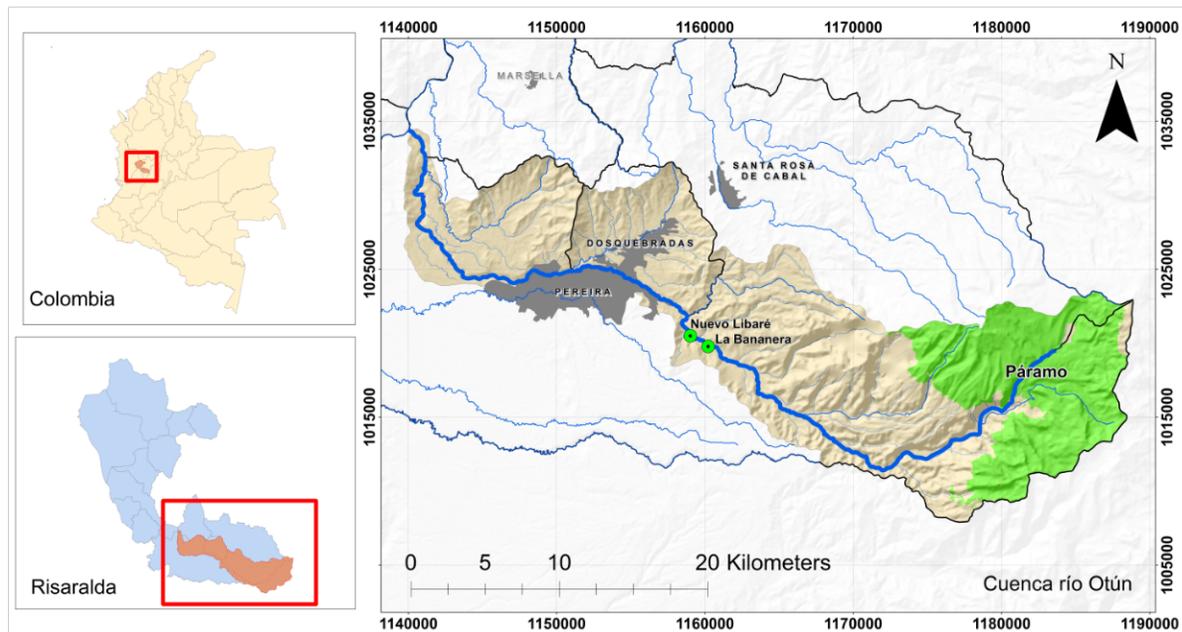


Figure 3. Otún watershed location in Colombia

Map indicates location of the watershed in Colombia and in the Department of Risaralda. Key features such as páramo land cover, location of streamflow measurements, and cities are included.

In this context, where multiple users depend on the watershed for water supply, stakeholders have an inherent interest in the conservation of the watershed. These actors come from multiple groups, including the local Corporación Autónoma Regional (CARDER), a water utility (Aguas Y Aguas S.A. E.S.P. and Serviciudad S.A. E.S.P.), an energy company (Empresa de Energía de Pereira S.A. E.S.P.), a solid waste management company (Aguas y Aseo de Risaralda S.A. E.S.P.), the national parks organization (UAESPNN with the Santuario de Fauna y Flora Otún Quimbaya, the Parque Regional Natural Ucumarí and the Parque Nacional Natural Los Nevados), the municipal government (Área Metropolitana Centro Occidente), planning entities (from the municipalities of Pereira, Dosquebradas and Santa Rosa, and from the Department of Risaralda), along with research groups within universities.

The program - Otún Watershed

The intellectual challenge for work in the Rio Otun watershed was the development of a model for páramos and other Andean wetlands which could lead to an appropriate representation of the hydrology and management of this type of mountain watersheds. This modeling work was consistent with the experience with and interest in Andean hydrology and wetlands held by the local academic group participating in the project.

To achieve a complete representation of the basin, the implementation of the program required that key watershed actors be identified and invited to participate in a watershed participatory planning process that leads to the identification of the watershed physical and institutional context that shape the performance of specific water management actions under consideration. Since the Otún watershed is connected to the La Vieja watershed through the return flows of the city of Pereira, additional actors beyond those mentioned above were convened. A larger set of actors such as other CARs (CVC, CRQ), entities from cities downstream of the city of Pereira (EMCARTAGO E.S.P, CMGRD Cartago), the regional coffee growers association (Comité de Cafeteros del Valle del Cauca), and active NGOs (Fundación Pangea, TNC, WWF) among others, also were invited to participate in a problem formulation exercise.

These participants provided information to complete an XLRM matrix which provided the basis to develop the uncertainty scenarios and management adaptations to be considered. Although most of the information was collected during a specific workshop, many subsequent interactions over the course of a year led to the final characterization of each scenario. The resulting matrix from the participatory process is presented in Table 3.

Table 3. Otún watershed XLRM

X	L
<p><u>Climate change</u> Precipitation: Max increase / Max decrease / Ave increase ~ 40 mm/month / ~ -41 mm/month / ~ 12 mm/month Temperature: Max increase / Min increase / Ave increase ~ 5.1 oC / ~ 1.3 oC / ~ 3.0 oC <u>Demographic change</u>: High / Medium / Low Per capita use: High / Low Water losses in distribution system: High/Low</p>	<p>Forest and páramo conservation Efficient water use E-flows compliance Changes in priorities between water demands and e-flows: Environmental (1) Human consumption (2) Energy (3)</p>
R	M
	<p>Water supply: streamflow at tributaries Domestic, energy and e-flows demand coverage Páramo contribution to streamflow at diversion Baseflow / Interflow/ Surface runoff</p>

Note: The R image of the WEAP model is presented here for illustrative purpose to show WEAP model schematics but not to convey information

Data used for characterizing the watershed in the WEAP model included watershed and subwatershed delineation provided by CARDER based on the 1:25.000 IGAC Digital Elevation Model. Key management points which are the locations within a watershed where water flows are either measured or physically manipulated to meet water management objectives (e.g. reservoirs, points of diversion,

and points of return flow) were used to delineate subwatersheds. In addition, the SRTM 90 m resolution was used to refine the definition of sub-watershed boundaries.

The resulting monthly hydrology and systems operation model downstream to the point of multipurpose diversion represents the supply system for the cities of Pereira and Dosquebradas, and the energy and ecological requirements. The model was built using climate inputs and physical characteristics to analyze climate change vulnerability in terms of the system's capacity to produce water supply for the city of Pereira, and to meet other management objectives. In addition, a model of daily flows representing the *páramo* hydrology was included to estimate the water contribution of this strategic ecosystem.

The two resulting models for the basin included a monthly model for the Otún watershed, and a daily model of the *páramo* above 3,000 m.a.s.l. Both models include a characterization of uncertainties and strategies that produce outputs for different performance metrics. These uncertainties, strategies and metrics were identified through the XLRM problem formulation process (M in Table 3).

Performance of adaptation options - Otún Watershed

After an analysis of different adaptation options, it was possible to identify that actions already taken in the watershed since 1950 - including the conservation of existing *páramo* and forest landscapes and efficient water use - are largely maintaining the functionality of the watershed, which in turn is maintaining a water supply and demand balance despite climate and other future uncertainties, with some exceptions under more extreme future scenarios.

In this context, one adaptation strategy evaluated for the future of the Otún watershed was to explore how water allocation priorities could be adjusted to ensure future system performance. This strategy acknowledges a key management challenge in this watershed which is the continuous provision of water services for urban consumption as well as for the needs of instream ecosystem below the main water diversion. The strategy assigned priorities in the following order: 1st to environment, 2nd to water consumption, 3rd to energy. This regulatory adaptation is a change from current conditions where there is an expectation that all uses will be satisfied which translates into confused and ad hoc decision making at moments when supplies are constrained.

Figure 4 shows a Tableau dashboard that illustrates results for the Otún watershed and its assessed vulnerability where this regulatory adaptation strategy is implemented. Each column shows one of the 7 system performance metrics identified by stakeholders and each row shows a combination of external factors about which there is uncertainty, covering a range of possible futures. In this case, the rows incorporate all possible combinations of the four key uncertainties, combining 6 climate projections, 3 demographic change trajectories, 2 per capita use assumptions, and 2 hypotheses related to water losses in the distribution system, for a total of 72 scenarios. The figure's colors denote the level of vulnerability as a percentage of times the system underperforms relative to user-defined performance thresholds. The red indicates failures occurred with respect to a threshold more than 50% of the time and the green indicates failures occurring less than 50% of the time.

Results indicate that with this regulatory adaptation of water allocation priorities, the main vulnerability of the system is for energy provision, as this user would not receive water until the needs of the cities were met and the instream flow requirements were satisfied. The vulnerability map (Figure 4) for this adaptation option maintains e-flow coverage (2nd column), urban coverage of

Pereira (3rd column), and urban coverage of Dosquebradas (4th column) at low vulnerability levels (failures much less than 50% of the time under all scenarios). However, the energy coverage (5th column with requirement of 5 m³/s) shows high vulnerability for most uncertainty scenarios.

A close look at the *páramo* contribution to the río Otún estimated at the multipurpose diversion point shows that the *páramo* ecosystem contributes about 40% of the total streamflow (Figure 5). For critical dry years in the climate scenarios, base flow contributions from *páramo* make up to 80% of total flows in the low flow month of September. This highlights the importance of efforts to invest in ‘soft adaptation measures’ such as land acquisition programs and restoration of associated strategic ecosystems. The low vulnerability of the water supply system for the city of Pereira is evidently a consequence of the historic efforts made by local actors in maintaining a healthy watershed.

Based on the vulnerability analysis results, an adaptation strategy based on maintaining a priority allocation of 1st to environment, 2nd to water consumption, 3rd to energy is recommended. This type of adaptation measure requires continuous concertation of the parties involved. The results obtained are being shared and socialized with key actors to develop concrete operation rules of the system that conform to this recommendation. Other adaptation options designed to reduce the vulnerability of the energy sector are begin explored, such as variable concessions. This type of adaptation would recognize hydrologic variability adjusting operations to generate more electricity in periods with higher average flows, and setting restrictions for production during dry spells in a manner which reduces the financial burden on the power company.

GCM	Demographic Change	Per capita Use	Water loses in distribution system	Vulnerability_ Water Resources_ Nuevo Libaré	Vulnerability_ Environmental Flow Coverage	Vulnerability_ Domestic Demand Coverage_ Pereira	Vulnerability_ Domestic Demand Coverage_ Dosquebradas	Vulnerability_ Hydropower Demand Coverage	Vulnerability_ Domestic Demand_ Current	Vulnerability_ Domestic Demand_ Future
Max. Increase Precip. (+40 mm/month)	Low	Low	Low	[Red]	[Green]	[Green]	[Green]	[Light Green]	[Green]	[Green]
		High	High							
	Medium	Low	Low							
		High	High							
	High	Low	Low							
		High	High							
Ave. Increase Precip. (+12 mm/month)	Low	Low	Low	[Dark Red]	[Green]	[Green]	[Green]	[Red]	[Green]	[Green]
		High	High							
	Medium	Low	Low							
		High	High							
	High	Low	Low							
		High	High							
Max. Decrease Precip. (-41 mm/month)	Low	Low	Low	[Red]	[Green]	[Green]	[Green]	[Light Red]	[Green]	[Green]
		High	High							
	Medium	Low	Low							
		High	High							
	High	Low	Low							
		High	High							
Max. Increase Temp. (+5.1 oC)	Low	Low	Low	[Red]	[Green]	[Green]	[Green]	[Red]	[Green]	[Green]
		High	High							
	Medium	Low	Low							
		High	High							
	High	Low	Low							
		High	High							
Ave. Increase Temp. (+3.0 oC)	Low	Low	Low	[Light Red]	[Green]	[Green]	[Green]	[Light Green]	[Green]	[Green]
		High	High							
	Medium	Low	Low							
		High	High							
	High	Low	Low							
		High	High							
Min. Increase Temp. (+1.3 oC)	Low	Low	Low	[Dark Red]	[Green]	[Green]	[Green]	[Red]	[Green]	[Green]
		High	High							
	Medium	Low	Low							
		High	High							
	High	Low	Low							
		High	High							

Figure 4. Vulnerability map for Otún River at the diversion point

The matrix indicates the vulnerability of the system after applying the adaptation strategy identified in percent terms for key performance metric. Green denotes below 50% and red above 50% vulnerability for four of the uncertainties evaluated.



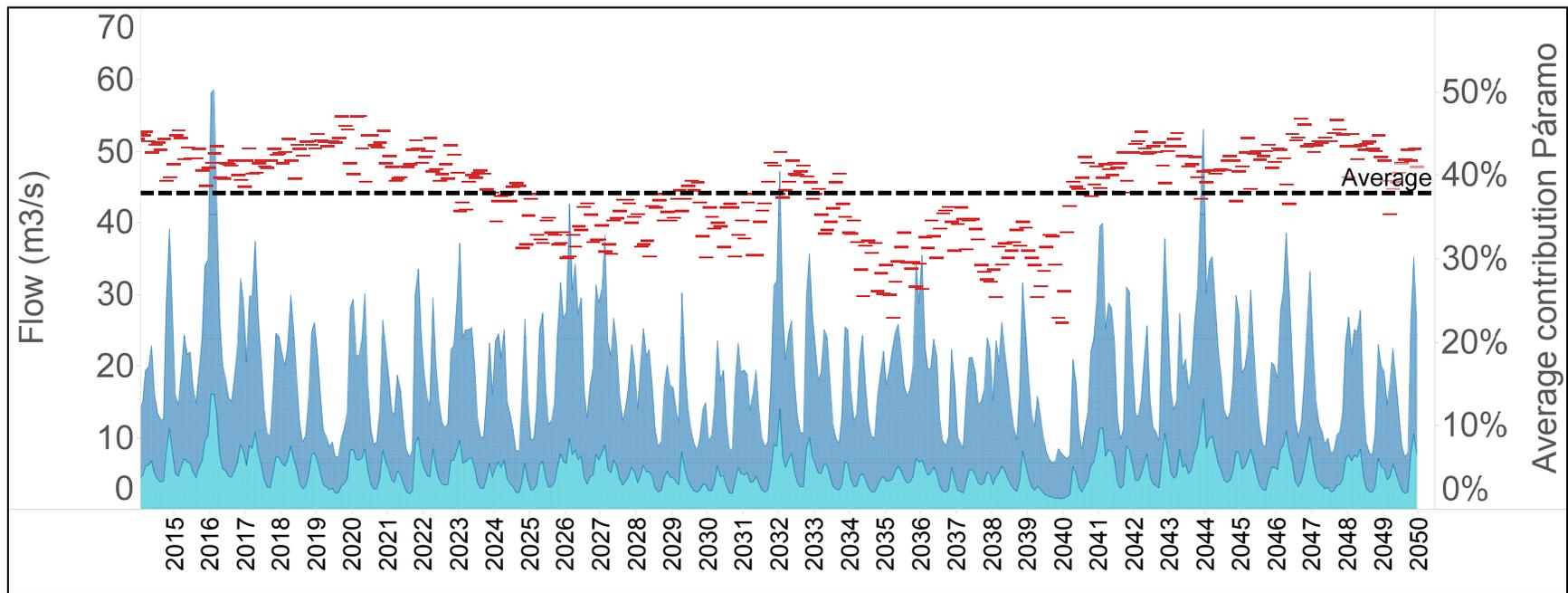


Figure 5. Average of streamflow contribution from páramo for the six GCMs used at Nuevo Libaré intake at Río Otún.

The y axes on the left indicate flow, and on the right indicate the average contribution from páramo, which is denoted by red dashes throughout the timeseries. Light blue shows the actual value of streamflow and dark blue the total flows at the point of measurement.

Lessons learned and recommendations

The application of the RDS program in the Otún watershed highlighted the fact that, prior to the project, local institutions and academia did not possess the technical capacities to identify watershed scale climate adaptation options. In addition to the modeling knowledge to produce information for decision making under uncertainty, the learning through the participatory methodology provided sufficient regional knowledge to enable future applications of the RDS process in the region.

The process also highlighted that climate change is not only a challenge requiring a technical solution. It poses environmental, cultural and political challenges that requires that societies evolve and that institutions transform to confront the adaptation challenges. For instance, technical and participatory process efforts enabled a constructive dialogue with the IDEAM, which evolved from a guarded position in terms of data sharing to an open disposition to cooperate with regional institutions. The willingness to share data, as part of the new National Hydrologic Information System that was being developed by IDEAM in parallel to project implementation, bodes well for the construction of WEAP models in support of RDS processes in other watersheds. However, results also have implications for other key stakeholders, such as those inhabiting the *páramo* areas. Despite the importance of *páramos*, conflicts associated with land use persist even within protected areas which threatened the current conservation efforts. Since working with communities was beyond the scope of this project, a recommendation is to develop a process oriented to improve water governance that reaches out to those that live in water supply regions of the watershed. These efforts should create greater outreach than existing efforts led by the local CARs and water utilities and is entirely consistent with the recognition that in post-conflict Colombia the ability of residents to ensure livelihoods in rural areas will determine the opportunity for development and stability downstream

Despite the progress made, there are challenges for ensuring the sustainability of the tools for carrying out climate analysis into the future - in particular their need for continuous updating -, and of the capacity built with technical groups within key water management institutions – which require time and support to transition from understanding the modeling and analysis carried out on the project to using it as part of their daily activities.

For the tools to remain useful, it will be necessary to continue updating the WEAP model of the Otún river. Updating of the climate and adaptation analysis tools can be achieved as long as climatic information gathered within the watershed is improved with new instruments. The data produced can be used to improve the calibration and validation of the models. A goal here is to improve analysis of the *páramos* which currently possess a low density of hydro-climatologic stations leading to a situation where the existing historical information is scarce. The importance of *páramo* for its hydrologic regulation capacity calls for improved quantity, quality and availability of information. It is key that instrumentation programs, which include installing equipment and recording hydro-meteorological data, of these ecosystems are strengthened through monitoring initiatives.

One way to face the challenge of capacity building is to strengthen regional universities. In this particular case, the research center that participated in the project is using the models built and the WEAP training materials available to train new professionals. To date, over 100 students in the 2nd year of a 5 year program have been trained in the basic use of WEAP. This group is also using the models to support new research questions about climate adaptation such as comparative studies of

small subwatersheds that have different responses based on land use practices. This type of new analysis may lead to new opportunities to support decision making by CARs and water utilities in their planning efforts.

Major accomplishments

This Otún river component of the project resulted in two models being built, one based on a monthly that provides information at the multipurpose water diversion, and one at daily time step for *páramo* hydrology. Both models are ready to be used, updated and refined for decision-making support.

Regarding capacity building, the project led to a decision to teach WEAP at a hydroclimatologic course available through environmental studies at the university. Through this course, it has been possible to train more than 100 students in the basic modules of the tool. For this, the local university has generated 3 videos for building a base model ([Video 1](#), [Video 2](#), [Video 3](#)), which explain the general functions and highlight its potential use in integrated water resources management. Students have shown great interest in deepening their knowledge about WEAP. A total of three students have used WEAP in their theses. In addition to the academic learning, several WEAP training sessions were given to local CAR and water utilities. Basic WEAP modules of model conceptualization were covered during these sessions, including basic water quality modeling and Tableau Visualization. A total of six sessions with an average assistance of eight people were given.

Regarding planning instruments, the PORH of the Otún river was contracted and finished in a process parallel to the project, using the WEAP model. This parallel implementation highlighted the importance of incorporating climate analysis and RDS into watershed planning. Although the specifications of this planning instrument required conventional scenario analysis, climate analysis was incorporated using the RDS process. This PORH represents an opportunity for the Otún river planning processes in that this effort led to the construction of a model on a daily timescale for the whole watershed, which built upon the monthly watershed and daily *páramo* models achieved within the scope of the project. This project deepened the RDS learning within the local CAR and allowed for the incorporation of climate uncertainty as a key variable in water and land use planning of the territory. This is the sort of local, bottom-up, learning that can inform national level policy and incorporate climate change considerations into nationally mandated environmental planning instruments.

Evidence of impact

One of the mandated water related plans in Colombia is the Water Resources Management Plan (abbreviated as PORH in Spanish). This plan involves a participatory process whereby water allocation and management actions designed to meet water quality and aquatic ecosystem objectives are set. CARDER, the CAR with jurisdiction in the Rio Otún watershed, developed a PORH and decided to contract with UTP so that the WEAP model constructed under the current project, deployed within the RDS framework, could be used to support the development of the plan. That there is both an interest in and the capacity to use these tools in this way confirms the impact of the project in this region. Moreover, the output of this endeavor led to the incorporation of climate considerations in water and territorial

A unique feature of project activity in the Rio Otún watershed was the participation of the water supply utility for the City of Pereira, Aguas y Aguas. For a number of years, this partner has been considering various water management options to prepare Pereira for changing future conditions defined primarily by population growth and changing regulations related to water quality and environmental flows. As part of the project, these actions were examined through the lens of climate change uncertainty as well, leading colleagues within Aguas y Aguas to consider them not just as potential water management options but as potential climate change adaptation measures (this is detailed in Appendix 1 where project indicators are described and SEI-13 corresponds to the description of these adaptation measures). This analysis, and the associated reevaluation of these actions, motivated the decision to include them amongst a set of climate change adaptation actions identified by the project.

La Vieja Watershed



Context La Vieja Watershed

The La Vieja watershed drains the western slope of the central mountain range of the Colombian Andes. This basin is part of the eco-region named the 'Coffee Region', and is shared by the departments of Quindío (68%), Valle del Cauca (22%) and Risaralda (10%). This shared jurisdiction requires that the basin be managed by the three CARs from the three departments which are the CRQ, CVC, and CARDER (Figure 6).

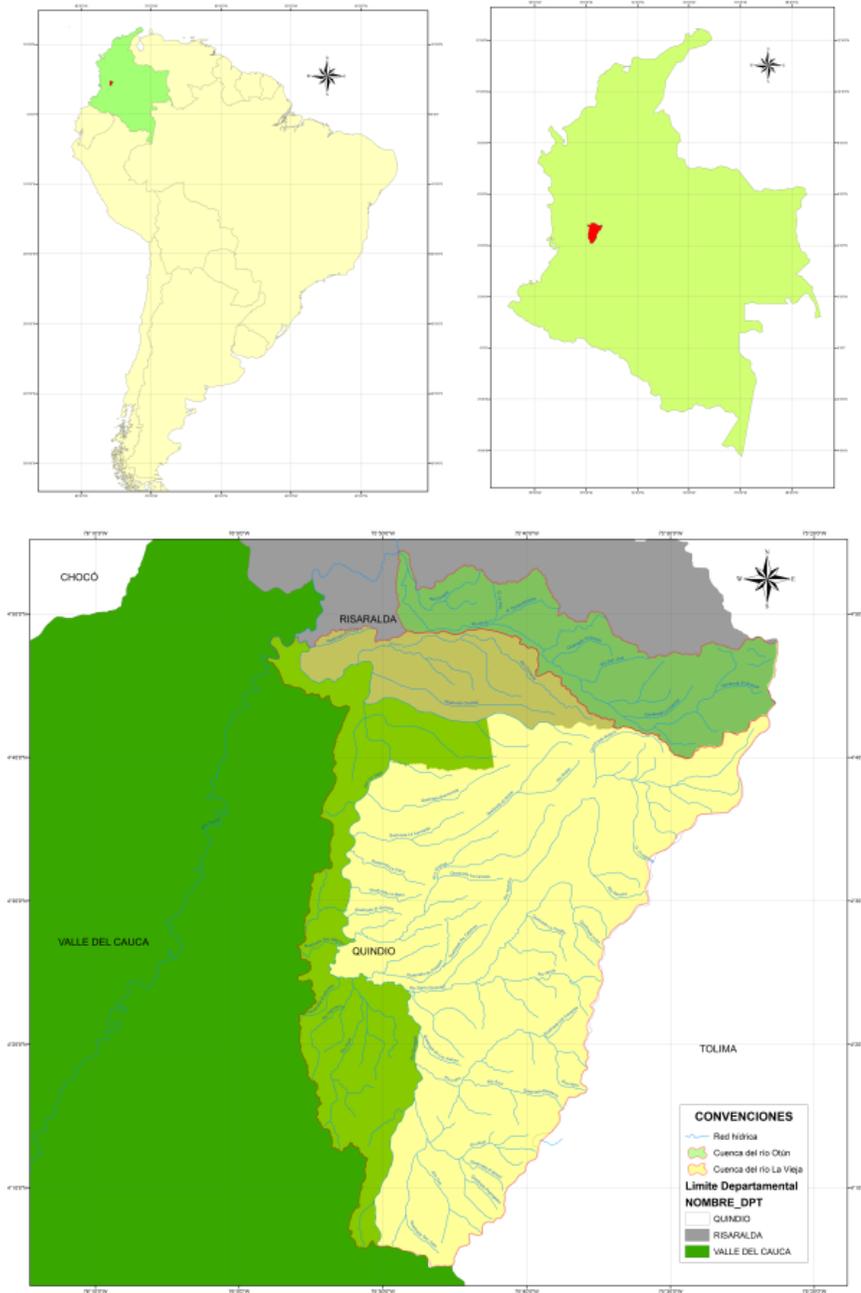


Figure 6. La Vieja watershed location

La Vieja location next to the Otún watershed

highlighting the partition between departmental jurisdictions as indicated by the colors

The La Vieja river mainstem is formed by the confluence of the Quindío and Barragan rivers, and it is one of the main tributaries to the Cauca River, with 360 km of first order drainage which inflow to the main stem, and a water supply production of 34 liters/s/km² which is equivalent to a hydrologic supply of 2.975,74 Mm³/year.

Actors from the watershed were convened to provide information to contextualize the climate change challenges and adaptation options. Interactions through participatory engagement with a similar set of actors in the Otun River case led to the identification of key watershed features and development trajectories which were classified as either uncertain factors or potential adaptation options. In addition to water utilities, government institutions, and research groups, representatives from the coffee sector provided their perspective and shared information relevant to water use and water pollution associated with coffee production.

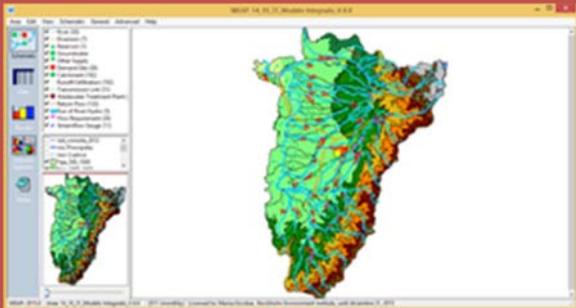
The program – La Vieja watershed

The most relevant aspect of the program in this watershed was the modeling of wastewater treatment and water quality integrated within the quantification of the water supply and demand of the system. This activity required modeling elements – such as watersheds, canals, reservoirs, demand sites - to represent wastewater treatment and water quality in WEAP – in particular the critical elements of the wastewater system of the city of Pereira and of the water intake for the downstream city of Cartago - in addition to the rainfall runoff estimations. The water quality modeling aspect was advanced by CINARA, a research group known nationwide for their experience in water quality and wastewater treatment, while the water quantity component was advanced by CIDERA, a leading Quindío-based research team with experience in water management.

Water quality modeling required representations of wastewater discharges throughout the watershed including those associated with coffee growing and processing. Water quantity modeling required creating a model structure for the Rio La Vieja, connected to the Otún watershed, to represent water demand and supply which then could be connected to the water quality modeling. The two challenges of water quality and quantity required parallel analysis that were ultimately integrated. The model was built as a step towards the consideration of climate uncertainty for this region developed through the application of the RDS participatory process and the subsequent definition of the ensemble of scenarios.

The end result was an integrated WEAP-QUAL2K model that could be used for the evaluation of water quantity and quality of the La Vieja watershed. Using this model enabled the evaluation of the benefits of specific strategies to control water quality impacts at the watershed scale that emerged from the participatory process and the completion of an XLRM contextualization (Table 4).

Table 4. La Vieja watershed XLRM.

X	L
Climate change Demographic change Per capita use Water losses in distribution system Agricultural dynamics	No strategy Wastewater treatment system Domestic Sector Coffee Sector E-flow Reduction of unaccounted for water (RIANF)
R	M
	DBO levels Municipal water coverage E-flow coverage

Note: The R image of the WEAP model is presented here for illustrative purpose, not to convey information

Water quantity adaptation strategies identified included reducing unaccounted for water which is a form of illegal withdrawal of water from streams, and enhanced compliance with e-flow requirements. Water quality adaptation strategies identified included the implementation of wastewater treatment plants for the domestic municipal sector and for the coffee sector, given that together these sectors contribute up to 70% of the total point load of the La Vieja river from its tributaries – the equivalent to 11 tons of DBO₅/day. By simulating water quality and considering the implementation of the two strategies for controlling water pollution, it was possible to assess the combined effect of municipal wastewater treatment plants and of improved wastewater management efforts in the coffee sector.

Performance of adaptation options – La Vieja watershed

As indicated above, the main strategies for water contamination control that were evaluated included wastewater treatment systems for the municipal and coffee sectors. For the urban sector, the treatment plant proposed corresponded to the PSMV or municipal plans for wastewater treatment and sanitation. Each potential municipality's treatment system was assigned a unique initial start-up year, its on level of wastewater coverage and its own efficiency in DBO₅ removal, consistent with available plans. This information was provided by the CARs with jurisdiction within the study watershed. For the coffee sector, the system proposed included an anaerobic wastewater treatment to process waste from coffee production. Small and medium size coffee farms were represented in a distributed form according to their location in the watershed. In the coffee processing steps, the wastewater treatment plan simulated efforts to treat wastewater resulting from processing the cherries to obtain the bean for commercialization. These plants were represented to include a DBO₅ removal efficiency of 70% (Cenicafé, 1999). This strategy envisaged a gradual application of wastewater treatment, assuming

that by 2025 50% of small and median size coffee growers had treatment implemented, and by 2050 all had implemented the strategy.

For the 2011-2040 period the scenario in which no wastewater management strategies were implemented shows a visible decline in water quality because of the increase in population (Figure 7 – blue line). This trend is exacerbated by higher municipal residual load and an increase in contaminant load given an increase in coffee production. The evaluation of the DBO₅ for the same period with municipal wastewater treatment plants implemented shows an improvement in the water quality in the river along its profile (red line). Implementing the wastewater system treatment for the coffee sector shows a reduction in DBO₅ and an improvement in water quality along the main stem of the river (green line). This strategy presents better results in terms of reducing DBO₅ than the municipal wastewater system treatment for this watershed. However, the combination of both wastewater treatment strategies show even greater water quality performance along the La Vieja (purple line). With this strategy, DBO₅ is reduced up to 2 mg/L with respect to the no-action trend in the outlet to the Cauca River at the 90th km downstream of the headwaters of the river.

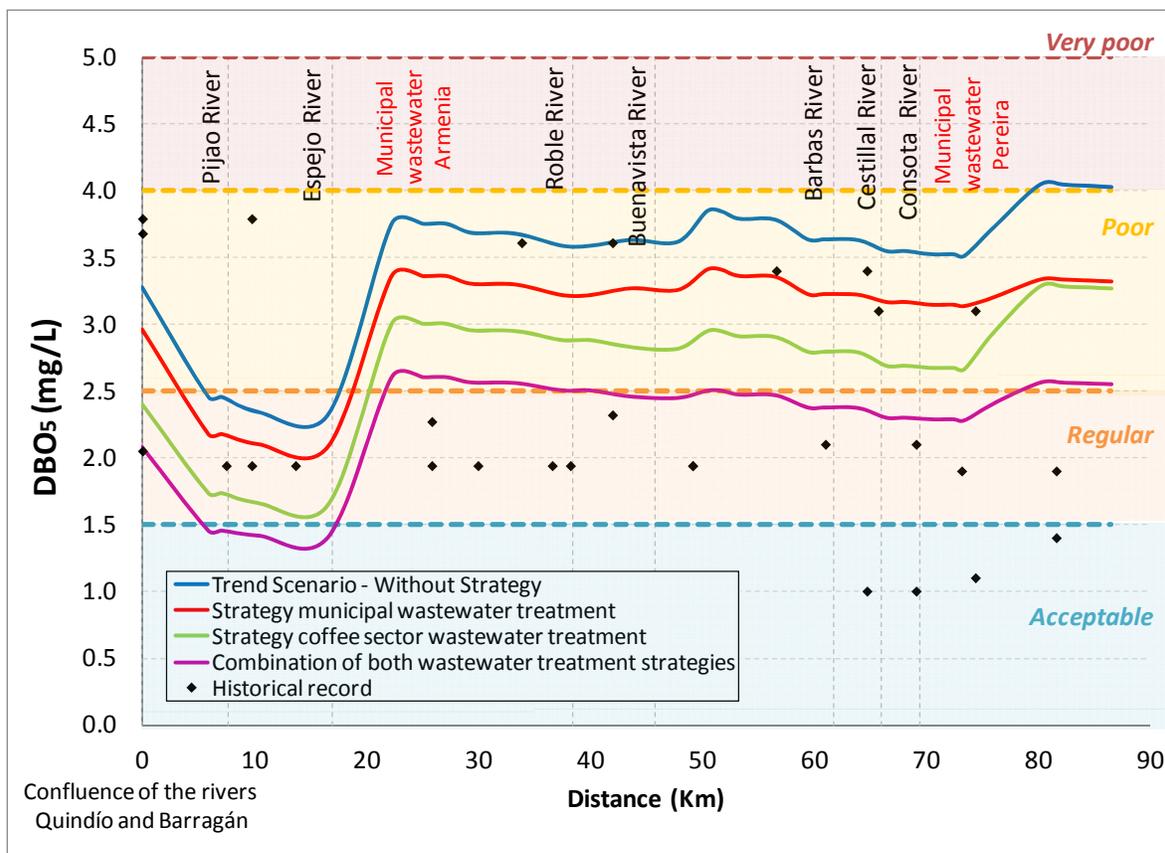


Figure 7. Water quality profile for La Vieja for 2040 with the implementation of strategies

X axes indicate the longitudinal direction of La Vieja River from upstream (left) to downstream (right) to the confluence with Rio Cauca. Each line of the long profile indicates a different scenario as described by the legend and the colors. Key features are indicated such as wastewater inflows and river confluences.

For the water quantity analysis, it was necessary to integrate a model that included the Otún and La Vieja watersheds. This model included the same level of uncertainties as those described for the Otún system, but including an additional uncertainty associated to the increase in agricultural areas under

coffee production. For the integrated model of water quantity, the reduction in unaccounted for water and enhanced e-flows were included as potential water management adaptations to climate change (Table 4, corresponding to the Ls or strategies).

The integrated model included 37 tributaries to the Rio La Vieja and 17 urban demands, 4 hydropower demands represented by small hydropower plants on the Quindío River, as well as agricultural and coffee production water demands. Allocation priority was given first to e-flows, followed by human consumption and finally to other water uses.

The combination of the uncertainties and adaptation strategies (from Table 4) generated a combination of 1728 possible scenarios, which were run as part of an automated ensemble. The set of scenarios produced a large dataset of outputs for each of the performance metrics identified by stakeholders as part of the participatory process (from Table 4), that were analyzed using a visualization tool.

The main results of the watershed climate vulnerability analysis of the 16 urban demands for the time horizon investigated indicated that the towns of Armenia, Circasia, La Tebaida and Salento have higher vulnerability in terms of supply constraints under most uncertainty scenarios analyzed (Figure 8). Each column shows one of the 16 system performance metrics, in this case associated with urban demands for the municipalities in Quindío. Each row shows a combination of external factors about which there is uncertainty to encompass a range of possible future scenarios. All the metrics and uncertainties were defined by stakeholders. This graphic incorporated four dimensions of uncertainty; in this case rows incorporate all possible combinations of the four designated uncertainties combining 6 climate alternatives, 4 demographic change scenarios, 2 sets of assumptions related to per capita water use, and 2 hypotheses related to water losses in the distribution system, for a total of 96 scenarios. The figure's colors denote the level of vulnerability as a percentage of times the system underperforms with respect to a threshold performance level defined by stakeholders. The red scale indicates the level of vulnerability (deep red, higher vulnerability).

Given the projections of vulnerability for the urban demands, various adaptation options were analyzed for possible reductions in vulnerability. In Figure 9, the vulnerability range is represented in the following color scheme: green represents a positive change (reduction in vulnerability), a red color represents a negative change (increase in vulnerability, and gray colors indicate that there were no significant changes associated with the adaptation action in question. The intensity in color varies from dark green (large improvement) to red (large increase in vulnerability). These results provide a dynamic interface to interact with stakeholders regarding the implications of specific adaptation actions. In this particular case, the two adaptation options are presented in the columns and compared against each other. The RIANF² (reduction of unaccounted water) option reduces vulnerability to urban demands, while complying with e-flows would increase it.

Here it is worth noting that the options to increase e-flow requirements would be pursued primarily to improve ecological and water quality conditions in the rivers downstream of the points of water diversion. This is a key performance metric as it is in other rivers in Colombia. Absent any change to

² This strategy is well studied in the literature, and includes reducing the unaccounted water by reducing non-authorized water use, improving water use quantification, reducing water meter reading errors, improving data management, and reducing water losses in conveyance systems, among other strategies

either reduce the demands associated with water diversions or to increase the supply of water available at the point of diversion, there would be a direct tradeoff between the diversion of water and the decision to let it pass in order to improve downstream conditions. Fortunately this is not the case as there are opportunities to decrease demands (the case of reducing unaccounted for water was considered as part of this analysis), and investments to improve conditions in the upper watershed could yield more water at the points of diversion during key low flow periods. This strategy will be considered as part of land-use planning efforts being undertaken using the tools developed by this project in collaboration with municipalities located in the upper portions of the watershed (POTs or in the case of smaller municipalities EOTs).



Figure 8. Vulnerability map of urban demands in Rio La Vieja

Vulnerability map on a scale from 0-1 and color gradation in reds. Each column indicates a different municipality and the darker colors indicate higher vulnerability to the different sets of uncertainties.

Estrategia	Clima	Poblacion	Consumo	Eficiencia	Armenia	Akcala	Buenavista	Caicedonia	Calarca	Cartago	Circasia	Cordoba	Filandia	Genova	La Tebaida	Montenegro	Pijao	Quimbaya	Salento	Ulloa
Sin Estrategia	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				0.00%				0.00%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				0.00%				0.00%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				0.00%				0.00%	
QE	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				1.67%				0.00%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				1.25%				1.30%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						-0.76%				0.00%				-0.26%	
RIANF	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	-4.92%						-3.40%				-4.17%				-4.36%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	-3.70%						-2.53%				-2.50%				-1.30%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	-6.52%						-4.53%				-5.15%				-3.93%	



Figure 9. Change in vulnerability of urban demand with e-flows (QE) and reduction of unaccounted water (RIANF) in the Rio La Vieja

Changes in vulnerability are indicated with color schemes according to the legend. Increased vulnerability due to a given strategy indicate negative effect on certain metrics as shown by red gradations, and vice versa for strategies that can improve the conditions which present a green gradation.

Lessons learned – La Vieja

For the coffee sector, and particularly small and medium coffee farmers, to be able to implement new wastewater treatment strategies it will need to obtain economic resources. Additionally, the evident reduction in climate vulnerability in terms of water quality from coffee treatment wastewater treatment plants, calls for greater control by the environmental authorities over wastewater from the coffee sector to comply with water quality objectives. These may require mechanisms such as establishing contaminant loads by sector, and implementing programs to incentivize the adoption of treatment technologies.

For the implementation of the combined strategy of the domestic and coffee sectors, it is necessary to develop a financial plan to implement each of the strategies individually. This evaluation should include a cost-benefit analysis of the gradual implementation of the strategies by sector to guide the selection and ultimate financing of the projects.

The water quality analysis could also be complemented by introducing additional water pollution control measures such as domestic wastewater reuse, implementation of low water use devices within households and cleaner production within the industrial sector. The tools and capacity are already in place in the region to continue this analytical process which can provide invaluable information about regional decisions for adaptation. The combination of such strategies, implemented at a watershed scale, could result in a more effective cost-benefit strategy that can help achieve water quality objectives responsive to societal needs.

Urban demands present higher vulnerability in the towns of Salento, Circasia, Armenia and La Tebaida. These municipalities are all dependent on the Quindío watershed and are of great economic importance to the region in terms of tourism and as economic development centers. As such, the Quindío river presents higher levels of stress over water resources which can have implications for economic activities. The tradeoff is that the scenarios analyzed give a higher priority to e-flows. In this case, based on the uncertainties and adaptation strategies considered, it was possible to maintain e-flows at the points of greater diversions in the Quindío river. However other points of diversions including the Tebaida diversion, PCH El Bosque, PCH Campestre and La Unión were not able to sustain required e-flows within the river below these points of diversion under the different scenarios.

According to the climate scenarios and economic growth trends obtained for La Vieja and its tributaries, if nothing is done there will be implications in terms of reduction of water supply and increases in water pollution levels as a result of socioeconomic activities of the region. This situation should be the departure point to create an action plan that seeks to increase stakeholders' engagement in water resources and the environment planning efforts, and to mobilize funds to support the adaptation actions that they identify.

Major accomplishments

With the La Vieja WEAP model, CRQ, CARDER, CVC now have a management and planning tool to support decisions for water resources, providing a greater understanding of the functions of the water system and enabling a supply-demand analysis at a temporal and spatial scale that encompasses climate effects at the watershed dimension.

The inter-institutional and interdisciplinary work during the implementation of the project was complex and constituted a challenge throughout the project. This reflected the difficulties in terms of coordination to implement integrated water resources management.

Key accomplishments of the project were the strengthening of research team capacities, the production of tools for decision making and the capacity-building to use them for future planning processes. The flexibility of WEAP to work on integrated water quality and water quantity representations led to an integrated model that can help understand the dynamics of a complex, interconnected system.

Finally, an important outcome of the project is the development of research and academic programs. This has created a regional capacity to apply knowledge and tools in academic programs such as sanitary and environmental engineering programs at the undergraduate and graduate levels, as well as in integrated water resources and in environmental modeling.

Evidence of impact

Activity in the La Vieja system produced two key indicators of impact. The first involved a decision to transfer the experience to another location, as demonstrated by the CVC decision to use the WEAP-based RDS approach, through a contract with UniValle, to develop a PORH for the Bolo-Frayle sub watershed. The second involved the decision by single municipality in the La Vieja sub-watershed, Salento, to refine the analysis conducted at the watershed scale in support of a EOT, which is the land use plan for a smaller community. Rather than develop their own analysis of climate change inputs, this important headwater community used the project analysis to carry out a more refined level of analysis. One important evidence of impact is that prior to the project, local water managers had never succeeded in carrying out and integrating water quantity/water quality analysis as part of

Alto Magdalena Watershed



Context Alto Magdalena

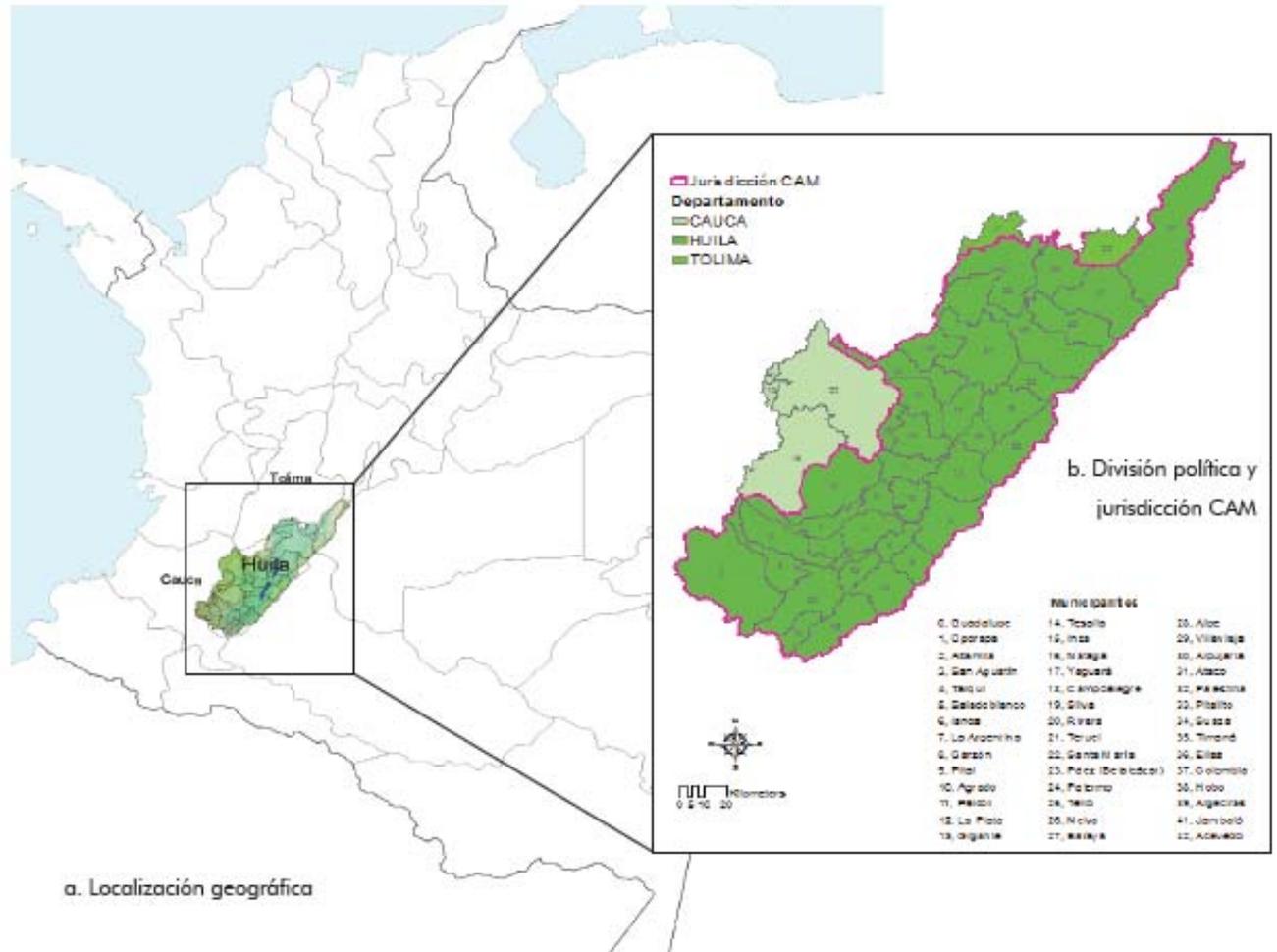


Figure 10. Alto Magdalena watershed location

Alto Magdalena watershed at the headwaters of the Magdalena River. The Huila department and the CAM jurisdiction have an area smaller than the watershed as indicated in the colors.

The Alto Magdalena watershed begins at the ‘Macizo Colombiano’ where the central and eastern mountain ranges of Colombia converge within the Huila Department in the southern part of Colombia (Figure 10). The watershed has an elevation range from 5750 meters above sea level at the Nevado del Huila on the boundary with the Cauca Department, to 325 meters above sea level at the point where the Magdalena River flows into the Tolima department.

The total area of the watershed is 22,171 km² which encompasses the whole Huila Department, and parts of the Páez, Patá and Cabrera Rivers shared with the neighboring departments of Cauca and Tolima, respectively. Water supply from this watershed runs at an average of 555 m³/s, with a minimum of 215 m³/s during the dry period, which is critical as this water contributes substantially to the larger, and vitally important Magdalena-Cauca basin.

Since the Alto Magdalena is a large area, the development of mandated water and watershed planning instruments is typically defined at smaller scales within subwatersheds where water management institutions, agriculture communities and urban entities can actually exert water management actions to improve water management outcomes. As a result, adaptation measures and watershed modeling were considered not only for the mesoscale of the Alto Magdalena watershed but also for some of its tributaries including: the Río Neiva; the Río Ceibas; and The Río Aipe (Table 5). The problem formulation in these basins was developed during an initial overarching XLRM participatory process that took place in October 2013. As a consequence, the higher level watershed context developed for the Alto Magdalena watershed needed to be scaled down to the individual subwatersheds in which the project set out to support planning processes. For this, other participatory processes of consultation, cooperation and co-learning occurred through meetings, visits and work with relevant actors.

Evidence of impact

Colombia invested a great deal of effort in the development of National Water Study (ENA) that attempted to calculate some high level indicators related to the status of water resources within the country. Having done so, the goal was to disaggregate this information by sub-watershed as part of a Regional Water Evaluation (ERA). Both efforts rely heavily on the use of historical data and have limited utility if forward looking estimates of key indicators cannot be linked to model output. For the Rio Neiva sub-watershed in Huila, SEI supported the CAM in estimating changes in ERA indicators from WEAP output under future scenarios. This work was featured at a national workshop on innovation for ERA implementation organized by IDEAM, at which several other CARS expressed their desire to use a similar approach to developing ERAs within their jurisdictions. This prompted IDEAM

One example of the detailed work done for the Rio Ceibas watershed shows how the higher level institutional contextualization exercise was scaled down to work with communities. This activity required the adjustment of the technical RDS steps using a more colloquial language to communicate with local actors. The output of this work provided insights into relevant aspects of this watershed as part of the effort undertaken by the local CAR to implement a POMCA in the basin.

Table 5. Alto Magdalena watershed and tributaries under study, and planning processes being supported

Watershed	Area (km2)	Planning process being supported
Alto Magdalena	22,171	Huila Climate Action Plan
Río Neiva	1,062	Regional Water Study (ERA)
Río Ceibas	1,200	Integrated watershed plan (POMCA)
Río Aipe	705	Small hydro development and licensing

The program – Alto Magdalena

The program in the Alto Magdalena watershed followed the structure of the program implemented in the Otún-La Vieja region. The efforts sought to support the development and implementation of the Climate Action Plan for the Huila Department under the leadership of the CAM. Efforts to implement the proposed program had three primary objectives:

1. Develop a set of analytical tools that could be used by the CAM and other regional partners to support the preparation of planning documents for the Huila Department.
2. Build the capacity of experts within the CAM and in other institutions in the Huila Region to use these tools.
3. Work with local academic experts to use the analytical tools to develop the Huila 2050 Climate Action Plan and respond to other regional needs.

Although the work in this region, as in La Vieja region, followed the RDS approach, the administration of the project was organized through a direct collaboration with the CAM. Activities in Huila between SEI and the CAM led to the creation of a team of CAM technicians that could carry out the technical work in parallel with local universities in Huila, as opposed to being dependent on these academic partners. As a consequence, the CAM involvement in project implementation was much more substantial than the involvement of CARs in La Vieja. The university partner had a more focused technical role – as opposed to the mixed administration, training, and technical role played by the university partners in La Vieja - to support the application of the WEAP software to a specific subwatershed in the Alto Magdalena region to investigate the specific issue of potential climate change impacts on coffee production in Huila.

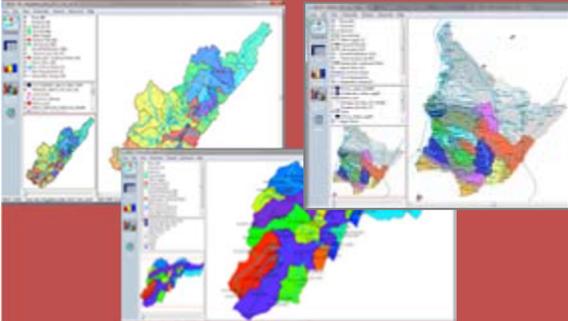
Due to the focus on the Huila 2015 Plan, the work in Huila was connected to an integrated assessment of climate change mitigation and adaptation opportunities. One of the outcomes of activity in Huila was a contribution to a new planning document: the Huila 2050 Climate Action Plan, which was not legally required by national policy. This document included action lines directly related to the project work in terms of calling for the construction of tools for the evaluation of watershed adaptation actions and the support of efforts to develop mandated water and watershed planning instruments. The action lines of the Huila 2040 plan were supported by the project included modeling of the Alto Magdalena basin under climate scenarios and other future uncertainties, modeling of the Ceibas watershed with a focus on climate adaptation to support the POMCA, and the assessment of hydropower potential under climate change scenarios.

The collaborative development and deployment with the CAM team of the analytical tool kit that considered water management adaptation opportunities in the Huila 2050 Climate Action Plan followed the RDS process. After an assessment and mapping of the key actors, an XLRM evaluation was carried out to identify adaptation strategies. A total of 4 key uncertainties and 5 adaptation strategies were studied.

The Alto Magdalena watershed was divided up into subwatersheds and elevation bands which generated 208 catchments within which rainfall runoff processes were generated. The input datasets

included climate information³, land cover types⁴, demand requirements, system operations for Betania (existing), Quimbo (being filled) and Oporapa (possible in the future) reservoirs, 6 small hydropower sites as well as sites where e-flows are defined. The model included 42 water demands associated with cities and towns. A total of 31 points of streamflow observation were used to support model calibration. The historic model ran on a monthly time scale for a period of 1970-2010. The combination of uncertainties and strategies led to the generation of cases within and ensemble run for the 2015-2050 planning (Table 6).

Table 6. Alto Magdalena XLRM

X	L
<p>Historic climate Climate change: three scenarios based on GCMs Population growth: high (3.6%), mid (1.6%), low (0.1%). Two levels of per capita water use: high (200 l/hab*day) and low (150 l/hab*day) Infrastructure: hydroelectric generation of Oporapa</p>	<p>Base case Conservation of protected areas in parks Two levels of reduction in distribution losses: high 20% - low 35% E-flows at reservoir E-flows at PCHs For Ceibas: supply options such as pumping from Rio Magdalena, groundwater pumping up to 67 l/s, diversion from Fortalecillas</p>
R	M
	<p>Urban demand coverage Agricultural demand coverage E-flows coverage</p>

Note: The R image of the WEAP model is presented here for illustrative purpose, not to convey information

In addition to the Alto Magdalena model, and through the identification of key planning processes being advanced by the CAM, the project generated windows of analysis with greater detail in some watersheds. Some of these were linked to the action lines of the Huila 2015 Plan. For instance, the Ceibas model focused on supporting the POMCA formulation process by including climate change adaptation elements, and included the Fortalecillas river to consider the development of a potential

³ Suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 146 estaciones pluviométricas y 23 estaciones climatológicas con un periodo de información de Enero de 1970 a Julio del 2011 con datos diarios.

⁴ Páramo, bosque, pastos, café, arroz, cultivos agrícolas, zonas urbanas, suelo desnudo, aguas abiertas.

diversion point. Also, the Aipe model focused on the evaluation of small hydropower and included the indices of hydrologic alteration (IHAs) which are useful inputs for e-flow definitions that might accompany a decision to develop specific small hydropower projects.

Other detailed watershed models were developed in collaboration with the CAM and to support other planning processes. The Rio Neiva model focused on the regional water evaluation (ERA for its acronym in Spanish), a set of indicators that follow IDEAM guidelines that is being implemented as a pilot exercise in the region (Figure 11).

Figure 11 shows how various values of the proposed IDEAM ERA indicators vary according to subwatershed within the Rio Neiva system as a function of different future scenarios, in tabular and map-based formats. Information on the suite of water management options considered using the various model developed in the Alto Magdalena region and the lessons learned in the process is also presented in tables below.

MicroCuenca	IA	IRH	IUA	IVH	IVET
01 - Q. BEJUCAL	Yellow	Yellow	Blue	Green	Yellow
02 - Q. CARAGUAJA	Green	Yellow	Red	Orange	Yellow
03 - Q. EL ALBADAN	Yellow	Orange	Yellow	Orange	Yellow
04 - Q. EL GUADUAL	Yellow	Green	Blue	Blue	Yellow
05 - Q. EL QUEBRADON M	Green	Green	Blue	Orange	Yellow
06 - Q. EL QUEBRADON S	Green	Yellow	Blue	Green	Yellow
07 - Q. LA CIENAGA	Green	Blue	Red	Yellow	Yellow
08 - Q. LA PERDIZ	Yellow	Green	Orange	Yellow	Orange
09 - Q. LAS DAMAS	Yellow	Green	Green	Green	Yellow
10 - Q. LAS TAPIAS	Green	Yellow	Orange	Orange	Yellow
11 - Q. LEJIA 1	Green	Green	Blue	Blue	Yellow
12 - Q. LEJIA 2	Yellow	Green	Blue	Blue	Yellow
13 - Q. LOS NEGROS	Green	Green	Green	Green	Yellow
14 - Q. OTAS	Yellow	Yellow	Red	Orange	Yellow
15 - Q. RIVERA	Yellow	Green	Green	Green	Yellow
16 - Q. SANTA LUCIA	Green	Yellow	Blue	Green	Yellow
17 - Q. SARDINATA	Yellow	Orange	Green	Yellow	Orange
18 - R. BLANCO	Yellow	Yellow	Blue	Green	Yellow
19 - R. BLANCO ALTO	Green	Yellow	Blue	Green	Yellow
20 - R. FRIO CAMPOALEG	Green	Green	Orange	Yellow	Yellow
21 - R. NEIVA_Bajo	Green	Yellow	Red	Orange	Yellow
22 - R. NEIVA_Alto	Green	Green	Green	Green	Orange
23 - R. NEIVA_Medio	Yellow	Green	Green	Green	Yellow

Índice de Uso del Agua superficial (IUA)

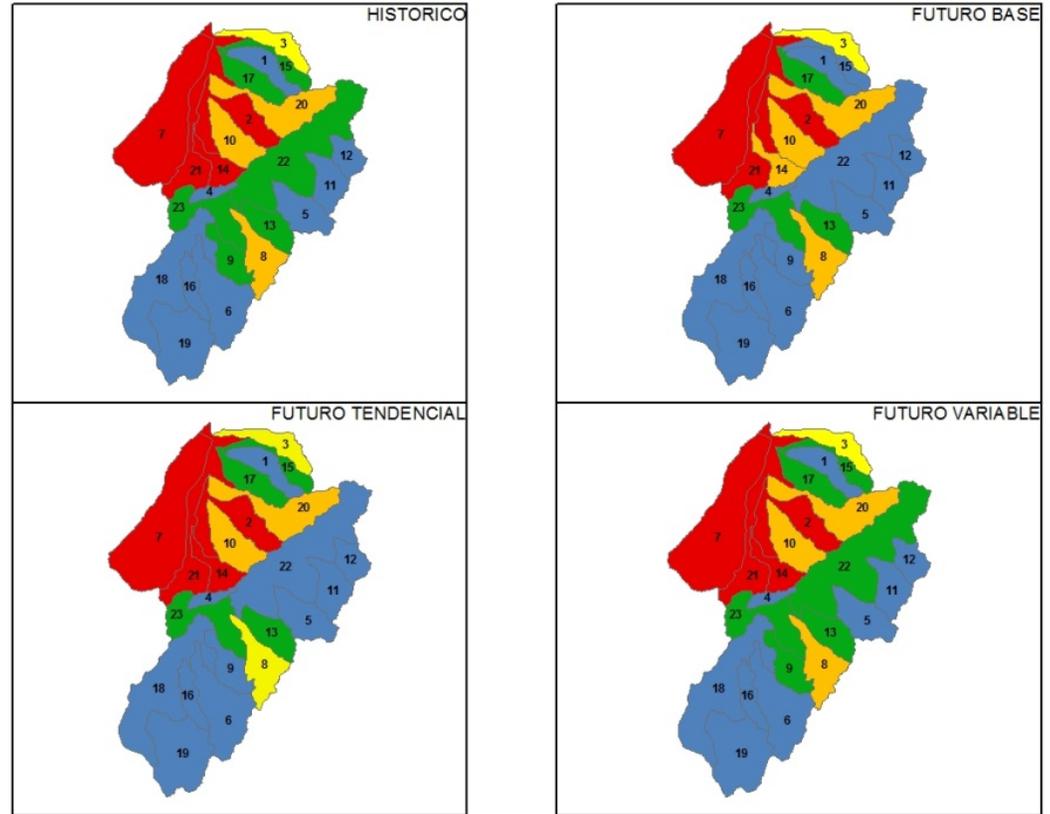


Figure 11. Regional indicators ERA using WEAP, and legend of each indicator.

In Table: IA: Aridity index, IRH: hydrologic retention and regulation index, IUA: water use index, IVH: hydrologic supply vulnerability index, IVET: torrential events vulnerability

The main ERA indicators are shown for different subwatersheds within the Rio Neiva listed in the table and numbered in the maps. The table shows the indicators for historical conditions, while the maps show the IUA for four different scenarios indicating the trends of this indicators for potential scenarios of climate change

Rango (Dh/Oh)*100 IUA	Categoría IUA	Significado
>50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20.01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10.01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1 - 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Performance of adaptation options – Alto Magdalena

As the work carried out in the Alto Magdalena study area was multi-faceted, focusing on several different sub-watershed and a range of different scales, the primary adaptation options identified through the development of the WEAP-based RDS approach are summarize in tabular form. As general conclusion that can be reached, however, is that under climate change efforts to balance hydropower development objectives with efforts to maintain and restore environmental flows will take on increased urgency. The use of the new IHA routines within WEAP provide useful in exploring the implications of various options considered.

<p>Alto Magdalena</p>	<p>Conservation scenarios favor ecosystem health and the increase of baseflows and the reduction of peak flows</p> <p>The reduction of losses favorable is max 20% as indicated by the technical document RAS2000 although in some cases this reduction doesn't cover all demands for 100% of population</p> <p>Increase in per capita use affects greatly the water coverage in urban centers.</p> <p>Some simulated PCHs affect baseflow and water availability for other uses, such as the case of Ceibas</p>
<p>Río Neiva</p>	<p>Applying WEAP, it was possible to model 23 streams. The Neiva model included all water demands including rural water use, and agricultural use for rice in the lower part of the basin.</p> <p>The model was useful to generate all the ERA indexes. WEAP does not replace the IDEAM methodology but it is useful to estimate the ERA indexes using an automated procedure</p>
<p>Río Ceibas</p>	<p>Conservation scenarios favor ecosystem health and the increase of baseflows and the reduction of peak flows</p> <p>Although the strategy to reduce losses is favorable, there are still demands that are not satisfied</p> <p>From all options analyzed, pumping water from Magdalena and Fortalecillas is best way to satisfy water demand.</p>
<p>Río Aipe</p>	<p>Small hydro reduces base flows, and climate scenarios make evident that there is greater variability with respect to historic values. Base flow is key for ecological instream health.</p> <p>Simulation without PCHs favor frequency of peak flows and base flows, however the IHA evaluation with PCH indicates that there are higher number of timesteps in which baseflow is low.</p>

Stream classification from Infocol and TNC indicates that Aipe is a small, piedmont, rain dependent stream. Baseflow affectation can reduce scour of river bed, favoring the increase in algae diversity.

Lessons learned and recommendations – Alto Magdalena

As in the case of adaptation options, the range over which the WEAP-based RDS approach was applied suggest that lessons learned pertaining to water management in the basin can best be presented in tabular form.

Alto Magdalena	<p>Work on the Alto Magdalena model supporting CAM staff, defining additional details required from the model, and supporting the implementation of scenarios</p> <p>It is key to evaluate strategies to buy land for conservation in strategic zones.</p> <p>It is important to advance an economic estimate of prioritized strategies such as conservation, reduction in distribution system, small hydropower and e-flows.</p> <p>It is key to refine the information about reservoirs operated in series such as Betania and Quimbo</p>
Río Neiva	<p>The validation of WEAP for extracting ERA indicators was reviewed by IDEAM. It has the potential to be implemented in different regions in Huila, as well as in other regions of Colombia.</p>
Río Ceibas	<p>Work on Ceibas model supporting CAM personnel in the definition of climate scenarios derived from the XLRM and on scenario runs</p> <p>The update of watershed land cover to a finer scale will be available within the POMCA process.</p> <p>Climatologic information for 2012-2014 can also be updated in the model</p> <p>Regarding supply alternatives for Neiva, the diversion point could be moved to another point in the basin so the water transfer can happen by gravity.</p> <p>Updating the streamflow and location of local aqueducts</p> <p>Economic evaluation for strategies specially the three options for urban water supply for Neiva.</p>

Río Aipe

Work on the Aipe model supporting CAM personnel in its progress defining IHAs to identify streamflow aspects that could be affected by PCHs and other watershed uses

Major accomplishments

The manner in which the project engaged in the Alto-Magdalena region was dramatically different than the manner in which the project was implemented in the Rio Otun and La Vieja watersheds. The biggest difference was the manner in which the local CAR, the CAM committed staff to work in direct collaboration with the project team, as opposed to relying on partners within local universities to implement the required technical analysis. This meant that while progress on capacity development was less rapid, CAM staff had other responsibilities beyond collaborating with the project, the results are more substantial in terms of the development of capacity within the CAR.

During the last three months of the project, at the requires of the CAM, the project team engaged in developing and supporting the implementation of the work plans whereby the CAM is using the WEAP-based RDS approach to integrate explicit climate change consideration within three POMCAs under development: the Rio Ciebas, the Rio Neiva, and the Rio Suaza. On a regular basis, SEI staff are meeting, via teleconference, with the WEAP team within the CAM to refine the models developed during the project for the task at hand. Collaboration to design POMCA specific data visualization tools in Tableau is also occurring. This is a major accomplishment, as the CAM staff, not external consultants and not partners within local universities, are doing the work to add what will prove to be a unique and innovative set of POMCAs that can be shared with national level authorities as examples of bottom up learning that can advance the manner in which POMCAs are developed across Colombia. In a manner similar to the innovations realized by the CAM with respect to the ERA process being management by IDEAM, the CAM is emerging as a real center of excellence within the CARs community in terms of grappling with the implications of climate change within its standard watershed planning and decision making work flow.

Magdalena-Cauca



Context Magdalena-Cauca

The Magdalena River is the most important waterway in Colombia and South America's 5th largest river. Its main course is 1,500 kilometers long, starting among the glaciers and cloud forests of the Andes Mountains in southern Colombia and flowing north to its outlet in the Caribbean at the city of Barranquilla. The Magdalena River is among the rivers with the highest yields of sediment (560 t/km²/year) in South America. High rates of sedimentation have shaped the morphological and hydrological dynamics that determine a complex pattern of water flows in the lower parts of the river and adjacent floodplains (Figure 12).

The Magdalena basin provides 70% of Colombia's hydropower and the majority of the nation's planned hydropower expansion lies within this basin. Currently there are 26 medium and large reservoirs in place in the basin which generate hydropower, with an aggregate capacity of 6,360 MW and an annual average production of approximately 33,400 GWhr. Two major dams are under construction, with a total installed capacity of 2,800 MW, and other planned mid-size projects will contribute an additional 120 MW. An inventory of potential new hydropower projects includes 30 large projects with an anticipated aggregate installed capacity of 8,450 MW. Upstream dams have the potential to change the flow regime and alter the patterns of connectivity between the river and wetlands, jeopardizing their productivity. In addition, there is potential for small hydropower development, which is mainly conceived for regions that have not access to the electric grid with potential capacity of up to 25,000 MW of installed capacity.

The Magdalena and its tributaries to the Mompos depression has two high flow periods in June and in November-December. Flooding of the river associated wetlands of the Mompos Depression is typically an annual event (Figure 12). Variations in sediment transport and discharge contribute to the ecological complexity and species diversity in these lowland wetlands as these ecosystems depend on seasonal nutrients and sediment replenishment carried by the floodwaters. This highly productive system contains more than 200 native fish species (roughly half of which are endemic) as well as a high diversity of mammals, birds, and amphibians. The wetlands and lagoons are critical stopovers for birds in the western hemisphere's migration flyways and rural communities depend on these habitats for fish harvest and other resources.

A recent catastrophic flood (2010-2013) which coincided with an exceptionally wet La Nina period caused widespread property damage and loss of human life in the lower Magdalena. In response, recent studies have focused on identifying structural and non-structural measures to manage and mitigate flood risk in this area, usually without taking into full consideration the implications of climate change or how changes in upstream water management may affect the flooding dynamics of the wetland systems within the Magdalena basin.

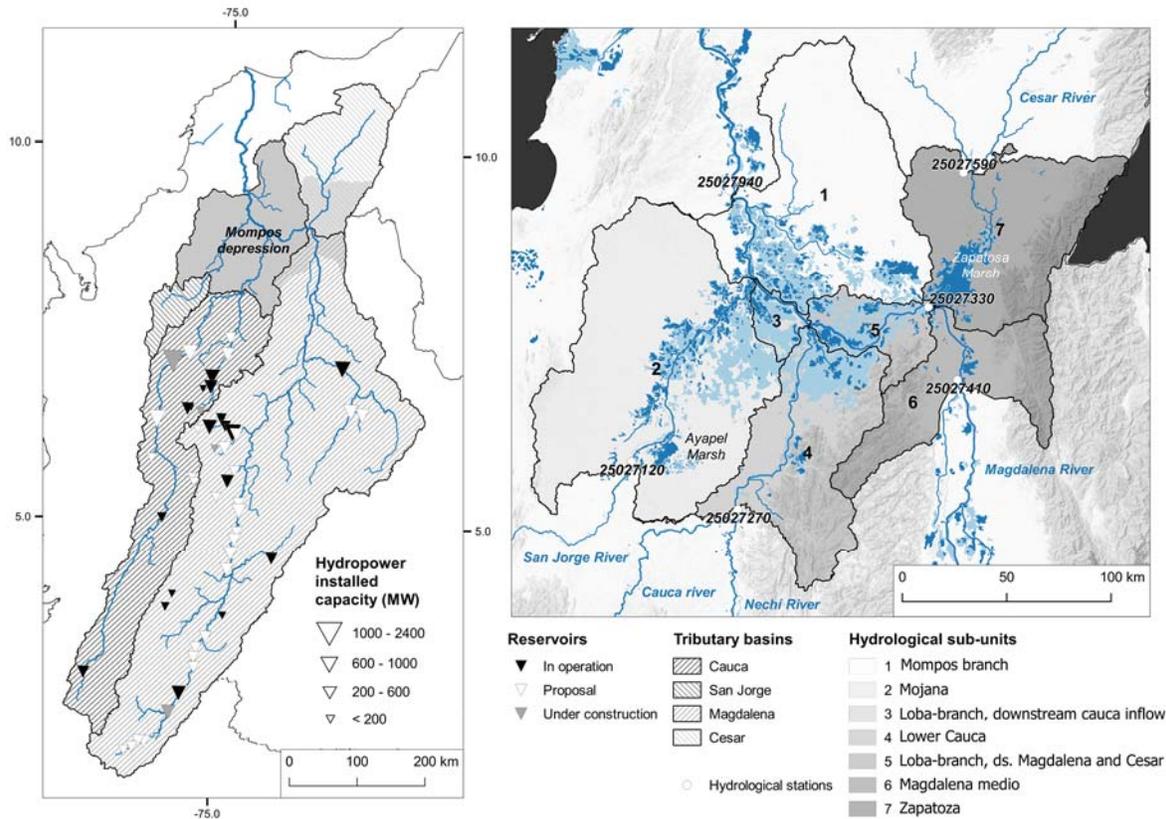


Figure 12. Map of the Magdalena River Basin showing the upstream hydropower reservoirs (existing and projected), location of the low floodplains system, gauge stations referenced in the text.

The maps present reservoirs in operation, under construction and proposed and the inset shows the extent and flooding area of the wetland system in the lower Magdalena.

At the scale of individual subbasins, despite the energy benefits, small hydro can also generate impact on local flow patterns by disrupting the natural flow regime that ecosystems are adapted to. In the process of planning small hydro interventions, it is key to evaluate the potential alterations to the natural flow. Figure 13 shows a Country-wide map for existing and potential small hydro development in the country. The pressure for small hydro development indicates the need to generate analytical tools to define limits of hydrologic alteration at the subbasin level. For instance, in one of the project jurisdictions in the Alto Magdalena there have been at least eight different requests for projects for which the environmental authority needs to advance a licensing process based on information about the local benefits and impacts of these interventions.

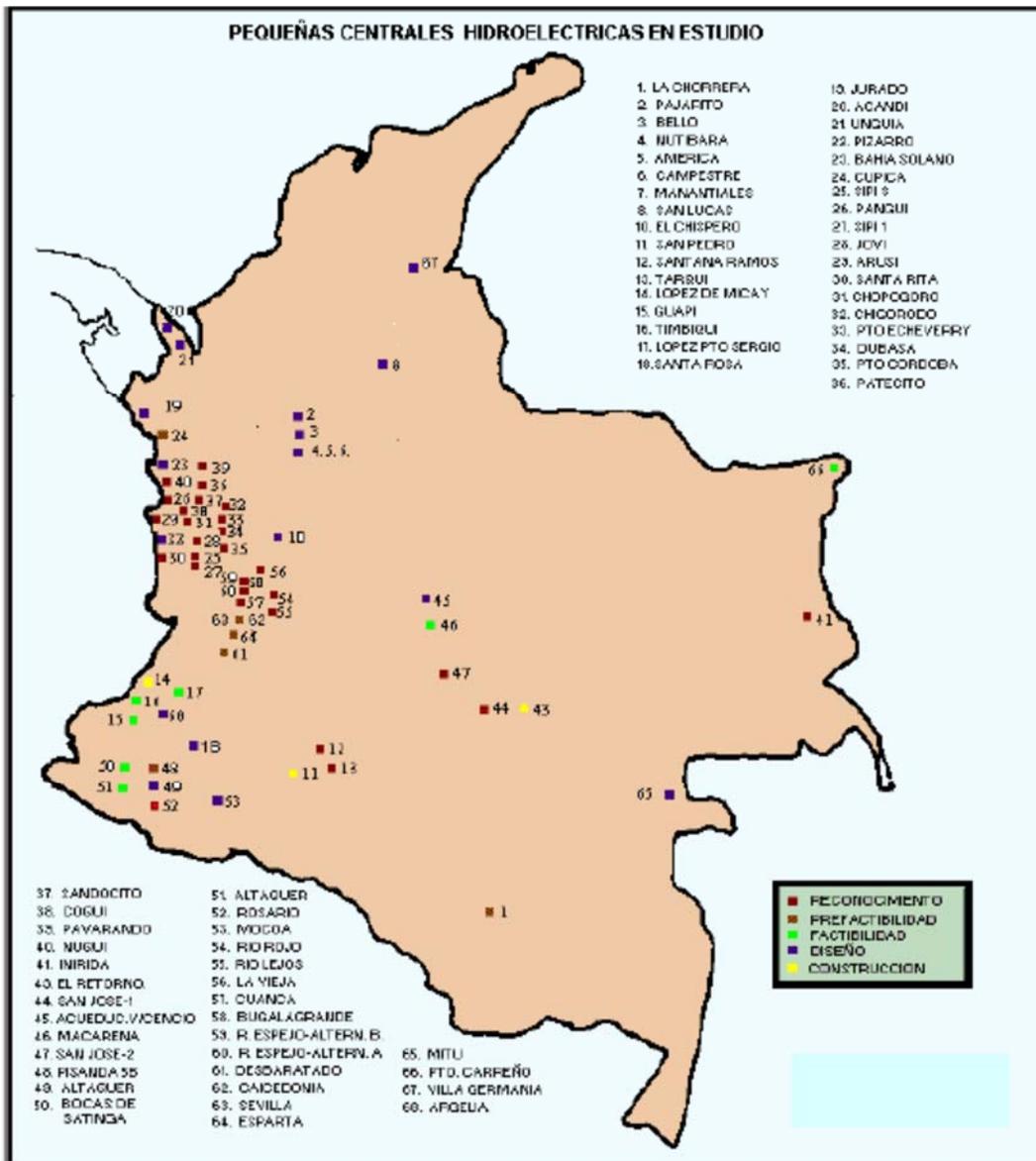


Figure 13. Existing and potential small hydro development in Colombia

Map shows potential locations for small hydro in Colombia as of 2012. These include plants under construction and those in earlier stages of design and feasibility. Source: Research on small hydro in Colombia, by Ernesto Torres Quintero, UniLibre. <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>

The program

The program for the Magdalena-Cauca watershed focused on two main components to support the analysis of hydropower pressures in the system. The first component focused on the impact of large scale hydropower by adding functionality to WEAP to enable analysis of floodplain inundation as a function of flows through time along a river network, and potentially other variables of the hydrologic cycle such as evaporation, infiltration and movement between flooding areas. The added WEAP functionality was based on a storage and transfer approach. This divides the river by storage function: main channel, over bank and floodplain and then examines transfers between them. This approach was not intended to provide a precise assessment of river channel and floodplain hydraulics (e.g. flow

velocity, flow depth) but rather to provide an accurate depiction of the spatial and temporal extent of flooding under various scenarios. Based on information available on recent flooding in the lower Magdalena system, work was carried out in collaboration with TNC to conceptualize, design, implement and test this new functionality within WEAP.

The second component was focused on small hydro development impact linking WEAP with the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) software developed by TNC as part of its Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA) initiative. As part of an earlier collaboration with SEI, TNC-Colombia had classified sub-basins within the Magdalena-Cauca system in terms of their ecological integrity and importance (Freshwater Ecosystems Conservation Portfolio) and classified the observed flows from hydrological monitoring stations into 23 river types grouped into 6 main river families, based on IHAs. Using expert knowledge input, hypotheses for ecological response to hydrologic alteration were defined in order to generate environmental flows prescriptions for each class. Working in close collaboration with TNC-Colombia, SEI programmed routines into WEAP that allow for the calculation of critical IHA metrics based on simulated flows.

Performance of adaptation actions – Magdalena Cauca

The large-scale analysis of the whole macro-basin was useful to understand the potential impacts of large hydropower development at the Magdalena basin level. From a baseline that included the existing dams and those under-construction, we analyzed the potential impact of increased regulation of water flows from proposed reservoirs upstream of the wetland system. The storage capacity of hydropower reservoirs in 2010 was equivalent to nearly 5% of the average annual runoff volume. In contrast, full development of planned projects - 58 in total - has a potential storage capacity of approximately 30% of the average yearly runoff upstream of the Mompos Depression. The increase in storage capacity would result in total basin generation capacity expansion from 9.3 to 16.9 GW. The big question is these upstream projects could alter the ecologically important wetland and floodplain dynamics downstream.

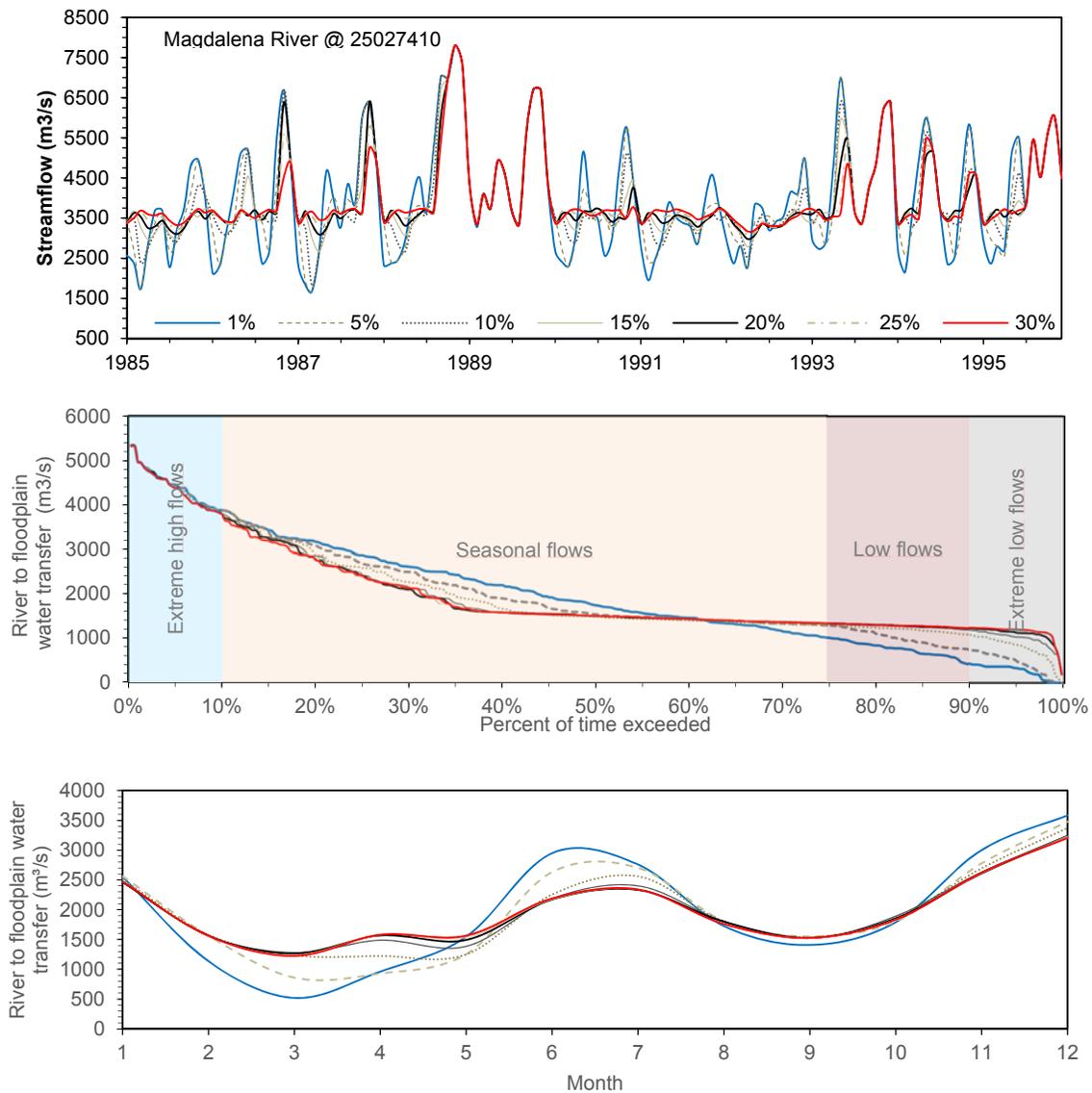


Figure 14. Simulated impacts of upstream regulation between 1% and 30% (expressed as total reservoir volume / average yearly runoff) in wetland dynamics.

A. Simulated monthly hydrographs in the Magdalena river upstream of Zapatos Marsh and Depression Momposina resulting from hydropower operations. Regulation capacity equivalent to DOR of 1, 5, 10, 15, 20 and 30%. B. Changes in hydroperiod. Extreme high flows, seasonal flows, low flows and low extremes ranges (background colors) of the various flow components are shown. Each of these components has specific relations with the hydraulic and geomorphological dynamics that define the habitats available and therefore define biodiversity and ecological relationships. C. Changes in average seasonal pattern of wetlands regulation

Figure 14 shows one of the main results produced using the enhanced version of WEAP. The higher the level of hydropower development, the more regular the shape of the hydrograph will be upstream of the Mompos depression main tributaries (red line in Figure 14 shows less of the natural variability shown in the blue line). At the highest level of reservoir storage expansion, 30% of the average annual discharge (DOR), reservoir operations substantially reduce the magnitude of seasonal river-floodplain

interactions, and virtually eliminate low-flows during dry months where the drainage of floodplains occurs. Alteration of exchange patterns between river and wetlands could have very negative impacts on local ecosystem function as seasonal oscillations are important for nutrient and sediment balance and low flow periods are important for many biodiversity and ecological events, such as reptile reproduction, the propagation of riparian vegetation communities, nutrient and organic matter storage. At the same time, high flow events (10 year return period or higher) would still prompt interactions - associated with extreme wet events, such as the La Niña 2010-2011, - between rivers and adjacent wetlands and floodplains, due to dam safety releases to control flows from upstream reservoirs.

The analysis at the small scale of sub-basins was limited to an exercise in the Aipe basin of the Alto Magdalena. At this scale, the analysis showed that base flows can be considerably reduced by the installation of a PCH. Base flows are a key component of e-flow definitions as any reduction in base flow can alter the scouring effect that renews the river bed substrate for habitats, and can encourage the presence of algae reducing water quality conditions (Figure 15, Figure 16).

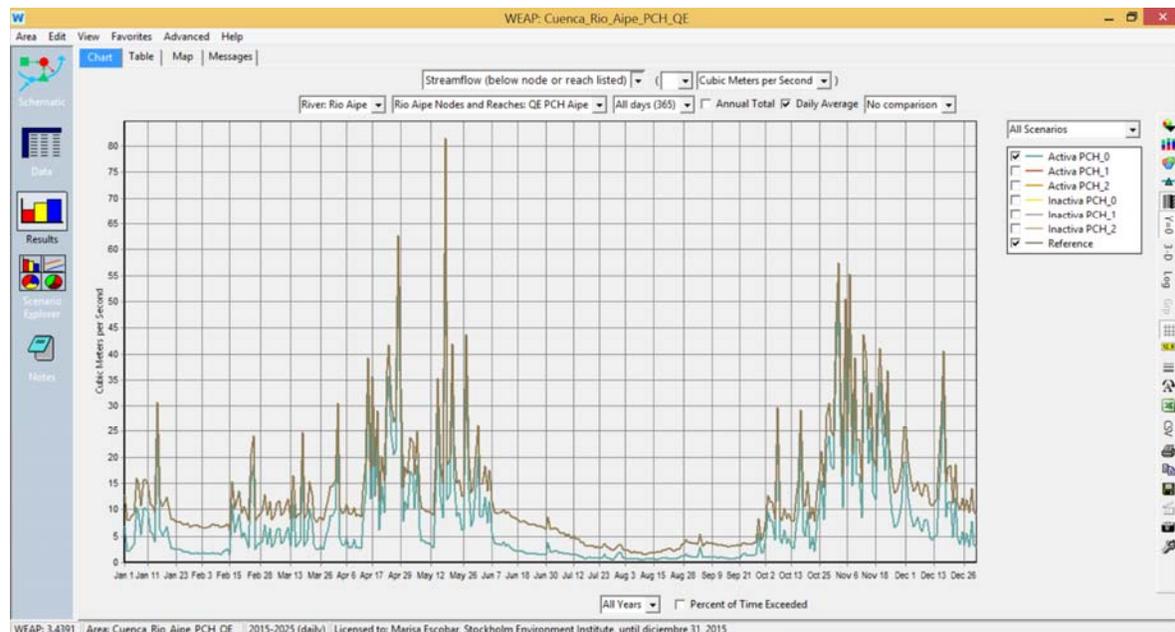


Figure 15. Flow alteration with respect to PCH

This figure from the WEAP interface shows the comparison between daily average flows for the reference case vs the case with active PCH showing a reduction in baseflows downstream of the hydropower plant where e-flows need to be considered.

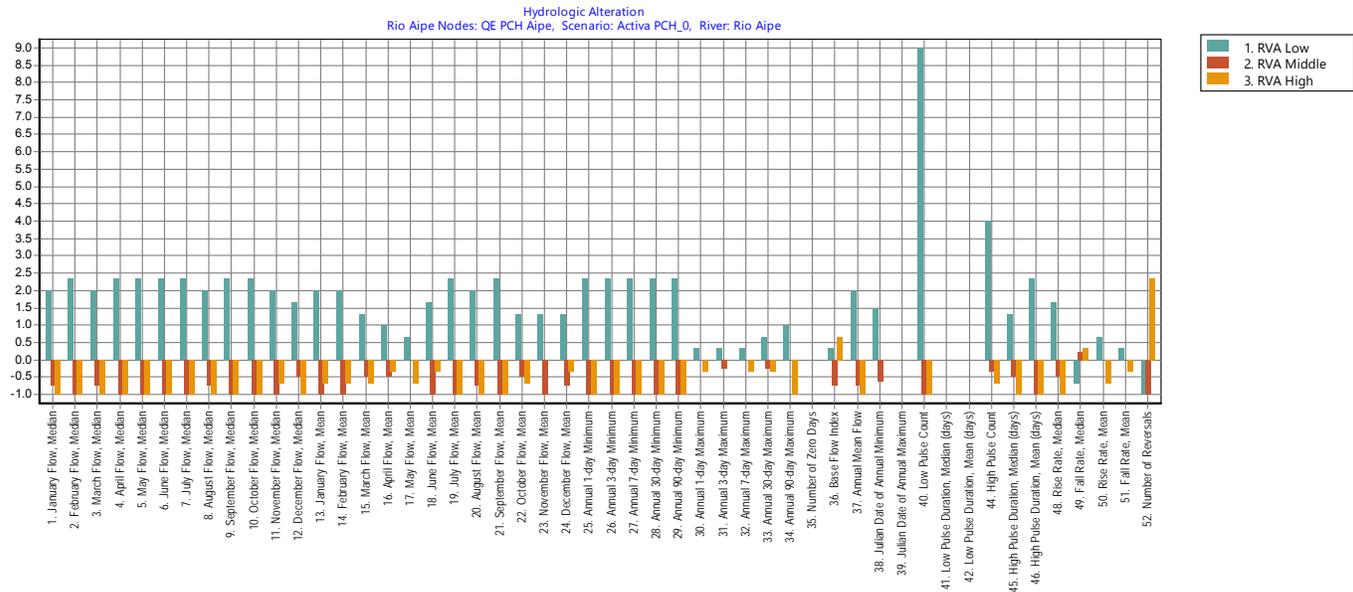


Figure 16. Flow alteration and IHAs due to small hydro in Rio Aipe

This figure is a WEAP result comparing the 52 RVA – Range of Variability Approach – indicators for the pre- and post-alteration on the scenario of a small hydro plant. Positive numbers indicate the increase in frequency and negative values indicate the decrease in frequency of each indicator. This graphs shows a significant increase in the frequency of low flow counts (indicator number 40).

Lessons learned

The case study at the Magdalena-Cauca basin scale reveals that the hydrological dynamics of water storage in the floodplains at a monthly to decadal scale are driven by variations in climate at basin scale and can be represented with enhancements made to WEAP. This makes WEAP the first platform able to successfully resolve the floodplain water balance at medium-to-large scales (~10,000 km²), while linking the simulation of these dynamics to simulated representation of water management practices. In terms of management implications our model estimated that the deployment of existing and potential upstream hydropower infrastructure pose a similar impact to water flows in floodplains in the Mompos as dry periods (~15.000 million m³). This suggests the need to establish basin scale water allocation rules during dry periods to allow for the preservation of floodplain ecosystems dynamics. By providing an improved understanding of the linkages between climate variability, water system operations, and the floodplain dynamics, these new routines provide insights that can guide the implementation of infrastructure development as well as ecosystem conservation projects. Both are critical to the sustainable development of a country like Colombia, and many others.

The case study application of IHA at the scale of the Aipe sub-basin is a simple demonstration of an analysis derived from this new functionality. Knowing the potential impact of small hydro in one region could facilitate large scale analysis of the cumulative effects of multiple small hydro using the existing tools.

Major accomplishments

A conceptual model including a wetland and floodplain storage component that includes interactions between a river and adjacent flooded areas was developed as an enhancement to the existing Water Evaluation and Planning (WEAP) system. The model has the capacity to assess how water resource management practices, including reservoir operations, or changes in the connectivity between river and wetland systems or inundated floodplains impact wetland and floodplain dynamics.

The enhancements implemented in WEAP included two modifications: the inclusion of surface water storage in the soil moisture model, and the representation of connections between surface storage and the river network (Figure 17). The mathematical details of the water balance equations can be found in an accompanying peer review paper under publication.

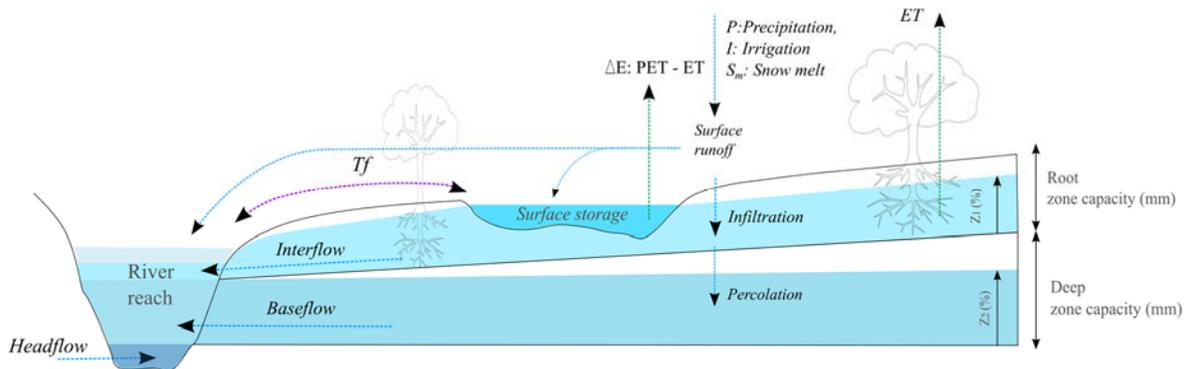


Figure 17. Schematic of the two-layer soil moisture model including a surface storage component, showing the different hydrologic inputs and outputs.

The schematic shows the interactions between the river, base flow, interflow, surface storage, runoff, precipitation, irrigation, and evapotranspiration. T_f is the transfer function that determines the flow towards the floodplain or vice versa given the variable conditions between the flow in the river and in water depth in the floodplain.

The model can be applied to multiple river reach and floodplain connections, allowing for the representation of complex interactions between wetlands, river reaches and floodplains. For example, it is possible to represent a case where a floodplain is fed by the overflow from multiple river reaches, or where the return flow from the floodplain occurs to multiple reaches of the river.

The testing of the model focused on the Mompos Depression and adjacent low lands, with an approximate area of 32,198 km², or 11.8% of the total area of the entire Magdalena basin (Figure 12). This area receives water from the Magdalena, Cauca, San Jorge, and Cesar rivers. The region includes hydrological monitoring stations which, despite shortcomings in terms of record completeness, allow for inferring patterns of circulation of water within the basin. The surface water storage model was tested based on different sets of conditions depending on different definitions of hydrological units within the Mompos system. The model was calibrated and validated by comparing simulated runoff from each hydrologic unit with observed runoff over a 20 year period (1985-2005). The resulting statistics fell within acceptable ranges for the calibration and validation periods.

Much of the functionality of the stand-alone version of IHA has been incorporated into WEAP. Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) is a software program that provides useful information for

those trying to understand the hydrologic impacts of human activities or trying to develop environmental flow recommendations for water managers. Nearly 2,000 water resource managers, hydrologists, ecologists, researchers and policy makers from around the world have used this program to assess how rivers, lakes and groundwater basins have been affected by human activities over time – or to evaluate future water management scenarios.

In WEAP, an IHA analysis can either look at streamflow statistics for a single period, or can compare statistics for two different periods or two scenarios. The two-period analysis typically splits the record into a period before substantial alteration of the historic streamflow ("pre-impact"), which could be caused by reservoir construction or re-operation, withdrawals from the river, land use or climate changes that would influence runoff to the river, and a period after the alteration had begun ("post-impact"). In this way, historical changes to streamflow can be quantified and characterized. If a historical streamflow record is not available, it is possible to use WEAP's catchment hydrology to reconstruct the natural streamflow that existed before alteration. In a two-scenario analysis, it is possible to construct scenarios of change and use IHA to analyze their impact on historic or current flows. This involves choosing the scenario that will be the reference scenario (typically, this will represent the pre-impact state, or a baseline to compare against). Flows from the reference scenario are then used to calculate the Environmental Flow Components thresholds for the RVA analysis, which is the Range of Variability Approach that leads to identifying the boundaries of historical variation and compares that the variation of given scenarios.

Flooding and IHA analysis in WEAP are available to all users that download and use WEAP. With a user base of 18,000 people, an average of 10 WEAP downloads per day, and a total of 950 WEAP users in Colombia, these enhancements are likely to have a high impact for water management practitioners. The WEAP 2015 version available now has these enhancements, and a user guide that explains how to use them.

Evidence of impact

Collaborative work with the TNC at the scale of the Magdalena-Cauca River Basin has prompted several initiatives that have used SEI tools and expanded the impact of this project. Partners in Antioquia have applied WEAP in several other sub-watersheds in the basin, extending the level of coverage of modeling at the sub-watershed scale. Modeling work at the basin and sub-watershed scales has prompted IDEAM to contract with CENIGAA, a project partner in the Alto-Magdalena work, to develop protocols for the inclusion of WEAP models with an National Water Modeling Center being launched by IDEAM. The development of planning protocols is a lengthy process, involving conversations between actors at various levels. The project has certainly shaped

MONITORING AND EVALUATION

The information contained in the prior results section is compelling and useful as it demonstrates how the project watersheds may be vulnerable to climate change and other uncertainties and how various water management action might reduce this vulnerability. It also shows the degree to which project partners were able to take on the task of deploying the WEAP model within the RDS framework in a manner which allows for explicit consideration of climate change and other uncertainties. From a technical perspective these results offer solid evidence of capacity development in Colombia. This section analyzes how this capacity development corresponds to the objectives originally laid out for the project and offers lessons learned and recommendations on best practice that will enable the impact of the project to be increased at both the watershed and national scales.

The Project Performance Management Plan

The official Project PMP was tracked via regular updates to the USAID MONITOR system and complemented by the use of an internal SEI system P MEC (Planning, Monitoring, Evaluation and Communications) that must be used to implement any SEI project. The P MEC system is based on an Outcome Mapping approach⁵, which utilizes a series of logical steps easily embedded within a structured, web-based tool. Essentially, interactions with this website at various points in the project implementation process generate a relational database containing information on the overall aims and of the project, progress towards meeting the aims of the project evaluated against agreed milestones and success criteria, linked to actions taken by the project team. A key feature of the P MEC system is its reference to Boundary Partners, to which specific changes realized through project implementation are ascribed. As P MEC includes several reporting dimensions related to Boundary Partners that are not explicitly tracked in MONITOR, information from P MEC has been used as part of the evaluation of project impact.

With respect to the official Project PMP, as reflected in the USAID MONITOR system, the primary focus for the project was to respond to Development Objective 4 (DO-4) *Colombian Efforts to Sustainably Manage the Country's Environmental Resources Reinforced*. Within DO-4, the pertinent SubIRs were IR 4.1 *Environmental governance strengthened* and 4.2 *Climate change mitigation and adaptation improved*. To these official USAID SubIRs several SEI indicators related to specific Boundary Partners included in the project P MEC have been added. The combination of USAID SubIRs and SEI indicators, along with progress towards each of the project targets, are shown in Table 7. The information contained in this table is expanded upon in Appendix 1, which includes narrative descriptions of how progress was achieved with respect to each USAID SubIR and SEI Indicator.

⁵ Outcome mapping (OM) is a methodology for planning and assessing development programming that is oriented towards change and social transformation.

For more information: <http://www.outcomemapping.ca/>

Table 7. Project Indicators, targets and cumulative numbers

Partner	Name	Disaggregated level	Target	Cumulative
Academia	SEI-1 Research paper including climate change considerations produced by the universities	National	3	5
	SEI-2 Courses that include teaching of WEAP	Participating municipalities and departments	55	379
	SEI-3 Students or technicians in research groups interacting directly with CARs	Quindío, Cartago, Pereira, and Huila	13	16
CARs	SEI-4 Information used for water resources management	National	4	8
	SEI-5 Use of climate change information	National	4	4
	SEI-14 Sub-IR 4.1 Environmental governance strengthened	National	4	9
	SEI-6 Sub-IR 4.1.1 Improved environmental policies for conserving bio-diversity and for mitigation impacts of global climate change	Municipalities and participating departments	4	6
	SEI-7 Sub-IR 4.1.2 Improved capacity to quantify ecosystem services, such as GHG sequestrations, and other climate change mitigation elements resulting from biodiversity conservation	Participating municipalities and departments	4	7
National Meteorological Institute	SEI-9 Participation in capacity building activities	National	4	9
	SEI-10 Reception of feedback from CARs on national policies	National	2	4
Private Sector	SEI-11 Participation in workshops	Participating municipalities and departments	12	18
Water utilities	SEI-12 Information used for water resources management	Pereira	4	7
	SEI-13 Definition of climate adaptive measures	Pereira	8	12
All boundary partners	SEI-8 Sub-IR 4.2.2 Climate change adaptation capacity improved in target regions	Participating municipalities and departments	4	6
	SEI-15 Sub-IR 4.2.2 Number of stakeholders* with increased capacity to adapt to the impacts of climate change as a result of USG assistance (* “stakeholders” refers to individuals)	National	36	95

In assessing the impact of the project, as summarized in Table 7 and Appendix 1, it is important to recall that the primary objective of the project, as captured in the name of the project itself, was building climate adaptation capacity in water resources planning. Stories of change reported in Appendix 2 show some of the most relevant impacts of the project. In meeting the capacity building objectives, many lessons have been learned that inform the recommendations on how to extend the achievements of the project to actual national level policy reform related to water management and climate change in Colombia and the implementation of actual on-the-ground adaptation actions at the local level. These opportunities, and the challenges that must be overcome to realize them, are

explored in the next section where lessons learned from across all the project watersheds and recommendations are explored.

One of the key indicators that demonstrate assimilation by Colombian water managers of the tools is the number of WEAP downloads (Figure 18). Each year, the number of people using the software is increasing, indicating the possibility for consolidation and replicability of the program in the country.

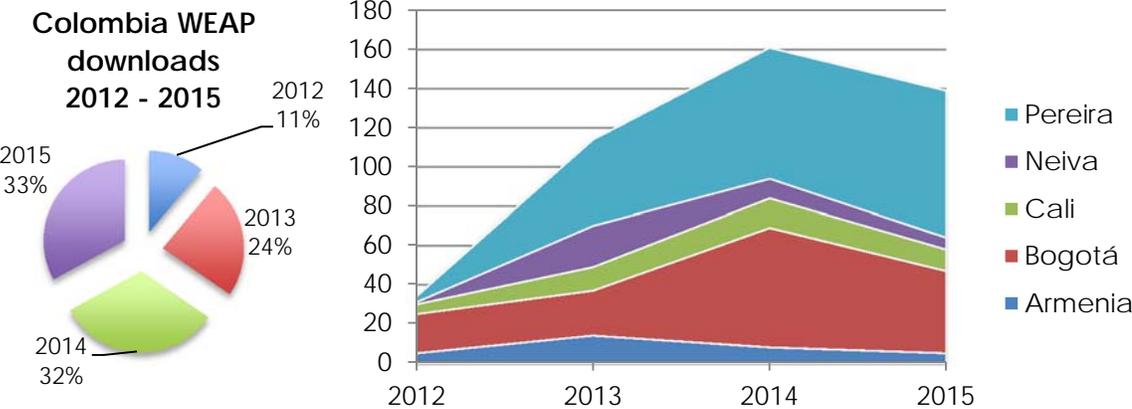


Figure 18. Number of WEAP Downloads per year in Colombia and in project cities.

Note. 2015 downloads are counted until September 2015

EVALUATING OUTCOMES, LESSONS LEARNED, AND RECOMMENDATIONS

2012 - 2013



July 2012, A&A, Pereira



March 2013, Pereira



June 2013, Armenia



July 2013, IDEAM, Bogotá



October 2013, CRQ, Armenia

2014



February 2014, Salento



April 2014, California



July 2014, Manizales



August 2014, CARDER, Pereira

2014 - 2015



August 2014, CVC, Cali



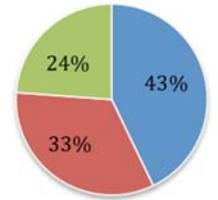
October 2014, DWR, California



June 2015, Bogotá

Project Challenges

- Barreras Institucionales
- Disponibilidad de Información
- Otros: nuevo software, falta tiempo



How partners overcame project challenges

"The challenge to obtain information was overcome through strengthening trust between institutions and through transparency in the use of information"

"Looking for spaces within the institution to socialize the potential of the tool and its applications, in particular spaces where it is possible to find technical and directive teams"

"We have learned the concept of 'adaptive management', which has been shared in the project. The project administrative team has shown that these processes require

EVALUATING OUTCOMES, LESSONS LEARNED AND RECCOMENDATIONS

After nearly three years of collaboration on the project, which involved partners from universities, local CARS, and other water management entities, a number of valuable lessons have been learned that are relevant to continued efforts to better integrate climate change considerations into water resources planning and decision making in Colombia. These can be organized into three distinct categories: Managerial lessons; technical lessons; and governance lessons. Each of these categories are explored individually in the following sections based on information derived from different sources. These sources include: anecdotal experiences, a formal project satisfaction survey, and a specific survey on lessons learned circulated amongst the project partners at the end of project implementation.

Managerial lessons learned

In order to provide a context for the presentation of managerial lessons learned, some description of how the project was managed is required. The project was managed through a cooperative agreement, under which USAID interacted directly with the project management team within SEI. USAID reviewed and approved annual work plans, suggesting adjustments to increase the likelihood of achieving our objectives and meeting our indicators. SEI's project management team included a Program Coordinator, a Technical Backstop, and a Financial Administrator. Other technical staff from SEI were involved in different stages of the project to support WEAP software enhancement (floodplain routines, IHA integration), WEAP model building in the project watersheds, model output visualization, and program monitoring and evaluation. SEI does not have a permanent presence in Colombia, but its implementation approach is consistent with SEI's organizational profile as an international research institute possessing substantial in-house capabilities of long-term research staff located in its research centers around the world. This is in contrast to a perhaps more typical USAID project business model whereby managerial leadership and technical expertise is secured through a team of contracted short-term hires posted in country.

That said, SEI did contract with a number of young Colombian professionals to implement various parts of the project, particularly those implemented in the Alto Magdalena sub-watershed. This represented an important management arrangement as it gave SEI a more permanent presence in Colombia. Perhaps more importantly, however, this arrangement contributed to the kernel of a cohort of technical experts that will continue to implement WEAP-based RDS methodology after the project ends. This kernel was further enhanced in the La Vieja-Otun set of activities, through the establishment of formal sub-contracting arrangements with three universities which in turn hired 2-3 young professionals to work on the project. In both regions, these on-the-ground partners worked in close collaboration with colleagues within the local CARs and other local water management agencies to implement the WEAP-based RDS approach, supported by visits from SEI in-house staff at key moments in the implementation of the process (e.g. XLRM problem formulation workshop, climate scenarios workshop, regional results workshops, national dialogues).

The management structure for the work carried out at the scale of the Magdalena-Cauca River Basin was different, as it was based on an informal collaboration with another USAID-Colombia grant recipient, The Nature Conservancy-Colombia. Here SEI took on more of a technical support role whereby WEAP enhancements were designed, implemented and tested through early model

application work carried out jointly with TNC technical staff. The use of the results of these early enhanced model runs to support water management planning and decision making at the scale of the Magdalena-Cauca River Basin was left largely up to TNC.

A graphical presentation of these management arrangements and the lines of communication they imply are shown in Figure 19.

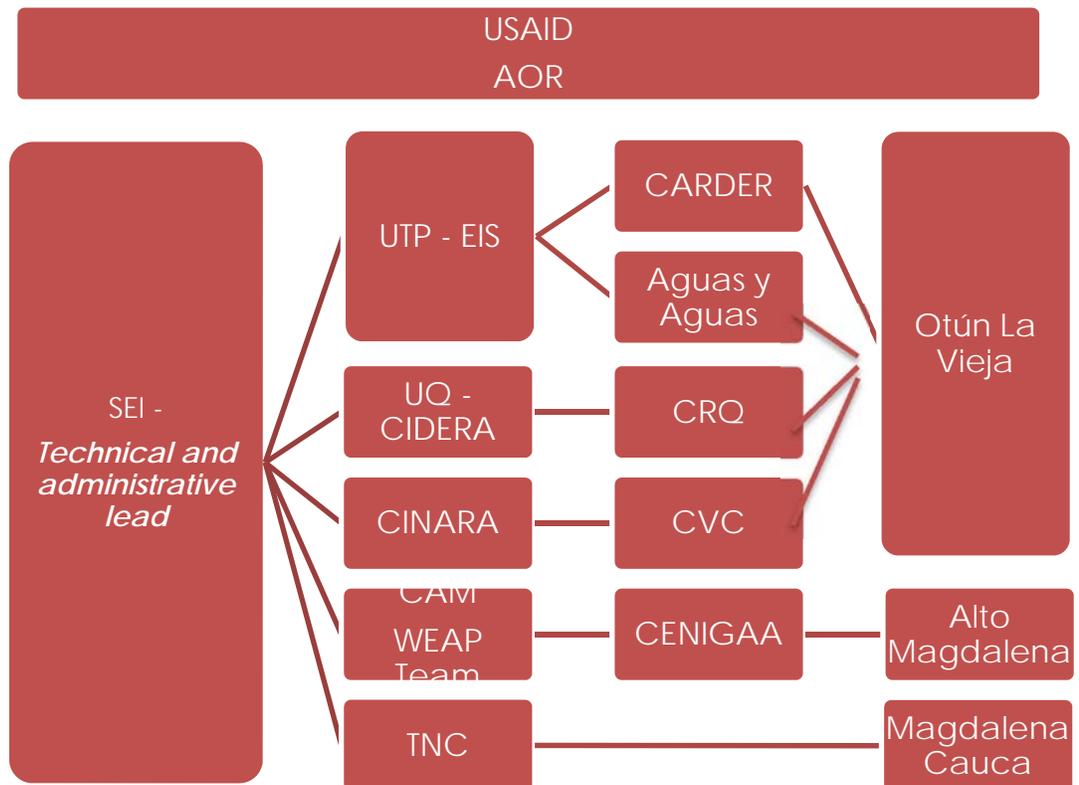


Figure 19. Management and administration structure

SEI was the technical and admin lead, and local representation was in charge of universities and CARs for each of the project components.

While the organizational structure of this project is interesting, more important are the managerial lessons learned it prompted. These include the following.

A focus on building the capacity of early career young professionals is useful

On this project ten different young Colombian professionals were engaged in project implementation, either through direct contracts with SEI or as part of teams assembled by universities contracted by SEI. Each of them made great strides in assimilating the skills needed to implement the WEAP-based RDS approach and some of them have taken these skills and applied them to other similar activities

beyond those undertaken as part of the project. In addition, they have established professional and inter-personal connections amongst themselves which creates a nascent professional network working on climate change and water management in Colombia. Beyond this core group of 10, additional actors included other young professionals within the local CARs, the Ministry of the Environment and Sustainable Development, and IDEAM who participated in many of the events organized by the project. As these young professionals advance along their career trajectories they will bring the experienced gained on the project with them to increasing high levels of engagement and responsibility.

Working with universities creates legacy institutions

Engaging universities as project partners poses both challenges and opportunities. Challenges stem mainly from the fact that the primary function of a university is to generate new knowledge, less to applying existing knowledge to concrete problems. As such it is sometimes difficult to align the incentives of a researcher with those held by a water manager. Increasingly, however, universities in Colombia and elsewhere are being asked to justify the relevancy of their research through collaboration with actual managers and decisions-makers. In Colombia, a number of CARs and other water management entities have actually developed very strong and productive relationships with universities (e.g. CARDER and UTP; CVC and UniValle). Assuming that these trends continue, universities can play the role of legacy institutions for the learning achieved during project implementation, particularly if they capitalize on opportunities to develop classroom and research opportunities for students on the subject, as all of the project's university partners have done. Young professionals benefitting from these opportunities should be connected to the nascent professional networks created by the early career young professionals associated with the project.

As CARs are key to on-the-ground change, their engagement needs to be strengthened

However substantial a role universities can play in supporting the consideration of climate change in Colombian water resources planning and management, in the end the ultimate responsibility for these functions rests with government institutions, specifically CARs with jurisdiction over individual watersheds and municipalities located within them. Given the important role played by the CARs, the experiences gained during project implementation suggest that the manner in which they engage in the application of the WEAP-based RDS process needs to be re-evaluated. In particular, technical staff within the CARs need to be more active participants in the process so that the technique can be taken up instead of simply being understood. This would require more substantial and sustained capacity building directed towards key technicians with the CARs, and a commitment from their management to allow these staff to engage in the process to a much higher degree. As part of the commitments derived from the project, universities and CARs put together work plans and recommendations that are reported on Appendix 3. This sort of work is akin to the way the integration of GIS into the internal capacity of the CARs evolved a decade or so ago. What once seemed like an innovative technology is now part of the standard workflow within a CAR. The WEAP-based RDS approach needs to experience a similar evolution.

Technical lessons learned

Most of the technical results are presented in previous sections in this report, and were also published in the form of fact sheets or discussion briefs that served as communication tools with stakeholders and higher level decision making bodies. The Appendix 4 and 5 contain fact sheets and submitted peer review articles that compile the details of the technical work done. Also, Table 8 compiles published information produced by the project with relevant hyperlinks. While the Results section of this report and the Appendices clearly demonstrated that a high level of technical capacity was achieved by a cohort of young Colombian professionals to implement the WEAP-based RDS process, a number of important lessons related to the technical process itself did emerge. This is to be expected, for as previously mentioned the integration of climate change considerations into participatory IWRM efforts at the watershed scale remains a work in progress, both in Colombia and around the world. As part of an evolution of the project impact, the following conclusions can be drawn.

Constructing a watershed model takes work; opportunities exist to streamline the process

The work required to construct an integrated hydrologic/water resources model such as WEAP is not inconsequential. Much of the time invested by the young Colombian colleague contracted by the project was spent working on model construction, calibration and deployment in response to the problem formulation developed in collaboration with key actors in each project watershed. A large part of the effort was associated with gathering and processing the spatial information and time series data required to construct a model. SEI has developed a set of tools and techniques for accomplishing these required tasks, which were shared with the partners in Colombia. There is a real opportunity to automate some of these tasks within the software itself in order to facilitate the model building process. Automating the model building process based on available information and data sources in the Colombian context would facilitate the uptake of the tool within the CARs.

Table 8. List of selected publications and hyperlinks

This table presents selected publications, and links to the location of these resources on the internet.

<p>General</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Relevancia y utilidad del proceso ADR y del sistema WEAP para la formulación de Planes de ordenamiento y Planes de manejo de cuencas y ríos en Colombia (POMCAs y PORHs). 2. El desarrollo legislativo para la gestión del agua en Colombia: Leyes, actores, y desafíos. 3. Instrumentos de Planificación y Apoyo a Decisiones Robustas (ADR) en la Gestión del Agua en Colombia. 4. Blog del Proyecto: Gestión del Recurso Hídrico y Cambio Climático. 	<p>Results (WEAP – ADR)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Modelación hidrológica del recurso hídrico en la cuenca del Alto Magdalena en Colombia, “Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas” 2. Implementación del modelo WEAP para el estudio de la calidad del agua en la cuenca del río La Vieja. 3. Forjando capacidad de adaptación al cambio climático en la gestión de recursos hídricos en la cuenca del río Otún 4. Modelación del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja en Colombia
<p>Manuals</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos de las cuencas de los ríos La Vieja y Otún mediante el modelo lluvia escorrentía de la humedad del suelo del sistema soporte de decisión (SSD) WEAP; Una herramienta para la adaptación al Cambio Climático. UTP, UniQuindío 2014 2. Modelación de la calidad del agua de la Cuenca del río La Vieja. Instituto CINARA 2014 3. IHA en WEAP – Tutorial step by step. SEI 2014 	<p>Courses</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Módulo WEAP (4 semanas) en el Curso de Hidroclimatología en el pregrado de Administración Ambiental – UTP 2. Pregrado Ingeniería sanitaria - UNIVALLE 3. Posgrado Ingeniería Sanitaria - UNIVALLE 4. Diplomado en Gestión Integral del Recurso Hídrico y Modelación Ambiental - UNIVALLE

The development of a community of practice related to watershed modeling is key

It should never be assumed, however, that the development of a good watershed model will ever become a push button exercise. Such a level of automation based on readily available information and data would never foreclose opportunities for individuals with extremely relevant local knowledge to contribute useful and important insights to the model building process. Gaining access to the collected experience/insights held by these individuals would be greatly facilitated, however, through the creation of a WEAP/RDS community of practice. In some respects the emerging network of young professionals associated with the project already operates as an informal community of practice, as these individuals were in regular communication during the project. Formalizing these relationships through on-line platforms or periodic user conferences could improve the quality of information exchange and the efficiency of the model building process. As more technical staff within the CARs take up the approach, they could be connected to this community of practice. Appendix 6 compiles the complete list of partners that constitute the community of practice generated by the project, including those that were directly involved as boundary partners in the project through contracts, and other key partners that participated throughout the project, and that were exposed to the results presented during the Symposium on Water, Climate and Adaptation in June 2015.

Care needs to be taken to characterize uncertainties created by a lack of monitoring data

While Colombia is by no means the worst case in terms of the availability of the information required to construct and calibrate a model such as WEAP, there are gaps in the existing data and constraints in the ability of technical analysts to access what is available. While progress could be made in improving access to existing data, to which the development of IDEAMS National Water Information Platform is contributing greatly, Colombia, like all parts of the world, will never possess all of the data required to construct a perfect model. As such, greater care should be taken in the future to develop techniques to convey to decision makers the uncertainty in model output stemming from incomplete model input data. This was not a central activity of the current project based on the assumption that the uncertainties associated with climate change and other factors were greater than the uncertainties produced by the quality of the model input data itself. Still this assumption should be tested and more clearly justified in the future as it has implications for decision making.

Socio-economic metrics need to be included in the evaluation of adaptation options

During the implementation of the project, a great deal of time was spent characterizing the vulnerability of the current systems within the project watersheds to climate change and other uncertainties with respect to hydrologic, ecologic and water management metrics of performance. From this baseline vulnerability assessment the ability of specific management responses to reduce the level of vulnerability with respect to these current conditions was assessed. The exercise made it possible to analyse how specific adaptations could improve future levels of performance with respect to metrics such as the ecological condition in key river reaches, the level of satisfaction of specific demands and water quality; and to compare these improvements across the suite of proposed actions. The comparison across potential management actions, however, requires that some consideration be given to the financial costs and benefits associated with each evaluated course of actions, along with some consideration of metrics related to social equity. In the future, these sorts of indicators should be more fully evaluated as part of the implementation of the WEAP-based RDS approach.

Different ways of presenting model results to different audiences are needed

The use of WEAP within an ensemble of model runs, that generates a range of cases defined by different future scenarios and management responses, produces a large amount of data. One of the most challenging, and most exciting, parts of the RDS process is the development of data visualization tools that support participatory and dynamic exploration of these model outputs as part of a process of co-learning amongst key stakeholders regarding promising adaptation actions. During the project, the Tableau software was used to build these data exploration tools, to great success when the target audiences were technical partners and technical collaborators within the CARs. There needs to be a recognition, however, that non-technical audiences, specifically politicians and policy makers, may not have the time to dedicate to understanding expansive data exploration. Different communications approaches are required to transmit learning about climate change and water management to these actors. While the project experimented with new media approaches such as blogging and old approaches such as publishing fact sheets, more work could be done to identify the most promising communication techniques for each critical audience.

Governance lessons learned

The number of academic papers published on approaches to integrate climate change considerations into water resources planning and decision making suggests that this topic constitutes a compelling, and pressing, research agenda (Bouwen and Taillieu, 2004; Folke et al., 2005; Lempert and Schlesinger, 2000; Nilsson et al., 2009; Pahl-Wostl et al., 2007). This project, however, was not intended to be a pure research endeavor. The Project PMP included a group of indicators related to actual policy setting and governance, with the expectation that over time governance mechanisms would be created to realize actual on-the-ground water management adaptations to climate change. As such, several governance related lessons can also be articulated.

The linkages between water and watershed planning instruments needs to be clarified

There are a number of mandated planning instruments of relevance to the water and watershed planning in Colombia. Four of particular relevance include the POMCA, the PORH, the POT and the PSMV, although others touch upon the themes of water and watersheds as well. As part of the implementation of the current project, SEI and its partners invested a great deal of effort in understanding how these various plans fit together and how the WEAP-based RDS approach could help to strengthen the connections between them. The output of this thinking was a fact sheet, found in Appendix 4, which lays out how this might occur. The key conclusion is that while there are practical reasons for keeping these plans separate, there is a great deal of overlap that must be recognized if the IWRM aspiration of integrated, multi-actor, multi-objective water management is to be achieved in Colombia. Key questions of information flows between the plans, and issues of subsidiarity, need to be clarified if these plans are to meet that objective. A strong case could be made that a consistent watershed model developed on a platform such as WEAP could provide a valuable shared foundation upon which individual plans could be constructed.

Technical guidelines associated with these instruments need to include climate change

As previously mentioned, the Ministry of the Environment and Sustainable Development in Colombia considered including climate change considerations in recently published guidance documents associated with the POMCA and the PORH, only to decide against doing so based on the conclusion

that the proper protocols are not yet well enough formulated. This was a logical decision, but one which creates real opportunities for innovation. More important than mandating specific climate change analytical protocols for the POMCAs and PORHs is whether climate change considerations can be gradually incorporated within the steps described within guidance documents published by the Ministry. In particular, innovative analytical tools and participatory processes developed and tested at the local watershed level, such as those described in this document, need to be encouraged and accommodated. As part of the project, SEI published a fact sheet that lays out how the WEAP-based RDS process could help create the scalable framework for considering climate change, while also supporting the current promulgated steps in the plan formulation processes. There is ample opportunity to test this approach in a watershed where the project engaged, in particular in the Alto-Magdalena region where the local CAR remains in communication with SEI about using the WEAP-based RDS approach as part of ongoing POMCA development efforts.

Co-learning between local level experience and national level policy is nascent

In the last months of the project, SEI and its partners organized a set of dialogues with national level actors working in the field of water and watershed management and climate change around the activities carried out in each of the project watersheds. The forum provided an opportunity for the experience gained by project partners at the local level to be shared with those responsible for setting national level policy. The reaction was extremely positive. One consistent theme from the dialogues, which touched upon both the technical details of the work conducted and on its relevance for water governance, was that learning accomplished at the local level can usefully contribute to the national level discourse on appropriate policy responses to climate change. The Ministry is hungry to know about these experiences. Still the connection between bottom-up and top-down learning is nascent. There is an urgent need to connect these poles, however, as another theme of the dialogues was the importance of local land and water management in a post-conflict Colombia. This point was reinforced during the meeting by the government delegation involved in on-going peace negotiations who pointed out the central role that natural resources and the environment are playing in the emerging terms of the peace agreement. While nascent, the connection between national goals and local experience needs to be cultivated by connecting staff within national level institutions with colleagues working in local watersheds.

IDEAM play a key role in efforts to consider climate change within IWRM activities

One key actor in the strengthening of these connections is IDEAM. As the organization with the mandate to generate and supply information relevant to local water and watershed planning, SEI and its partners took pains to include IDEAM in the activities undertaken at the local level. Two important examples include the organization of a climate scenarios workshop at which the IDEAM staff responsible for developing national scale climate projections for Colombia had the opportunity to hear about the needs local water managers have for climate projections with an appropriate spatial and temporal resolution to support watershed planning. The workshop connected both sets of actors with colleagues within the National Center for Atmospheric Research in the United States who have a long experience of downscaling large-scale GCM output for use in watershed level models such as WEAP. This connection continues to develop. A second example of how the experience of the project connects to the objectives of IDEAM stemmed from the use of WEAP in the Alto-Magdalena region to support the development of an ERA (Estudio Nacional de Agua) in the Huila Department. The

ERAs are an IDEAM initiative designed to develop a disaggregated set of indicators that can serve as a baseline for the various water and watershed plans mandated in Colombia. Based on the local experience in Huila, IDEAM is now planning to include WEAP in the National Water Modeling Center it is developing to support the development of ERA and other watershed level investigations. The connections forged with IDEAM pertaining to the WEAP-based RDS method during project implementation must be cultivated.

The creation of capacity to secure funding for promising adaptation actions is required

While the project accomplished much in terms of building the capacity of local partners to introduce climate change considerations into water and watershed planning, and contributed usefully to emerging national level discourse on the subject, the fact remains that participatory processes, analysis and plans will be needed to motivate real, on-the-ground changes that can reduce the vulnerabilities created by climate change. A number of international, regional, and national funds have been set up to provide funding for adaptation. The process of setting up these funds has brought the issue of additionality to the fore, namely the need to demonstrate that any specific action offers climate change adaptation capacity beyond the normal set of benefits that would accrue from any particular project. This is a high standard, and one that is increasingly based on some level of technical analysis. As part of its broad set of activities in the Andean Region, SEI has deployed in-house staff with high levels of experience and knowledge of emerging climate adaptation funds to help argue how the WEAP-based RDS approach can be used to strengthen adaptation plans and therefore to secure necessary adaptation funding. This argument need to be refined and transferred to local water managers so that they can translate the promising actions highlighted in the Results section of this report into on-the-ground projects.

A compilation of the some key elements of these lessons learned, from all three categories, is shown in Table 9.

Table 9. Lessons learned per component from indicators

Component	Lesson Learned
Capacity Building	<p>Research groups can strategically involve technicians, researchers and students in local and regional processes.</p> <p>Research groups as partners can serve as regional legacy groups that extend research impacts into the future.</p> <p>For research groups to support CARs with information for climate adaptation needs, there needs to be administrative and technical capacity.</p> <p>Persistence presence of the project through workshops and training plans, and the identification of technicians within CARs is key to generate the knowledge and appropriation of the tools for their use in ongoing planning processes.</p> <p>The individuals with greater assimilation of the tools should be promoted to devote more time to work in defining adaptation measures using this information</p>
Decision Making	<p>Additional resources to strengthen the participation of IDEAM in regional water resources planning can strengthen the link between national and regional climate information needs.</p> <p>it is important to keep in balance different aspects of the project such as operations, technical analysis, environmental considerations, social and cultural components and finances, to warrantee the sustainability of investment programs. The relationship among these aspects increases the integrality of adaptation programs, but at the same time it increases the complexity and uncertainty in decision making. As a consequence, it is key to count with a RDS-type analysis that lead to a better management of water resources by water utilities in Colombia. It is important to maintain the RDS framework in the formulation of 'Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos' by water utilities, which will need to be revised and approved by regional environmental authorities.</p>
Water Management	<p>Technicians within CARs are extremely busy overseeing the implementation of other projects. More than deep learning of any tool, these technicians need frequent exposure to information so they can keep on their radar the appropriate tools for appropriate climate adaptation analysis. Commitment from CARs Directors is important to understand the time and resources required for the use of this information, and in so doing, generate the space for technicians to do this work.</p> <p>Regional governance is strengthened by partnering between institutions and academia, with the role of outside organizations like SEI as the catalyzing think tank.</p> <p>CARs technicians are busy with administrative work, and have little time to devote to technical activities. An increase in CAR personnel is required to allow technicians to focus on technical work.</p> <p>Institutions are represented by individuals that need to be connected</p> <p>It was not possible to involve other water utilities in the project since no explicit efforts were made to outreach to them from local project partners.</p> <p>Explicit work with stakeholders through task orders or 'convenios' (formal agreements) guarantees greater commitment to internalize tools for their use at the regional level</p>
Tools Development	<p>The use of WEAP and associated models developed during project should be seen as internal institutional tools to corroborate any information produced by outside consultants. At the level of MADS it may be possible to generate greater momentum for the use of WEAP in POMCAs and PORHs if they are named explicitly as options in national guidelines.</p>

Recommendations regarding best practices

As with any new challenge, Colombia's journey towards a full consideration of the risks posed by climate change and other uncertainties to water management will move along a series of steps as indicated in Figure 18. While a decade or so ago the global water management community was largely unaware of these risks, represented by the ground floor of 'unconscious incompetence' in terms of the looming challenges, when the current project was initiated the Colombian water management community found itself on the first step, that of 'conscious incompetence'. There was a general awareness of the problem but little resolution on what should be done. The decision of the Ministry of the Environment and Sustainable Development not to explicitly include climate change considerations in its guidance documents for the formulation of POMCA's and PORH's reflected this. The efforts, undertaken with partners in the project watersheds, was an attempt to move up to the level of conscious competence, where actual approaches for responding to the challenges posed by climate change were understood and accepted as useful. This has been accomplished, which for a project where capacity building was the primary objective, constitutes an enormous success.

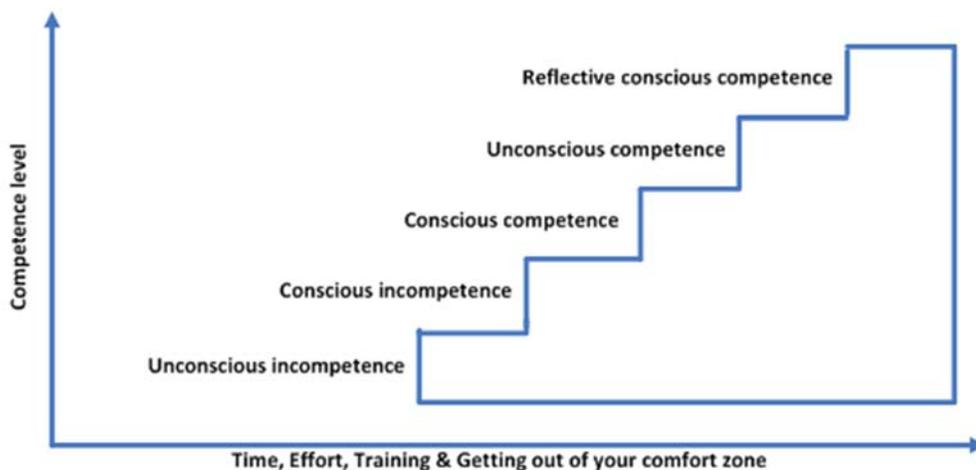


Figure 20. Levels of competence and resources investment to build capacity applied to RDS

Moving to the next level of 'unconscious competence' is still a work in progress (Figure 20). What will this look like? It would see the agencies and stakeholders involved in implementing Colombia's IWRM aspirations actually integrating climate change considerations into their normal workflows and discussions. More specifically, it would see the WEAP-based RDS approach being seamlessly integrated into the planning and decision-making processes underway in Colombian watersheds in response to clear guidance from national policy makers that makes this sort of effort mandatory, rather than discretionary. Once experience is gained along these lines, Colombia will be primed to move to the final step of 'reflective conscious competence' whereby consensus is reached around the best courses of action to reduce water management vulnerability to climate change and resources can be mobilized to implement these actions on the ground.

This section on recommended best practices has been constructed with an eye towards moving the water management community in Colombia up these two final steps. If successful, Colombia would take its place as one of the world leaders in the water and climate arena. In order to get to the level of

‘unconscious competence’ from the current ‘conscious competence’, several best practices should be followed.

Identify key technical personnel within each institution: If the use of tools like WEAP is to become part of the standard work flow within CARs, much as GIS analysis has become, staff will need to be assigned to the effort. These staff will need to have a background training in hydrology and water resources and some experience using models. They will also need to be allocated time and resources by the Directors of the CARs to work on this activity so as not to be diverted onto other projects.

Organize milestone training events: Under the current project some effort was made to train technicians within the CARs on the use of WEAP within the RDS approach, to varying degrees of success. The most successful case was that of Alto-Magdalena where the local CAR actually assembled a WEAP team to work regularly on the project in collaboration with the SEI team. Still, if this approach is to be fully internalized with CARs, more formal and sustained training will be required. The partner universities, acting as legacy institutions, or the emerging IDEAM National Water Modeling Center could develop a curriculum of activities that provides a depth of knowledge on key concepts (i.e. climate uncertainty, watershed modeling) and within a period of roughly 6-12 months that would provide enough time for the concepts to be assimilated.

Maintain presence at the CAR: To support the integration of the WEAP-RDS approach into standard workflows within the CARs, it is advisable to maintain a persistent presence within the organizations for some time. The person could be dedicated to assisting in-house staff to define work plans, monitor progress and solve problems that are encountered. Such an individual could be engaged through external project funding, as part of a university outreach function, or within the new IDEAM National Water Modeling Center.

Plan regular meetings with CARs Directors: The Directors of CARs in Colombia occupy a complex position defined by technical realities and political complexities. Many of them have a legal background or management training, and are not typically well versed in issues related to modeling. If the approach is to become part of the standard work flow and discussions within watershed, however, these Directors need to be conversant with the approach and understand how it facilitates the consideration of climate change within the standard CAR’s functions. Quarterly, half day updates with technical teams within the CARs are advised.

Generate opportunities for exchange of ideas about climate adaptation at the watershed level: The emerging community of practice fostered through the project is a critical component of future success. This community of practice should facilitate knowledge exchange between watersheds where the approach is being applied, and across policy scales. On a technical level exchanges of experience between watersheds could focus on modeling techniques or on the sorts of adaptation actions that are emerging as promising in different locations. On a policy level, such exchanges could focus on how learning at the watershed level can contribute to the refinement of national policy and the creation of national level systems to support climate informed water management at the watershed level. In this sort of community of practice, an organization such as ASOCARS could play a central role.

Draw stories of change to highlight the impact in terms of planning before and after: One of the key outcomes of the project is the existence of 40 individuals fully aware of the RDS process

and with capacity to articulate climate adaptation needs in Colombia. By bringing together a set of stories of change from these individuals, and providing them opportunities to showcase these, it is possible to, in the words of one project partner ‘give an answer to the community as to whether a project is viable or not in terms of its climate adaptive capacity’. The effort to disseminate these stories of change can be facilitated through more intentional use of new media such as blogs and Twitter feeds.

Once the practice of considering climate change is integrated into the standard workflows and discussions surrounding climate change and water management in Colombia, the stage will be set for taking the last step in the development of competence, ‘reflective conscious’ capacity. Best practices required to make this step will include:

Make water central to the national debate: Colombia is rich in water resources with 6 times more water supply per capita than any other country in the world, and 3 times more than others in Latin America (Blanco, 2008). However, some rivers have been greatly altered: the Magdalena and Cauca have witnessed a 40% reduction in water supply and rivers in the Chocó region present high levels of mercury contamination. Despite an appropriate legal framework provided by the 99 Law of 1993 and the creation of the CARs, problems remain. The largest water user in the country is the agriculture sector with 54%, followed by the urban sector with 29% and industrial sector with 13%. It needs to be recognized that in spite of the rich endowment of water, Colombia must manage its resources in order to provide water of sufficient quantity and quality to support these activities. All the more so in post-conflict Colombia, where improving rural livelihoods will be critical.

Recognize how land use planning is going to impact on water management: Land use and land distribution is at the core of the conflict in Colombia and it is also at the core of the peace process. Colombia has 114 millions of hectares, and could use 20 for agricultural production. However, the country is using only using 5 million hectares. 40 millions of hectares are being used to support extensive cattle ranching, which could be accomplished on 5 million of hectares if livestock production systems were improved. There are 35 million of hectares that could be used for other activities, such as the conservation of ecosystems that underpin water resources in the country. Among the proposed activities in the post-conflict era are actions to coordinate land use planning. The focus on land use planning highlights one of the key challenges for water management, which is to recognize its close relation to land use planning.

Connect program themes to realities of the peace process in the country: All regions in Colombia are witnessing the peace process and are expectant as to its outcomes and final resolution. In this particular case, connecting the symposium themes of water and adaptation to the peace process generated the opportunity to increase awareness about the importance of watershed planning for more sustainable progress. The management of land and water resources must be a focal part of implementing the peace.

Prepare a clear, written articulation of the priorities and how these have been developed: Once the importance of water and watershed management is firmly established in post-conflict policies in Colombia, the stage will be set to begin the sorts of actions and adaptations identified through the implementation of the WEAP-based RDS process as implemented by local CARs. Templates should be developed which clearly articulate how these actions fit within national policies and

are justified in terms of the concept of additionality required to secure adaptation funding support from various sources.

Maintain contact with national government focal points for adaptation fund: The national focal points for the various sources of adaptation funds are key actors with whom relationships must be developed and maintained. As CARs develop proposals for water management adaptations to climate change, grounded in emerging national policies and in the implementation of peace agreements, these focal points should be briefed on the proposed actions and the manner in which the WEAP-based RDS process justifies their selection for funding support.

If these best practices are followed it should be possible to (i) enable CARs and other local water management institutions to identify promising adaptation actions to reduce the vulnerability of watersheds to climate change and other uncertainties; and (ii) connect these actions to emerging national policy initiatives in a post-conflict Colombia in a manner which motivates financial support from sources of climate adaptation funding.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

As part of USAID's efforts to support Colombian efforts to reinforce the management of the countries' environmental resources, the *Rios del Páramo al Valle* program established a participatory and technical process to strengthen environmental governance and to improve climate adaptation. The process, derived from SEI's RDS practice, filled in a gap in the ability of partners to provide a broad, coordinated view of watershed management that integrates climate adaptation considerations. The application of the process led to (i) building the capacity of Colombian institutions to master a set of tools for climate adaptation analysis, (ii) demonstrating the utility of these tools within formal water and watershed planning and decision making processes in Colombia, and (iii) connecting local experiences using these tools to the national level discourse on formal water and watershed planning and decision making processes and the need to better integrate the impact of climate change.

To illustrate the empowerment achieved by Colombian institutions using the tools, we offer an analogy from practical applications of management theory about empowerment (Apello, 2014). The RDS steps were shared through consistent capacity building efforts in order to achieve full assimilation by local groups. However, empowerment in the use of the tools comes with time. Empowerment happens as each individual, or institution, moves from lower stages of assimilation to higher levels of capacity to act on a certain component of the process. In this particular case, the components of the RDS can be ranked at different descriptive levels, and varying for each institution, as the technical assistance moved from informing about the process to delegating full responsibility for implementation to the local actors.

The RDS steps towards empowerment can be categorized as follows:

- a) Informed institutions about the tools and the approach
- b) Shared with institutions the usefulness of the tools, providing examples from elsewhere
- c) Consulted with institutions for their input to improve the process and to decide
- d) Agreed with technical teams the terms of the model and of the scenarios
- e) Advised the institutions to continue to evaluate potential applications of the tools in other watersheds, or to improve the existing applications

- f) Questioned the institutions about their decisions so they can review and assert their steps forward
- g) Empowered the local institutions to continue applying the process

Table 10. Qualitative assessment of levels of empowerment of RDS steps. Example for CAM

RDS stage	Inform	Share	Consult	Agree	Advise	Question	Empower
1. Decision space							
2. Actor mapping							
3. Problem formulation							
4. Model building							
5. Scenario development							
6. Ensemble runs							
7. Visualization							
8. Robust decision analysis							

Higher levels of empowerment are happening at universities which are advanced in defining research agendas based on the process. Among CARs, the CAM is the more advanced thanks to the commitment and creation of a strong technical team (Table 10). Although not all institutions have achieved the highest level of empowerment, the team continues working and communicating with SEI to move forward in the use of the RDS process. SEI is supporting their efforts as they move forward to provide continuity.

In our view, while the full capacity to act on each of the stages may not have been achieved by all involved parties, the trajectory has been set. We observe that the momentum created by the effort will guarantee a path towards higher levels of empowerment in the application of the RDS process of the actors involved, and the consequent replication in other regions of Colombia for better planning of watershed adaptation. Whereas a decade or so ago, water managers in Colombia and other parts of the world had only a limited idea that climate change needed to be considered within IWRM based water and watershed planning processes, an exciting community of practice has been created in Colombia that is now committed to meet the challenge.

REFERENCES

- Apello, J., 2014. #Workout: Games, Tools & Practices to Engage People, Improve Work, and Delight Clients (Management 3.0) (Kindle Location 6602). Happy Melly Express. Kindle Edition.
- Blanco, J., 2008. Integrated Water Resource Management in Colombia: Paralysis by Analysis? *Int. J. Water Resour. Dev.* 24, 91–101. doi:10.1080/07900620701747686
- Bouwen, R., Taillieu, T., 2004. Multi-party collaboration as social learning for interdependence: developing relational knowing for sustainable natural resource management. *J. Community Appl. Soc. Psychol.* 14, 137–153. doi:10.1002/casp.777
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., Norberg, J., 2005. ADAPTIVE GOVERNANCE OF SOCIAL-ECOLOGICAL SYSTEMS. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 30, 441–473. doi:10.1146/annurev.energy.30.050504.144511
- Groves, D.G., Yates, D., Tebaldi, C., 2008. Developing and applying uncertain global climate change projections for regional water management planning. *Water Resour. Res.* 44, W12413. doi:10.1029/2008WR006964
- ICWE, 1992. Development Issues for the 21st Century. The Dublin Statement and Report of the Conference, Dublin, Ireland, 26-31 January 1992. World Meteorological Organization, Geneva.
- Jonch-Clausen, T., 2004. Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Plans by 2005: Why, What and How? Global Water Partnership.
- Lee, K., 1999. Appraising Adaptive Management. *Conserv. Ecol.* 3.
- Lempert, R.J., Groves, D.G., 2010. Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west. *Technol. Forecast. Soc. Change* 77, 960–974. doi:10.1016/j.techfore.2010.04.007
- Lempert, R.J., Popper, S.W., Bankes, S.C., 2003. Shaping the Next One Hundred Years: New methods for quantitative, long-term policy analysis. RAND, Santa Monica, CA.
- Lempert, R.J., Schlesinger, M.E., 2000. Robust Strategies for Abating Climate Change. *Clim. Change* 45, 387–401(15).
- Ludwig, F., van Slobbe, E., Cofino, W., 2014. Climate change adaptation and Integrated Water Resource Management in the water sector. *J. Hydrol.* 518, 235–242. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.08.010
- Lynam, T., De Jong, Wil, Sheil, D., Kusumanto, T., Evans, K., 2007. A Review of Tools for Incorporating Community Knowledge, Preferences, and Values into Decision Making in Natural Resources Management. *Ecol. Soc.* 12.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010. Política Nacional para la Gestión del Recurso Hídrico.
- Nilsson, M., Wiklund, H., Finnveden, G., Jonsson, D.K., Lundberg, K., Tyskeng, S., Wallgren, O., 2009. Analytical framework and tool kit for SEA follow-up. *Environ. Impact Assess. Rev.* 29, 186–199. doi:10.1016/j.eiar.2008.09.002
- Pahl-Wostl, C., 2009. A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Glob. Environ. Change* 19, 354–365. doi:10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001

- Pahl-Wostl, C., Sendzimir, J., Jeffrey, P., Aerts, J., Berkamp, G., Cross, K., 2007. Managing change toward adaptive water management through social learning. *Ecology and Society*. Ecol. Soc. 12.
- Peterson, G.D., Cumming, G.S., Carpenter, S.R., 2003. Scenario Planning: a Tool for Conservation in an Uncertain World. *Conserv. Biol.* 17, 358–366. doi:10.1046/j.1523-1739.2003.01491.x
- Reed, M.S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Prell, C., Quinn, C.H., Stringer, L.C., 2009. Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *J. Environ. Manage.* 90, 1933–1949. doi:10.1016/j.jenvman.2009.01.001
- Steinhoff, D.F., Monaghan, A.J., Clark, M.P., 2015. Projected impact of twenty-first century ENSO changes on rainfall over Central America and northwest South America from CMIP5 AOGCMs. *Clim. Dyn.* 44, 1329–1349. doi:10.1007/s00382-014-2196-3
- Stringer, L., Dougill, A., Fraser, E., Hubacek, K., Prell, C., Reed, M., 2006. Unpacking “Participation” in the Adaptive Management of Social–ecological Systems: a Critical Review. *Ecol. Soc.* 11.
- UNFCC, 2009. The Nairobi Work Programme.
- Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A., Galbraith, H., 2005. WEAP 21--A Demand, Priority, and Preference-Driven Water Planning Model: Part 2, Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation. *Water Int.* 30, 501–502.



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

**RÍOS DEL PÁRAMO AL VALLE,
POR URBES Y CAMPIÑAS**
Building climate adaptation capacity
in water resources planning

APPENDICES

1. Project Indicators

- Project Indicators, targets and cumulative numbers
- Performance Management Plan for USAID Colombia – V3, approved on March 18, 2014
- PMP Indicators Narrative

2. Stories of Change

- From study exchange to long-term partnerships
- Supporting climate-informed watershed planning in Colombia
- Developing technical capacity with local technicians
- Promoting an Integrative Approach

3. Universities Work Plans

- UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
 - Recomendaciones de trabajo conjunto entre la Corporación Autónoma Regional del Quindío y la Universidad del Quindío
 - Recomendaciones al Director de la Corporación Autónoma Regional del Quindío.
- UNIVERSIDAD DEL VALLE – INSTITUTO CINARA
 - Recomendaciones para la toma de decisiones en la planificación de recursos hídricos, en el departamento del Valle del Cauca
- UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
 - Recomendaciones de trabajo conjunto entre UTP y CARDER
 - Recomendaciones del personal técnico de la CARDER a sus directivos

4. Factsheets

Published

- Building climate adaptation capacity in water resources planning: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’
- Forjando capacidad de adaptación al cambio climático en la gestión de recursos hídricos en la cuenca del río Otún
- Implementación del modelo WEAP para el estudio de la calidad del agua en la cuenca del río La Vieja
- Modelación del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja en Colombia
- Instrumentos de Planificación y Apoyo a Decisiones Robustas (ADR) en la Gestión del Agua en Colombia

- El desarrollo legislativo para la gestión del agua en Colombia
- Relevancia y utilidad del proceso ADR y del sistema WEAP para la formulación de Planes de ordenamiento y Planes de manejo de cuencas y ríos en Colombia (POMCAs y PORHs)
- Modelación hidrológica del recurso hídrico en la cuenca del Alto Magdalena en Colombia, “Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas”
- Visualización de datos para asistir en la comunicación de modelos complejos a los tomadores de decisiones
- Biodiversity, wetland ecosystems and flood risks: on the Magdalena River

RDS – Robust Decision Support

- Modelación Hidrológica del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Otún en Colombia; una herramienta de Análisis de Decisiones Robustas (ADR).
- Modelación Hidrológica del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río La Vieja en Colombia; una herramienta de Análisis de Decisiones Robustas (ADR).
- Evaluación de estrategias para el control de la contaminación hídrica en la cuenca del río La Vieja, Colombia
- Demanda Hídrica Actual y Futura en la Producción de Café usando WEAP en el Sur del Huila

Alto Magdalena

- Estado de Avance del Eje del Agua y sus Líneas de Acción
- Modelación Hidrológica en la Subcuenca del Río Las Ceibas y Otros en Colombia “Ríos del Páramo al Valle, por Urbes y Campiñas”
- Modelación hidrológica del recurso hídrico en la subcuenca del Río Aipe en Colombia ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas
- Modelación del Recurso Hídrico para la Extracción de Indicadores de la Evaluación Regional del Agua según IDEAM en la Subzona Hidrográfica 2110 Rio Neiva en Colombia.

5. Submitted peer review scientific articles

- Modelación Hidrológica del Río la Vieja. Herramienta de Análisis de Decisiones Robustas.
- Los Modelos de Gestión como herramienta para el análisis de la relación agua-sociedad en el territorio con enfoque desde las Ciencias Ambientales. Estudio de caso de la ciudad de Pereira en la cuenca del río Otún.
- Integración de los modelos WEAP y QUAL2k para la simulación de la calidad de agua de fuentes superficiales. Caso de estudio: Cuenca del río La Vieja, Colombia.
- Estimación de la Huella Hídrica Verde y Agua Virtual de Café bajo escenarios de cambio climático usando WEAP

6. Boundary partners contact information

- Direct boundary partners
- Other key partners

1. PROJECT INDICATORS

Contents:

- Project Indicators, targets and cumulative numbers
- PMP Indicators Detail



Project Indicators, targets and cumulative numbers

Partner	Name	Disaggregated level	Target	Cumulative
Academia	SEI-1 Research paper including climate change considerations produced by the universities	National	3	5
	SEI-2 Courses that include teaching of WEAP	Participating municipalities and departments	55	379
	SEI-3 Students or technicians in research groups interacting directly with CARs	Quindio, Cartago, Pereira, and Huila	13	16
CARs	SEI-4 Information used for water resources management	National	4	8
	SEI-5 Use of climate change information	National	4	4
	SEI-14_IR 4.1 Environmental governance strengthened	National	4	9
	SEI-6 Sub-IR 4.1.1 Improved environmental policies for conserving bio-diversity and for mitigation impacts of global climate change	Municipalities and participating departments	4	6
	SEI-7 Sub-IR 4.1.2 Improved capacity to quantify ecosystem services, such as GHG sequestrations, and other climate change mitigation elements resulting from biodiversity conservation	Participating municipalities and departments	4	7
National Meteorological Institute	SEI-9 Participation in capacity building activities	National	4	9
	SEI-10 Reception of feedback from CARs on national policies	National	2	4
Private Sector	SEI-11 Participation in workshops	Participating municipalities and departments	12	18
Water utilities	SEI- 12 Information used for water resources management	Pereira	4	7
	SEI-13 Definition of climate adaptive measures	Pereira	8	12
All boundary partners	SEI-8 Sub-IR 4.2.2 Climate change adaptation capacity improved in target regions	Participating municipalities and departments	4	6
	4.8.2-26 Number of stakeholders* with increased capacity to adapt to the impacts of climate change as a result of USG assistance (* “stakeholders” refers to individuals)	National	36	95

PMP Indicators Narrative

Boundary partner: Academia & research organizations

Outcome: Strengthen applied research and communication channels with other actors in water resources management in the context of climate change.

Indicator	SEI-1. Research paper including climate change considerations produced by the universities
Measure	Number of papers
Baseline	0
Target	3
Sep 2015 State	5

Observed change(s) in boundary partner	At the end of this quarter, we have observed the strengthening of research groups by preparing abstracts and contributing to conferences. All of the research groups (UTP, CINARA, Uniquindío, and CENIGAA) have submitted their articles for publication, with UniQuindío and CINARA already sending proof of journal receipt.
What has contributed to the change(s)	The research group CIDERA from University of Quindío is strengthening its research capacity and ability to produce research on climate change. The continuous focus on the requirement of a research paper as an outcome of the project has pushed the research teams to obtain scientifically sound results and that can support the results of the project.
Unanticipated change(s)	The involvement of the research group in the project has led to the involvement of researchers and students in the land use planning process of the municipality of Salento to support the working group for land planning with information about water availability under climate uncertainty
Lesson	Research groups can strategically involve technicians, researchers and students on local and regional processes
Follow-up/changes	CIDERA has found on the ADR process a line of research that could continue to support water resources management in the region and at the national level

Indicator	SEI-2 Courses that include teaching of WEAP
Measure	Number of WEAP downloads from Universities
Baseline	10
Target	55
Sep 2015 State	379

Observed change(s) in boundary partner	Research groups within universities are using WEAP to teach classes, which increases the use of WEAP constantly
What has contributed to the change(s)	Professors within the university have identified the value of using an integrated tool that incorporates hydrology and water management considerations to teach classes on integrated water resources management
Unanticipated change(s)	The amount of downloads is greater than expected guaranteeing the continuity of the regional learning in the use of tools well beyond the project ends Research lines on water resources, RDS and water governance are being put in place at participating research groups. Capacity generated on climate change impacts and data generation

Lesson	Research groups as partners can serve as regional legacy groups that extend research impacts into the future
Follow-up/changes	Through a review of the WEAP downloads database it would be possible to monitor if the trend in the use of the tool will continue after June 2015

Indicator	SEI-3 Students or technicians in research groups interacting directly with CARs
Measure	Number of students or technicians
Baseline	3
Target	13
Sep 2015 State	16

Observed change(s) in boundary partner	Research groups involved at least two team members (formed by grad and undergrad students and technicians) dedicated to the project, to support technical and administrative tasks required
What has contributed to the change(s)	Research group directors realized the importance of keeping active communication with CARs for project meetings and workshops and to make progress in model and capacity building
Unanticipated change(s)	The amount of administrative work required to interact with the CARs was more demanding than expected. A number of students and technicians involved in the project are defining new research activities such as COLCIENCIAS research fellowships or future postgraduate degrees Technical transfer through support from CINARA to CCG in Chile, and technical visits from UTP to SEI partners in Perú, Chile and Argentina.
Lesson	For research groups to support CARs in the information for climate adaptation needs, there needs to be administrative and technical capacity and tasks to be completed
Follow-up/changes	Capitalize on the 13 young researchers knowledge of WEAP and climate change in future climate adaptation activities in the country

Boundary partner: Corporaciones Autonomas Regionales (CARs)

Outcome: Ownership of and capacity to use tools that support integrated water resources management decision making that is equitable for all users in the watershed. Apropriación en el uso de las herramientas para la toma de decisiones de la gestión integrada y equitativa de agua para todos los usuarios en la cuenca.

Indicator	SEI-4 Information used for water resources management
Measure	Number of tools used (e.g. WEAP, climate scenarios, ensemble and visualization)
Baseline	0
Target	4
Sep 2015 State	8

Observed change(s) in boundary partner	CARs can articulate the RDS process and its 7 steps. In addition, production of communication tools such as fact sheets and discussion briefs.
What has contributed to the change(s)	The continuous and active participation of 18 staff from CAR in project activities organized to educate them on the RDS steps
Unanticipated change(s)	The workshops and meetings designed for tool training and adaptation planning decision making generated dialogue spaces for coordination of POMCA working groups
Lesson	Technicians within CARs are extremely busy overseeing the implementation of other projects. More than deep learning of any tool, these technicians need frequent exposure to information so they can keep in their radar the use of appropriate tools for appropriate climate adaptation analysis Commitment from CARs Directors is important to understand the time and resources required for the use of this information, and in so doing, generate the space for technicians to do this work
Follow-up/changes	At the national workshop it would be possible to review the continuous use of the tools within the 6 month timeframe

Indicator	SEI-5 Use of climate change information
Measure	Use of climate change for POMCAS (climate impact incorporated into the plans as opposed to climate response policies in Sub-IR 4.1.1)
Baseline	0
Target	4
Sep 2015 State	4

Observed change(s) in boundary partner	Working towards the use of WEAP and climate information producing during project on Suaza and Ceibas POMCAS. Greater consideration of use of information in La Vieja POMCA.
What has contributed to the change(s)	Persistence from project to include the use of the tools in the POMCA process, and the realization of the importance of climate considerations within POMCA formulation
Unanticipated change(s)	There is great interest from POMCA teams to use the tools and climate information generated in project, however the current practice of contracting for POMCA formulation outside of the institution blocks the opportunity for CARs to suggest the use of WEAP as a tool for POMCA formulation Shift of thinking from standard way of POMCA formulation from contracted with consulting firms, supervised by CARs, diagnostic in its nature, and

	according to technical guides vs generated from inside CARs with internal capacity, using tools to corroborate data, focus on prospective analysis based on uncertainty and scenarios, and allowing for innovation and creativity.
Lesson	The use of WEAP and associated models developed during project should be seen as internal institutional tools to corroborate any information produced by outside consultants At the level of MADS it may be possible to generate greater momentum for the use of WEAP in POMCAs and PORHs if they are named explicitly as options in national guidelines
Follow-up/changes	Further involvement of CARs Directors, and of ASOCARs can promote active use of climate information in water resources planning

Indicator	SEI-14_IR 4.1 Environmental governance strengthened
Measure	Number of institutions with improved capacity to address climate change issues as a result of USG assistance
Baseline	0
Target	4
Sep 2015 State	9

Observed change(s) in boundary partner	Technicians within institutions can articulate climate risks within their jurisdiction. They can present this information to their Board of Directors. All institutions participating in Exchange Program consolidated their knowledge (4 CARs, 4 Universities, 1 Water Utility)
What has contributed to the change(s)	Through continuous training in all the tools and their use for water resources planning under uncertainty. In particular with the exchange program in California, all boundary partner institutions have been exposed to how SEI and WEAP have supported the California DWR in their planning.
Unanticipated change(s)	In addition to CARs, also universities have been able to assimilate the California experience
Lesson	Regional governance is strengthened by partnering between institutions and academia, with the role of outside organizations like SEI as the catalyzing think tank
Follow-up/changes	Continue promoting and strengthening the relationship between CARs and universities to support water resources planning under uncertainty

Indicator	SEI-6 Sub-IR 4.1.1 Improved environmental policies for conserving biodiversity and for mitigation impacts of global climate change
Measure	Number of laws, policies, strategies, plans, agreements or regulations addressing climate change (mitigation or adaptation) and/or biodiversity conservation officially proposed, adopted or implemented as a result of USG assistant
Baseline	0
Target	4
Sep 2015 State	6

Observed change(s) in boundary partner	In addition to the goal of providing tools for POMCAS, CARs are using WEAP for other water resources planning actions, as demonstrated by the use of WEAP definition of environmental flows for Rio Quindío; the formulation of the Huila 2050 Action Plan; Acto administrativo del PORH del Otún; the use of WEAP for the PORH of Bolo Frayle; the use of the model for the Rio
--	--

	Quindío in the EOT (Esquema de Ordenamiento Territorial de Salento); the use of WEAP for the Neiva river ERA (Evaluación Regional del Agua)
What has contributed to the change(s)	The presence of the project through workshops and training plans implemented by the partner universities and focusing on key technicians within the CARs has led to the internalization of the tools and information, to the point where the key technicians have identified other uses of the RDS process in their ongoing institutional functions
Unanticipated change(s)	Each of the CARs involved in the project have found additional uses of the WEAP and RDS tools for their water resources planning. Innovation in water resources planning by using WEAP and ADR in PORHs, and the support of water resources planning on other jurisdictions beyond La Vieja and Alto Magdalena
Lesson	Persistence presence of the project through workshops and training plans, and the identification of technicians within CARs is key to generate the knowledge and appropriation of the tools for their use in ongoing planning processes
Follow-up/changes	Continue promoting the participation of key technicians on related activities

Indicator	SEI-7 Sub-IR 4.1.2 Improved capacity to quantify ecosystem services, such as GHG sequestrations, and other climate change mitigation elements resulting from biodiversity conservation
Measure	Number of mitigation and/or adaptation tools, technologies and methodologies developed, tested and/or adopted
Baseline	0
Target	4
Sep 2015 State	7

Observed change(s) in boundary partner	All participating CARs are able to quantify climate impact on water resources with the RDS tools, which are Actor Mapping, XLRM, WEAP, Climate Scenarios, Scripting, Ensemble, and Visualization.
What has contributed to the change(s)	The systematic approach of sharing each of the tools and demonstrating its use for quantifying the impact of climate change, and other changes, on water resources availability
Unanticipated change(s)	A greater internal capacity to use the tools within CARs was expected
Lesson	CARs technicians are busy with administrative work, and have little time to devote to technical activities The required increase in CAR personnel to allow technicians to focus on technical work
Follow-up/changes	Verify commitments in some CARs to hire new personnel and devote technicians to the use of RDS tools

Boundary partner: National Meteorological Institutions
Outcome: Receive feedback on national policies implemented at the local level in the watersheds

Indicator	SEI-9 Participation in capacity building activities
Measure	Presence of IDEAM members in trainings
Baseline	0
Target	4
Sep 2015 State	9

Observed change(s) in boundary partner	IDEAM has actively participated in meetings organized in preparation of the climate scenarios workshop, in the climate scenarios workshop in Armenia in October 2013, in a specific WEAP training in IDEAM, in a second climate scenarios workshop organized in the context of other SEI activities in Colombia, in the Regional Results workshop in Cartago in Dec. 2014, in the Regional Results workshop in Neiva in Feb. 2015, coordinating a meeting at the IDEAM to share ERA results using WEAP in March 2015, participating in the Symposium Water, Climate and Adaptation in June 2015, and participating in the Nexus meeting in July 2015.
What has contributed to the change(s)	IDEAM understands the value added from the collaboration with SEI and NCAR in developing climate information at the watershed scale
Unanticipated change(s)	Three different divisions within IDEAM: Hydrology, Environmental Studies, and Meteorology, are aware of the work and support the participation of their staff and contractors in project activities
Lesson	Additional resources to strengthen the participation of IDEAM in regional water resources planning can motive further link between national and regional climate information needs
Follow-up/changes	Promote dialogue spaces between IDEAM and CARs

Indicator	SEI-10 Reception of feedback from CARs on national policies
Measure	Documentation reporting on feedback from local experience
Baseline	0
Target	2
Sep 2015 State	4

Observed change(s) in boundary partner	The Climate Scenarios Workshop, and all other dialogue spaces created by the project, served as a forum for feedback from the CARs to IDEAM about the importance of developing climate data at the local scale in regards to water resources decision making. More recently, the prominent participation of IDEAM at the Symposium generated an opportunity to receive feedback for national policies
What has contributed to the change(s)	Involvement of IDEAM in workshop planning and on data processing
Unanticipated change(s)	The project created a direct communication channel between individuals working at the institutions that was non existent before
Lesson	Institutions are represented by individuals that need to be connected
Follow-up/changes	Keep communication between institutions open

Boundary partner: Private sector in Colombia
**Outcome: Understanding of implications of climate change on water resources availability
required for economic sectors**

Indicator	SEI-11 Participation in workshops
Measure	Sectors represented in meetings
Baseline	0
Target	12
Sep 2015 State	18

Observed change(s) in boundary partner	From list of participants in XLRM workshops, we verified 8 sectors participating in Armenia, 6 sectors in Pereira and 1 sector participating in Neiva. The willingness from private sectors to participate in the event shows their interest in the subject. Three additional sectors participated in the symposium.
What has contributed to the change(s)	CARs have the capacity to convene regional actors, including private sectors
Unanticipated change(s)	Coffee sector was involved more than any other sector, contributing with data useful for model development
Lesson	Participation from private sectors was not required for project performance
Follow-up/changes	Additional involvement of sectors may be possible in national workshop

Boundary partner: Water utilities

Outcome: Use of tools for investments in adaptation measures that are relevant for reliability of water supply

Indicator	SEI-12 Information used for water resources management
Measure	Number of tools used (e.g. WEAP, climate scenarios, ensemble and visualization)
Baseline	0
Target	4
Sep 2015 State	7

Observed change(s) in boundary partner	Aguas y Aguas can articulate the RDS process and its 7 steps
What has contributed to the change(s)	The continuous and active participation of 2 Aguas y Aguas members in project activities organized to educate on the RDS steps
Unanticipated change(s)	The commitment from Aguas y Aguas to use WEAP and the RDS tools, through collaborations with UTP and with SEI as demonstrated by multiple grants written together
Lesson	It was not possible to involve other water utilities in the project since no explicit efforts were made to outreach to them from local project partners
Follow-up/changes	Generate a space for Aguas y Aguas to share its learning in the project to other water utilities

Indicator	SEI-13 Definition of climate adaptive measures
Measure	Climate adaptive measures being considered
Baseline	0
Target	8
Jan 2014 State	12
Observed change(s) in boundary partner	<p><i>A unique feature of project activity in the Rio Otún watershed was the participation of the water supply utility for the City of Pereira, Aguas y Aguas. For a number of years, this partner has been considering various water management options to prepare Pereira for changing future conditions defined primarily by population growth and changing regulations related to water quality and environmental flows. As part of the project, these actions were examined through the lens of climate change uncertainty as well, leading colleagues within Aguas y Aguas to consider them not just as potential water management options but as potential climate change adaptation measures. This analysis, and the associated reevaluation of these actions, motivated the decision to include them amongst a set of climate change adaptation actions identified by the project.</i></p> <p>The main changes reported here correspond to actions reported by Aguas y Aguas as the result of the implementation of a long term strategy for watershed protection and integrated water resources management. Although the actions reported here were ongoing before the interventions of ‘Rios del Páramo al Valle’ what is relevant for the water utility in relation to the RDS process is the capacity to assess the adaptive capacity of their current water management actions in terms of counteracting climate effects. The approach for watershed conservation that has taken place in Otún, places this basin and its water utility</p>

	<p>in a potentially advantageous position in terms of having already accomplished a wide portfolio of potentially adaptive strategies. The challenge for Aguas y Aguas is to be able to demonstrate the adaptive capacity of its current watershed management program in order to channel efforts and funds for their continued implementation. As such, the technical team in Aguas y Aguas has identified the opportunity to use the RDS process not only for prospective analysis but for retrospective analysis. In this sense, they have worked with UTP to recreate the adaptive measures taken in the historic period and others planned for the future to evaluate their current effect, and their potential additional effect possible with the continuity or augmentation of their water conservation and management efforts. Below is the list of adaptive measures being considered for future maintenance and enhancement:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Conservación de ecosistemas estratégicos Páramo y Bosque en la parte alta de la cuenca del río Otún (Desde el año 1950 a la fecha) (2) Restauración de humedales altoandinos (a partir del año 2006 a la fecha) (3) Restauración de coberturas vegetales mediante procesos de sucesión natural (a partir del año 2006 a la fecha, antes se hacía reforestación). (4) Construcción de la nueva planta de tratamiento de agua potable (2014-2015) (5) Rehabilitación del canal de aducción de agua en el sector de Nuevo Libaré (2014) (6) Instrumentación climática e hidrológica en la cuenca como miembro de la Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda (Desde año 2008) (7) Sistemas de alerta temprana hidrológicas y ecosistémicas frente al cambio climático (Estación de investigación Lisbrán, desde año 2009) (8) Investigación y conocimiento del recurso hídrico a través de estudios especializados (Balances hídricos, estudios limnológicos, toma de decisiones frente al cambio climático) (9) Programa de Agua No Contabilizada - ANC (Desde el año 1997 a la fecha se han reducido las pérdidas en el sistema de distribución del 42% al 30%) (10) Plan de Ahorro y Uso Eficiente del Agua - PAUEA (Los consumos se han reducido en los últimos años de 20 m3/mes a 13 m3/mes, aunque no obedece solo a este Plan, ya que la tarifa, la tecnología y otros aspectos culturales y cambios socioeconómicos han incidido en ello). (11) Embalse sobre el río Otún (aunque esto no existe a la fecha, si se ha considerado que hacia futuro esta pueda ser una de las medidas que se deba adoptar) (12) Fuentes alternas (esto también se viene estudiando a fin de poder tener mas resiliencia frente al cambio climático, e incluye que se pueda alternar la fuente superficial principal en Otún, con otras fuentes superficiales, e incluso con fuentes subterráneas en algunos lugares de la ciudad).
<p>What has contributed to the change(s)</p>	<p>The continuous hydrologic variability, together with the dependence in the Otún watershed has contributed to the change in the approach to watershed conservation and integrated water resources management in the last two decades. According to Aguas y Aguas, the knowledge acquired in the last 20 yrs led to a better understanding of the climate and hydrologic variability which is common in the coffee region and the central Andean mountain range of Colombia. Also, the dependence on the Otún watershed as the main water supply for urban use in Pereira has led to the concentration of efforts in water supply regulation and water demand management. As a consequence, Aguas y Aguas has invested resources in ‘soft adaptation measures’ such as land acquisition programs and restoration of associated strategic ecosystems.</p>

	<p>Similarly, and taking advantage of other ‘hard adaptation measures’, the water utility has rehabilitated the water diversion canal, has built a new potable water treatment plant, has implemented the non-accounted water program, and is considering the possibility of bringing water from other sources with the potential construction of a reservoir.</p>
Unanticipated change(s) –	<p>In the last 10 yrs the water utility initiated a drastic reduction in the water use from 20 m³/month to 13 m³/month which has resulted from the water service and water treatment tariffs. This resulted in a lower consumption rate by the inhabitants of Pereira, with a net reduction in water use by the city despite the increase in population. This has affected the financial stability of the company unexpectedly which reduces its capacity to continue implementing infrastructure investments such as wastewater treatment plants. This is an unexpected change in terms of the outcomes of water reduction consumption based on tariffs.</p> <p>In relation to the project, the unanticipated outcome has been in relation of the need for retrospective analysis instead of focusing on prospective analysis of the future. Provided the advanced conservation status of the Otún watershed and the existence of water management strategies in the basin, the work on RDS support provided tools to make such prospective analysis and to create arguments for the continuation of the actions taken as part of the water management strategies.</p>
Lesson	<p>A main lesson is the importance of keeping in balance different aspects such as operations, technical analysis, environmental considerations, social and cultural components and finances, to warrantee the sustainability of investment programs. The relationship among these aspects increases the integrality of adaptation programs, but at the same time it increases the complexity and uncertainty in decision making. As a consequence, it is key to count with RDS-type analysis that lead to a better management of water resources by water utilities in Colombia. It is important to maintain the RDS framework in the formulation of ‘Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos’ by water utilities, which will need to be revised and approved by regional environmental authorities.</p>
Follow-up/changes	<p>Until the end of the project it will be possible to continue establishing methods for the implementation of the adaptation measures being considered that have not yet been implemented in the calibrated Otún model. This process will lead to an increased capacity building by Aguas y Aguas.</p>

Boundary partner: All Boundary Partners
Outcome: NA – USAID indicator

Indicator	SEI-8 Sub-IR 4.2.2 Climate change adaptation capacity improved in target regions
Measure	Number of mitigation and/or adaptation tools, technologies and methodologies developed, tested and/or adopted
Baseline	0
Target	4
Jan 2014 State	4

Observed change(s) in boundary partner	<p>To record this indicator we asked two questions: do you know the tools? And, can you potentially use the tools and information generated? Assuming that the set of four tools include XLRM, WEAP, Climate Scenarios and Visualization, the answer to this questions was obtained through a survey to boundary partners. Below is the result:</p> <p>a. Desarrollo de herramientas para la toma de decisiones</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td><td>14%</td></tr> <tr><td>4</td><td>15</td><td>68%</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>18%</td></tr> </table> <p>b. Uso de herramientas/conceptos como cambio climático</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0%</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td><td>23%</td></tr> <tr><td>4</td><td>12</td><td>50%</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>23%</td></tr> </table>	1	0	0%	2	0	0%	3	3	14%	4	15	68%	5	4	18%	1	0	0%	2	0	0%	3	5	23%	4	12	50%	5	5	23%
1	0	0%																													
2	0	0%																													
3	3	14%																													
4	15	68%																													
5	4	18%																													
1	0	0%																													
2	0	0%																													
3	5	23%																													
4	12	50%																													
5	5	23%																													
What has contributed to the change(s)	All participating institutions are more comfortable with their knowledge about climate change how to use this information for water resources planning and adaptation																														
Unanticipated change(s)	The level of assimilation by some individuals in the use of the tools																														
Lesson	The individuals with greater assimilation of the tools should be promoted to devote more time to work in defining adaptation measures using this information																														
Follow-up/changes	Individuals participating in the project should continue using the tools to support definition of adaptation measures																														

Indicator	4.8.2-26 Number of stakeholders* with increased capacity to adapt to the impacts of climate change as a result of USG assistance (* “stakeholders” refers to individuals)
Measure	Number of individuals

Baseline	0
Target	36
Sep 2015 State	95

Observed change(s) in boundary partner	Engagement with regional needs for climate adaptation. 40 individuals from CARs, A&A, IDEAM, and Universities have participated of project workshops and activities. With the participation of 55 individuals in addition to those that had been participating of the project, it was possible to reach to a larger audience and to transfer in an expedient fashion the learning from the project in terms of improving adaptation capacity of watersheds
What has contributed to the change(s)	Their participation in the project meetings have generated greater awareness of climate impact and adaptation issues
Unanticipated change(s)	The most senior partners participating in the project showed the greater commitment to the activities Creation of networks between technicians and researchers and between regional, national and international networks. Connection between technicians in decision making institutions.
Lesson	Explicit work with stakeholders through task orders or convenios guarantees greater commitment to internalize tools for their use at the regional level
Follow-up/changes	Continue interaction with the 40 individuals, who are the cradle and changing agents to promote proper climate analysis for water resources adaptation

Performance Management Plan for USAID Colombia – V3

Cooperative Agreement Number AID-514-A-12-00002 with Stockholm Environmental Institute U.S. (SEI-US)

Project Title: Water Resources Planning through Climate Change Capacity Building “Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas”

SEI Project Leader: Marisa Escobar

SEI Project Team: Laura Forni, David Purkey, Jack Sieber, Bart Wickel

Project Starting Date: 01/07/2012

Project Completion Date: 30/09/2015

Date: March 18, 2014

Stockholm Environment Institute
400 F Street, Suite A
Davis, CA, 95616, USA
Tel + 1 530.753.3035 x7
Fax +1 530.753.3477

Contents

- 1 Project Vision and Purpose 3
- 2 Boundary Partners and Outcomes 4
- 3 Indicators per boundary partner 6
- 4 Progress towards planned outcomes..... 9
- 5 Research outputs..... 10
 - 5.1 Climate change effects on water resources and potential adaptations 10
 - 5.2 Tools to guide the management of ecosystems and water resources 10
 - 5.3 Capacity building 10
 - 5.4 Management, communications and monitoring 10
- 6 Relation to SEI strategy objectives 2010-Yr3 11

The Performance Management Plan (PMP) was developed based on guidance from Ruben Darío Suarez from M&E Program - USAID Colombia after a meeting in Bogotá in October 2012. This document was prepared to satisfy the requirements of the PMP so it is possible to start creating the necessary activities within the MONITOR system for the M&E of this project. The PMP is based on an internal SEI system which includes several dimensions that are not necessarily tracked in MONITOR, but we decided to include those to enrich our reporting plan. Our internal project monitoring and evaluation system is called PMEC – Planning, Monitoring, Evaluation and Communication System, and within SEI we are required to use it for project reporting.

The PMEC system is based on Outcome Mapping¹, which utilizes a series of logical steps easily coded into a systematic tool. Essentially, a relational database is constructed containing information on the overall aims and objectives of the research project. Progress towards meeting the aims of the project can be regularly monitored and evaluated against agreed milestones and success criteria, and actions taken by the project team. As a consequence, some of the information included on our PMP is in addition to the MONITOR requirements, and it was included for consideration.

Our objective for the PMP is to be able to have it programmed into the MONITOR system, in particular, facilitating section 11.3 regarding Indicators per boundary partner, which includes the SubIRs for Development Objective 4 (DO-4): COLOMBIAN EFFORTS TO SUSTAINABLY MANAGE THE COUNTRY'S ENVIRONMENTAL RESOURCES REINFORCED, IRs 4.1 'Environmental governance strengthened' and 4.2 'Climate change mitigation and adaptation improved' that relate to our project. We expect to receive feedback on our PMP and guidance to continue with the inscription on the MONITOR system.

The PMP will also be used to keep track of project progress based on the work performed by SEI and project partners. Below is the summary of projects vision and purpose developed in collaboration with project partners during visits to Colombia (in *Spanish* and English), the outcome challenges defined for the boundary partners, project indicators, and progress markers.

1 Project Vision and Purpose

Summary description

This project seeks to develop capacity to achieve water management adaptation to water resources climate change in the Eje Cafetero and other regions in Colombia. Water resources in this region are managed by Corporaciones Autónomas Regionales that have the public mandate of water allocation, pollution mitigation and ecosystem and watershed management. Sensitive ecosystems such as the páramo, that are located throughout between 3000 and 5000 meters above sea level across the region, provide hydrologic services and functions by regulating the timing and supply of water. Agricultural economic activities, mainly based on coffee, are wide spread throughout the region. Thriving mid-size cities demanding public services are also interlocked within the cultural landscape of this region. The confluence of ecologic, economic, and social factors defining this region create both the motivation and the conditions necessary for effective climate adaptation, in addition to creating an opportunity to scale up lessons learned to the national scale in Colombia.

¹ Earl, S., Carden, F., Smutylo, T. (2001). Outcome Mapping: Building Learning and Reflection into Development Programs. International Development Research Centre (IDRC), Canada. 154pages.

Vision:

Given the complexity to achieve coordination amongst actors related to water resources management, and the availability of information in the watersheds of la Vieja, Otún, Alto Magdalena and Magdalena, there are systems and tools that support decision making incorporating strategies for water resources management that contribute to adaptation to climate change and variability, including projects that are viable and that can be financed by private or public local, national, or international funds for adaptation.

Dadas la complejidad para lograr coordinación entre actores relacionadas con la gestión del recurso hídrico y la disponibilidad de información en las cuencas de los ríos la Vieja y Otún, existen sistemas y herramientas que apoyan la toma de decisiones incorporando estrategias de gestión del recurso hídrico que contribuyen a la adaptación al cambio y variabilidad climática, incluyendo proyectos viables que pueden ser financiados por fondos locales, nacionales e internacionales de adaptación de carácter privado y público

Purpose:

Promote collaborative work through the creation of capacity for the development of programs, projects, strategies, and innovative tools, among actors implicated in decision making related to integrated water resources management that contribute to adaptation to climate change and variability in the watersheds of La Vieja, Otún, Alto Magdalena, and Magdalena.

Promover el trabajo conjunto a través de creación de capacidades para el desarrollo de programas, proyectos, estrategias y herramientas innovadoras entre actores implicados en la toma de decisiones relacionadas con la gestión integral del recurso hídrico que contribuyan a la adaptación al cambio y variabilidad climática en las cuencas del río La Vieja y Otún

2 Boundary Partners and Outcomes

The project proposed to work with the following boundary partners each with their specific outcomes:

- Academia & research organisations
 - Strengthen applied research and communication channels with other actors in water resources management in the context of climate change.
 - *Fortalecer investigación aplicada y canales de comunicación con otros actores en la gestión del recurso hídrico en el contexto de cambio climático.*
- Corporaciones Autonomas Regionales (CARs)
 - Ownership of and capacity to use tools that support integrated water resources management decision making that is equitable for all users in the watershed.
 - *Apropiación en el uso de las herramientas para la toma de decisiones de la gestión integrada y equitativa de agua para todos los usuarios en la cuenca*
- National Meteorological Institutions
 - Retroalimentación del SIRH con información confiable para las cuencas la Vieja y el Otún y Alto Magdalena como experiencia piloto en la aplicación de las herramientas (Sistema de Información de Recurso Hídrico - Dec. 1323 2007, Dec. 2012 - reg. de usuarios)
 - *Receive feedback on national policies implemented at the local level in the watersheds*

- Private sector in Colombia
 - Conocimiento sobre las implicaciones de cambio climático en la disponibilidad de recursos hídricos necesarios para actividades productivas
 - *Understanding of implications of climate change on water resources availability required for economic sectors*
- Water utilities
 - Apropiación de herramientas para invertir en las medidas de adaptación relevantes a su función de proveer agua
 - *Use of tools for investments in adaptation measures that are relevant for reliability of water supply*

3 Indicators per boundary partner

Boundary partner: Academia & research organizations			
Outcome: Strengthen applied research and communication channels with other actors in water resources management in the context of climate change. Fortalecer investigación aplicada y canales de comunicación con otros actores en la gestión del recurso hídrico en el contexto de cambio climático.			
<i>Indicator</i>	<i>Measure</i>	<i>Means of verification</i>	<i>Baseline state in Nov 2012 / Target</i>
Research paper including climate change considerations produced by the universities	Number of papers	Direct communication	Baseline: 0 Yr1 target: 0 Yr2 target: 1 Yr3 target: 2
Courses that include teaching of WEAP	Number of WEAP downloads from Universities	WEAP database of downloads	Baseline: 10 Yr1 target: 20 Yr2 target: 15 Yr3 target: 20
Students or technicians in research groups interacting directly with CARs	Number of students or technicians	Direct communication	Baseline: 3 Yr1 target: 4 Yr2 target: 4 Yr3 target: 5
Boundary partner: Corporaciones Autonomas Regionales (CARs)			
Outcome: Ownership of and capacity to use tools that support integrated water resources management decision making that is equitable for all users in the watershed. Apropriación en el uso de las herramientas para la toma de decisiones de la gestión integrada y equitativa de agua para todos los usuarios en la cuenca.			
<i>Indicator</i>	<i>Measure</i>	<i>Means of verification</i>	<i>Baseline state in Nov 2012 / Target</i>
Information used for water resources management	Number of tools used (e.g. WEAP, climate scenarios, ensemble and visualization)	Observation of planning process	Baseline: None of the tools Yr1 target: 0 Yr2 target: 3 Yr3 target: 1

Use of climate change information	Use of climate change for POMCAS (climate impact incorporated into the plans as opposed to climate response policies in Sub-IR 4.1.1)	POMCAS	Baseline: None Yr1 target: 0 Yr2 target: 2 Yr3 target: 2
IR 4.1 Environmental governance strengthened	Number of institutions with improved capacity to address climate change issues as a result of USG assistance	Number of CARs participating in the process	Baseline: 0 Yr1 target: 0 Yr2 target: 2 Yr3 target: 2
Sub-IR 4.1.1 Improved environmental policies for conserving bio-diversity and for mitigation impacts of global climate change	Number of laws, policies, strategies, plans, agreements or regulations addressing climate change (mitigation or adaptation) and/or biodiversity conservation officially proposed, adopted or implemented as a result of USG assistant	Review of list of policies	Baseline: 0 Yr1 target: 0 Yr2 target: 2 Yr3 target: 2
Sub-IR 4.1.2 Improved capacity to quantify ecosystem services, such as GHG sequestrations, and other climate change mitigation elements resulting from biodiversity conservation	Number of mitigation and/or adaptation tools, technologies and methodologies developed, tested and/or adopted	New water management platform in use as an adaptation tool	Baseline: 0 Yr1 target: 0 Yr2 target: 2 Yr3 target: 2
Boundary partner: National Meteorological Institutions Outcome: Retroalimentación del SIRH con información confiable para las cuencas la Vieja y el Otún y Alto Magdalena como experiencia piloto en la aplicación de las herramientas (Sistema de Información de Recurso Hídrico - Dec. 1323 2007, Dec. 2012 - reg. de usuarios) Receive feedback on national policies implemented at the local level in the watersheds			
Indicator	Measure	Means of verification	Baseline state in Nov 2012 / Target
Participation in capacity building activities	Presence of IDEAM members in trainings	Participation lists	Baseline: 0 Yr1 target: 0 Yr2 target: 2 Yr3 target: 2
Reception of feedback from CARs on national policies	Documentation reporting on feedback from local experience	Direct communication	Baseline: 0 Yr1 target: 0 Yr2 target: 1

			Yr3 target: 1
Boundary partner: Private sector in Colombia			
Outcome: Conocimiento sobre las implicaciones de cambio climático en la disponibilidad de recursos hídricos necesarios para actividades productivas Understanding of implications of climate change on water resources availability required for economic sectors			
<i>Indicator</i>	<i>Measure</i>	<i>Means of verification</i>	<i>Baseline state in Nov 2012 / Target</i>
Participation in workshops	Sectors represented in meetings	Lists of attendance	Baseline: 0 Yr1 target: 4 Yr2 target: 4 Yr3 target: 4
Boundary partner: Water utilities			
Outcome: Apropiación de herramientas para invertir en las medidas de adaptación relevantes a su función de proveer agua Use of tools for investments in adaptation measures that are relevant for reliability of water supply			
<i>Indicator</i>	<i>Measure</i>	<i>Means of verification</i>	<i>Baseline state in Nov 2012 / Target</i>
Information used for water resources management	Number of tools used (e.g. WEAP, climate scenarios, ensemble and visualization)	Observation of planning process	Baseline: None of the tools Yr1 target: 0 Yr2 target: 3 Yr3 target: 1
Definition of climate adaptive measures	Climate adaptive measures being considered	Direct communication	Baseline: None Yr1 target: 0 Yr2 target: 4 Yr3 target: 4
Boundary partner: All of the above			
Outcome: Aumento en capacidad para adaptarse a los impactos de cambio climático. Increased capacity to adapt to the impacts of climate change			
Sub-IR 4.2.2 Climate change adaptation capacity improved in target regions	Number of stakeholders with increased capacity to adapt to the impacts of climate variability and change as a result of USG assistance	Water management plan with strategies in the short, intermediate and long term	Baseline: 0 Yr1 target: 0 Yr2 target: 2 Yr3 target: 2
4.8.2-26 Number of stakeholders* with increased capacity to adapt to the impacts of climate change as a result of USG assistance (* "stakeholders" refers to individuals)	Number of individuals	Lists of attendance to workshops of individuals from boundary partner institutions	Baseline: 0 Yr1 target: 10 Yr2 target: 10 Yr3 target: 16

4 Progress towards planned outcomes

Academia & research organisations	Type	Level of change (none, low, médium, high)
Formalize contract for participation in project	Early	
Communication with CARs about benefits from project and profile of technicians needed for the project	Early	
Naming of personnel involved in project team	Early	
Regular interactions with CARs	Increasing	
Production of technical information to support decision making	Increasing	
Corporaciones Autonomas Regionales (CARs)	Type	Level of change
Formalize commitment for participation in project	Early	
Receive document defining level of involvement of personnel in project from SEI or Universities	Early	
Confirmation of personnel from CAR that will be involved in project	Early	
Regular interaction with project team	Increasing	
Increased knowledge about climate change and variability	Increasing	
Change in decision making process about water resources at the level of technicians and decision makers	Deep	
Actualization of POMCAS incorporating climate adaptation strategies	Deep	
National Meteorological Institutions	Type	Level of change
Formalize commitment for participation in project	Early	
Private sector in Colombia	Type	Level of change
Increased knowledge about climate change and variability	Increasing	
Water utilities	Type	Level of change
Formalization of commitment for participation in project	Early	
Increased knowledge about climate change and variability	Increasing	
Change in decision making process about water resources that include climate change	Deep	
Increased knowledge about hydrologic function of páramos	Increasing	

5 Research outputs

5.1 Climate change effects on water resources and potential adaptations

Output	Planned completion date
Actor mapping	31/12/2013
XLRM report	31/12/2013
Draft WEAP model	31/12/2013
Climate scenarios information	31/12/2013

5.2 Tools to guide the management of ecosystems and water resources

Output	Planned completion date
Final WEAP model	01/03/2014
Automatization of ensemble runs	01/07/2014
Visualization of data	01/10/2014

5.3 Capacity building

Output	Planned completion date
Stakeholders capacity in XLRM	31/12/2013
Stakeholders capacity in WEAP	31/12/2013
Stakeholders capacity in climate scenarios	31/12/2013
Stakeholders capacity in ensemble runs and visualization	31/12/2014
Generation information for decision making	31/12/2014

5.4 Management, communications and monitoring

Output	Planned completion date
Reports	01/07/2015
Convenios	31/01/2013

6 Relation to SEI strategy objectives 2010-2015

Objective	Contribution
1.1: Support sustainable urbanisation through systemic analyses of urban infrastructures and their service delivery capacity and consequences for communities in relation to land-use, air quality, water resources, sanitation and solid waste.	We will work on urban areas in the Coffee Region in Colombia, where there is competition for the use of natural resources
1.3: Support the implementation of good governance and management in sustainable agriculture, water security and sanitation in the face of water scarcity, land-use pressures and environmental degradation, especially in sub-Saharan Africa, North Africa, the Middle East, Latin America and Asia.	We will work with local government institutions in charge of management of water resources through the process of creating analytical tools
1.4: Develop tools to analyse the co-benefits of addressing both climate change and air pollution mitigation in relation to ecosystem services with a focus on human health, food security and biodiversity.	The analysis will include climate change dimensions and the consideration of sensitive ecosystems
1.6: Turn our experience of building natural resource management models that can deal with land, air and water resources, such as WEAP, into the next generation of integrated assessment tools to advise policy on the management of scarce natural resources for the protection of sustainable livelihoods and ecosystem services.	We will use WEAP in the process
2.1: Conduct research on key areas of adaptation and mitigation, based on a rigorous scientific understanding of climate change and relevant policy regimes, and of the increasing role of climate change in regional and global politics leading to the development of equitable climate policies.	The analysis will include the observation of adaptation strategies and effects on water resources availability
5.3: Move further towards a transdisciplinary approach to research in order to strengthen the engagement with stakeholders in the entire learning process from problem to solution	The project will focus on robust decision making, and the support of stakeholders in using this approach for climate adaptation
6.5: Build research capacity within SEI by, for example, taking on doctoral students and hosting visiting professors	The project will have a strong capacity building component, including support for graduate studies and an exchange program for a doctoral student

2. STORIES OF CHANGE



Contents:

- From study exchange to long-term partnerships
- Supporting climate-informed watershed planning in Colombia
- Developing technical capacity with local technicians
- Promoting an Integrative Approach





From study exchange to long-term partnerships

Guided technical visits enhance learning about water resources management



Photo:
Visit from Alto Magdalena partners to the Department of Water Resources office in Sacramento to learn how models and climate data are used for water planning in California

Facilitated exchange trips for water resource managers have proved so invaluable for building capacity and learning that it is being developed into long-term alliances between watershed managers in California and Colombia.

Since 2012, the USAID funded project *Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas* (rivers from the páramo to the valley, through cities and countryside), has supported water officials in Colombia to come to the US to exchange learning, build technical capacity and share experiences in water management. In 2014, two groups of water professionals from different Colombian watersheds visited the Davis office in California. They included representatives of Colombian universities, local government officials and water utility managers – all involved in research and policy-making related to water resources.

The exchange trips allowed in-depth learning of water management tools, particularly the WEAP software developed by the Stockholm Environment Institute, as well as training in how to visualize the results of the tools to better inform non-technical decision-makers. The programme also included visits to relevant university departments, local water agencies, as well as Californian state water planners using SEI tools at a time of unprecedented drought.

The programme enables participants and WEAP expert staff to identify parallels in watershed management, to share new ideas and perspectives and discuss ways to apply this learning in different local contexts. One participant in 2014 reported that “the exchange was an excellent enriching experience professionally and the knowledge I gained will be shared in my own work.”

The exchanges have proved so successful that it has evolved towards setting up more permanent long-term partnerships between local water agencies in California and Colombia - with a view to deepening the sharing of ideas and experiences and improving water resource management in both regions.

Telling Our Story

U.S. Agency for International Development
Washington, DC 20523-1000
<http://www.usaid.gov/results-data/success-stories>



Supporting climate-informed watershed planning in Colombia

Models, data and participation in decisions about water



*Photo:
Results workshop in Neiva in February 2015
with participation of stakeholders of the
Alto Magdalena Basin*

Powerful planning tools and processes using the WEAP software are helping communities in Colombia make effective decisions and preparations to manage water resources at a time of climate-change uncertainty

Like many regions worldwide, the Andes in South America faces serious challenges from the impact of climate change and other development pressures to its future management of water resources. Through constant iteration, experimentation and practice, the USAID funded project *Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas* (rivers from the páramo to the valley, through cities and countryside), has applied the decision-making process (known as Robust Decision Support or RDS) and a powerful software tool, WEAP, to help governments make the best possible decisions around water management in the face of climate change and other uncertainties.

Since 2012, this USAID project being implemented by the Stockholm Environment Institute in collaboration with local academic and government partners has deepened its work using these tools in three major watersheds in Colombia (Rio La Vieja, Alto Magdalena and Magdalena-Cauca). Through a series of workshops, technical training, and development of accessible briefings, the project has helped improve water management in the region. It has also forged strong working relationships with universities, water and energy utilities, local government officials and other stakeholders, such as coffee farmers. Their input and requests have informed improvements to the WEAP software, integrating factors such as environmental flows and flooding routines into the modeling.

As a result, participatory processes, software tools and climate data are being increasingly adopted within Colombia's different water management plans at local, state and national levels – and even helping to better integrate them. National guidelines for river basin plans are now being regionalized to use of WEAP and RDS, and SEI has also been called for its expertise and input into similar processes underway in other jurisdictions of Colombia.



Developing technical capacity with local technicians

Revamping old ways with new tools



Photo: Bart Wickel

Abelino de Jesus Arias Cortés at Lake Tahoe during the Exchange program in California in April 2014

“The application of WEAP within the Robust Decision Support methodology made evident the articulation and the expected interaction between water quantity and water quality”

Abelino de Jesus Arias is a sanitary engineer with a Master’s degree in Ecotechnology and works as a specialist for the regional environmental authority in Risaralda within the larger Magdalena River Basin. Having worked in the water sector in Colombia for over 25 years, Abelino is familiar with the ways water systems are managed in Colombia.

Conventionally, Abelino notes, water management agencies have operated individually, with each following the relevant laws and addressing the issues within their purview. The approach introduced in the *Ríos del Páramo al Valle* project, funded by USAID’s Adaptation program, brings issues of water supply, water demand, and land use together through the Stockholm Environment Institute’s Water and Evaluation Planning software (WEAP) and brings stakeholders together in a parallel fashion, engaging government agencies, academics, and policy specialists in a community-based Robust Decision Support process.

This system approach to water management and planning for the basin—taking into account various uncertainties and strategies, and considering the full spectrum of different water users within the basin—is beginning to move water management discussions beyond the boundaries of individual regional environmental authorities, connecting multiple agencies with shared basin and ecoregion objectives.

As only Abelino could so poetically put it, “the experience gained [through this project] prompted a public servant to assert in an impromptu farewell speech in the midst of the joy and splendor of the typical Colombian celebration: rumba, food and drink, in the midst of American culture, with humility, but also certainty, and as an encouraging omen: *We may be running the risk of changing the history of water resources planning in Colombia!*”

The integrated approach introduced in Abelino’s region and in others throughout the Magdalena Basin is now being shared across the country and through the Andes.

Telling Our Story

U.S. Agency for International Development
Washington, DC 20523-1000
<http://www.usaid.gov/results-data/success-stories>



Promoting an Integrative Approach

Symposium brings together local, regional, and national water resources professionals



Photo: Clara Ines Perez Pineda Gabriel Lozano, University del Quindío; Juan Sebastian Herrera, Personero Salento; Amparo Duque and Maria Clemencia Sandoval, Corporacion Autonoma Regional del Valle del Cauca discuss the impact of local tourism on water quality.

Three years of collaboration in the Otún, Chinchiná-La Vieja, and Alto Magdalena watersheds culminated in the Symposium on Water, Climate, and Adaptation in Bogota June 3, 2015.

Telling Our Story

U.S. Agency for International Development
Washington, DC 20523-1000
<http://www.usaid.gov/results-data/success-stories>

The Ríos del Páramo al Valle project, funded by USAID's Adaptation program, has focused on the Magdalena River and its tributaries. Home to 70% of Colombia's people, the Magdalena watershed is facing a multitude of water resources challenges. Agriculture, fisheries, industry, cities, and environmental requirements all pull on the region's water resources and, as is the case across much of the globe, uncertainty around the magnitude and effects of climate change dictate that plans for the future be robust and adaptable. The Magdalena watershed covers an area roughly the size of Colorado and includes 20 regional environmental authorities (Corporaciones Autónomas Regionales or CARs).

On June 3, 2015, the Water, Climate and Adaptation Symposium gathered over 100 water resources professionals—scientists, engineers, policy advisors, agency directors, politicians—from more than 35 organizations—local, regional, national, and international universities, government agencies, consultancies, and NGO's.

With a wide-angle view of Bogota and of the mountains that birth the Magdalena, participants shared their stories of successes and challenges and engaged in lively dialogues about technical advances, models as decision-support tools, urban water supply, and financing of implementation plans.

Juliana Delgado, PhD freshwater scientist at The Nature Conservancy, Colombia, reminded attendees of the importance of integrated planning, asking: "How can we create an economic development plan that preserves nature and ensures equitable distribution of benefits?"

Reinaldo Orduz, Projects Director of the Planning Commission within the Casanare Government, indicated that they wanted to go to the Symposium to witness the cooperation between NGOs and institutions around water. Reinaldo's vision is to learn from these experiences as they can be applied to sustainable development in Casanare – a large region under development pressures. Making reference to last year's environmental catastrophe in which thousands of *chigueros*¹ died he indicated: "we see that these national and international networks can serve to instigate growth plans that are supported by research."

In a message recorded exclusively for the symposium, Chief peace negotiator and former vice-president, Humberto de la Calle, emphasized the importance of water in achieving peace between the FARC and the Colombian government.

Attendance by five CARs outside of the project study area served to expose new regional authorities to the experiences of CARs who have been using SEI's toolkit that includes Robust Decision Support (RDS) and Water Evaluation and Planning software (WEAP).

¹ Capybaras – the largest rodent in the world, that lives in the Orinoco plains and is used as a common source of protein

3. UNIVERSITY WORKING PLAN



Contents:

- UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
 - Recomendaciones de trabajo conjunto entre la Corporación Autónoma Regional del Quindío y la Universidad del Quindío
 - Recomendaciones al Director de la Corporación Autónoma Regional del Quindío.
- UNIVERSIDAD DEL VALLE – INSTITUTO CINARA
 - Recomendaciones para la toma de decisiones en la planificación de recursos hídricos, en el departamento del Valle del Cauca
- UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
 - Recomendaciones de trabajo conjunto entre UTP y CARDER
 - Recomendaciones del personal técnico de la CARDER a sus



Universidad del Quindío



DOCUMENTO DE RECOMENDACIONES DE TRABAJO CONJUNTO ENTRE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO Y LA UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO, POSTERIOR AL PROYECTO “CREANDO CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN EN PLANEACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS: ‘RÍOS DEL PÁRAMO AL VALLE, POR URBES Y CAMPIÑAS’”

OBJETIVO

Presentar Documento resumen que defina los temas de colaboración entre la Universidad y la CAR a corto (hasta Junio 2016) y mediano plazo (posterior al Junio 2016)

DESARROLLO DEL DOCUMENTO

Con el presente documento el Grupo de Investigación, Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y el Ambiente (CIDERA) de la Universidad del Quindío manifiesta la intención de seguir trabajando conjuntamente con la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) en el desarrollo de actividades relacionadas con la gestión y planificación del recurso hídrico y la implementación de la herramienta WEAP en las cuencas de su jurisdicción, enfocando este proceso en el marco de los Planes de Ordenación de Cuencas Hidrográficas (POMCAS) y los Planes de Ordenación del Recurso Hídrico (PORH).

Como es bien sabido por los funcionarios de la corporación WEAP es una herramienta de planificación y gestión integral del recurso hídrico, que proporciona un marco comprensivo, flexible y de uso fácil para la planificación y análisis de políticas relacionadas con el recurso hídrico. Esta herramienta funciona usando el principio básico del balance de masas pudiendo ser utilizado para sistemas municipales y agrícolas, a una sola cuenca o complejos sistemas de cuencas hidrográficas, (Nacionales y Transfronterizas). Por otra parte, WEAP puede simular una amplia gama de los componentes naturales e intervenidos de estos sistemas, incluyendo escorrentía por precipitación, flujo base, y recarga de aguas subterráneas por precipitación; análisis de demandas sectoriales; conservación del agua; derechos de agua y prioridades de asignación, operaciones de los embalses; generación de hidroelectricidad; seguimiento de la contaminación y calidad de las aguas; evaluaciones de vulnerabilidad, requisitos de los ecosistemas e incluso un módulo de análisis financiero que permite que el usuario realice Análisis Económico para los proyectos de gestión de recursos hídricos.

En este orden de ideas, en el marco del proyecto “Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’”, financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y ejecutado conjuntamente por el Centro de Estados Unidos del Stockholm Environment Institute U.S. (SEI-US), la Universidad del Quindío (UniQuindío), la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) y la Universidad del Valle (UniValle) y con la colaboración y el apoyo de

las Corporaciones Autónomas Regionales de los departamentos del Quindío (CRQ), Risaralda (CARDER) y Valle del Cauca (CVC), además de la empresa de servicios públicos Aguas y Aguas de Pereira (A&A de Pereira). Se ha desarrollado un modelo de planificación de recursos hídricos en la herramienta WEAP para la cuenca del río La Vieja, en el cual se evaluaron un conjunto de escenarios de cambio climático y algunas medidas de adaptación a dicho cambio. Este modelo de gestión de recursos hídricos ha sido entregado a la corporación (CRQ) como una herramienta de Análisis de Decisiones Robustas (ADR), la cual, si se sabe aprovechar, facilita el proceso de la gestión, planificación y toma de decisiones sobre el recurso hídrico bajo escenarios de incertidumbre y medidas de adaptación.

Dado que la corporación ya cuenta con el modelo WEAP de la cuenca del río La Vieja, desde la Universidad del Quindío se formulan algunas líneas de trabajo que se consideran podrían llegar a desarrollarse conjuntamente en el corto y mediano plazo. Es de resaltar que estas líneas de trabajo propuestas no son garantía de que las mismas se ejecuten, pues es claro que las políticas y dinámicas internas de cada institución pueden llegar a retrasar o incluso a no tenerse en cuenta estos procesos dentro de sus planes de trabajo actuales.

Al corto plazo (Julio de 2015 a Junio de 2016) las actividades que se proponen realizar conjuntamente entre la CRQ y La UniQuindío se enfocarían principalmente en:

- La apropiación de la herramienta WEAP por parte de la corporación. Para esta actividad la CRQ dentro de su grupo de recursos hídricos deberá nombrar un funcionario o funcionarios que se apropien del manejo y entendimiento del modelo WEAP de la cuenca del río La Vieja. Desde la universidad del Quindío se dará la capacitación necesaria a este funcionario(s) para que interiorice el modelo WEAP del río La Vieja y conozcan a profundidad su implementación y ventajas en la planificación.
- Igualmente dada la necesidad de la corporación en cumplir con los POMCA y los PORH en su jurisdicción, se propone como actividad de trabajo realizar un ejercicio completo y detallado de modelación en WEAP, incluyendo escenarios de cambio climático y evaluación de estrategias de adaptación en una de las subcuencas de su jurisdicción (según necesidades de la CRQ), tomando como base el modelo del río La Vieja desarrollado en el marco de este proyecto. Se hace referencia a un ejercicio completo y detallado, ya que el modelo actual del río La Vieja se desarrolló sobre los ríos principales y las demandas mayores de agua (cabeceras municipales y pequeñas centrales hidroeléctricas). Este ejercicio de planificación se desarrollaría a nivel de microcuencas analizando todas las demandas de agua que tiene concesionada la corporación (agrícolas, pecuarias, acueductos rurales y veredales,

demandas urbanas, hidroeléctricas, entre otras). Este modelo detallado servirá para que la corporación afiance el manejo y entendimiento de la herramienta WEAP, y entienda el potencial que tiene este modelo sobre el manejo, la planificación, la evaluación y la gestión del recurso hídrico, basado en la historia hidrológica de la región, en la capacidad de simular escenarios de cambio climático y estrategias de adaptación, convirtiéndolo en una herramienta de apoyo para el Análisis de Decisiones Robustas (ADR).

A mediano plazo (posterior a Julio de 2016) se espera seguir apoyando a la corporación en el desarrollo de estas actividades de planificación, prestando el apoyo y asesoramiento técnico para replicar los ADR en el resto de las cuencas de jurisdicción de la CRQ. Igualmente se espera desarrollar actividades conjuntas entre las dos instituciones que permitan mejorar y actualizar los modelos derivados de estos estudios preliminares y a desarrollar mejores estrategias de planificación y gestión del recurso hídrico en la región.

ELABORO

Grupo de Investigación Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y el Ambiente CIDERA

Universidad del Quindío

Ing. Gabriel Lozano Sandoval

Director Grupo CIDERA

Coordinador de la UniQuindío en el proyecto USAID-SEI

Ing. Cesar Augusto Rodríguez Mejía

Integrante Grupo CIDERA

Apoyo técnico de la UniQuindío en el proyecto USAID-SEI

Marzo 31 de 2015.

Armenia, Septiembre 30 de 2015

Doctor:
JOHN JAMES FERNÁNDEZ LÓPEZ
Director General
Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ)
La Ciudad
Att. Ingeniera Lina Marcela Alarcón

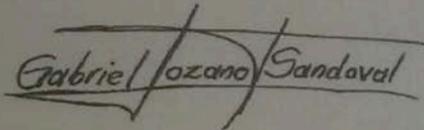
17:35
7856 10CT'15
CRQ RECIBIDO

Asunto: Proyecto SEI – UniQuindío – CRQ, entrega documento "Recomendaciones de trabajo conjunto UniQuindío-CRQ."

Respetado Doctor.

Por medio de la presente se hace entrega del documento de recomendaciones de trabajo conjunto y apoyo a la toma de decisiones, producto del trabajo desarrollado en el marco del proyecto "Ríos del paramo al valle, por urbes y campiñas; planeación de recursos hídricos a través de la formación de capacidades frente al cambio climático, que se desarrolla de manera conjunta entre el Instituto de Ambiente de Estocolmo (SEI), CRQ, CARDER, CVC, Aguas & Aguas de Pereira, UTP, Universidad del Valle y Universidad del Quindío, el cual fue financiado por la USAID.

Atentamente.



Ing. GABRIEL LOZANO SANDOVAL
Coordinador proyecto.
Grupo CIDERA – Universidad del Quindío.
Carrera 15 calle 12 norte Armenia – Quindío
Email: galozano@uniquindio.edu.co

Anexo: Documento de recomendaciones trabajo conjunto (3 folios).

Armenia, Abril 07 de 2015

Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ)

La Ciudad

ASUNTO: RECOMENDACIONES EN LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS DESDE EL PROYECTO CREANDO CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN EN PLANEACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS: 'RÍOS DEL PÁRAMO AL VALLE, POR URBES Y CAMPIÑAS'.

Apreciado doctor Jhon James Fernandez Lopez, mediante la presente me dirijo a usted con el fin de informarle sobre los resultados del proyecto "**Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: 'Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas'**", financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y ejecutado conjuntamente por el Centro de Estados Unidos del Stockholm Environment Institute U.S. (SEI-US), la Universidad del Quindío (UniQuindío), la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) y la Universidad del Valle (UniValle) y con la colaboración y el apoyo de las Corporaciones Autónomas Regionales de los departamentos del Quindío (CRQ), Risaralda (CARDER) y Valle del Cauca (CVC), además de la empresa de servicios públicos Aguas y Aguas de Pereira (A&A de Pereira). Igualmente dar algunas recomendaciones relacionadas con la gestión integral del recurso hídrico y la apropiación de la herramienta WEAP.

Este proyecto se viene ejecutando desde el año 2012 y se encuentra en su fase final (junio de 2015), como resultados del mismo se tienen los siguientes productos que han sido entregados a su corporación.

- Un modelo de gestión del sistema de recursos hídricos para la cuenca del río La Vieja, el cual incluye un modelo hidrológico de la cuenca, un análisis de oferta vs demanda de las principales cabeceras municipales asentadas en la cuenca.
- Igualmente este modelo de gestión incluye un análisis de escenarios de cambio climático con proyecciones al año 2050, lo cual permite tener una idea del comportamiento del clima futuro según el quinto reporte del IPCC.
- Adicional a estos escenarios de clima, se realizó un análisis de diferentes escenarios asociados principalmente al cambio demográfico (crecimiento alto, medio, bajo), consumo per cápita (aumento, reducción, actual) y cambios de la dinámica agrícola asociado al aumento o reducción de cultivos de café.
- Por otro lado se evaluaron y analizaron algunas estrategias de adaptación con el fin de reducir el impacto del cambio climático sobre las comunidades y el ambiente, dentro de estas estrategias se tiene: reducción de pérdidas en los sistemas de transporte y tratamiento de agua potable, reducción del índice de agua no

contabilizada y la implementación de caudales ecológicos para la conservación de la flora y fauna acuática.

- Finalmente se generó un escenario donde se involucra la implementación del embalse multipropósito del Quindío en la cuenca del río Navarco.

Recomendaciones

Es de resaltar que el modelo de gestión del sistema de recursos hídricos de la cuenca del río La Vieja desarrollado en WEAP es una excelente herramienta de planificación que facilitaría a los funcionarios de la corporación el proceso de Toma de Decisiones y el Análisis de Decisiones Robustas (ADR) bajo escenarios de incertidumbre, fundamentado en la hidroclimatología histórica de la cuenca. A continuación se presentan algunas recomendaciones:

- Se recomienda la interiorización y apropiación de este modelo de gestión WEAP dentro del grupo de recursos hídricos de la corporación, para lo cual será necesario destinar mínimo un funcionario a esta actividad.
- Con la apropiación de la herramienta se recomienda a la corporación seguir desarrollando actividades de este tipo a escala más detallada de las microcuencas de su jurisdicción con el fin de mejorar el ADR y la toma de decisiones.
- Con este modelo de gestión se aprecia que a futuro habrá problemas de disponibilidad de agua principalmente en los periodos secos, por lo que se recomienda a la corporación seguir trabajando en la reglamentación y control de las corrientes hídricas, donde este modelo de gestión es de gran utilidad.
- Igualmente se recomienda diseñar, desarrollar e implementar estrategias de adaptación al cambio climático, que permitan reducir los efectos sobre los ecosistemas y las comunidades humanas.
- Seguir y mejorar con los controles de los diferentes usuarios del recurso hídrico enfocado en el suministro y las descargas de agua residuales.
- Seguir y mejorar las prácticas de conservación de las cuencas abastecedoras, aumentando las zonas de conservación y protección.

Atentamente,

Lina Marcela Alarcón Mora

Ing. Ambiental

Funcionario CRQ participante en el proyecto USAID-SEI

Ing. Gabriel Lozano Sandoval
Director Grupo CIDERA
Coordinador de la UniQuindío en el proyecto USAID-SEI

Universidad del Valle

Instituto CINARA





Proyecto

Ríos del páramo al valle por urbes y campiñas: planeación de recursos hídricos a través de la formación de capacidades

**Recomendaciones para la toma de decisiones en la planificación de recursos hídricos,
en el departamento del Valle del Cauca**

Preparó

María Fernanda Jaramillo Llorente

Junio de 2015



25 años
Cinara

CGU.080.2015

Cali, Septiembre 29 de 2015

Ingeniera
PAOLA PATIÑO
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Carrera 56 # 11 - 36 Barrio Santa Anita

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL
DEL VALLE DEL CAUCA
30082018 14:48:38
Remite: CINARA - INSTITUTO DE
INVESTIGACION Y DESARROLLO EN
ASUNTO: ENTREGA DOCUMENTO
Destinatario: PAOLA JANETH PATIÑO TRIANA
Al contestar cite número: *100523852015* Folio 19

Referencia: Proyecto SEI. Entrega de documento "Recomendaciones para la toma de decisiones en la planificación de recursos hídricos, en el departamento del Valle del Cauca"

Estimada Ingeniera,

Conforme con los compromisos establecidos en el proyecto "Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas: Planeación de recursos hídricos a través de la formación de capacidades frente al cambio climático", que se desarrolla de manera conjunta entre el Instituto SEI, CVC, CRQ, CARDER, AGUAS y AGUAS, UTP, Universidad del Quindío y la Universidad del Valle, se hace entrega del documento citado en la referencia.

Cordialmente,

ALBERTO GALVIS C.
Coordinador proyecto
Instituto Cinara - Universidad del Valle

Copia: Ing. José Alberto Riascos Coordinador de la cuenca Tuluá-Morales DAR Centro Norte. Ing. Amparo Duque. Funcionaria Especializada de la DTA.

INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto "*Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas*" uno de los principales retos formulados correspondió a la formación de capacidad técnica para la toma de decisiones frente al Cambio Climático, en el marco de la gestión integrada de los recursos hídricos. Para abordar este reto múltiples discusiones y plenarios fueron realizadas y en ellas se presentó el estado del arte de la planificación hídrica en Colombia y la problemática actual que enfrenta el país para una adecuada toma de decisiones.

El objeto de este documento es recopilar una serie de recomendaciones para la toma de decisiones en la planificación de los recursos hídricos, considerando un análisis del contexto normativo colombiano, y con base en el aporte y experiencias del personal técnico del proyecto, caso específico la CVC como Autoridad Ambiental del departamento del Valle del Cauca, y la Universidad del Valle a través del Grupo de Investigación Gestión Integrada de Recursos Hídricos del Instituto Cinara.

Para el desarrollo de las recomendaciones producto de este informe, se realizó un proceso sistematizado en el cual, como primera medida se revisó el contexto normativo nacional y local con el objetivo de identificar las bases conceptuales y elementos necesarios para toma de decisiones en Colombia frente a una gestión integral del recurso hídrico. En segunda instancia se elaboró un ejercicio con la Autoridad Ambiental, que mediante preguntas específicas recopila la experiencia en la toma de decisiones en la planificación del recurso hídrico en el contexto local. De esta segunda etapa se resaltan recomendaciones que fueron comprendidas desde la ejecución de este proyecto.

El proyecto "*Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas*" fue desarrollado bajo la coordinación del Instituto del Ambiente de Estocolmo U.S - SEI, el auspicio financiero de la Agencia para el Desarrollo de los Estado Unidos de América - USAID y con el acompañamiento técnico de las siguientes instituciones participantes: Corporación Autónoma Regional del Quindío, Corporación Autónoma Regional de Risaralda, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Empresa prestadora de servicios públicos Aguas y Aguas, Universidad del Quindío - Grupo CIDERA, Universidad Tecnológica de Pereira - Grupo Ecología, Ingeniería y Sociedad y Universidad del Valle, Cinara - Grupo Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

El equipo de trabajo para el desarrollo de este informe de recomendaciones corresponde a:

Personal de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC:

Amparo Duque.

Esp, Ingeniera Sanitaria.

José Alberto Riascos.

Esp, Ingeniero Civil.

Paola Janeth Patiño.

MSc. Ingeniera Sanitaria

Personal del Instituto Cinara, Universidad del Valle:

Alberto Galvis.

MSc. Ingeniero Sanitario

María Fernanda Jaramillo.

MSc. Ingeniera Agrícola

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este informe se plantearon dos etapas: la primera mediante una revisión del marco normativo colombiano y la segunda una serie de recomendaciones de los socios directos del proyecto (CVC y Cinara-Univalle) para la toma de decisiones en el contexto de la GIRH. El intercepto entre estas dos etapas corresponde a las recomendaciones del Análisis de Decisiones Robustas ADR frente a la planificación del recurso hídrico. En la Figura 1 se presenta el esquema metodológico implementado. Las herramientas metodológicas implementadas corresponden a revisión de literatura, plenarias entre el personal de la CVC y Cinara-Univalle y captura de información por tarjetas.

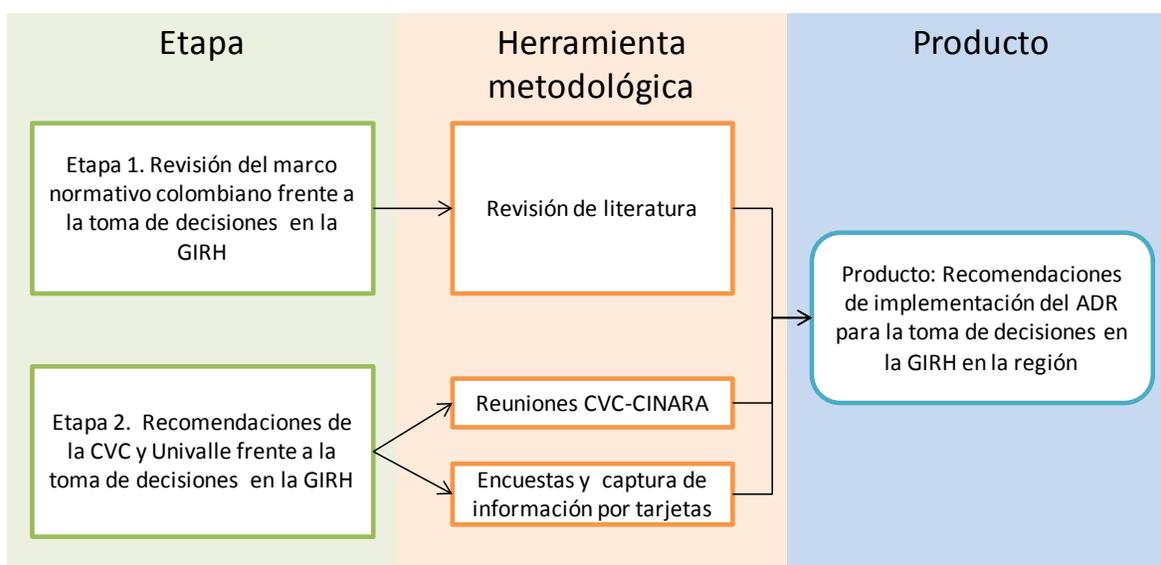


Figura 1. Esquema metodológico para la recopilación de recomendaciones

RESULTADOS

Bases conceptuales y elementos para la GIRH en el marco normativo colombiano

Estrategias de uso eficiente, producción más limpia y priorización de las inversiones, son algunos de los elementos de la gestión del recurso hídrico que se encuentran enmarcados en la normatividad colombiana, además de otras medidas de gestión de la demanda y control de la contaminación hídrica. Estos elementos han sido reconocidos a nivel internacional y nacional, sin embargo el mejoramiento en los cuerpos hídricos en el contexto local, en función de su disponibilidad¹, no es evidente. En el diagnóstico realizado para la elaboración de la política nacional del recurso hídrico, se identificó que el control de la contaminación hídrica se ha mitigado primordialmente a través de inversión en

¹ Entendiendo que el concepto de disponibilidad es una función de la cantidad y calidad del recurso hídrico.

sistemas de tratamiento, lo cual hace pensar que otros elementos de la gestión del recurso, pese a ser reconocidos, no han sido implementados. De los \$2,4 billones ejecutados en el 2007 en la gestión integrada del recurso hídrico (GIRH), el 88% se destinó a infraestructura de agua potable y saneamiento y el 12% restante, se destinó al resto de las acciones de la GIRH relacionadas con el mejoramiento de la oferta hídrica, la gobernabilidad del recurso y el control de los riesgos asociados con el agua ([MAVDI, 2010b](#)).

Desde el nivel nacional, el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial emite, en el 2010, la Política Nacional para la Gestión del Recurso Hídrico (PNGRH), en un esfuerzo por integrar los diferentes elementos de la gestión del recurso hídrico. El objetivo general de ésta es *"garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social"*([MAVDI, 2010b](#)).

Desde ésta política y bajo el marco normativo, legal y político colombiano se identificaron elementos y estrategias de la gestión del recurso hídrico como son: el uso eficiente del recurso hídrico, la producción más limpia, la priorización de las inversiones, la cuenca como unidad de análisis, el fortalecimiento institucional, la gobernabilidad y la participación de los diferentes actores. Estos y otros elementos identificados se presentan a continuación.

Cuenca como unidad de análisis: La cuenca hidrográfica es la unidad fundamental para la planificación y gestión integral descentralizada del patrimonio hídrico ([MAVDI, 2010b](#)). El concepto de cuenca hidrográfica en la gestión del agua en Colombia es detallado desde Código Nacional de Recursos Naturales Renovables donde se define a la cuenca como "un área físico-geográfica debidamente delimitada, en donde las aguas superficiales y subterráneas vierten a una red natural mediante uno o varios cauces de caudal continuo o intermitente que confluyen a su vez en un curso mayor que desemboca o puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar". El soporte normativo de la gestión del agua desde el concepto de cuenca hidrográfica esta soportado en el decreto 2811 de 1974, en los decretos 1604 y 1729 de 2002 y en la Política Nacional para la Gestión del Recurso ([MAVDI, 2010b](#)).

Producción más Limpia (PmL): Es la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada a los procesos productivos, a los productos y a los servicios para incrementar la eficiencia y reducir riesgos para los seres humanos y el ambiente. La Producción más Limpia puede ser aplicada a los procesos empleados en cualquier industria, a los productos mismos y a los diferentes servicios prestados a la sociedad ([PNUMA, 2006](#)). La Producción más Limpia es soportada en los lineamientos generales de

la Constitución Política de 1991, de la Ley 99 de 1993 y los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 1994-1998, el CONPES 3177 de 2002 y la Política de Producción y Consumo Sostenible ([MAVDT, 2010a](#)).

Uso eficiente del recurso hídrico: Es la implementación de medidas de reducción de la cantidad de agua que se utiliza por unidad productiva de cualquier actividad, y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad del agua. El uso eficiente del agua es cualquier reducción o prevención de pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad ([Aranda, 2000](#)), incluye medidas de gestión de la demanda y el reuso, se encuentra soportado en la Política Nacional para la Gestión del Recurso ([MAVDT, 2010b](#)) y en la Ley de Uso eficiente y Ahorro del Agua ([MAVDT, 1997b](#)).

Gestión de la Demanda: Es la implementación de ciertas acciones encaminadas a reducir el consumo de agua y por consiguiente a disminuir la producción de agua residual. Múltiples experiencias han mostrado que la implementación de estrategias orientadas al ahorro del agua, como la instalación de aparatos de bajo consumo, la medición del recurso, el uso de las aguas grises y/o aguas lluvias y el cambio en los hábitos de consumo mediante educación ambiental, han disminuido considerablemente la producción de aguas residuales municipales representando beneficios económicos a lo largo del tiempo ([Zambrano, 2010](#)). Implementar estrategias de minimización y prevención, conociendo la relación directa entre la demanda de agua potable y la producción de agua residual, permite superar las desventajas y los impactos a los que ha llevado la gestión convencional, donde las tecnologías en ahorro de agua y el reciclaje disminuyen tanto la demanda como la producción de agua residual. ([Makropoulos et al., 2008](#)). Estas estrategias que hacen parte del concepto de uso eficiente del agua, se han reglamentado en el marco de la política nacional para la gestión del recurso hídrico ([MAVDT, 2010b](#)) y en la ley 373 de 1997.

Tecnologías de Tratamiento: Son estructuras que permiten la reducción de contaminantes presentes en el agua mediante procesos físicos, biológicos y químicos. El control de la contaminación hídrica en Colombia ha estado focalizado en la implementación de sistemas de tratamiento de agua residual, con base en un "enfoque de corrección" y más precisamente en acciones al *final del tubo*, con las exigencias de tratamiento secundario y eficiencia de remoción de los sistemas de tratamiento del 80% ([Gandini et al., 2005](#)). Estas exigencias de tratamiento fueron concebidas desde 1976 con la adopción del Acuerdo 14 de la CVC, en la cuenca alta del río Cauca región comprendida entre los departamentos del Valle, Cauca y el antiguo Caldas. Posteriormente esta exigencia se introduce en todo el territorio nacional con el decreto 1541 de 1984.

Una de las líneas estratégicas para el control de la contaminación del recurso hídrico propuestas por el MAVDT ([2010b](#)) es reducir los aportes de contaminación puntual y

difusa implementando tratamiento de aguas residuales para disminuir la contaminación por materia orgánica y sólidos en suspensión, patógenos, nutrientes y sustancias de interés sanitario. A nivel de control de la contaminación hídrica puntual, la exigencia de tratamiento de agua residual a nivel municipal se encuentra soportada en los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) reglamentados en el decreto 3100 de 2004. En el documento CONPES 3177 de 2002 se establece la necesidad de priorización de los municipios donde se pretenda invertir en tratamiento.

Contaminación difusa: La contaminación difusa es aquel proceso de cambio de la composición natural de un cuerpo/curso de agua, con consecuencias negativas sobre su calidad, que se origina en la recepción de una multiplicidad de pequeñas descargas de aguas residuales no controladas y fuentes espacialmente dispersas como la agricultura y el lavado de sustancias agroquímicas por precipitación y riego. En cuanto a la contaminación no puntual, el Decreto 1594 de 1984 señala que deben cumplir con los requerimientos de vertimiento de las descargas puntuales, sin embargo las autoridades ambientales no han establecido normas explícitas para vertimientos no puntuales y por ende estos no son controlados ni regulados ([Londoño y Parra, 2007](#)). En el documento CONPES 3624 de 2009, se menciona la necesidad de articular este tipo de contaminación a la gestión del recurso hídrico.

Reuso de agua residual: El reuso de agua residual es una estrategia que forma parte del concepto de uso eficiente, que a diferencia del concepto convencional de tratamiento del agua presenta enfoque más lógico centrado en la minimización de las aguas residuales, refinamiento de materias primas y procesos de producción y reutilización de los residuos ([Larsen et al., 1999](#)). La evaluación de los beneficios asociados al reuso de agua residual puede contribuir en la justificación de adecuadas políticas de inversión y mecanismos de financiación para el control de la contaminación de los cuerpos hídricos ([Hernández-Sancho et al., 2010](#)). Ésta estrategia ha sido reconocida a nivel nacional desde la formulación de la ley 373 de 1997, la formulación de la guía técnica de formulación de proyectos de tratamiento de agua residual ([MAVDT, 1997a](#)), el documento CONPES 3177 de 2002 y la política nacional para la gestión del recurso hídrico ([MAVDT, 2010b](#)).

Capacidad de autodepuración: Es la capacidad de un cuerpo hídrico de asimilar una carga contaminante y re-airearse. Depende de factores como la temperatura, el flujo y características hidráulicas de la corriente (caudal, velocidad, flujo, pendiente). La capacidad de autodepuración de un cuerpo hídrico se debe al proceso biológico de degradación de los componentes orgánicos a través de la oxidación de la materia orgánica. Este proceso degrada la carga contaminante pero consume el oxígeno, dando como producto una mineralización. Sin embargo el cuerpo hídrico a cierta distancia recupera su nivel de oxígeno. Estimar la capacidad de autodepuración es fundamental en la gestión del recurso,

dado que la recuperación de un cuerpo hídrico bajo condiciones anóxicas implicaría inversiones superiores y limitaría los posibles usos. Con base en lo anterior el concepto de autodepuración se encuentra relacionado con la capacidad de asimilación y por tanto, implícitamente ésta es soportada en los decretos 1594 de 1984 y 3930 de 2010. En el año 2002 en el marco del CONPES 3177 se identificó que los principales factores de la contaminación de los cuerpos hídricos son el tamaño y la calidad de los vertimientos así como el tamaño de la fuente y su capacidad de asimilación. La concepción de la capacidad de autodepuración del cuerpo hídrico receptor permitiría no solo el ordenamiento del recurso hídrico y la optimización de las inversiones en agua y saneamiento, sino también la ordenación de los usos de territorio.

Distribución espacial y temporal de la contaminación: La contaminación hídrica está relacionada con las diferentes acciones antropogénicas como los vertimientos domésticos, el impacto que tienen los vertimientos industriales, especialmente los no controlados por disposición en horarios nocturnos, la explotación minera, el uso y manejo inadecuado de los suelos de las laderas y de la franja protectora de las fuentes superficiales, además de la alteración del sistema de humedales lénticos y mala disposición de residuos sólidos. De igual manera la contaminación hídrica está relacionada con las condiciones naturales del ciclo hidrológico y demás subsistemas, como son los procesos de infiltración, los niveles de caudal circulante, los niveles freáticos, la duración y frecuencia de crecidas o avenidas, y también por la variación del régimen normal de caudal que produce cambios en la ecología fluvial.

La contaminación de las aguas superficiales por la escorrentía que entran en contacto con los residuos de materiales contaminantes presentes en actividades industriales puede ser significativa a distribuciones temporales cortas. La implementación de programas de prevención y mejores prácticas de manejo, conjuntamente con una planificación estructural adecuada, son métodos efectivos para lograr una descarga de aguas de lluvia en cumplimiento con las metas de calidad para aguas superficiales y la protección de la salud y ambiente. En términos espaciales la contaminación suele ser mayor en lugares cercanos a las zonas densamente pobladas y con muchas industrias.

En este sentido la contaminación hídrica presenta una variación espacio-temporal vinculada a los factores que intervienen en su desarrollo, la cual debe ser analizada en el marco de la gestión del agua. Este análisis de la espacialidad y temporalidad de la contaminación hídrica es considerado en diferentes instrumentos del marco normativo colombiano como son los documentos CONPES 3177 de 2002, CONPES 3624 de 2009, la política nacional para la gestión del recurso hídrico ([MAVDT, 2010b](#)), y en los instrumentos de regulación citados en ésta.

Optimización de las inversiones: En países donde los recursos financieros son escasos, la priorización y optimización de las acciones se constituyen en un elemento transversal, no solo en la problemática ambiental, sino en las diferentes intervenciones de tipo social, económico, cultural, técnico, entre otros. En el ámbito de la gestión del recurso hídrico y la optimización de los recursos financieros se ha dado principalmente desde el enfoque de priorización de las inversiones, en el ejercicio de priorización de cuencas con una problemática ambiental más marcada respecto a otras. En el año 2007 se priorizaron 10 cuencas a nivel nacional, las cuales por decreto (1480 de 2007), deben ser incorporadas en los planes de gestión de las corporaciones garantizado con ello la inyección de recursos en estos elementos priorizados. Mediante una combinación de estrategias es posible obtener la condición económica más aceptable, un análisis costo - beneficio permite obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido, una herramienta de información útil acerca de los efectos deseables e indispensables de los proyectos públicos. Un análisis costo – eficacia viene marcado por la estimación del costo que supone la obtención de un resultado.

La priorización y optimización de las inversiones se encuentra argumentada en la estrategia de sostenibilidad financiera de la política hídrica nacional ([MAVDT, 2010b](#)). Otro instrumento de priorización de las inversiones se proyecta desde los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas, donde se elaboran ejercicios de priorización a través de los proyectos formulados los cuales deben ser parte de la gestión de las CARs una vez los actores continúen con el proceso de ordenamiento en la fase de implementación (Decreto 1729 de 2002). Adicional a esto, como producto del ordenamiento del recurso hídrico enmarcado en el decreto 3930 de 2010, la reglamentación de fuentes hídricas será priorizada, por tanto la incorporación de instrumentos económicos para la gestión de la contaminación hídrica debe ser concebido en los PAT de las Autoridades ambientales. Un lineamiento importante en la optimización de las inversiones de agua y saneamiento es el CONPES 3177 de 2002 donde se planteó considerar la articulación de las fuentes de financiación para las inversiones en tratamiento de aguas residuales.

Participación de los actores: Desde la adopción de la constitución política de 1991 donde se califica al Estado colombiano como Estado social de derecho, democrático y participativo, el gobierno plantea la necesidad de coordinación entre el estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado para la protección y recuperación ambiental del país. Los ciudadanos colombianos pueden participar, de diferentes formas, en la toma de decisiones que afecten su comunidad. En el ámbito ambiental, la participación ciudadana es amparada en el desarrollo de la ley 99 de 1993 y en la política nacional para la gestión del recurso hídrico. Uno de los principios rectores de esta es la gestión del agua orientada bajo un enfoque participativo y multisectorial,

incluyendo a entidades públicas, sectores productivos y demás usuarios del recurso. En esta política se plantea como estrategia de participación la conformación de Organismos de Cuenca, estos son instancias consultivas, para realizar recomendaciones, observaciones y propuestas, así como para presentar información relacionada con el proceso de ordenación y manejo de la cuenca ([MAVDT, 2010b](#)).

Al desarrollo normativo anteriormente expuesto se suman las regulaciones nacionales sobre mecanismos y espacios para la participación ciudadana citados en la ley 134 de 1994, la ley de ordenamiento y desarrollo territorial (ley 388 de 1997) y la ley orgánica del plan de desarrollo (ley 152 de 1994). Otros mecanismos, que están regulados y más aplicados son: las audiencias públicas, acciones de nulidad, acciones de tutela, derechos de petición y la participación de representantes de la comunidad en los Consejos Directivos de las CAR. En función de la Planificación de la gestión pública existen los Consejos Territoriales de Planeación y los Consejos Directivos de las CAR, en donde es obligatoria la presencia ciudadana.

Como normatividad puntual en lo concerniente a esquemas de participación en la gestión del recurso hídrico, los decretos 2811 de 1974 y 1541 de 1978 establecen la conformación de Asociaciones de Usuarios, las cuales deben estar constituidas por quienes aprovechen las aguas de una o varias corrientes comprendidas por el mismo sistema de reparto.

Gobernabilidad: Desde la política nacional para la gestión del recurso hídrico en Colombia, la gobernabilidad es vista desde el fortalecimiento de los actores en la gestión del recurso. Para ello se plantea incentivar el desarrollo de mecanismos o espacios de participación que motiven a los usuarios del agua a ser parte de la gestión integral del recurso hídrico conformando grupos de veeduría y control ciudadano sobre las inversiones y acciones desarrolladas por las instituciones públicas y privadas, también por los usuarios del agua en general. Como estrategia de gobernabilidad la Política Hídrica ([2010b](#)) se orienta a incrementar en los usuarios del agua la conciencia y el conocimiento sobre la importancia de conservar y hacer uso sostenible del recurso hídrico, así como, de abolir prácticas y hábitos de consumo no sostenibles del agua (*cultura del agua*). Para esto se conformarán los Consejos de Cuenca ([MAVDT, 2010b](#)).

Fortalecimiento institucional: El potencial del agua como recurso natural, hace que se agudicen las consecuencias de los vacíos o debilidades de la capacidad de planificación nacional y regional de las instituciones ambientales en particular. El reto de lograr un manejo intersectorial coordinado en función de objetivos, como el uso más racional, se ve limitado por los vacíos y deficiencias que caracterizan la base de planificación sectorial ([Arias, 2000](#)). Esta visión integrada del manejo del agua presenta desarrollos sencillos en Colombia, aunque es claro que existe la necesidad. Esto se evidencia en el marco normativo y político del país: CONPES 2902 de enero de 1997, los lineamientos de la política

hídrica (Ministerio del Medio Ambiente, 1997) y el Plan Nacional de Desarrollo Tecnológico para el Manejo del Agua en el Sector Agropecuario (CORPOICA – INAT, 1997). Desde la reciente política nacional para la gestión del recurso hídrico el *Fortalecimiento Institucional y Gobernabilidad* presenta líneas de acción estratégicas con el fin de mejorar la capacidad para vincular a los principales usuarios del agua a participar en la GIRH. Dentro del fortalecimiento institucional es necesario fomentar y desarrollar acciones de investigación y de manejo de la información relacionada con el recurso hídrico, por parte de entidades o personas públicas o privadas para lograr el buen manejo del recurso ([MAVDT, 2010b](#)).

Aportes al manejo de sistemas de información: El Sistema de Información del Recurso Hídrico es el conjunto que integra y estandariza el acopio, registro, manejo y consulta de datos, bases de datos, estadísticas, sistemas, modelos, información documental y bibliográfica, reglamentos y protocolos que facilita la gestión integral del recurso hídrico ([MAVDT, 2010b](#)). La creación de un sistema de información de recurso hídrico se reglamentó en el decreto 1323 de 1997, en ese mismo año se estableció la creación de registro único de usuarios del agua en el marco del decreto 1324. Como parte de las estrategias de la política nacional para la gestión del recurso hídrico, el MAVDT ([2010b](#)) reconoce la importancia de generar, divulgar de información y conocer sobre riesgos que afectan la oferta y disponibilidad hídrica, orientada a mejorar el conocimiento acerca de las causas y efectos de los principales riesgos que afectan la oferta y disponibilidad del recurso hídrico para los diferentes usos. El sistema de información está orientado a brindar información rápida y oportuna a los usuarios del agua acerca de cómo prevenir, manejar y restablecer las condiciones normales.

Educación Ambiental: Es un proceso sistémico que permite al individuo comprender las relaciones de interdependencia con su entorno, y poder generar en él y en su comunidad, actitudes de valoración y respeto por el medio ambiente. La constitución Política de Colombia de 1991 hace referencia a la protección del ambiente, con la Ley 99 de 1993 se crea el Sistema Nacional Ambiental “SINA” que permite poner en marcha los principios generales ambientales contenidos en la Constitución. El artículo 5 de la Ley 115 de 1994 conocida como la Ley general de educación, también hace obligatoria la protección del medio ambiente. El Decreto 1743 de 1994 reglamenta el Proyecto Ambiental Escolar – PRAE y el Acuerdo 166 de 2005 del consejo de Bogotá, crea en los establecimientos educativos de la capital los Comités Ambientales Escolares – CAE.

Con base en la revisión del marco normativo colombiano se generó la Tabla 1, que presenta el intercepto entre los conceptos y elementos de la GIRH en Colombia y el proyecto "Ríos del páramo al valle por urbes y campiñas".

Tabla 1. Intercepto entre el marco normativo colombiano y el proyecto

Elemento	Consideración en el proyecto	Comentario
Cuenca como unidad de análisis	SI	Se consideró la cuenca como unidad de análisis.
Producción más Limpia (PmL)	SI	Se consideró el concepto de PmL en el sector cafetero mediante el manejo de subproductos del beneficio del café
Uso eficiente del recurso hídrico	SI	Se consideró en la formulación de escenarios de gestión de la demanda.
Gestión de la demanda	SI	
Tecnologías de Tratamiento	SI	Se consideró en la formulación de escenarios de control de la contaminación para los sectores doméstico y cafetero.
Contaminación difusa	NO	
Reuso de agua residual	NO	
Aportes de aguas subterráneas	NO	
Capacidad de autodepuración	SI	Mediante el análisis de los resultados de la modelación de calidad del agua con la implementación integrada de los modelos WEAP y QUAL2k.
Distribución espacial y temporal de la contaminación	SI	Se consideró el análisis de los resultado la implementación de la herramienta de modelación WEAP y QUAL2K
Optimización de las inversiones	NO	
Participación de los actores	SI	Se desarrolló el ejercicio de formulación del problema, incertidumbres y estrategias para la GIRH. Adicionalmente se realizó socialización

Elemento	Consideración en el proyecto	Comentario
		periódica de los resultados, talleres académicos de fortalecimiento de capacidades en Cambio Climático, modelación con WEAP, manejo de las herramientas R y Tableau y un intercambio, a Estados Unidos, de los socios directos del proyecto.
Gobernabilidad	NO	No se encuentra en los alcances del proyecto.
Fortalecimiento institucional	NO	No se encuentra en los alcances del proyecto.
Aportes al manejo de sistemas de información	NO	El proyecto contribuirá con el análisis y articulación de la información a nivel de cuenca, sin embargo quedarán muchos aspectos que no están contemplados.
Educación Ambiental	NO	

Proceso de captura de información de la CVC y Cinara -Univalle

Para el proceso de captura de información de la CVC y Cinara Univalle referente a las recomendaciones en la toma de decisiones la GIRH, se realizaron 3 reuniones específicas. Las fechas y objetivos de las reuniones desarrolladas se presentan en la Tabla 2. En el Anexo 1 se presentan los listados de asistencia de las reuniones desarrolladas.

Tabla 2. Reuniones realizadas para la captura de recomendaciones de la CVC y Cinara

Fecha	Objetivo Reunión	Asistentes
Enero 14 de 2015	Reunión de socialización del plan de trabajo para el periodo enero-junio de 2015	Paola Patiño José Alberto Riascos María Fernanda Jaramillo
Marzo 17 de 2015	Reunión de trabajo de captura de información. presentación del objetivo y la metodología	Paola Patiño José Alberto Riascos Amparo Duque Alberto Galvis

		María Fernanda Jaramillo
Abril 22 de 2015	Reunión de trabajo para la captura de información.	Paola Patiño Amparo Duque Alberto Galvis María Fernanda Jaramillo

Recomendaciones frente a la toma de decisiones en la GIRH

Se presenta a continuación el resultado de las reuniones realizadas entre los funcionarios de la CVC, encargados en el desarrollo del proyecto, y el grupo del Instituto Cinara, frente a las recomendaciones para la toma de decisiones en la GIRH. Las recomendaciones se presentan en la Tablas 4, 5 y 6, según la temática abordada.

Tabla 4. Temática: Recomendaciones del personal técnico de la CVC a sus Directivos

Subtema	Recomendación
Proceso de toma de decisiones para la GIRH en la CVC	La complejidad de las acciones y estrategias que se implementan para la gestión integrada del recurso hídrico, no permiten establecer de manera práctica medidas óptimas para la adecuada gestión de dicho recurso, generando esfuerzos técnicos e inversiones que no muestran los mejores resultados. Dada esta complejidad, no es posible que de manera manual se infiera sobre la mejor opción para la toma de decisiones. Es importante tener en cuenta que en la medida que se tenga mayor conocimiento de los efectos sobre la cantidad y calidad del recurso hídrico, asociados a un aumento o disminución en la cantidad y calidad de agua, se podrán definir las mejores medidas tendientes a una mejor regulación del recurso hídrico. Para los Directivos de la CVC la recomendación es sobre la necesidad de incrementar el conocimiento del territorio y el fortalecimiento en las capacidades de los profesionales en los temas relacionados con la GIRH.
Respecto al uso del modelo WEAP para la planificación de recursos hídricos en la CVC	WEAP es una herramienta que permite el análisis integral en términos de calidad y cantidad y facilita el apoyo a las decisiones. Con la participación en el proyecto del río La Vieja se permitió el conocimiento de las Autoridades Ambientales (AA) en el uso y versatilidad de la herramienta. Es importante tener en cuenta la necesidad de cimentar el desarrollo de las capacidades en la AA.

Subtema	Recomendación
	El modelo específico desarrollado para la cuenca del río La Vieja, permitió la evaluación de diferentes estrategias de planificación del recurso hídrico, teniendo en cuenta incertidumbres como el crecimiento poblacional, el cambio climático, entre otras; teniendo otras fortalezas que pueden complementar dicha planificación, tales como modelación de paramos, humedales, glaciares, caudal ecológico que a futuro pueden ser implementadas. Aún está por fortalecer el desarrollo de capacidades en el personal de la CVC.

Tabla 5. Temática: Recomendaciones del trabajo conjunto CVC - Cinara-Univalle

Subtema	Recomendación
Respecto al desarrollo del proyecto "ríos del páramo al valle por urbes y campiñas"	Continuar con el desarrollo de proyectos de ordenamiento de recursos hídricos y otros instrumentos de planificación. Caso específico y en desarrollo entre la CVC y la Universidad del Valle, el proyecto de Ordenamiento de los ríos Bolo y Fraile, vigente en el Plan de Acción que culmina en diciembre de 2015.
Respecto a la formación de capacidad frente a cambio climático brindada por el proyecto	Es clave el trabajo conjunto entre entidades (Autoridades Ambientales, IDEAM, Universidades, otras entidades que trabajen en el tema de cambio climático), de tal forma que se puedan generar escenarios de cambio climático para las condiciones particulares de un área de estudio específica.
Respecto a la formación de capacidad frente al manejo del WEAP brindada por el proyecto	De manera general se dio a conocer el modelo WEAP a los funcionarios de la Corporación designados a participar en el proyecto. El manejo de WEAP, en el caso particular de CVC, se dio principalmente en los conceptos básicos para su aplicación en la temática de calidad de agua. Sin embargo, para la implementación de este tipo de herramientas por parte de los funcionarios de la Corporación, es necesario un proceso de formación de capacidades que permita la apropiación de la herramienta en sus diferentes componentes, lo que implica una mayor intensidad horaria de capacitación y contar con la disponibilidad de tiempo para la puesta en práctica de la

Subtema	Recomendación
	herramienta en un trabajo específico particular que se requiera por parte de la CVC.
Respecto a la formación de capacidad frente al manejo del Tableau brindada por el proyecto	El uso de herramientas como el Tableau permite conocer otras formas de visualización de la información y análisis de aspectos relacionados con las medidas, estrategias, incertidumbres, bajo diferentes escenarios tanto de intervención y de cambio climático, que apoyen a los diferentes niveles tanto técnicos como de tomadores de decisión frente a la planificación de los recursos naturales y en el caso particular del recurso Hídrico. Para una adecuada implementación de este tipo de herramientas de visualización es necesario fortalecer el desarrollo de capacidades al interior de la Corporación, ya que la versatilidad de estas herramientas hace que se requiera de tiempo y dedicación para conocerlas y aplicarlas de manera articulada con la información que se genera a través de modelación, de tal forma que se pueda transmitir a través de los datos un mensaje claro y preciso que permita una adecuada toma de decisiones.

Tabla6. Temática: Lecciones aprendidas del proyecto para la estructuración de ToR en los instrumentos de planificación PORH y POMCAS

Subtema	Recomendación
Quién debería desarrollar los ToR de los instrumentos de planeación (PORH y POMCH) que implementarán las CAR?	Depende de la instancia que realice el proceso de gestión para la actualización o formulación de los instrumentos de planificación como los POMCA. Actualmente se han destinado recursos desde Fondo Adaptación del orden Nacional. Desde el punto de vista normativo estos instrumentos de Planificación están en cabeza de las Autoridades Ambientales y existen lineamientos del orden nacional para establecer incluso la priorización para su implementación. Por lo tanto, con estos referentes, las Autoridades Ambientales deben adelantar los términos de referencia que servirán de base para el desarrollo de su formulación.
Qué incluir en futuros términos de	El uso de herramientas que permitan establecer los pronósticos y las diferentes medidas de intervención para la GIRH.

referencia de PORH y POMCA?	
De ser posible, Cómo el uso del WEAP puede verse reflejado en esos ToR?	WEAP puede ser usado como una herramienta e instrumento de apoyo para la toma de decisiones, en la medida que se cuente con la información básica de monitoreo confiable. Otra manera de recomendar el uso del WEAP en procesos de planificación de recursos hídricos en Colombia, es mediante el posicionamiento de WEAP en las guías para la modelación en recursos hídricos que se construyen para la reglamentación del decreto 3930 de 2010. Con esto WEAP puede llegar a un mayor número de usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

Aranda, J. (2000). Uso eficiente del Agua. Aquaforum.

Arias, M. (2000). Informe Nacional de Colombia sobre la gestión relacionada con el manejo de cuencas. sn.

Gandini, M., Perez, M. A., y Madera, C. A. (2005). Política de contaminación hídrica en Colombia. Elementos de discusión asociados a objetivos de tratamiento. En: I Conferencia latinoamericana en lagunas de estabilización y reuso, Instituto Cinara, ed., Cali, Colombia.

Hernández-Sancho, F., Molinos-Senantea, M., y Sala-Garrido, R. (2010). Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: An empirical approach for Spain Science of The Total Environment. . 408(4), 953-957.

Larsen, H., Ipsen, N., y Ulmgrem, L. (1999). Políticas y Principios. En: Control de la contaminación del agua, CEPIS OPS/OMS, ed., Lima, Perú, 1-9.

Londoño, R. D., y Parra, Y. (2007). Manejo de vertimientos y desechos en Colombia, una visión general. En: Épsilon, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 16.

Makropoulos, C. K., Natsis, K., Liu, S., Mittas, K., y Butler, D. (2008). Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. Environmental Modelling & Software, 23(12), 1448-1460.

MAVDT. (1997a). Guía Técnica para el Desarrollo de Reuso de Aguas Residuales.

MAVDT. (1997b). Ley 373. Uso eficiente y ahorro del agua. Bogatá.

MAVDT. (2010a). Política de producción y consumo sostenible. Bogotá, Colombia.

MAVDT. (2010b). Política Nacional para la Gestión Intergral del Recurso Hídrico. Bogotá, Colombia.

PNUMA. (2006). producción mas Limpia. <http://www.pnuma.org/industria/produccion_limpia.php> (26 de Noviembre, 2011).

UNEP. (2010). SICK WATER? The central rol of wastewater management in sustainable development. E. Corcoran, C. Nellemann, E. Baker, R. Bos, D. Osborn, H. Savelli, ed.

Zambrano, D. (2010). Anteproyecto: Minimización y prevención como estrategia para el control de la contaminación por aguas residuales municipales en la zona de expansión de Cali, Tesis de Maestria, Universidad del Valle, Cali.

Universidad Tecnológica de Pereira



Recomendaciones de trabajo conjunto entre UTP y CARDER

La interacción con CARDER y Aguas y Aguas en torno a la consolidación de la Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda se ha presentado desde antes del inicio del proyecto. El proyecto y sus necesidades de información hidroclimatológica han contribuido a que resalte por parte de los funcionarios de las instituciones cooperantes la necesidad de mejorar la red hidroclimatológica operada por la UTP. De otra parte, han surgido necesidades de capacitación que van más allá de las esperadas dentro del proyecto y que han sido acordadas entre la CARDER y la UTP en el marco de uno de los proyectos complementarios (Ver Anexo 1).

Recomendaciones de trabajo conjunto entre Universidades y CARs - Universidades y Aguas Y Aguas Recomendaciones de los técnicos de las CARs a sus Directores

Retomando las inquietudes de las diferentes reuniones que tuvimos con funcionarios de Aguas y Aguas y la CARDER, organizamos una presentación para ambas entidades con los resultados y recomendaciones derivados del proyecto:

En el caso de Aguas y Aguas la presentación se hizo el día 16 de Julio al comité técnico. Esta presentación se realizó con un enfoque técnico en el que se explicó en detalle las características del modelo hidrológico, se explicaron los aspectos de calibración, y la lógica detrás de la toma de decisiones robustas. Se presentaron los resultados y se puntualizó en las recomendaciones frente al desarrollo futuro del modelo (Se anexa Acta).

Para el caso de la CARDER, la presentación se realizó para el consejo directivo de la CARDER que es la máxima instancia de decisión de la misma. En este consejo tienen asiento los gremios productivos (ANDI, Constructores, Sector Agrícola), entes territoriales (Alcaldías, Gobernación), y representantes del Gobierno (Delegado del Presidente y del Ministro del Medio Ambiente) entre otros (Se anexa Acta). Esta presentación, que tuvo lugar el día 6 de Agosto, dio cuenta del proyecto, sus actores, sus resultados principales para Risaralda, específicamente la cuenca del Río Otún. Al final se realizaron una serie de recomendaciones que ellos como representantes de la sociedad deberían considerar desde la CARDER.

A continuación se listan las recomendaciones dadas:

Sobre la Incorporación de WEAP en la realización de programas, planes, estudios.

- Los modelos construidos con WEAP ayudarían a soportar las decisiones asociadas a la GIRH en el territorio, entendiendo estas decisiones en el contexto de:
 - Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAs)
 - Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH)
 - Evaluaciones Regionales del Agua (ERAs)

- Unidades de Planificación Rural (APRA)
- Balances Hídricos

Nuevos modelos a desarrollar

- Qué rol jugaría un embalse dentro de la cuenca del río Otún, como medida de adaptación que reduzca la vulnerabilidad
- Modelar el sistema hídrico actual de la ciudad (Escala diaria)
- Modelar el sistema Otún – Consota – Qda D/das
 - Cantidad y Calidad
- Modelar el sistema hídrico futuro de la ciudad
 - Sistema La vieja - Otún – Consota – Qda D/das – San Eugenio
 - Cantidad (Aguas superficiales y subterráneas) y Calidad
- Modelar propuestas de caudales ambientales en Otún para el sistema hídrico en Nuevo Libaré.

Finalmente, resultado de la presentación del proyecto al consejo directivo de CARDER, y considerando la época de elecciones para consejos, asambleas, alcaldías y gobernaciones, surgió desde el **Consejo Directivo** la necesidad de presentar el proyecto a los candidatos a estas instancias. Esta actividad sin fecha definida, será organizada por la CARDER.

Recomendaciones del personal técnico de la CARDER a sus Directivos

REUNIÓN ORDINARIA DEL CONSEJO DIRECTIVO

ACTA No 07 DE 2015

FECHA: 6 DE AGOSTO DE 2015

HORA: 8:30 a.m.

LUGAR: SALA DE JUNTAS - CARDER

PRESENTES:

MARIA MERCEDES RIOS AYALA

Delegada del Gobernador de Risaralda

SILVIA POMBO

Representante del Ministro de Ambiente y

Desarrollo Sostenible

EDUARDO CUENUT

Representante de las Comunidades Negras

MARIA ISABEL MEJIA MARULANDA

Representante del Presidente de la República

ALVARO LONDOÑO ESCOBAR

Delegado Alcalde Municipal de Pereira
GUSTAVO ARISTIZABAL BOTERO
Representante del sector Privado
HERMAN DIEGO MURIEL RAMIREZ
Representante de las ONG's
MARIO JIMENEZ JIMENEZ
Representante de las ONG's
LEONARDO FABIO SIAGAMA GUTIERREZ
Representante de las Comunidades Indígenas
CESAR ARANGO ISAZA
Representante del sector Privado
ADRIAN BEDOYA CANO
Alcalde de Santuario
LUIS HORACIO JARAMILLO JARAMILLO
Alcalde de Guática
NICOLAS ANTONIO GUTIERREZ DUQUE
Alcalde de Pueblo Rico

INVITADOS:

GABRIEL ANTONIO PENILLA SANCHEZ
Director General (E)
Jefe Oficina Asesora de Jurídica
JULIO CESAR GOMEZ SALAZAR
Subdirector de Gestión Ambiental Sectorial
EPIFANIO MARIN RIOS
Subdirector de Gestión Ambiental Territorial
RUBEN DARIO MORENO ORJUELA
Jefe Oficina Asesora de Planeación
TATIANA M. MARTINEZ DIAZGRANADOS
Jefa oficina de Control Interno
RICARDO SINISTERRA LONDOÑO
Asesor de la Dirección General
LUIS GARCIA
Funcionario de Aguas y Aguas

MAURICIO CASTAÑO

Funcionario Universidad Tecnológica de Pereira

CARLOS SABAS

Funcionario Universidad Tecnológica de Pereira

PRESIDENTE: MARIA MERCEDES RIOS AYALA

Delegada del Gobernador de Risaralda

SECRETARIA:

IRMA CECILIA CARDONA MARTINEZ

Secretaria General de la CARDER

ORDEN DEL DIA:

1. Verificación del Quórum.
2. Lectura y aprobación del orden del día.
3. Lectura y aprobación de las Actas del Consejo Directivo Así:
 - Acta No. 4. Consejo Ordinario del 04 de Junio de 2015.
 - Acta No. 5. Consejo Extraordinario del 12 de Junio de 2015.
 - Acta No. 6. Consejo Extraordinario del 06 de Julio de 2015.
4. Presentación del Informe de la Comisión verificadora del Acta No. 4, 5 y 6 de 2015.
5. Seguimiento a Compromisos.
6. Informe de Ejecución presupuestal Vigencia 2015 al cierre 30 de Junio de 2015.
7. Presentación del Informe semestral de gestión del Plan de Acción 2012-2015, primer semestre 2015.
8. Informe de cumplimiento de los indicadores mínimos de gestión.
9. Presentación y Aprobación:

Proyecto de Acuerdo "Por medio del cual se aprueba el Informe de Avance del Plan de Acción 2012- 2015, correspondiente al primer semestre de la vigencia 2015, y los Indicadores Mínimos de Gestión".

10. Presentación y Aprobación:

Proyecto de Acuerdo "Por medio del cual se efectúa un traslado presupuestal entre los proyectos de Inversión de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda –CARDER., para la presente Vigencia Fiscal"

11. Presentación de Informe comisiones al exterior Director General Dr. Juan Manuel Álvarez Villegas, Ing. Rubén Darío Moreno Orjuela.
12. Propositiones y varios

DESARROLLO DE LA REUNIÓN

Instala la reunión la Doctora MARIA MERCEDES RIOS AYALA, delegada del Gobernador de Risaralda para presidir la reunión ordinaria del 6 de agosto de 2015.

1. VERIFICACIÓN DEL QUÓRUM.

La Secretaria verifica e informa que existe quórum deliberatorio y decisorio, por lo cual se puede dar inicio a la reunión.

2. LECTURA Y APROBACIÓN DEL ORDEN DEL DÍA.

La Secretaria presenta el orden del día, la Presidenta lo somete a consideración, abre la discusión.

La Consejera Silvia Pombo solicita que se presente primero el punto 4, relacionado con el Informe de la Comisión verificadora de las Actas Nos. 4, 5 y 6 de 2015 y luego procedan con el punto 3, relacionado con la aprobación de las Actas del Consejo Directivo.

La Presidenta somete a consideración la solicitud de la Consejera Silvia Pombo y pregunta existe otra observación?, al no presentarse ninguna observación adicional, cierra la discusión.

El orden del día es aprobado con la solicitud de la Consejera Silvia Pombo, por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

3. PRESENTACIÓN DEL INFORME DE LA COMISIÓN VERIFICADORA DE LAS ACTAS Nos. 4, 5 Y 6 DE 2015.

La Presidenta recuerda que las Actas 4, 5 y 6 de 2015 fueron enviadas con anticipación a los miembros del Consejo Directivo para su revisión y análisis.

La Secretaria presenta el Informe del Acta No. 4, de la Comisión verificadora. Anexo.

La Consejera Silvia Pombo manifiesta que en éstos Informes, la Comisión verificadora no debe aprobar las Actas, por lo cual solicita que se modifique el texto y se elimine la aprobación, ya que ésta le corresponde al Consejo Directivo.

La Secretaria presenta los Informes de la Comisión verificadora de las Acta Nos. 5 y 6. Anexo.

El Consejero Gustavo Aristizabal Botero, solicita que se revise la asistencia a las reuniones, ya que no estuvo presente en una de éstas tres reuniones; por lo cual no puede verificar el Acta respectiva.

La Presidenta somete a consideración la propuesta de la Consejera Silvia Pombo, al igual que los Informes de la Comisión Verificadora; abre la discusión y la cierra. La propuesta y los Informes de la Comisión verificadora son aprobados en forma unánime por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

4. LECTURA Y APROBACIÓN DE LAS ACTAS DEL CONSEJO DIRECTIVO ASÍ: ACTA NO. 4. CONSEJO ORDINARIO DEL 04 DE JUNIO DE 2015. ACTA NO. 5. CONSEJO EXTRAORDINARIO DEL 12 DE JUNIO DE 2015. ACTA NO. 6. CONSEJO EXTRAORDINARIO DEL 06 DE JULIO DE 2015.

La Presidenta somete a consideración las Actas Nos. 4, 5 y 6 de 2015, las cuales les fueron enviadas vía correo electrónico para su análisis y observaciones, abre la discusión y pregunta...¿existe alguna observación o sugerencia respecto a éstas Actas?

La Presidenta informa que ella realizó observaciones por escrito a la Secretaria del Consejo Directivo, las cuales ya fueron tenidas en cuenta e incluidas en las propuestas de las Actas.

El Consejero Leonardo Fabio Siágama se abstiene de votar por no haber asistido a las reuniones citadas, debido a inconvenientes con su salud.

Al no presentarse ninguna observación a las Actas Nos. 4, 5 y 6 de 2015, la Presidenta cierra la discusión.

Las Actas Nos. 4, 5 y 6 de 2015 fueron aprobadas en forma unánime por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

5. SEGUIMIENTO A COMPROMISOS

El Dr. Gabriel Antonio Penilla Sánchez, Director General Encargado presenta un saludo en nombre del Doctor Juan Manuel Álvarez Villegas e informa que el Doctor Julio César Gómez Salazar, Subdirector de Gestión Ambiental Sectorial, presentará la respuesta a los compromisos, por lo cual la Presidenta le concede el uso de la palabra.

El Doctor Julio César Gómez Salazar, informa que en atención al compromiso establecido por la Consejera María Isabel Mejía Marulanda, relacionado con el tema del Embalse en el río Otún, se cuenta con la presencia en la reunión de los expertos: Doctor Mauricio Castaño y Doctor Carlos Sabas, quienes presentaran el tema relacionado con el recurso hídrico en el río Otún.

La Presidenta les concede el uso de la palabra. Los doctores Mauricio Castaño y Carlos Sabas, presentan el informe denominado "Creación de Capacidades para incorporar el cambio climático en la gestión integral del recurso hídrico" Anexo.

Terminada la presentación, la Consejera Doctora María Isabel Mejía Marulanda, agradece al Doctor Julio César Gómez por el trabajo frente al tema del agua y manifiesta que la empresa Aguas y Aguas de Pereira ha realizado una muy buena labor. Igualmente, felicita a los Técnicos Colombianos y señala que con base en lo expuesto, la ciudad de Pereira necesita la construcción de un embalse. Reitera la propuesta de que se cite a los candidatos a las Alcaldías y Gobernación para que se capaciten en materia ambiental y se comprometan con el tema del embalse.

La Presidenta solicita que la CARDER lidere la realización de un Foro a través del cual se brinde capacitación a los diferentes actores sociales incluidos los candidatos a las Alcaldías y Gobernación.

La Consejera María Isabel Mejía Marulanda solicita que de éste Foro se entregue certificado y que se difunda con mucha publicidad.

El Consejero Álvaro Londoño felicita a los Profesionales de Risaralda. De igual forma, realiza los siguientes comentarios:

1. Que cuando se piense en soluciones estructurales, se le plantee al Ministerio la necesidad que existe de que generen más herramientas jurídicas para la adquisición de los predios de los agricultores que están en la zona de protección.
2. Solicitarle al Ministerio de Minas, que permita construir pozos exploratorios en la parte alta para monitorear la cantidad y calidad de agua sobre la Cordillera central, para ésta parte de Colombia.
3. Hace un llamado para que se restrinja el paso de la Comunidad hacia el sector del santuario de flora y fauna, como medida para conservar la cuenca media alta.
4. Informa que la Alcaldía de Pereira ésta muy activa frente al tema y se encuentra realizando acciones que le han dado un norte a la gestión del recurso hídrico, las cuales han contado con el trabajo conjunto con la CARDER y los acueductos rurales.

El Consejero Gustavo Aristizabal Botero, expresa las siguientes inquietudes:

1. Ocupación indebida del río Otún, por la construcción de un hotel en el sector de la Suiza, el cual es de propiedad de un funcionario de Aguas y Aguas de Pereira.

La Presidenta le solicita al Consejero Álvaro Londoño que revise el tema y que presente un informe al Consejo Directivo.

2. Informa que el gremio de los constructores realizan aportes al CRI, el cual viene realizando investigaciones sobre proyectos como manejo de aguas lluvias y aguas grises, por lo cual se podría aprovechar éste espacio para tratar el tema del embalse.

El Consejero César Arango Isaza manifiesta que éste tema es estratégico para la competitividad de la región, por lo cual es muy importante su socialización con los gremios. También recuerda su inquietud relacionada con los incentivos que tiene la producción externa Vs. Los incentivos que tiene la producción interna, al igual que los subsidios en materia ambiental; por lo cual solicita que se revise el tema.

La Presidenta le concede la palabra al señor Luis García, quien saluda en nombre del Dr. Barragán y ofrece excusas en su nombre por no estar presente en la reunión; e interviene con las siguientes apreciaciones:

1. Evidencia la relevancia de pensar en la reubicación de la totalidad de las viviendas que hay en la Florida.
2. Adquirir los predios que están ubicados arriba de la bocatoma.

Terminada su intervención, la Presidenta agradece la participación en la reunión al señor Luis García y a los doctores Mauricio Castaño y Carlos Sabas.

El Consejero Eduardo Cuenut hace un llamado para que se apoyen las instituciones con el fin de que a través del trabajo conjunto, se puedan sacar los proyectos adelante y lograr el éxito. Respecto al hotel de propiedad del funcionario de Aguas y Aguas, comenta que es lamentable que control físico no haya tomado medidas en éste asunto y solicita se le pregunte al Alcalde de Pereira sobre las acciones realizadas al respecto.

La Presidenta le concede la palabra al Dr. Julio César Gómez, quien termina la presentación de las respuestas a los compromisos. Anexo.

6. INFORME DE EJECUCIÓN PRESUPUESTAL VIGENCIA 2015 AL CIERRE 30 DE JUNIO DE 2015.

La Secretaria presenta el Informe de Ejecución de Ingresos y Gastos con corte a junio 30 de 2015. Anexo.

Terminada la presentación, la Presidenta pregunta ¿existe alguna observación?

La Consejera Silvia Pombo, manifiesta que las observaciones se realizarán en el punto de presentación del informe del Plan de Acción.

7. PRESENTACIÓN DEL INFORME SEMESTRAL DE GESTIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN 2012-2015, PRIMER SEMESTRE 2015.

8. INFORME DE CUMPLIMIENTO DE LOS INDICADORES MÍNIMOS DE GESTIÓN.

La Presidenta le concede el uso de la palabra al Ingeniero Rubén Darío Moreno Orjuela, Jefe de la Oficina Asesora de Planeación, quien presenta el informe de gestión 1er semestre de la vigencia 2015, a través de un video. Anexo. Adicionalmente, presenta el informe de cumplimiento de los Indicadores Mínimos de Gestión. Anexo.

La Consejera Silvia Pombo pregunta...¿Qué estrategias se tienen para las metas que están en nivel crítico?

El Ingeniero Rubén Darío Moreno, informa que el Director General revisó el avance del Plan de Acción y estableció que a 30 de noviembre de 2015, las metas deben contar con un alto nivel de cumplimiento. Con base en lo anterior, se están realizando los análisis respectivos y el diseño de la estrategia para el cumplimiento de las metas del Plan de Acción.

La Presidenta solicita que se presente al Consejo Directivo el Plan estratégico para el cumplimiento de las metas del Plan de Acción y que cada que se realicen reuniones del Consejo Directivo se presente el avance en éste tema. Pregunta...¿existe otra observación al Informe semestral de gestión del Plan de Acción presentado? Al no presentarse ninguna observación adicional, se continúa con el orden del día.

9. PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN: PROYECTO DE ACUERDO “POR MEDIO DEL CUAL SE APRUEBA EL INFORME DE AVANCE DEL PLAN DE ACCIÓN 2012- 2015, CORRESPONDIENTE AL PRIMER SEMESTRE DE LA VIGENCIA 2015, Y LOS INDICADORES MÍNIMOS DE GESTIÓN”.

La Presidenta manifiesta que el proyecto de Acuerdo “POR MEDIO DEL CUAL SE APRUEBA EL INFORME DE AVANCE DEL PLAN DE ACCIÓN 2012- 2015, CORRESPONDIENTE AL PRIMER SEMESTRE DE LA VIGENCIA 2015, Y LOS INDICADORES MÍNIMOS DE GESTIÓN”, se envió vía correo electrónico con anticipación a los miembros del Consejo Directivo para su revisión y análisis y recuerda que el contenido de éste proyecto está basado en los dos informes que se acabaron de presentar. Por lo anterior, pregunta...¿existe alguna observación?, al no presentarse ninguna, lo somete a consideración, abre la discusión y la cierra.

El proyecto de Acuerdo “por medio del cual se aprueba el Informe de avance del plan de acción 2012- 2015, correspondiente al primer semestre de la vigencia 2015, y los indicadores mínimos de gestión”, es aprobado en forma unánime por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

10. PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN: PROYECTO DE ACUERDO “POR MEDIO DEL CUAL SE EFECTÚA UN TRASLADO PRESUPUESTAL ENTRE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA –CARDER., PARA LA PRESENTE VIGENCIA FISCAL”

La Presidenta le concede la palabra al Ingeniero Rubén Darío Moreno Orjuela, Jefe de la Oficina Asesora de Planeación, quien presenta el proyecto de Acuerdo “Por medio del cual se efectúa un traslado presupuestal entre los proyectos de Inversión de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda –CARDER., para la presente Vigencia Fiscal”. Anexo.

Terminada la presentación, la Presidenta pregunta...¿existe alguna observación al proyecto de Acuerdo presentado?, al no presentarse ninguna, lo somete a consideración, abre la discusión y la cierra.

El proyecto de Acuerdo "Por medio del cual se efectúa un traslado presupuestal entre los proyectos de Inversión de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda –CARDER., para la presente Vigencia Fiscal", es aprobado en forma unánime por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

11. PRESENTACIÓN DE INFORME COMISIONES AL EXTERIOR DIRECTOR GENERAL DR. JUAN MANUEL ÁLVAREZ VILLEGAS, ING. RUBÉN DARÍO MORENO ORJUELA.

La Presidenta le concede la palabra al Ingeniero Rubén Darío Moreno Orjuela, Jefe de la oficina asesora de Planeación, quien presenta el Informe ejecutivo de las comisiones al exterior realizadas por el Director General Dr. Juan Manuel Álvarez Villegas. Anexo.

Terminada la presentación, la Presidenta pregunta...¿existe alguna observación al Informe de las Comisiones del Director General, presentado? Al no presentarse ninguna, continúa con el orden del día.

12. PROPOSICIONES Y VARIOS

El Dr. Gabriel Penilla Sánchez, Director General Encargado, informa que el Dr. Juan Manuel Álvarez Villegas, Director General en propiedad, les solicita analizar la posibilidad de que le concedan un permiso remunerado para atender asuntos de carácter personal durante los días 26, 27 y 28 de agosto de 2015. El Dr. Penilla informa que ésta solicitud cuenta con el concepto jurídico.

La Presidenta somete a consideración ésta solicitud, abre la discusión y la cierra.

La solicitud del Dr. Juan Manuel Álvarez Villegas para un permiso remunerado durante los días 26, 27 y 28 de agosto de 2015, es aprobada en forma unánime por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

El Consejero Luis Horacio Jaramillo Jaramillo solicita que las próximas reuniones sean más cortas.

La Presidenta solicita que para las próximas reuniones, se asigne un tiempo limitado para cada punto del orden del día.

Agotado el orden del día se termina la reunión ordinaria, siendo las 11:50 horas.

Para constancia se firma en la ciudad de Pereira, por quienes realizaron la labor de Presidente y Secretaria de la reunión, dando fe que los datos aquí plasmados corresponden a los temas tratados en la misma.

MARIA MERCEDES RIOS AYALA IRMA CECILIA CARDONA MARTINEZ

Presidenta (Delegada)

Secretaria

Visto .Bueno :Gabriel Antonio Penilla Sánchez

Jefe Oficina Asesora de Jurídica

Proyectó: Mónica Hurtado

Profesional Especializada

Registro de fotos





3. UNIVERSITY WORKING PLAN

Contents:

- UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
 - Recomendaciones de trabajo conjunto entre la Corporación Autónoma Regional del Quindío y la Universidad del Quindío
 - Recomendaciones al Director de la Corporación Autónoma Regional del Quindío.
- UNIVERSIDAD DEL VALLE – INSTITUTO CINARA
 - Recomendaciones para la toma de decisiones en la planificación de recursos hídricos, en el departamento del Valle del Cauca
- UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
 - Recomendaciones de trabajo conjunto entre UTP y CARDER
 - Recomendaciones del personal técnico de la CARDER a sus



Universidad del Quindío



Armenia, Septiembre 30 de 2015

Doctor:
JOHN JAMES FERNÁNDEZ LÓPEZ
Director General
Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ)
La Ciudad
Att. Ingeniera Lina Marcela Alarcón

17:35
7856 10CT'15
CRQ RECIBIDO

Asunto: Proyecto SEI – UniQuindío – CRQ, entrega documento “Recomendaciones de trabajo conjunto UniQuindío-CRQ.”

Respetado Doctor.

Por medio de la presente se hace entrega del documento de recomendaciones de trabajo conjunto y apoyo a la toma de decisiones, producto del trabajo desarrollado en el marco del proyecto “Ríos del paramo al valle, por urbes y campiñas; planeación de recursos hídricos a través de la formación de capacidades frente al cambio climático, que se desarrolla de manera conjunta entre el Instituto de Ambiente de Estocolmo (SEI), CRQ, CARDER, CVC, Aguas & Aguas de Pereira, UTP, Universidad del Valle y Universidad del Quindío, el cual fue financiado por la USAID.

Atentamente.

Gabriel Lozano Sandoval

Ing. GABRIEL LOZANO SANDOVAL
Coordinador proyecto.
Grupo CIDERA – Universidad del Quindío.
Carrera 15 calle 12 norte Armenia – Quindío
Email: galozano@uniquindio.edu.co

Anexo: Documento de recomendaciones trabajo conjunto (3 folios).

DOCUMENTO DE RECOMENDACIONES DE TRABAJO CONJUNTO ENTRE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO Y LA UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO, POSTERIOR AL PROYECTO “CREANDO CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN EN PLANEACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS: ‘RÍOS DEL PÁRAMO AL VALLE, POR URBES Y CAMPIÑAS’”

OBJETIVO

Presentar Documento resumen que defina los temas de colaboración entre la Universidad y la CAR a corto (hasta Junio 2016) y mediano plazo (posterior al Junio 2016)

DESARROLLO DEL DOCUMENTO

Con el presente documento el Grupo de Investigación, Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y el Ambiente (CIDERA) de la Universidad del Quindío manifiesta la intención de seguir trabajando conjuntamente con la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) en el desarrollo de actividades relacionadas con la gestión y planificación del recurso hídrico y la implementación de la herramienta WEAP en las cuencas de su jurisdicción, enfocando este proceso en el marco de los Planes de Ordenación de Cuencas Hidrográficas (POMCAS) y los Planes de Ordenación del Recurso Hídrico (PORH).

Como es bien sabido por los funcionarios de la corporación WEAP es una herramienta de planificación y gestión integral del recurso hídrico, que proporciona un marco comprensivo, flexible y de uso fácil para la planificación y análisis de políticas relacionadas con el recurso hídrico. Esta herramienta funciona usando el principio básico del balance de masas pudiendo ser utilizado para sistemas municipales y agrícolas, a una sola cuenca o complejos sistemas de cuencas hidrográficas, (Nacionales y Transfronterizas). Por otra parte, WEAP puede simular una amplia gama de los componentes naturales e intervenidos de estos sistemas, incluyendo escorrentía por precipitación, flujo base, y recarga de aguas subterráneas por precipitación; análisis de demandas sectoriales; conservación del agua; derechos de agua y prioridades de asignación, operaciones de los embalses; generación de hidroelectricidad; seguimiento de la contaminación y calidad de las aguas; evaluaciones de vulnerabilidad, requisitos de los ecosistemas e incluso un módulo de análisis financiero que permite que el usuario realice Análisis Económico para los proyectos de gestión de recursos hídricos.

En este orden de ideas, en el marco del proyecto “Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’”, financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y ejecutado conjuntamente por el Centro de Estados Unidos del Stockholm Environment Institute U.S. (SEI-US), la Universidad del Quindío (UniQuindío), la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) y la Universidad del Valle (UniValle) y con la colaboración y el apoyo de

las Corporaciones Autónomas Regionales de los departamentos del Quindío (CRQ), Risaralda (CARDER) y Valle del Cauca (CVC), además de la empresa de servicios públicos Aguas y Aguas de Pereira (A&A de Pereira). Se ha desarrollado un modelo de planificación de recursos hídricos en la herramienta WEAP para la cuenca del río La Vieja, en el cual se evaluaron un conjunto de escenarios de cambio climático y algunas medidas de adaptación a dicho cambio. Este modelo de gestión de recursos hídricos ha sido entregado a la corporación (CRQ) como una herramienta de Análisis de Decisiones Robustas (ADR), la cual, si se sabe aprovechar, facilita el proceso de la gestión, planificación y toma de decisiones sobre el recurso hídrico bajo escenarios de incertidumbre y medidas de adaptación.

Dado que la corporación ya cuenta con el modelo WEAP de la cuenca del río La Vieja, desde la Universidad del Quindío se formulan algunas líneas de trabajo que se consideran podrían llegar a desarrollarse conjuntamente en el corto y mediano plazo. Es de resaltar que estas líneas de trabajo propuestas no son garantía de que las mismas se ejecuten, pues es claro que las políticas y dinámicas internas de cada institución pueden llegar a retrasar o incluso a no tenerse en cuenta estos procesos dentro de sus planes de trabajo actuales.

Al corto plazo (Julio de 2015 a Junio de 2016) las actividades que se proponen realizar conjuntamente entre la CRQ y La UniQuindío se enfocarían principalmente en:

- La apropiación de la herramienta WEAP por parte de la corporación. Para esta actividad la CRQ dentro de su grupo de recursos hídricos deberá nombrar un funcionario o funcionarios que se apropien del manejo y entendimiento del modelo WEAP de la cuenca del río La Vieja. Desde la universidad del Quindío se dará la capacitación necesaria a este funcionario(s) para que interiorice el modelo WEAP del río La Vieja y conozcan a profundidad su implementación y ventajas en la planificación.
- Igualmente dada la necesidad de la corporación en cumplir con los POMCA y los PORH en su jurisdicción, se propone como actividad de trabajo realizar un ejercicio completo y detallado de modelación en WEAP, incluyendo escenarios de cambio climático y evaluación de estrategias de adaptación en una de las subcuencas de su jurisdicción (según necesidades de la CRQ), tomando como base el modelo del río La Vieja desarrollado en el marco de este proyecto. Se hace referencia a un ejercicio completo y detallado, ya que el modelo actual del río La Vieja se desarrolló sobre los ríos principales y las demandas mayores de agua (cabeceras municipales y pequeñas centrales hidroeléctricas). Este ejercicio de

planificación se desarrollaría a nivel de microcuencas analizando todas las demandas de agua que tiene concesionada la corporación (agrícolas, pecuarias, acueductos rurales y veredales, demandas urbanas, hidroeléctricas, entre otras). Este modelo detallado servirá para que la corporación afiance el manejo y entendimiento de la herramienta WEAP, y entienda el potencial que tiene este modelo sobre el manejo, la planificación, la evaluación y la gestión del recurso hídrico, basado en la historia hidrológica de la región, en la capacidad de simular escenarios de cambio climático y estrategias de adaptación, convirtiéndolo en una herramienta de apoyo para el Análisis de Decisiones Robustas (ADR).

A mediano plazo (posterior a Julio de 2016) se espera seguir apoyando a la corporación en el desarrollo de estas actividades de planificación, prestando el apoyo y asesoramiento técnico para replicar los ADR en el resto de las cuencas de jurisdicción de la CRQ. Igualmente se espera desarrollar actividades conjuntas entre las dos instituciones que permitan mejorar y actualizar los modelos derivados de estos estudios preliminares y a desarrollar mejores estrategias de planificación y gestión del recurso hídrico en la región.

ELABORO

Grupo de Investigación Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y el Ambiente CIDERA

Universidad del Quindío

Ing. Gabriel Lozano Sandoval

Director Grupo CIDERA

Coordinador de la UniQuindío en el proyecto USAID-SEI

Ing. Cesar Augusto Rodríguez Mejía

Integrante Grupo CIDERA

Apoyo técnico de la UniQuindío en el proyecto USAID-SEI

Marzo 31 de 2015.

Armenia, Abril 07 de 2015

Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ)

La Ciudad

ASUNTO: RECOMENDACIONES EN LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS DESDE EL PROYECTO CREANDO CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN EN PLANEACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS: 'RÍOS DEL PÁRAMO AL VALLE, POR URBES Y CAMPIÑAS'.

Apreciado doctor XXXXXXXXXXXXXXXX, mediante la presente me dirijo a usted con el fin de informarle sobre los resultados del proyecto **"Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: 'Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas' "**, financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y ejecutado conjuntamente por el Centro de Estados Unidos del Stockholm Environment Institute U.S. (SEI-US), la Universidad del Quindío (UniQuindío), la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) y la Universidad del Valle (UniValle) y con la colaboración y el apoyo de las Corporaciones Autónomas Regionales de los departamentos del Quindío (CRQ), Risaralda (CARDER) y Valle del Cauca (CVC), además de la empresa de servicios públicos Aguas y Aguas de Pereira (A&A de Pereira). Igualmente dar algunas recomendaciones relacionadas con la gestión integral del recurso hídrico y la apropiación de la herramienta WEAP.

Este proyecto se viene ejecutando desde el año 2012 y se encuentra en su fase final (junio de 2015), como resultados del mismo se tienen los siguientes productos que han sido entregados a su corporación.

- Un modelo de gestión del sistema de recursos hídricos para la cuenca del río La Vieja, el cual incluye un modelo hidrológico de la cuenca, un análisis de oferta vs demanda de las principales cabeceras municipales asentadas en la cuenca.
- Igualmente este modelo de gestión incluye un análisis de escenarios de cambio climático con proyecciones al año 2050, lo cual permite tener una idea del comportamiento del clima futuro según el quinto reporte del IPCC.
- Adicional a estos escenarios de clima, se realizó un análisis de diferentes escenarios asociados principalmente al cambio demográfico (crecimiento alto, medio, bajo), consumo per cápita (aumento, reducción, actual) y cambios de la dinámica agrícola asociado al aumento o reducción de cultivos de café.
- Por otro lado se evaluaron y analizaron algunas estrategias de adaptación con el fin de reducir el impacto del cambio climático sobre las comunidades y el ambiente, dentro de estas estrategias se tiene: reducción de pérdidas en los sistemas de transporte y tratamiento de agua potable, reducción del índice de agua no contabilizada y la implementación de caudales ecológicos para la conservación de la flora y fauna acuática.
- Finalmente se generó un escenario donde se involucra la implementación del embalse multipropósito del Quindío en la cuenca del río Navarco.

Recomendaciones

Es de resaltar que el modelo de gestión del sistema de recursos hídricos de la cuenca del río La Vieja desarrollado en WEAP es una excelente herramienta de planificación que facilitaría a los funcionarios de la corporación el proceso de Toma de Decisiones y el Análisis de Decisiones Robustas (ADR) bajo escenarios de incertidumbre, fundamentado en la hidroclimatología histórica de la cuenca. A continuación se presentan algunas recomendaciones:

- Se recomienda la interiorización y apropiación de este modelo de gestión WEAP dentro del grupo de recursos hídricos de la corporación, para lo cual será necesario destinar mínimo un funcionario a esta actividad.
- Con la apropiación de la herramienta se recomienda a la corporación seguir desarrollando actividades de este tipo a escala más detallada de las microcuencas de su jurisdicción con el fin de mejorar el ADR y la toma de decisiones.
- Con este modelo de gestión se aprecia que a futuro habrá problemas de disponibilidad de agua principalmente en los periodos secos, por lo que se recomienda a la corporación seguir trabajando en la reglamentación y control de las corrientes hídricas, donde este modelo de gestión es de gran utilidad.
- Igualmente se recomienda diseñar, desarrollar e implementar estrategias de adaptación al cambio climático, que permitan reducir los efectos sobre los ecosistemas y las comunidades humanas.
- Seguir y mejorar con los controles de los diferentes usuarios del recurso hídrico enfocado en el suministro y las descargas de agua residuales.
- Seguir y mejorar las prácticas de conservación de las cuencas abastecedoras, aumentando las zonas de conservación y protección.

Atentamente,

Lina Marcela Alarcón Mora

Ing. Ambiental

Funcionario CRQ participante en el proyecto USAID-SEI

Ing. Gabriel Lozano Sandoval

Director Grupo CIDERA

Coordinador de la UniQuindío en el proyecto USAID-SEI

Universidad del Valle

Instituto CINARA





Proyecto

Ríos del páramo al valle por urbes y campiñas: planeación de recursos hídricos a través de la formación de capacidades

**Recomendaciones para la toma de decisiones en la planificación de recursos hídricos,
en el departamento del Valle del Cauca**

Preparó

María Fernanda Jaramillo Llorente

Junio de 2015



25 años
Cinara

CGU.080.2015

Cali, Septiembre 29 de 2015

Ingeniera
PAOLA PATIÑO
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Carrera 56 # 11 - 36 Barrio Santa Anita

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL
DEL VALLE DEL CAUCA
30/09/2015 14:48:36
Remite: CINARA - INSTITUTO DE
INVESTIGACION Y DESARROLLO EN
Asunto: entrega documento
Destinatario: PAOLA JANETH PATIÑO TRIANA
Al contestar cite número: *100523652015* Folio 9

Referencia: Proyecto SEI. Entrega de documento "Recomendaciones para la toma de decisiones en la planificación de recursos hídricos, en el departamento del Valle del Cauca"

Estimada Ingeniera,

Conforme con los compromisos establecidos en el proyecto "Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas: Planeación de recursos hídricos a través de la formación de capacidades frente al cambio climático", que se desarrolla de manera conjunta entre el Instituto SEI, CVC, CRQ, CARDER, AGUAS y AGUAS, UTP, Universidad del Quindío y la Universidad del Valle, se hace entrega del documento citado en la referencia.

Cordialmente,

ALBERTO GALVIS C.
Coordinador proyecto
Instituto Cinara - Universidad del Valle

Copia: Ing. José Alberto Riascos Coordinador de la cuenca Tuluá-Morales DAR Centro Norte. Ing. Amparo Duque. Funcionaria Especializada de la DTA.

INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto "*Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas*" uno de los principales retos formulados correspondió a la formación de capacidad técnica para la toma de decisiones frente al Cambio Climático, en el marco de la gestión integrada de los recursos hídricos. Para abordar este reto múltiples discusiones y plenarias fueron realizadas y en ellas se presentó el estado del arte de la planificación hídrica en Colombia y la problemática actual que enfrenta el país para una adecuada toma de decisiones.

El objeto de este documento es recopilar una serie de recomendaciones para la toma de decisiones en la planificación de los recursos hídricos, considerando un análisis del contexto normativo colombiano, y con base en el aporte y experiencias del personal técnico del proyecto, caso específico la CVC como Autoridad Ambiental del departamento del Valle del Cauca, y la Universidad del Valle a través del Grupo de Investigación Gestión Integrada de Recursos Hídricos del Instituto Cinara.

Para el desarrollo de las recomendaciones producto de este informe, se realizó un proceso sistematizado en el cual, como primera medida se revisó el contexto normativo nacional y local con el objetivo de identificar las bases conceptuales y elementos necesarios para toma de decisiones en Colombia frente a una gestión integral del recurso hídrico. En segunda instancia se elaboró un ejercicio con la Autoridad Ambiental, que mediante preguntas específicas recopila la experiencia en la toma de decisiones en la planificación del recurso hídrico en el contexto local. De esta segunda etapa se resaltan recomendaciones que fueron comprendidas desde la ejecución de este proyecto.

El proyecto "*Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas*" fue desarrollado bajo la coordinación del Instituto del Ambiente de Estocolmo U.S - SEI, el auspicio financiero de la Agencia para el Desarrollo de los Estado Unidos de América - USAID y con el acompañamiento técnico de las siguientes instituciones participantes: Corporación Autónoma Regional del Quindío, Corporación Autónoma Regional de Risaralda, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Empresa prestadora de servicios públicos Aguas y Aguas, Universidad del Quindío - Grupo CIDERA, Universidad Tecnológica de Pereira - Grupo Ecología, Ingeniería y Sociedad y Universidad del Valle, Cinara - Grupo Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

El equipo de trabajo para el desarrollo de este informe de recomendaciones corresponde a:

Personal de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC:

Amparo Duque.	Esp, Ingeniera Sanitaria.
José Alberto Riascos.	Esp, Ingeniero Civil.
Paola Janeth Patiño.	MSc. Ingeniera Sanitaria

Personal del Instituto Cinara, Universidad del Valle:

Alberto Galvis.	MSc. Ingeniero Sanitario
María Fernanda Jaramillo.	MSc. Ingeniera Agrícola

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este informe se plantearon dos etapas: la primera mediante una revisión del marco normativo colombiano y la segunda una serie de recomendaciones de los socios directos del proyecto (CVC y Cinara-Univalle) para la toma de decisiones en el contexto de la GIRH. El intercepto entre estas dos etapas corresponde a las recomendaciones del Análisis de Decisiones Robustas ADR frente a la planificación del recurso hídrico. En la Figura 1 se presenta el esquema metodológico implementado. Las herramientas metodológicas implementadas corresponden a revisión de literatura, plenarias entre el personal de la CVC y Cinara-Univalle y captura de información por tarjetas.

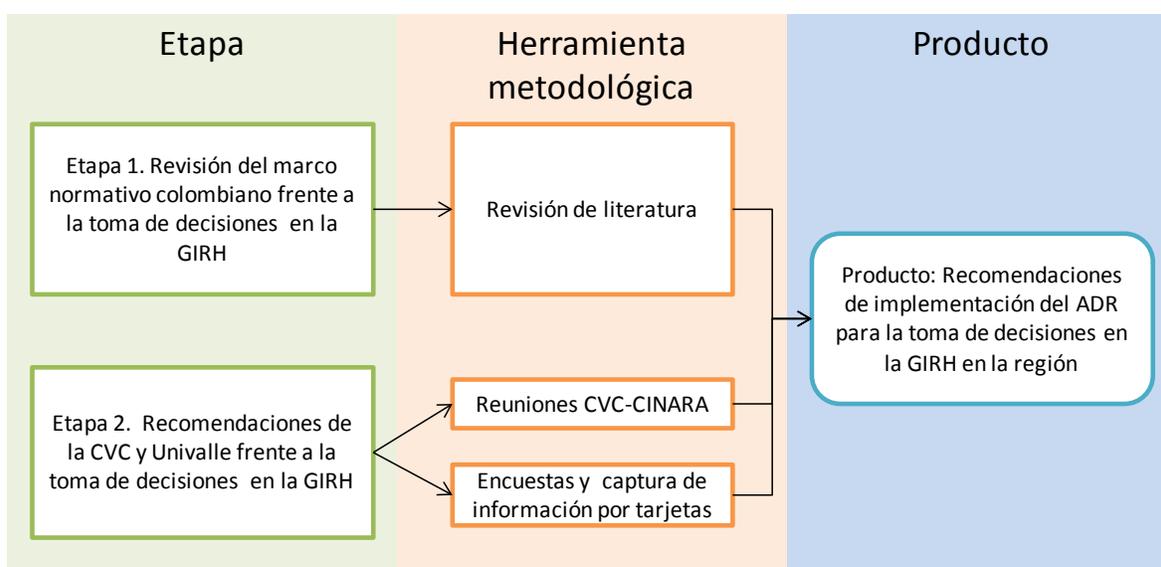


Figura 1. Esquema metodológico para la recopilación de recomendaciones

RESULTADOS

Bases conceptuales y elementos para la GIRH en el marco normativo colombiano

Estrategias de uso eficiente, producción más limpia y priorización de las inversiones, son algunos de los elementos de la gestión del recurso hídrico que se encuentran enmarcados en la normatividad colombiana, además de otras medidas de gestión de la demanda y control de la contaminación hídrica. Estos elementos han sido reconocidos a nivel internacional y nacional, sin embargo el mejoramiento en los cuerpos hídricos en el contexto local, en función de su disponibilidad¹, no es evidente. En el diagnóstico realizado para la elaboración de la política nacional del recurso hídrico, se identificó que el control

¹ Entendiendo que el concepto de disponibilidad es una función de la cantidad y calidad del recurso hídrico.

de la contaminación hídrica se ha mitigado primordialmente a través de inversión en sistemas de tratamiento, lo cual hace pensar que otros elementos de la gestión del recurso, pese a ser reconocidos, no han sido implementados. De los \$2,4 billones ejecutados en el 2007 en la gestión integrada del recurso hídrico (GIRH), el 88% se destinó a infraestructura de agua potable y saneamiento y el 12% restante, se destinó al resto de las acciones de la GIRH relacionadas con el mejoramiento de la oferta hídrica, la gobernabilidad del recurso y el control de los riesgos asociados con el agua ([MAVDT, 2010b](#)).

Desde el nivel nacional, el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial emite, en el 2010, la Política Nacional para la Gestión del Recurso Hídrico (PNGIRH), en un esfuerzo por integrar los diferentes elementos de la gestión del recurso hídrico. El objetivo general de ésta es *"garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social"*([MAVDT, 2010b](#)).

Desde ésta política y bajo el marco normativo, legal y político colombiano se identificaron elementos y estrategias de la gestión del recurso hídrico como son: el uso eficiente del recurso hídrico, la producción más limpia, la priorización de las inversiones, la cuenca como unidad de análisis, el fortalecimiento institucional, la gobernabilidad y la participación de los diferentes actores. Estos y otros elementos identificados se presentan a continuación.

Cuenca como unidad de análisis: La cuenca hidrográfica es la unidad fundamental para la planificación y gestión integral descentralizada del patrimonio hídrico ([MAVDT, 2010b](#)). El concepto de cuenca hidrográfica en la gestión del agua en Colombia es detallado desde Código Nacional de Recursos Naturales Renovables donde se define a la cuenca como "un área físico-geográfica debidamente delimitada, en donde las aguas superficiales y subterráneas vierten a una red natural mediante uno o varios cauces de caudal continuo o intermitente que confluyen a su vez en un curso mayor que desemboca o puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar". El soporte normativo de la gestión del agua desde el concepto de cuenca hidrográfica esta soportado en el decreto 2811 de 1974, en los decretos 1604 y 1729 de 2002 y en la Política Nacional para la Gestión del Recurso ([MAVDT, 2010b](#)).

Producción más Limpia (PmL): Es la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada a los procesos productivos, a los productos y a los servicios para incrementar la eficiencia y reducir riesgos para los seres humanos y el ambiente. La Producción más Limpia puede ser aplicada a los procesos empleados en cualquier industria, a los productos mismos y a los diferentes servicios prestados a la sociedad

([PNUMA, 2006](#)). La Producción más Limpia es soportada en los lineamientos generales de la Constitución Política de 1991, de la Ley 99 de 1993 y los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 1994-1998, el CONPES 3177 de 2002 y la Política de Producción y Consumo Sostenible ([MAVDT, 2010a](#)).

Uso eficiente del recurso hídrico: Es la implementación de medidas de reducción de la cantidad de agua que se utiliza por unidad productiva de cualquier actividad, y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad del agua. El uso eficiente del agua es cualquier reducción o prevención de pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad ([Aranda, 2000](#)), incluye medidas de gestión de la demanda y el reuso, se encuentra soportado en la Política Nacional para la Gestión del Recurso ([MAVDT, 2010b](#)) y en la Ley de Uso eficiente y Ahorro del Agua ([MAVDT, 1997b](#)).

Gestión de la Demanda: Es la implementación de ciertas acciones encaminadas a reducir el consumo de agua y por consiguiente a disminuir la producción de agua residual. Múltiples experiencias han mostrado que la implementación de estrategias orientadas al ahorro del agua, como la instalación de aparatos de bajo consumo, la medición del recurso, el uso de las aguas grises y/o aguas lluvias y el cambio en los hábitos de consumo mediante educación ambiental, han disminuido considerablemente la producción de aguas residuales municipales representando beneficios económicos a lo largo del tiempo ([Zambrano, 2010](#)). Implementar estrategias de minimización y prevención, conociendo la relación directa entre la demanda de agua potable y la producción de agua residual, permite superar las desventajas y los impactos a los que ha llevado la gestión convencional, donde las de tecnologías en ahorro de agua y el reciclaje disminuyen tanto la demanda como la producción de agua residual. ([Makropoulos et al., 2008](#)). Estas estrategias que hacen parte del concepto de uso eficiente del agua, se han reglamentado en el marco de la política nacional para la gestión del recurso hídrico ([MAVDT, 2010b](#)) y en la ley 373 de 1997.

Tecnologías de Tratamiento: Son estructuras que permiten la reducción de contaminantes presentes en el agua mediante procesos físicos, biológicos y químicos. El control de la contaminación hídrica en Colombia ha estado focalizado en la implementación de sistemas de tratamiento de agua residual, con base en un "enfoque de corrección" y más precisamente en acciones al *final del tubo*, con las exigencias de tratamiento secundario y eficiencia de remoción de los sistemas de tratamiento del 80% ([Gandini et al., 2005](#)). Estas exigencias de tratamiento fueron concebidas desde 1976 con la adopción del Acuerdo 14 de la CVC, en la cuenca alta del río Cauca región comprendida entre los departamentos del Valle, Cauca y el antiguo Caldas. Posteriormente esta exigencia se introduce en todo el territorio nacional con el decreto 1541 de 1984.

Una de las líneas estratégicas para el control de la contaminación del recurso hídrico propuestas por el MAVDT ([2010b](#)) es reducir los aportes de contaminación puntual y difusa implementando tratamiento de aguas residuales para disminuir la contaminación por materia orgánica y sólidos en suspensión, patógenos, nutrientes y sustancias de interés sanitario. A nivel de control de la contaminación hídrica puntual, la exigencia de tratamiento de agua residual a nivel municipal se encuentra soportada en los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) reglamentados en el decreto 3100 de 2004. En el documento CONPES 3177 de 2002 se establece la necesidad de priorización de los municipios donde se pretenda invertir en tratamiento.

Contaminación difusa: La contaminación difusa es aquel proceso de cambio de la composición natural de un cuerpo/curso de agua, con consecuencias negativas sobre su calidad, que se origina en la recepción de una multiplicidad de pequeñas descargas de aguas residuales no controladas y fuentes espacialmente dispersas como la agricultura y el lavado de sustancias agroquímicas por precipitación y riego. En cuanto a la contaminación no puntual, el Decreto 1594 de 1984 señala que deben cumplir con los requerimientos de vertimiento de las descargas puntuales, sin embargo las autoridades ambientales no han establecido normas explícitas para vertimientos no puntuales y por ende estos no son controlados ni regulados ([Londoño y Parra, 2007](#)). En el documento CONPES 3624 de 2009, se menciona la necesidad de articular este tipo de contaminación a la gestión del recurso hídrico.

Reuso de agua residual: El reuso de agua residual es una estrategia que forma parte del concepto de uso eficiente, que a diferencia del concepto convencional de tratamiento del agua presenta enfoque más lógico centrado en la minimización de las aguas residuales, refinamiento de materias primas y procesos de producción y reutilización de los residuos ([Larsen et al., 1999](#)). La evaluación de los beneficios asociados al reuso de agua residual puede contribuir en la justificación de adecuadas políticas de inversión y mecanismos de financiación para el control de la contaminación de los cuerpos hídricos ([Hernández-Sancho et al., 2010](#)). Ésta estrategia ha sido reconocida a nivel nacional desde la formulación de la ley 373 de 1997, la formulación de la guía técnica de formulación de proyectos de tratamiento de agua residual ([MAVDT, 1997a](#)), el documento CONPES 3177 de 2002 y la política nacional para la gestión del recurso hídrico ([MAVDT, 2010b](#)).

Capacidad de autodepuración: Es la capacidad de un cuerpo hídrico de asimilar una carga contaminante y re-aírearse. Depende de factores como la temperatura, el flujo y características hidráulicas de la corriente (caudal, velocidad, flujo, pendiente). La capacidad de autodepuración de un cuerpo hídrico se debe al proceso biológico de degradación de los componentes orgánicos a través de la oxidación de la materia orgánica. Este proceso degrada la carga contaminante pero consume el oxígeno, dando como producto una

mineralización. Sin embargo el cuerpo hídrico a cierta distancia recupera su nivel de oxígeno. Estimar la capacidad de autodepuración es fundamental en la gestión del recurso, dado que la recuperación de un cuerpo hídrico bajo condiciones anóxicas implicaría inversiones superiores y limitaría los posibles usos. Con base en lo anterior el concepto de autodepuración se encuentra relacionado con la capacidad de asimilación y por tanto, implícitamente ésta es soportada en los decretos 1594 de 1984 y 3930 de 2010. En el año 2002 en el marco del CONPES 3177 se identificó que los principales factores de la contaminación de los cuerpos hídricos son el tamaño y la calidad de los vertimientos así como el tamaño de la fuente y su capacidad de asimilación. La concepción de la capacidad de autodepuración del cuerpo hídrico receptor permitiría no solo el ordenamiento del recurso hídrico y la optimización de las inversiones en agua y saneamiento, sino también la ordenación de los usos de territorio.

Distribución espacial y temporal de la contaminación: La contaminación hídrica está relacionada con las diferentes acciones antropogénicas como los vertimientos domésticos, el impacto que tienen los vertimientos industriales, especialmente los no controlados por disposición en horarios nocturnos, la explotación minera, el uso y manejo inadecuado de los suelos de las laderas y de la franja protectora de las fuentes superficiales, además de la alteración del sistema de humedales lénticos y mala disposición de residuos sólidos. De igual manera la contaminación hídrica está relacionada con las condiciones naturales del ciclo hidrológico y demás subsistemas, como son los procesos de infiltración, los niveles de caudal circulante, los niveles freáticos, la duración y frecuencia de crecidas o avenidas, y también por la variación del régimen normal de caudal que produce cambios en la ecología fluvial.

La contaminación de las aguas superficiales por la escorrentía que entran en contacto con los residuos de materiales contaminantes presentes en actividades industriales puede ser significativa a distribuciones temporales cortas. La implementación de programas de prevención y mejores prácticas de manejo, conjuntamente con una planificación estructural adecuada, son métodos efectivos para lograr una descarga de aguas de lluvia en cumplimiento con las metas de calidad para aguas superficiales y la protección de la salud y ambiente. En términos espaciales la contaminación suele ser mayor en lugares cercanos a las zonas densamente pobladas y con muchas industrias.

En este sentido la contaminación hídrica presenta una variación espacio-temporal vinculada a los factores que intervienen en su desarrollo, la cual debe ser analizada en el marco de la gestión del agua. Este análisis de la espacialidad y temporalidad de la contaminación hídrica es considerado en diferentes instrumentos del marco normativo colombiano como son los documentos CONPES 3177 de 2002, CONPES 3624 de 2009, la

política nacional para la gestión del recurso hídrico ([MAVDT, 2010b](#)), y en los instrumentos de regulación citados en ésta.

Optimización de las inversiones: En países donde los recursos financieros son escasos, la priorización y optimización de las acciones se constituyen en un elemento trasversal, no solo en la problemática ambiental, sino en las diferentes intervenciones de tipo social, económico, cultural, técnico, entre otros. En el ámbito de la gestión del recurso hídrico y la optimización de los recursos financieros se ha dado principalmente desde el enfoque de priorización de las inversiones, en el ejercicio de priorización de cuencas con una problemática ambiental más marcada respecto a otras. En el año 2007 se priorizaron 10 cuencas a nivel nacional, las cuales por decreto (1480 de 2007), deben ser incorporadas en los planes de gestión de las corporaciones garantizado con ello la inyección de recursos en estos elementos priorizados. Mediante una combinación de estrategias es posible obtener la condición económica más aceptable, un análisis costo - beneficio permite obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido, una herramienta de información útil acerca de los efectos deseables e indispensables de los proyectos públicos. Un análisis costo – eficacia viene marcado por la estimación del costo que supone la obtención de un resultado.

La priorización y optimización de las inversiones se encuentra argumentada en la estrategia de sostenibilidad financiera de la política hídrica nacional ([MAVDT, 2010b](#)). Otro instrumento de priorización de las inversiones se proyecta desde los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas, donde se elaboran ejercicios de priorización a través de los proyectos formulados los cuales deben ser parte de la gestión de las CARs una vez los actores continúen con el proceso de ordenamiento en la fase de implementación (Decreto 1729 de 2002). Adicional a esto, como producto del ordenamiento del recurso hídrico enmarcado en el decreto 3930 de 2010, la reglamentación de fuentes hídricas será priorizada, por tanto la incorporación de instrumentos económicos para la gestión de la contaminación hídrica debe ser concebido en los PAT de las Autoridades ambientales. Un lineamiento importante en la optimización de las inversiones de agua y saneamiento es el CONPES 3177 de 2002 donde se planteó considerar la articulación de las fuentes de financiación para las inversiones en tratamiento de aguas residuales.

Participación de los actores: Desde la adopción de la constitución política de 1991 donde se califica al Estado colombiano como Estado social de derecho, democrático y participativo, el gobierno plantea la necesidad de coordinación entre el estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado para la protección y recuperación ambiental del país. Los ciudadanos colombianos pueden participar, de diferentes formas, en la toma de decisiones que afecten su comunidad. En el ámbito

ambiental, la participación ciudadana es amparada en el desarrollo de la ley 99 de 1993 y en la política nacional para la gestión del recurso hídrico. Uno de los principios rectores de esta es la gestión del agua orientada bajo un enfoque participativo y multisectorial, incluyendo a entidades públicas, sectores productivos y demás usuarios del recurso. En esta política se plantea como estrategia de participación la conformación de Organismos de Cuenca, estos son instancias consultivas, para realizar recomendaciones, observaciones y propuestas, así como para presentar información relacionada con el proceso de ordenación y manejo de la cuenca ([MAVDT, 2010b](#)).

Al desarrollo normativo anteriormente expuesto se suman las regulaciones nacionales sobre mecanismos y espacios para la participación ciudadana citados en la ley 134 de 1994, la ley de ordenamiento y desarrollo territorial (ley 388 de 1997) y la ley orgánica del plan de desarrollo (ley 152 de 1994). Otros mecanismos, que están regulados y más aplicados son: las audiencias públicas, acciones de nulidad, acciones de tutela, derechos de petición y la participación de representantes de la comunidad en los Consejos Directivos de las CAR. En función de la Planificación de la gestión pública existen los Consejos Territoriales de Planeación y los Consejos Directivos de las CAR, en donde es obligatoria la presencia ciudadana.

Como normatividad puntual en lo concerniente a esquemas de participación en la gestión del recurso hídrico, los decretos 2811 de 1974 y 1541 de 1978 establecen la conformación de Asociaciones de Usuarios, las cuales deben estar constituidas por quienes aprovechen las aguas de una o varias corrientes comprendidas por el mismo sistema de reparto.

Gobernabilidad: Desde la política nacional para la gestión del recurso hídrico en Colombia, la gobernabilidad es vista desde el fortalecimiento de los actores en la gestión del recurso. Para ello se plantea incentivar el desarrollo de mecanismos o espacios de participación que motiven a los usuarios del agua a ser parte de la gestión integral del recurso hídrico conformando grupos de veeduría y control ciudadano sobre las inversiones y acciones desarrolladas por las instituciones públicas y privadas, también por los usuarios del agua en general. Como estrategia de gobernabilidad la Política Hídrica ([2010b](#)) se orienta a incrementar en los usuarios del agua la conciencia y el conocimiento sobre la importancia de conservar y hacer uso sostenible del recurso hídrico, así como, de abolir prácticas y hábitos de consumo no sostenibles del agua (*cultura del agua*). Para esto se conformarán los Consejos de Cuenca ([MAVDT, 2010b](#)).

Fortalecimiento institucional: El potencial del agua como recurso natural, hace que se agudicen las consecuencias de los vacíos o debilidades de la capacidad de planificación nacional y regional de las instituciones ambientales en particular. El reto de lograr un manejo intersectorial coordinado en función de objetivos, como el uso más racional, se ve limitado por los vacíos y deficiencias que caracterizan la base de planificación sectorial

([Arias, 2000](#)). Esta visión integrada del manejo del agua presenta desarrollos sencillos en Colombia, aunque es claro que existe la necesidad. Esto se evidencia en el marco normativo y político del país: CONPES 2902 de enero de 1997, los lineamientos de política hídrica (Ministerio del Medio Ambiente, 1997) y el Plan Nacional de Desarrollo Tecnológico para el Manejo del Agua en el Sector Agropecuario (CORPOICA – INAT, 1997). Desde la reciente política nacional para la gestión del recurso hídrico el *Fortalecimiento Institucional y Gobernabilidad* presenta líneas de acción estratégicas con el fin de mejorar la capacidad para vincular a los principales usuarios del agua a participar en la GIRH. Dentro del fortalecimiento institucional es necesario fomentar y desarrollar acciones de investigación y de manejo de la información relacionada con el recurso hídrico, por parte de entidades o personas públicas o privadas para lograr el buen manejo del recurso ([MAVDT, 2010b](#)).

Aportes al manejo de sistemas de información: El Sistema de Información del Recurso Hídrico es el conjunto que integra y estandariza el acopio, registro, manejo y consulta de datos, bases de datos, estadísticas, sistemas, modelos, información documental y bibliográfica, reglamentos y protocolos que facilita la gestión integral del recurso hídrico ([MAVDT, 2010b](#)). La creación de un sistema de información de recurso hídrico se reglamentó en el decreto 1323 de 1997, en ese mismo año se estableció la creación de registro único de usuarios del agua en el marco del decreto 1324. Como parte de las estrategias de la política nacional para la gestión del recurso hídrico, el MAVDT ([2010b](#)) reconoce la importancia de generar, divulgar de información y conocer sobre riesgos que afectan la oferta y disponibilidad hídrica, orientada a mejorar el conocimiento acerca de las causas y efectos de los principales riesgos que afectan la oferta y disponibilidad del recurso hídrico para los diferentes usos. El sistema de información está orientado a brindar información rápida y oportuna a los usuarios del agua acerca de cómo prevenir, manejar y restablecer las condiciones normales.

Educación Ambiental: Es un proceso sistémico que permite al individuo comprender las relaciones de interdependencia con su entorno, y poder generar en él y en su comunidad, actitudes de valoración y respeto por el medio ambiente. La constitución Política de Colombia de 1991 hace referencia a la protección del ambiente, con la Ley 99 de 1993 se crea el Sistema Nacional Ambiental “SINA” que permite poner en marcha los principios generales ambientales contenidos en la Constitución. El artículo 5 de la Ley 115 de 1994 conocida como la Ley general de educación, también hace obligatoria la protección del medio ambiente. El Decreto 1743 de 1994 reglamenta el Proyecto Ambiental Escolar – PRAE y el Acuerdo 166 de 2005 del consejo de Bogotá, crea en los establecimientos educativos de la capital los Comités Ambientales Escolares – CAE.

Con base en la revisión del marco normativo colombiano se generó la Tabla 1, que presenta el intercepto entre los conceptos y elementos de la GIRH en Colombia y el proyecto "Ríos del páramo al valle por urbes y campiñas".

Tabla 1. Intercepto entre el marco normativo colombiano y el proyecto

Elemento	Consideración en el proyecto	Comentario
Cuenca como unidad de análisis	SI	Se consideró la cuenca como unidad de análisis.
Producción más Limpia (PmL)	SI	Se consideró el concepto de PmL en el sector cafetero mediante el manejo de subproductos del beneficio del café
Uso eficiente del recurso hídrico	SI	Se consideró en la formulación de escenarios de gestión de la demanda.
Gestión de la demanda	SI	
Tecnologías de Tratamiento	SI	Se consideró en la formulación de escenarios de control de la contaminación para los sectores doméstico y cafetero.
Contaminación difusa	NO	
Reuso de agua residual	NO	
Aportes de aguas subterráneas	NO	
Capacidad de autodepuración	SI	Mediante el análisis de los resultados de la modelación de calidad del agua con la implementación integrada de los modelos WEAP y QUAL2k.
Distribución espacial y temporal de la contaminación	SI	Se consideró el análisis de los resultado la implementación de la herramienta de modelación WEAP y QUAL2K
Optimización de las	NO	

Elemento	Consideración en el proyecto	Comentario
inversiones		
Participación de los actores	SI	Se desarrolló el ejercicio de formulación del problema, incertidumbres y estrategias para la GIRH. Adicionalmente se realizó socialización periódica de los resultados, talleres académicos de fortalecimiento de capacidades en Cambio Climático, modelación con WEAP, manejo de las herramientas R y Tableau y un intercambio, a Estados Unidos, de los socios directos del proyecto.
Gobernabilidad	NO	No se encuentra en los alcances del proyecto.
Fortalecimiento institucional	NO	No se encuentra en los alcances del proyecto.
Aportes al manejo de sistemas de información	NO	El proyecto contribuirá con el análisis y articulación de la información a nivel de cuenca, sin embargo quedarán muchos aspectos que no están contemplados.
Educación Ambiental	NO	

Proceso de captura de información de la CVC y Cinara -Univalle

Para el proceso de captura de información de la CVC y Cinara Univalle referente a las recomendaciones en la toma de decisiones la GIRH, se realizaron 3 reuniones específicas. Las fechas y objetivos de las reuniones desarrolladas se presentan en la Tabla 2. En el Anexo 1 se presentan los listados de asistencia de las reuniones desarrolladas.

Tabla 2. Reuniones realizadas para la captura de recomendaciones de la CVC y Cinara

Fecha	Objetivo Reunión	Asistentes
Enero 14 de 2015	Reunión de socialización del plan de trabajo para el periodo enero-junio de 2015	Paola Patiño José Alberto Riascos María Fernanda Jaramillo
Marzo 17 de 2015	Reunión de trabajo de captura de información.	Paola Patiño

	presentación del objetivo y la metodología	José Alberto Riascos Amparo Duque Alberto Galvis María Fernanda Jaramillo
Abril 22 de 2015	Reunión de trabajo para la captura de información.	Paola Patiño Amparo Duque Alberto Galvis María Fernanda Jaramillo

Recomendaciones frente a la toma de decisiones en la GIRH

Se presenta a continuación el resultado de las reuniones realizadas entre los funcionarios de la CVC, encargados en el desarrollo del proyecto, y el grupo del Instituto Cinara, frente a las recomendaciones para la toma de decisiones en la GIRH. Las recomendaciones se presentan en la Tablas 4, 5 y 6, según la temática abordada.

Tabla 4. Temática: Recomendaciones del personal técnico de la CVC a sus Directivos

Subtema	Recomendación
Proceso de toma de decisiones para la GIRH en la CVC	La complejidad de las acciones y estrategias que se implementan para la gestión integrada del recurso hídrico, no permiten establecer de manera práctica medidas óptimas para la adecuada gestión de dicho recurso, generando esfuerzos técnicos e inversiones que no muestran los mejores resultados. Dada esta complejidad, no es posible que de manera manual se infiera sobre la mejor opción para la toma de decisiones. Es importante tener en cuenta que en la medida que se tenga mayor conocimiento de los efectos sobre la cantidad y calidad del recurso hídrico, asociados a un aumento o disminución en la cantidad y calidad de agua, se podrán definir las mejores medidas tendientes a una mejor regulación del recurso hídrico. Para los Directivos de la CVC la recomendación es sobre la necesidad de incrementar el conocimiento del territorio y el fortalecimiento en las capacidades de los profesionales en los temas relacionados con la GIRH.
Respecto al uso del modelo WEAP para la	WEAP es una herramienta que permite el análisis integral en términos de calidad y cantidad y facilita el apoyo a las decisiones.

Subtema	Recomendación
planificación de recursos hídricos en la CVC	Con la participación en el proyecto del río La Vieja se permitió el conocimiento de las Autoridades Ambientales (AA) en el uso y versatilidad de la herramienta. Es importante tener en cuenta la necesidad de cimentar el desarrollo de las capacidades en la AA. El modelo específico desarrollado para la cuenca del río La Vieja, permitió la evaluación de diferentes estrategias de planificación del recurso hídrico, teniendo en cuenta incertidumbres como el crecimiento poblacional, el cambio climático, entre otras; teniendo otras fortalezas que pueden complementar dicha planificación, tales como modelación de paramos, humedales, glaciares, caudal ecológico que a futuro pueden ser implementadas. Aún está por fortalecer el desarrollo de capacidades en el personal de la CVC.

Tabla 5. Temática: Recomendaciones del trabajo conjunto CVC - Cinara-Univalle

Subtema	Recomendación
Respecto al desarrollo del proyecto "ríos del páramo al valle por urbes y campiñas"	Continuar con el desarrollo de proyectos de ordenamiento de recursos hídricos y otros instrumentos de planificación. Caso específico y en desarrollo entre la CVC y la Universidad del Valle, el proyecto de Ordenamiento de los ríos Bolo y Fraile, vigente en el Plan de Acción que culmina en diciembre de 2015.
Respecto a la formación de capacidad frente a cambio climático brindada por el proyecto	Es clave el trabajo conjunto entre entidades (Autoridades Ambientales, IDEAM, Universidades, otras entidades que trabajen en el tema de cambio climático), de tal forma que se puedan generar escenarios de cambio climático para las condiciones particulares de un área de estudio específica.
Respecto a la formación de capacidad frente al manejo del WEAP brindada por el proyecto	De manera general se dio a conocer el modelo WEAP a los funcionarios de la Corporación designados a participar en el proyecto. El manejo de WEAP, en el caso particular de CVC, se dio principalmente en los conceptos básicos para su aplicación en la temática de calidad de agua. Sin embargo, para la implementación de este tipo de herramientas por parte de los funcionarios de la Corporación, es necesario un proceso de

Subtema	Recomendación
	formación de capacidades que permita la apropiación de la herramienta en sus diferentes componentes , lo que implica una mayor intensidad horaria de capacitación y contar con la disponibilidad de tiempo para la puesta en práctica de la herramienta en un trabajo específico particular que se requiera por parte de la CVC.
Respecto a la formación de capacidad frente al manejo del Tableau brindada por el proyecto	El uso de herramientas como el Tableau permite conocer otras formas de visualización de la información y análisis de aspectos relacionados con las medidas, estrategias, incertidumbres, bajo diferentes escenarios tanto de intervención y de cambio climático, que apoyen a los diferentes niveles tanto técnicos como de tomadores de decisión frente a la planificación de los recursos naturales y en el caso particular del recurso Hídrico. Para una adecuada implementación de este tipo de herramientas de visualización es necesario fortalecer el desarrollo de capacidades al interior de la Corporación, ya que la versatilidad de estas herramientas hace que se requiera de tiempo y dedicación para conocerlas y aplicarlas de manera articulada con la información que se genera a través de modelación, de tal forma que se pueda transmitir a través de los datos un mensaje claro y preciso que permita una adecuada toma de decisiones.

Tabla6. Temática: Lecciones aprendidas del proyecto para la estructuración de ToR en los instrumentos de planificación PORH y POMCAS

Subtema	Recomendación
Quién debería desarrollar los ToR de los instrumentos de planeación (PORH y POMCH) que implementarán las CAR?	Depende de la instancia que realice el proceso de gestión para la actualización o formulación de los instrumentos de planificación como los POMCA. Actualmente se han destinado recursos desde Fondo Adaptación del orden Nacional. Desde el punto de vista normativo estos instrumentos de Planificación están en cabeza de las Autoridades Ambientales y existen lineamientos del orden nacional para establecer incluso la priorización para su implementación. Por lo tanto, con estos referentes, las Autoridades Ambientales deben adelantar los términos de referencia que servirán de base para el desarrollo de su

	formulación.
Qué incluir en futuros términos de referencia de PORH y POMCA?	El uso de herramientas que permitan establecer los pronósticos y las diferentes medidas de intervención para la GIRH.
De ser posible, Cómo el uso del WEAP puede verse reflejado en esos ToR?	WEAP puede ser usado como una herramienta e instrumento de apoyo para la toma de decisiones, en la medida que se cuente con la información básica de monitoreo confiable. Otra manera de recomendar el uso del WEAP en procesos de planificación de recursos hídricos en Colombia, es mediante el posicionamiento de WEAP en las guías para la modelación en recursos hídricos que se construyen para la reglamentación del decreto 3930 de 2010. Con esto WEAP puede llegar a un mayor número de usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

Aranda, J. (2000). Uso eficiente del Agua. Aquaforum.

Arias, M. (2000). Informe Nacional de Colombia sobre la gestión relacionada con el manejo de cuencas. sn.

Gandini, M., Perez, M. A., y Madera, C. A. (2005). Política de contaminación hídrica en Colombia. Elementos de discusión asociados a objetivos de tratamiento. En: I Conferencia latinoamericana en lagunas de estabilización y reuso, Instituto Cinara, ed., Cali, Colombia.

Hernández-Sancho, F., Molinos-Senantea, M., y Sala-Garrido, R. (2010). Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: An empirical approach for Spain Science of The Total Environment. . 408(4), 953-957.

Larsen, H., Ipsen, N., y Ulmgrem, L. (1999). Políticas y Principios. En: Control de la contaminación del agua, CEPIS OPS/OMS, ed., Lima, Perú, 1-9.

Londoño, R. D., y Parra, Y. (2007). Manejo de vertimientos y desechos en Colombia, una visión general. En: Épsilon, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 16.

Makropoulos, C. K., Natsis, K., Liu, S., Mittas, K., y Butler, D. (2008). Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. Environmental Modelling & Software, 23(12), 1448-1460.

MAVDT. (1997a). Guía Técnica para el Desarrollo de Reuso de Aguas Residuales.

MAVDT. (1997b). Ley 373. Uso eficiente y ahorro del agua. Bogatá.

MAVDT. (2010a). Política de producción y consumo sostenible. Bogotá, Colombia.

MAVDT. (2010b). Política Nacional para la Gestión Intergral del Recurso Hídrico. Bogotá, Colombia.

PNUMA. (2006). producción mas Limpia. <http://www.pnuma.org/industria/produccion_limpia.php> (26 de Noviembre, 2011).

UNEP. (2010). SICK WATER? The central rol of wastewater management in sustainable development. E. Corcoran, C. Nellemann, E. Baker, R. Bos, D. Osborn, H. Savelli, ed.

Zambrano, D. (2010). Anteproyecto: Minimización y prevención como estrategia para el control de la contaminación por aguas residuales municipales en la zona de expansión de Cali, Tesis de Maestria, Universidad del Valle, Cali.

Universidad Tecnológica de Pereira



Recomendaciones de trabajo conjunto entre UTP y CARDER

La interacción con CARDER y Aguas y Aguas en torno a la consolidación de la Red Hidroclimatológica del Departamento de Risaralda se ha presentado desde antes del inicio del proyecto. El proyecto y sus necesidades de información hidroclimatológica han contribuido a que resalte por parte de los funcionarios de las instituciones cooperantes la necesidad de mejorar la red hidroclimatológica operada por la UTP. De otra parte, han surgido necesidades de capacitación que van más allá de las esperadas dentro del proyecto y que han sido acordadas entre la CARDER y la UTP en el marco de uno de los proyectos complementarios (Ver Anexo 1).

Recomendaciones de trabajo conjunto entre Universidades y CARs - Universidades y Aguas Y Aguas Recomendaciones de los técnicos de las CARs a sus Directores

Retomando las inquietudes de las diferentes reuniones que tuvimos con funcionarios de Aguas y Aguas y la CARDER, organizamos una presentación para ambas entidades con los resultados y recomendaciones derivados del proyecto:

En el caso de Aguas y Aguas la presentación se hizo el día 16 de Julio al comité técnico. Esta presentación se realizó con un enfoque técnico en el que se explicó en detalle las características del modelo hidrológico, se explicaron los aspectos de calibración, y la lógica detrás de la toma de decisiones robustas. Se presentaron los resultados y se puntualizó en las recomendaciones frente al desarrollo futuro del modelo (Se anexa Acta).

Para el caso de la CARDER, la presentación se realizó para el consejo directivo de la CARDER que es la máxima instancia de decisión de la misma. En este consejo tienen asiento los gremios productivos (ANDI, Constructores, Sector Agrícola), entes territoriales (Alcaldías, Gobernación), y representantes del Gobierno (Delegado del Presidente y del Ministro del Medio Ambiente) entre otros (Se anexa Acta). Esta presentación, que tuvo lugar el día 6 de Agosto, dio cuenta del proyecto, sus actores, sus resultados principales para Risaralda, específicamente la cuenca del Río Otún. Al final se realizaron una serie de recomendaciones que ellos como representantes de la sociedad deberían considerar desde la CARDER.

A continuación se listan las recomendaciones dadas:

Sobre la Incorporación de WEAP en la realización de programas, planes, estudios.

- Los modelos construidos con WEAP ayudarían a soportar las decisiones asociadas a la GIRH en el territorio, entendiendo estas decisiones en el contexto de:
 - Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAs)
 - Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH)
 - Evaluaciones Regionales del Agua (ERAs)

- Unidades de Planificación Rural (APRA)
- Balances Hídricos

Nuevos modelos a desarrollar

- Què rol jugaría un embalse dentro de la cuenca del río Otún, como medida de adaptación que reduzca la vulnerabilidad
- Modelar el sistema hídrico actual de la ciudad (Escala diaria)
- Modelar el sistema Otún – Consota – Qda D/das
 - Cantidad y Calidad
- Modelar el sistema hídrico futuro de la ciudad
 - Sistema La vieja - Otún – Consota – Qda D/das – San Eugenio
 - Cantidad (Aguas superficiales y subterráneas) y Calidad
- Modelar propuestas de caudales ambientales en Otún para el sistema hídrico en Nuevo Libaré.

Finalmente, resultado de la presentación del proyecto al consejo directivo de CARDER, y considerando la época de elecciones para consejos, asambleas, alcaldías y gobernaciones, surgió desde el **Consejo Directivo** la necesidad de presentar el proyecto a los candidatos a estas instancias. Esta actividad sin fecha definida, será organizada por la CARDER.

Recomendaciones del personal técnico de la CARDER a sus Directivos

REUNIÓN ORDINARIA DEL CONSEJO DIRECTIVO

ACTA No 07 DE 2015

FECHA: 6 DE AGOSTO DE 2015

HORA: 8:30 a.m.

LUGAR: SALA DE JUNTAS - CARDER

PRESENTES:

MARIA MERCEDES RIOS AYALA

Delegada del Gobernador de Risaralda

SILVIA POMBO

Representante del Ministro de Ambiente y

Desarrollo Sostenible

EDUARDO CUENUT

Representante de las Comunidades Negras

MARIA ISABEL MEJIA MARULANDA

Representante del Presidente de la República

ALVARO LONDOÑO ESCOBAR

Delegado Alcalde Municipal de Pereira
GUSTAVO ARISTIZABAL BOTERO
Representante del sector Privado
HERMAN DIEGO MURIEL RAMIREZ
Representante de las ONG's
MARIO JIMENEZ JIMENEZ
Representante de las ONG's
LEONARDO FABIO SIAGAMA GUTIERREZ
Representante de las Comunidades Indígenas
CESAR ARANGO ISAZA
Representante del sector Privado
ADRIAN BEDOYA CANO
Alcalde de Santuario
LUIS HORACIO JARAMILLO JARAMILLO
Alcalde de Guática
NICOLAS ANTONIO GUTIERREZ DUQUE
Alcalde de Pueblo Rico

INVITADOS:

GABRIEL ANTONIO PENILLA SANCHEZ
Director General (E)
Jefe Oficina Asesora de Jurídica
JULIO CESAR GOMEZ SALAZAR
Subdirector de Gestión Ambiental Sectorial
EPIFANIO MARIN RIOS
Subdirector de Gestión Ambiental Territorial
RUBEN DARIO MORENO ORJUELA
Jefe Oficina Asesora de Planeación
TATIANA M. MARTINEZ DIAZGRANADOS
Jefa oficina de Control Interno
RICARDO SINISTERRA LONDOÑO
Asesor de la Dirección General
LUIS GARCIA
Funcionario de Aguas y Aguas

MAURICIO CASTAÑO

Funcionario Universidad Tecnológica de Pereira

CARLOS SABAS

Funcionario Universidad Tecnológica de Pereira

PRESIDENTE: MARIA MERCEDES RIOS AYALA

Delegada del Gobernador de Risaralda

SECRETARIA:

IRMA CECILIA CARDONA MARTINEZ

Secretaria General de la CARDER

ORDEN DEL DIA:

1. Verificación del Quórum.
2. Lectura y aprobación del orden del día.
3. Lectura y aprobación de las Actas del Consejo Directivo Así:
 - Acta No. 4. Consejo Ordinario del 04 de Junio de 2015.
 - Acta No. 5. Consejo Extraordinario del 12 de Junio de 2015.
 - Acta No. 6. Consejo Extraordinario del 06 de Julio de 2015.
4. Presentación del Informe de la Comisión verificadora del Acta No. 4, 5 y 6 de 2015.
5. Seguimiento a Compromisos.
6. Informe de Ejecución presupuestal Vigencia 2015 al cierre 30 de Junio de 2015.
7. Presentación del Informe semestral de gestión del Plan de Acción 2012-2015, primer semestre 2015.
8. Informe de cumplimiento de los indicadores mínimos de gestión.
9. Presentación y Aprobación:

Proyecto de Acuerdo "Por medio del cual se aprueba el Informe de Avance del Plan de Acción 2012- 2015, correspondiente al primer semestre de la vigencia 2015, y los Indicadores Mínimos de Gestión".

10. Presentación y Aprobación:

Proyecto de Acuerdo "Por medio del cual se efectúa un traslado presupuestal entre los proyectos de Inversión de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda –CARDER., para la presente Vigencia Fiscal"

11. Presentación de Informe comisiones al exterior Director General Dr. Juan Manuel Álvarez Villegas, Ing. Rubén Darío Moreno Orjuela.
12. Propositiones y varios

DESARROLLO DE LA REUNIÓN

Instala la reunión la Doctora MARIA MERCEDES RIOS AYALA, delegada del Gobernador de Risaralda para presidir la reunión ordinaria del 6 de agosto de 2015.

1. VERIFICACIÓN DEL QUÓRUM.

La Secretaria verifica e informa que existe quórum deliberatorio y decisorio, por lo cual se puede dar inicio a la reunión.

2. LECTURA Y APROBACIÓN DEL ORDEN DEL DÍA.

La Secretaria presenta el orden del día, la Presidenta lo somete a consideración, abre la discusión.

La Consejera Silvia Pombo solicita que se presente primero el punto 4, relacionado con el Informe de la Comisión verificadora de las Actas Nos. 4, 5 y 6 de 2015 y luego procedan con el punto 3, relacionado con la aprobación de las Actas del Consejo Directivo.

La Presidenta somete a consideración la solicitud de la Consejera Silvia Pombo y pregunta existe otra observación?, al no presentarse ninguna observación adicional, cierra la discusión.

El orden del día es aprobado con la solicitud de la Consejera Silvia Pombo, por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

3. PRESENTACIÓN DEL INFORME DE LA COMISIÓN VERIFICADORA DE LAS ACTAS Nos. 4, 5 Y 6 DE 2015.

La Presidenta recuerda que las Actas 4, 5 y 6 de 2015 fueron enviadas con anticipación a los miembros del Consejo Directivo para su revisión y análisis.

La Secretaria presenta el Informe del Acta No. 4, de la Comisión verificadora. Anexo.

La Consejera Silvia Pombo manifiesta que en éstos Informes, la Comisión verificadora no debe aprobar las Actas, por lo cual solicita que se modifique el texto y se elimine la aprobación, ya que ésta le corresponde al Consejo Directivo.

La Secretaria presenta los Informes de la Comisión verificadora de las Acta Nos. 5 y 6. Anexo.

El Consejero Gustavo Aristizabal Botero, solicita que se revise la asistencia a las reuniones, ya que no estuvo presente en una de éstas tres reuniones; por lo cual no puede verificar el Acta respectiva.

La Presidenta somete a consideración la propuesta de la Consejera Silvia Pombo, al igual que los Informes de la Comisión Verificadora; abre la discusión y la cierra. La propuesta y los Informes de la Comisión verificadora son aprobados en forma unánime por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

4. LECTURA Y APROBACIÓN DE LAS ACTAS DEL CONSEJO DIRECTIVO ASÍ: ACTA NO. 4. CONSEJO ORDINARIO DEL 04 DE JUNIO DE 2015. ACTA NO. 5. CONSEJO EXTRAORDINARIO DEL 12 DE JUNIO DE 2015. ACTA NO. 6. CONSEJO EXTRAORDINARIO DEL 06 DE JULIO DE 2015.

La Presidenta somete a consideración las Actas Nos. 4, 5 y 6 de 2015, las cuales les fueron enviadas vía correo electrónico para su análisis y observaciones, abre la discusión y pregunta...¿existe alguna observación o sugerencia respecto a éstas Actas?

La Presidenta informa que ella realizó observaciones por escrito a la Secretaria del Consejo Directivo, las cuales ya fueron tenidas en cuenta e incluidas en las propuestas de las Actas.

El Consejero Leonardo Fabio Siágama se abstiene de votar por no haber asistido a las reuniones citadas, debido a inconvenientes con su salud.

Al no presentarse ninguna observación a las Actas Nos. 4, 5 y 6 de 2015, la Presidenta cierra la discusión.

Las Actas Nos. 4, 5 y 6 de 2015 fueron aprobadas en forma unánime por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

5. SEGUIMIENTO A COMPROMISOS

El Dr. Gabriel Antonio Penilla Sánchez, Director General Encargado presenta un saludo en nombre del Doctor Juan Manuel Álvarez Villegas e informa que el Doctor Julio César Gómez Salazar, Subdirector de Gestión Ambiental Sectorial, presentará la respuesta a los compromisos, por lo cual la Presidenta le concede el uso de la palabra.

El Doctor Julio César Gómez Salazar, informa que en atención al compromiso establecido por la Consejera María Isabel Mejía Marulanda, relacionado con el tema del Embalse en el río Otún, se cuenta con la presencia en la reunión de los expertos: Doctor Mauricio Castaño y Doctor Carlos Sabas, quienes presentaran el tema relacionado con el recurso hídrico en el río Otún.

La Presidenta les concede el uso de la palabra. Los doctores Mauricio Castaño y Carlos Sabas, presentan el informe denominado "Creación de Capacidades para incorporar el cambio climático en la gestión integral del recurso hídrico" Anexo.

Terminada la presentación, la Consejera Doctora María Isabel Mejía Marulanda, agradece al Doctor Julio César Gómez por el trabajo frente al tema del agua y manifiesta que la empresa Aguas y Aguas de Pereira ha realizado una muy buena labor. Igualmente, felicita a los Técnicos Colombianos y señala que con base en lo expuesto, la ciudad de Pereira necesita la construcción de un embalse. Reitera la propuesta de que se cite a los candidatos a las Alcaldías y Gobernación para que se capaciten en materia ambiental y se comprometan con el tema del embalse.

La Presidenta solicita que la CARDER lidere la realización de un Foro a través del cual se brinde capacitación a los diferentes actores sociales incluidos los candidatos a las Alcaldías y Gobernación.

La Consejera María Isabel Mejía Marulanda solicita que de éste Foro se entregue certificado y que se difunda con mucha publicidad.

El Consejero Álvaro Londoño felicita a los Profesionales de Risaralda. De igual forma, realiza los siguientes comentarios:

1. Que cuando se piense en soluciones estructurales, se le plantee al Ministerio la necesidad que existe de que generen más herramientas jurídicas para la adquisición de los predios de los agricultores que están en la zona de protección.
2. Solicitarle al Ministerio de Minas, que permita construir pozos exploratorios en la parte alta para monitorear la cantidad y calidad de agua sobre la Cordillera central, para ésta parte de Colombia.
3. Hace un llamado para que se restrinja el paso de la Comunidad hacia el sector del santuario de flora y fauna, como medida para conservar la cuenca media alta.
4. Informa que la Alcaldía de Pereira ésta muy activa frente al tema y se encuentra realizando acciones que le han dado un norte a la gestión del recurso hídrico, las cuales han contado con el trabajo conjunto con la CARDER y los acueductos rurales.

El Consejero Gustavo Aristizabal Botero, expresa las siguientes inquietudes:

1. Ocupación indebida del río Otún, por la construcción de un hotel en el sector de la Suiza, el cual es de propiedad de un funcionario de Aguas y Aguas de Pereira.

La Presidenta le solicita al Consejero Álvaro Londoño que revise el tema y que presente un informe al Consejo Directivo.

2. Informa que el gremio de los constructores realizan aportes al CRI, el cual viene realizando investigaciones sobre proyectos como manejo de aguas lluvias y aguas grises, por lo cual se podría aprovechar éste espacio para tratar el tema del embalse.

El Consejero César Arango Isaza manifiesta que éste tema es estratégico para la competitividad de la región, por lo cual es muy importante su socialización con los gremios. También recuerda su inquietud relacionada con los incentivos que tiene la producción externa Vs. Los incentivos que tiene la producción interna, al igual que los subsidios en materia ambiental; por lo cual solicita que se revise el tema.

La Presidenta le concede la palabra al señor Luis García, quien saluda en nombre del Dr. Barragán y ofrece excusas en su nombre por no estar presente en la reunión; e interviene con las siguientes apreciaciones:

1. Evidencia la relevancia de pensar en la reubicación de la totalidad de las viviendas que hay en la Florida.
2. Adquirir los predios que están ubicados arriba de la bocatoma.

Terminada su intervención, la Presidenta agradece la participación en la reunión al señor Luis García y a los doctores Mauricio Castaño y Carlos Sabas.

El Consejero Eduardo Cuenut hace un llamado para que se apoyen las instituciones con el fin de que a través del trabajo conjunto, se puedan sacar los proyectos adelante y lograr el éxito. Respecto al hotel de propiedad del funcionario de Aguas y Aguas, comenta que es lamentable que control físico no haya tomado medidas en éste asunto y solicita se le pregunte al Alcalde de Pereira sobre las acciones realizadas al respecto.

La Presidenta le concede la palabra al Dr. Julio César Gómez, quien termina la presentación de las respuestas a los compromisos. Anexo.

6. INFORME DE EJECUCIÓN PRESUPUESTAL VIGENCIA 2015 AL CIERRE 30 DE JUNIO DE 2015.

La Secretaria presenta el Informe de Ejecución de Ingresos y Gastos con corte a junio 30 de 2015. Anexo.

Terminada la presentación, la Presidenta pregunta ¿existe alguna observación?

La Consejera Silvia Pombo, manifiesta que las observaciones se realizarán en el punto de presentación del informe del Plan de Acción.

7. PRESENTACIÓN DEL INFORME SEMESTRAL DE GESTIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN 2012-2015, PRIMER SEMESTRE 2015.

8. INFORME DE CUMPLIMIENTO DE LOS INDICADORES MÍNIMOS DE GESTIÓN.

La Presidenta le concede el uso de la palabra al Ingeniero Rubén Darío Moreno Orjuela, Jefe de la Oficina Asesora de Planeación, quien presenta el informe de gestión 1er semestre de la vigencia 2015, a través de un video. Anexo. Adicionalmente, presenta el informe de cumplimiento de los Indicadores Mínimos de Gestión. Anexo.

La Consejera Silvia Pombo pregunta...¿Qué estrategias se tienen para las metas que están en nivel crítico?

El Ingeniero Rubén Darío Moreno, informa que el Director General revisó el avance del Plan de Acción y estableció que a 30 de noviembre de 2015, las metas deben contar con un alto nivel de cumplimiento. Con base en lo anterior, se están realizando los análisis respectivos y el diseño de la estrategia para el cumplimiento de las metas del Plan de Acción.

La Presidenta solicita que se presente al Consejo Directivo el Plan estratégico para el cumplimiento de las metas del Plan de Acción y que cada que se realicen reuniones del Consejo Directivo se presente el avance en éste tema. Pregunta...¿existe otra observación al Informe semestral de gestión del Plan de Acción presentado? Al no presentarse ninguna observación adicional, se continúa con el orden del día.

9. PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN: PROYECTO DE ACUERDO “POR MEDIO DEL CUAL SE APRUEBA EL INFORME DE AVANCE DEL PLAN DE ACCIÓN 2012- 2015, CORRESPONDIENTE AL PRIMER SEMESTRE DE LA VIGENCIA 2015, Y LOS INDICADORES MÍNIMOS DE GESTIÓN”.

La Presidenta manifiesta que el proyecto de Acuerdo “POR MEDIO DEL CUAL SE APRUEBA EL INFORME DE AVANCE DEL PLAN DE ACCIÓN 2012- 2015, CORRESPONDIENTE AL PRIMER SEMESTRE DE LA VIGENCIA 2015, Y LOS INDICADORES MÍNIMOS DE GESTIÓN”, se envió vía correo electrónico con anticipación a los miembros del Consejo Directivo para su revisión y análisis y recuerda que el contenido de éste proyecto está basado en los dos informes que se acabaron de presentar. Por lo anterior, pregunta...¿existe alguna observación?, al no presentarse ninguna, lo somete a consideración, abre la discusión y la cierra.

El proyecto de Acuerdo “por medio del cual se aprueba el Informe de avance del plan de acción 2012- 2015, correspondiente al primer semestre de la vigencia 2015, y los indicadores mínimos de gestión”, es aprobado en forma unánime por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

10. PRESENTACIÓN Y APROBACIÓN: PROYECTO DE ACUERDO “POR MEDIO DEL CUAL SE EFECTÚA UN TRASLADO PRESUPUESTAL ENTRE LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA –CARDER., PARA LA PRESENTE VIGENCIA FISCAL”

La Presidenta le concede la palabra al Ingeniero Rubén Darío Moreno Orjuela, Jefe de la Oficina Asesora de Planeación, quien presenta el proyecto de Acuerdo “Por medio del cual se efectúa un traslado presupuestal entre los proyectos de Inversión de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda –CARDER., para la presente Vigencia Fiscal”. Anexo.

Terminada la presentación, la Presidenta pregunta...¿existe alguna observación al proyecto de Acuerdo presentado?, al no presentarse ninguna, lo somete a consideración, abre la discusión y la cierra.

El proyecto de Acuerdo "Por medio del cual se efectúa un traslado presupuestal entre los proyectos de Inversión de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda –CARDER., para la presente Vigencia Fiscal", es aprobado en forma unánime por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

11. PRESENTACIÓN DE INFORME COMISIONES AL EXTERIOR DIRECTOR GENERAL DR. JUAN MANUEL ÁLVAREZ VILLEGAS, ING. RUBÉN DARÍO MORENO ORJUELA.

La Presidenta le concede la palabra al Ingeniero Rubén Darío Moreno Orjuela, Jefe de la oficina asesora de Planeación, quien presenta el Informe ejecutivo de las comisiones al exterior realizadas por el Director General Dr. Juan Manuel Álvarez Villegas. Anexo.

Terminada la presentación, la Presidenta pregunta...¿existe alguna observación al Informe de las Comisiones del Director General, presentado? Al no presentarse ninguna, continúa con el orden del día.

12. PROPOSICIONES Y VARIOS

El Dr. Gabriel Penilla Sánchez, Director General Encargado, informa que el Dr. Juan Manuel Álvarez Villegas, Director General en propiedad, les solicita analizar la posibilidad de que le concedan un permiso remunerado para atender asuntos de carácter personal durante los días 26, 27 y 28 de agosto de 2015. El Dr. Penilla informa que ésta solicitud cuenta con el concepto jurídico.

La Presidenta somete a consideración ésta solicitud, abre la discusión y la cierra.

La solicitud del Dr. Juan Manuel Álvarez Villegas para un permiso remunerado durante los días 26, 27 y 28 de agosto de 2015, es aprobada en forma unánime por los miembros del Consejo Directivo presentes en la reunión.

El Consejero Luis Horacio Jaramillo Jaramillo solicita que las próximas reuniones sean más cortas.

La Presidenta solicita que para las próximas reuniones, se asigne un tiempo limitado para cada punto del orden del día.

Agotado el orden del día se termina la reunión ordinaria, siendo las 11:50 horas.

Para constancia se firma en la ciudad de Pereira, por quienes realizaron la labor de Presidente y Secretaria de la reunión, dando fe que los datos aquí plasmados corresponden a los temas tratados en la misma.

MARIA MERCEDES RIOS AYALA IRMA CECILIA CARDONA MARTINEZ

Presidenta (Delegada)

Secretaria

Visto .Bueno :Gabriel Antonio Penilla Sánchez

Jefe Oficina Asesora de Jurídica

Proyectó: Mónica Hurtado

Profesional Especializada

Registro de fotos





4. FACT SHEETS

PUBLISHED

- Building climate adaptation capacity in water resources planning: 'Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas'
- Forjando capacidad de adaptación al cambio climático en la gestión de recursos hídricos en la cuenca del río Otún
- Implementación del modelo WEAP para el estudio de la calidad del agua en la cuenca del río La Vieja
- Modelación del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja en Colombia
- Instrumentos de Planificación y Apoyo a Decisiones Robustas (ADR) en la Gestión del Agua en Colombia
- El desarrollo legislativo para la gestión del agua en Colombia
- Relevancia y utilidad del proceso ADR y del sistema WEAP para la formulación de Planes de ordenamiento y Planes de manejo de cuencas y ríos en Colombia (POMCAs y PORHs)
- Modelación hidrológica del recurso hídrico en la cuenca del Alto Magdalena en Colombia, "Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas"
- Visualización de datos para asistir en la comunicación de modelos complejos a los tomadores de decisiones
- Biodiversity, wetland ecosystems and flood risks: Implications of hydropower expansion on the Magdalena River

RDS – ROBUST DECISION SUPPORT

- Modelación Hidrológica del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Otún en Colombia; una herramienta de Análisis de Decisiones Robustas (ADR).
- Modelación Hidrológica del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río La Vieja en Colombia; una herramienta de Análisis de Decisiones Robustas (ADR).
- Evaluación de estrategias para el control de la contaminación hídrica en la cuenca del río La Vieja, Colombia
- Demanda Hídrica Actual y Futura en la Producción de Café usando WEAP en el Sur del Huila

ALTO MAGDALENA

- Estado de Avance del Eje del Agua y sus Líneas de Acción
- Modelación Hidrológica en la Subcuenca del Río Las Ceibas y Otros en Colombia "Ríos del Páramo al Valle, por Urbes y Campiñas"
- Modelación hidrológica del recurso hídrico en la subcuenca del Río Aipe en Colombia 'Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas'
- Modelación del Recurso Hídrico para la Extracción de Indicadores de la Evaluación Regional del Agua según IDEAM en la Subzona Hidrográfica 2110 Río Neiva en Colombia.



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

SEI STOCKHOLM
ENVIRONMENT
INSTITUTE

HOJA DE DATOS

Building climate adaptation capacity in water resources planning: 'Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas'

Localización:	Colombia, con relevancia en América Latina
Colaboradores:	Grupo de Investigación en Ecología, Ingeniería y Sociedad (EIS); Grupo de Investigación Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y Ambiente (CIDERA); Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA); Universidad Tecnológica de Pereira (UTP); Universidad del Quindío (UQ), y Universidad del Valle (UniValle); Grupo de Investigación Aguas y Aguas de Pereira
Financiado por:	U.S. Agency for International Development (USAID)
Duración:	2012-2015

Este proyecto, implementado a través de un acuerdo cooperativo de \$1.5 millones de dólares, busca apoyar el sistema de respuesta al cambio climático de Colombia fortaleciendo las capacidades de adaptación en el manejo de recursos hídricos en la zona cafetera del país y en otras áreas. El subtítulo, "Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas", refleja la atención especial dada al rol de ecosistemas vulnerables de alta montaña en el suministro de agua de la región.

El páramo, ecosistema andino encontrado entre los 3,000 y 5,000 metros sobre el nivel del mar, es donde nacen muchos de los ríos que alimentan la zona cafetera colombiana (*Eje Cafetero*), y por su crítico rol en la regulación de la frecuencia y cantidad de agua, su importancia hidrológica es cada vez más reconocida. Aguas abajo, la agricultura extendida, principalmente de cultivos de café, y el crecimiento de ciudades intermedias están demandando mayor cantidad de agua que viene de las montañas. Dado que el cambio climático modifica los patrones de precipitación y temperatura, afectando el páramo y los valles interandinos, cobra importancia que los planificadores del recurso hídrico entiendan los factores climáticos, ecológicos, económicos y sociales que están interconectados para explorar estrategias de adaptación.

Interacción con actores clave

Las *Corporaciones Autónomas Regionales* (CARs) son responsables de administrar los recursos hídricos en Colombia a través del otorgamiento de permisos de uso del agua, mitigación de la contaminación, y manejo de ecosistemas y cuencas. Su trabajo es complejo y desafiante, debe responder a situaciones cambiantes, requiere la coordinación entre múltiples actores y jurisdicciones con diversos niveles de conocimiento e influencia, operando en el ámbito gubernamental, empresarial, de los pequeños agricultores y en la alta montaña.

Con la ejecución de este proyecto, las CARs dispondrán de sistemas y herramientas para el manejo efectivo de las complejidades mencionadas, mientras se adaptan a los efectos climáticos. Lo anterior, les permitirá un manejo más efectivo e incluyente de los recursos hídricos y toma de decisiones mejor informadas sobre distribución del agua, inversión en



View of Pereira and Dosquebradas © Marisa Escobar, SEI

infraestructura y estrategias de adaptación.

Específicamente, el proyecto desarrollará aplicaciones del Sistema de Evaluación y Planeación del Agua (WEAP - *Water Evaluation and Planning System*) para las cuencas del Río La Vieja y Alto Magdalena, utilizando datos de suministro y demanda de agua, modelos de cambio climático, y aprendizajes obtenidos en la interacción con los actores. Adicionalmente, SEI trabajará en el fortalecimiento institucional y desarrollo de capacidad locales que aseguren el uso y actualización posteriores de los modelos WEAP.

Componentes del proyecto

Creación de capacidad frente al cambio climático en las CARs del Río La Vieja

SEI trabajará con las tres CARs que comparten jurisdicción sobre la cuenca del Río La Vieja: Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), apoyándose en tres centros de investigación de la región: EIS, CIDERA y CINARA (ver detalles en p.1).

SEI liderará los talleres y guiará el desarrollo de los modelos. EIS modelará la hidrología de la cuenca alta del Río Otún, el sistema de distribución de agua de la ciudad de Pereira y de aguas residuales en el



Model contextualization workshops in Armenia © Marisa Escobar, SEI

Río Consota. CINARA modelará la calidad del agua en el trayecto desde las descargas de aguas residuales de la ciudad de Pereira hasta la ciudad de Cartago, en jurisdicción de la CVC. CIDERA creará la estructura del modelo del Río La Vieja, integrando los modelos hidrológicos y de calidad del agua producidos por los otros dos centros.

Plan de Acción del Cambio Climático de Huila – Alto Magdalena

En este componente, SEI desarrollará y pondrá a disposición un grupo de herramientas para apoyar las consideraciones de oportunidades de adaptación en el manejo del agua del Plan de Acción del Cambio Climático Huila 2050. Este trabajo seguirá un proceso para facilitar la toma de decisiones sobre recursos hídricos incluyendo información climática, el cual ha sido implementado por SEI en Suramérica, especialmente en La Paz y El Alto, Bolivia.

Dicho proceso incluye dos fases: preparación e investigación. La preparación busca asegurar que todos los actores clave y responsables de decisiones participen en la formulación del problema. SEI aplicará el marco XLRM de la corporación RAND (X significa incertidumbres externas, L estrategias de gestión, R relaciones y M medidas) como apoyo a la toma de decisiones robustas para identificar incertidumbres clave, estrategias e inversiones de manejo de recursos hídricos potenciales, y medidas de desempeño para juzgar el éxito de las opciones escogidas.

Posteriormente, se construirá el modelo WEAP, incorporando todos los factores identificados en la primera fase, incluyendo los mejores datos disponibles en proyecciones de impactos de cambio climático, y variables no climáticas clave como el crecimiento de la población, uso de agua per cápita y desarrollo económico regional. Estos factores serán combinados con trayectorias de clima diferentes para producir un grupo de escenarios futuros.

La segunda fase iniciará con una serie de salidas del modelo para mostrar los resultados de cada una de las estrategias potenciales de manejo de recursos hídricos bajo cada escenario futuro. Dicho conjunto de salidas generará seguidamente una base de datos de resultados de gran tamaño con numerosas dimensiones de desempeño (i.e. satisfacción de la demanda, niveles de almacenamiento de reservorios, generación de hidroelectricidad, resultados económicos regionales).

Finalmente, los resultados se evaluarán usando medidas identificadas en la fase inicial, para encontrar opciones más robustas bajo escenarios diferentes. Como este proceso es iterativo, se espera que las CARs apropien las herramientas y continúen usando el modelo indefinidamente, apoyados por los proveedores de conocimiento involucrados.

Planeación para adaptación de la cuenca Magdalena-Cauca

Como parte del proyecto, se está construyendo un modelo WEAP para la Cuenca Magdalena-Cauca, que será mejorado para permitir una aplicación más amplia del mismo:

- **Articulación de diferentes escalas de modelos:** WEAP será actualizado para permitir que puedan correrse simultáneamente instancias múltiples del software y pasar información entre modelos dinámicamente. Esto permitiría que por ejemplo el modelo WEAP del Alto Magdalena (Huila) con alta resolución espacial y temporal, pase información y salidas a un modelo a mayor escala del Magdalena, y reciba objetivos de manejo e imposiciones de regulación de una aplicación más gruesa de WEAP para el modelo completo del sistema del Río Magdalena.
- **Funcionalidad de inundaciones:** Una nueva funcionalidad permitirá que las inundaciones en planicies de inundación se caractericen como una función de caudales a través del tiempo en la red del río, incluyendo potencialmente otras variables explicativas.
- **Límites de Alteración Hidrológica:** Se construirá un vínculo entre WEAP y el software de Indicadores de Alteración Hidrológica (*IHA* en inglés) desarrollado por The Nature Conservancy como parte de su marco analítico de Límites Ecológicos de Alteración Hidrológica (*ELOHA* en inglés).

El trabajo a escala local en La Vieja y Huila para explorar opciones de adaptación climática en el manejo de recursos hídricos informará al sistema a escala de cuenca del Magdalena-Cauca. Las mejoras a WEAP permitirán la integración y retroalimentación para comprender el efecto acumulado de acciones de adaptación tomadas localmente en la adaptación al cambio climático a escala de cuenca. La participación de actores clave en el proceso proporcionará conocimiento para continuar la identificación de decisiones adaptativas robustas bajo incertidumbre futura.

Medición del impacto del proyecto

Para el monitoreo del proyecto se utilizará el sistema interno de SEI denominado PMEC (Planeación, Monitoreo, Evaluación y Comunicación), que está basado en mapeo de alcances. PMEC comienza con la identificación de socios directos y metas, estrategias y planes de comunicación específicas para cada socio. El progreso se monitorea y evalúa regularmente contra las metas acordadas y las medidas de éxito. Adicionalmente, el proyecto será evaluado usando el sistema MONITOR de USAID/Colombia, contra dos objetivos específicos: fortalecer la gobernanza ambiental en Colombia, y mejorar la mitigación y adaptación al cambio climático en Colombia.

Publicado por:

Stockholm Environment Institute
Kräftriket 2B
106 91 Stockholm
Sweden
+46 8 6747070

sei-international.org

2013

Twitter: @SEIresearch, @SEIclimate

Contacto del proyecto en USAID:

Chris Abrams
cabrams@usaid.gov

Contacto del proyecto en SEI:

Marisa Escobar
marisa.escobar@sei-international.org

HOJA DE DATOS

Forjando capacidad de adaptación al cambio climático en la gestión de recursos hídricos en la cuenca del río Otún

Localización: Colombia. Departamento de Risaralda. Con relevancia en América Latina.

Colaboradores y Socios Directos:

Grupo de Investigación en Ecología, Ingeniería y Sociedad (EIS) - Universidad Tecnológica de Pereira; Grupo de Investigación Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y Ambiente (CIDERA) - Universidad del Quindío; Instituto de Investigación y Desarrollo de Abastecimiento de Agua, Saneamiento y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA) - Universidad del Valle; Grupo de Investigación Aguas y Aguas de Pereira (A&A); Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER); Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ); Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC); Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); Centro de Investigación en Ciencias y Recursos Geoagroambientales (CENIGAA) – Universidad Surcolombiana; The Nature Conservancy (TNC); Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Financiado por: U.S. Agency for International Development (USAID)

Duración: Julio 2012- Junio 2015

Puntos Clave:

- El proyecto identificó actores directos y usuarios indirectos a ser capacitados en la administración de recursos hídricos en la cuenca del río Otún, siendo la Corporación Autónoma de Risaralda (CARDER) el principal agente institucional en la administración de los recursos.
- Se estimó una demanda total de agua de 10.35 m³/seg: 2.35 m³/s para consumo humano, 5 m³/s para la generación de energía y 3 m³/s de caudal ambiental necesario después de la captación.
- La modelación de la cuenca constató que el ecosistema páramo aporta un flujo de agua relativamente constante y en agosto, cuando los caudales son bajos, el aporte del páramo representa hasta 60% del flujo en Nuevo Libaré.

Área de estudio – La cuenca del río Otún

La cuenca hidrográfica del río Otún localizada en el flanco occidental de la Cordillera Central de Colombia, departamento de Risaralda, tiene una extensión de 480 km² (13% del área total del Departamento), y 373.911 habitantes (41% de la población) (Mapa 1). La cuenca nace en ecosistemas estratégicos de alta montaña (páramos) de gran importancia por la fauna y flora endémicas que albergan, y por su potencial ecoturístico.

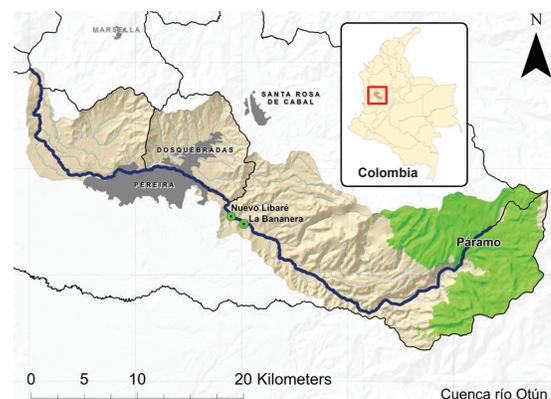
Actores que administran la cuenca

Para entender mejor el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Otún y gestionar de manera adecuada la oferta y demanda de agua se identificaron a los principales actores que toman decisiones en función de distintas demandas socioecológicas y económicas. Los actores directos y beneficiarios del proyecto son la CARDER, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira S.A. E.S.P. (Aguas y Aguas), Serviciudad S.A. E.S.P., la Empresa de Energía de Pereira S.A. E.S.P. y grupos de investigación de universidades locales. La CARDER es el principal agente institucional en la administración y asignación de concesiones con la aplicación de instrumentos legales.

Introducción

El proyecto “Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas”, iniciado en 2012, busca fortalecer la capacidad de adaptación de la sociedad al cambio climático en el manejo de recursos hídricos en las cuencas de los ríos Otún y La Vieja, las fuentes de abastecimiento más importantes de las ciudades y poblados de la región.¹

Este documento tiene como foco de estudio el río Otún, la única fuente de abastecimiento de la ciudad de Pereira y fuente alterna del municipio de Dosquebradas; identifica los actores principales de la cuenca, y explora su compleja hidrología aplicando el modelo WEAP (Sistema de Evaluación y Planeación del Agua).



Mapa 1: Área de estudio y localización de la cuenca del río Otún en el Departamento de Risaralda, Colombia.

¹ Acceda a la presentación completa del proyecto en la hoja de datos: SEI/ USAID (2013). Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’ (<http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/Air-land-water-resources/SEI-USAID-FS-2013-Colombia-Agua.pdf>)

Los usuarios indirectos son las Secretarías de Planeación de los municipios de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal, la Secretaría de Planeación de Risaralda, Aguas y Aseo de Risaralda S.A. E.S.P., el Área Metropolitana Centro Occidente y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN).

Modelación de la Cuenca

El modelo desarrollado para la cuenca hidrográfica explora los efectos del cambio climático en el ecosistema páramo, importante regulador de la frecuencia y cantidad de agua del río Otún, situado entre los 3.000 y 5.000 m.s.n.m., y con un área aproximada de 10.120 hectáreas.

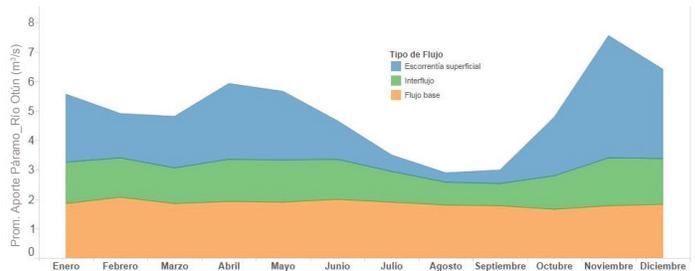
El modelo cuantificó la oferta hídrica de un área entre la zona alta (4.500 m.s.n.m.) y el punto de captación de la Empresa de Energía de Pereira (1.500 m.s.n.m.) y la demanda mensual de agua para i) consumo humano en los municipios de Pereira y Dosquebradas (2.35 m³/s) y ii) generación de energía (5 m³/s), además del caudal ambiental necesario después de la captación (3 m³/s). La suma de estas demandas (10.35 m³/seg) constituye el caudal mínimo necesario que debería ofertar la cuenca (en la captación) sin afectar a usuarios y al ecosistema acuático.

El modelo fue calibrado modificando la capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces y el factor de resistencia a la escorrentía, entre otros parámetros, obteniendo como resultado un modelo calibrado del comportamiento hidrológico.²

Las proyecciones de cambio en la cuenca

Con el modelo calibrado se indagaron incertidumbres futuras que incidan en la oferta y demanda de agua y se proyectaron potenciales respuestas hidrológicas. En la definición de escenarios futuros se seleccionaron colectivamente 5 factores de incertidumbre, 4 estrategias de adaptación y 6 medidas de desempeño, en un taller en marzo de 2013, aplicando el marco XLRM (X significa incertidumbres externas, L estrategias de gestión, R relaciones y M medidas).

Los factores de incertidumbre identificados son el cambio climático, el crecimiento poblacional, el nivel de pérdidas y cambios en el consumo per cápita y el consumo en áreas de bosque y páramo. Las 4 estrategias y opciones de adaptación delineadas son la conservación de ecosistemas estratégicos, programas de ahorro y uso eficiente de agua, definición de prioridades entre demanda y caudales ambientales, y construcción de un nuevo embalse. Se determinaron 6 medidas de desempeño: caudales de corrientes tributarias (oferta superficial), caudales aportados por el bosque y páramo, cobertura



Gráfica 1: El ecosistema páramo en la cuenca alta del río Otún aporta un flujo base de alrededor de 2 m³/s, incluso en periodos con bajos niveles de lluvia.

de caudales ambientales, comportamiento de la demanda, y coberturas de las demandas doméstica e hidroeléctrica.

El ecosistema páramo como regulador de caudal

Se evidenció que el ecosistema páramo regula caudales y almacena agua (Gráfica 1), aportando a la cuenca del río Otún un flujo relativamente constante durante el año. En agosto y septiembre aporta cerca del 60% del flujo en el punto de captación multi-propósito en Nuevo Libaré.

Pasos a seguir

En la fase final del proyecto se continuará estudiando el impacto del cambio climático y, con un enfoque prospectivo, se analizará la relación oferta-demanda en la cuenca, integrando las estrategias de gestión definidas por actores institucionales e incluyendo la automatización de las modelaciones y la visualización de resultados. De esta forma se identificarán estrategias de adaptación que proporcionen mayor resiliencia a la gestión del agua y a la sociedad en su conjunto.

Este estudio se realizó gracias al generoso apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Las opiniones expresadas en este estudio corresponden a sus autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de la USAID.

² Considerando las características hidroclimatológicas del periodo 1988 - 2012, la información cartográfica y la cobertura del suelo, el modelo calcula caudales históricos y los contrasta con datos obtenidos en la Estación La Bananera, punto de monitoreo localizado antes de la captación de la empresa de energía.

Published by:

Stockholm Environment Institute
Linnégatan 87D, Box 24218
104 51 Stockholm
Sweden
Tel: +46 8 30 80 44

Contacto del Proyecto en USAID:

Carolina Figueroa,
cfigueroa@usaid.gov

Contacto del proyecto en SEI:

Marisa Escobar,
marisa.escobar@sei-us.org

Contacto de esta hoja de datos en UTP:

Carlos Sabas, carlossabas9@gmail.com

sei-international.org

2014

Twitter: @SEIresearch, @SEIclimate



HOJA DE DATOS

Implementación del modelo WEAP para el estudio de la calidad del agua en la cuenca del río La Vieja

Localización:	Colombia. Departamentos del Quindío, Risaralda y Valle del Cauca. Con relevancia en América Latina.
Colaboradores y Socios Directos:	Grupo de Investigación en Ecología, Ingeniería y Sociedad (EIS) - Universidad Tecnológica de Pereira; Grupo de Investigación Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y Ambiente (CIDERA) - Universidad del Quindío; Instituto de Investigación y Desarrollo de Abastecimiento de Agua, Saneamiento y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA) - Universidad del Valle; Grupo de Investigación Aguas y Aguas de Pereira (A&A); Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER); Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ); Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC); Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); Centro de Investigación en Ciencias y Recursos Geoambientales (CENIGAA) – Universidad Surcolombiana; The Nature Conservancy (TNC); Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
Financiado por:	U.S. Agency for International Development (USAID)
Duración:	Julio 2012- Junio 2015

Puntos Clave:

- Se estimó que los aportes de carga contaminante a la cuenca equivalen a 15 ton/día, de las cuales 55% proviene del sector doméstico, 30% del industrial y 15% de los sectores cafetero y porcícola. Los ríos Barragán, Consota, Quindío, Espejo, Pijao y la quebrada Cristales aportan el 95% de la carga contaminante.
- En talleres efectuados en Armenia y Pereira en el mes de marzo de 2013, se identificaron 14 incertidumbres y 10 estrategias relacionadas con el manejo del agua en la cuenca del río La Vieja.
- La visualización de los escenarios de saneamiento en la cuenca apoyará la toma de decisiones frente a la variabilidad y el cambio climático, permitirá prever cómo se comportará el clima en los próximos 50 años y también conocer si los recursos hídricos serán suficientes para los usos doméstico, industrial y ecológico.



Río La Vieja, Quindío, Colombia

Área del estudio – la cuenca del río La Vieja

La cuenca del río La Vieja se localiza en el centro occidente de Colombia, forma parte de la Ecorregión del Eje Cafetero y tiene una extensión de 2.880 km² que abarcan a los departamentos Quindío (68%), Valle del Cauca (22%) y Risaralda (10%) (Figura 1). En la cuenca se cuenta con varias autoridades ambientales: CARDER, CVC y CRQ y Parques Nacionales Naturales. Políticamente están asentados 21 municipios en los cuales se realizan actividades industriales y agropecuarias.

Identificación de incertidumbres y estrategias en torno al agua en la cuenca

Para comprender la problemática asociada al manejo de recursos hídricos en la cuenca, en un proceso de análisis participativo denominado XLRM (X significa incertidumbres externas, L estrategias de gestión, R relaciones y M medidas) se identificaron incertidumbres y estrategias de adaptación que posteriormente fueron analizadas con la herramienta de planificación de recursos hídricos WEAP.

Introducción

El proyecto “Ríos del páramo al valle por urbes y campiñas”, iniciado en 2012, busca desarrollar la capacidad de adaptación de la sociedad al cambio climático en el manejo de recursos hídricos en las cuencas de los ríos Otún y La Vieja.¹ Este documento se centra en el estudio de la calidad del agua del río La Vieja, mediante la identificación de las principales fuentes de carga contaminante, el planteamiento de incertidumbres y estrategias de gestión del recurso y el análisis de los logros de la integración de dos herramientas (WEAP y QUAL2K) para el estudio de hasta 12 fuentes tributarias al cauce principal en una escala mensual.

¹ Consultar la presentación completa del proyecto en la hoja de datos: SEI/ USAID (2013). Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’ (<http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/Air-land-water-resources/SEI-USAID-FS-2013-Colombia-Agua.pdf>)

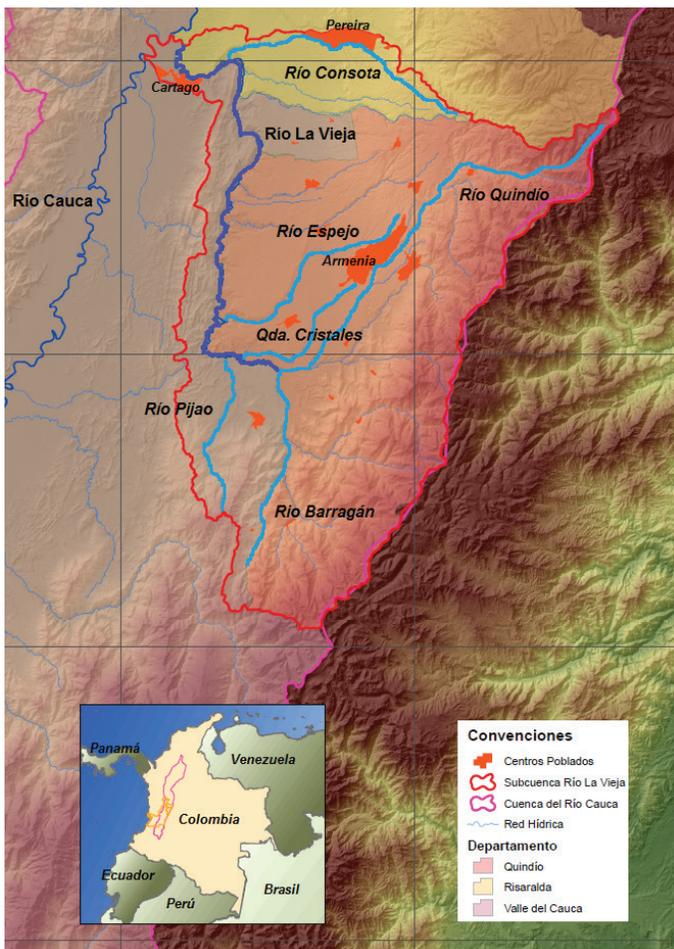


Figura 1: Localización de la cuenca del río La Vieja

El análisis XLRM efectuado en dos talleres regionales en Armenia y Pereira en marzo de 2013, con la participación de diferentes actores, identificó 14 incertidumbres y 10 estrategias referidas al manejo del agua.

Los resultados del diagnóstico XLRM fueron ajustados a cada uno de los componentes de análisis (cantidad y calidad del agua), identificando en el estudio de calidad 3 tipos de incertidumbres y 4 estrategias de prevención y control de la contaminación (Tabla 1).

En el transcurso de 2013 se construyó el modelo hidrológico de la cuenca del río La Vieja, a partir del cual se elaboró la modelación de la calidad del agua descrita a continuación.

Logros alcanzados en la modelación de la calidad del agua

Se realizó el estudio de la calidad del agua de la cuenca del río La Vieja, con base en el desarrollo metodológico hecho por las autoridades ambientales de la zona de estudio en el año 2012.² La calidad del agua se evaluó integrando las herramientas de modelación WEAP y QUAL2K, permitiendo desarrollar un análisis de tipo dendrítico (en forma ramificada) en una cuenca hidrológica y hasta 12 fuentes tributarias a un cauce principal. Adicionalmente, se ajustaron las rutinas de algunos elementos de la modelación hidrológica en WEAP (catchments o captaciones)

² Proyecto de desarrollo metodológico para el ordenamiento del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja, realizado entre la CRQ, CARDER y CVC y LA UniQuindío, UTP y CINARA-UNIVALLE entre el 2011 y 2012.

Tabla 1: Resultados del XLRM para la construcción de escenarios de calidad del agua

XLRM	TIPO / SECTOR	INCERTIDUMBRE / ESTRATEGIA
Incertidumbre (X)	Clima	Variabilidad Climática
		Cambio Climático
	Urbano	Cambio demográfico
		Consumo de agua por persona
Estrategias (L)	Agrícola	Variabilidad en la producción
	Urbano	Implementación de STAR
		Implementación de beneficio ecológico
	Cafetero	Implementación de STAR
		Porcícola

STAR: Sistema de tratamiento de agua residual.

que son los datos de entrada para la simulación de calidad con la herramienta QUAL2K.³

Estimación de cargas contaminantes por sectores productivos y priorización de tributarios

Se estimaron los aportes de carga contaminante de los principales sectores productivos de la cuenca (doméstico, industrial, cafetero y porcícola), con base a información secundaria suministrada por Autoridades Ambientales socias del proyecto, y considerando el 2011 como año de referencia. Los aportes de carga contaminante que corresponden a fuentes puntuales de vertimientos, en función de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) equivalen a 15 ton/día aproximadamente, 55% proveniente del sector doméstico, 30% del sector industrial y 15% de los sectores cafetero y porcícola (Figura 2).

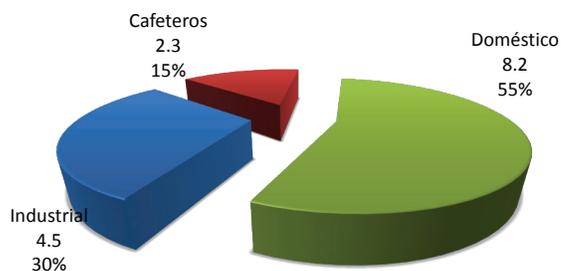


Figura 2: Carga contaminante por sectores productivos (ton DBO₅/día)

Para la selección de fuentes a ser modeladas se priorizó el aporte de carga contaminante en función de DBO₅, según los resultados del monitoreo realizado por las universidades y Corporaciones de la región en 2011. Se priorizaron 6 subcuencas que aportan el 96% de la carga contaminante vertida al río La Vieja (Tabla 2).

Las fuentes de la cuenca del río La Vieja modeladas de forma dendrítica son los ríos La Vieja, Quindío, Verde, Santo Domingo, Pijao, Espejo, Roble, Consota y Barragán y las quebradas Bue-

³ Las principales ventajas de la integración de modelos son la dinamización del QUAL2K para una escala de tiempo mensual, bondad que aporta el modelo de planificación WEAP, y la posibilidad de modificar la cinética de degradación de los contaminantes por tramo de río en el modelo QUAL2K.

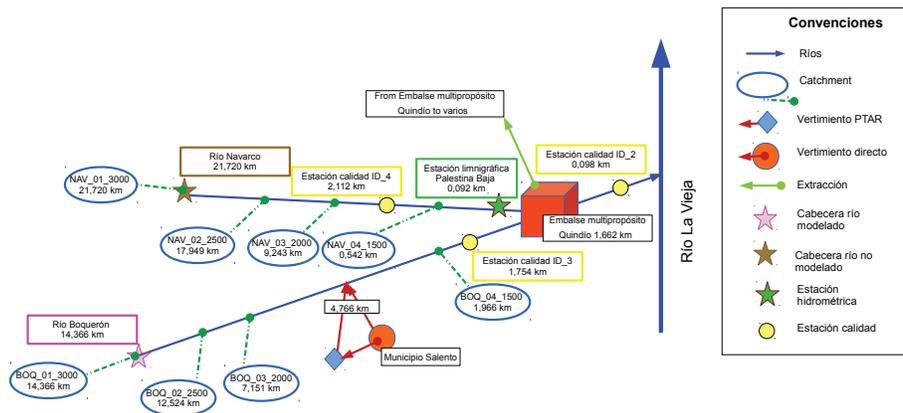


Figura 3: Esquematación del río Boquerón para la modelación de calidad del agua

Tabla 2: Priorización de tributarios por aporte de carga al río La Vieja

Fuente	Carga (ton DBO ₅ /día)	% Carga	% Carga acumulado
Río Barragán	5.3	35	35
Río Consota	5.3	30	65
Río Quindío	2.3	14	79
Río Espejo	1.3	8	88
Qda. Cristales	0.7	4	93
Río Pijao	0.5	3	96

navista, Cristales y La Picota. Se seleccionaron aquellos cauces que tenían mayor presión por demanda de agua o por vertimientos de aguas residuales municipales, industriales y agropecuarias, realizando para cada uno de ellos la esquematización que se observa en la Figura 3, correspondiente al río Boquerón.

La carga contaminante de los sectores cafeteros y porcícolas, se estimó con base en la metodología desarrollada por CVC y el Comité de cafeteros del Valle (2011), en función de la producción, consumo de agua y carga contaminante por unidad productiva. El estimado fue espacializado en el modelo WEAP, reconociendo que los aportes de cada sector se distribuyen a lo largo de la cuenca. En el caso del sector cafetero se tuvo en cuenta la variación temporal de la producción según los periodos de beneficio y cosecha, el principal en los meses de marzo, abril y mayo, y la temporada de cosecha menor o mitaca en septiembre, octubre y noviembre.

A nivel de cuenca, la carga contaminante del sector cafetero fue esquematizada a través de 20 puntos de demanda o extracción de agua para el beneficio de café,⁴ como muestra la Figura 4.

Modelación de la calidad del agua

Se evaluó en 2011 el comportamiento de la calidad del agua del río La Vieja y 12 fuentes hídricas tributarias, según los parámetros de DBO₅, Oxígeno Disuelto (OD) y Temperatura

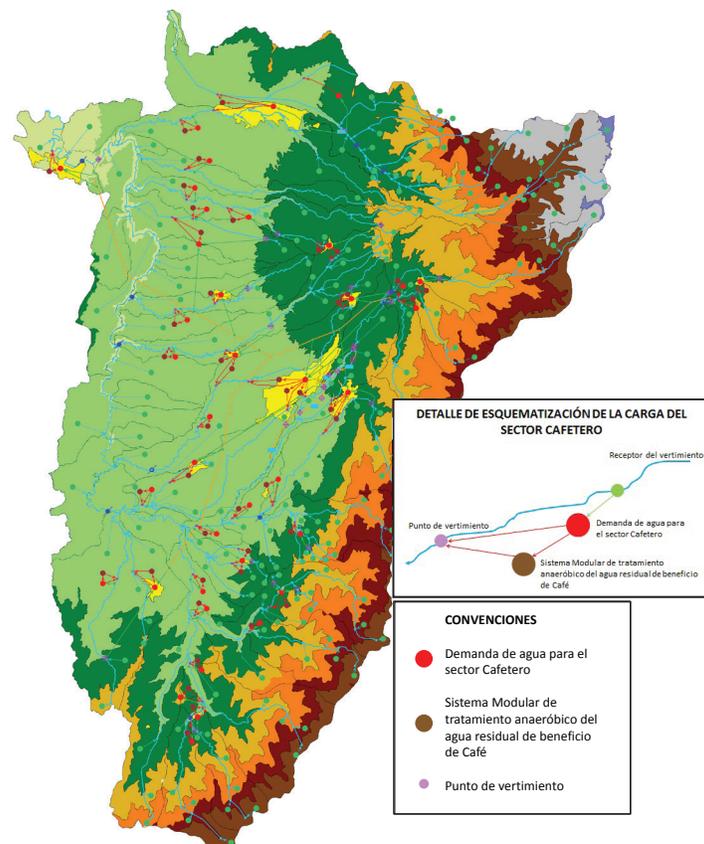


Figura 4: Localización de cargas del sector cafetero a escala de cuenca

(T). Se obtuvieron perfiles de calidad de fuentes simuladas similares a los presentados en la Figuras 5 y 6, correspondientes al cauce principal.

La salida de los modelos sugiere un comportamiento con variación espacio-temporal de la DBO₅, siendo más crítica en los periodos considerados como húmedos (marzo-mayo). Esto puede estar relacionado con el aporte de carga contaminante del sector cafetero en los periodos de cosecha principal.

La Figura 5 indica que, después del aporte del caudal tributario del río Consota, la calidad del agua del río la Vieja se deteriora. Este impacto tiene efecto en la calidad del agua de la fuente de abastecimiento para consumo humano de la ciudad de Cartago, requiriéndose potabilización.

⁴ En cada sitio hay dos flujos de retorno (vertimientos), uno sin tratamiento y otro con un sistema de tratamiento denominado SMTA con una eficiencia de remoción en DBO₅ de hasta el 80%. Sistemas de tratamiento de aguas residuales de la industria cafetera serán implementados de manera progresiva entre 2025 y 2035, pero no se alcanzará un 100% de cobertura, razón por la cual se esquematizaron vertimientos directos posteriores a la instalación de dichos sistemas.

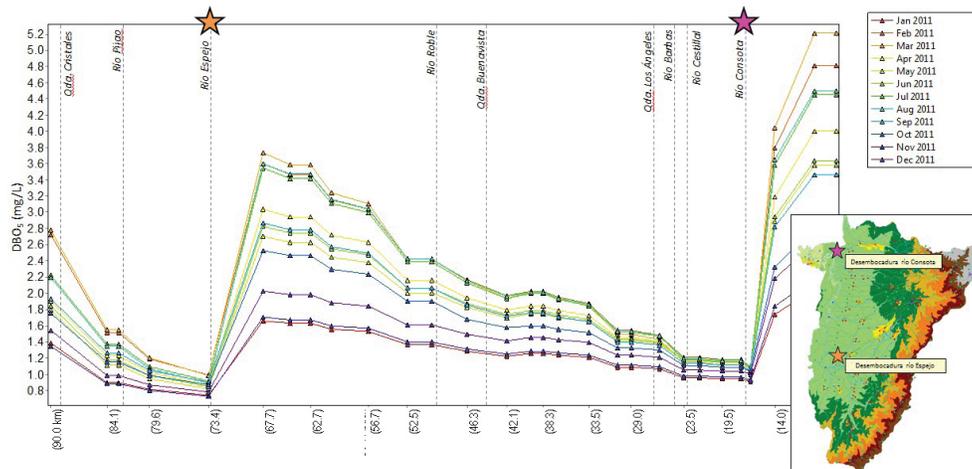


Figura 5: Salida del modelo de calidad del agua en DBO₅ (mg/L). Río La Vieja

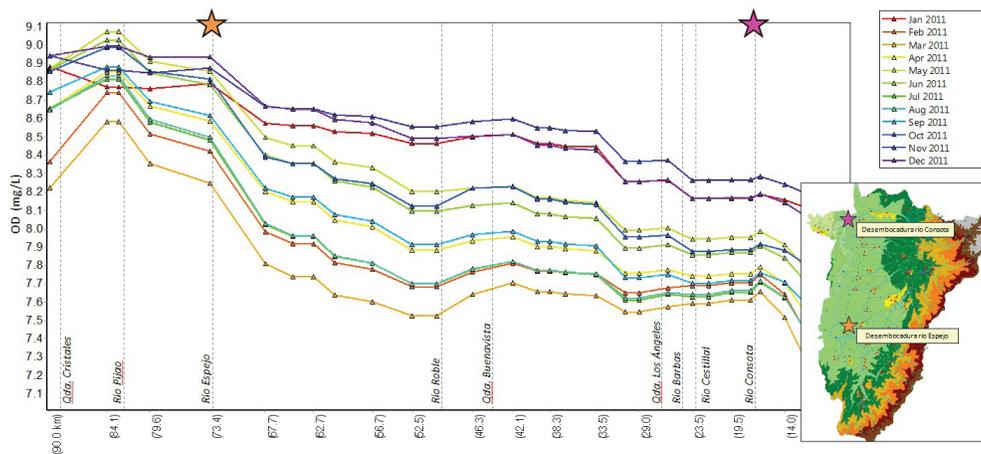


Figura 6: Salida del modelo de calidad del agua en OD (mg/L). Río La Vieja

La modelación de la calidad de agua contempló 30 escenarios de cambio climático en un horizonte de 40 años (entre 2010 y 2050), contruidos con la colaboración del Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR) de los Estados Unidos. El impacto del cambio climático en la calidad del agua está siendo analizado como parte del proyecto.

Pasos a seguir

Los escenarios de saneamiento en la cuenca del río La Vieja fueron programados en el modelo WEAP y visualizados con el uso de software Tableau. Estos escenarios apoyarán a las instituciones en la toma de decisiones frente a los efectos del cambio climático, y les permitirán internalizar la información y aplicar las herramientas generadas en sus procesos de planeación.

Este estudio se realizó gracias al generoso apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Las opiniones expresadas en este estudio corresponden a sus autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de la USAID.

Published by:

Stockholm Environment Institute
Linnégatan 87D, Box 24218
104 51 Stockholm
Sweden
Tel: +46 8 30 80 44

Contacto del Proyecto en USAID:

Carolina Figueroa,
cfigueroa@usaid.gov

Contacto del proyecto en SEI:

Marisa Escobar,
marisa.escobar@sei-us.org

Contacto de esta hoja de datos:

María Fernanda Jaramillo,
maria.f.jaramillo@correounivalle.edu.co

sei-international.org

2014

Twitter: @SEIresearch, @SEIclimate



HOJA DE DATOS

Modelación del recurso hídrico en la cuenca del río La Vieja en Colombia

Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas

Localización: Colombia. Departamentos del Quindío, Risaralda y Valle del Cauca. Con relevancia en América Latina.

Colaboradores y Socios Directos:

Colaboradores y Socios Directos: Grupo de Investigación en Ecología, Ingeniería y Sociedad (EIS) - Universidad Tecnológica de Pereira; Grupo de Investigación Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y Ambiente (CIDERA) - Universidad del Quindío; Instituto de Investigación y Desarrollo de Abastecimiento de Agua, Saneamiento y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA) - Universidad del Valle; Grupo de Investigación Aguas y Aguas de Pereira (A&A); Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER); Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ); Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC); Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); Centro de Investigación en Ciencias y Recursos Geoagroambientales (CENIGAA) – Universidad Surcolombiana; The Nature Conservancy (TNC); Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Financiado por: U.S. Agency for International Development (USAID)

Duración: Julio 2012- Junio 2015

Puntos Clave:

- Aplicando la herramienta WEAP, se modelaron 37 corrientes hídricas tributarias directas e indirectas del cauce principal en la cuenca del río La Vieja, considerando 16 demandas de agua para consumo humano, 4 demandas para generación hidroeléctrica sobre el río Quindío, además de las demandas agrícolas y cafeteras en zonas de captación.
- Se construyó un modelo hidrológico de la cuenca del río La Vieja utilizado para determinar incertidumbres y formular estrategias de adaptación al cambio climático. Se planteó un total de 1728 escenarios a ser ejecutados mediante una rutina de programación computacional. En la modelación hidrológica se utilizó el método lluvia-escurrentía de la humedad del suelo.

Introducción

La modelación hidrológica de la cuenca del río La Vieja se desarrolla en el marco del proyecto “Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’” iniciado en 2012,¹ con el objetivo fortalecer la capacidad de adaptación de la sociedad al cambio climático en el manejo de recursos hídricos en las cuencas de los ríos Otún y La Vieja. Este documento describe los detalles de la modelación de la cuenca; explica cómo se aplicó la herramienta WEAP para modelar la cuenca a escala de subcuencas, y demuestra por qué la visualización de la modelación permitirá a los actores locales administrar mejor los recursos hídricos y tomar decisiones informadas en varios escenarios posibles.

¹ Para una presentación del proyecto completo, consultar la hoja de datos: SEI/USAID (2013). Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’ (<http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/Air-land-water-resources/SEI-USAID-FS-2013-Colombia-Agua.pdf>)

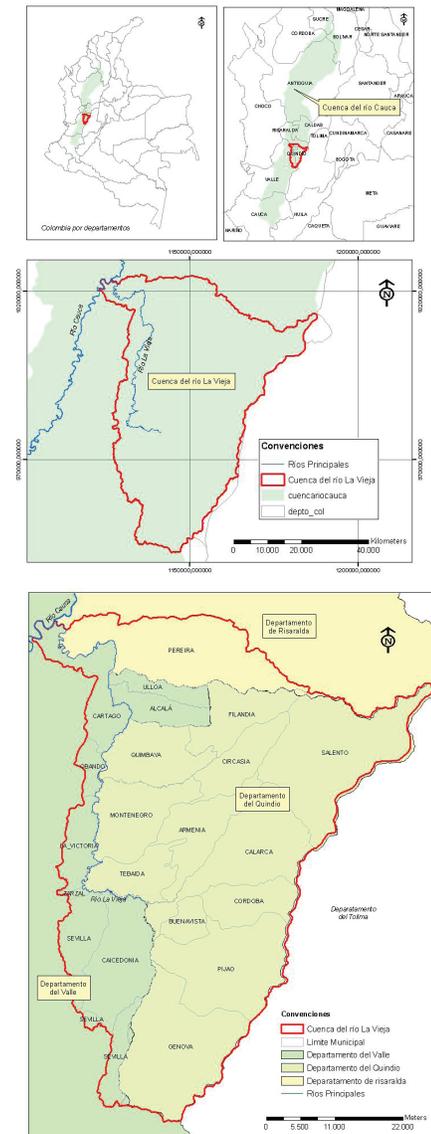


Figura 1: Localización geográfica de la cuenca del río La Vieja

Área del estudio: La cuenca del río La Vieja

La cuenca hidrográfica del río La Vieja se encuentra ubicada en el centro occidente colombiano, en las coordenadas 4° 04' y 4° 49' de Latitud Norte y 75° 24' y 75° 57' de Longitud Oeste; forma parte de la eco-región del Eje Cafetero, y tiene un área aproximada de 2.880 km² que abarca a los departamentos Quindío (68%), Valle del Cauca (22%) y Risaralda (10%), razón por la cual es administrada por una comisión conjunta integrada por las autoridades ambientales de los tres departamentos (CRQ, CVC, CARDER). (Figura 1)

La cuenca del río La Vieja nace de la confluencia de los ríos Quindío y Barragán y es uno de los principales tributarios de la vertiente del río Cauca en Colombia, con 360 km de drenajes de primer orden que desembocan al cauce principal, con un rendimiento hídrico general de 34.34 l/s/km² y una oferta hídrica de 2.975,74 Mm³/año (CRQ et al, 2007).

La representación de la cuenca en WEAP

Con la aplicación local del modelo WEAP (Sistema de Evaluación y Planeación del Agua), una herramienta que permite modelar la hidrología y la gestión del recurso hídrico en varios escenarios posibles, se realizó la modelación hidrológica de la cuenca del río La Vieja y Otún incluyendo análisis de:

- Oferta y demanda de las principales cabeceras municipales
- Caudal ecológico de las aguas abajo de las diferentes captaciones
- Demandas de 4 pequeñas centrales hidroeléctricas sobre el cauce principal del río Quindío
- Caudal en la desembocadura en el río Cauca, punto de cierre de la cuenca

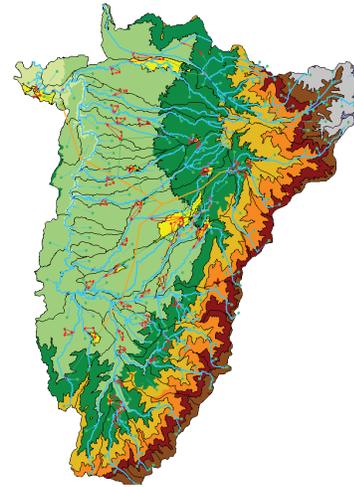
Con este modelo se busca generar y evaluar escenarios futuros asociados a la variabilidad climática, y adoptar estrategias de adaptación al cambio climático (proyectados al año 2050) a escala mensual. Se utilizó información hidroclimatológica suministrada por instituciones de carácter nacional y regional, tales como el IDEAM, CENICAFE, CRQ, CVC, CARDER.

La construcción del modelo

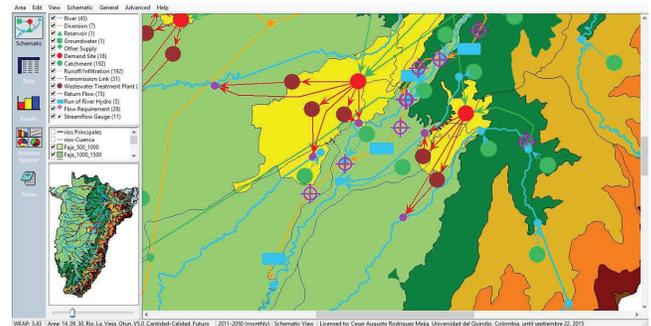
La cuenca del río La Vieja fue modelada con WEAP a escala de subcuencas y éstas, a su vez, por bandas de elevación (cada 500 metros). Se modelaron 37 corrientes hídricas tributarias directas e indirectas del cauce principal, se consideraron 16 demandas de agua para consumo humano en los principales centros poblados asentados en la cuenca y 4 demandas para generación hidroeléctrica sobre el río Quindío (Figura 2, a, b). En la modelación hidrológica se aplicó el método lluvia-escorrentía de la humedad del suelo en WEAP (Figura 2, c), un modelo cuasi-físico unidimensional que concibe la matriz de suelo como dos baldes que representan los diferentes fenómenos hidrológicos de la cuenca.

Ajuste de los parámetros del modelo

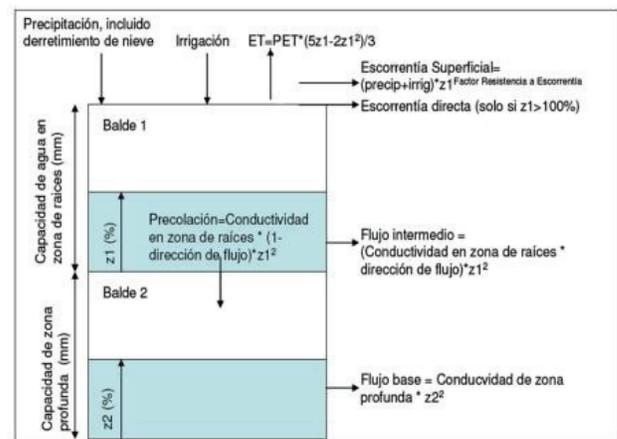
Los modelos son potentes herramientas de análisis y de predicción de fenómenos, pero constituyen simulaciones de hechos reales; por tanto, el proceso de calibración es una etapa importante en el desarrollo de la simulación porque permite una mejor representación de la dinámica de la cuenca.



a. Esquema modelo hidrológico WEAP



b. Generación hidroeléctrica (Rectángulo azul)



c. Modelo hidrológico de la humedad del suelo

Figura 2: Modelo hidrológico en WEAP cuenca del río La Vieja.

Con la calibración se busca determinar un set de parámetros hidrológicos y operacionales a fin obtener una representación de caudales y operaciones de obras de infraestructura que se asemejen a los datos históricos. El modelo fue evaluado con dos de las métricas estadísticas más usadas, el índice de Nash Sutcliffe -que determina la magnitud relativa de la varianza residual (“ruido”) en comparación con la variación de datos de medición (“información”) -, y el BIAS -que calcula el sesgo entre datos simulados y observados.

Se obtuvo un set de parámetros referidos a la respuesta hidrológica del suelo en zonas de captación (Figura 2c, Tabla 2), los cuales permiten una buena correlación entre los caudales

Tabla 2: Set de parámetros de calibración modelo WEAP La Vieja* Se aplica de manera general en toda la cuenca.

Cobertura	Kc	RRF		Ks		f	Sw	Dw*	Deep Cond.*	Z1	Z2*	Umbral P Efec.*
		Max.	Min.	Max.	Min.							
Glaciares	1,00	3,00	5,00	100,00	90,00	0,80	400,00			30,00		
Agrícola	0,95	3,50	6,00	150,00	90,00	0,50	600,00			30,00		
Bosque	1,10	4,00	6,50	190,00	110,00	0,30	800,00			30,00		
café	0,93	3,50	6,00	150,00	90,00	0,60	600,00			30,00		
Paramo	0,85	4,00	6,00	180,00	110,00	0,40	750,00	800,00	80,00	30,00	30,00	140,00
Zonas Urbanas	0,71	3,30	4,50	125,00	80,00	0,70	400,00			30,00		
Pastos	0,80	3,50	5,50	130,00	100,00	0,65	500,00			30,00		
Cuerpos de agua	1,00	3,50	4,50	140,00	100,00	0,50	700,00			30,00		
Suelos desnudos	0,75	3,30	4,50	130,00	75,00	0,70	300,00			30,00		

simulados y observados en las estaciones analizadas. Los índices estadísticos de Nash=0,78 y BIAS=2,88 en la estación Cartago del Río La Vieja evidencian dicha correlación.

El proceso de calibración ayuda a formular la mejor respuesta hidrológica de la cuenca. Así, los principales parámetros que permiten el aumento de la respuesta de caudales pico son el factor de resistencia a la escorrentía (RRF) y la conductividad hidráulica en la zona de raíces (Ks). Por otro lado, si se quiere afectar los caudales base se deben ajustar la dirección del flujo (f) y la conductividad hidráulica en la zona profunda (Kd); al aumentar este factor aumenta la conductividad en la zona profunda y, por lo tanto, la descarga de perfiles profundos, y como consecuencia aumentan los caudales base. De igual manera, si se aumenta la capacidad hidráulica del perfil superior (Sw), se logra un mayor flujo sub superficial, y por lo tanto un aumento de caudales máximos. Igualmente, si se regula la transmisión de flujos del caudal base se podrá ajustar la capacidad de retención de humedad en el perfil profundo (Dw) (Tabla 2).

La calibración del río La Vieja busca principalmente ajustar caudales picos y base, por lo que los parámetros más relevantes son el RRF y la Ks (mayor sensibilidad a la respuesta de caudales). En este estudio específico, la Tabla 2 muestra que el RRF varía en un rango de 3,00 a 6,50, lo que representa un RRF medio (entre 0,1 y 10). Por otro lado, la Ks varía en un rango de 90mm a 180mm, valores altos que indican mayor infiltración y menor escorrentía superficial, siendo este uno de los parámetros más influyentes en el ajuste de los caudales.

El continuo ajuste del modelo

Durante el proceso de calibración se analizó la estación de medición de caudales denominada bocatoma EPA, una de las principales fuentes de información para la toma de decisiones sobre esta corriente hídrica superficial localizada en la subcuenca del río Quindío, administrada por la CRQ .

En esta estación no se obtuvieron buenas correlaciones entre las curvas medida y simulada, presuntamente porque no han sido incluidas en el modelo demandas representativas de agua en la parte alta de la cuenca del río Quindío, por la interacción entre el río y una pequeña área glacial en la parte alta de la cuenca, o por posibles errores en la captura, registro y procesamiento de datos en la estación.

A fin de lograr un mejor ajuste en este punto de la cuenca, se plantea la hipótesis de que exista una interacción entre el río y el sistema acuifero denominado Glacis del Quindío; el río podría estar aportando caudal al acuifero (río perdedor), reduciendo de esta forma su oferta hídrica superficial. Cabe resaltar que dicha interacción no ha sido estudiada por ningún ente regional hasta el momento, y por lo tanto se deja formulada esta hipótesis en este proyecto a la espera de que en el futuro se desarrollen otros estudios hidrogeológicos más detallados que puedan confirmarla.

Tabla 3: Incertidumbres y estrategias definidas en la cuenca río La Vieja mediante WEAP

Incertidumbres (X)	Estrategias (L)
Clima (6 Escenarios)*	Plantas de tratamiento de agua residual
Cambio demográfico (4 Escenarios)*	Reducción de agua no facturada
Consumo per cápita (3 Escenarios)*	Caudal ecológico (ambiental)
Reducción de pérdidas (2 Escenarios)*	Construcción de embalse multipropósito
Dinámicas agrícolas (3 Escenarios)*	Según proyecciones del sector agrícola

* incluye el escenario base sin implementación de estrategias

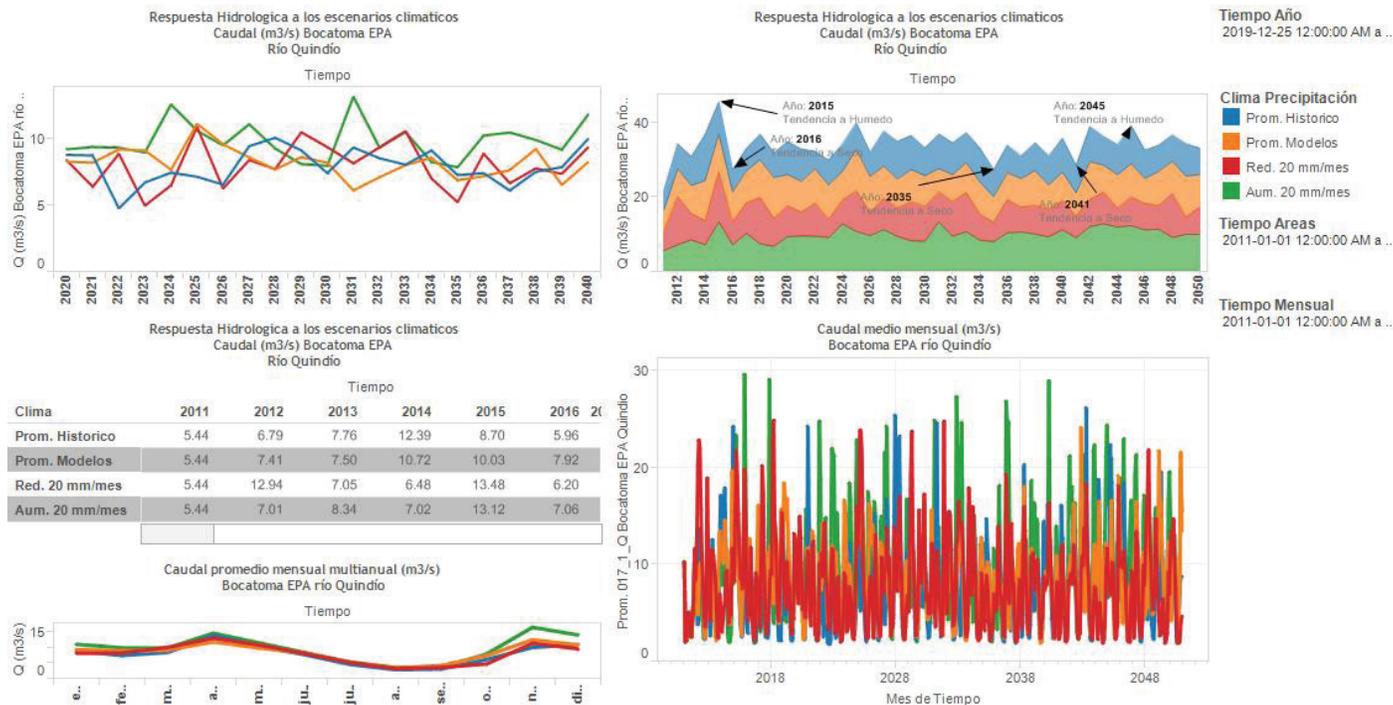


Figura 4. Visualización de resultados bajo escenarios de cambio climático

o descartarla. En este estudio específico se espera calcular porcentajes aproximados de agua que se infiltra al acuífero.

Análisis de Decisiones Robustas (ADR)

Una vez construido y calibrado, el modelo hidrológico de la cuenca del río La Vieja fue utilizado para determinar incertidumbres y formular estrategias de adaptación al cambio climático con la metodología analítica del XLRM desarrollada por la corporación RAND. En un taller realizado en marzo de 2013, con la participación de diferentes sectores de las ciudades de Armenia y Pereira, se definió el contexto de modelación que permite la evaluación de escenarios futuros y que se describe a continuación (Tabla 3).

Se planteó un total de 1.728 escenarios a ser ejecutados mediante una rutina de programación computacional, la cual automatizará el modelo y agilizará su ejecución. Los resultados podrán ser evaluados por los tomadores de decisión mediante herramientas de visualización como Tableau (Figura 4) que permiten comparar los efectos de diferentes opciones y sugerir las medidas más adecuadas en la planificación y gestión del recurso hídrico en el contexto del cambio climático.

Conclusiones

La modelación de los sistemas de recursos hídricos de la cuenca del río La Vieja, desarrollado en WEAP, es una herramienta de gestión y planificación que ayuda a comprender mejor el funcionamiento del sistema hídrico y los efectos del cambio

Este estudio se realizó gracias al generoso apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Las opiniones expresadas en este estudio corresponden a sus autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de la USAID.

climático en general, y que apoya a las Corporaciones Autónomas Regionales (CRQ, CARDER, CVC) en el análisis de oferta y demanda hídrica a escala temporal y espacial.

Published by:

Stockholm Environment Institute
Linnégatan 87D, Box 24218
104 51 Stockholm
Sweden
Tel: +46 8 30 80 44

Contacto del Proyecto en USAID:

Carolina Figueroa,
cfigueroa@usaid.gov

Contacto del proyecto en SEI:

Marisa Escobar,
marisa.escobar@sei-us.org

Contacto de esta hoja de datos:

Gabriel Lozano Sandoval,
galozano@uniquindio.edu.co

sei-international.org
2014

Twitter: @SEIresearch, @SEIclimate



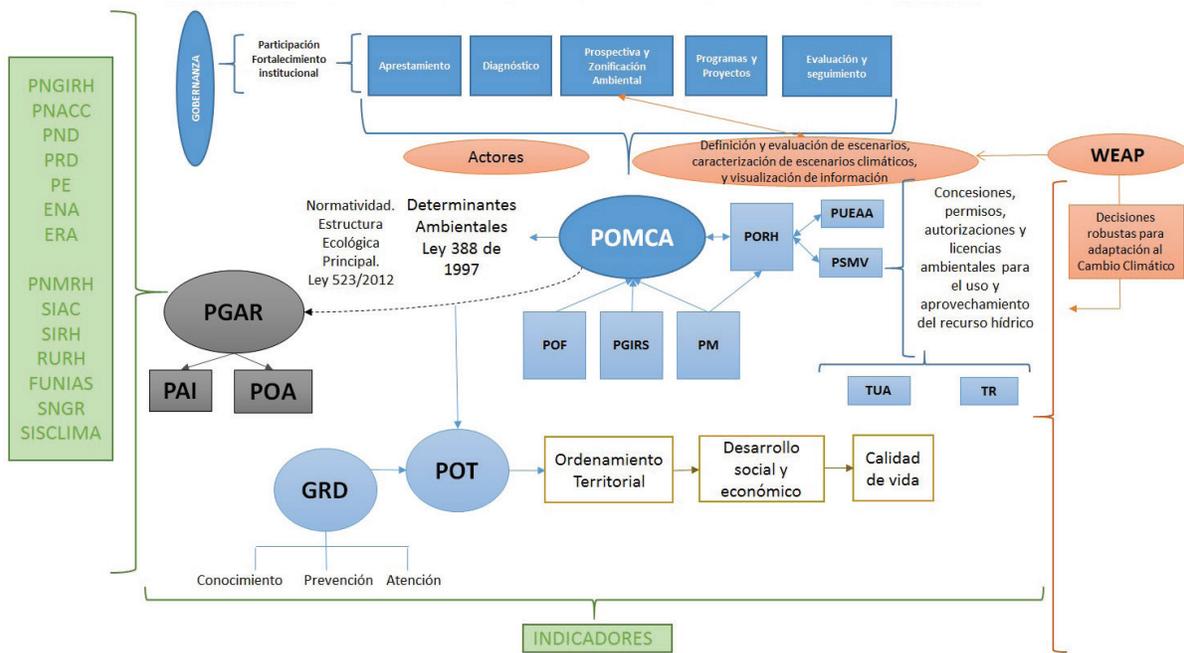
RESUMEN DE DISCUSIÓN

Instrumentos de Planificación y Apoyo a Decisiones Robustas (ADR) en la Gestión del Agua en Colombia

Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas

Puntos claves:

- Existen muchas instituciones, planes y procesos de planificación que intervienen en la gestión del agua en Colombia, desde el nivel nacional con el IDEAM y la PNGIRH, hasta al nivel regional con los planes operativos de las CARs.
- Las CARs administran el medio ambiente y los recursos naturales dentro del área de su jurisdicción con el uso de diferentes instrumentos y planes operativos articulados por el Proceso de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCA).
- Los principales obstáculos de la Gestión Integral de Recurso Hídrico (GIRH) identificados por la PNGIRH son el insuficiente conocimiento del recurso hídrico en términos de oferta, demanda, calidad, riesgos, y la reducida información referida a gobernabilidad, planeación y normatividad que apoye la toma de decisiones.
- En ese contexto, la sólida base de datos numéricos y gráficos confeccionada durante el proceso de planificación ADR, que también se describe en este documento, será de gran utilidad para las autoridades ambientales regionales al momento de priorizar las decisiones más robustas y las estrategias de adaptación al cambio climático más pertinentes.



- | | | |
|--|---|---|
| <p>ENA Estudio Nacional del Agua</p> <p>ERA Evaluaciones Regionales del Agua</p> <p>FUNIAS Formulario Único Nacional de Inventario de Aguas Subterráneas</p> <p>GRD Gestión del Riesgo de Desastres</p> <p>PAI Plan de Acción Institucional</p> <p>PE Planes estratégicos de Macrocuencas</p> <p>PGAR Plan de Gestión Ambiental Regional</p> <p>PM Plan de Manejo de humedales, páramos, áreas protegidas, zonas secas, manglares, sistemas acuíferos, aguas marinas y costeras.</p> <p>PNACC Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático</p> <p>PND Plan Nacional de Desarrollo</p> | <p>PNGIRH Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico</p> <p>PGIRS Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos</p> <p>PNMRH Programa Nacional Monitoreo del Recurso Hídrico</p> <p>POA Plan Operativo Anual</p> <p>POF Plan de Ordenación Forestal</p> <p>POMCA Planes de Manejo y ordenación de Cuencas</p> <p>PORH Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico</p> <p>POT Plan de Ordenamiento Territorial</p> <p>PRD Política Nacional de Gestión del riesgo de desastres</p> | <p>PSMV Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos</p> <p>PUEAA Programa Uso Eficiente y Ahorro del Agua</p> <p>RURH Registro de Usuarios del Recurso Hídrico</p> <p>SIAC Sistema de Información Ambiental de Colombia</p> <p>SISCLIMA Sistema Nacional de Cambio Climático</p> <p>SIRH Sistema de Información del Recurso Hídrico</p> <p>SNGR Sistema Nacional Gestión del Riesgo de Desastres.</p> <p>TR Tasa Retributiva</p> <p>TUA Tasa por Uso del Agua</p> |
|--|---|---|

Figura 1: Instrumentos de Planeación en Colombia y etapas del proceso de ADR para apoyar en la toma de decisiones robustas sobre recursos hídricos y adaptación al cambio climático.

generales, la participación apunta a consolidar la construcción colectiva de los POMCA. Esto busca el fortalecimiento institucional, tal como orienta la PNGIRH con la aplicación del concepto de gobernanza.

El Decreto 1640 de 2012 estableció la nueva estructura de planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas del país, la cual clarifica los procedimientos de gestión por parte de las autoridades ambientales competentes y las diferentes entidades y actores responsables. Según el artículo 8 de la norma, las autoridades ambientales son responsables de las Evaluaciones Regionales del Agua a partir del análisis integrado de la oferta, demanda, calidad y evaluación de los riesgos asociados al recurso hídrico en su jurisdicción, teniendo como base las subzonas hidrográficas.

Ventajas o la necesidad de nuevas herramientas como WEAP

Según la PNGIRH, los principales obstáculos de la Gestión Integral de Recurso Hídrico (GIRH) en las regiones son el insuficiente conocimiento del recurso hídrico en términos de oferta, demanda, calidad, riesgos, y la reducida información respecto a gobernabilidad, planeación, administración, seguimiento, monitoreo y normatividad que apoye la toma de decisiones.

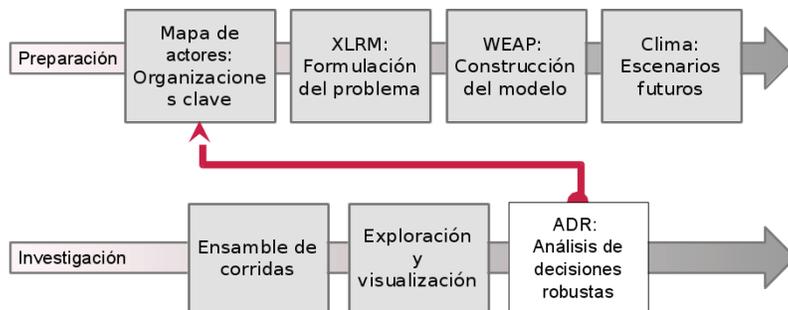


Figura 2: Etapas del proceso de apoyo a la toma de decisiones robustas (ADR).

- 1. Mapa de los actores:** Identificando actores representativos se puede mapear quiénes son los directamente involucrados en la toma de decisiones y los usuarios indirectos que podrían ser afectados por dichas decisiones.
- 2. Formular la problemática:** Aplicando el marco XLRM, los actores definen colectivamente las incertidumbres futuras que enfrenta la gestión de recursos hídricos (X); las estrategias de manejo disponibles a fin de reducir la vulnerabilidad asociada con incertidumbres (L), y las medidas o métricas disponibles (M) para evaluar el desempeño potencial de las estrategias propuestas frente a los escenarios futuros utilizando modelos (R).
- 3. Construcción del modelo:** Empleando la herramienta WEAP, se desarrolla una modelación hidroclimatológica que analiza las demandas de agua para uso humano, industrial y ecológico frente a la capacidad de abastecimiento, tomando en cuenta fuentes superficiales y subterráneas, información climática y análisis del suelo.

Para la evaluación de subzonas hidrográficas se requieren unidades de análisis hídrico espacial y temporal de mayor resolución que las utilizadas en los estudios nacionales del agua, y también un abordaje conceptual y metodológico apropiado para el seguimiento y la toma de decisiones en el nivel regional y local, coherente con los procesos y desarrollos del nivel nacional, y a la vez pertinente y acorde a las especificidades regionales.

De ahí que, para generar información pertinente, suficiente y confiable que apoye el proceso de planeación, el SEI ha propuesto el uso de la herramienta gratuita WEAP –que permite representar las condiciones actuales del agua en la cuenca de estudio y al mismo tiempo explorar una amplia gama de opciones de suministro, demanda y calidad en distintos escenarios, incluyendo el cambio climático–, y la aplicación del marco XLRM (X significa incertidumbres externas, L estrategias de gestión, R relaciones y M medidas o indicadores).

WEAP y XLRM han permitido conocer con rigor conceptual y metodológico el comportamiento espacial, temporal y el estado del agua en términos de oferta, disponibilidad, calidad, uso, demanda, amenazas y vulnerabilidad, considerando, además, incertidumbres asociadas a la variabilidad climática, actividades humanas actuales y proyectadas, la dinámica poblacional y socioeconómica y el uso del suelo. Con esos insumos, en talleres participativos se delinearon los posibles escenarios futuros.

WEAP ha demostrado ser una excelente herramienta al momento de integrar escenarios de cambio climático a la gestión de recursos hídricos superficiales y subterráneos, y ha sido aplicada en un proceso de siete etapas denominado Apoyo a las Decisiones Robustas (ADR), cuatro en una fase de preparación y tres en la fase de ejecución (Figura 2).

- 4. Delinear escenarios y proyecciones del cambio climático:** Utilizando bases de datos y herramientas de procesamiento se realizan proyecciones para la región en base a proyecciones de Modelos del de Circulación Global (MCG), Modelos de Circulación Regional (MCR) y otros escenarios.
- 5. Serie de modelaciones:** Desarrollando una rutina de programación computacional, se generan entre 100 y 1000 escenarios de cambio, incluido el climático, tomando en cuenta varias combinaciones de incertidumbres posibles e impactos en la población, etc.
- 6. Visualización:** Explorando las potencialidades y limitaciones del sistema mediante visualizaciones dinámicas, permite consolidar la base de datos de los resultados del modelo de forma visual.
- 7. Decisiones robustas:** Identificando las opciones en cada uno de los escenarios proyectados y priorizando las decisiones más robustas se identifican opciones que mejoren el desempeño del sistema en las dimensiones definidas.



Estación de monitoreo en las cuenca alta del Otún, administrada por Aguas y Aguas de Pereira en colaboración con UTP.

Conclusiones

Son muchos los sistemas, planes e instituciones que inciden en el manejo de los recursos hídricos en Colombia desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible hasta las entidades regionales. En el plano nacional, el IDEAM es la autoridad científica máxima en hidrología y meteorología, rectora del Sistema de Información Ambiental y principal fuente de información de la PNGIRH.

En el plano regional, las CARs administran el medio ambiente y los recursos naturales renovables dentro del área de su jurisdicción con el uso de diferentes instrumentos y planes operativos, entre ellos los planes PGAR, PAI, PORH, PM, POF y PGIRS, cuyo eje articulador son los POMCA.

Las autoridades locales son responsables de las Evaluaciones Regionales del Agua a partir del análisis integrado de la oferta, demanda, calidad y evaluación de los riesgos asociados al recurso hídrico en su jurisdicción, teniendo como base las subzonas hidrográficas.

En ese contexto, el proceso de planificación ADR con la herramienta WEAP y el modelo XLRM se constituye en un soporte fundamental para la gestión integral del agua en los escenarios futuros proyectados por la PNGIRH, y también en un instrumento clave para la construcción colectiva del conocimiento con la participación de actores representativos en la gestión de recursos de cada subzona hidrográfica.

La información generada en el proceso ADR reducirá y/o evitará conflictos, permitirá aplicar de forma más eficiente los diferentes instrumentos de planeación, evitará fuertes gastos futuros en tareas de planificación, seguimiento y control, y sobre todo facilitará la toma de decisiones más coherentes y pertinentes en los planos nacional y local, fortaleciendo de esta manera la planificación integral de acciones y estrategias de adaptación al cambio climático.

Referencias

- Álvarez, C.M. (2012). El ordenamiento del agua. Revista Técnica - IDEAM, 1 (1). 9 - 16.
- Espinoza, O.M. (2002). Comentarios para una crítica a los planes de ordenamiento territorial en Colombia. Inventario para una discusión desde las municipalidades. Territorios, 8. 127-166.
- Garza, N. (2009). Dilema económico-ambiental del urbanismo en ciudades latinoamericanas. Investigación y Desarrollo, 17 (2). 288-327.

Este estudio se realizó gracias al generoso apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Las opiniones expresadas en este estudio corresponden a sus autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de la USAID.

- Gómez, D., Salas, A., y Suárez, C. (2007). Itinerario y énfasis del ordenamiento territorial en Colombia. Reflexiones al cumplir la Ley de Desarrollo Territorial, Ley 388 de 1997, una década de vigencia. Facultades de Ciencia Política y Gobierno y de Relaciones Internacionales, Centro de Estudios Políticos e Internacionales - CEPI. Bogotá: Editorial del Rosario. Documento de Investigación, 26. 46 p.
- González, H. (2004). La planificación y gestión del desarrollo territorial en municipios con dificultades de gobernabilidad. Revista Opera, 4 (4). 37-70.
- Hernández, A. (2009). Calidad de vida y medio ambiente urbano. Indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. Revista Invi, 65 (24). 79-111.
- Jabareen, Y. (2013). Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk. Cities, 31. 220-229.
- Muñoz, O.H., y Holguín, M. (2001). El papel de los municipios colombianos en la planeación y gestión del desarrollo local: sus fundamentos teórico-conceptuales. Universidad de Nariño. Revista Tendencias, II (2). 115-147.
- Parraguez, L., Rodríguez, G., y Santander, M. (2006). ¿Cómo se piensa la ciudad? Análisis crítico de un siglo de gestión y planificación urbana. Revista Eure, XXXII (96). 135-140.
- Salinas, A.A., y Paz, O. (2011). Aplicación del Modelo de Planificación Hídrica de Cuenclas WEAP al Proyecto: Aducción de Recursos Hídricos Mururata. Rev. Tec. Inv. Doc., 6 (6). 27-38.
- Suárez, J., Muñoz, H., Orozco, S., Sánchez, G., Ritter, W., Carreón, M.F., Muñoz, M.L., Triviño, J.M. (2009). Disponibilidad de agua y el cambio climático global en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. Gestión Ambiental, 18. 49-61.
- WEAP, User Guide for Weap21, (2005).

Published by:

Stockholm Environment Institute
Linnégatan 87D, Box 24218
104 51 Stockholm
Sweden
Tel: +46 8 30 80 44

Contacto del Proyecto en USAID:

Carolina Figueroa,
cfigueroa@usaid.gov

Contacto del proyecto en SEI:

Marisa Escobar,
marisa.escobar@sei-us.org

Contacto de este Documento de

Discusión: Jose Alberto Riascos
jose-alberto.riascos@cvc.gov.co
Abelino de Jesús Arias - abarias@carder.gov.co
Angélica Moncada - amoncada@carder.gov.co

Colaboradores: Lina Marcela Alarcon (CRQ),
Patricia Rojas (CRQ), Paola Janeth Patiño (CVC),
Amparo Duque (CVC)

sei-international.org

2014

Twitter: @SEIresearch, @SEIclimate

RESUMEN DE DISCUSIÓN

El desarrollo legislativo para la gestión del agua en Colombia

Leyes, actores, y desafíos

Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas

Historia y fases de la gestión del agua en Colombia

Desde la colonia, Colombia ha promovido la protección de los recursos hídricos convirtiéndose en pionero en conservación de recursos naturales. Al mismo tiempo, el país ha priorizado los usos productivos de sus recursos por encima de la necesidad de preservarlos, quizá porque es una nación rica en agua. Esta sensación de abundancia explicaría en parte la escasa atención al tema de gestión de recursos hídricos.

En el Siglo XIX, Simón Bolívar ordenó construir fábricas fuera de centros poblados para no contaminar las aguas y, priorizando la salud pública, dispuso el cuidado de bosques y ciénagas (Artículo 52). La Ley 113 de 1928 reglamentó por primera vez la gestión del agua, el aprovechamiento de acueductos y la generación de energía, y en 1936 se dictó la primera norma para preservar el recurso hídrico: la Ley 200 que prohibió talar bosques.

El Fondo Nacional Rotatorio de Irrigación y Deseccación (Ley 204 en 1939) y la División de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura en 1952 priorizaron obras de infraestructura y la extracción de recursos naturales sin criterios de conservación. En 1953 se promulgó el Código de Saneamiento (Decreto 1371) con normas para controlar aguas residuales, y en 1954 se creó la primera Corporación Autónoma Regional (CAR - Decreto 3110), la Corporación del Departamento del Valle del Cauca (CVC), con la misión de administrar recursos naturales y realizar tareas de control de inundaciones, saneamiento básico y descontaminación de aguas.

No obstante, el Código no tuvo el impacto esperado y la CVC, que fue el modelo para la creación de otras 18 CARs Departamentales entre 1960 y 1988, se focalizó en la gestión de los recursos hídricos con énfasis en la producción energética y abastecimiento de aguas.

En 1966 se fundó el Instituto Nacional de Desarrollo de los Recursos Naturales (INDERENA) para planificar el desarrollo integral de cuencas hidrográficas, y en 1974 se aprobó el Código de Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente (Decreto Ley 2811), considerado el primer código normativo de manejo de aguas en América Latina. En 1991 se promulgó la nueva Constitución Política Nacional (CPN) destacada como la “Constitución ambiental” por su integralidad y por dedicar 49 artículos a la protección del medio ambiente y los recursos naturales.

Entre 1974 y 1991 se promulgaron normas para la planeación de cuencas hidrográficas, con acciones multipropósito muy dis-

persas, mínima participación social y priorizando el desarrollo agropecuario e hidroenergético.¹ La nueva CPN significó un avance en cuanto a descentralización, participación ciudadana y función social y ecológica de la propiedad, y en el bienio 1990-1992 el INDERENA vio la necesidad de cambiar las estrategias de manejo de recursos naturales comprometiendo a las comunidades en la gestión del agua.

En 1993 se creó por Ley 99 el Sistema Nacional Ambiental (SINA), ente articulador de las CARs con respaldo técnico y científico de cinco institutos de investigación, cinco autoridades ambientales urbanas y una Unidad de Parques Nacionales Naturales, y bajo la tutela del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).²

En 2002 el IDEAM estableció las finalidades, principios y directrices de la Política de Planificación, Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas y Acuíferos (POMCA, Decreto 1729) y ajustó la Guía Técnico Científica (GTC) para su elaboración. En 2010 se aprobó la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) con objetivos y directrices unificadas, y en 2012 se reglamentó la normativa POMCA a fin de armonizarla con la PNGIRH (Decreto 1640).

Situación de las cuencas hidrográficas

Colombia es uno de los países de la región andina con mayor normatividad e institucionalidad para la gestión de recursos hídricos. No obstante, la mayoría de las cuencas hidrográficas del país presenta niveles de contaminación elevados, en tanto que 483 municipios con aproximadamente 12 millones de habitantes registran vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico.

Las cuencas hidrográficas enfrentan diversos problemas como la colonización y apertura de vías, construcción de represas y embalses, minería inadecuada y agricultura degradante, incremento de

1 El Decreto 2857 (1981) establece las finalidades de la ordenación de cuencas, y la Ley 56 (1981) permite la generación de recursos financieros para proteger cuencas. El Decreto 103 (1982) crea la “Comisión Permanente para la Cuenca del Río Magdalena” encargada de elaborar el “Plan Maestro de Manejo”, y el Acuerdo 0041 (1983) define las competencias del INDERENA para la ordenación de cuencas. En 1987 se redefinen las funciones de las CARs como entidades públicas autónomas, administradoras y tomadoras de decisiones sobre el medio ambiente y los recursos naturales renovables en su jurisdicción.

2 Por mandato de las Leyes 60 (1993) y 142 (1994), se organizan a los actores institucionales relacionados con el agua y el saneamiento y se aprueban las Políticas de Biodiversidad (1995), Manejo Integral del Agua y Bosques (1996), Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) y Producción más Limpia (PML) (1997), y Lineamientos para la Participación Ciudadana en la Gestión Ambiental y para la Política Nacional de Ordenamiento Ambiental del Territorio (1998).

residuos industriales y urbanos, con la consecuente contaminación de suelos y aguas, deforestación y quemadas, disminución de calidad y cantidad de recursos naturales y pérdida de biodiversidad.³

Las cuencas también afrontan problemas institucionales como la falta de políticas para el manejo de recursos y el inadecuado diseño institucional de las CARs, creadas en base a la división departamental y no en función a las cuencas hidrográficas. Una de las mayores dificultades es la insuficiente producción y sistematización de información para el mantenimiento de bases de datos estadísticos confiables.

Desafíos para la gestión integral del agua

Al carecer de una visión integral y de una base institucional estructurada, coherente y capaz de hacer cumplir la ley, el Estado colombiano administra el recurso hídrico de forma sectorial y con reducida participación social, y muchas veces sus decisiones están sujetas a políticas de gobierno que priorizan el componente económico por sobre el aspecto socio-ambiental.

Las CARs son vulnerables a cambios políticos; por ejemplo, existen autoridades ambientales urbanas que se superponen a las CARs. Además, los POMCAS se enfocan en el diagnóstico y dejan de lado las tareas de prospectiva, que es lo que realmente permite la planeación, a lo que se suma los retos de comunicación entre los institutos de investigación y el MADS.

Organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, sectores productivos y de servicios y demás agentes involucrados no se han integrado suficientemente a las políticas de manejo del agua y suelen hacer prevalecer sus intereses. Cada grupo tiene una agenda propia, con énfasis y metodologías sectoriales, que genera competencia entre ellos y duplicación de esfuerzos.

Buscando desarrollar nuevos instrumentos para la planeación de recursos hídricos, en 2014 el IDEAM instruyó “elaborar, desarrollar y ajustar los insumos técnicos que requiere el MADS” para mejorar su metodología de ordenación y manejo de las microcuencas “para reducir la vulnerabilidad de los acueductos de las cabeceras municipales”.

Propuestas de acción y aportes para avanzar

Colombia necesita sistematizar la información y el conocimiento disponibles y desarrollar modelos innovadores para la gestión integrada de cuencas hidrográficas, considerando la variabilidad e incertidumbres climáticas, y las demandas actuales y futuras del sector productivo.

Para garantizar la sostenibilidad del recurso, las CARs precisan estrategias de intervención, control y seguimiento de recursos y planes de manejo de cuencas que acompañen procesos productivos actuales, como es el caso de la industria cafetalera demandante de cada vez más agua.

En ese marco, la herramienta gratuita de modelación WEAP (en español Sistema de Evaluación y Planeación del Agua) y la metodología analítica Apoyo a Decisiones Robustas (ADR), desarrollada por el Stockholm Environment Institute,⁴ han demostrado ser de utilidad en la construcción de sistemas de información robustos que ayuden a las autoridades ambientales a planificar escenarios futuros asociados a la variabilidad climática, identificar incertidumbres y formular estrategias de adaptación a corto, mediano y largo plazo.

Referencias

Vargas Franco, Viviana (2014), Modelo basado en conocimiento para la planeación de cuencas hidrográficas con el uso de inteligencia artificial, Universidad del Valle, Santiago de Cali-Colombia.

⁴ Para más información ver <http://www.weap21.org/index.asp?action=201> y <http://sei-us.org/publications/id/472>

Este estudio fue realizado con el apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Las opiniones expresadas en este documento corresponden a sus autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de la USAID.

Published by:

Stockholm Environment Institute
Linnégatan 87D, Box 24218
104 51 Stockholm
Sweden
Tel: +46 8 30 80 44

Contacto del Proyecto en USAID:

Carolina Figueroa,
cfigueroa@usaid.gov

Contacto del proyecto en SEI:

Marisa Escobar,
marisa.escobar@sei-us.org

sei-international.org

2015

Twitter: @SEIresearch, @SEIclimate

³ Los principales problemas ambientales, según las contralorías departamentales en 2008, son vertimiento de aguas residuales sin tratamiento y contaminación de fuentes (70%), agua no apta para consumo humano y acueductos deficientes (55%), deforestación (55%), manejo inadecuado de residuos sólidos (45%) y plantas de sacrificio (25%), degradación y mal manejo de suelos (25%), conflictos de oferta y demanda (25%) y caza excesiva y pérdida de fauna (20%); Vargas Franco (2014).

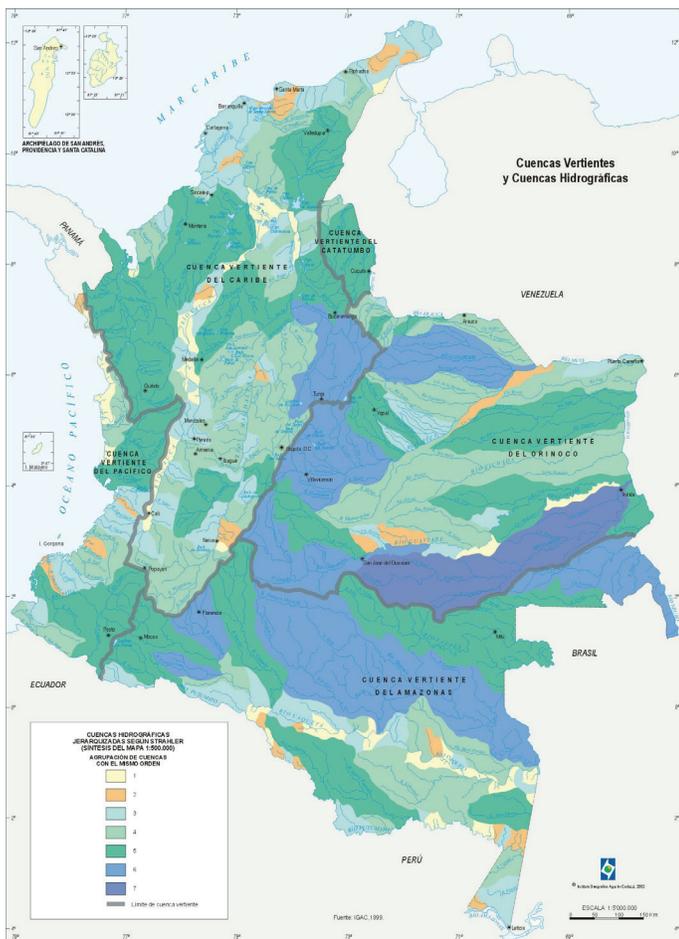
RESUMEN DE DISCUSIÓN

Relevancia y utilidad del proceso ADR y del sistema WEAP para la formulación de Planes de ordenamiento y Planes de manejo de cuencas y ríos en Colombia (POMCAs y PORHs)

Más información y mejores instrumentos de planeación optimizan la toma de decisiones

Hoy es más relevante que nunca adoptar las mejores decisiones posibles en la administración de los recursos hídricos, teniendo en cuenta que el agua no solo es un recurso esencial para la vida humana sino también un insumo fundamental para la agricultura, la generación de energía y para mantener el equilibrio de todos los ecosistemas.

Los procesos de industrialización acelerados, la extensión de la agroindustria y la urbanización creciente ejercen cada vez mayor presión sobre las fuentes de agua, un bien común de disponibilidad limitada, con impactos negativos que no necesariamente se perciben a corto plazo, lo que complica la tarea de equilibrar la demanda y la provisión sostenible a largo plazo.



Mapa 1: Cuencas, vertientes y cuencas hidrográficas de Colombia
Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Puntos Clave:

- El marco Apoyo a Decisiones Robustas (ADR) y el Sistema de Evaluación y Planeación del Agua (Water Evaluation And Planning - WEAP) fortalecen y a la vez vinculan a los Planes de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas (POMCA) y los Planes de Ordenamiento de los Recursos Hídricos (PORH).
- En la actualidad, los principales obstáculos para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) en Colombia son el insuficiente conocimiento del recurso en términos de oferta, demanda, calidad y riesgos, y la exigua participación y coordinación social en el proceso, todo lo cual tiene como resultado una menor capacidad de administración y toma de decisiones informadas.
- Con la metodología de planificación ADR y la herramienta WEAP se ha logrado construir una sólida base de datos numéricos y gráficos, y modelos de simulación de incertidumbres relativas a los impactos del cambio climático, cambios en el uso de la tierra, presiones demográficas y patrones de desarrollo económico sobre la cantidad y la calidad del agua necesaria para diferentes usos (biodiversidad, agricultura, energía y consumo humano).
- ADR y WEAP son herramientas analíticas de gran utilidad para las autoridades ambientales regionales, tomadores de decisión, proveedores y usuarios del agua, ya que les ayudan a desarrollar su capacidad de respuesta al cambio climático, y les brindan orientación en tareas de planificación y gestión del recurso hídrico, en el desarrollo de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático y en la adopción de decisiones más pertinentes y robustas en varios escenarios posibles, a corto, mediano y largo plazo.

El cambio climático constituye un nuevo desafío para la gestión del recurso, en un contexto caracterizado por mayores riesgos y incertidumbres crecientes. Ya no es posible emplear datos y registros climáticos del pasado para proyectar el futuro porque el cambio climático ha modificado y seguirá alterando los patrones de provisión y abastecimiento de agua.

En este nuevo escenario con situaciones cambiantes, el reto es mejorar los instrumentos de planeación del recurso tomando en cuenta las complejas interconexiones de los componentes físicos de la cuenca, sus servicios ecosistémicos y los diversos usos humanos. Experiencias previas demuestran que una investigación científica rigurosa contribuye a la toma de las mejores decisiones; en tanto que la participación social am-

plía el conocimiento de la sociedad e influye en los principales actores que toman decisiones.¹

Recogiendo las lecciones anteriores, el SEI ha desarrollado una metodología de análisis denominada ADR y un instrumento de software llamado WEAP que permite modelar los cambios de la hidrología y de la demanda en varios escenarios futuros posibles. Cabe aclarar que los resultados de la metodología no garantizan necesariamente un modelo de manejo del agua infalible, pero sí facilitan la adopción de las decisiones más óptimas y robustas (aquellas que tienen mejor desempeño a pesar de escenarios de incertidumbre). Sobre todo, el modelo propuesto fortalece los planes e instrumentos vigentes, en particular los PORH y POMCA.

POMCA y PORH: Metas, desempeño y estrategias comunes

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) de Colombia encara la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos en cuatro niveles: 1. Áreas hidrográficas o macrocuencas que corresponden a las cinco macrocuencas del país: Magdalena-Cauca, Caribe, Orinoco, Amazonas y Pacífico; 2. Zonas hidrográficas para monitorear el estado del recurso hídrico e impactos de las acciones desarrolladas en el marco de la PNGIRH. 3. Subzonas hidrográficas o cuencas objeto de ordenación y manejo mediante POMCAs, y 4. Microcuencas y acuíferos de orden inferior a las Subzonas no contempladas por POMCAs.

Se entiende por ordenación de una cuenca “la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna, y por manejo de la cuenca, la ejecución de obras y tratamientos”.²

Las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs) administran las cuencas en sus jurisdicciones con planes de ordenamiento de cuencas (POMCAs) y planes de ordenamiento de cuerpos de agua (PORHs), instrumentos de planificación y guías operativas con ámbitos de aplicación y fines distintos, pero complementarios.³

El POMCA es un instrumento para la planeación regional del uso coordinado del suelo, agua, flora y fauna y el manejo de cuencas, en la perspectiva de equilibrar el aprovechamiento social y económico y la conservación de la estructura fisicobiótica, particu-

larmente del recurso hídrico.⁴ En el departamento de Huila se han identificado seis cuencas piloto priorizadas (Ceibas, Guarapas, Garzón, Yaguará, Timaná Yaguilga y Páez).

El PORH es un instrumento de planificación que permite intervenir de manera sistémica los cuerpos de agua en subzonas hidrográficas o su nivel subsiguiente, para garantizar la calidad y cantidad requeridas para el sostenimiento de ecosistemas acuáticos y usos actuales y futuros.⁵

Los POMCA y PORH tienen en común un procedimiento de cuatro fases: **aprestamiento/declaratoria, diagnóstico, prospectiva y zonificación ambiental** (identificación de usos potenciales del recurso hídrico) y **formulación del plan** de ordenamiento específico. Ambos instrumentos reconocen procesos de participación social para consolidar y fortalecer la gobernabilidad y la gestión integral del recurso.

Actualmente, durante la formulación de POMCAs y PORHs no suele considerarse la variabilidad climática futura, y al momento de aplicar ambos instrumentos no se acostumbra coordinar acciones ni priorizar tareas comunes. A ello se suma la falta de datos e información técnica sobre calidad y cantidad del agua, en un contexto caracterizado por la creciente presión sobre el recurso, el deterioro de cuencas, la alteración de ecosistemas y la contaminación de fuentes de agua.

Contribución del modelo WEAP y del proceso ADR

La herramienta computacional WEAP desarrollada por Stockholm Environment Institute (SEI) se ha aplicado con éxito en países de la Comunidad Andina y en California, y tiene más de 16 mil usuarios en el mundo, en virtud a que es un sistema de análisis y planificación eficaz, fácil de usar, flexible y gratuito para usuarios gubernamentales, académicos y de organizaciones no gubernamentales.⁶

WEAP es una herramienta para la producción y sistematización de información y bases de datos sobre oferta y demanda, balance hídrico y una amplia gama de variables (escorrentía por precipitación, flujos base, recarga de aguas subterráneas por precipitación, demandas sectoriales, conservación y derechos de agua, prioridades de asignación, generación hidroeléctrica, etc.).

WEAP se distingue por su abordaje integral y enfocado en la demanda de agua (patrones de uso, eficiencia de equipos, estrategias de reutilización, costos y criterios de asignación en igualdad de condiciones) en relación con el suministro (caudales, aguas subterráneas, embalses y trasvases). También es una herramienta de análisis de política: evalúa una gama completa de opciones para el desarrollo y gestión de recursos hídricos, teniendo en cuenta sus usos múltiples y competitivos, lo que permite proyectar escenarios futuros y orientar a las autoridades en la toma de decisiones. WEAP puede aplicarse en sistemas municipales y agrícolas,

1 La participación social efectiva y la toma de decisiones colectivas dependen de varios factores estructurales, psicológicos y dinámicas sociales. Algunos factores que contribuyen a la obtención de mejores resultados son el entendimiento común del problema, un proceso iterativo en etapas y una buena comunicación y visualización de datos que fortalezca la conciencia y el compromiso de administrar el agua en beneficio de todos: Parks, Craig D., Jeff Joireman, and Paul AM Van Lange. "Cooperation, trust, and antagonism how public goods are promoted Psychological science in the public interest" 14.3 (2013): 119-165.

2 Artículo 316 del Decreto – Ley 2811 de 1974 que dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

3 El Decreto 1640 de 2012 instruye identificar instrumentos de planificación y/o administración de recursos naturales renovables objeto de regulación al momento de formular el POMCA, uno de los cuales es el PORH. Por ejemplo, cuando exista POMCA aprobado y vigente, los objetivos de calidad y usos definidos deberán analizarse en función del cumplimiento de la zonificación ambiental, y para ello se deberá considerar: a) programas del POMCA sobre calidad y cantidad del recurso hídrico. b) análisis de indicadores de línea base del POMCA respecto a la información obtenida en la fase de diagnóstico del PORH, c) actualización de escenarios prospectivos según la información más detallada del PORH, y d) definición del programa de monitoreo y seguimiento del PORH en base a lo establecido en el POMCA.

4 Ibid, coherente con el mandato de la PNGIRH.

5 Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental - Centro de documentación Colombia, Bogotá 2014.

6 <http://www.weap21.org/index.asp?action=201&NewLang=ES>

Tabla 1: Vinculación PORH/POMCA y ADR/WEAP y su aporte a los planes vigentes

FASES DE LOS POMCA/PORH	Descripción	FASE EQUIVALENTE DE ADR	Cómo ADR y WEAP fortalecen los planes vigentes
1. Aprestamiento, Identificación de actores clave	Identificación de actores y análisis situacional inicial. El Consejo de Cuenca es la instancia representativa de actores sociales y organizaciones que participan e inciden en la administración ambiental de las seis cuencas piloto priorizadas.	1. Identificación de actores	El marco ADR permite identificar a los actores directos y usuarios indirectos, promoviendo la interacción e intercambio de conocimientos e integrando los diferentes planes de gestión a partir del entendimiento de los impactos de cambio climático, para luego consensuar medidas de mitigación y adaptación pertinentes para cada subzona.
2. Diagnóstico	El mandato legislativo es construir una estrategia de gestión del conocimiento que integre y oriente procesos de investigación, evaluación y monitoreo de recursos naturales, organización de datos, y generación de productos de información. Se buscan modelos de análisis situacional de recursos hídricos en cada cuenca, sus posibilidades, limitantes y conocimiento.	2. Formulación de la problemática	SEI aplica el modelo XLRM y desarrolla el marco de acción en talleres con actores principales. XLRM es muy flexible y dinámico porque es iterativo, se desarrolla en etapas y motiva una participación social amplia y constante.
3. Prospectiva y zonificación ambiental	La legislación instruye diseñar instrumentos de recolección de información acordes a los componentes del POMCA; sistematizar información ambiental de la cuenca; estandarizar información geográfica con la definición de una base de datos que permita la interacción de capas cartográficas; y aplicar protocolos para almacenar y administrar las variables e indicadores calculados en el marco del POMCA.	3. Construcción de un modelo 4. Desarrollo de escenarios climáticos a una escala espacial y temporal relevante 5. Ejecución de un ensamble de corridas del modelo 6. Visualizaciones dinámicas	<p>WEAP permite construir un modelo que representa las incertidumbres y las estrategias, y genera valores para las medidas esperadas.</p> <p>El software ayuda a modelar y calcular a) dinámicas poblacionales, b) impactos del cambio climático según varias proyecciones, c) usos del suelo, d) desarrollo socioeconómico de regiones que influirán en el aumento de diferentes tipos de demanda, e) proyectos de abastecimiento y saneamiento, f) gestión de vertimientos, g) condiciones ambientales que alteren la oferta y el estado ecológico proyectado de corrientes y h) calidad del recurso hídrico.</p> <p>Tal vez la mayor contribución de la herramienta WEAP para la formulación final del POMCA es el análisis de posibles impactos del cambio climático. Las visualizaciones dinámicas también ayudan a los participantes a entender los dilemas y posibles impactos sobre los recursos hídricos, y los orienta en la priorización de decisiones más robustas.</p>
4. Formulación y Ejecución	Con los resultados de la zonificación ambiental se formulan programas, proyectos y actividades. En esta fase se articulan diferentes instrumentos de planificación ambiental con directrices y medidas de manejo o instrumentos de planificación de recursos naturales renovables, así como instrumentos y planes sectoriales, con el fin de prever la demanda de recursos naturales en la cuenca e impactos potenciales en ecosistemas y biodiversidad.	7. Acciones identificadas	La información generada en el proceso ADR contribuye a aplicar de forma más eficiente los diferentes instrumentos de planeación, fortaleciendo de esta manera la planificación integral de acciones y estrategias de adaptación al cambio climático, facilitando la toma de decisiones coherentes y pertinentes en los planos nacional y local y, por ende, evitando fuertes gastos futuros.

en una sola cuenca o en cuencas transfronterizas; es capaz de simular una amplia gama de componentes naturales e intervenidos; analiza demandas sectoriales, derechos de agua y prioridades de asignación; y hace seguimiento de la contaminación y calidad del agua y evaluaciones de vulnerabilidad.

Por otro lado, el marco ADR se desarrolla en siete fases:

1. Identificación y articulación de actores clave,
2. formulación de la problemática del sistema (aplicando el

marco XLRM de la corporación RAND -X significa incertidumbres externas, L estrategias de gestión, y M medidas o indicadores-),

3. Construcción de un modelo que represente las relaciones (R) entre incertidumbres y estrategias, y genere valores para las medidas o métricas esperadas (WEAP),
4. Desarrollo de escenarios climáticos a una escala espacial y temporal relevante,
5. Ejecución de un ensamble de corridas del modelo que capture

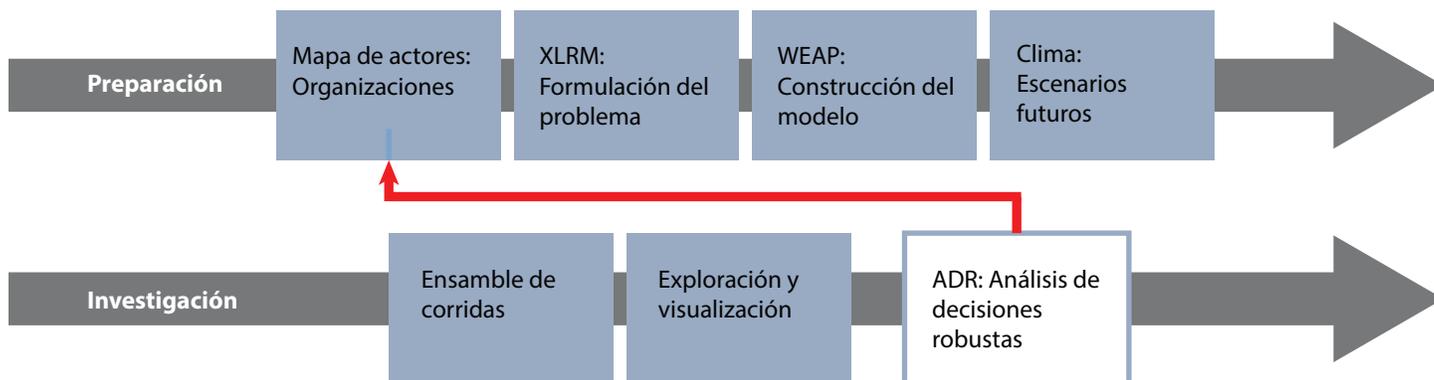


Figura 1: Etapas del proceso de apoyo para la toma de decisiones robustas (ADR)

todas las incertidumbres identificadas y las estrategias propuestas, y produzca una base de datos con valores para todas las medidas de desempeño definidas,

6. Visualizaciones dinámicas de opciones que mejoren el desempeño del sistema, e
7. Identificación de acciones concretas que requieren inversiones. (Figura 1).

Las guías técnicas de los PORH/POMCA reconocen que el conocimiento y la información son fundamentales para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, y para sustentar la toma de decisiones, razón por la cual “es oportuno trascender del enfoque de los sistemas de información per se, hacia la construcción de una estrategia de gestión del conocimiento que integre y oriente los procesos de investigación, evaluación y monitoreo de los recursos naturales, de organización de datos, y la generación de productos de información”⁷.

Atendiendo el requerimiento anterior, el modelo WEAP sistematiza la información disponible para orientar a las autoridades ambientales regionales, proveedores y usuarios del agua, en tanto que el proceso ADR ayuda a construir una sólida base de datos numéricos y gráficos dinámicos de indicadores clave, de gran utilidad al momento de adoptar las decisiones más robustas y priorizar las más pertinentes estrategias de adaptación al cambio climático y otras incertidumbres, a corto, mediano y largo plazo.

Cabe destacar que las siete etapas del marco ADR engloban todas las etapas de análisis previstas en los POMCA y PORH, mientras que el sistema WEAP cumple fases específicas de los POMCA como, por ejemplo análisis técnicos, participación pública requerida y construcción de un modelo predictivo de incertidumbres y estrategias de adaptación (Tabla 1).

Los resultados de este estudio evidencian que hay una conexión entre la implementación de POMCA con los procesos ADR, en

términos de generar una visión integral en la gestión del recurso hídrico y sentar las bases para la vinculación activa de los actores durante la formulación y ejecución de medidas de adaptación a corto y mediano plazo.

Con la experiencia adquirida y las lecciones aprendidas en el estudio de la cuenca de los ríos Otún y La Vieja, el Stockholm Environment Institute prevé aplicar la misma metodología en la cuenca de Alto Magdalena y en otros departamentos de Colombia. Uno de los retos del proceso ADR y de la herramienta de modelación es considerar también otro tipo de medidas y acciones propuestas por actores sociales para perfeccionar la administración de recursos hídricos, como por ejemplo reformas institucionales, cambios políticos y planes de educación ambiental.

Este estudio fue realizado con el apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Las opiniones expresadas en este documento corresponden a sus autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista de la USAID.

Published by:

Stockholm Environment Institute
Linnégatan 87D, Box 24218
104 51 Stockholm
Sweden

Tel: +46 8 30 80 44

Contacto del Proyecto en USAID:

Carolina Figueroa,
cfigueroa@usaid.gov

Contacto de este resumen de discusión:

David Purkey, dpurkey@sei-us.org;
Tatiana Mendoza Salamanca,
cambioclimatico@cam.gov.co

sei-international.org

2015

Twitter: @SEIresearch, @SEIclimate

⁷ Algunas estrategias sugeridas para la Gestión de Información en el marco de la Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas de Colombia son: 1. Diseñar instrumentos de recolección de información acordes a los componentes del POMCA, 2. Sistematizar información ambiental de la cuenca, 3. Estandarizar información geográfica con la definición de una base de datos geográficos que permita la interacción de capas cartográficas, 4. Fortalecer el Sistema de Información Ambiental de la Autoridad Ambiental, y 5. Aplicar protocolos para almacenar y administrar variables e indicadores calculados durante el desarrollo del POMCA.

HOJA DE DATOS

Modelación hidrológica del recurso hídrico en la cuenca del Alto Magdalena en Colombia, “Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas”

Localización:	Colombia, Departamentos del Huila, Tolima y Cauca. Con relevancia en América Latina.
Colaboradores y Socios Directos:	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); Centro de Investigación en Ciencias y Recursos Geoambientales (CENIGAA) – Universidad Surcolombiana; The Nature Conservancy (TNC); Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
Financiado por:	U.S. Agency for International Development (USAID)
Duración:	Julio 2012- Junio 2015

Destacados:

- Aplicando la herramienta WEAP, se modelaron 35 corrientes hídricas tributarias directas e indirectas del cauce principal de la cuenca del río Magdalena. El modelo consideró 42 demandas de agua para consumo humano en las principales ciudades y centros poblados asentados en las veredas de la cuenca, la demanda para generación de energía hidroeléctrica sobre el río Magdalena, y las demandas agrícolas, principalmente para el cultivo de café y arroz en zonas de captación.
- Para la modelación hidrológica se utilizó el método lluvia-escorrentía de la humedad del suelo, un modelo cuasi-físico unidimensional que concibe el suelo como dos baldes que representan los diferentes fenómenos hidrológicos de la cuenca.

Introducción

La modelación hidrológica y de recursos hídricos de la cuenca del río Magdalena se desarrolla en el marco del proyecto “*Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’*”, iniciado en 2012 con el objetivo de apoyar al “*Plan de Cambio Climático Huila 2050: Preparándose para el Cambio Climático*” desarrollado por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM). El proyecto busca fortalecer la capacidad de la sociedad en el manejo de los recursos hídricos y en adaptación al cambio climático en la cuenca del Alto Magdalena.

Este documento describe los detalles de la modelación de los recursos hídricos en la cuenca del río Magdalena, y explica cómo se aplicó la herramienta WEAP para modelar la cuenca a escala de subcuencas, considerando las diferentes demandas de agua. Este modelo está siendo aplicado en un proceso de Apoyo a las Decisiones Robustas (ADR) con el fin de orientar a los actores locales en tareas de administración de los recursos hídricos y en la toma de decisiones más robustas y mejor informadas, en varios escenarios futuros posibles, aplicando diferentes instrumentos de planeación hídrica y ambiental.

Área de estudio: La cuenca del río Magdalena

La cuenca hidrográfica del río Magdalena se encuentra ubicada en el sur occidente colombiano, en las coordenadas 3° 55' 12" y 1° 30' 04" de Latitud Norte y 74° 25' 24" y 76° 35' 16" de Longitud Oeste. La cuenca del Alto Magdalena nace en el Macizo Colombiano donde se forman las cordilleras Central y Oriental en el Departamento del Huila, al sur de Colombia (Figura 1), con altitudes de entre 350 msnm en el valle que limita con Tolima y 5.750 msnm en el pico del Nevado del Huila, en los límites con el Departamento del Cauca.

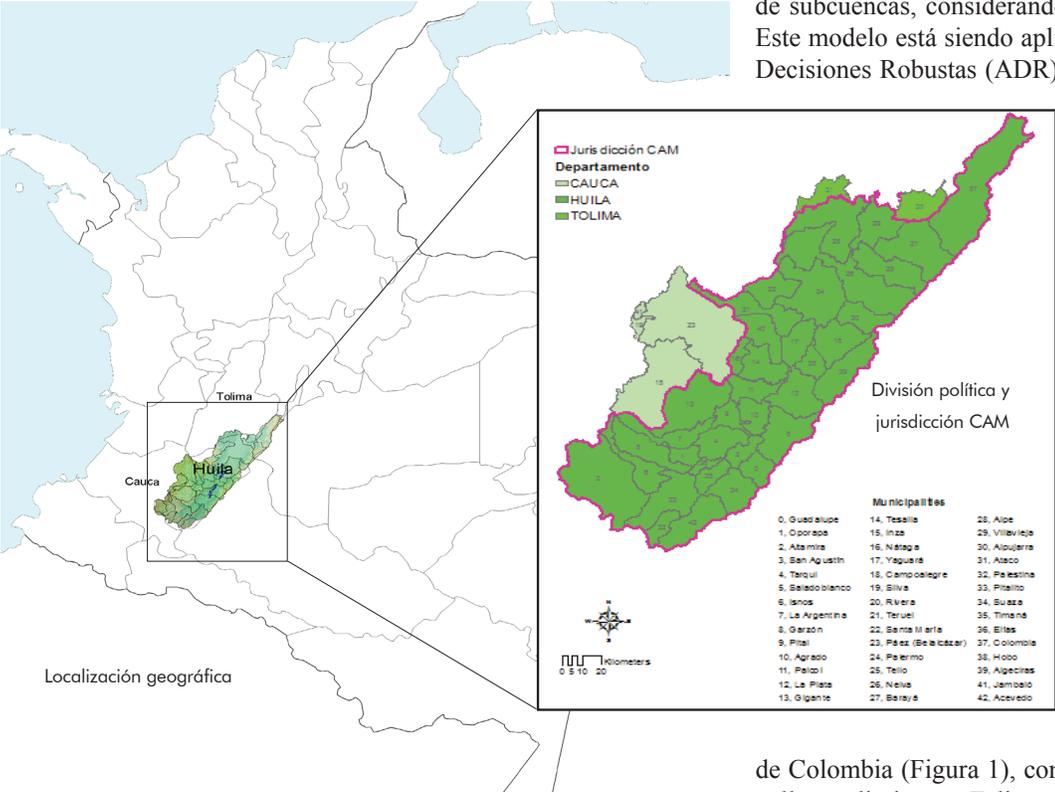


Figura 1: Localización geográfica de la cuenca del río Magdalena

El área total de la cuenca es de 22.171 km² que abarcan todo el Departamento del Huila, la sub-cuenca del río Páez del Departamento del Cauca y parte de las subcuencas de los ríos Patá y Cabrera en el Departamento del Tolima. La oferta hídrica de las subcuencas hidrográficas del Departamento del Huila alcanzan un promedio máximo de 555 m³/s y un mínimo de 215 m³/s durante la época seca, que constituye el caudal de agua que la cuenca aporta al río Magdalena.

La infraestructura hídrica de la cuenca del Alto Magdalena incluye la represa de Betania, localizada en la desembocadura del río Yaguará al río Magdalena, en el municipio de Campoalegre, con una capacidad de generación hidroeléctrica de 540 megavatios, y también la represa El Quimbo que se construye aguas arriba de la represa Betania para la producción de hidroelectricidad y comienza a operar a mediados de 2015. Además, la cuenca acoge una industria piscícola creciente y provee el caudal de agua para riego de cultivos de arroz en la parte baja.

La representación de la cuenca en WEAP

Se desarrolló un modelo participativo y analítico basado en la herramienta de modelación hidrológica denominada WEAP, un software que permite evaluar, en varios escenarios, el impacto sobre la cuenca de los cambios climáticos; cambios físicos en el sistema como por ejemplo la construcción de nuevos embalses o acueductos; cómo inciden las políticas nacionales en el crecimiento de la población o los patrones de uso del agua, el uso del suelo; y los cambios de la cobertura vegetal. A pesar de la carencia de datos y de las limitaciones informativas, el modelo WEAP permite sistematizar la mejor información disponible para apoyar a proveedores y usuarios en la toma de decisiones orientadas a priorizar medidas de adaptación al cambio climático. Entre los enfoques contemplados en la modelación de la cuenca de río Magdalena se destacan:

- La oferta y la demanda de las principales cabeceras municipales.
- Las demandas y la producción hidroeléctrica de las represas Betania y Quimbo.
- Las demandas y la producción hidroeléctrica de pequeñas centrales hidroeléctricas sobre diferentes corrientes principales de las subcuencas del río Magdalena.

Con la implementación de este modelo se busca generar y evaluar escenarios futuros asociados al cambio climático (proyectados al año 2050), y adoptar estrategias de adaptación a escala mensual.

La construcción del modelo

La cuenca del río Magdalena fue modelada con WEAP a escala de subcuencas y éstas, a su vez, por bandas de elevación (cada 500 metros), configurando así un total de 208 unidades hidrológicas o catchments. Se modelaron en total 35 corrientes tributarias directas e indirectas del cauce principal con la información generada en 31 puntos de monitoreo de caudal. Se consideraron, además, 42 demandas de agua para consumo humano en las principales ciudades y centros poblados de la cuenca, los requerimientos agrícolas con 9 tipos de cobertura vegetal (páramo, bosque, pastos, café, arroz, cultivos agrícolas, zonas urbanas, suelo desnudo y aguas abiertas), y las demandas de una central hidroeléctrica en operación y de 2 hidroeléctricas y 6 pequeñas centrales que se espera construir en el futuro (Figura 2).

La modelación hidrológica se desarrolló en WEAP con el método lluvia-escorrentía de la humedad del suelo, un modelo semi-empírico unidimensional que concibe la matriz de suelo como dos baldes que representan los diferentes fenómenos hidrológi-

Tabla 1. Parámetros de calibración del modelo de la cuenca Alto Magdalena en WEAP. Zona Alta: DC= 500 mm/mes, DWC= 1200 mm; Zona Alta y Baja: Z1 = 10%, Z2 = 40%; Zona Media: Z1 = 20%; Zona Baja: Z2 = 30%.

Cobertura	kc	RRF			RZC (mm/mes)			PFD			SWC (mm)		
		Rango Alto	Rango Medio	Rango Bajo	Rango Alto	Rango Medio	Rango Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Páramo	1	1 - 4	1 - 4	2 - 4	200 - 1000	250 - 1050	500 - 1100	0.4	0.4	0.4	950	950	1000
Bosque	0.98	1 - 4	1 - 4	2 - 4	200 - 1050	250 - 1100	550 - 1200	0.4	0.4	0.4	1000	1200	1300
Pastos	0.6	0.5 - 3	0.5 - 3	1 - 2	100 - 900	150 - 950	400 - 950	0.6	0.6	0.6	700	700	900
Zonas Urbanas	0.1	0.5 - 2	0.5 - 2	0.5 - 2	100 - 950	150 - 850	300 - 800	0.9	0.9	0.9	600	600	800
Cultivos agrícolas	0.77	0.8 - 3	0.8 - 3	1.5 - 3	250 - 950	200 - 950	400 - 950	0.5	0.5	0.5	800	800	1000
Café	0.93	0.8 - 3	0.8 - 3	1.5 - 3	150 - 950	200 - 950	400 - 950	0.5	0.5	0.5	600	800	1000
Glaciares	1.05	0.6 - 2	0.5 - 2	0.5 - 2	150 - 800	100 - 850	300 - 800	0.7	0.7	0.7	600	600	700
Aguas abiertas	1	1 - 2	1 - 3	1 - 2	80 - 900	150 - 850	300 - 900	0.6	0.6	0.6	700	700	800
Suelo desnudo	0.1	0.6 - 1.5	0.6 - 2	0.65 - 3	80 - 900	150 - 900	350 - 800	0.65	0.65	0.65	700	700	850

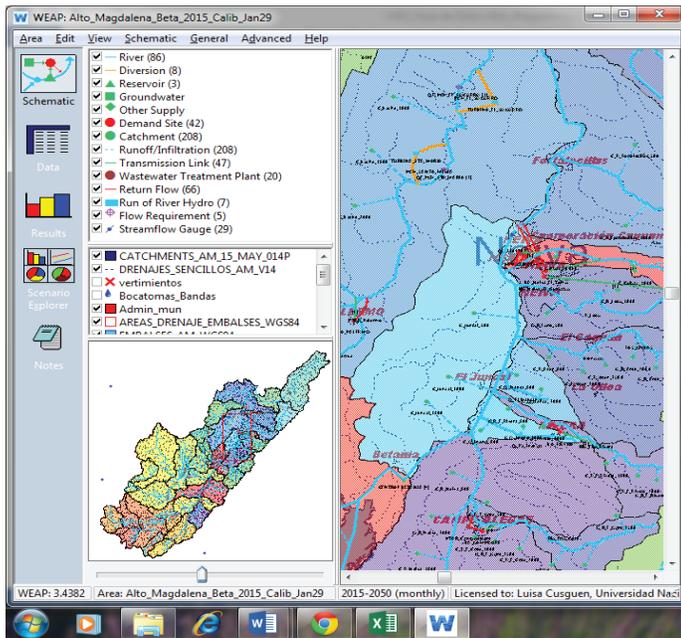


Figura 2: Representación de la cuenca, sus unidades hidrológicas y de gestión en la esquemática de WEAP

cos de la cuenca, determinando la evapotranspiración, escorrentía superficial, flujo sub-superficial, percolación y flujo base.

Se empleó la información generada diariamente por 146 estaciones pluviométricas del IDEAM (con rangos de elevación entre 368 msnm y 3.550 msnm) en el periodo enero de 1970 - julio de 2011, aplicando el método de regionalización de la precipitación para cada catchment. Además, con datos de temperatura registrados por 23 estaciones climatológicas del IDEAM en el periodo 1970-2010 se obtuvieron los promedios mensuales para cada estación. Con procedimientos geoestadísticos de interpolación

Tabla 2: Incertidumbres definidas en la cuenca Alto Magdalena

Incertidumbres "X"				
Xn	Nombre		Categoría	Escenario
X1	Clima	Histórico	Suministrado por el IDEAM	4
		Tendencial	Escenario MPI-ESM-MR	
		Menor variabilidad	Escenario CCSM4 R2	
		Mayor variabilidad	Escenario CanESM2 R3	
X2	Población	Bajo	Tasa de crecimiento del 0.1%	3
		Medio	Tasa de crecimiento del 1.6%	
		Alto	Tasa de crecimiento del 3.6%	
X3	Per Cápita	Bajo	200 lt/ hab. Día	2
		Alto	150 lt/ hab. Día	
X4	Infraestructura (Oporapa)	No se construye Represa	Sobre el río Magdalena, antes de la represa El Quimbo	2
		Si se construye Represa		
		Combinación de incertidumbres		

(Inverse Distance Weight-IDW), se generaron series mensuales a las cuales se les aplicó el gradiente de temperatura para cada uno de los catchments.

Ajuste de los parámetros del modelo

Los modelos son una representación de la realidad, y en hidrología simulan específicamente el ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica a partir de la representación de caudales y operaciones de obras de infraestructura hídrica que sean similares a series históricas. El éxito del proceso depende del ajuste de los parámetros hidrológicos de calibración y también de la calibración de operaciones de infraestructuras hidroeléctricas.

Los parámetros ajustados en el modelo hidrológico son el coeficiente de cultivo (k_c), el factor de resistencia a la escorrentía (RRF), la conductividad hidráulica en la zona de raíces (RZC), la conductividad hidráulica en la zona profunda (DC), la dirección preferencial del flujo (PFD), y la capacidad de retención de humedad en la capa superior (SWC) y en la capa profunda (DWC) (Tabla 1).

Estación 2109707 Alto Magdalena (1980-2011) sobre el río Magdalena, después de la desembocadura de la subcuenca Las Ceibas

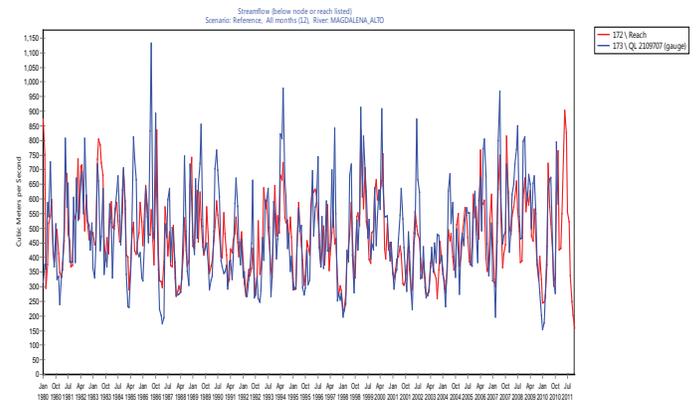


Figura 3: Caudales simulados y observados del modelo hidrológico para la cuenca del Alto Magdalena mediante WEAP

La calibración fue evaluada con tres métricas estadísticas de desempeño: el índice de Nash Sutcliffe -que determina la magnitud relativa de la varianza residual en comparación con la variación de datos observados-; el BIAS -que calcula el sesgo de los datos simulados con respecto a los datos observados-, y el Error Cuadrático Medio (RMSE) que mide la diferencia residual agregada entre datos observados y simulados.

Las métricas de desempeño aplicadas al modelo hidrológico del río Magdalena muestran una buena correlación entre los caudales simulados y observados en las estaciones analizadas. Los índices estadísticos de Nash = 0.46 y PBIAS = 2.66 evidencian dicha correlación en un punto específico de la cuenca. (Figura 3).

Análisis de Decisiones Robustas (ADR)

En el marco del proyecto 'Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas', el Eje del Agua del Plan Huila 2050 evalúa los efectos del cambio climático en la oferta hídrica en varios escenarios futuros. Estos escenarios fueron identificados por actores clave

Tabla 3: Estrategias de manejo y adaptación identificadas en la cuenca

Estrategias "L"				
Ln	Nombre	Categoría	Descripción	Escenario
L0	Base	Sin estrategia	-	1
L1	Conservación	Ampliación de la zona boscosa	Se conservan bosques en parques naturales	1
L2	Reducción de pérdidas en abastecimiento	Bajo	Se alcanzarían pérdidas del 35%	2
		Alto	Se alcanzarían pérdidas del 20%	
L3	Caudales ecológicos en represas	Bajo	25% del mínimo Qmedio mensual multianual (IDEAM)	2
		Alto	95% del caudal en la curva de duración de caudales	
L4	Caudales ecológicos en PCHs	Bajo	25% del mínimo Qmedio mensual multianual (IDEAM)	2
		Alto	95% del caudal en la curva de duración de caudales	
L5	Implementación de PCHs	PCHs inactivas	Sobre subcuencas tributarias al río Magdalena	1
		PCHs activas		
Numero de Estrategias				9

en la gestión del recurso hídrico, con competencias para la toma de decisiones, en el taller XLRM realizado en agosto de 2013. El marco XLRM es una metodología desarrollada por el RAND Corporation, que considera factores EXógenos, Estrategias de Gestión (L), Relaciones y Medidas. La construcción participativa del modelo de XLRM y el análisis iterativo de los datos generados constituye la base del Apoyo a las Decisiones Robustas (ADR). A partir de esta evaluación, se proyectaron estrategias de adaptación, cuyo desempeño a corto, mediano y largo plazo podrá ser evaluado por medio de WEAP.

Se identificaron 4 incertidumbres y a partir de ellas se proyectaron 48 diferentes niveles de cambios posibles; también se formularon 5 estrategias de adaptación con 9 diferentes niveles de incidencia, las cuales, al combinarse, generaron 432 escenarios para el periodo 2015-2050 (Tabla 2 y 3).

Estos escenarios pueden ser visualizados con el uso de herramientas como Tableau, que permite comparar de forma gráfica y sencilla el horizonte de tiempo simulado, los efectos sobre la oferta hídrica y, en general, la planificación y gestión del recurso hídrico bajo el efecto del cambio climático.

Pasos a seguir

Gracias al fortalecimiento de su capacidad técnica, autoridades ambientales como la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) y entidades académicas como el Centro de Investigación en Ciencias y Recursos Geoagroambientales (CE-NIGAA) y la Universidad Surcolombiana podrán suministrar información continua al modelo del Alto Magdalena y apoyarán en la toma de decisiones robustas respecto a la planeación, manejo y reglamentación de la cuenca y sus corrientes.

De esta manera, instrumentos de planeación y planes operativos como PGAR, PAI, PORH, PM, POF, cuyo eje articulador son los POMCA¹, y especialmente los planes generados por la misma corporación, como el Eje del Agua del Plan Huila 2050, podrán ser fortalecidos con información técnica y científica que al mismo tiempo enriquezca herramientas como el SIAC y las ERAs. Todo esto garantizará la adaptación al cambio climático y el cumplimiento de la meta principal prevista para el año 2050, que es “*contar con agua en cantidad y calidad suficiente para lograr un desarrollo sostenible propio y para brindarle agua al resto de la cuenca del Magdalena*”.

¹ Por sus siglas:

PGAR Plan de Gestión Ambiental Regional

PAI Plan de Acción Institucional

PORH Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico

PM Plan de Manejo de humedales, páramos, áreas protegidas, zonas secas, manglares, sistemas acuíferos, aguas marinas y costeras

POF Plan de Ordenación Forestal

POMCA Plan de Manejo y ordenación de Cuencas Hidrográficas

SIAC Sistema de Información Ambiental de Colombia

ERA Evaluaciones Regionales del Agua

Published by:

Stockholm Environment Institute
Linnégatan 87D, Box 24218
104 51 Stockholm
Sweden
Tel: +46 8 30 80 44

Contacto del Proyecto en USAID:

Carolina Figueroa,
cfigueroa@usaid.gov

Contacto del proyecto en SEI:

Marisa Escobar,
marisa.escobar@sei-us.org

Contactos de esta hoja de datos:

Carlos Alberto Vargas,
cvargas@cam.gov.co;
Luisa Cusgüen, luicus@gmail.com

sei-international.org

2015

Twitter: @SEIresearch, @SEIclimate



Visualización de datos para asistir en la comunicación de modelos complejos a los tomadores de decisiones

Introducción

Cada vez son más los casos donde la gestión del agua se realiza sin la participación o consentimiento de las partes más afectadas. SEI respalda un enfoque de planificación inclusivo, invitando a las partes interesadas de las cuencas hidrográficas a articular los desafíos que enfrentan y trabajar con los científicos en la evaluación de opciones.

En base al trabajo realizado por la Corporación RAND en la toma de decisiones robustas (RDM), SEI ha desarrollado el enfoque de apoyo a las decisiones robusta (RDS), que combina el modelado de sistemas complejos de agua, visualización de datos, y técnicas participativas. El objetivo es trabajar con las partes interesadas para identificar estrategias que demuestran resultados satisfactorios a través de una amplia gama de futuros posibles, o escenarios. Esta hoja informativa se centra en el uso de las visualizaciones de datos, y el valor de presentar de manera sucinta cientos de salidas de un modelo para informar a las discusiones de planificación.

El proceso de RDS se basa en el intercambio entre los tomadores de decisiones y el análisis técnico/científico. Primero se solicitan aportaciones de los principales grupos de actores – científicos, administradores de recursos, responsables políticos y ciudadanos que dependen de los recursos hídricos. Esto define el alcance del análisis: incertidumbres futuras, posibles estrategias, y medidas de desempeño para evaluar las distintas estrategias. Los diferentes puntos de vista revelan las demandas, oportunidades y limitaciones del sistema, mientras que los científicos proporcionan las herramientas para evaluar los resultados de la implementación de las posibles estrategias bajo consideración.

A medida que el proyecto avanza, los diferentes actores pueden ver cómo sus contribuciones se reflejan en el modelo científico. Por ejemplo, se puede haber observado un aumento en la necesidad de agua de riego que podría ser difícil de suministrar debido al cambio climático. El modelo puede

explorar la disponibilidad de agua de riego en escenarios que incluyen el cambio climático y distintas posibles estrategias de gestión. Los actores trabajan con los científicos para evaluar los resultados del modelo y, según sea necesario, refinarlo. De esta manera, el proceso de RDS ayuda a asegurar que los modelos reflejen las diferentes perspectivas y a su vez, que las soluciones identificadas a través de este proceso sean adecuadas al contexto y estén bien alineadas con las prioridades del desarrollo local.

Facilitar el análisis complejo a los responsables políticos

SEI construye sus modelos de gestión del agua con el sistema WEAP (Evaluación y Planificación del Agua), una herramienta de planificación de los recursos hídricos que combina perspectivas de oferta y demanda en un marco analítico integral y flexible. Las cuencas abarcan grandes áreas y representan muchos procesos complejos. Los modelos como WEAP exploran una amplia gama de incertidumbres y pueden producir enormes cantidades de datos. Por lo tanto, un desafío clave es destilar la amplia gama de incertidumbres y estrategias bajo consideración, para que los interesados puedan tener confianza en su interpretación de los resultados.

Como parte del proceso de RDS, SEI utiliza el software de Tableau para producir visualizaciones interactivas de los datos que se utilizan para analizar los resultados del modelo con los responsables políticos. La Figura 1 muestra una gráfica de Tableau que ilustra los resultados de la cuenca peruana Chira-Piura y su vulnerabilidad actual, sin la implementación de una posible estrategia de adaptación. Cada columna muestra una de las 13 medidas de desempeño identificadas por las partes interesadas, y cada fila muestra una combinación de factores externos de incertidumbre, para abarcar una gama de futuros posibles. Estos componentes han sido definidos por los responsables políticos y las partes interesadas.

Este es un ejemplo de gráficos complejos que incorporan varias dimensiones; en este caso, las filas contienen todas las posibles combinaciones de las cinco incertidumbres designadas. Los colores de la figura indican el nivel de vulnerabilidad como un porcentaje de veces que el sistema no logra el desempeño esperado. El rojo indica por encima del 50% vulnerable. El verde indica debajo del 50% vulnerable. El filtro en la esquina superior derecha filtra los datos para mostrar los efectos de la aplicación de cualquiera de las estrategias. Los datos también pueden ser segmentados en función de diferentes horizontes de tiempo (en este caso, décadas) para capturar los efectos a corto, medio y largo plazo. Las opciones en el extremo derecho representan los valores cuantificados de los umbrales para cada medida de desempeño.



Una presentación de las gráficas de Tableau en Piura, Perú.

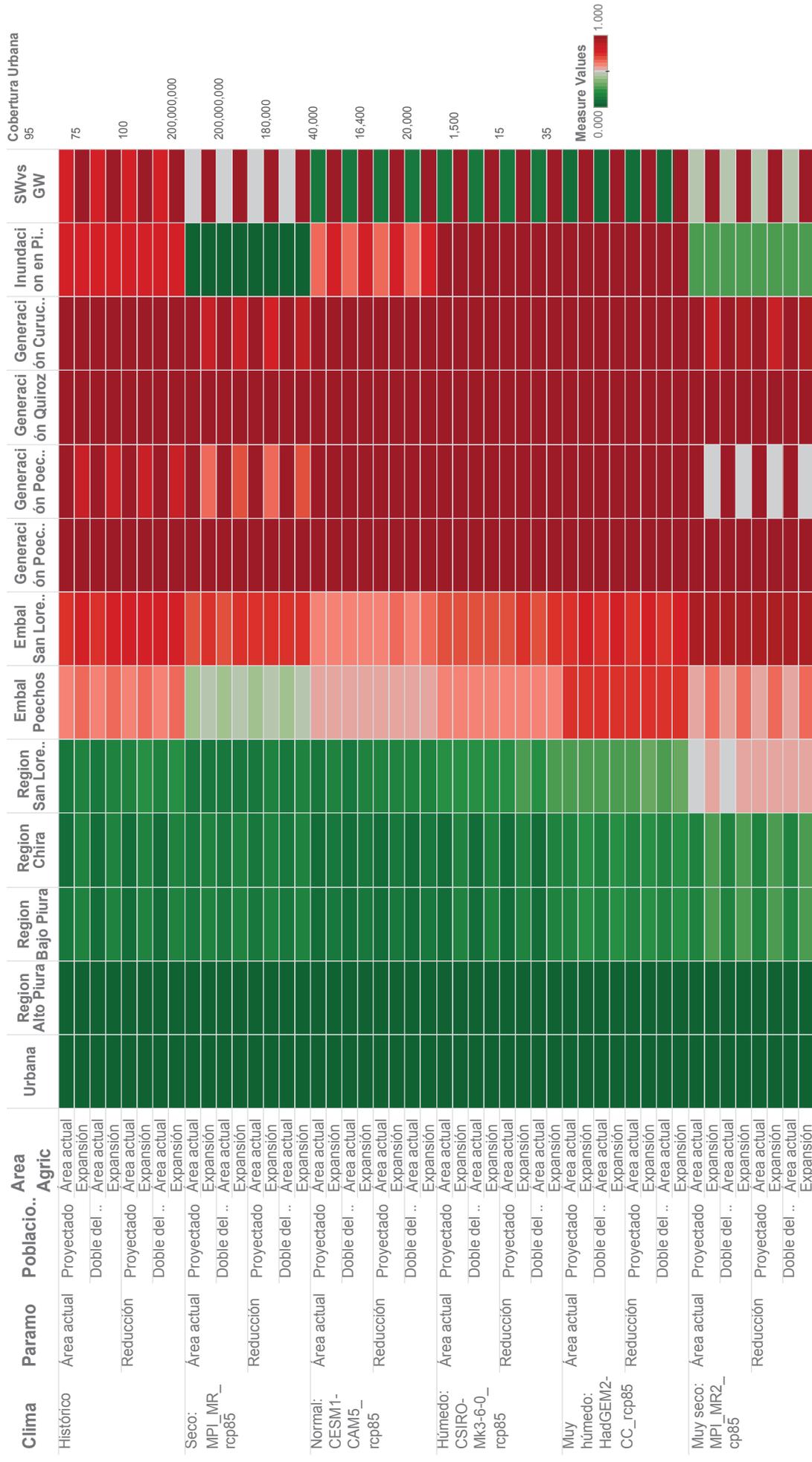
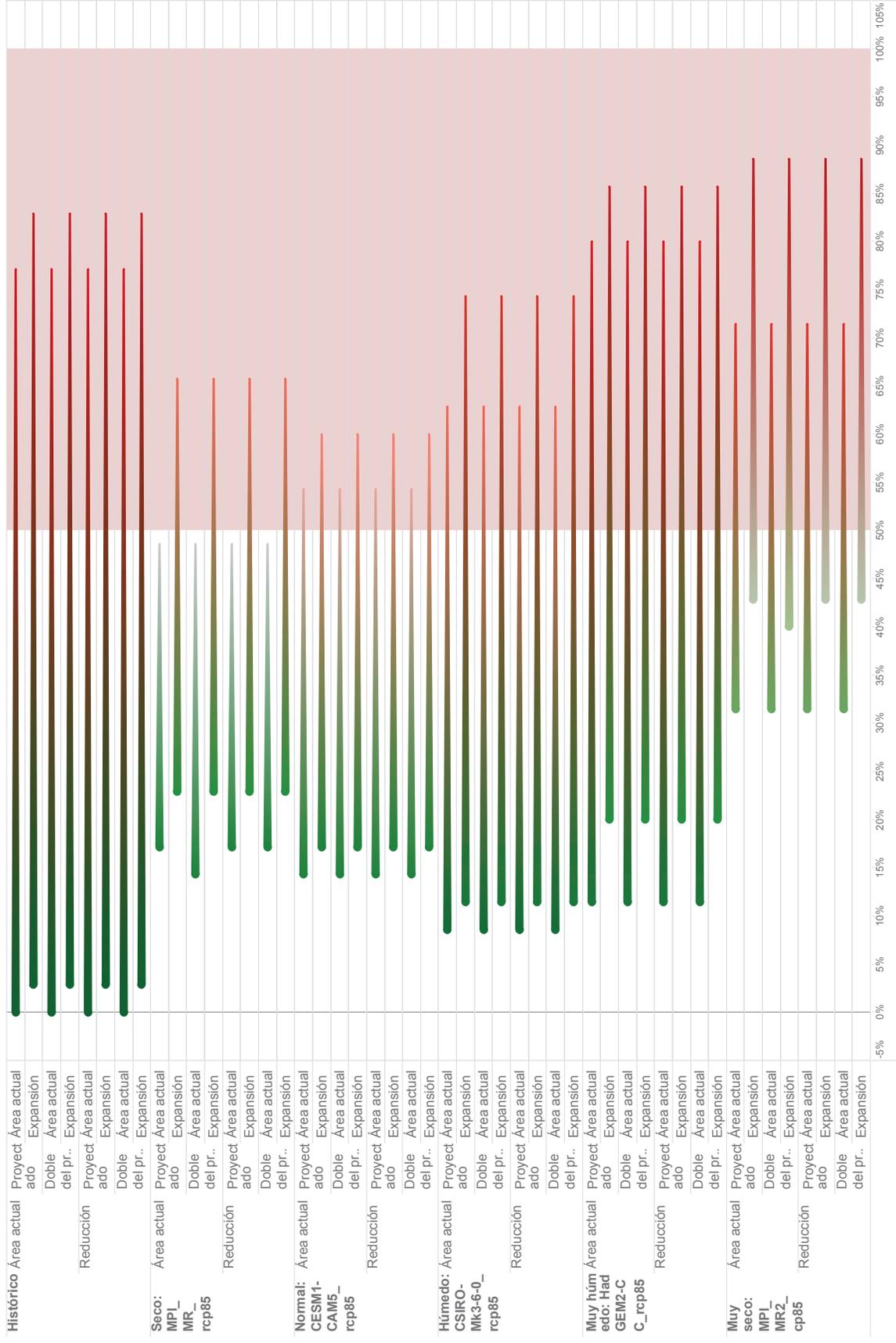


Figure 1: Mapa de la vulnerabilidad del sistema de gestión actual, en términos porcentuales para las métricas clave de rendimiento. Verde indica vulnerabilidad bajo 50% y rojo por encima de 50% para cuatro de las incertidumbres evaluadas.

Vulnerability Variable
Vulnerabilidad Generación Pochos

- Estrategia**
- Sin estrategia
 - Nivel 1 C.P.: Forest
 - Nivel 2 C.P.: Forest + EficR..
 - Nivel 2 M.P.: Forest Amp
 - Nivel 2 M.P.: Forest Amp + ..
 - Nivel 2 L.P.: Forest Amp + ..
 - Nivel 2 DO C.P.: EficRiego
 - Nivel 2 DO M.P.: EficRiego ..
 - Nivel 2 DO L.P.: EficRiego ..
 - Embalse Pochos II Corto ..
 - Embalse Pochos II Median..
 - Embalse Pochos II Largo ..

Vulnerabilidad en medidas específicas de desempeño



180,000

Figure 2: Cambios en la vulnerabilidad a largo plazo de la producción de energía hidroeléctrica debido a la construcción de una nueva represa.



El equipo del proyecto revisa los resultados de los modelos para definir los umbrales de vulnerabilidad.

Todos estos umbrales interactivos y filtros permiten a los usuarios interactuar con las visualizaciones y entender los resultados. En este caso, el gráfico muestra que si bien la construcción de una represa mejora el rendimiento del sistema en algunas medidas de desempeño, también pondría en peligro el desempeño en los indicadores relacionados con otros sectores u objetivos. Cualquier decisión de implementar esta estrategia tendría que balancear las ventajas y desventajas de favorecer a una parte del sistema sobre otra.

En la visualización de la Figura 2 se examinan los cambios en la vulnerabilidad para cada métrica bajo una gama de posibles futuros. En este caso, la generación de energía hidroeléctrica se beneficia enormemente de la construcción de una represa; el sistema es mucho menos vulnerable a no cumplir con las normas de generación de energía hidroeléctrica dictadas por el umbral. El mismo análisis puede demostrar los impactos de la represa con respecto a las inundaciones.

Las visualizaciones presentadas aquí muestran los resultados de miles de ejecuciones del modelo. Los colores ayudan a hacer la comparación. La abundancia de rojo en las cinco primeras estrategias sugiere que son menos recomendables, según los 13 indicadores, mientras que la abundancia de verde muestra una disminución en la vulnerabilidad del sistema bajo las otras tres estrategias. Sin embargo, la estrategia 5 muestra más verde que las anteriores, lo que indica mejoras para algunas métricas que en este caso particular pueden ser más relevantes para las partes interesadas.

La examinación participativa de las visualizaciones puede estimular nuevas ideas para el análisis, como la combinación de diferentes estrategias de desarrollo a considerar o estrategias integradas, diferentes definiciones numéricas de estas estrategias, o cambios en las caracterizaciones de los futuros simulados. A raíz de estos cambios, las visualizaciones se pueden reproducir y actualizar con nuevos datos para un nuevo examen. En última instancia el proceso sugiere que es probable que las estrategias sean más ventajosas en el futuro, proporcionando ejemplos de su desempeño dentro de la estructura de análisis científico. El proceso tiene como objetivo fomentar la confianza en torno a una estrategia y generar el apoyo público necesario para escoger opciones de desarrollo ante un futuro incierto.

Aplicaciones y próximos pasos

Los avances en la tecnología en informática facilitará el análisis de bancos de datos cada vez más grandes. Desde una perspectiva política, esto es inmensamente valioso, ya que permite a los científicos modelar una gama mucho más amplia de las posibilidades futuras – en lugar de sólo unos cuantos escenarios, como se ha hecho en el pasado. El análisis proporcionará análisis mucho más ricos y más amplios para apoyar la toma de decisiones. Sin embargo, como los modelos se vuelven cada vez más complejos, la comunicación efectiva de los resultados será crucial.

La utilidad de la información depende de la capacidad humana para procesarla. Los datos científicos deben ser generados y organizados para permitir extraer conclusiones y decisiones a tomar.

Las visualizaciones de datos, como se han hecho en el proceso de RDS, consolidan la escala de los datos con el mensaje subyacente. Las visualizaciones claras les permiten a las partes interesadas y los responsables políticos acceder y aplicar los complejos hallazgos científicos generados por las herramientas.

Es importante señalar que a pesar de que SEI ha encontrado las visualizaciones de Tableau muy útiles y potentes, el software no es, en sí, la respuesta al desafío de la comunicación. Es una herramienta que debe ser utilizada cuidadosamente, equilibrando la necesidad de presentar la gama de matices con la necesidad de ser claros y no abrumar a los tomadores de decisiones.

También es importante interactuar con todos los actores clave para explicar las visualizaciones y utilizar las discusiones resultantes para mejorar aún más el modelo. Por lo tanto, el desafío para los científicos es doble: asegurarse de que las personas adecuadas estén en la mesa, y seguir mejorando la forma en que se presentan los resultados para asegurar que sean accesibles y útiles para todos.

Publicado por:

Stockholm Environment Institute
SEI - U.S. Davis Office
400 F Street
Davis, CA 95616, USA
Tel: +1 530 753 303

Contacto de autores:

Laura Forni
laura.forni@sei-international.org
Stephanie Galaitsi
stephanie.galaitsi@sei-international.org

sei-international.org

2015

Twitter: @SEIresearch, @SEIclimate

Biodiversity, wetland ecosystems and flood risks: Implications of hydropower expansion on the Magdalena River

Introduction

The Mompos Depression in Colombia includes one of the largest wetland systems in the world. Annual large-scale inundation of its floodplains and associated wetlands regulates water, nutrient and sediment cycles – which, in turn, sustain a wealth of ecological processes and ecosystem services that are critical to communities’ food supplies, in particular fisheries. However, flooding also poses a serious threat to communities, which are often ill prepared for extreme events.

The Magdalena River Basin has great hydropower potential, and there is a growing interest in making the most of it. A number of large hydropower dams are in advanced stages of planning in the upstream reaches of the two largest rivers (out of four) that converge in the Mompos Depression, the Cauca and Upper Magdalena. While these dams are expected to more than double national hydropower production, the implications for the wetlands and the people that depend on them are highly uncertain.

Aiming to ensure that hydropower development is sustainable and does not disrupt key ecosystems and the services they provide, The Nature Conservancy (TNC) has promoted a basin-wide integrated management and planning approach, “Hydropower by Design”. As part of this approach, a model of the basin

is being developed with SEI’s Water Evaluation And Planning (WEAP) system, in collaboration with SEI.

This fact sheet presents the first results of modelling with new WEAP enhancements developed collaboratively by TNC and SEI to capture large-scale floodplain and wetland flooding processes and provide a new way to assess how changes in upstream water resource development practices, including existing reservoir operations and future dam development, could alter these dynamics. Other capabilities to WEAP were also added, including integration with TNC’s Indicators of Hydrologic Alteration, a tool to measure the impacts on ecosystems of changes in streamflow due to human activities.

System description

The Magdalena River is the most important waterway in Colombia and South America’s fifth largest river. Its main course is more than 1,500 kilometers long, starting among the glaciers and cloud forests of the Andes Mountains in southern Colombia and flowing north to its outlet in the Caribbean at Barranquilla, Colombia’s fourth-largest city. It also transports some of the highest volumes of sediment among rivers in South America, with a mean estimated sediment yield of about 690 tons/km²/year for the Magdalena and its sub-basins.



Fishermen in Pijino, in the lowlands of the Magdalena River Basin.

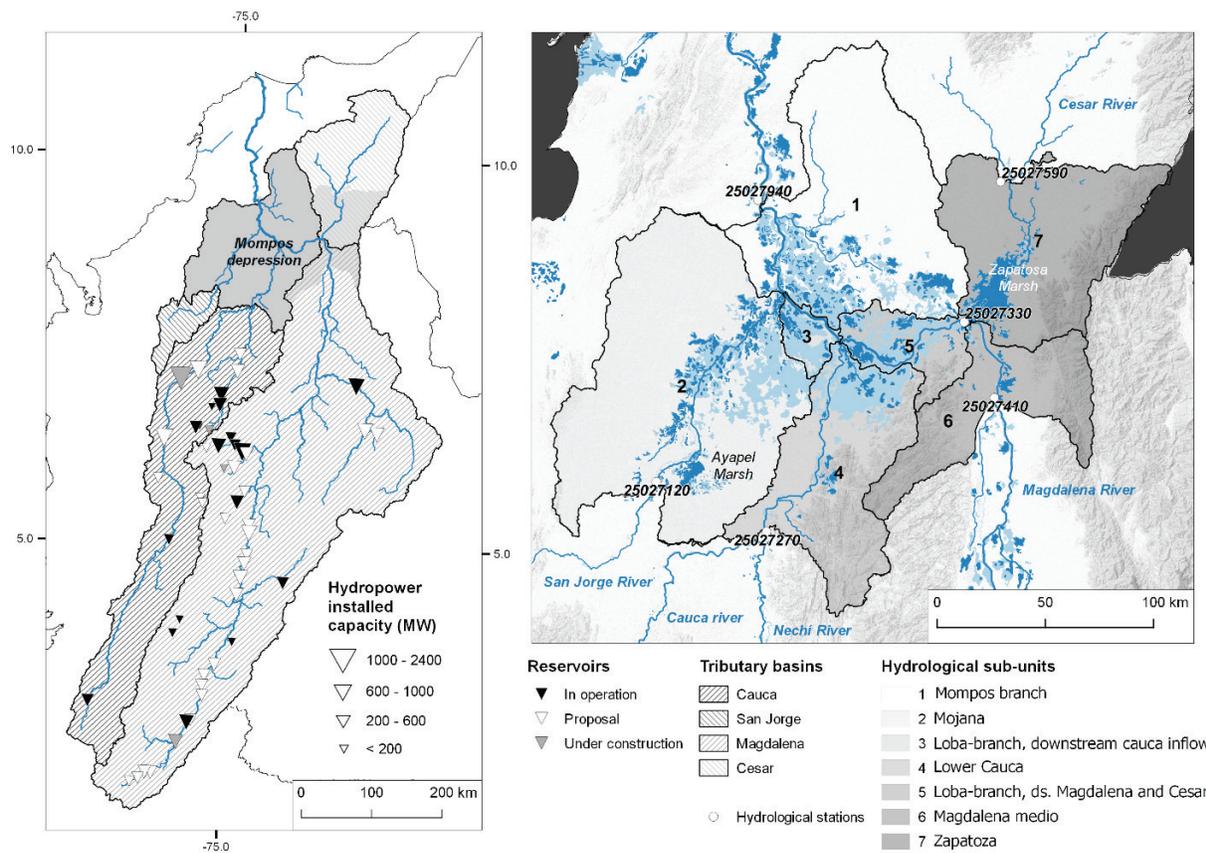


Figura 1: Map of the Magdalena River Basin showing the upstream hydropower reservoirs (existing and projected), location of the low floodplains system, gauge stations referenced in the text.

A large portion of this sediment is deposited in the Mompos Depression, a tectonic basin of roughly 32,198 km², or 11.8% of the total area of the entire Magdalena basin. The flows are particularly heavy during two periods each year, in June and in November–December, due to the oscillation of the Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ) over this region. Flooding of the river-associated wetlands of the Mompos Depression is typically an annual event, occurring between October and December.

The heavy flows of sediment, brought by four major rivers – the Magdalena, Cauca, Cesar and San Jorge (see Figure 1) – have created complex morphological and hydrological dynamics that result in high levels of ecological complexity and species diversity in these low-lying wetlands. There are more than 200 indigenous fish species (roughly half of which are endemic), as well as high diversity of mammals, birds and amphibians. The wetlands and lagoons are critical stopovers for birds along the Western Hemisphere migratory flyways. Rural communities depend on these habitats for fish harvest and other resources. The ecosystems, in turn, heavily depend on the seasonal delivery of water, nutrients and sediment brought by flood waters.

Hydropower development in the Magdalena Basin

The Magdalena basin provides 70% of Colombia’s hydropower, and the majority of the nation’s planned hydropower expansion lies within this basin (see Figure 1). There are already 26 medium and large reservoirs in the basin, with an aggregate installed capacity of 6.36 GW and an annual average production of about 33,400 GWh. Two major dams with a planned total installed capacity of 2.80 GW are under construction. In addition, an inventory of planned hydro-

power projects over the next decade includes 30 large projects, potentially adding another 7.64 GW of installed capacity.

Dams inevitably alter the flow regime and connectivity of rivers, both longitudinally (upstream and downstream) and laterally (between the river and wetlands), jeopardizing their productivity. This is an important consideration in this region, because of high existing vulnerability to extreme floods. In 2010–2013, a series of floods caused by an exceptionally wet “La Niña” period, resulted in numerous deaths and widespread property damage in the lower Magdalena basin.

Since those floods, several studies have been conducted to identify structural and non-structural measures to manage and mitigate flood risk in this area. However, those studies have not fully considered the implications of climate change and of changes in upstream water management on the flooding dynamics of the wetland systems within the Magdalena basin. The development of hydropower dams is often presented as helpful in controlling floods. Our modelling, however, suggests that at least in this case, it is not.

WEAP floodplain model

A conceptual model including a wetland and floodplain storage component that includes lateral interactions between a river and adjacent flooded areas was developed using an enhanced version of WEAP. (Evaluation of longitudinal connectivity loss is also an active area of model development, but was beyond the scope of the current project.) WEAP was enhanced in two key ways for this project: to include surface water storage in the soil moisture model, and to better represent connections between surface storage and the river network (Figure 2), capturing the complex in-

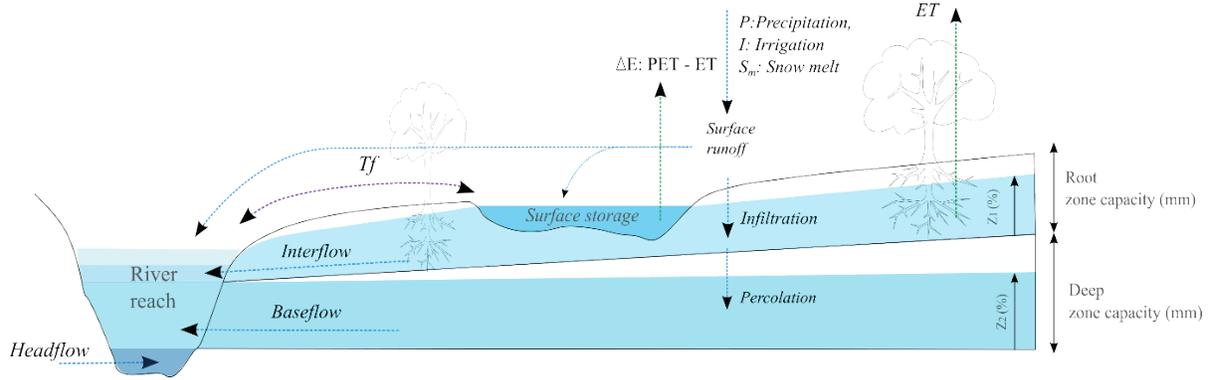


Figure 2: Schematic of the two-layer soil moisture model including a surface storage component, showing the different hydrologic inputs and outputs.

interactions between wetlands, river reaches and floodplains. For example, it is now possible to represent a case where a floodplain is fed by the overflow from multiple river reaches, and/or where the return flow from the floodplain occurs to multiple reaches of the river or transferred to neighboring river objects. The mathematical details of the water balance equations will soon be published in a peer-reviewed journal article.

The WEAP floodplain enhancements allow for an integrated evaluation of water resource management practices, including reservoir operations, planned hydropower development, and in a later stage, the evaluation of climate change impacts. The development of the model focused on the Mompos Depression and adjacent lowlands. The region includes hydrological monitoring stations which, despite shortcomings in terms of record completeness, allowed us to infer patterns of circulation of water within the basin, and a basic validation of the simulated water balances.

The floodplain model was tested under different sets of conditions, based on different definitions of natural hydrological units within the Mompos system, in order to evaluate the importance of floodplain and wetland boundary conditions. The model was calibrated and validated by comparing simulated runoff from each hydrologic unit with observed runoff over a 20-year period (1985–2005). The resulting statistics fell within acceptable ranges for the calibration and validation periods.

Modeling hydropower and floodplain connectivity

The current baseline case in the model includes the 26 existing dams and two under construction. The Degree of Regulation (DOR), which can be used as an indication of how much upstream reservoir operations affect downstream flow, was calculated for each dam, and combined into a cumulative impact. Based on the storage capacity of hydropower reservoirs in 2010, the existing DOR is estimated to amount to 5% of the average annual runoff volume upstream of the Mompos Depression near the Zapatosa Marsh on the Magdalena River.

Current levels of DOR of the flow into the Mompos Depression, are thought to be close to natural conditions (see Figure 3), due to the fact that the existing dams are concentrated in the Magdalena’s headwaters (see Figure 1), and a substantial amount of flow originates from the middle and lower sections of its tributaries. Development of all 30 planned projects, bringing the total number of dams to 58, would increase the DOR to about 30% for the Magdalena (see Figure 3).

Based on simulations with the enhanced version of WEAP, we can see that with increasing levels of hydropower development, the hydrograph will become more regular upstream of the Mompos Depression main tributaries. Based on the model simulations, increased regulation is bound to affect the flow regime in very distinct ways.

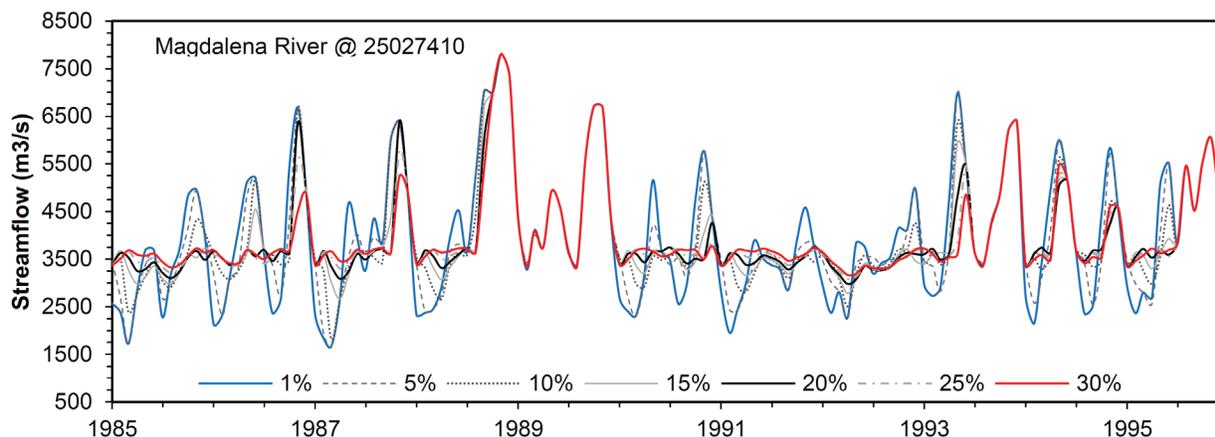


Figure 3: Simulated impacts of upstream regulation between 1 and 30% (expressed as total reservoir volume / average yearly runoff) in wetland dynamics. Simulated monthly hydrographs in the Magdalena River upstream of Zapatosa Marsh and the Mompos Depression resulting from hydropower operations. Regulation capacity equivalent to DOR of 1, 5, 10, 15, 20 and 30%.

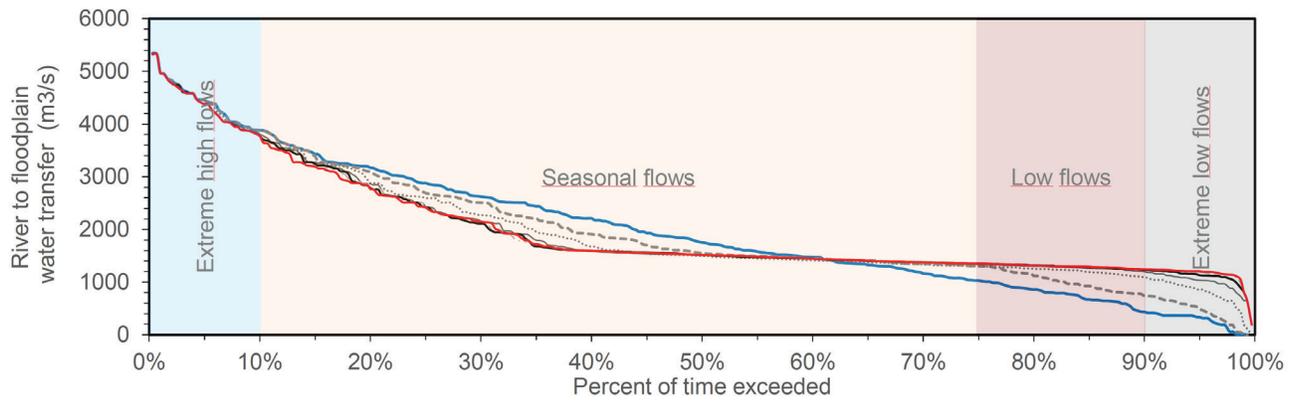


Figure 4: Changes in hydroperiod (time when soil is waterlogged). Extreme high flows, seasonal flows, low flows and low extremes ranges (background colors) of the various flow components are shown. Each of these components has specific relations with the hydraulic and geomorphological dynamics that define the habitats available and therefore define biodiversity and ecological relationships.

High flows: At the highest DOR – equivalent to 30% of the average annual discharge – reservoir operations substantially reduce the magnitude of seasonal flows while virtually eliminating low flow and extremely low flows during dry months (see Figure 4). However, the development of dams is projected to have virtually no impact on extremely high flows/floods, as the extreme high flows (left side of the figure) would continue to occur. The reservoirs would not protect communities from the impacts of extreme floods associated with periodic high flow events (occurring every 10 years or more), such as those that occurred around La Niña in 2010–2011. This is because during peak flow conditions, upstream reservoirs would have to release water for dam safety. One could argue, in fact, that the increased degree of regulation would cause increase risks for downstream communities, as it would likely lead to the development of land that is highly exposed to flooding.

Seasonal flows: Alteration of exchange patterns between the river and wetlands during seasonal flows (center section of Figure 4) could have very severe impacts on local ecosystem functioning, as these are inundation is critical for water, nu-

trient and sediment delivery to the floodplains and floodplain lakes. These events are critical to reproduction of fish and bird species, for example.

Low flows: Due to higher DOR, base flows are expected to become much higher and much less variable (right section of Figure 4). Even small increases in regulation are expected to result in drastic alterations of low flows, which are important for many aspects of biodiversity and ecological events, such as reptile reproduction, the propagation of riparian vegetation communities, and nutrient and organic matter storage.

The attenuation of seasonal flow exchange between the river and adjacent floodplains and wetlands is illustrated in Figure 5.

Lastly, the new model also allows for the evaluation the implications of potential lateral connectivity loss due to flood control structures such as longitudinal levees and roads. Figure 6 illustrates the peak flow downstream of the Mompos Depression resulting from a loss of connectivity with respect to current conditions. These results indicate that a reduction of system



The wetlands in the Mompos Depression are home to a rich variety of species, including wading birds such as these wintering Great Egrets.



A view of the coastal city of Barranquilla, where the Magdalena River reaches the sea.

© Pablo Garcia / Flickr

connectivity could produce an increase of up to about 900 m³/s (+7.2%) in the magnitude of peak flows during extremely wet conditions, such as La Niña 2010–2011, (which historically occur on average once in 30 years on average). This is equivalent to 9.4 billion m³ of additional floodwaters in the areas downstream of the Mompos Depression, such as the industrial and urban zones of Barranquilla.

Conclusions and next steps

This project addresses the need to find pathways for hydropower development that expand the energy supply, but also work for communities and nature. The WEAP model of the Magdalena River Basin and the Mompos Depression is a useful tool to help identify system-scale solutions. The WEAP enhancements developed through this work allow for a new suite of model studies that can simulate large-scale dynamics of floodplain inundation. This work shows that the dynamics of water storage in the floodplains on a monthly to decadal scale are driven by climatic variations at the basin scale, and can be represented within the model. This makes WEAP the first platform able to successfully resolve the floodplain water balance at medium-

to-large scales (about 10,000 km²), and link the simulation of these dynamics to simulations of water management practices. This tools will be useful to researchers and planners tackling similar challenges around the world.

In terms of management implications, our model estimates that proposed upstream hydropower infrastructure has an aggregate storage and allocation capacity similar to the magnitude of the episodic storage of water on floodplains in the Mompos Depression during average to dry periods (about 15 billion m³). Cumulative impacts of the operation of hydropower plants would result in alterations of key components of flow regime and wetland dynamics. This emphasizes the need to establish basin-scale water allocation rules that allow for the preservation of floodplain ecosystems dynamics.

Climate change is making both the frequency and intensity of La Niña events increasingly uncertain, and affecting water flows more broadly. In this context, the potential adverse effects of development of water management infrastructure, including the risk of increased vulnerability of communities to extreme floods,

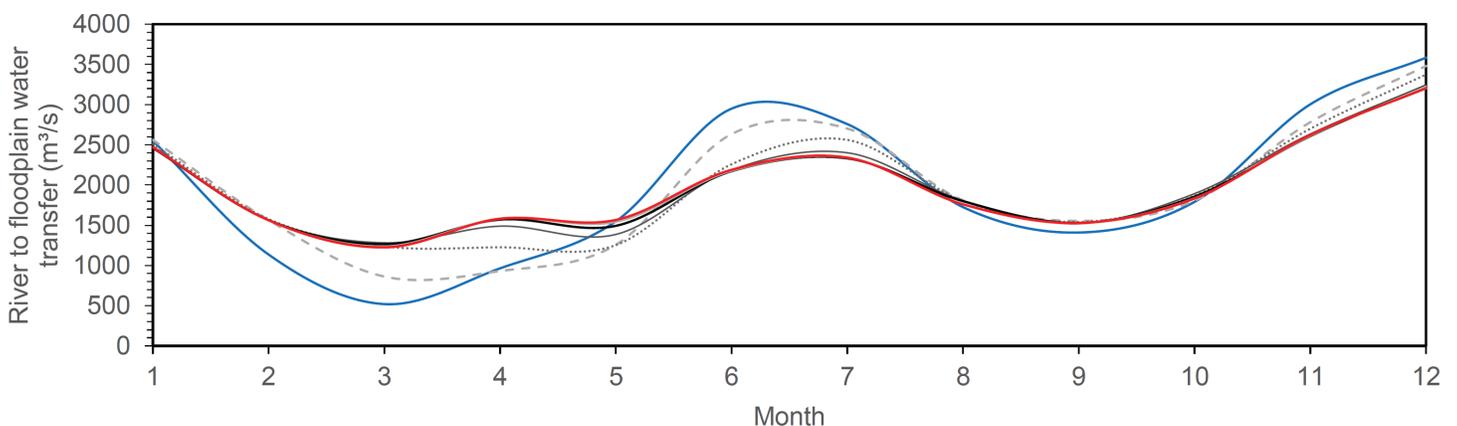


Figure 5: Changes in average seasonal pattern of river and flood plain water exchanges

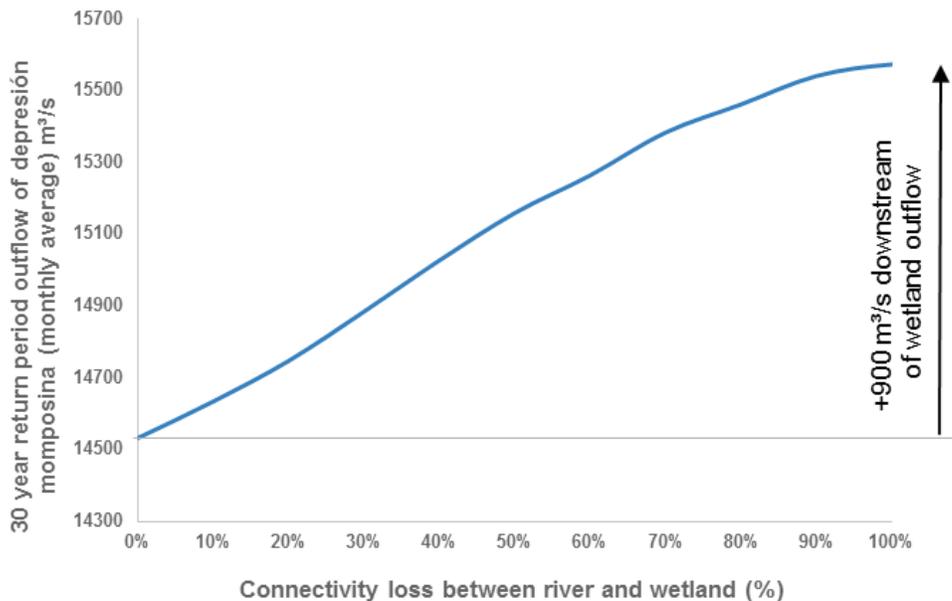
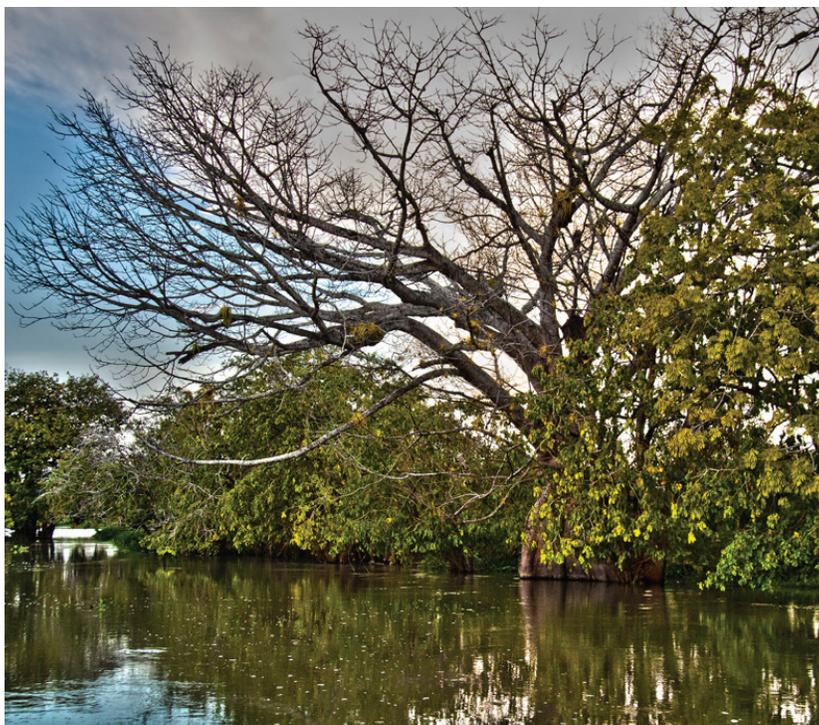


Figure 6: Trade-off of connectivity loss between river and wetlands in terms of the magnitude of extreme peak flow downstream of the Mompos Depression.

need to be carefully evaluated. The potential for creating maladaptive conditions, such as increasing flood risk by reducing medium flow events in this region, is very real.

Sustainable development in Colombia and other countries will require a better understanding of linkages between climate change and variability, water systems operation, and floodplain dynamics. The approach presented here, which can be replicated elsewhere using the enhanced WEAP, can thus provide critical insights to guide infrastructure development and ecosystem conservation projects.



The Ayapel wetland in the Mompos Depression is home to a great variety of flora and fauna, and supports many subsistence fishermen.

Published by:

Stockholm Environment Institute
SEI - U.S. Davis Office
400 F Street
Davis, CA 95616, USA
Tel: +1 530 753 303

The Nature Conservancy
Colombia
Calle 67 No. 7 - 94 Piso 3
Bogotá, Colombia
www.mundotnc.org

Author contacts:

Hector Angarita, hector.angarita@tnc.org
Juliana Delgado, jdelgado@tnc.org
Bart Wickel
bart.wickel@sei-international.org
Marisa Escobar
marisa.escobar@sei-international.org

sei-international.org
2015

Twitter: @SEIresearch, @SEIclimate

HOJA DE DATOS

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO OTÚN, EN COLOMBIA UNA HERRAMIENTA DE ANALISIS DE DECISIONES ROBUSTAS (ADR)

Localización: Colombia. Departamento de Risaralda.

Colaboradores: Grupo de Investigación, Ingeniería y Sociedad-EIS de la Universidad Tecnológica de Pereira, Stockholm Environment Institute (SEI), Grupo de Investigación, Desarrollo y estudio del Recurso Hídrico y el Ambiente-CIDERA de la Universidad del Quindío, Instituto de Investigación. y Desarrollo de Abastecimiento de Agua, Saneamiento y Conservación del Recurso Hídrico–CINARA, de la Universidad del Valle. Stockholm Environment Institute (SEI). Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ), Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Aguas y Aguas de Pereira (A&A).

Financiado por: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés).

Apoyo Técnico y Científico: Stockholm Environment Institute (SEI), The Nature Conservancy (TNC), IDEAM, National Center for Atmospheric Research (NCAR).

Duración: Julio 2012 – Junio 2015 (3 Años)

Destacados

- Se desarrolló un modelo general de la cuenca del río Otún, en base mensual, con cierre hidrológico en la captación multipropósito de la ciudad de Pereira que se usa para abastecer, total y parcialmente, a las ciudades de Pereira y Dosquebradas respectivamente, además de la empresa de Energía de Pereira. Los puntos de interés fueron definidos teniendo en cuenta las subcuencas que aportan los mayores caudales al río. El propósito de este modelo consistió en realizar un análisis del impacto del cambio climático sobre la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento multipropósito de la ciudad de Pereira.
- Se desarrolló un modelo específico (zoom) de la zona de páramo, en base diaria, con el propósito de estimar el aporte de este ecosistema estratégico, en términos de caudal, para las ciudades de Pereira y Dosquebradas con sus diferentes usos del recurso hídrico.

Introducción

La gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) ha sido el marco de referencia tanto para la construcción de política pública en Colombia como para la ejecución de proyectos relacionados con la regulación de la oferta y la administración de la demanda del recurso hídrico (Blanco, 2008). Cuando se incorpora el cambio climático en la GIRH la complejidad y los niveles de incertidumbre aumentan; por lo tanto, la adopción de metodologías que incorporen la incertidumbre climática para evaluar su impacto sobre la hidrología y la calidad del agua son necesarias.

Este reporte tiene como objetivo mostrar los resultados principales de un proyecto, liderado por el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI, por sus siglas en inglés) y financiado por USAID-Colombia, que busca la creación de capacidades, a través del uso del XLRM y el software WEAP en un marco de Análisis de Decisiones Robustas (ADR), para incorporar el cambio climático en la gestión del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica del río Otún.

¿Qué medidas de adaptación surgen como las más promisorias basados en el estudio realizado?

Modelo general de la cuenca del río Otún – Priorización de la Demanda de Agua

En este modelo a escala de tiempo de mensual, además de la oferta hídrica, se consideró la demanda que corresponde a sus principales concesiones de agua: i) agua para consumo humano en los municipios de Pereira y Dosquebradas (2.35 m³/s) y ii) generación de energía (5 m³/s). Adicional a estas demandas, se consideró la garantía de un caudal de 3 m³/s como caudal ambiental en el río después de la captación multipropósito.



Foto 1 Río Otún

De acuerdo a lo anterior, se contrastaron la suma de todas las demandas (10.35 m³/seg) con la oferta hídrica, obteniendo unas altas condiciones de vulnerabilidad del sistema hídrico a la altura de Nuevo Libaré. La vulnerabilidad se asoció a las

veces en las que el río no podría suplir las demandas sin afectar a ningún usuario y al ecosistema acuático (fallas del sistema). En función de lo anterior, una alta vulnerabilidad (color rojo en el mapa de vulnerabilidad) se asocia a las muchas veces en las que la demanda es superior a la oferta, lo cual ocurre todos los años especialmente en los meses de enero-febrero y julio-agosto, debido al régimen bimodal de la precipitación predominante en cuencas de montaña localizadas en la región Andina de Colombia.

La estrategia de gestión primordial consistió en la priorización de las demandas, considerando el siguiente orden: 1) ambiental, 2) consumo humano Y 3) energía. Encontrado como resultado que el principal impacto en la alta vulnerabilidad del sistema obedece a la generación de energía.

¿Qué evidencia respalda la implementación de estas medidas?

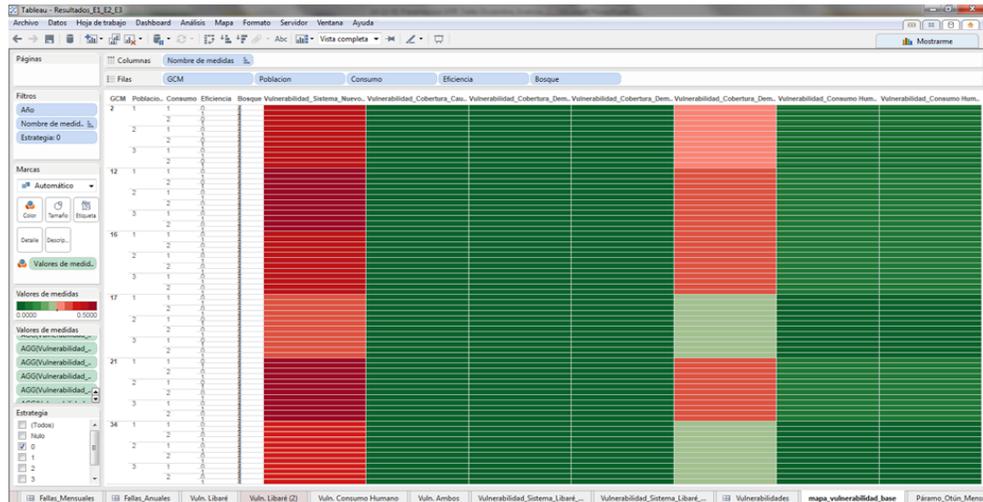


Figura 1. Mapa de Vulnerabilidad para el Análisis del Sistema Hídrico en el Río Otún a la altura de la Captación Multipropósito existen en el Sector de Nuevo Libaré, Región Andina de Colombia.

El análisis del mapa de vulnerabilidad muestra en la primera columna (todas las filas rojas) las condiciones de alta vulnerabilidad del sistema hídrico en el río Otún a la altura de Nuevo Libaré, sector de la captación multipropósito. Al realizar un análisis más detallado sobre la cobertura de cada una de las demandas: ambiental (segunda columna, todo verde), consumo humano de Pereira (tercera columna, todo verde), consumo humano de Dosquebradas (cuarta columna, todo verde), y generación de energía (quinta columna, rojos y verdes); se encuentra como resultado que el principal impacto en la alta vulnerabilidad del sistema obedece a la generación de energía, y que será de mayor o menor grado dependiendo del escenario de cambio climático, por ejemplo para los escenarios 17 y 34 la vulnerabilidad es baja (color verde dentro de la columna 5), mientras que para los escenarios restantes es muy alta. Posteriormente, se analizó la demanda priorizada para caudales ambientales y consumo humano, restringiendo la demanda energética en caso de que no exista la oferta suficiente, encontrando bajas vulnerabilidades para las condiciones actuales (columna 6, todo verde) y proyección futura (columna 7, todo verde).

¿Cuáles son los pasos necesarios para implementar estas medidas?

1. Se recomienda implementar la estrategia de gestión relacionada con priorización de las demandas, considerando el siguiente orden: 1) ambiental, 2) consumo humano Y 3) generación de energía.
2. Socializar los resultados de la priorización con los actores implicados a fin de concertar las reglas de operación del sistema que se ajusten a esta decisión robusta.
3. Es necesario analizar nuevas alternativas de aprovechamiento del recurso hídrico por parte del sector energético, tales como las concesiones variables a lo largo del año que reconozcan la variabilidad hidrológica, ajustándose en su operación para maximizar la generación en las épocas de caudal superior al promedio, y de restricción en los momentos de estiaje.

Del Modelo de Páramo - Mantener y Fortalecer las acciones de conservación



Foto 2 Cuenca del Río Otún

La cuenca del río Otún, al ser la mejor conservada alrededor del macizo volcánico de los nevados, se constituye en el mejor ejemplo de los beneficios que aporta la conservación de cuencas en términos de regulación hidrológica. Cuando se analizan los resultados del modelo de páramo para el año 2040, que resulta ser para todos los modelos usados un año crítico de baja precipitación, se encuentra que el páramo aporta hasta un 80% del caudal base en el sitio de captación de agua de la ciudad. Este resultado, ratifica lo acertadas que han sido los esfuerzos de Aguas y Aguas de Pereira y la Corporación Autónoma Regional de Risaralda de invertir, desde hace más de 60 años, en la conservación de la cuenca y más específicamente de invertir en la conservación de la zona de páramos.

Cuando se revisa el aporte del caudal aportado por el páramo al caudal del río Otún medido en la captación multipropósito de nuevo Libaré, se tiene que entre los

años 2014 a 2050, el caudal del páramo representa alrededor del 40% del total del caudal. Cuando se revisa el modelo para el año para el año 2040, que resulta ser para todos los modelos climáticos usados un año crítico de baja precipitación, se encuentra que el páramo aporta hasta un 80% del caudal base en el sitio de captación de agua de la ciudad.

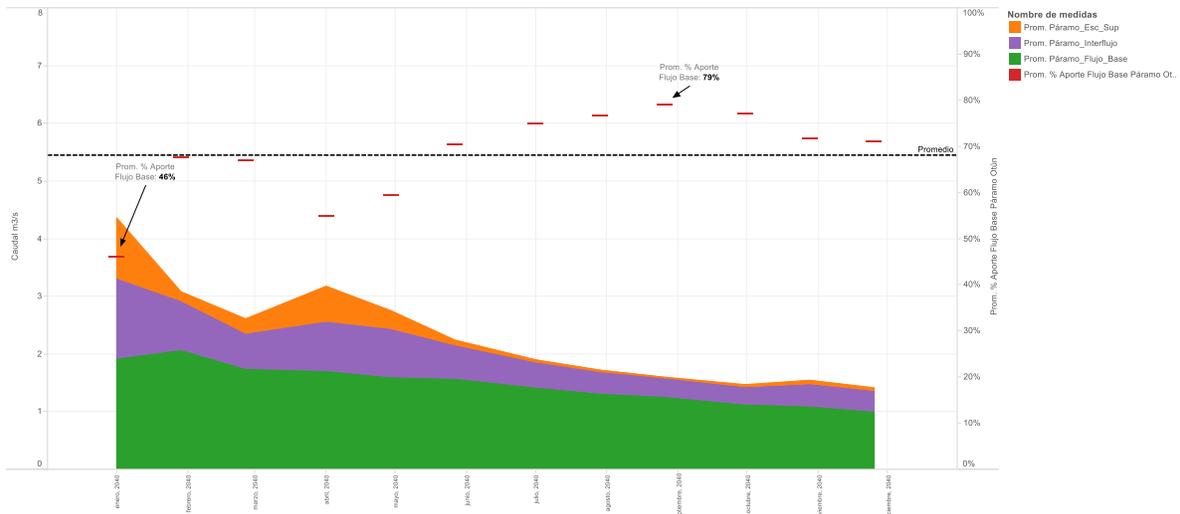


Figura 2. Aporte del flujo base en el caudal aportado por el Páramo en los periodos más secos en el río Otún

¿Cuáles son los pasos necesarios para implementar estas medidas?

1. Mejorar las condiciones de instrumentación hidroclimática en la zona de páramos. Por la baja densidad de estaciones hidroclimatológicas existentes allí, la información disponible sigue siendo poca. La importancia del páramo en términos de su regulación hidrológica amerita mejorar cantidad, calidad y la disponibilidad de información. Se debe formular un programa de instrumentación del páramo en el marco de la Red Hidroclimatológica de Risaralda.
2. Socializar los resultados obtenidos hasta el momento con todos los actores, incluidas las comunidades asentadas en el páramo.
3. A pesar de su importancia, en la zona de páramo persisten conflictos relacionados con las coberturas y uso de la tierra, con los derechos de propiedad dentro de las zonas bajo protección, etc. Es importante el desarrollo de un proceso orientado a mejorar la gobernanza del agua en la zona, que trascienda las iniciativas de CARDER y Aguas y Aguas de Pereira.

Recomendaciones

- Al contrastar las demandas del río Otún producto de la captación multipropósito a la altura de Nuevo Libaré (10.35 m³/seg) con la oferta hídrica, se obtuvieron unas altas condiciones de vulnerabilidad del sistema hídrico, asociada a las muchas veces en las que la demanda es superior a la oferta, lo cual ocurre en los meses de enero-febrero y julio-agosto, debido al régimen bimodal de la precipitación predominante en cuencas de montaña localizadas en la región Andina de Colombia.
- El principal impacto en la alta vulnerabilidad del sistema obedece a la generación de energía, y será de mayor o menor grado, dependiendo del escenario de cambio climático.
- Si se implementa la estrategia de gestión relacionada con priorización de las demandas con el orden: 1) ambiental, 2) consumo humano Y 3) generación de energía, se encontrará mayor resiliencia al cambio climático, puesto que se disminuye la vulnerabilidad del sistema. No obstante, se deberán analizar y concertar con la Empresa de Energía de Pereira nuevas alternativas de aprovechamiento del recurso hídrico, tales como una concesión variables a lo largo del año que se ajuste en su operación para maximizar la generación en las épocas de caudal superior al promedio, y restringir la captación en los momentos de estiaje.
- La modelación de la cuenca del río Otún ha permitido conocer el aporte del ecosistema páramo frente al de otras coberturas en la zona, encontrando que en los meses de caudales bajos como agosto, el páramo representa hasta un 80% del flujo del cual se abastece en el sector de Nuevo Libaré para los usos de consumo humano y energía. Los resultados muestran el importante rol del páramo como regulador hidrológico. Esto implica que ante las incertidumbres del cambio climático, la conservación del ecosistema Páramo se convierte en una de las estrategias que proporcionan mayor resiliencia para la sociedad en su conjunto en la cuenca; debiendo continuar los esfuerzo interinstitucionales que se han venido llevando a la práctica en los últimos 60 años.
- Estos resultados, seguro animarán a la CARDER y Aguas y Aguas de Pereira a seguir soportando los programas de conservación en su jurisdicción, no solamente desde la

justificación de la oferta y regulación hidrológica de los mismos, sino también por los beneficios que en término de biodiversidad resultan concomitantes a la protección del agua. De lo anterior, se vislumbran ya iniciativas por parte de Aguas y Aguas de Pereira para formular un proyecto, junto a SEI, CARDER y la UTP, orientado a fortalecer la gobernanza en la cuenca del río Otún.

Contacto del Proyecto en USAID: Carolina Figueroa, cfigueroa@usaid.gov

Contacto del proyecto en SEI: Marisa Escobar, marisa.escobar@sei-us.org

Contactos de esta hoja de dato en :UTP: Juan Mauricio Castaño Rojas, jmc@utp.edu.co

HOJA DE DATOS

MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA EN COLOMBIA - UNA HERRAMIENTA DE ANALISIS DE DECISIONES ROBUSTAS (ADR)

Localización: Colombia. Departamento del Quindío, Risaralda y Valle del Cauca.

Colaboradores: Grupo de Investigación, Desarrollo y estudio del Recurso Hídrico y el Ambiente-CIDERA de la Universidad del Quindío. Grupo de Investigación, Ingeniería y Sociedad-EIS de la Universidad Tecnológica de Pereira. Instituto de Investigación y Desarrollo de Abastecimiento de Agua, Saneamiento y Conservación del Recurso Hídrico–CINARA, de la Universidad del Valle. Stockholm Environment Institute (SEI). Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ), Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Aguas y Aguas de Pereira (A&A).

Financiado por: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés).

Apoyo Técnico y Científico: Intituto de Ambiente de Estocomo (SEI), The Nature Conservancy (TNC), IDEAM, National Center for Atmospheric Research (NCAR).

Duración: Julio 2012 – Junio 2015 (3 años)

Destacados

- Se desarrolló un modelo hidrológico y del sistema de recursos hídricos para la cuenca del río La Vieja, el cual es una herramienta para el Análisis de Decisiones Robustas (ADR) que permite generar y evaluar escenarios futuros asociados a incertidumbres de tipo climático, crecimiento poblacional, consumo per-cápita, eficiencia de los sistemas de abastecimiento y cambios en el área de coberturas de café. Igualmente esta herramienta de ADR permite evaluar diferentes estrategias de adaptación al cambio climático las cuales en este caso se enfocan en la reducción de los índices de agua no facturada y la implementación de caudales ecológicos.
- Aplicando la herramienta WEAP, se modelaron 37 corrientes hídricas tributarias directas e indirectas del cauce principal en la cuenca del río La Vieja, considerando 16 demandas de agua para consumo humano, 4 demandas para generación hidroeléctrica sobre el río Quindío, además de las demandas agrícolas y cafeteras en zonas de captación.
- De la combinación de las incertidumbres y estrategias de adaptación se tiene un total de 1728 posibles escenarios, los cuales se ejecutaron mediante una rutina de programación computacional (Scripting) y posteriormente fueron analizados mediante una herramienta de visualización como lo es Tableau.

Introducción

La modelación hidrológica y de recursos hídricos de la cuenca del río La Vieja se lleva a cabo en el marco del proyecto “Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’”, financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y ejecutado conjuntamente por el Centro de Estados Unidos del Instituto de Ambiente de Estocolmo U.S. (SEI-US), la Universidad del Quindío (UniQuindío), la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) y la Universidad del Valle (UniValle). Igualmente este proyecto cuenta con la colaboración y el apoyo de las Corporaciones Autónomas Regionales de los departamentos del Quindío (CRQ), Risaralda (CARDER) y Valle del Cauca (CVC), además de la empresa de servicios públicos Aguas y Aguas de Pereira (A&A de Pereira). El objetivo principal de este proyecto es la creación de capacidad frente al cambio climático en las corporaciones autónomas regionales CRQ, CVC y CARDER, e igualmente brindar a los tomadores de decisión una herramienta de ADR, como lo es el caso de WEAP, que es un modelo útil para la planificación y gestión del recurso hídrico.

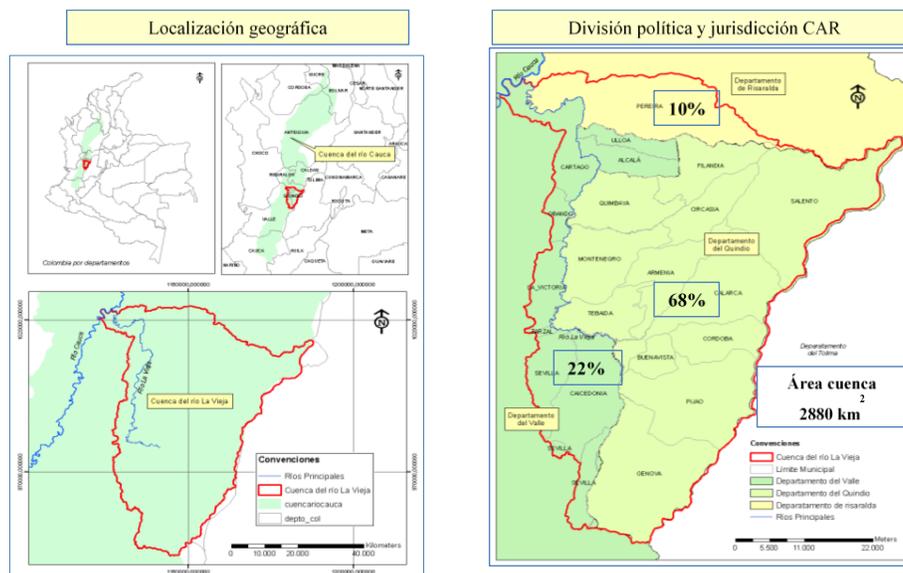


Figura 1. Localización geográfica de la cuenca del río La Vieja

La cuenca hidrográfica del río La Vieja se encuentra ubicada en el centro occidente Colombiano y forma parte de la denominada eco-región del Eje Cafetero. Geográficamente la cuenca del río La Vieja se enmarca dentro de las coordenadas 4° 04' y 4° 49' de Latitud Norte y 75° 24' y 75° 57' de Longitud Oeste. El río La Vieja se forma por la confluencia de los ríos Quindío y Barragán, y constituye uno de los principales tributarios de la vertiente del río Cauca en Colombia por su dinámica hidrológica y por ser una cuenca compartida por tres departamentos. La cuenca cuenta con 360 km de drenajes de primer orden que desembocan al cauce principal, un rendimiento hídrico general de 34.34 l/s/km² y una oferta hídrica de 2.975,74 Mm³/año (CRQ et al, 2007). La cuenca del río La Vieja tiene un área aproximada de 2880 km² distribuida entre los departamentos del Quindío (68%), Valle del Cauca (22%) y Risaralda (10%) (Figura 1). Esta división política lleva a que la toma de decisiones en la cuenca se realice de forma compartida por las autoridades ambientales con jurisdicción en ésta (CRQ, CVC, CARDER) a través de la comisión conjunta, la cual es una figura administrativa de la cuenca.

¿Qué medidas de adaptación surgen como las más promisorias basados en el estudio realizado?

En el desarrollo de este proyecto se evaluaron diferentes incertidumbres asociadas principalmente al cambio climático, crecimiento poblacional, consumo per cápita y reducción de pérdidas en los sistemas de abastecimiento. Igualmente se realizó el análisis y evaluación de algunas estrategias de adaptación ante el eventual escenario de cambio climático, destacando la Reducción del Índice de Agua No Facturada (RIANF) y la implementación de Caudales Ecológicos (Tabla I).

Tabla I. Incertidumbres y estrategias ejecutadas

Incertidumbres	Estrategias
Cambio climático (6 escenarios)*	No estrategia
Cambio demográfico (4 escenarios)**	Reducción del índice de agua no facturada (RIANF).
Consumo per cápita (3 escenarios) **	Implementación de caudales ecológicos.
Reducción de pérdidas (2 escenarios) **	

* incluye clima histórico

** incluye escenario base o actual.

Con la combinación de estas incertidumbres y estrategias, se tienen en total 1728 posibles escenarios futuros en la cuenca del río La Vieja. Con el fin de interpretar y analizar los resultados de estos escenarios se desarrolla una herramienta de “Análisis de Decisiones Robustas (ADR)”, basada en el modelo de recursos hídricos WEAP, rutinas de programación (Scripting) y herramientas de visualización como Tableau.

Uno de los objetivos de este estudio es realizar un análisis de la oferta y la demanda hídrica en la cuenca del río La Vieja. Para este análisis se consideran las principales demandas de agua, las cuales corresponden a 17 cabeceras municipales y 4 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH). Igualmente es de resaltar que este análisis plantea la primicia de que la mayor prioridad en la demanda de agua se dará sobre el caudal ecológico, seguido del consumo humano y finalmente otros usos del agua.

¿Qué evidencia respalda la implementación de estas medidas?

La Figura 2 representa el mapa de vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de agua urbana de los 16 municipios que se abastecen de la cuenca del río La Vieja en un horizonte de tiempo proyectado al 2050. En este mapa se evalúan los escenarios asociados a las incertidumbres presentadas en la Tabla I, igualmente se considera la condición de escenario base, lo cual implica la no implementación de estrategias. La interpretación del mapa de la Figura 2 se realiza mediante una escala de color (rojo en este caso) donde el color más suave representa una baja vulnerabilidad, y el color más fuerte representa una mayor vulnerabilidad en cuanto a la cobertura de la demanda de agua urbana.



Figura 2. Mapa de vulnerabilidad cobertura de la demanda de agua urbana cuenca del río La Vieja bajo condiciones de incertidumbre (eje vertical incertidumbres – eje horizontal centros urbanos).



Figura 3. Mapa de vulnerabilidad cobertura de caudal ecológico cuenca del río La Vieja (eje vertical incertidumbres – eje horizontal sitios de captación).

Como puede apreciarse en la Figura 2 la mayor vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de agua bajo el análisis de esta combinación de escenarios de incertidumbres de clima, cambio demográfico, consumo per cápita y eficiencia del sistema de abastecimiento; se presenta sobre los municipios de Armenia, Circasia, La Tebaida y Salento. Es de resaltar que estos cuatro municipios se abastecen de las aguas del río Quindío, convirtiéndolo en la fuente de abastecimiento con mayor presión sobre el recurso hídrico.

La Figura 3 es similar a la Figura 2, en este caso se presenta la vulnerabilidad para la cobertura de la demanda del caudal ecológico¹ en la cuenca del río La Vieja, en esta figura se puede apreciar como bajo la combinación de incertidumbres asociadas al clima, cambio demográfico, consumo per cápita y eficiencia del sistema de abastecimiento (sin implementación de estrategias), la vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de dicho caudal es baja en gran parte de la cuenca, esto debido a la alta prioridad definida para el caudal ecológico acorde a la normatividad colombiana y a las diferentes reglamentaciones expedidas por las Corporaciones Autónomas Regionales (CRQ, CARDER, CVC), la cual ha sido representada en esta modelación de la cuenca. Igualmente se puede observar problemas de cobertura de la demanda de caudales ecológicos principalmente aguas abajo de las bocatomas de los municipios de La Tebaida, bocatoma PCH El Bosque, bocatoma PCH Campestre y PCH La Unión. Al igual que para la cobertura de la demanda urbana, la mayor vulnerabilidad de cobertura del caudal ecológico se da sobre el cauce del río Quindío.

Como medidas de adaptación se desarrollan en el modelo las estrategias asociadas a la implementación de caudales ecológicos y la Reducción de los Índices de Agua No Facturada (RIANF); es de resaltar que el río Quindío actualmente cuenta con caudales ecológicos definidos, por lo tanto no se aplica esta estrategia para el mismo, sin embargo para los demás tributarios del río La Vieja se implementa esta estrategia de caudal ecológico mediante la metodología del IDEAM, la cual sugiere realizar la estimación de un caudal ambiental (ecológico) constante igual a un porcentaje de descuento (25%) del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente (MAVDT, 2004).

Como se ha podido identificar la mayor presión sobre el recurso hídrico se encuentra en el río Quindío, por lo que a continuación se presenta un análisis más detallado de la cobertura de la demanda urbana y de caudales ecológicos sobre el mismo. Con el fin de simplificar la presentación de dichos resultados, se realiza el análisis para un escenario crítico que representa las condiciones extremas de clima, los cuales corresponden a un aumento del 16% y una reducción del 21% en la precipitación, además se considera un aumento de 1.1 °C en la temperatura. En cuanto al cambio demográfico se considera la condición más desfavorable la cual corresponde a un crecimiento alto. Igual en relación al consumo per cápita se considera un aumento en la dotación de 10 l/hab*día. Finalmente se considera que la eficiencia del sistema de abastecimiento en su condición desfavorable, la cual corresponde con las pérdidas actuales.

Bajo las condiciones de este escenario se buscó evaluar los cambios en la vulnerabilidad de la cobertura de la demanda urbana y de los caudales ecológicos en el río Quindío bajo la

¹ Entendiéndose el Caudal Ecológico como aquel caudal mínimo que se debe dejar en una corriente de agua, inmediatamente después de un aprovechamiento hídrico o captación, con el fin de garantizar la vida y el desarrollo de la flora y fauna presentes en el medio acuático.

implementación de las estrategias de adaptación (RIANF y Caudal Ecológico), comparados con el escenario base, el cual en este caso específico correspondió a las condiciones de clima histórico y a la no implementación de estrategias. Es de resaltar que el simple hecho de evaluar los escenarios de clima ya se está involucrando un cambio en la vulnerabilidad de la cuenca. A continuación la Figura 4 presenta dicho cambio de la vulnerabilidad asociado al escenario descrito anteriormente.

En la Figura 4 presenta un análisis comparativo entre la situación base sin implementación de estrategias y el caso en el cual se activaron las estrategia del caudal ecológico y RIANF para evaluar el porcentaje de cambio en la vulnerabilidad de la cobertura de la demanda de agua urbana. Allí se puede observar que el impacto causado por la estrategia del caudal ecológico en cuanto a la mejora de la cobertura de demanda de agua de los municipios es muy bajo, cercano al 0%, e incluso en para los municipios de La Tebaida y Salento se observó que esta estrategia aumenta la vulnerabilidad de la cobertura de la demanda. Sin embargo esta estrategia es de gran importancia al momento de implementar y desarrollar instrumentos de planificación de la cuenca hidrográfica del río La Vieja ya que genera beneficios para la flora y fauna acuática, ayudando a la conservación de las fuentes hídricas y a la protección del medio ambiente.

Estrategia	Clima	Poblacion	Consumo	Eficiencia	Armenia	Alcala	Buena Vista	Caicedonia	Calarca	Cartago	Circasia	Cordoba	Filandia	Genova	La Tebaida	Montenegro	Pijao	Quimbaya	Salento	Ulloa
Sin Estrategia	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				0.00%				0.00%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				0.00%				0.00%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				0.00%				0.00%	
QE	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				1.67%				0.00%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				1.25%				1.30%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						-0.76%				0.00%				-0.26%	
RIANF	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	-4.92%						-3.40%				-4.17%				-4.36%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	-3.70%						-2.53%				-2.50%				-1.30%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	-6.52%						-4.53%				-5.15%				-3.93%	

Valores de medidas
-0.1000 0.1000

Figura 4. Mapa % de cambio de vulnerabilidad en la cobertura de la demanda urbana, escenario base + estrategias.

Por otro lado bajo el escenario de la implementación de la estrategia de la RIANF, comparada con el escenario base (sin estrategia), se puede observar que ésta genera cierta mejora en cuanto al abastecimiento de centros urbanos, principalmente en los municipios de Salento, Armenia, Circasia y La Tebaida; en general la vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de agua de estos municipios, se ve reducida en promedio para el escenario analizado en un 3.2 % para Salento, 5.0 % para Armenia, 3.5 % para Circasia y 4.0 % para La Tebaida.

Dado que el cambio en la vulnerabilidad de la cobertura en la demanda urbana es bajo (inferior al 5%) y la evidencia que muestra este estudio sobre los problemas del abastecimiento de centros poblados, se recomienda a la Autoridad Ambiental CRQ realizar estudios enfocados a evaluar otras posibles fuentes de abastecimiento de agua, entre las cuales se pueden citar, a manera de ejemplo el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, e igualmente la posibilidad de un embalse que permita suplir la demanda de agua en las épocas de escasez.

La Figura 5 presenta el mismo análisis comparativo que la Figura 4, pero en este caso se buscó evaluar el porcentaje de cambio en la vulnerabilidad de la cobertura de la demanda de los caudales ecológicos, en el caso en que se activaron las estrategias del caudal ecológico y RIANF.

Estrategia	Clima	Poblacion	Consumo	QE Bocat. EPA Armenia	QE Bocat. Alcala	QE Bocat. Buenavista	QE Bocat. Calcedonia	QE Bocat. Calarea	QE Bocat. Circasia	QE Bocat. Cordoba	QE Bocat. EB EPA Ar.	QE Bocat. Filandia	QE Bocat. Genova	QE Bocat. La Tebaida	QE Bocat. Montenegro	QE Bocat. PCH Bayona	QE Bocat. PCH El Bos.	QE Bocat. PCH El Ca.	QE Bocat. PCH La Uni.	QE Bocat. Pijao 01	QE Bocat. Pijao 02	QE Bocat. Quimbaya	QE Bocat. Salento	QE Bocat. Ulica	QE EMP Navanco	QE Bocat. Caritago
Sin Estrategia	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	0.00%							0.00%			0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%						0.00%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	0.00%							0.00%			0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%						0.00%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	0.00%							0.00%			0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%						0.00%	
QE	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	0.00%							0.00%			0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%						0.00%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	0.00%							0.00%			0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%						0.00%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	0.00%							0.00%			0.00%		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%						0.00%	
RIANF	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	0.00%							-8.33%			-6.12%		-4.65%	-4.07%	-2.90%	-7.69%						0.00%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	0.00%						0.00%	0.00%			-11.11%		-10.00%	-3.70%	-13.33%	-3.70%						0.00%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	0.00%						-11.11%	-9.43%			-9.43%		-7.14%	-7.19%	-5.33%	-8.93%						0.00%	

Valores de medidas



Figura 5. Mapa % de cambio de vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de caudales ecológicos, escenario base + estrategias.

Como se esperaba para el caso del río Quindío la estrategia del caudal ecológico no genera ningún impacto pues dicho río ya contaba con caudales ecológicos definidos por la CRQ y la mayor prioridad que se definió para esta demanda hacen que el modelo garantice dicha cobertura durante todo el periodo de modelación. Para el caso en el cual se activa la estrategia RIANF se puede apreciar cómo se redujo la vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de caudales ecológicos principalmente en los sitios de captación de la estación de bombeo de Empresas Publicas de Armenia (EPA) y las bocatomas del municipio de La Tebaida, PCH Campestre, PCH Bayona, PCH La Unión y PCH El Bosque, con valores de reducción que oscilan entre 2.90% y el 13.33% para el escenario analizado.

¿Cuáles son los pasos necesarios y recomendaciones para implementar estas medidas?

A continuación se lista una serie de recomendaciones sobre las medidas a llevar a cabo, con el fin de mejorar las condiciones de abastecimiento de los centros poblados y demás demandas hídricas de la cuenca del río La Vieja.

1. Como se pudo apreciar en este estudio, el río Quindío (principal tributario del río La Vieja) es la corriente hídrica que presenta mayor presión y estrés hídrico en cuanto al abastecimiento de centros urbanos, por lo que se recomienda a la autoridad ambiental priorizar estudios de ordenación y reglamentación sobre esta corriente con el fin de mejorar los balances hídricos de oferta y demanda, de tal manera que permitan mitigar o disminuir el impacto que el cambio climático pueda generar sobre el abastecimiento de los centros poblados y demás demandas hídricas.
2. Dado que las estrategias analizadas (caudal ecológico y reducción del índice de agua no facturada) no generan un gran impacto de adaptación en cuanto a la cobertura de demanda de agua para los municipios, se recomienda a la autoridad ambiental, estudiar y evaluar otras alternativas de abastecimiento, entre las cuales se citan a manera de ejemplo el uso conjunto de aguas subterráneas y superficiales, al igual que la posible implementación de un embalse, con el fin de mejorar las condiciones de abastecimiento urbano, especialmente en los municipios de Salento, Armenia, Circasia y La Tebaida.
3. Se recomienda a la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) la apropiación de estas herramientas de Análisis de Decisiones Robustas (ADR) para la planificación y gestión de los recursos hídricos, con el fin de continuar realizando estudios a nivel detallado para las diferentes subcuencas del río La Vieja.

Conclusiones

- De acuerdo a los escenarios de cambio climático y modelos de circulación general implementados en la cuenca del río La Vieja y sus tributarios, son evidentes los efectos del clima sobre el recurso hídrico y sus implicaciones a futuro en las diferentes actividades socioeconómicas en la región. Esta situación, debe ser el punto de partida para convocar a los diferentes actores en la cuenca, y adquirir mayor sensibilidad, responsabilidad y acciones sobre los efectos generados en los recursos hídricos y medio ambiente.
- Los municipios que presentan mayor vulnerabilidad en cuanto a la cobertura de la demanda urbana son los municipios de Salento, Circasia, Armenia y La Tebaida. Estos municipios tienen la particularidad que todos se abastecen de la cuenca del río Quindío, por lo cual se concluye que el río Quindío es el que presenta la mayor presión y estrés sobre el recurso hídrico.
- Con esta modelación del sistema de recursos hídricos de la cuenca del río La Vieja bajo escenarios de incertidumbres y estrategias, se está garantizando la cobertura de la demanda del caudal ecológico en la mayoría de los puntos de abastecimiento de la cuenca, a excepción de la bocatoma de La Tebaida, PCH El Bosque, PCH Campestre y La Unión, los cuales se encuentran sobre el cauce del río Quindío.
- Con este modelo de los sistemas de recursos hídricos de la cuenca del río La Vieja, desarrollado en WEAP, las Corporaciones Autónomas Regionales (CRQ, CARDER, CVC) cuentan con una herramienta de gestión y planificación para apoyar la toma de decisiones

en lo referente al recurso hídrico, brindando una mayor comprensión sobre el funcionamiento del sistema y permitiendo realizar análisis sobre oferta y demanda hídrica a escala temporal y espacial y bajo el análisis de los efectos del cambio climático en general.

Contacto del Proyecto en USAID: Carolina Figueroa, cfigueroa@usaid.gov

Contacto del proyecto en SEI: Marisa Escobar, marisa.escobar@sei-us.org

Contactos de esta hoja de datos: Gabriel Lozano Sandoval, galozano@uniquindio.edu.co

HOJA DE DATOS

Evaluación de estrategias para el control de la contaminación hídrica en la cuenca del río La Vieja, Colombia

Localización: Colombia. Departamentos del Quindío, Valle del Cauca y Risaralda

Colaboradores: Instituto Cinara de la Universidad del Valle, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y el Instituto de Ambiente de Estocolmo (SEI)

Financiado por: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en Inglés)

Apoyo Técnico y Científico: Instituto de Ambiente de Estocolmo (SEI) e Instituto Cinara de la Universidad del valle

Duración: 3 años

Destacados

- En el Marco del proyecto "Ríos del páramo al valle , por urbes y campiñas", se desarrolló un modelo integrado WEAP-QUAL2K para la evaluación de la cantidad y la calidad del agua del río La Vieja en Colombia. Mediante el desarrollo del modelo fue posible evaluar el impacto de la implementación de dos estrategias para el control de la contaminación hídrica a escala de cuenca hidrográfica.
- Las dos estrategias formuladas para el control de la contaminación hídrica corresponden a la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales para el sector doméstico municipal y para el sector cafetero. Ambos sectores aportan el 70% de la carga contaminante, que corresponde a 11 ton DBO₅/día, de la contaminación puntual al río La Vieja de manera directa al cauce y a través de sus fuentes tributarias.
- Mediante la simulación de la calidad del agua y considerando la implementación de las dos estrategias de control de la contaminación hídrica formuladas para la cuenca del río La Vieja, se identificó que el efecto combinado de los sistemas de tratamiento municipales y del sector cafetero presenta mejor desempeño, que la implementación de manera individual de cada una de las estrategias.

¹ Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

¿Qué medidas de adaptación surgen como las más prometedoras basadas en el estudio realizado?

Las estrategias de control de la contaminación hídrica que fueron evaluadas para este caso de estudio, consistieron en la implementación de Sistemas de Tratamiento de Agua Residual (STAR), del sector doméstico municipal y del sector cafetero.



Foto 1 Beneficio Ecológico del Café en Colombia

Para el sector doméstico municipal la estrategia consideró los STAR propuestos en los Programas de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) de los dieciocho municipios que conforman la cuenca (Alcalá, Armenia, Buenavista, Caicedonia, Calarcá, Cartago, Circasia, Córdoba, Filandia, Génova, Montenegro, Pereira, Pijao, Quimbaya, Salento, La Tebaida y Ulloa). Para cada STAR se tuvo en cuenta; el año de inicio de funcionamiento, el nivel de cobertura de

alcantarillado y su eficiencia de remoción de DBO_5 , información consultada con las Autoridades Ambientales de los

departamentos del Quindío, Risaralda y Valle del Cauca presentes en la zona de estudio. Cabe mencionar que los STAR formulados en este proyecto corresponden a un ejercicio de planificación prospectivo y hacen parte del Análisis de Decisiones Robustas (ADR), en el cual, a futuro, pueden considerarse otro tipo de sistemas.

Para el sector cafetero como ejercicio de planificación, se propone la implementación de sistemas de tratamiento anaerobio de las aguas residuales provenientes del beneficio del café. Para esta estrategia se adoptó una eficiencia de remoción de DBO_5 correspondiente al 70% (Cenicafé, 1999) y que los sistemas serían implementados por los pequeños y medianos caficultores previa implementación de beneficio ecológico². Adicionalmente la implementación de la estrategia sería de manera gradual, donde al año 2025 el 50% de los pequeños y medianos caficultores efectuaran tratamiento de sus aguas residuales y al 2040 el 50% restante implementara la estrategia.

De la evaluación realizada a la implementación de las estrategias de control de la contaminación hídrica para el sector doméstico y cafetero, en el modelo integrado WEAP-QUAL2K desarrollado, se resaltan los siguientes aspectos:

- Para todo el horizonte de simulación, entre el año 2011 y 2040, se evaluó el escenario tendencial, en el cual no se implementa ninguna estrategia de control de contaminación. Para este escenario se observó el decaimiento en la calidad del agua del río La Vieja (aumento aproximado de la DBO_5 en 1 mg/L en todo el perfil del cauce principal), debido

² Beneficio ecológico: práctica en la cual se realiza el proceso de café cereza (CC) a café pergamino seco (CPS) con una reducción del consumo de agua de hasta 40 L/@CPS (Cenicafé, 1999).

al crecimiento poblacional que origina mayor cantidad de agua residual doméstica municipal y debido al incremento de carga contaminante del sector cafetero por aumento en la producción de café.

- La implementación de la estrategia para el sector doméstico municipal fue evaluada en todo el horizonte de simulación (2011-2040), encontrando que la calidad del agua mejora su condición con una reducción aproximada de 1 mg/L de la DBO₅ en todo el perfil de calidad (Figura 2).
- La estrategia del sector cafetero fue implementada en todo el horizonte de simulación (2011-2040), observando un decremento en la concentración de DBO₅ de los principales afluentes del río Vieja y en consecuencia el mejoramiento en la calidad del cauce principal, con una disminución aproximada de 2 mg/L en todo su perfil (Figura 2). Esta estrategia presentó mejores resultados respecto a la implementación de la estrategia del sector doméstico para esta cuenca.

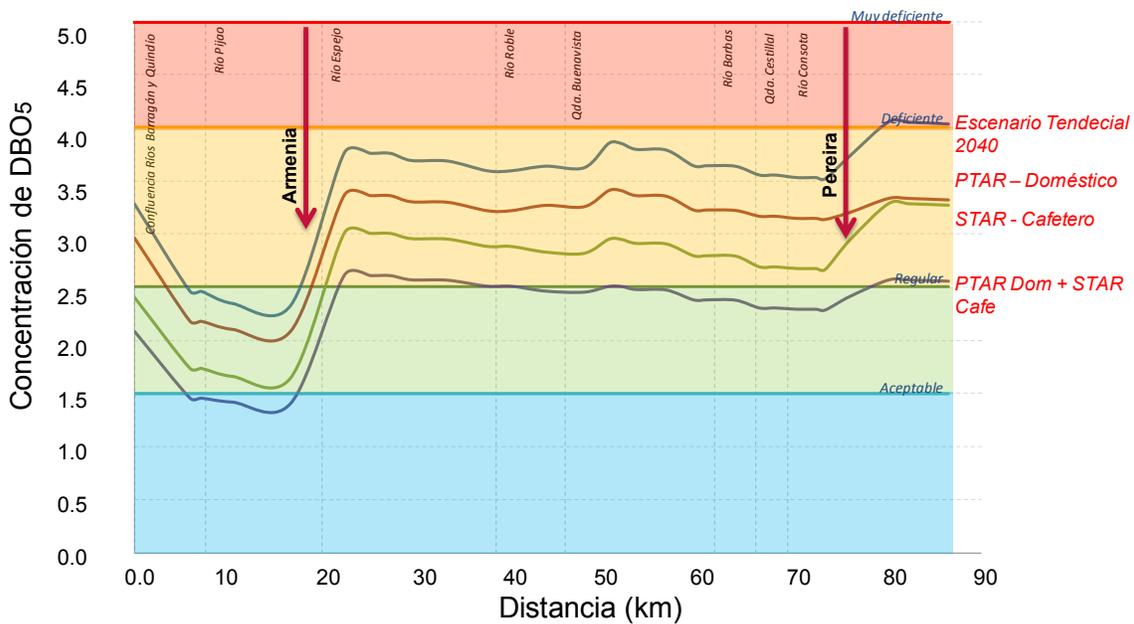


Figura 1 Perfil calidad del río La Vieja al año 2040 con implementación de estrategias

Con base en el análisis realizado mediante la simulación, se observa que la implementación combinada de ambas estrategias, sector doméstico y cafetero, presenta mejor desempeño para la calidad del agua del río La Vieja. En esta estrategia la concentración de DBO₅ disminuye aproximadamente hasta en 3 mg/L en la desembocadura del río La Vieja al río Cauca, respecto al escenario tendencial (*sin implementación de estrategias*).

¿Qué evidencia respalda la implementación de estas medidas?

Como evidencia del mejoramiento de la calidad del agua de la cuenca del río La Vieja ante la implementación de diferentes estrategias de control de la contaminación, se realizó un análisis de la vulnerabilidad del sistema hídrico, el cual consiste en cuantificar el número de veces que el sistema falla bajo un criterio de calidad del agua. Para este análisis el umbral de calidad de agua propuesto corresponde a 5 mg/L, valor definido en el Reglamento Técnico para el sector de Agua potable y Saneamiento Básico - RAS (2000) como una condición de calidad de agua muy deficiente

para consumo humano. El sistema fue evaluado en la desembocadura del río Consota al río La Vieja, antes de la captación de agua potable para el municipio de Cartago (Figuras 3 y 4).

Con los resultados de la estimación de la vulnerabilidad se observó que al no implementar estrategias de control de contaminación, el sistema presenta una probabilidad de falla de aproximadamente el 100% del tiempo, lo que significa que el río La Vieja es catalogado como una fuente deficiente para consumo humano de acuerdo con los estándares del RAS (2000) (Figura 3).

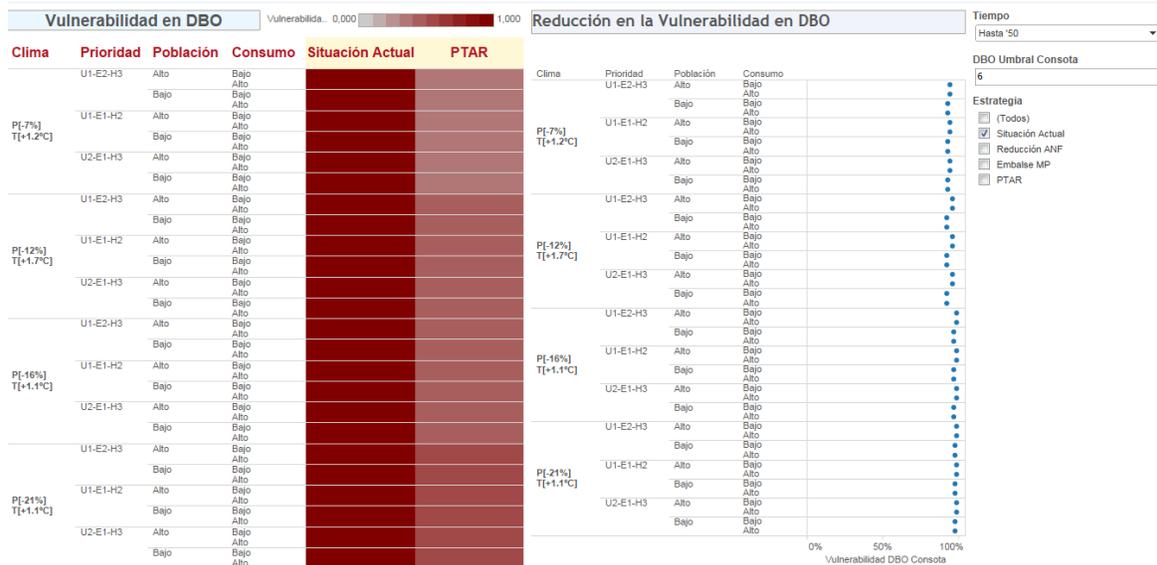


Figura 3. Mapa de vulnerabilidad, sin implementación de estrategias, del sistema hídrico en la desembocadura del río Consota a río La Vieja

Una vez implementados los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la cuenca, la probabilidad del falla del sistema se reduce hasta entre un 40% hasta un 60% dependiendo los escenarios de cambio climáticos analizados en este proyecto. Esto significa que en los escenarios climáticos evaluados donde se presentan menores incrementos de temperatura y mayores aumentos en la precipitación, la vulnerabilidad del sistema en función de la calidad del agua del río La Vieja disminuye, pasando de una condición deficiente a una condición regular para consumo humano, según los estándares del RAS (2000) (Figura 4).



Figura 4. Mapa de vulnerabilidad, con implementación de STAR en el sector doméstico municipal, del sistema hídrico en la desembocadura del río Consota a río La Vieja

¿Cuáles son los pasos necesarios para implementar estas medidas?

1. Para la implementación de la estrategia asociada al sector cafetero es necesaria la búsqueda de recursos económicos para la transferencia de conocimiento de tecnologías de tratamiento de aguas residuales a los pequeños y medianos caficultores de la región. Esta transferencia de conocimiento debe incluir, no solo los aspectos asociados a la tecnología de tratamiento, sino los impactos del beneficio del café en los recursos naturales Agua y Suelo. Adicionalmente es necesario mayor control, por parte de los entes ambientales, al manejo de los vertimientos del sector cafetero bajo una determinación de objetivos de calidad de los cuerpo hídricos receptores, establecimiento de metas de reducción de cargas al sector y la implementación de otros instrumentos de comando y control que incentiven el uso de tecnologías de tratamiento.
2. Para la implementación de la estrategia combinada de los sectores doméstico y cafetero, es necesario realizar una evaluación económica frente a la implementación de las estrategias de manera individual. Dicha evaluación debe considerar un análisis costo-beneficio y la gradualidad de la implementación de las estrategias por sectores.
3. Adicionalmente, cabe resaltar que las estrategias formuladas en este proyecto, para el río La Vieja, obedecen a un ejercicio prospectivo y académico en el cual es necesario incluir otro tipo de elementos de control y prevención de la contaminación hídrica como son: la reutilización y reuso de las aguas residuales domésticas, la implementación de aparatos de bajo consumo de agua al interior de las viviendas y la producción más limpia en el sector industrial. Estas estrategias, a escala de cuenca, podrían resultar más costo-beneficiosas en función de los objetivos de calidad del cuerpo hídrico y en función de la sociedad, quien finalmente asume los costos de implementación.

Contacto del Proyecto en USAID: Carolina Figueroa, cfigueroa@usaid.gov **Contacto del proyecto en SEI:** Marisa Escobar, marisa.escobar@sei-us.org, **Contactos de esta hoja de datos:** María Fernanda Jaramillo, maria.f.jaramillo@correounivalle.edu.co

HOJA DE DATOS

Demanda Hídrica Actual y Futura en la Producción de Café usando WEAP en el Sur del Huila

Localización: Colombia. Departamento del Huila

Colaboradores y Socios Directos: Grupo de Investigación en Ecología, Ingeniería y Sociedad (EIS) -Universidad Tecnológica de Pereira; Grupo de Investigación Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y Ambiente (CIDERA) - Universidad del Quindío; Instituto de Investigación y Desarrollo de Abastecimiento de Agua, Saneamiento y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA) - Universidad del Valle; Grupo de Investigación Aguas y Aguas de Pereira (A&A); Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER); Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ); Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC); Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); Centro de Investigación en Ciencias y Recursos Geoagroambientales (CENIGAA) – Universidad Surcolombiana; The Nature Conservancy (TNC); Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Financiado por: U.S. Agency for International Development (USAID)

Duración: Septiembre 2013 – Marzo 2015

Destacados

- Mediante el uso de la herramienta WEAP, se modelaron los sistemas de producción de biomasa de 8 tipos de coberturas en las cuencas de los ríos Guarapas y Guachicos (este último tributario del primero) haciendo énfasis en el cultivo del café de gran relevancia para la economía de la región, además se incluyeron las demandas de agua para consumo humano de los municipios de Pitalito y Palestina.
- Se construyó un modelo hidrológico de la cuenca del río Guarapas para ayudar en la formulación de estrategias de adaptación al cambio climático. En total se plantearon 8 escenarios los cuales fueron analizados mediante una rutina de programación computacional. El método utilizado para la modelación hidrológica es el de crecimiento de la planta, PGM por sus siglas en ingles.

Introducción

El modelo de la cuenca del río Guarapas se construye en el marco del proyecto “Creando capacidad de adaptación en la planeación de los recursos hídricos: Río del páramo al valle, por urbes y campiñas” iniciado en 2012. Su principal objetivo es el fortalecimiento de la capacidad de adaptación de la sociedad frente al cambio climático alrededor de la planificación del recurso hídrico, desarrollado a través de un convenio interinstitucional entre el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI, por sus siglas en ingles) y el Centro de Investigaciones en Ciencias y Recursos GeoAgroAmbientales (CENIGAA). En el presente documento se trata de describir los detalles del modelo y sus resultados; además explica cómo se utilizó la herramienta WEAP, y muestra de manera amigable como los resultados permite a los tomadores de decisión administrar eficientemente el preciado recurso bajo diferentes escenarios.

¿Qué medidas de adaptación surgen como las más promisorias basados en el estudio realizado?



Foto 1 Tomado de Federación Nacional de Cafeteros

De acuerdo a los resultados del presente estudio y considerando los escenarios climáticos analizados, es posible inferir que zonas actualmente restringidas para la explotación agrícola, en especial café, podrían ser habilitadas para explotación agropecuaria dado el cambio en las condiciones agroecológicas de dichas zonas. Sin embargo, en la actualidad dichas zonas concuerdan con áreas de protección ambiental que a su vez prestan servicios ecosistémicos invaluable no solo para los usuarios de la cuenca del Río Guarapas, sino también para otras cuencas de gran relevancia nacional como el Río Magdalena que nacen en la estrella fluvial más importante del País, el Macizo Colombiano.

Por lo tanto, es necesario y prioritario generar medidas de adaptación que busquen hacer frente a estos posibles escenarios futuros con el fin de proteger nuestros agroecosistemas. A continuación se presentan algunas medidas consecuencia del análisis de los resultados del ejercicio de modelación en la cuenca del Río Guarapas.

- La potencial situación descrita plantea el desarrollo y/o fortalecimiento de estrategias de ordenación y conservación del territorio en el marco de actividades productivas, pues los servicios ecosistémicos que prestan dichas áreas (quizás aún no valorados) deberán ser preservados para el bien de la sociedad y el ecosistema. Actualmente, el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural INCODER desarrolla y promueve el esquema de ordenamiento productivo en base al potencial uso del suelo y la oferta ambiental del área. Sin embargo, y teniendo en cuenta que estas propuestas son a largo plazo (> 20 años), el enfoque es limitado en cuanto a que no considera el cambio en las condiciones actuales de oferta y demanda ambiental y el deterioro de suelos debido al cambio dinámico de las coberturas que se presenta en la cuenca Guarapas.
- El paisaje agrícola ofrece diversos servicios ambientales, incluyendo el secuestro de carbono, la biodiversidad, entre otros. Es importante crear estrategias enfocadas a incentivos económicos que conlleven a la restauración de tierras forestales degradadas, protección de bosques y desarrollo de mercados de carbono, lo anterior generaría incentivos interesantes para los agricultores y un impulso para que la sociedad en general se sensibilice hacia la conservación.
- Otra línea de acción con miras a la adaptación de la caficultura antes estos potenciales escenarios de clima es la preservación de coberturas de alto porte dentro de su área de cultivo, generando zonas de sombrío que permitan el control de la temperatura en épocas de verano intenso en la zonas de cultivo cercano al límite altitudinal bajo. La renovación de cafetales con variedades que soporten la variabilidad climática extrema para contrarrestar los principales factores climáticos que ponen en riesgo la viabilidad de los cafetales (aumento de la resiliencia).

¿Qué evidencia respalda la implementación de estas medidas?

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ejercicio de modelación y bajo los 8 escenarios de clima analizados, se observa en la mayoría de los escenarios un incremento en la producción de café cereza entre el 8% y hasta el 27%, dicha respuesta se explica básicamente debido al aumento en la concentración de CO₂ en la atmósfera y la temperatura promedio superficial.

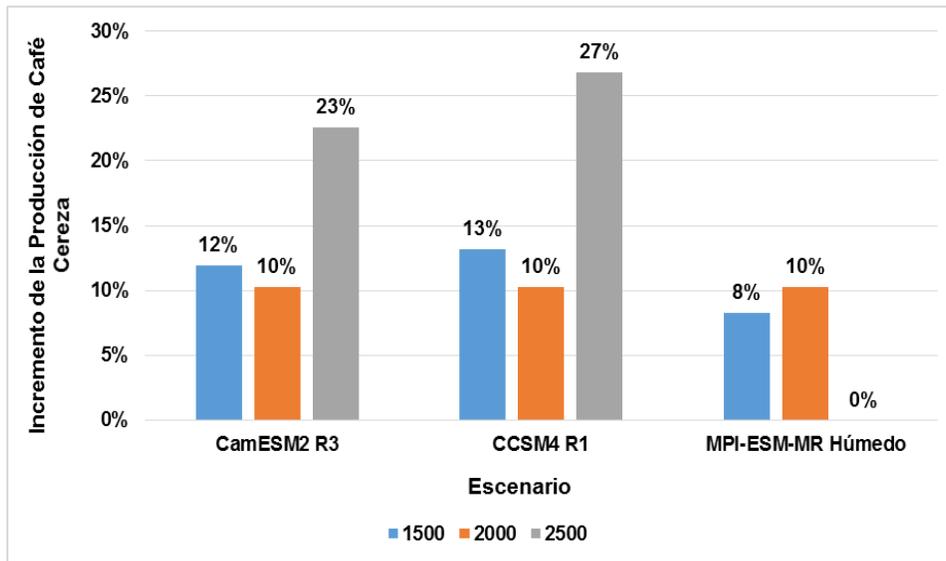


Figura I. Respuesta relativa en incremento de la producción de Café Cereza en las diferentes bandas de elevación analizadas (1500, 2000 y >2500 msnm) bajo 3 escenarios futuros de clima.

En la actualidad, las bandas de elevación por encima de los 2500 m.s.n.m en la cuenca del Río Guarapas pertenecen a coberturas de Bosques y áreas protegidas en más del 90%. De acuerdo a los resultados (Figura I) dichas áreas en la cuenca se tornarían aptas para el desarrollo agrícola entre ellas la producción de café (según los resultados un aumento de la productividad de aproximadamente entre el 23 a 27% en los escenarios de clima secos)

El cambio climático afectará entonces el crecimiento y la producción de los sistemas agropecuarios, en especial café, directamente mediante el aumento en la concentración de CO₂ atmosférico (“fertilización por carbono”) y los cambios debido al clima, y además indirectamente por las interacciones complejas entre los agroecosistemas provocados por los cambios de temperatura y precipitación.

¿Cuáles son los pasos necesarios para implementar estas medidas?

1. Aunque los resultados aquí expuestos indican un claro aumento de la temperatura promedio en la mayoría de los escenarios de clima evaluados, lo cual junto con el aumento de la concentración de CO₂ en la atmosfera favorecen en general la mayor producción de los cultivos, en especial café, es importante señalar también que otro reto tal vez de igual o mayor importancia es la variabilidad climática con la cual se convivirá en adelante. Por lo tanto, se considera como factor fundamental la descripción de la variabilidad climática en las regiones cafeteras como herramienta para entender los retos a los cuales nos estamos enfrentando. Esto implica el desarrollo de programas de monitoreo climatológico óptimos apoyados por sistemas modernos de alertas agroclimáticas tempranas soportados en sistemas robustos.
2. El fortalecimiento institucional de los entes gestores del recurso hídrico, los gremios agrícolas, las instituciones de investigación y los tomadores de decisión a nivel nacional, regional y local.
3. El desarrollo de estrategias de comunicación, articulación y coordinación entre las diferentes partes (entes gubernamentales, administradores de los recursos naturales, sectores privados, salud pública, emergencia y gestión del riesgo, entre otros) de los programas, proyectos y medidas de adaptación desarrolladas para hacer frente a los distintos temas que impactan los diferentes sectores.
4. Adoptar un marco de políticas que apoye a la población más vulnerable y sus modos de sostenimiento, así como también las inversiones en investigación en agricultura climáticamente inteligente enfocando los esfuerzos en aquellos sectores que potencialmente serían los más afectados por los impactos de los efectos en la alteración del clima, lo cual puede ser apalancado en la estrategia nacional de ordenamiento productivo.

Conclusiones y Recomendaciones

- El enfoque aquí utilizado permite identificar medidas adaptativas al sector agropecuario, considerado un eje de vital importancia para el desarrollo socio-económico del mundo, el cual se verá fuertemente afectado por los efectos en el cambio del clima, en especial las zonas de alta montaña que prestan servicios ecosistémicos de altísimo valor
- Sin embargo, es necesario profundizar en los alcances de este tipo de iniciativas como instrumento para la evaluación del riesgo hidrometeorológico por efectos del cambio climático y mitigación de estos efectos mediante la generación de medidas adaptativas para cada sector involucrado.
- Además de los cambios en las condiciones de clima y sus potenciales efectos sobre la agricultura, es necesario también estudiar la variabilidad climática y la variabilidad climática extrema como factores adicionales adversos al desarrollo productivo de los sectores agropecuarios.

Contacto del Proyecto en USAID: Carolina Figueroa, cfigueroa@usaid.gov

Contacto del proyecto en SEI: Marisa Escobar, marisa.escobar@sei-us.org

Contactos de esta hoja de datos: John Chavarro, john.chavarro@cenigaa.org

HOJA DE DATOS

Estado de Avance del Eje del Agua y sus Líneas de Acción

Línea de acción 1: Modelación hidrológica del Alto Magdalena. **Línea de acción 2:** Modelación del río Las Ceibas y Otros – enfoque POMCA climático. **Línea de acción 4:** Evaluación del potencial hidroeléctrico bajo escenarios de cambio climático enfoque PCHs.

Introducción

El proyecto ‘*Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’* iniciado en 2012 en apoyo al ‘*Plan de Cambio Climático Huila 2050: Preparándose para el Cambio Climático*’ desarrollado por la CAM, tiene como objetivo fortalecer la capacidad de adaptación de la sociedad al cambio climático en el manejo de recursos hídricos en la cuenca del Alto Magdalena. Esto se logra a través de transferencia tecnológica que permite generar información de soporte técnico y científico que complementa y permita el desarrollo e implementación de instrumentos de planeación y planes operativos como PGAR, PAI, PORH, PM, POF, cuyo eje articulador son los POMCA¹.

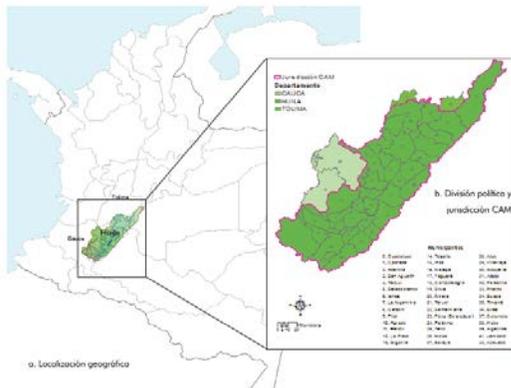


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del Alto Magdalena

¹ **Por sus siglas:**
 PGAR Plan de Gestión Ambiental Regional
 PAI Plan de Acción Institucional
 PORH Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico

De esta forma, las estrategias de adaptación identificadas y socializadas pueden apoyar la implementación del Plan Huila 2050, con el fin de facilitar y promover la toma de decisiones robustas sobre los recursos hídricos en cuencas estratégicas y de alta importancia para Colombia, como lo es la cuenca del Alto Magdalena (Figura 1).

Estado Actual de Desarrollo

Este documento presenta una actualización de las Líneas de Acción del Eje del Agua respecto al proceso de Apoyo a las Decisiones Robustas (ADR) que el proyecto promueve (Figura 2):

Línea de Acción 1 - Modelación del Alto Magdalena: se presentan resultados bajo 3 escenarios de cambio climático y un escenario base histórico, teniendo en cuenta escenarios futuros de población, consumo de agua per cápita, pequeñas centrales hidroeléctricas y centrales hidroeléctricas como Betania y Quimbo.

Línea de Acción 2: Modelación participativa del río Las Ceibas y Otros: se presentan avances del enfoque de medidas de adaptación al cambio

PM Plan de Manejo de humedales, páramos, áreas protegidas, zonas secas, manglares, sistemas acuíferos, aguas marinas y costeras.

POF Plan de Ordenación Forestal

POMCA Plan de Manejo y ordenación de Cuencas Hidrográficas

SIAC Sistema de Información Ambiental de Colombia

ERA Evaluaciones Regionales del Agua

climático a tener en cuenta en las fases de Aprestamiento y Prospectiva del POMCA.

Línea de Acción 4: Evaluación del potencial hidroeléctrico bajo escenarios de cambio climático y manejo, con enfoque de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

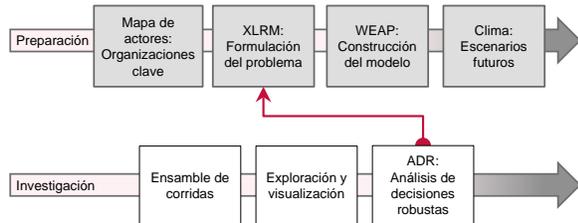


Figura 2. Etapas del Apoyo a las Decisiones Robustas (ADR)

Se destaca que a lo largo de desarrollo de estas líneas de acción, se ha efectuado transferencia tecnológica y generación de capacidad, por parte de SEI a las autoridades ambientales como la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); y entidades académicas que pueden llegar a suministrar a futuro asesorías y profesionales, como el Centro de Investigación en Ciencias y Recursos Geoagroambientales (CENIGAA) y la Universidad Surcolombiana. Con lo anterior, se busca que continuamente se alimente de información el modelo del Alto Magdalena y los diferentes modelos de Las Ceibas y Otros, Río Aipe y Río Neiva, con sus diferentes enfoques, para apoyar la toma de decisiones robustas respecto a la planeación, manejo y reglamentación de la cuenca y sus corrientes. Esta información ha sido generada y compartida con actores relevantes de la cuenca y con USAID.

El 17 de febrero del 2015 se desarrolló un Taller de Resultados del Eje del Agua, con la participación del IDEAM. En el Taller se presentaron los diferentes avances en el Eje del Agua, líneas de acción 1, 2 y 4, y se incluyeron

otros avances transversales relacionados con el apoyo en la modelación del río Neiva para calcular los índices de la Evaluación Regional del Agua (ERA).



Figura 3. Fotografías evento Taller de Resultados Eje del Agua – Febrero 17 de 2015. Neiva, Huila.

A continuación se hace un breve resumen del estado de avance de estas tres de las líneas de acción del Eje del Agua, los documentos de referencia están a disponibilidad para quienes quieran profundizar más en los temas. ²

² Se pueden solicitar de forma escrita a la Dirección de la CAM. Los documentos fueron entregados en Disco Duro dirigido al Director Carlos Cuellar.

Línea de Acción 1: Modelación Hidrológica del Alto Magdalena

Se desarrolló la modelación hidrológica del Alto Magdalena basado en la herramienta de modelación hidrológica bajo escenarios de cambio climático denominada WEAP, la cual es un software que permite evaluar variedad de escenarios que exploran los cambios físicos en el sistema, como nuevos embalses o acueductos, así como los cambios sociales, las políticas que afectan el crecimiento de la población o los patrones de uso del agua, uso del suelo, cambios en cobertura vegetal y efectos del cambio climático.

Pese a la carencia de datos y las limitaciones informativas, el modelo WEAP permite incluir la mejor información disponible para orientar a proveedores y usuarios en la toma de decisiones dirigidas a priorizar medidas de adaptación al cambio climático. Entre los enfoques incluidos en la modelación, se destacan:

- La oferta y la demanda de las principales cabeceras municipales.
- Las demandas y producción hidroeléctrica de represas como Betania y Quimbo
- Las demandas y producción hidroeléctrica de pequeñas centrales hidroeléctricas sobre diferentes corrientes principales de subcuencas afluentes del río Magdalena.

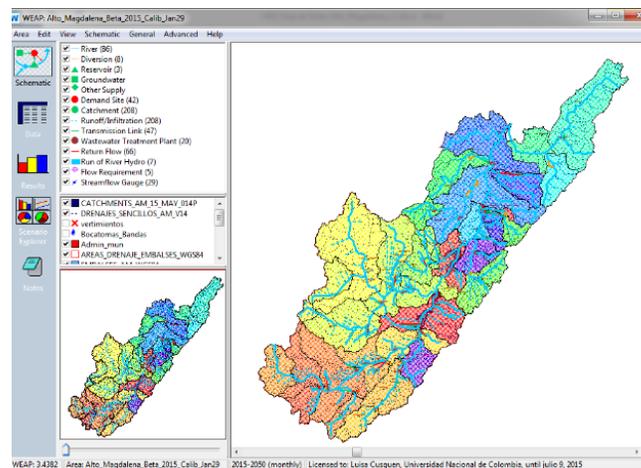


Figura 4. Esquema de modelación de la cuenca del Alto Magdalena en WEAP

La cuenca del río Magdalena fue modelada con WEAP a escala de subcuencas y éstas, a su vez, por bandas de elevación (cada 500 metros), configurando así un total de 208 unidades hidrológicas o catchments (Figura 4). Se modeló un área de 22,171 km² abarcando el Departamento del Huila, la sub-cuenca hidrológica del río Páez (en el Departamento del Cauca) y parte de las sub-cuencas de los ríos Patá y Cabrera (en el Departamento del Tolima). Los insumos del modelo son información climática e hidrológica³, coberturas vegetales⁴, requerimiento de demandas, operación del sistema(s), reservorios (Betania, Quimbo y uno proyectado), 6 pequeñas centrales hidroeléctricas y caudales ecológicos,

³ Suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 146 estaciones pluviométricas y 23 estaciones climatológicas con un periodo de información de Enero de 1970 a Julio del 2011 con datos diarios.

⁴ Páramo, bosque, pastos, café, arroz, cultivos agrícolas, zonas urbanas, suelo desnudo, aguas abiertas.

teniendo en cuenta información de 31 puntos de monitoreo de caudal⁵. Se consideraron 42 demandas de agua asociadas a consumo humano en las principales ciudades y centros poblados de la cuenca.

La modelación hidrológica se efectuó a paso de tiempo mensual, en el periodo de 1970 a 2010, empleando el método de Dos-Baldes (*Soil-Moisture Method*) para determinar el escurrimiento superficial. Los resultados del modelo hidrológico se compararon con los datos históricos de estaciones medidoras de caudal, y se efectuó su calibración. Es importante mencionar que en las subcuencas caracterizadas hay operación de represas como Betania y la producción de hidroelectricidad.

Con la implementación de este modelo se desarrolló una evaluación inicial de escenarios futuros asociados al cambio climático, y estrategias de adaptación al cambio climático (proyectados al año 2050) a escala mensual.

Entre las incertidumbres evaluadas están:

- Tres escenarios de cambio climático a partir de los modelos globales⁶ con un escenario climático base (histórico). Los resultados muestran una tendencia al aumento de la temperatura y precipitación, con incremento en la frecuencia de eventos extremos de lluvia.
- Tres niveles de crecimiento poblacional del 2015 al 2050.
 - Alto con una tasa de crecimiento de 3.6%,
 - Medio con una tasa de crecimiento de 1.6%
 - Bajo con una tasa de crecimiento de 0.1%.
- Dos niveles de consumo per cápita de agua: Alto (200 l/hab*día) y Bajo (150 l/hab*día).
- Infraestructura; reservorio para generación hidroeléctrica denominado Oporapa.

Además, se evaluaron estrategias como:

- Un escenario de conservación de áreas declaradas parques Naturales Nacionales y Regionales.
- Dos niveles de reducción de pérdidas (alto del 20% y bajo del 35%) en los sistemas de abastecimiento de la población urbana y rural.
- Caudales ecológicos simulados para reservorios. Para la estimación del caudal ecológico se emplean dos metodologías: (1) el 25% del caudal medio mensual multianual – IDEAM, y (2) el caudal del 95% del tiempo en la curva de duración de caudales.
- Simulación de 6 pequeñas centrales hidroeléctricas (PCHs) y su respectivo caudal ecológico.
- Escenario base, sin ninguna estrategia adoptada, en el cual se cambiaban coberturas de bosque, por actividades productivas como cultivos agrícolas.

A partir de los diferentes resultados obtenidos, dependiendo del área modelada, se puede inferir:

- El escenario de conservación, favorece la preservación y aumento de caudales base y la reducción de caudales altos (pico).

⁵ Datos suministrados por la Corporación Autónoma del Alto Magdalena (CAM)

⁶ National Center for Atmospheric Research – NCAR Escenarios de Clima: CanEsm2R3, MPI-ESM-MR, CCMS4 R1 y R2

- La reducción de pérdidas favorable es máximo del 20%, como lo indica el documento técnico RAS 2000, aunque en algunos casos, no se alcanza a cubrir el abastecimiento de agua para el 100% de la población.
- El aumento del consumo per cápita afecta en gran medida la cobertura de abastecimiento del agua, haciendo que esta sea insatisfecha en algunos cascos urbanos grandes.
- Algunas PCHs simuladas afectan los caudales base y afectan la disponibilidad para otros usos del agua de las corrientes, como en el caso del Río Las Ceibas. En otros casos, como el río Venado, no se evidencia grandes efectos.

Pasos a seguir

En este proceso de evaluación y refinamiento, es importante actualizar el modelo constantemente, y simular otras estrategias como:

- Evaluación de estrategias como compra de predios para conservación y cambio de coberturas en distritos de manejo integrado.
- Valoración económica de las estrategias evaluadas para la adaptación al cambio climático: Conservación de áreas, reducción de pérdidas en sistemas de abastecimiento, operación de pequeñas centrales hidroeléctricas e implementación de caudales ecológicos.
- Refinamiento en la información de operación de embalses en serie como los Betania y Quimbo.

Línea de Acción 2: Modelación Hidrológica de la cuenca del Río Las Ceibas y Otros

Se desarrolló la modelación hidrológica del río Las Ceibas y Otros en WEAP, con un enfoque orientado a apoyar el proceso de formulación de POMCA que tuviese en cuenta la adaptación al cambio climático.

Para ello, se desarrolló previamente un proceso participativo en el cual se efectuaron talleres, encuestas y entrevistas a los actores relevantes en la cuenca y a los miembros del equipo de trabajo del Proyecto Ceibas, con el fin de que ellos plantearan incertidumbres y estrategias que fuesen de su especial interés. En este sentido, se modeló la capacidad de abastecimiento de las fuentes de agua y cobertura de la demanda para el casco urbano de Neiva.

Se desarrolló la modelación hidrológica, en la cual se incluyó la subcuenca de Las Ceibas (271.96 km²), Otras corrientes (259.82 km²) pertenecientes a la misma subzona hidrográfica y se incluyó el Río Fortalecillas para simular una de las estrategias, configurando así un área de simulación de 1200 km² (Figura 5).

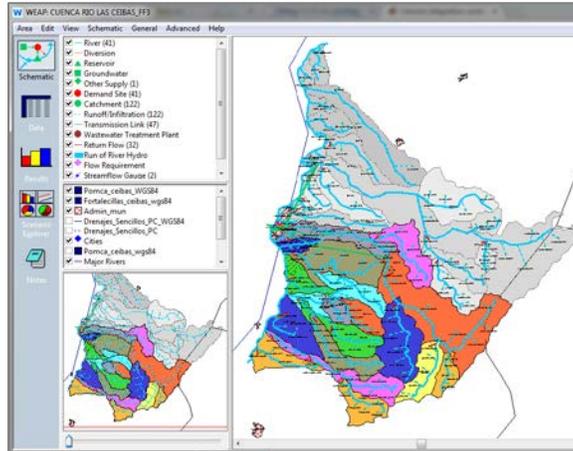


Figura 5. Esquema de modelación de la cuenca del río Las Ceibas y Otros en WEAP

Entre los enfoques incluidos en la modelación, se destaca:

- La demanda de las principales cabeceras municipales y alternativas de abastecimiento para el casco urbano de Neiva.
- Inclusión de áreas de conservación proyectadas para compra de predios.

La subcuenca del río Las Ceibas y Otros fue modelada con WEAP a escala de microcuencas y éstas, a su vez, por bandas de elevación (cada 500 metros), configurando así un total de 122 unidades hidrológicas o catchments, teniendo en cuenta un punto de monitoreo de caudal (estación el Guayabo 2111708) sobre el río Las Ceibas. Se consideraron 32 demandas de agua asociadas a consumo humano en las principales ciudades y centros poblados, y en especial, se incluyó el tramo de interés entre las bocatomas del casco urbano de Neiva, donde se ubican usuarios que tienen como actividad principal el cultivo de arroz. Se efectuó la modelación empleando el método de *Soil Moisture* a paso de tiempo mensual, entre el periodo 1986 al 2010, calibrando en el punto de monitoreo.

De esta forma, se efectuó una simulación inicial participativa de escenarios, sujeta a cambios y ajustes por parte del equipo Las Ceibas y demás actores.

Entre las incertidumbres evaluadas están:

- Tres escenarios de cambio climático a partir de los modelos globales⁷ con un escenario climático base (histórico). Los resultados muestran una tendencia al aumento de la temperatura y precipitación, con incremento en la frecuencia de eventos extremos de lluvia.
- Tres niveles de crecimiento poblacional del 2015 al 2050 con tasas de crecimiento alto (3.6%), medio (1.6%), bajo (0.1%).

Además, se evaluaron las siguientes estrategias:

- Un escenario de conservación de áreas, con predios que se están proyectando adquirir.

⁷ National Center for Atmospheric Research – NCAR (CanEsm2R3, MPI-ESM-MR, CCSM4 R1 y R2)

- Dos niveles de reducción de pérdidas (alto del 20% y bajo del 35%) en los sistemas de abastecimiento de la población urbana y rural.
- Alternativas de abastecimiento del casco urbano de Neiva:
 - Bombeo desde el río Magdalena.
 - Extracción de pozos profundos con capacidad de 67 l/s.
 - Captación de Fortalecillas en su parte baja.
- Escenario base, sin ninguna estrategia adoptada, en el cual se cambiaban coberturas de bosque, por actividades productivas como cultivos agrícolas.

A partir de los diferentes resultados obtenidos, se puede inferir:

- La conservación favorece la preservación y aumento de caudales base y la reducción de caudales altos (pico).
- Aunque la estrategia de reducción de pérdidas es favorable, así se llegue a la reducción máxima (20% de pérdidas), en la proyección futura se presenta una demanda insatisfecha.
- De las alternativas de abastecimiento evaluadas se tiene que:
 - El abastecimiento a través del bombeo desde el río Magdalena y el río Fortalecillas, satisface la demanda futura.
 - Con base en el estudio realizado por Empresas Públicas de Neiva⁸, el potencial de extracción de agua de pozos de agua subterránea definido en el estudio, no satisface la demanda futura.

Pasos a seguir

En este proceso de evaluación y refinamiento, es importante actualizar el modelo constantemente, y simular otro tipo de estrategias de adaptación, generadas a partir de una constante retroalimentación con la comunidad y con actores relevantes de la sub-cuenca, como es el Consejo de Cuenca.

Por ahora, después del taller de resultados y a partir de una conversación sostenida con miembros del proyecto Ceibas, se tienen clara la necesidad de efectuar los siguientes ajustes, mejoras y actualización al modelo:

- Actualización de coberturas de la cuenca, con la información SIG recibida por la Corporación, a finales del año 2014, a escala 1:25.000.
- Incluir una nueva proyección de compra de predios para conservación y cambio de coberturas en distritos de manejo integrado.
- Incluir información climatológica actualizada del IDEAM, años 2012, 2013, 2014, que pueda retroalimentar la información de la RIMAC.
- De las alternativas de abastecimiento del casco urbano de Neiva: Actualización del punto de captación sobre el río Fortalecillas, trasladándolo a la altura de San Antonio, de modo tal que la captación pueda efectuarse por gravedad.

⁸ Empresas Públicas de Neiva - EPN (2013) *Plan de Uso Eficiente y Ahorro del Agua 2014 - 2019*. Municipio de Neiva – Huila, Colombia.

- Actualización de caudal y ubicación de captaciones de acueductos veredales.
- Valoración económica de estrategias evaluadas para la adaptación al cambio climático, especialmente las tres alternativas evaluadas para abastecimiento del casco urbano de Neiva.

Línea de Acción 4: Evaluación del potencial hidroeléctrico bajo escenarios de cambio climático y manejo

Se desarrolló la modelación hidrológica del río Aipe en WEAP, con el objetivo de evaluar el efecto de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) en los Indicadores de Alteración Hidrológica (IHAs), los cuales pueden ser un insumo importante para la definición de caudales ecológicos.

Para ello, se desarrolló la modelación hidrológica, en la cual se incluyó la sub-cuenca del río Aipe (705.37 km²),

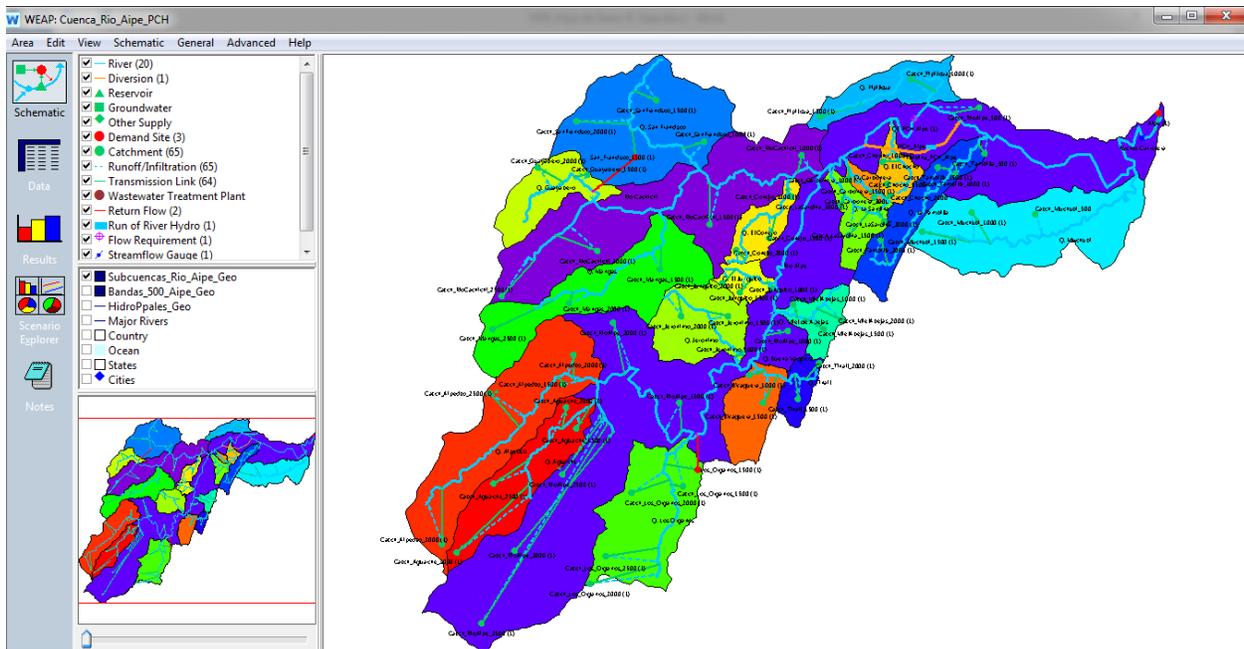


Figura 6. Esquema de modelación de la cuenca del río Aipe en WEAP

De esta forma, se destacan los siguientes enfoques:

- La oferta y la demanda de las principales cabeceras municipales y de una pequeña central hidroeléctrica (PCH).
- Cálculo de los indicadores de alteración hidrológica del río Aipe, a la altura dónde se simula la pequeña central hidroeléctrica (PCH).

Con la implementación de este modelo se evalúa los cambios sobre indicadores de alteración hidrológica bajo escenarios de cambio climático proyectados al año 2050 a escala diaria, simulando la influencia de una pequeña central hidroeléctrica.

La sub-cuenca del río Aipe fue modelada con WEAP a escala de microcuencas y éstas, a su vez, por bandas de elevación (cada 500 metros), configurando así un total de 65 unidades hidrológicas o

catchments, teniendo en cuenta un punto de monitoreo de caudal (estación el Pte Carretera 2113703) sobre el río Aipe. Se consideraron 3 demandas de agua asociadas a consumo humano en los principales centros poblados asentados en la cuenca. Se efectuó la modelación empleando el método de Soil Moisture a paso de tiempo mensual, entre el periodo 1987 al 2010, calibrando en el punto de monitoreo.

A partir de los diferentes resultados obtenidos, se puede inferir:

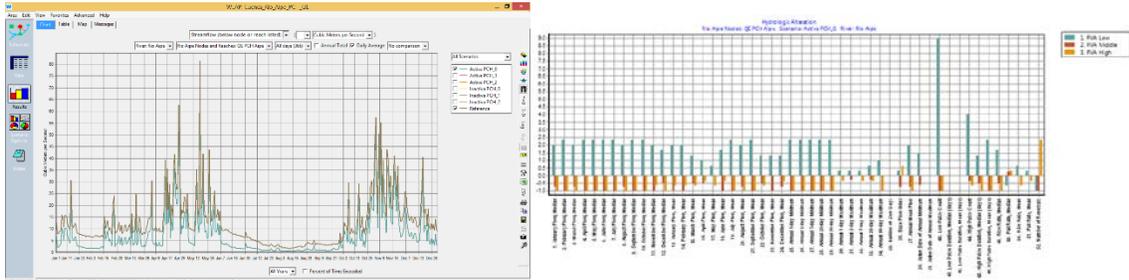


Figura 7. Caudales históricos simulados para la subcuenca del río Aipe con y sin PCH

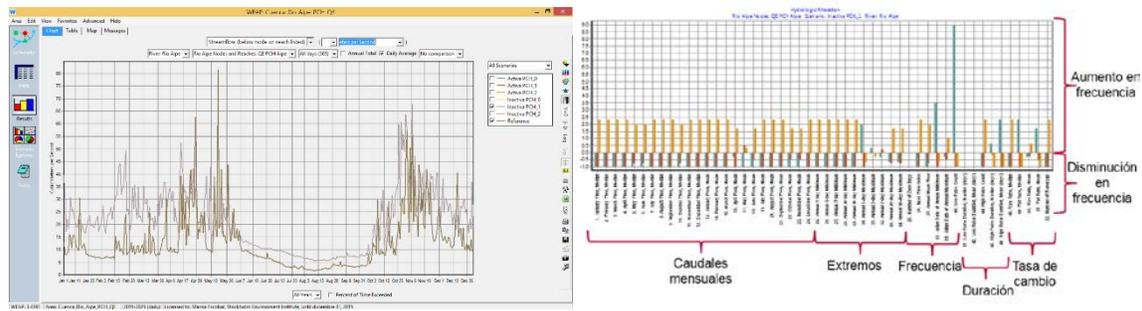


Figura 8. Caudales simulados e Indicadores de Alteración Hidrológica para la subcuenca del río Aipe sin PCH para un escenario climático futuro

- La PCH reduce los caudales base y evaluando el efecto bajo escenarios de cambio climático, se evidencian diferentes efectos, en los cuales el caudal disponible no siempre es alto, sino que en ocasiones afecta el caudal base. El caudal base se estima importante para los caudales ecológicos.
- En el caso de una simulación futura sin PCH, se favorecen, en algunos casos, la frecuencia de caudales pico y mayor caudal base; sin embargo, evaluando los Indicadores de Alteración Hidrológica (IHAs) también aumenta el número de pasos de tiempo en que el caudal es bajo.
- De igual forma, con la clasificación de corrientes desarrollada por Infocol & TNC (2010), el río Aipe es una corriente pequeña – piedemonte – lluvia dependiente, y se infiere que el aumento en los caudales bajos, al disminuir la abrasión del sustrato, favorecerá la productividad del perifiton y aumenta la diversidad y abundancia de la comunidad ficoperifítica y loricáridos.

Pasos a seguir

En este proceso de evaluación y refinamiento, es importante actualizar el modelo constantemente. De igual forma, es importante centrar la atención en la evaluación de los distintos indicadores de Alteración Hidrológica (IHA) y su correlación con variables ecológicas del río Aipe, con el fin de estimar los indicadores de alteración hidrológicos sensibles, que puedan afectar el caudal ecológico o que puedan evidenciar que tipo de alteraciones de los caudales de dicha corriente no mantendrían los atributos de magnitud, duración, ocurrencia, frecuencia y cambios de regímenes.

Como paso siguiente, a partir del caudal disponible, se podría calcular el potencial de generación hidroeléctrica de esta corriente.

Recomendaciones

Se resalta la importancia de continuar con apoyo técnico por parte de Luisa Cusguen, financiado con recursos de la CAM, a continuación se presentan las principales líneas de acción:

- Trabajo modelo Alto Magdalena – apoyando a Carlos Vargas en su avance sobre el modelo, definiendo detalles adicionales requeridos del modelo, apoyando la implementación de escenarios.
- Trabajo modelo Aipe – apoyo a Paula Anacona en su avance en el uso de indicadores de alteración hidrológica para identificar los aspectos del caudal que pueden ser afectados con PCHs y otros usos del agua en la cuenca.
- Trabajo modelo Ceibas – apoyo a Fredy Medina en la definición de escenarios derivados del ejercicio XLRM participativo y corridas de escenarios.

Se considera que este apoyo profesional permitirá consolidar las actividades del Eje del Agua en los próximos meses. Cada una de estas actividades puede ser detallada en términos de productos específicos y visitas a Neiva para el trabajo de Luisa Cusguen con los profesionales de la CAM. Se estima que este apoyo podrá darse entre los meses de Marzo y Julio 2015. Los productos específicos para cada actividad podrán ser una hoja de datos resumen de los ejercicios de modelación, un reporte con detalles del modelo, y un análisis del uso de la información en los procesos de planeación de la CAM.

HOJA DE DATOS

Modelación Hidrológica en la Subcuenca del Río Las Ceibas y Otros en Colombia “Ríos del Páramo al Valle, por Urbes y Campiñas”

Localización: Colombia. Departamento del Huila. Con relevancia en América Latina.

Colaboradores y Socios Directos: Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); The Nature Conservancy (TNC); Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Financiado por: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en Inglés)

Apoyo Técnico y Científico: Instituto de Ambiente de Estocolmo (SEI, por sus siglas en inglés)

Duración: Julio 2012- Junio 2015

Destacados

Con el propósito priorizar medidas de adaptación frente al cambio climático:

- Se aplicó la herramienta WEAP (Sistema de Evaluación y Planificación del Agua); se modelaron 4 corrientes hídricas afluentes al Río Las Ceibas (río san bartolo, quebrada la plata, quebrada motilon, quebrada el mico) y 15 corrientes hídricas tributarias directas e indirectas al río Magdalena. El modelo consideró 32 bocatomas de agua para consumo humano; 2 para la ciudad de Neiva y 30 de las veredas de la cuenca del Río Ceibas y otros. Se evaluó la demanda de agua para la agricultura, se destaca el cultivo de arroz presente en zonas de captación
- La modelación hidrológica se desarrolló con el método lluvia-escorrentía de la humedad del suelo en WEAP, que representa los diferentes fenómenos hidrológicos de la cuenca, determinando la evapotranspiración, escorrentía superficial, flujo sub-superficial, percolación, y flujo base.

Introducción

La modelación hidrológica y de recursos hídricos de la subcuenca del río Las Ceibas y Otros (río Loro, arenoso, quebrada medina, rio frio rivera, quebrada la toma), se desarrolla como una iniciativa de ampliación del alcance de la modelación del río Magdalena en el marco del proyecto ‘*Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’* iniciado en 2012 en apoyo ‘*Plan de Cambio Climático Huila 2050: Preparándose para el Cambio Climático*’ implementado por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) con apoyo técnico del Instituto de Ambiente de Estocolmo (SEI).

Este documento describe los detalles de la modelación de la cuenca del río Las Ceibas y Otros tributarios directos e indirectos al Río Magdalena, pertenecientes a la misma Subzona hidrográfica 2111 (Río Fortalecillas y Otros - establecida por el IDEAM); explica cómo se aplicó la herramienta WEAP para modelar la cuenca a escala de subcuencas considerando las diferentes demandas de agua. El modelo está siendo aplicado en un proceso de Apoyo a las Decisiones Robustas (ADR) que busca principalmente brindar a los actores locales herramientas para la administración de los recursos hídricos. Cabe mencionar que el ADR se articula de manera complementaria con otros instrumentos de planeación hídrica y ambiental como es el Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) y la reglamentación de corrientes.

Área de estudio: La cuenca del río Las Ceibas y Otros

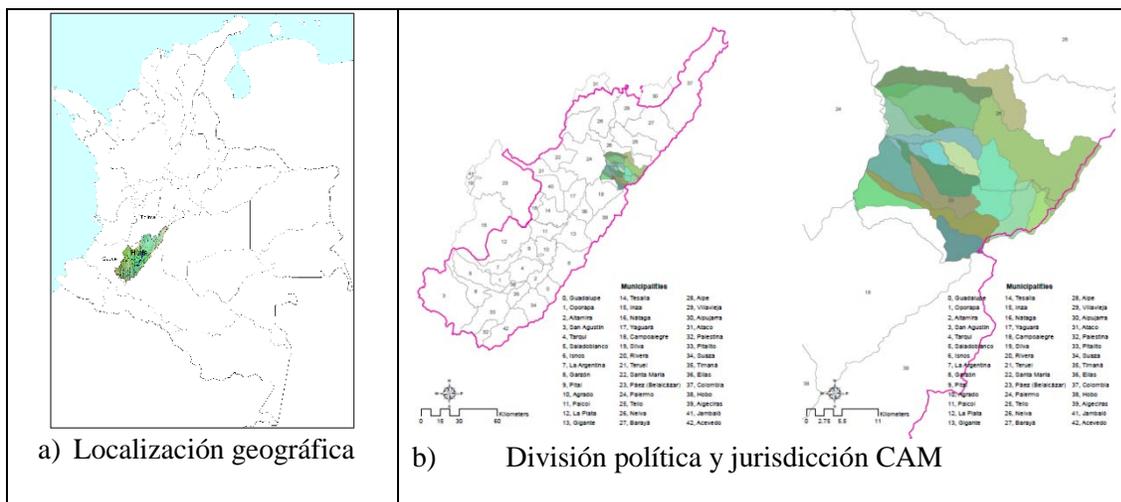


Figura 1 Localización geográfica de la cuenca del río Magdalena

La subcuenca hidrográfica del río Las Ceibas y Otros afluentes del río Magdalena, se localiza al oriente, en las coordenadas 2° 57' 35.88" y 2° 43' 48.11" de Latitud Norte y 75° 17' 23.62" y 75° 5' 18.68" de Longitud Oeste (Figura 1a). El río Las Ceibas nace en el Cerro Santa Rosalía (Figura 1a), con altitudes entre 3150 msnm y 422 msnm en su desembocadura al río Magdalena (EPN, 2013). El área total modelada de la subcuenca Las Ceibas y Otros (Figura 1b) y la subcuenca Fortalecillas es de 1.200 km², que abarca los municipios de Neiva y Rivera, en el Departamento del Huila, siendo sujeta a instrumentos de ordenamiento como el POMCA el área de la subcuenca del río Las Ceibas (271.96 km²) y Otros (259.82 km²). La corriente del río Las Ceibas tiene un caudal medio de 4.2 m³/s (CMN, 2013) y una oferta mínima de 2.4 m³/s durante la época seca (EPN, 2013).

La infraestructura hídrica en la subcuenca del río Las Ceibas incluye una unidad de almacenamiento (Reservorio Poco a Poco) con capacidad de provisión de agua de tres días para el casco urbano de Neiva. Además, provee agua para los cultivos de arroz ubicados en la parte baja de la cuenca, entre y después del tramo donde se encuentran localizadas las bocatamos para el acueducto del caso urbano de Neiva.

La representación de la cuenca en WEAP

Se desarrolló un modelo participativo y analítico basado en la herramienta de modelación hidrológica bajo escenarios de cambio climático con WEAP, el cual permite evaluar variedad de escenarios que exploran los cambios físicos en el sistema, como nuevos embalses o acueductos, políticas que afectan el crecimiento de la población o los patrones de uso del agua, el uso del suelo, cambios en cobertura vegetal y efectos de cambio climático. Pese a la carencia de datos y las limitaciones de información, el modelo WEAP permite realizar los análisis utilizando la información disponible. El modelo busca generar y evaluar escenarios futuros (proyectados al año 2050), para generar estrategias adecuadas de adaptación frente al cambio climático, con el objetivo de orientar a los usuarios en la toma de decisiones dirigidas a priorizar dichas medidas.

Entre los enfoques incluidos en la modelación para la cuenca del Río la Ceibas, se destacan principalmente; la oferta y la demanda de las principales cabeceras municipales, y alternativas de abastecimiento para el casco urbano de Neiva, e Inclusión de áreas de conservación proyectadas para compra de predios.

La construcción del modelo

La modelación hidrológica se desarrolló con el método lluvia-escorrentía de la humedad del suelo en WEAP, que representa los diferentes fenómenos hidrológicos de la cuenca, determinando la evapotranspiración, escorrentía superficial, flujo sub-superficial, percolación, y flujo base. La subcuenca del río Las Ceibas y Otros fue modelada a escala de microcuenca, con bandas de elevación cada 500 metros, configurando así un total de 122 unidades hidrológicas (Figura 2). Se modelaron en total 20 corrientes hídricas; la corriente principal, 4 corrientes afluentes del Río Las Ceibas, y 15 tributarias directas e indirectas al río Magdalena. Se evaluaron 32 demandas de agua asociadas al consumo humano en las principales ciudades y centros poblados asentados en la cuenca y 9 coberturas vegetales: páramo, bosque, pastos, café, arroz, cultivos agrícolas, zonas urbanas, suelo desnudo, aguas abiertas a partir de información de coberturas suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Alto Magdalena (CAM) actualizada al año 2010. Se empleó información del punto de monitoreo de caudal (estación el Guayabo 2111708) sobre el cauce principal del río Las Ceibas.

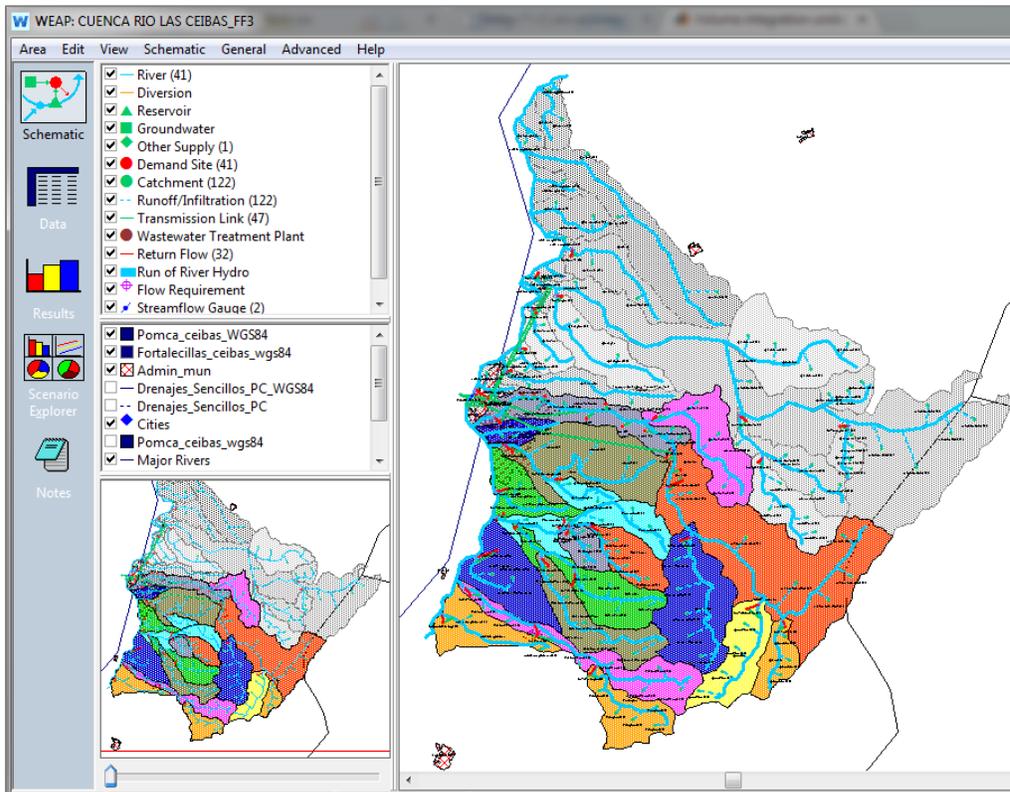


Figura 2. Esquema de modelación de la cuenca del río Las Ceibas y Otros en WEAP

Se consideró información de 15 estaciones pluviométricas de IDEAM cuyos rangos de elevación van desde 429 msnm hasta 1580 msnm. El periodo de información es de enero de 1970 a julio del 2011 con un intervalo de tiempo diario, y se aplicó un método de regionalización de la precipitación, para cada unidad hidrológica. Se emplearon 4 estaciones climatológicas del IDEAM con datos de temperatura para un período de 1970 al 2010; y a partir de estos datos, se obtuvo los promedios mensuales, para cada estación. Con procedimientos geo-estadísticos de interpolación (*Inverse Distance Weight-IDW*), se generaron series mensuales de temperatura, a las cuales se les aplicó el gradiente de temperatura para cada una de las unidades hidrológicas.

Ajuste de los parámetros del modelo

Los modelos son una representación de la realidad, y específicamente en hidrología simulan el ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica obteniéndose así, la representación de caudales y operaciones de obras de infraestructura hídrica que sean similares a series históricas. Para que esto se logre con éxito, se recurre a ajustar parámetros hidrológicos de calibración. La calibración se efectuó con datos de la estación medidora de caudal El Guayabo 2111708 del IDEAM (Figura 3).

Los parámetros ajustados en el modelo hidrológico son: coeficiente de cultivo (kc), factor de resistencia a la escorrentía (RRF), conductividad hidráulica en la zona de raíces (RZC), la conductividad hidráulica en la zona profunda (DC), la dirección preferencial del flujo (PFD), capacidad de retención de humedad en la capa superior (SWC) y en la capa profunda (DWC).

La calibración fue evaluada a través de tres métricas estadísticas de desempeño: el índice de Nash Sutcliffe - que determina la magnitud relativa de la varianza residual en comparación con la variación de datos observados, el BIAS - que calcula el sesgo de los datos simulados con respecto a los datos observados y el Error Cuadrático Medio (RMSE) el cual mide la diferencia residual agregada entre observados y simulados.

Las métricas de desempeño aplicadas al modelo hidrológico del Río las Ceibas y otros muestran la correlación entre los caudales simulados y observados en las estaciones analizadas. Los índices estadísticos de Nash = -0.09, RMSE = 2.25 y PBIAS = 1.52 evidencian dicha correlación en el punto de la cuenca (Figura 4). El valor de los parámetros de modelación utilizados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de calibración del modelo de la cuenca del río Las Ceibas y Otros en WEAP. El RRF = 9.6, DC= 2400 mm/mes, DWC= 4200 mm, Z1 = 15%, Z2 Mayores a 1500 msnm = 25%, Z2 Mayores a 1500 msnm = 20%.

Cobertura	Rango kc	RZC (mm/mes)		PFD	SWC (mm)	
		Rango Mayores a 1500 msnm	Rango Menores a 1500 msnm		Rango Mayores a 1500 msnm	Rango Menores a 1500 msnm
Paramo	1	800 - 900	900 - 1000	0.2	2375	2625
Bosque	0.8 - 1.2	800 - 900	900 - 1000	0.15	2250	2500
Pastos	0.8 - 1.1	800 - 900	900 - 1000	0.4	2000	2250
Zonas Urbanas	1	800 - 900	900 - 1000	0.4	2450	2700
Cultivos agrícolas	1.2	800 - 900	900 - 1000	0.3	1750	2000
Café	0.8 - 1.2	800 - 900	900 - 1000	0.3	2000	2250
Arroz	1 - 1.2	800 - 900	900 - 1000	0.7	2000	2250
Glaciares	1.05	800 - 900	900 - 1000	0.6	1750	2000
Aguas abiertas	1	800 - 900	900 - 1000	0.6	1750	2000
Suelo desnudo	1	800 - 900	900 - 1000	0.4	2450	2700

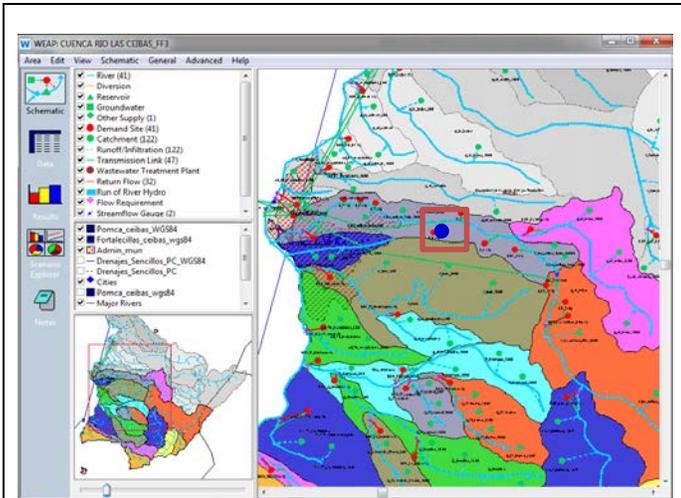


Figura 3. Estación 2111708 El Guayabo (1986-1999) sobre el río Las Ceibas, después de la bocatoma el Guayabo, la cual abastece la ciudad de Neiva

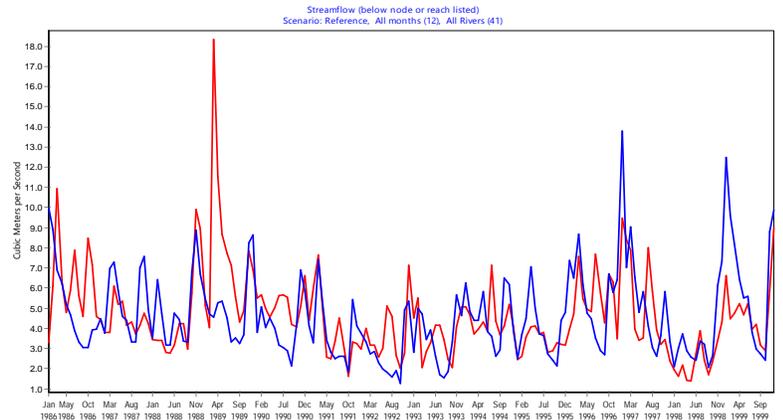


Figura 4. Caudales Caudales simulados y observados del modelo hidrológico para la subcuenca del río Las Ceibas mediante WEAP.

Apoyo a la toma de Decisiones Robustas (ADR) con enfoque a POMCA climático

El proceso se inició con el taller de XLRM realizado en Noviembre del 2014, en la que participaron actores claves de la subcuenca Las Ceibas, con un proceso de gestión y manejo de cuenca de aproximadamente 10 años. Como resultado del taller se formularon incertidumbres y se proyectaron estrategias de adaptación que posteriormente se evaluaron en WEAP. Se presenta un total 2 incertidumbres (clima y población) que al ser evaluados en diferentes niveles generan 12 escenarios (Tabla 2). Respecto a las estrategias, se presentan 3 estrategias de adaptación (conservación, reducción de pérdidas en abastecimiento y alternativas de abastecimiento) con 7 diferentes niveles de incidencia las cuales, al ser combinados generan un número de (12x7) 84 casos, evaluados para el periodo futuro 2015-2050 (Tabla 2).

Tabla 2 Incertidumbres y estrategias definidas modelo Las Ceibas y Otros

Incertidumbres "X"				
Xn	Nombre	Categoría	Descripción	Escenario
X1	Clima	Histórico	Suministrado por el IDEAM	4
		Tendencial	Escenario MPI-ESM-MR	
		Menor variabilidad	Escenario CCSM4 R2	
		Mayor variabilidad	Escenario CanESM2 R3	
X2	Poblacion	Bajo	tasa de crecimiento del 0.1%	3
		Medio	tasa de crecimiento del 1.6%	
		Alto	tasa de crecimiento del 3.6%	
Combinación de incertidumbres				12

Estrategias "L"				
Ln	Nombre	Categoría	Descripción	Escenario
L0	Base	Sin estrategia	-	1
L1	Conservacion	Ampliacion de la zona boscosa	De acuerdo a proyección en compra de predios	1
L2	Reducción de pérdidas en abastecimiento	Bajo	Se alcanzarían pérdidas del 35%	2
		Alto	Se alcanzarían pérdidas del 20%	
L3	Alternativas de abastecimiento	R. Magdalena	Bombeo	3
		Pozos profundos	Capacidad de 67 lt/s	
		Captación fortalecillas	-	
<i>Número de Estrategias</i>				7

Los resultados muestran la evaluación de distintos escenarios para la ciudad de Neiva, quienes constituyen los mayores usuarios de agua para consumo humano de la subcuenca del río Las Ceibas y de la cuenca del Alto Magdalena (figura 4). Se presenta el análisis con la implementación de 2 estrategias las cuales fueron priorizadas en un estudio realizado por las Empresas Públicas de Neiva: (1) la reducción de pérdidas en el sistema de captación y distribución, (2) alternativas de abastecimiento a partir de otras fuentes diferentes; (a) Río Magdalena; (b) establecimiento de pozos profundos y (c) el Río Fortalecillas, que limita con la subcuenca del río Las Ceibas.

Los escenarios identificados son visualizados a través de herramientas como Tableau, que permiten comparar de forma gráfica y sencilla los efectos de las estrategias e incertidumbres sobre la oferta hídrica en el horizonte de tiempo simulado. Para el escenario de abastecimiento de agua para la ciudad de Neiva en las bocatomas El Guayabo y El Tomo, evaluando diferentes tasas de crecimiento de población; alta (línea verde y café), media (línea morada y naranja) y baja (línea roja y azul) respectivamente. Se observa que con la implementación de estrategias de alta reducción de pérdidas en el sistema (Figura 5b), las alternativas de bombeo del río Magdalena (Figura 5d) y captación de agua del río Fortalecillas (Figura 5f), entre otras, se espera hacia el futuro una cobertura del 100% de la demanda de agua, en caso contrario, sin la implementación de estrategias (Figura 5a) se presentan hacia el futuro deficiencias en el abastecimiento de agua para la población.

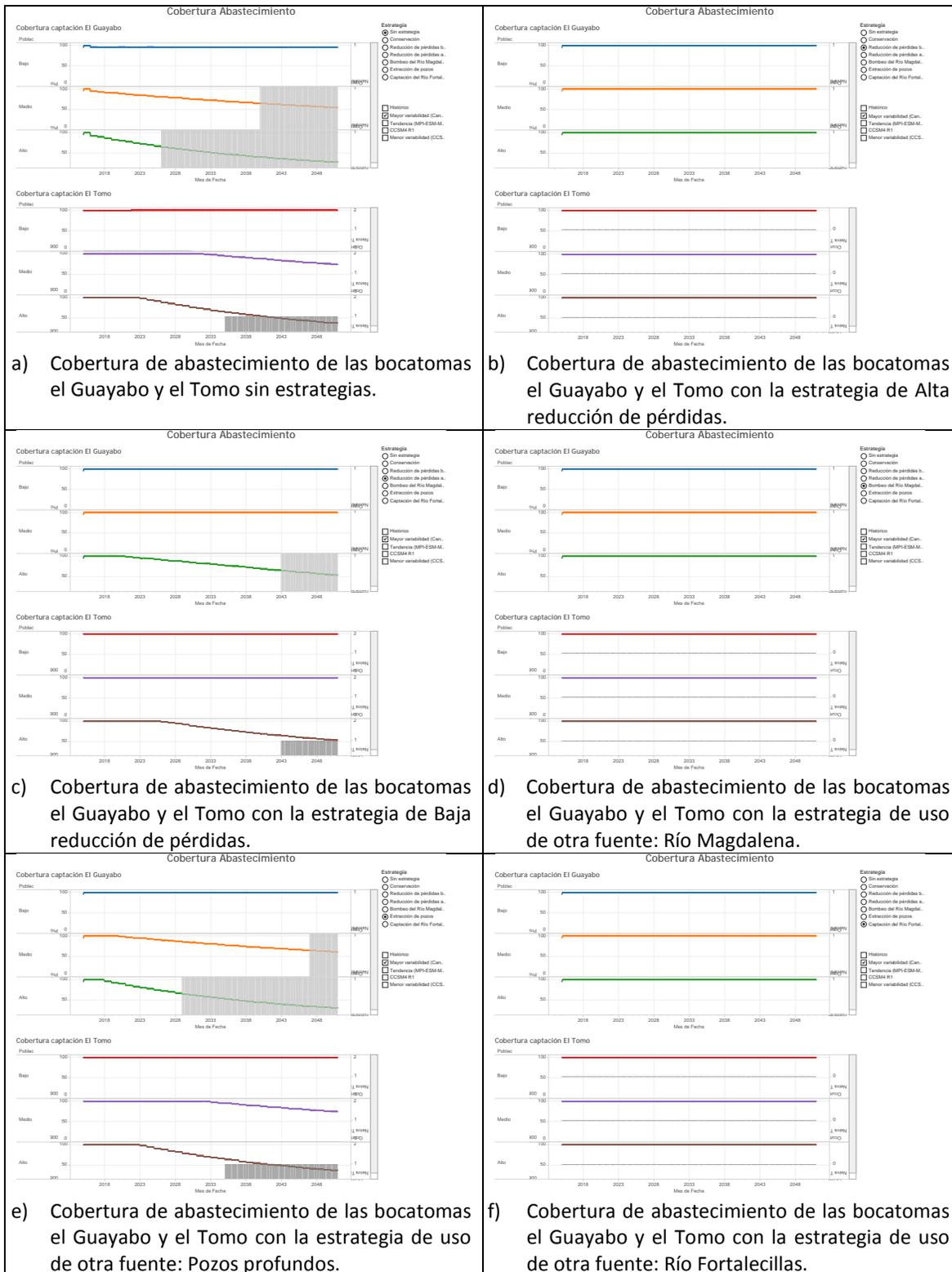


Figura 5. Resultados simulación futura de abastecimiento de bocatomas el Guayabo y el Tomo para la ciudad de Neiva, bajo diferentes estrategias y alternativas de abastecimiento.

Gracias a los productos obtenidos en la evaluación del desempeño de estas medidas frente a diferentes escenarios de cambio climático, se puede concluir que la metodología de Apoyo a la toma de Decisiones Robustas (ADR) es una herramienta valiosa que contribuye en la formulación del POMCA¹ del río La Ceiba, principalmente en sus fases de (1) aprestamiento, con la identificación de actores clave en la cuenca y el proceso participativo XLRM), (2) diagnóstico, por medio de la modelación hidrológica de la cuenca con WEAP, (4) prospectiva, al simular las incertidumbres y estrategias futuras proyectadas del año 2015 al 2050 y (5) la formulación, a partir del análisis de la implementación de estrategias con mejor desempeño en la cuenca y con un posterior análisis económico y financiero; que permita la formulación y priorización de proyectos o medidas de adaptación para la región. Es importante mencionar que el enfoque participativo y flexible de la herramienta facilita el intercambio y análisis entre los actores de la subcuenca. Adicionalmente, con el fortalecimiento de capacidades del personal del proyecto Las Ceibas y del equipo WEAP de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), se concluye que es posible establecer un proceso de planificación integrado, equitativo, estratégico y permanente.

Pasos a Seguir

Como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la planeación, manejo y reglamentación de la cuenca y sus corrientes, se espera que continuamente se actualice la información del modelo, y se analicen otras incertidumbres y estrategias para la cuenca de Las Ceibas y Otros. Se recomienda incorporar el tema de adaptación al cambio climático al Plan de Manejo y ordenación de Cuencas Hidrográficas (POMCA²), y en planes generados desde la Corporación, como es el Plan Huila 2050, en el Eje del Agua. Cabe resaltar, que con la capacidad técnica y científica generada a través del proyecto, particularmente en la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), con su equipo WEAP, el personal del proyecto Las Ceibas, el Centro de Investigación en Ciencias y Recursos Geoagroambientales (CENIGAA) y la Universidad Surcolombiana, existe el potencial para dar continuidad al proceso iniciado con el proyecto “Ríos del Páramo por Urbes y Campiñas”.

Referencias

Contraloría Municipal de Neiva - CMN, (2013) *Informe Sobre El Estado De Los Recursos Naturales En La Ciudad De Neiva - Gestión Recurso Hídrico*. Municipio de Neiva – Huila, Colombia.
Empresas Públicas de Neiva - EPN (2013) *Plan de Uso Eficiente y Ahorro del Agua 2014 - 2019*. Municipio de Neiva – Huila, Colombia.

Contacto del Proyecto: Carolina Figueroa (**USAID**), cfigueroa@usaid.gov. Marisa Escobar (**SEI**) marisa.escobar@sei-us.org. Hoja de datos: Freddy Medina Arce, fmedina@cam.gov.co; Luisa Cusgüen, luicus@gmail.com.

¹ [Relevancia y utilidad del proceso ADR y del sistema WEAP para la formulación de Planes de ordenamiento y Planes de manejo de cuencas y ríos en Colombia \(POMCAs y PORHs\)](#).

² El POMCA del río Las Ceibas va a ser sometido a licitación para ser desarrollado por parte de una firma consultora. Se brinda este modelo como información y como herramienta útil en la generación de escenarios en la fase de Prospectiva y evaluación de medidas de adaptación orientadas a adaptación al cambio climático, que pueden ser aplicables en la fase de Formulación.

HOJA DE DATOS

Modelación hidrológica del recurso hídrico en la subcuenca del Río Aipe en Colombia 'Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas

Localización: Colombia. Departamento del Huila. Con relevancia en América Latina.

Colaboradores y Socios Directos: Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); Universidad Surcolombiana; The Nature Conservancy (TNC); Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Financiado por: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en Inglés)

Apoyo Técnico y Científico: Instituto de Ambiente de Estocolmo (SEI, por sus siglas en inglés)

Duración: Julio 2012- Junio 2015

Destacados

- Aplicando la herramienta WEAP (Sistema de Evaluación y Planificación del Agua), se modelaron 4 corrientes hídricas del Río Aipe, y 15 corrientes hídricas tributarias directas e indirectas al río Magdalena. El área modelada de la subcuenca Aipe es de 705.37 km² y abarca los municipios de Aipe, Neiva y Palermo, en el Departamento del Huila.
- El modelo consideró 32 demandas de agua para consumo humano de las principales ciudades, centros poblados y asentados veredales en la cuenca, además de las demandas agrícolas entre las que se destacan las del cultivos de arroz, especialmente en tramos con usos de abastecimiento poblacional.
- Se efectuó la modelación en WEAP, empleando el método de lluvia escorrentía de la humedad del suelo a paso de tiempo diario, entre el periodo 1987 al 2010, calibrando en el punto de monitoreo (estación Puente Carretera 2113703).
- Se empleó la herramienta de cálculo de indicadores de Alteración Hidrológica (IHAs) de WEAP, para la estimación de indicadores sensibles a alternaciones como el establecimiento de una Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) sobre el río Aipe.

Introducción

La modelación hidrológica de recursos hídricos de la subcuenca del río Aipe se desarrolla como una iniciativa de ampliación del alcance de la modelación del río Magdalena, que incluye la evaluación de escenarios futuros (2015-2050), como un primer paso hacia desarrollar metodologías de estimación de caudales ecológicos, que considere proyectos de generación hidroeléctrica como las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCHs), bajo diferentes escenarios de cambio climático.

Este proyecto se desarrolla en el marco del proyecto ‘Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’ iniciado en 2012 en apoyo ‘Plan de Cambio Climático Huila 2050: Preparándose para el Cambio Climático’ desarrollado a través de un convenio interinstitucional, con la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) y la Universidad Surcolombiana (USCO), y el apoyo técnico del Instituto de Ambiente de Estocolmo (SEI, por sus siglas en inglés). Este documento describe los detalles de la modelación de los recursos hídricos en la cuenca del río Aipe, tributario directo al Río Magdalena; explica cómo se aplicó la herramienta WEAP para modelar a escala de subcuencas considerando las diferentes demandas de agua, entre las que se tiene la implementación de una Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH). Este modelo está siendo aplicado en un proceso de Apoyo a las Decisiones Robustas que busca brindar herramientas a los actores locales en la administración los recursos hídricos, para la toma de decisiones más robustas y mejor informadas.

Área de estudio: La cuenca del río Aipe

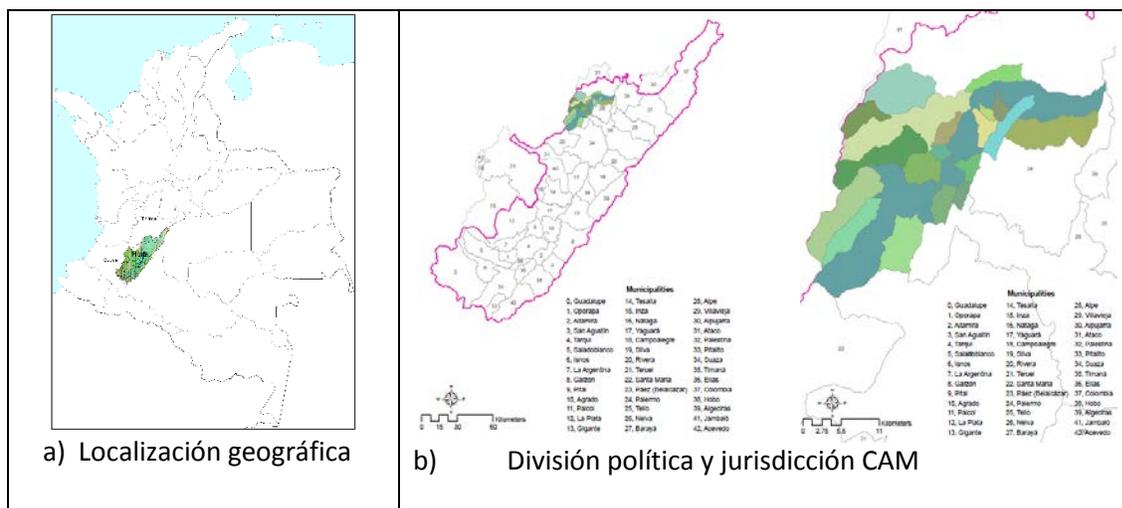


Figura 1 Localización geográfica de la cuenca del río Magdalena

La subcuenca hidrográfica del río Aipe es afluente al río Magdalena, se ubica en el flanco Oriental de la Cordillera Central al noroccidente del departamento del Huila, en las coordenadas 3° 1' 29.781" y 3° 17' 9.616" de Latitud Norte y 75° 36' 49.28" y 75° 14' 6.274" de Longitud Oeste (Figura 1a). El río Aipe nace entre las veredas los Alpes Occidente y Bajo Cocal del municipio de Neiva y cuenta con altitudes entre los 1900 msnm y 390 msnm en su desembocadura al río Magdalena (Labrador A. & Zuñiga J., Por publicar). El área modelada de la subcuenca Aipe de 705.37 km² (Figura 1b) km² y abarca los municipios de Aipe, Neiva y Palermo, en el Departamento del Huila. La corriente del río Aipe tiene un caudal medio diario de 15.33 m³/s.

La subcuenca del río Aipe, soporta una producción piscícola, arroz, sorgo, ganadería, entre otros. Además abastece los cascos urbanos del municipio de Aipe, y las veredas de San Francisco y Los Organos.

La representación de la cuenca en WEAP

Se desarrolló la modelación hidrológica de la cuenca del río Aipe basado en la herramienta de modelación hidrológica bajo escenarios de cambio climático WEAP, la cual permite evaluar variedad de escenarios que exploran los cambios físicos en el sistema, como nuevos embalses o acueductos, así como los cambios en las políticas que afectan el crecimiento de la población o los patrones de uso del agua, uso del suelo, cambios en cobertura vegetal y efectos de cambio climático. Pese a la carencia de datos y las limitaciones informativas, el modelo WEAP permite incluir la mejor información disponible para orientar a proveedores y usuarios en la toma de decisiones dirigidas a priorizar medidas de adaptación al cambio climático. Entre los enfoques se destaca; la oferta y la demanda de las principales cabeceras municipales y de una pequeña central hidroeléctrica (PCH) y el cálculo de los indicadores de alteración hidrológica del río Aipe, en dónde se simula la pequeña central hidroeléctrica (PCH). Con la implementación de este modelo se busca evaluar los cambios sobre varios indicadores de alteración hidrológica en la cuenca bajo escenarios de cambio climático proyectados al año 2050.

La construcción del modelo

La modelación hidrológica se desarrolló con el método lluvia-escorrentía de la humedad del suelo en WEAP, determinando la evapotranspiración, escorrentía superficial, flujo sub-superficial, percolación, y flujo base. La subcuenca del río Aipe fue modelada a escala de microcuenca, con bandas de elevación (cada 500 metros), configurando así un total de 65 unidades hidrológicas o catchments. Se modelaron en total 18 corrientes, tributarios del río Aipe. Se consideraron 3 demandas de agua asociadas a consumo humano en las principales centros poblados asentados en la cuenca (Figura 2). Se evaluaron 11 coberturas vegetales: bosque, pastos, café, cacao, sorgo, arroz, cultivos agrícolas, zonas urbanas, suelo desnudo, aguas abiertas, lagos a partir de información de coberturas suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Alto Magdalena (CAM) actualizada al año 2010. Se empleó información del punto de monitoreo de caudal, estación Puente Carretera 2113703, ubicado sobre el río Aipe.

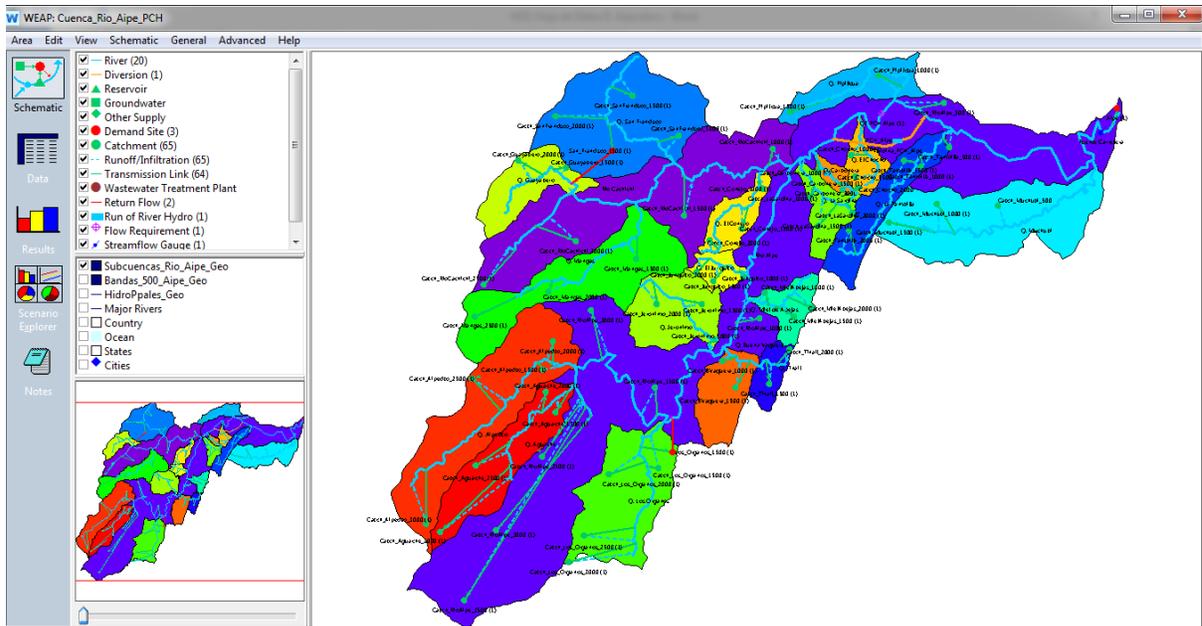


Figura 2. Esquema de modelación de la cuenca del río Aipe en WEAP

Se consideró información de 12 estaciones pluviométricas de IDEAM con un periodo de información del año 1970 al 2011 con un intervalo de tiempo diario. Se aplicó un método de regionalización de la precipitación, para cada unidad hidrológica. Se emplearon 2 estaciones climatológicas del IDEAM con datos de temperatura para un período de 1976 al 2010; con procedimientos geo-estadísticos de interpolación (*Inverse Distance Weight-IDW*), se generaron series diarias, a las cuales se les aplicó el gradiente de temperatura para cada una de las unidades hidrológicas.

Ajuste de los parámetros del modelo

Los modelos son una representación de la realidad, y específicamente en hidrología, los modelos simulan el ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica, obteniéndose así, la representación de caudales y operaciones de obras de infraestructura hídrica similares a series históricas. Para que esto se logró con éxito, se recurre a ajustar parámetros hidrológicos de calibración. La calibración se efectuó entre los años 1987 al 2011, con datos de la estación medidora de caudal Puente Carretera 2113703.

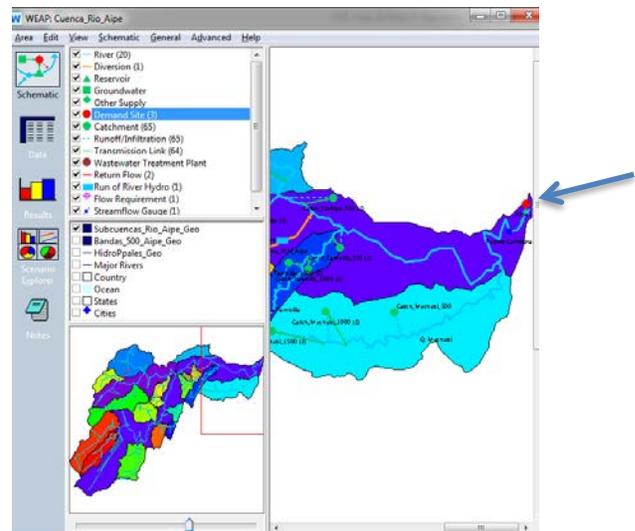


Figura 3 Estación 2113703 Pte Carretera (1986-1999) sobre el río Aipe, cerca de la desembocadura al río Magdalena.

Los parámetros ajustados en el modelo son: coeficiente de cultivo (k_c), el factor de resistencia a la escorrentía (RRF) y la conductividad hidráulica en la zona de raíces (RZC), la conductividad hidráulica en la zona profunda (DC), la dirección preferencial del flujo (PFD), capacidad de retención de humedad en la capa superior (SWC) y en la capa profunda (DWC).

La calibración fue evaluada a través de tres métricas estadísticas de desempeño: el índice de Nash Sutcliffe - que determina la magnitud relativa de la varianza residual en comparación con la variación de datos observados, el BIAS - que calcula el sesgo de los datos simulados con respecto a los datos observados y el Error Cuadrático Medio (RMSE) el cual mide la diferencia residual agregada entre observados y simulados.

Las métricas de desempeño aplicadas al modelo hidrológico del río Aipe muestran una correlación entre los caudales simulados representados por la línea de color rojo y los caudales medidos, líneas color verde en la estaciones analizada (Figura 4). Los índices estadísticos de Nash = -0.08, RMSE = 20.37 y PBIAS = -1.46 evidencian dicha correlación en el punto de la cuenca. El valor de los parámetros de modelación para el río Aipe se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de calibración del modelo de la cuenca del río Aipe en WEAP. DC= 5 mm/día, DWC= 500 mm, Z1 = 20%, Z2 = 30%

Cobertura	k_c	SWC (mm)	PFD	RZC (mm/mes)	RRF
Bosque	0.98	330	0.4	6	9
Pastos	0.6	255	0.6	3	8
Sorgo	1.05	260	0.6	4	7
Zonas Urbanas	1	230	0.9	1	5
Cultivos agrícolas	0.77	260	0.5	4	7.5
Café	0.93	260	0.5	4	7
Cacao	0.95	260	0.5	4	7
Arroz	1.09	260	0.6	4	7
Lagos	1	290	0.5	2	6
Aguas abiertas	1	290	0.5	2	4.5
Suelo desnudo	1	230	0.6	3	6

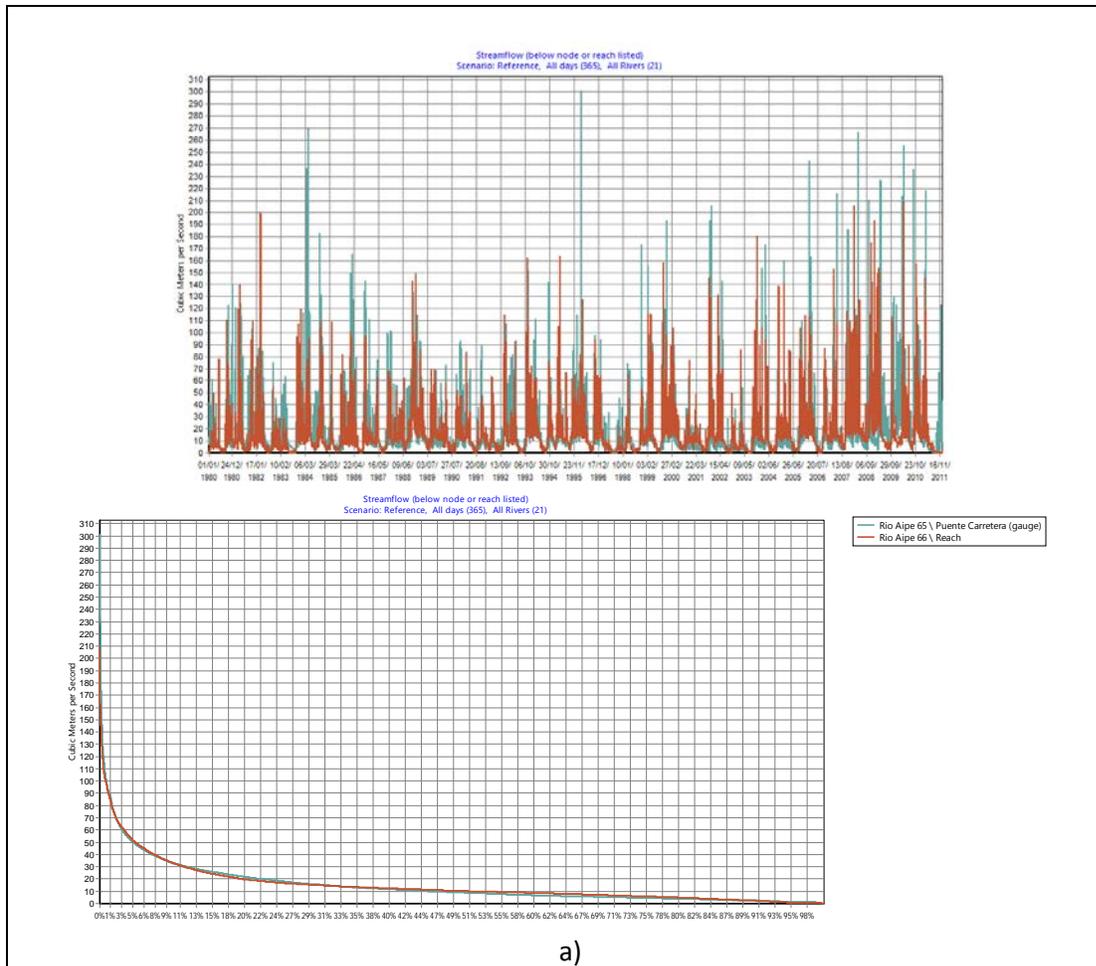


Figura 4. Caudales simulados y observados del modelo hidrológico para la subcuenca del río Aipe mediante WEAP.

Índices de Alteración Hidrológica (IHAs) y Pequeña Central Hidroeléctrica

Se escoge como caso de estudio, la subcuenca del río Aipe, en el marco del proyecto “*Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas*”, y el Plan Huila 2050, Eje del Agua, y su *Línea de Acción 4: Hidrogeneración - Evaluación del potencial hidroeléctrico bajo escenarios de cambio climático y manejo*, que incluye las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCHs). La figura 5 representa la simulación de caudales futuros con PCH (línea verde) y sin PCH (línea café), con el fin de estimar los indicadores de alteración hidrológicos sensibles (Figura 6) agrupados en atributos de magnitud, duración, ocurrencia, frecuencia y cambios de regímenes, que puedan afectar el caudal ecológico o que pueda dar evidencia que los caudales de dicha corriente no mantiene sus atributos.

Como se puede observar en la Figura , evaluando un periodo histórico, con PCH se evidencia una reducción en el caudal medio diario, que favorece los procesos de sedimentación y depósito de materiales finos. En particular, se evidencia un aumento en la frecuencia de caudales bajos y del número de pasos de tiempo en que el caudal es bajo. En el caso de una simulación futura sin PCH (Figura 6), se favorecen, en algunos casos, la frecuencia de caudales pico y mayor caudal base; sin

embargo, evaluando los Indicadores de Alteración Hidrológica (IHAs) también aumenta el número de pasos de tiempo en que el caudal es bajo.

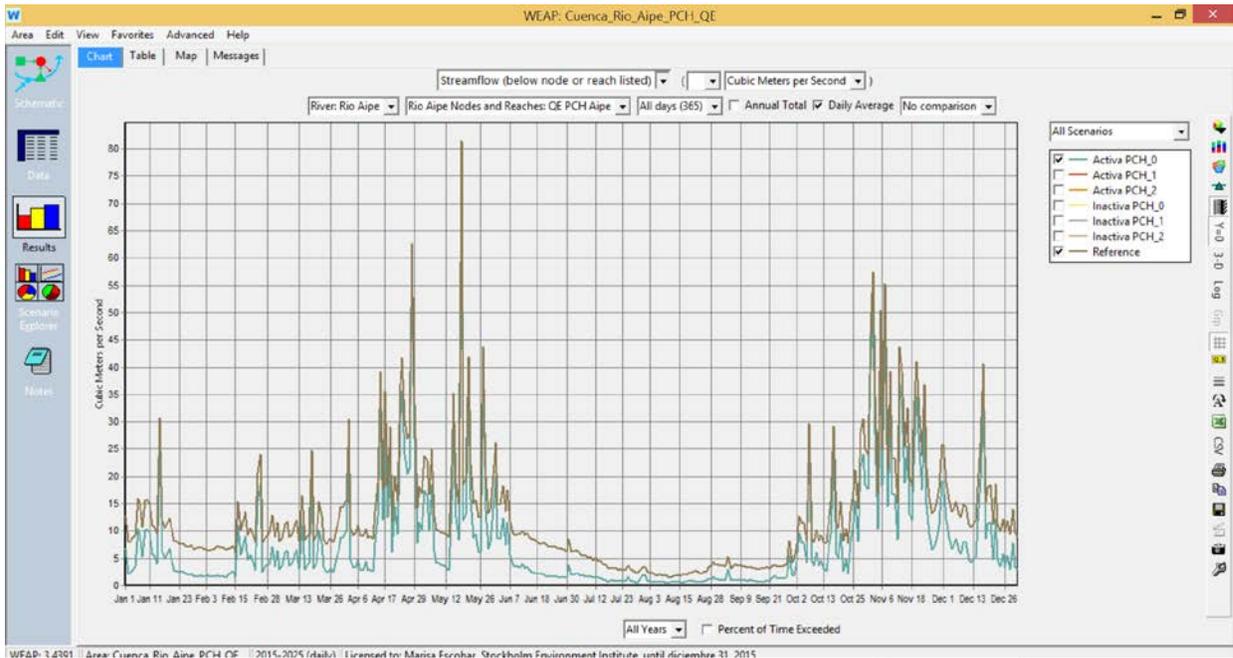


Figura 5. Caudales históricos simulados para la subcuenca del río Aipe con y sin PCH

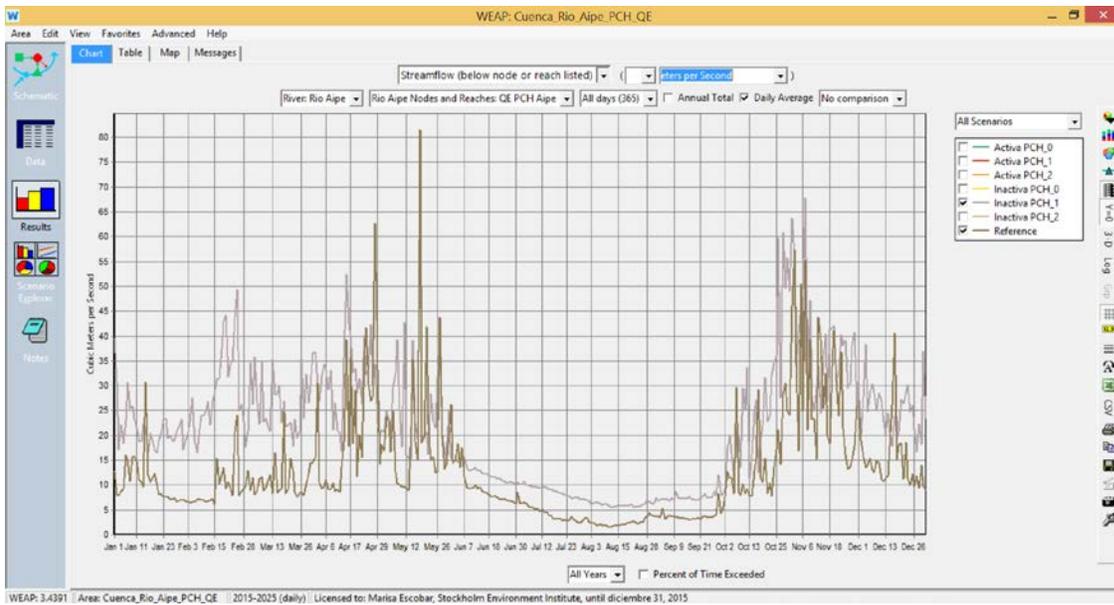


Figura 6. Caudales simulados e Indicadores de Alteración Hidrológica para la subcuenca del río Aipe sin PCH para un escenario climático futuro.

Se observa que la PCH reduce los caudales base y evaluando el efecto bajo escenarios de cambio climático, se evidencian que el caudal disponible no siempre es alto, sino que en ocasiones afecta el caudal base, el cual se considera significativo para la conservación de los caudales ecológicos. Es importante mencionar que con la clasificación de corrientes desarrollada por Infocol & TNC (2010), el río Aipe es una corriente pequeña – piedemonte – lluvia dependiente, y se infiere que el aumento en la frecuencia de los caudales bajos, favorece que se disminuya la abrasión del sustrato, lo que favorece el depósito y la reducción en la capacidad de transporte de material de sedimentos. Así, se podría incrementar la productividad de vegetación acuática y organismos asociados a esta; como perifiton, ficoperifítica y loricáridos.

Pasos a Seguir

Se promueve la actualización y uso continuo del modelo de Aipe para apoyar la toma de decisiones respecto a la planeación, manejo y reglamentación de la cuenca y sus corrientes, especialmente se recomienda incorporar el tema de adaptación al cambio climático frente a la generación de energía hidroeléctrica, es decir, evaluando el potencial de generación hidroeléctrica de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCHs). En caso que al evaluar la generación de energía no sea eficiente, se procede a evaluar el uso potencial de otras corrientes más estables, considerando en ambos casos el caudal ecológico ajustado a la normatividad ambiental vigente.

Cabe resaltar el fortalecimiento de capacidades en funcionarios la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) con su equipo WEAP, y de instituciones como el Centro de Investigación en Ciencias y Recursos Geoagroambientales (CENIGAA) y la Universidad Surcolombiana. Gracias a esta capacidad, existe un gran potencial de apoyo técnico y científico para dar continuidad al proceso iniciado con el proyecto “Ríos del Páramo”.

Referencias

Labrador A. & Zuñiga J. (Por publicar) *Desarrollo De Un Modelo Para La Planificación Integral Del Recurso Hídrico En La Cuenca Del Rio Aipe*. Tesis de pregrado Universidad Surcolombiana. Neiva – Huila, Colombia.

Contacto del Proyecto en USAID: Carolina Figueroa, cfigueroa@usaid.gov

Contacto del proyecto en SEI: Marisa Escobar, marisa.escobar@sei-us.org

Contactos de esta hoja de datos: Paula Anaconda, panaconda@cam.gov.co

HOJA DE DATOS

Modelación del Recurso Hídrico para la Extracción de Indicadores de la Evaluación Regional del Agua según IDEAM en la Subzona Hidrográfica 2110 Rio Neiva en Colombia

Localización: Colombia. Departamento de Huila.

Colaboradores: Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Stockholm Environment Institute (SEI)

Financiado por: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en Inglés) y Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

Apoyo Técnico y Científico: Stockholm Environment Institute (SEI) y Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

Duración: Agosto 2014 - Junio 2015

Destacados

- Aplicando la herramienta WEAP, se modelaron 23 corrientes hídricas tributarias directas e indirectas del cauce principal de la cuenca Río Neiva. El modelo consideró dos demandas de agua para consumo humano de la zona urbana de sus dos municipios abastecedores Algeciras y Campoalegre junto con 23 demandas para consumo humano rural disperso en cada una de las microcuencas, además de las demandas agrícolas entre las que se destacan demandas de arroz representadas en zonas de captación.
- Para la modelación hidrológica se utilizó el método lluvia-escorrentía de la humedad del suelo, un modelo cuasi-físico unidimensional que concibe el suelo como dos baldes que representan los diferentes fenómenos hidrológicos de la cuenca, con el propósito de generar los indicadores hídricos regionales definidos por el IDEAM para conocer el estado hídrico regional y así poder garantizar agua para todos.

Introducción

La modelación hidrológica y de recursos hídricos de la cuenca del Río Magdalena se desarrolla como enfoque de las Evaluaciones Regionales del Agua ERA en la extracción y análisis de los indicadores hídricos regionales en el marco del proyecto *‘Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: ‘Ríos del páramo al valle, por urbes y campiñas’* iniciado en 2012 en apoyo al *‘Plan de Cambio Climático Huila 2050: Preparándose para el Cambio Climático’* desarrollado por la CAM. Este documento describe los detalles de la modelación de los recursos hídricos en la cuenca de Rio Neiva; explica cómo se aplicó la herramienta WEAP en la extracción y

análisis de los indicadores hídricos regionales definidos en los lineamientos por el IDEAM para la ERA. Este modelo está siendo aplicado como insumo técnico para la planificación, priorización de acciones y toma de decisiones regionales robustas y mejor informadas frente a escenarios de cambio climático futuros.

Área de estudio: Subzona Hidrográfica 2110 Río Neiva

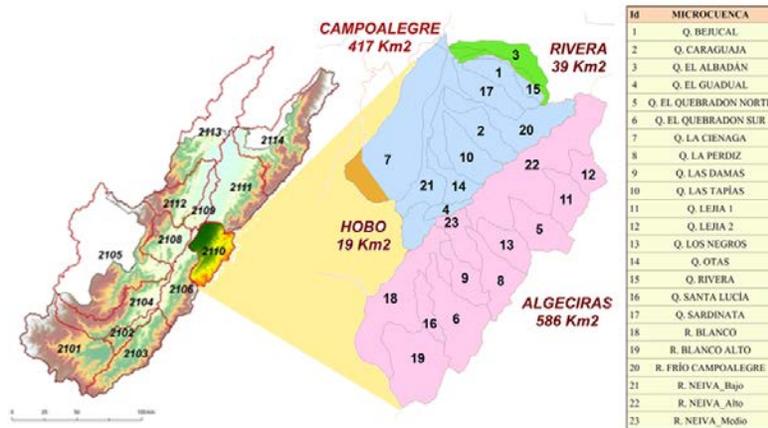


Figura 1. Localización geográfica de la Subzona Hidrográfica 2110 Río Neiva

La cuenca de Río Neiva nace en la región natural denominada La Siberia localizada en la cordillera oriental aproximadamente a 3100 m.s.n.m. jurisdicción del municipio de Algeciras y desemboca en el río Magdalena en el límite de los municipios de Campoalegre y Rivera a 456 m.s.n.m, cubriendo diversos climas, desde el cálido seco hasta el muy frío, su ubicación geográfica es en las coordenadas 2°18'31.481" y 2°47'23.636" de Latitud Norte 75°28'11.852" y 75°7'22.977" de Longitud Oeste, En su recorrido desde la parte alta, atraviesa los municipios de Algeciras y Campoalegre y su área de influencia se extiende parcialmente a los municipios de Gigante, Hobo y Rivera, tiene una superficie de 1062.74 km², de las cuales el 1.79% pertenece al municipio de Hobo (19.03 km²), el 3.68% a Rivera (39.06 km²), el 39.30% a Campoalegre (417.68 km²) y el 55.23% a Algeciras (417.68 km²). Su rendimiento hídrico promedio es de 15.79 lt/s-Km², registra una oferta hídrica máxima de 33.06 m³/s y una oferta mínima de 6.65 m³/s durante la época seca, según datos reportados por el IDEAM durante el periodo 1970-2012 en la Estación Puente Mulas código 2110702 ubicado en el municipio de Campoalegre a una altura de 760 m.s.n.m,

La representación de la cuenca en WEAP

Se desarrolló un modelo con el propósito de articular los lineamientos definidos por el IDEAM para las Evaluaciones Regionales del Agua ERA y así generar los indicadores hídricos regionales en los componentes de oferta, demanda, calidad y riesgo, como son *Indicadores de Oferta Hídrica*, Índice de aridez (IA) e Índice de retención y regulación hídrica (IRH); *Indicadores de Demanda*, Índice de Uso del Agua superficial (IUA); *Indicadores de calidad del Agua*, Índice de Calidad del Agua (ICA), Índice de Calidad Biológica del Agua (IMA) e Índice de Afectación potencial de la Calidad de agua

(IACAL); *Indicadores de Riesgo*, Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento Hídrico (IVH) e Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET), lo anterior basado en la herramienta de modelación hidrológica bajo escenarios de cambio climático denominada WEAP el cual permite evaluar variedad de escenarios que exploran los cambios físicos en el sistema, como acueductos, políticas que afectan el crecimiento de la población o los patrones de uso del agua y suelo, cambios en cobertura vegetal y efectos de cambio climático. Pese a la carencia de datos y las limitaciones informativas, el modelo WEAP permite incluir la mejor información disponible para orientar a proveedores y usuarios en la toma de decisiones dirigidas a priorizar medidas de adaptación al cambio climático. La extracción y análisis de los indicadores hídricos con la herramienta WEAP no reemplaza la metodología del IDEAM, para este modelo se hace una excepción con los indicadores de calidad puesto que no se tiene este alcance hasta el momento.

La construcción del modelo

La modelación hidrológica se desarrolló con el método lluvia-escorrentía de la humedad del suelo en WEAP que es un modelo semi-empírico unidimensional que concibe la matriz de suelo como dos baldes que representan los diferentes fenómenos hidrológicos de la cuenca, determinando la evapotranspiración, escorrentía superficial, flujo sub-superficial, percolación, y flujo base.

La cuenca de Río Neiva fue modelada con WEAP a escala de subcuencas y éstas, a su vez, por bandas de elevación (cada 500 metros), configurando así un total de 109 unidades hidrológicas o catchments. Se modelaron en total 23 corrientes tributarias directas e indirectas del cauce principal, teniendo en cuenta 2 puntos de monitoreo de caudal. Se consideraron dos demandas de agua para consumo humano de la zona urbana de sus dos municipios abastecedores Algeciras y Campoalegre junto con 23 demandas para consumo humano rural disperso en cada una de las microcuencas, usuarios agrícolas con siete (7) coberturas vegetales: Aguas Abiertas, Arroz, Bosque, Café, Cultivos Agrícolas, Pastos y Zona Urbana. Además la herramienta se personalizó con pestañas exclusivas a la ERA para su practicidad de los resultados en el sistema de indicadores regionales (*Figura 2*)

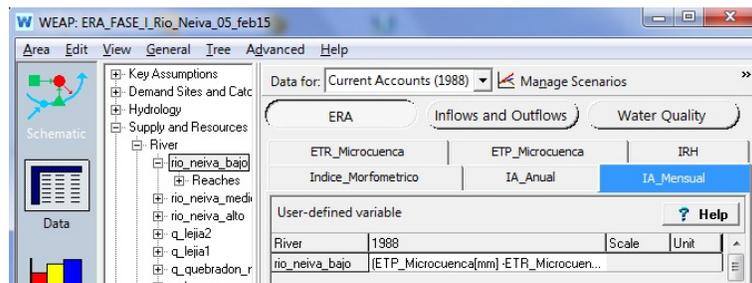


Figura 2. Pestañas dedicadas para la ERA

Se emplearon 15 estaciones pluviométricas de IDEAM cuyos rangos de elevación van desde 429 msnm hasta 2100 msnm. El periodo de información es de Enero de 1970 a Julio del 2011 con un intervalo de tiempo diario, se aplicó un método de regionalización de la precipitación para cada catchment. Se emplearon 15 estaciones climatológicas del IDEAM con datos de temperatura para un período de 1970 al 2010, a partir de estos se obtuvieron los promedios mensuales, para cada

estación y con procedimientos geo-estadísticos de interpolación (Inverse Distance Weight-IDW), se generaron series mensuales, a las cuales se les aplicó el gradiente de temperatura para cada uno de los catchments.

Ajuste de los parámetros del modelo

Los modelos son una representación de la realidad, y específicamente en hidrología simulan el ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica obteniéndose así, la representación de caudales y operaciones de obras de infraestructura hídrica que sean similares a series históricas. Para que esto se logre con éxito, se recurre a ajustar parámetros hidrológicos de calibración.

Los parámetros ajustados en el modelo hidrológico son: coeficiente de cultivo (kc), factor de resistencia a la escorrentía (RRF), conductividad hidráulica en la zona de raíces (RZC), la conductividad hidráulica en la zona profunda (DC), la dirección preferencial del flujo (PDF), capacidad de retención de humedad en la capa superior (SWC) y en la capa profunda (DWC).

La calibración fue evaluada a través de tres métricas estadísticas de desempeño: el índice de Nash Sutcliffe - que determina la magnitud relativa de la varianza residual en comparación con la variación de datos observados, el BIAS - que calcula el sesgo de los datos simulados con respecto a los datos observados y el Error Cuadrático Medio (RMSE) el cual mide la diferencia residual agregada entre observados y simulados.

Las métricas de desempeño aplicadas al modelo hidrológico de Río Neiva muestran la correlación entre los caudales simulados y observados en las estaciones analizadas. Los índices estadísticos de Nash = 97.07 y PBIAS = 3.46 evidencian dicha correlación en el punto de calibración (figura 3). El valor de los parámetros de modelación utilizados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de calibración en WEAP

Cobertura	Kc	RRF		RZC (mm/mes)		PDF		SWC (mm)	
	Rango	Rango Oriental	Rango Valle	Rango Oriental	Rango Valle	Oriental	Valle	Oriental	Valle
Aguas Abiertas	1 - 1.2	3.3 - 4	3 - 4	180 - 202.5	202.5 - 225	0.6	0.6	280	320
Arroz	0.8 - 1.2	3.3 - 4	3 - 4	180 - 202.5	202.5 - 225	0	0	320	360
Bosque	0.8 - 1.2	3.3 - 4	3 - 4	180 - 202.5	202.5 - 225	0.4	0.4	360	400
Cafe	1.2 - 1.2	3.3 - 4	3 - 4	180 - 202.5	202.5 - 225	0.5	0.5	320	360
Cultivos Agrícolas	0.8 - 1.1	3.3 - 4	3 - 4	180 - 202.5	202.5 - 225	0.5	0.5	280	320
Paramo	0.8 - 1.1	3.3 - 4	3 - 4	180 - 202.5	202.5 - 225	15	15	380	420
Pastos	1 - 1	3.3 - 4	3 - 4	180 - 202.5	202.5 - 225	0.6	0.6	320	360
Zona Urbana	1 - 1	3.3 - 4	3 - 4	180 - 202.5	202.5 - 225	0.55	0.55	392	432

Parámetro	Oriental	Valle
DC	360 mm/mes	360 mm/mes
DWC	1540 mm	1540 mm
Z1	35%	40%
Z2	35%	30%

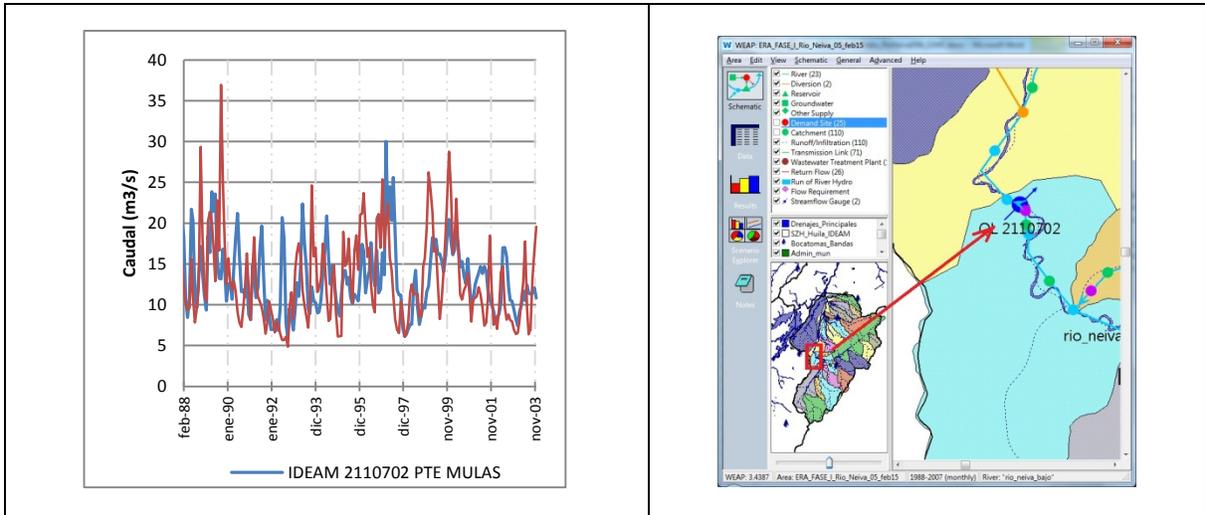


Figura 3. Caudales simulados y observados del modelo hidrológico para la cuenca de Rio Neiva

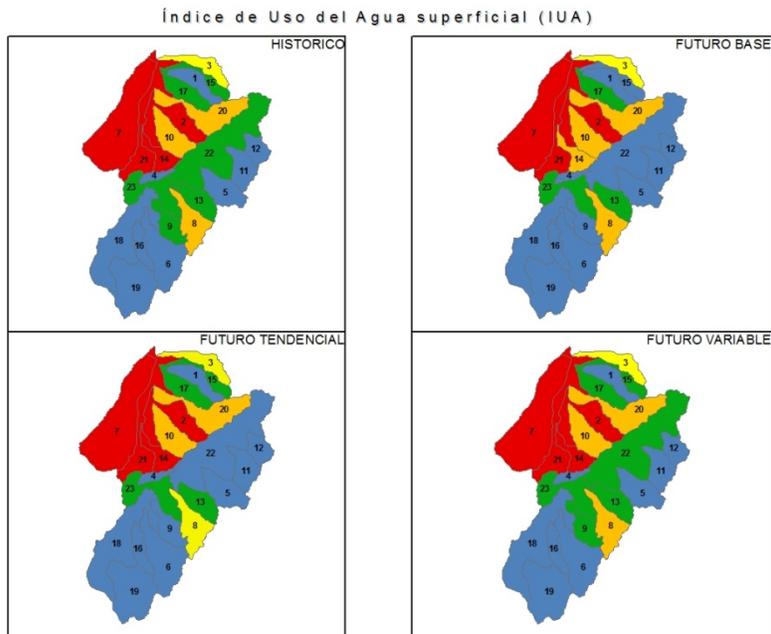
Resultados de los indicadores

La versatilidad de la Herramienta WEAP permite hacer modificaciones y alimentaciones constantes; considerando que el modelo está en construcción y con el objetivo de validar la herramienta para el procedimiento de extracción de los indicadores con el IDEAM, se tiene resultados directos específicamente para el IA en las pestañas dedicadas, los demás indicadores son extraídos y calculados externamente a través de una macro en Excel categorizándolos de acuerdo con los lineamientos de la ERA

Cuadro 1. Indicadores regionales utilizando herramienta WEAP

MicroCuenca	IA	IRH	IUA	IVH	IVET
01 - Q. BEJUCAL	Yellow	Yellow	Blue	Green	Yellow
02 - Q. CARAGUAJA	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
03 - Q. EL ALBADAN	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
04 - Q. EL GUADUAL	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
05 - Q. EL QUEBRADON M	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
06 - Q. EL QUEBRADON S	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
07 - Q. LA CIENAGA	Yellow	Blue	Red	Yellow	Yellow
08 - Q. LA PERDIZ	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
09 - Q. LAS DAMAS	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
10 - Q. LAS TAPIAS	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
11 - Q. LEJIA 1	Yellow	Yellow	Blue	Yellow	Yellow
12 - Q. LEJIA 2	Yellow	Yellow	Blue	Yellow	Yellow
13 - Q. LOS NEGROS	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
14 - Q. OTAS	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Yellow
15 - Q. RIVERA	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
16 - Q. SANTA LUCIA	Yellow	Yellow	Blue	Yellow	Yellow
17 - Q. SARDINATA	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
18 - R. BLANCO	Yellow	Yellow	Blue	Yellow	Yellow
19 - R. BLANCO ALTO	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
20 - R. FRIO CAMPOALEC	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
21 - R. NEIVA_Bajo	Yellow	Yellow	Red	Yellow	Yellow
22 - R. NEIVA_Alto	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
23 - R. NEIVA_Medio	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

Indicadores Regionales en matriz



Indicadores Regionales espacializados bajo escenarios, caso IUA

Cuadro 2. Categorización de los indicadores hídricos regionales

Categorías para el Índice de Aridez (IA)

RANGO DE VALORES ÍNDICE DE ARIDEZ	CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
< 0.15		Altos excedentes de agua
0.15 – 0.19		Excedentes de agua
0.20 -0.29		Entre moderado y excedentes de agua
0.30 -0.39		Moderado
0.40 – 0.49		Entre moderado y deficitario de agua
0.50 – 0.59		Deficitario de agua
> 0.60		Altamente deficitario de agua

Categorías del Índice de retención y regulación Hídrica (IRH)

RANGO DE VALORES IRH	CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS
> 0.85	MUY ALTO	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy alta
0.75 -0.85	ALTO	Capacidad de la cuenca para retener y regular alta
0.65 – 0.75	MEDIO	Capacidad de la cuenca para retener y regular media
0.50 – 0.65	BAJO	Capacidad de la cuenca para retener y regular baja
< 0.50	MUY BAJO	Capacidad de la cuenca para retener y regular muy baja

Rangos y categorías del Índice de uso del agua (IUA)

Rango (Dh/Oh)*100 IUA	Categoría IUA	Significado
>50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20.01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10.01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1 - 10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

Categorías Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH)

IUA	IRH			
	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Muy alto	Medio	Alto	Alto	Muy Alto
Alto	Medio	Alto	Alto	Muy Alto
Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio

Clasificación del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET)

Índice de Variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy Alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy Alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy Alta	Muy Alta
Muy Alta	Media	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta

Pasos a Seguir

Se espera la validación de la herramienta WEAP para la extracción de los indicadores hídricos regionales por parte del IDEAM con el ánimo de ser utilizada en las demás subzonas hidrográficas (13) y cuencas (536) incluidas en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM, así mismo en aras de socializar en las demás corporaciones autónomas del territorio Colombiano para el uso en las evaluaciones regionales del agua.

Contacto del Proyecto en USAID: Carolina Figueroa, cfigueroa@usaid.gov

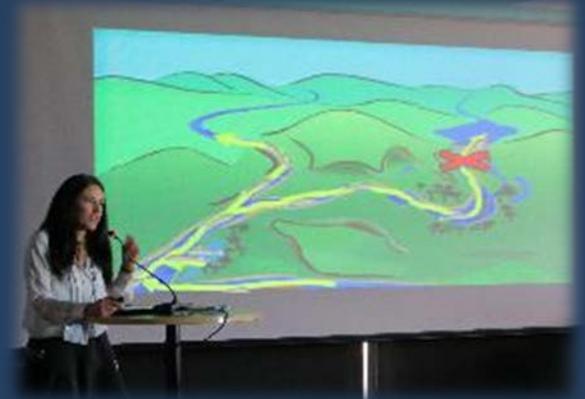
Contacto del proyecto en SEI: Marisa Escobar, marisa.escobar@sei-us.org

Contactos de esta hoja de datos: Salomón Barragán, salobarra@hotmail.com; Oscar Javier Moncayo Calderón, oscarj.moncayo@gmail.com

5. Submitted peer review scientific articles

Contents:

- Modelación Hidrológica del Río la Vieja. Herramienta de Análisis de Decisiones Robustas.
- Los Modelos de Gestión como herramienta para el análisis de la relación agua-sociedad en el territorio con enfoque desde las Ciencias Ambientales. Estudio de caso de la ciudad de Pereira en la cuenca del río Otún.
- Integración de los modelos WEAP y QUAL2k para la simulación de la calidad de agua de fuentes superficiales. Caso de estudio: Cuenca del río La Vieja, Colombia.
- Estimación de la Huella Hídrica Verde y Agua Virtual de Café bajo escenarios de cambio climático usando WEAP



MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO LA VIEJA. HERRAMIENTA DE ANALISIS DE DECISIONES ROBUSTAS

HYDROLOGICAL MODEL OF LA VIEJA RIVER. ANALYTICAL TOOL OF ROBUST DECISIONS

Gabriel Lozano Sandoval¹; Cesar Augusto Rodríguez Mejía¹; David Purkey²; Marisa Escobar²; Juan Mauricio Castaño³; Carlos Andrés Sabas Ramirez³; Alberto Galvis⁴; María Fernanda Jaramillo⁴.

¹ Investigador Grupo de Investigación, Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y el Ambiente (CIDERA).
Universidad del Quindío.

² Investigador Stockholm Environment Institute SEI, Davis USA

³ Investigador Grupo de Investigación Ecología, Ingeniería y Sociedad (EIS). Universidad Tecnológica de Pereira (UTP).

⁴ Investigador Instituto CINARA. Universidad del Valle.

RESUMEN

Se desarrolló un modelo hidrológico y del sistema de recursos hídricos para la cuenca del río La Vieja, que constituye una herramienta para el Análisis de Decisiones Robustas (ADR) para generar y evaluar escenarios futuros asociados a incertidumbres de tipo climático, crecimiento poblacional, consumo per-cápita y eficiencia de los sistemas de abastecimiento. Esta herramienta de ADR permite evaluar diferentes estrategias de adaptación al cambio climático las cuales en este caso se enfocan en la reducción de los índices de agua no facturada y la implementación de caudales ecológicos.

Aplicando la herramienta Water Evaluation And Planning System (WEAP), se modelaron 37 corrientes hídricas tributarias directas e indirectas del cauce principal en la cuenca del río La Vieja, y se consideraron en la modelación un total de 17 demandas de agua para consumo humano y 4 demandas para generación hidroeléctrica sobre el río Quindío.

De la combinación de las incertidumbres y estrategias de adaptación se obtuvo un total de 1 728 posibles escenarios, los cuales se ejecutaron mediante una rutina de programación computacional denominada 'scripting' y posteriormente fueron analizados mediante una herramienta de visualización que en este caso fue el software Tableau.

Palabras Claves: Modelación Hidrológica, Recursos Hídricos, WEAP, Lluvia-Escorrentía, Cambio Climático, Adaptación, Apoyo a las Decisiones Robustas.

ABSTRACT

A hydrological model for the system of water resources of the Rio La Vieja's Watershed was developed as a tool for the Analysis of Robust Decisions (ARD) in order to create and evaluate future scenarios related to uncertainties in climate change, population growth, per-capita consumption and efficiency of water supply systems. This tool (ARD) allowed us to evaluate different strategies of adaptation to Climate Change. In this study, they are focused in the reduction of non-revenue water indexes and the adoption of ecological flows.

Applying the Water Evaluation and Planning System (WEAP) tool, 37 water currents both direct and indirect, tributaries of The main River within the Watershed La Vieja were modelled. The water demand was also included in the model input corresponding to 17 cases for human consumption and 4 ones for hydroelectrical power stations on the Quindio river.

The uncertainties and strategies of adaptation were combined and as a result, 1 728 possible scenarios were obtained by using the computational routine 'scripting' and later analysed with the visual aids provided by the software Tableau.

Key words: Hydrological Modelling, Water Resources, WEAP, run-off, Climate Change, Adaptation, support to the robust decisions.

INTRODUCCIÓN

Tal como lo ha venido exponiendo ya hace un tiempo el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) en sus diferentes reportes, en los últimos decenios los cambios en el clima han causado impacto en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos (IPCC, 2014). Esta variación en el sistema climático tiene notables efectos en el ciclo hidrológico que a su vez causa notables consecuencias en el sostenimiento de la vida en el planeta y que modificaciones en

variables climáticas como temperatura y precipitación tienen un impacto significativo en los recursos hídricos, los ecosistemas y las sociedades (García, Carvajal, & Jiménez, 2011).

En el caso de América Latina (Hernández & Mejía, 2014) basados en (FAO, COSUDE, ASDI, & BMZ, 2012) expresan que se espera una reducción de la disponibilidad del agua para consumo y producción hidroeléctrica, debido al derretimiento de glaciares y a una disminución de las precipitaciones y aumento de la temperatura, lo cual puede derivar en una sustitución de diferentes ecosistemas, en disminución de la productividad del ganado, cambios en la ubicación de poblaciones de peces, baja disponibilidad de agua para consumo humano, riesgo de sufrir hambrunas y pérdidas de los rendimientos de algunos cultivos.

Colombia no es ajena al impacto generado por el cambio climático, las pérdidas económicas por eventos meteorológicos catastróficos se han incrementado en las últimas décadas, parte de estas pérdidas están relacionadas con factores climáticos regionales, de ahí que el pronóstico del tiempo, la variabilidad climática y la generación de escenarios de cambio climático se han convertido en herramientas fundamentales para la toma de decisiones con el fin de que los diferentes sectores de la sociedad se anticipen a eventos extremos meteorológicos, identifiquen sus vulnerabilidades y paulatinamente se adapten a los posibles cambios del clima (IDEAM, 2012).

La Política Nacional para la Gestión de Recursos Hídricos (MAVDT, 2010) establece objetivos, estrategias, metas e indicadores en cuanto a los recursos hídricos, estableciendo el objetivo de desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad de agua a través de medidas de mitigación y adaptación para la reducción de los riesgos asociados a la oferta hídrica resultante de los fenómenos de variabilidad climática y cambio climático mediante el uso eficiente y eficaz, articulado al ordenamiento del territorio, y la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica (MAVDT, 2002; PNUMA & REGATA, 2012) citados en (Hernández & Mejía, 2014).

Este tipo de políticas y los fuertes impactos que se pueden generar por el cambio climático según lo expuesto en los párrafos anteriores, dio lugar a que diferentes instituciones como el Stockholm Environment Institute US Center Davis, California (SEI- US), Universidad del Quindío, Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad del Valle, la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ), Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Aguas y Aguas de Pereira (A&A), formularan y ejecutaran con recursos de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), el proyecto “Creando capacidad de adaptación en planeación de recursos hídricos: Ríos del páramo al valle por urbes y campiñas” donde se buscó la construcción de capacidades para la adaptación al cambio climático, para lo cual se llevó a cabo el análisis de la interacción entre la oferta y la demanda hídrica superficial de la cuenca del río La Vieja en la región cafetera de Colombia. Para realizar dicho análisis se implementó WEAP, para modelar las condiciones hidrológicas de la cuenca utilizando el método Lluvia - Escorrentía de la humedad del suelo. El propósito de esta modelación fué generar un escenario base de la oferta y demanda hídrica, el cual permitió evaluar escenarios futuros asociados a la variabilidad climática e implementación de estrategias de adaptación al cambio climático para una adecuada gestión del recurso hídrico basado en el ADR.

El análisis de la oferta y demanda hídrica basado en parámetros hidrológicos (precipitación, temperatura, evapotranspiración, entre otros) y apoyado en una herramienta que adopta un enfoque integrado de la planificación de recursos hídricos, permite representar las condiciones actuales del agua en la cuenca de estudio, y al mismo tiempo, explorar una amplia gama de opciones de suministro y demanda bajo la generación de escenarios asociados a la variabilidad climática (Sieber, 2007) Con la herramienta WEAP, se logra un enfoque práctico para gestionar adecuadamente el recurso hídrico teniendo como resultado un soporte para la toma de decisiones sobre la administración y planeación de dicho recurso por parte de los gestores del agua.

En este estudio se evaluaron y analizaron diferentes incertidumbres asociadas al cambio climático, crecimiento poblacional, consumo per cápita y reducción de pérdidas de los sistemas de abastecimiento. Se lleva a cabo el análisis y evaluación de algunas estrategias de adaptación ante los escenarios de cambio climático, destacando la Reducción del Índice de Agua No Facturada (RIANF) y la implementación de Caudales Ecológicos. La combinación de estas incertidumbres y estrategias generaron en total 1 728 posibles escenarios futuros en la zona de estudio. Con el fin de interpretar y analizar los resultados de estos escenarios se desarrolló el proceso del Análisis de Decisiones Robustas (ADR), basada en el modelo de recursos hídricos WEAP, rutinas de programación o scripting y herramientas de visualización como Tableau.

DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica del río La Vieja se encuentra ubicada en el centro occidente Colombiano y forma parte de la denominada Eco-región del Eje Cafetero. Geográficamente se enmarca dentro de las coordenadas 4° 04' y 4° 49' de Latitud Norte y 75° 24' y 75° 57' de Longitud Oeste (Figura 1). El río La Vieja se forma por la confluencia de los ríos Quindío y Barragán, siendo este uno de los principales tributarios de la vertiente del río Cauca en Colombia.

El área total de la cuenca es de 2 880 km², donde el 68% que corresponde a 1 961 km² se encuentran en el departamento del Quindío (cubriendo la totalidad del departamento), el 22% en el departamento del Valle del Cauca y el 10% restante en el departamento de Risaralda (CRQ et al., 2007). En su territorio tienen jurisdicción 21 municipios donde residen cerca de 1 213 713 habitantes de los cuales el 86% habita en las cabeceras municipales y el 14% restante en zonas rurales (CRQ et al., 2011), la distribución de municipios por departamentos es: 12 municipios en el departamento del Quindío, 8 municipios en el departamento del Valle y un municipio en el departamento de Risaralda. De estos 21 municipios, 17 tienen su cabecera municipal dentro de los límites de la cuenca.

La cuenca del río La Vieja se caracteriza por poseer diversidad de pisos térmicos, los cuales van desde el subnival a cálido, con una parte del territorio con clima medio, húmedo transicional a medio y seco localizado al occidente cerca al cauce principal del río La Vieja, según la clasificación del IGAC (CRQ et al., 2007). En la zona nororiental se presentan las mayores elevaciones llegando hasta los 4 800 m.s.n.m en el nevado del Quindío y desembocando en el río Cauca a una altura aproximada de 900 m.s.n.m. En la cuenca la temperatura varía entre los 3.75 °C en la zona más alta hasta los 24 °C en la parte más baja, y en la zona intermedia entre los 1 000 y 3 800 m.s.n.m y que es considerada la de mayor producción agrícola, tiene una temperatura promedio de 17°C.

METODOLOGÍA

Modelo hidrológico del WEAP

En general, este modelo hidrológico es espacialmente continuo con un área de estudio configurado como un set de subcuencas contiguas que cubren toda la extensión del área de análisis. Un set homogéneo de datos climáticos (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) fué utilizado en cada una de estas subcuencas, que fueron divididas en diferentes tipos de cobertura/uso de suelo. Un modelo cuasi físico unidimensional, con dos receptáculos de balance de agua para cada tipo de cobertura/uso de suelo, distribuye el agua entre esorrentía superficial, infiltración, evaporación, flujo base y percolación (SEI, UG, & UC, 2009; Yates, Sieber, Purkey, & Huber-Lee, 2005a, 2005b) (ver Figura 2).

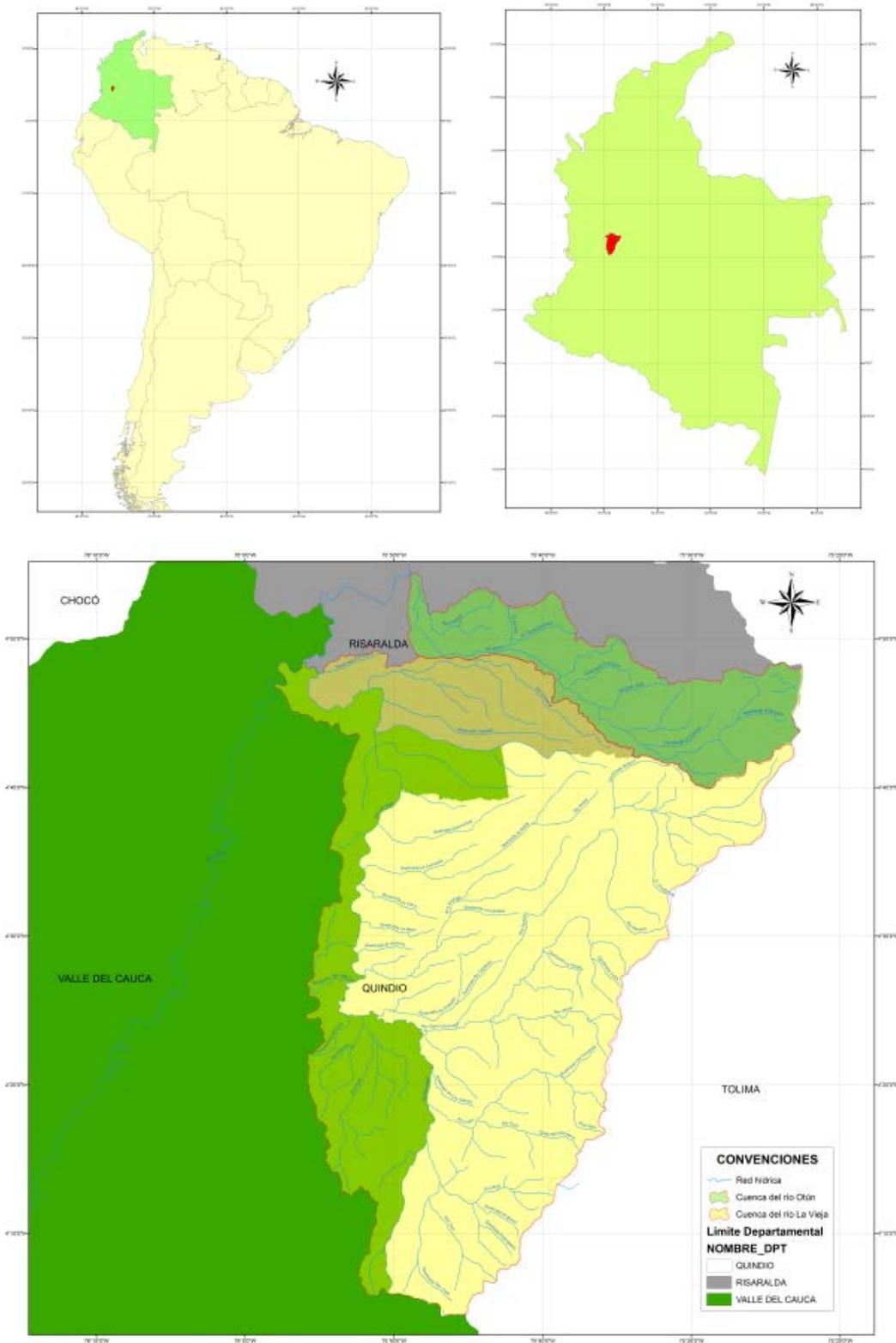


Figura 1. Localización cuenca del río La Vieja.

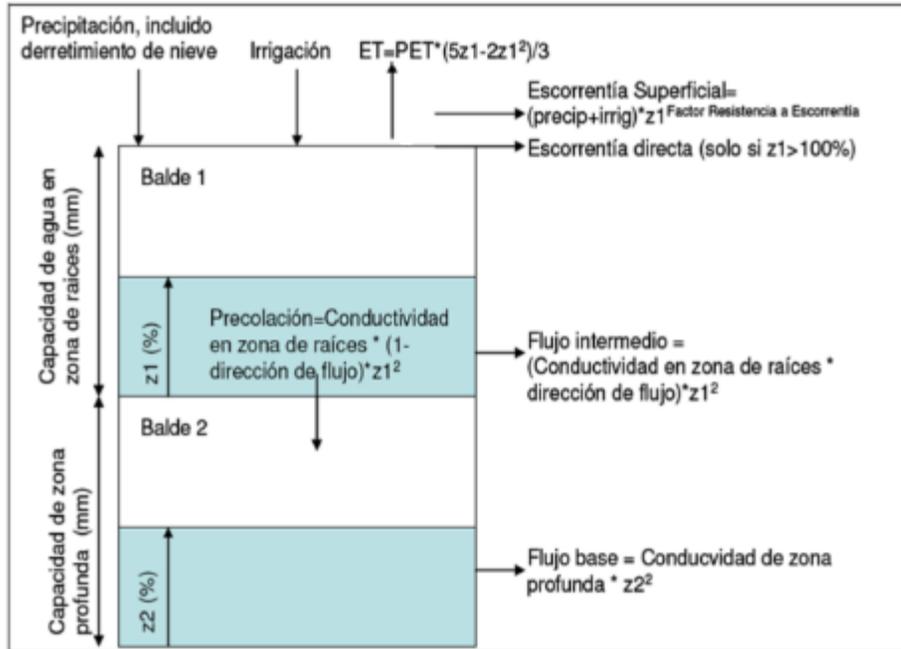


Figura 2. Modelo Hidrológico del SSD WEAP (SEI et al., 2009; Sieber, 2007)

Elementos del sistema de los recursos hídricos de la cuenca del río la Vieja

Para la modelación hidrológica de la cuenca del río La Vieja se utilizó el método lluvia-escorrentía de la humedad del suelo. Igualmente se realizó el análisis entre la oferta y la demanda de las principales cabeceras municipales; aguas abajo de las diferentes captaciones se consideró el caudal de ecológico, algunos otros aspectos relevantes que se consideraron en la modelación hidrológica fueron el alcance del modelo, la implementación del modelo, la escala temporal, los límites espaciales y la información hidroclimatológica.

El alcance del modelo fue el de simular el sistema de recursos hídricos de la cuenca del río La Vieja y sus tributarios. El objetivo de la implementación del modelo se enfocó en la generación y evaluación de escenarios futuros asociados a la variabilidad climática, e implementación de estrategias de adaptación al cambio climático (proyectados al año 2050). La escala temporal del modelo hidrológico se definió mensual y los límites espaciales se definieron a partir del punto de cierre de la cuenca en la

desembocadura en el río Cauca, para este límite definido se delimitaron las subcuencas bajo el criterio de bandas de elevación con el fin de realizar una modelación con mayor detalle.

Unidades básicas de modelación (Catchment)

En WEAP las unidades básicas de modelación son denominadas 'catchments' las cuales son zonas de captación donde sucede el proceso de lluvia-escorrentía. Para definir los *catchments* se aplicó el criterio de bandas de elevación cada 500 m (Yates et al., 2005a, 2005b), una vez definidas dichas bandas, se procede a interseccionarlas con la cartografía de la cuenca donde se presenta la delimitación incluyendo las subcuencas principales. En total para la cuenca del río La Vieja se obtuvieron 154 catchments. El esquema de modelo WEAP del río La Vieja se presenta en la Figura 3.

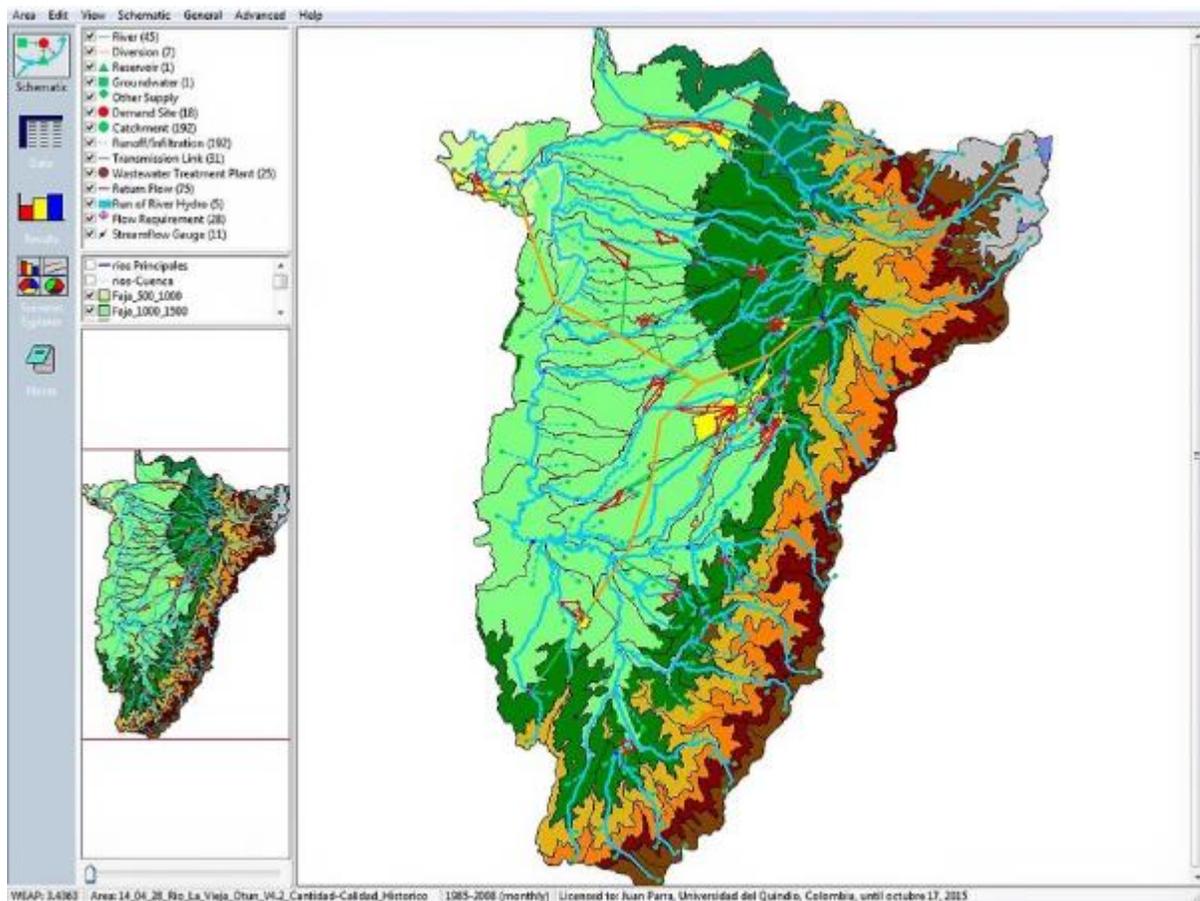


Figura 3. Esquema modelo WEAP ríos La Vieja

Información para el modelo

La información base para ingresar al modelo básicamente correspondió a coberturas de suelos y registros climatológicos de precipitación, temperatura y humedad.

Las coberturas de suelos definidas para la cuenca de estudio corresponden principalmente a: paramo, bosque, pastos, zonas urbanas, zonas agrícolas, café, glaciares, aguas abiertas y suelos al desnudo, estas coberturas se presentan en la Figura 4 (CRQ et al., 2007).

Para el desarrollo del modelo hidrológico fué necesario realizar un análisis sobre los datos de las variables climatológicas de principal importancia, los cuales son: precipitación, temperatura y humedad. Para el análisis de los parámetros anteriormente mencionados fué necesario recopilar la información de las estaciones localizadas tanto al interior como próximas a la cuenca del río la Vieja (ver Figura 5).

La información de precipitación fue proporcionada por la Corporación Autónoma Regional del Quindío (**CRQ**), el Centro Nacional de Investigación del Café (**CENICAFE**) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (**IDEAM**). Dicha información corresponde a 87 estaciones que se encuentran al interior y fuera de la cuenca del río la Vieja.

Para las estaciones pluviométricas se verificó la consistencia de los registros mediante el vector regional, con ayuda del el software HYDRACCESS (Vauchel, 2005) con lo cual del grupo de 87 estaciones, se descartaron 19 estaciones que presentaban pocos datos registrados y que no cumplían con el criterio de homogeneidad.

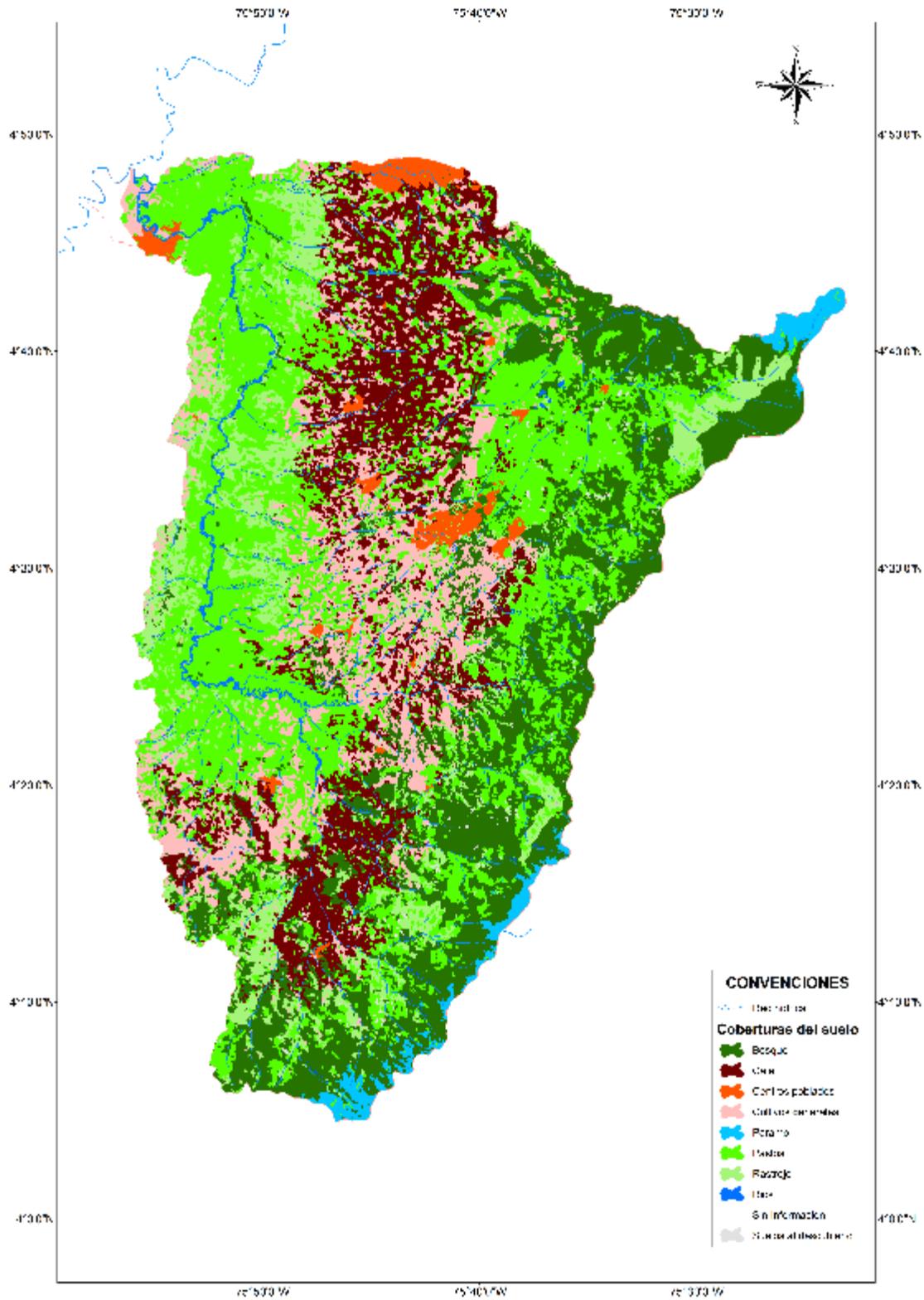


Figura 4. Mapa coberturas de suelo (CRQ et al., 2007)

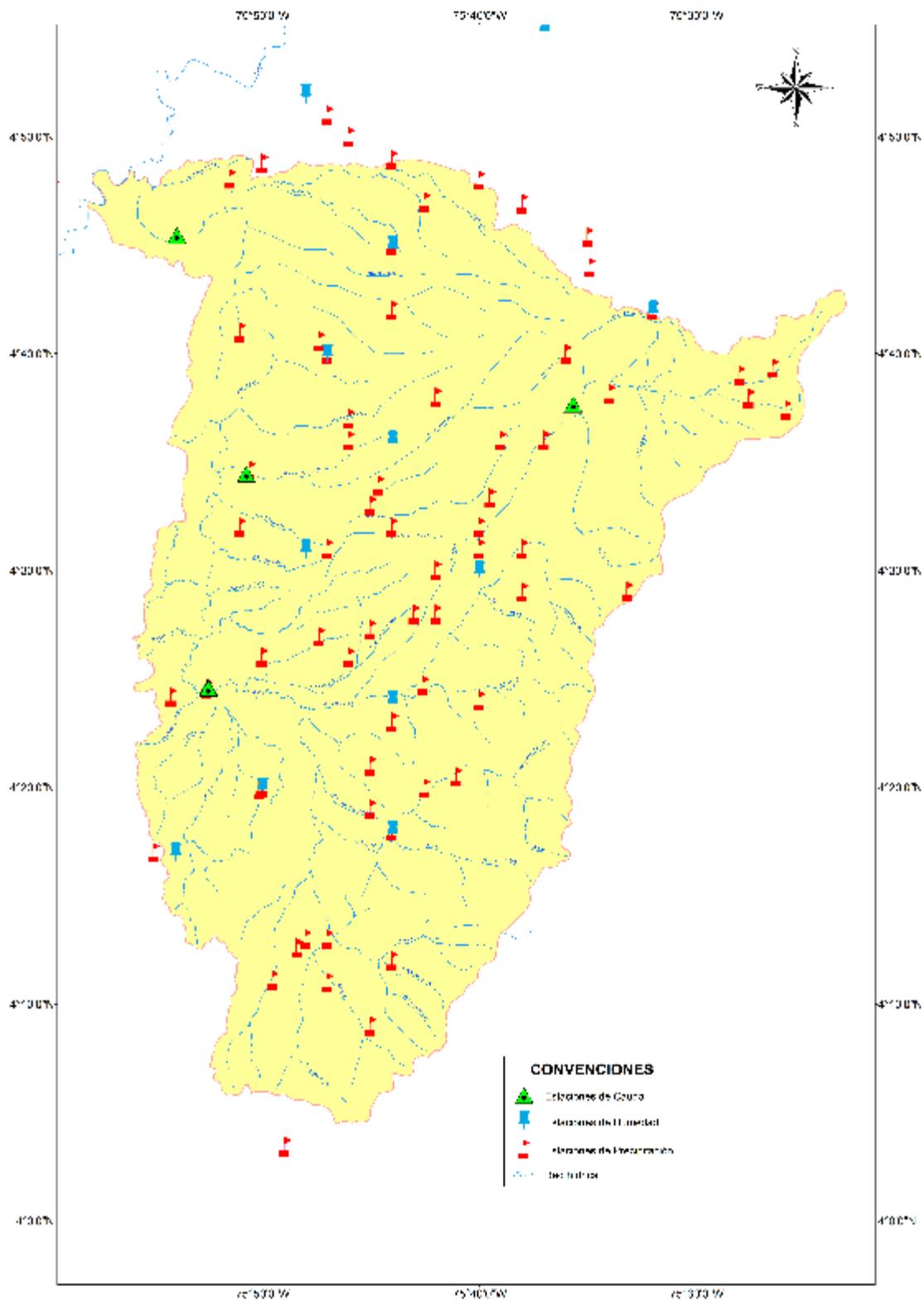


Figura 5. Mapa localización estaciones hidroclimatológicas

En la Figura 7 se presentan los gráficos sin considerar las estaciones descartadas, las cuales se eliminaron por tener un bajo índice de correlación respecto al vector regional dado que estas generan ruido causando una disminución en los índices. Adjuntos a las gráficas se presentan respectivamente los índices de Correlación del Vector $CV=0.769$ y la Desviación Estándar de los Desvíos $DED=0.369$ (Le Goulven, Alemán, & Osorno, 1993).

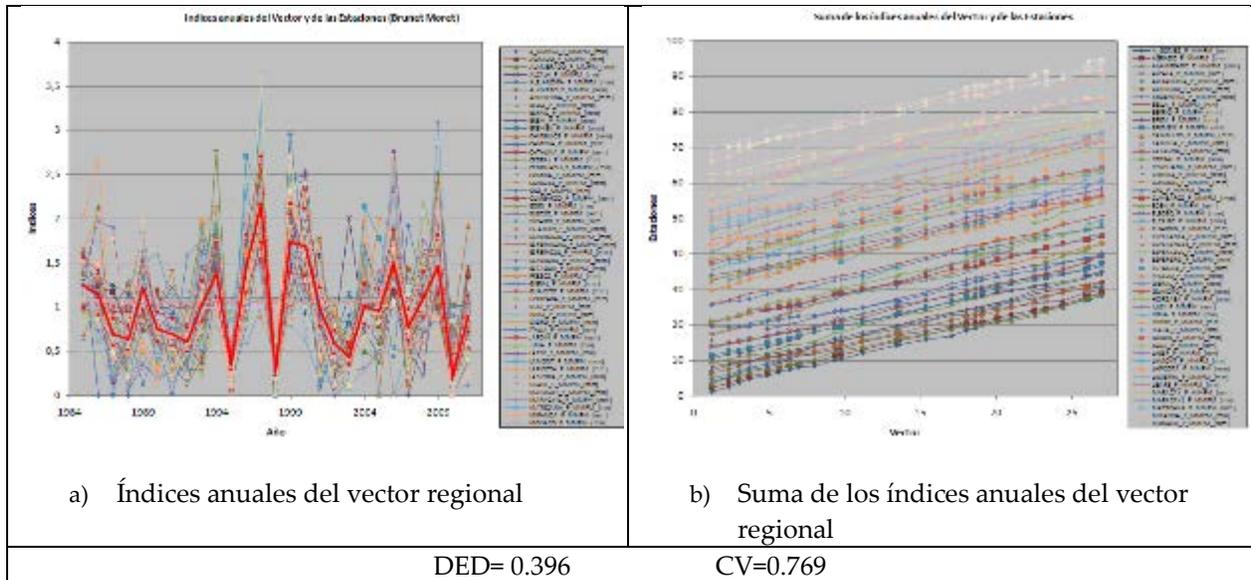


Figura 6. Análisis de la precipitación - Vector Regional

Para la temperatura, se realizó una extrapolación de los registros a partir de 184 estaciones del IDEAM, localizadas en la región andina colombiana a diferentes elevaciones sobre el nivel del mar. Al igual que la precipitación para el análisis de la temperatura se seleccionó el periodo de tiempo correspondiente desde 1 985 a 2 010. Para generar las series de temperatura, se elaboraron curvas que relacionan la temperatura con la altura a partir de las cuales se genera una ecuación de temperatura en función de la altura mediante técnicas de regresión lineal (ver Figura 8).

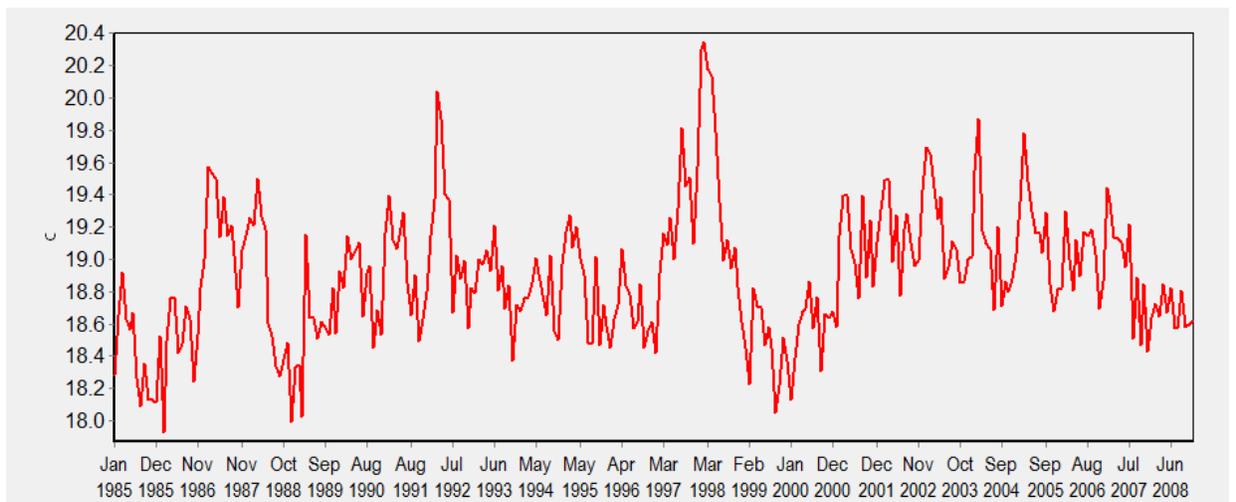
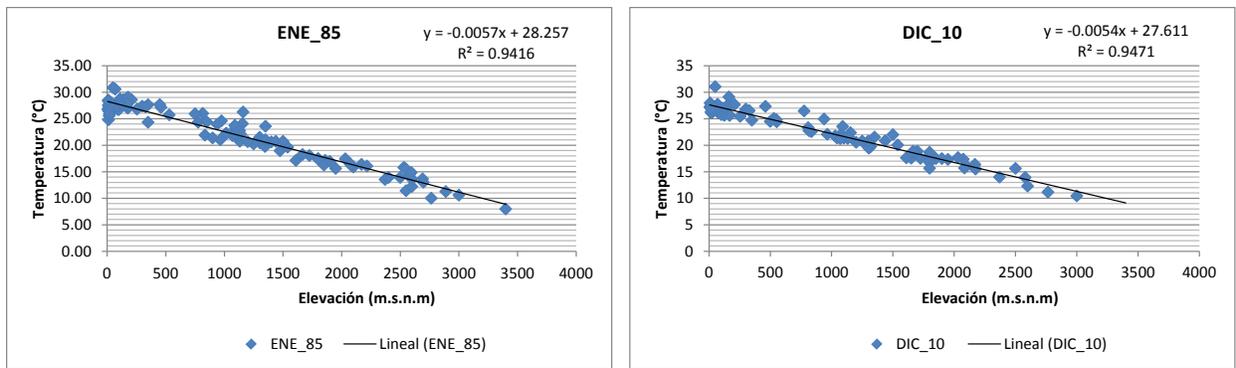


Figura 7. Serie de tiempo de temperatura

Para la humedad relativa, la información existente es escasa. basados en un análisis exploratorios de los registros de humedad relativa se identificó que la variación de dicho parámetro es pequeña comparada mes a mes para los diferentes años de registro, por lo tanto se generó una serie de promedios mensuales multianuales para la cuenca del río La Vieja con el fin de suplir dicha escases de registros. Las estaciones de registro de humedad identificadas para la cuenca son operadas por CRQ y CENICAFE.

A partir de los registros mensuales de precipitación y humedad, se utilizaron herramientas de análisis espacial de ArcGIS, (Interpolación - inverso de la distancia al cuadrado - IDW) para generar series de tiempo distribuidas espacialmente sobre el área de la cuenca. En la Figura 10 se muestra a manera de

ejemplo un mapa de distribución espacial de la precipitación para el mes de enero del año 2001, este mismo procedimiento se llevó a cabo para las estaciones de humedad.

Calibración del modelo

Con la calibración se busca lograr un set de parámetros hidrológicos y operacionales, que permita obtener una representación de caudales y operaciones de obras de infraestructura que asemeje los datos históricos de la forma más cercana posible, para la evaluación de la calibración del modelo se aplican dos de las métricas estadísticas planteadas en (Moriasi et al., 2007). Dichas métricas específicamente son las de Nash Sutcliffe, el cual determina la magnitud relativa de la varianza residual ("ruido") en comparación con la variación de datos de medición ("información") (Nash & Sutcliffe, 1970) y el estadístico del PBIAS que evalúa el sesgo midiendo la tendencia media de los datos simulados para ser mayor o menor que sus contrapartes observados (Gupta, Sorooshian, & Yapo, 1999), estos índices se calcula respectivamente de la siguiente manera.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i, obs} - Y_{i, sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{i, obs} - Y_{mean})^2} \right] [2]$$

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i, obs} - Y_{i, sim}) * 100}{\sum_{i=1}^n (Y_{i, obs})} \right] [3]$$

Donde

$Y_{i, obs}$: caudal observado en el mes i

$Y_{i, sim}$: caudal simulado en el mes i

$Y_{i, mean}$: caudal promedio observado del periodo de análisis

El Set de parámetros hidrológicos para la calibración del modelo integrado de la cuenca del río La Vieja se muestra en la Tabla 1. Se observa en la Figura 11 el ajuste de los datos simulados con el software

WEAP con respecto a los datos de caudales registrados mediante las estaciones Alambrado, Cartago y La Española. Se verificó la semejanza en primera estancia visual y en segunda de manera numérica con ayuda de las medidas estadísticas descritas arriba para estimar la precisión.

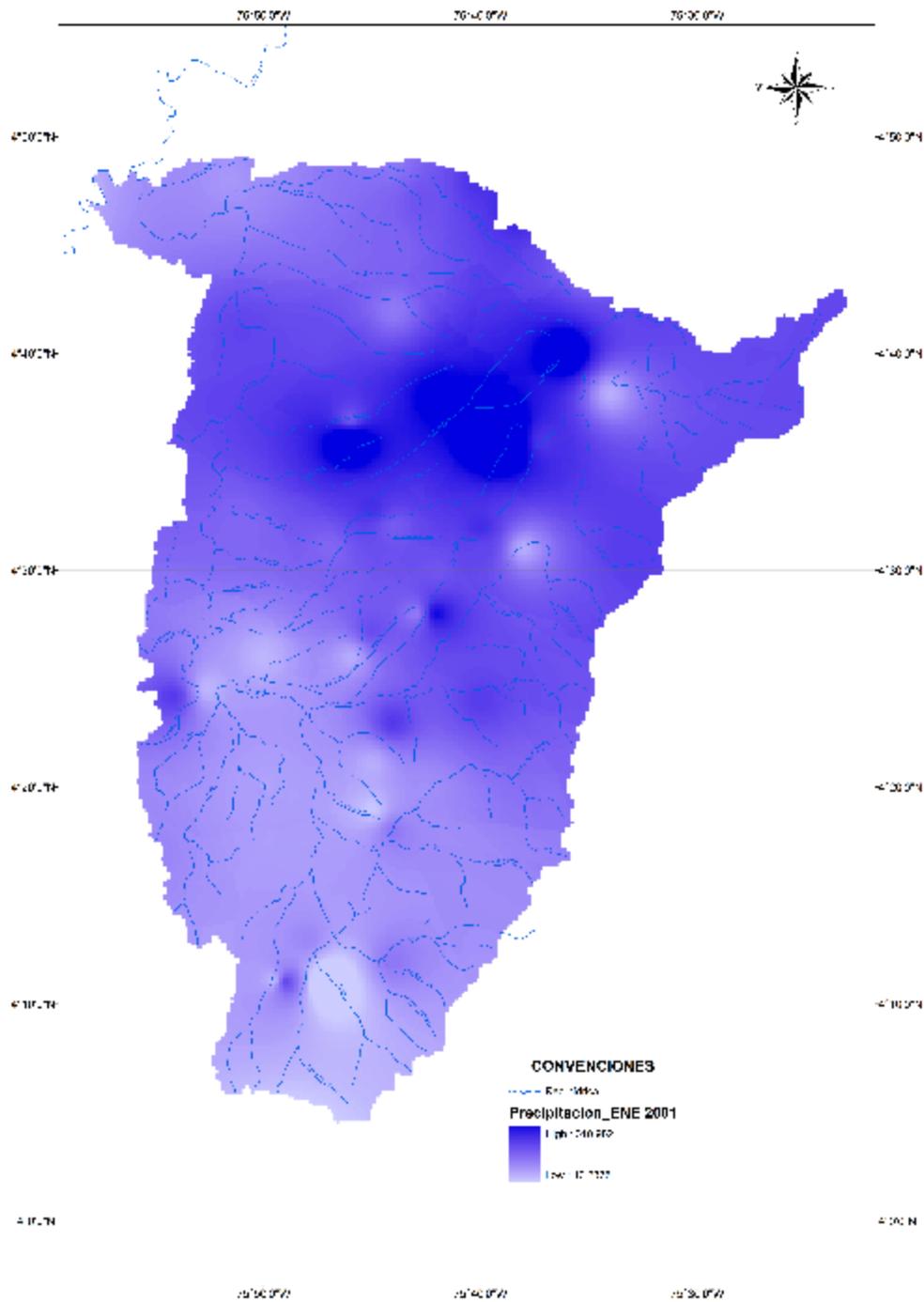


Figura 8. Ejemplo mapa de precipitación distribuida cuenca del río La Vieja

Tabla 1. Set parámetros de calibración modelo WEAP La Vieja

Cobertura	Kc	RRF		Ks		f	Sw	Dw*	Deep Cond.*	Z1	Z2*	Umbral P Efec.*
		Max.	Min.	Max	Min.							
Glaciares	1.00	3.00	5.00	100.00	90.00	0.80	400.00			30.00		
Agrícola	0.95	3.50	6.00	150.00	90.00	0.50	600.00			30.00		
Bosque	1.10	4.00	6.50	190.00	110.00	0.30	800.00			30.00		
Café	0.90	3.50	6.00	150.00	90.00	0.60	600.00			30.00		
Paramo	0.85	4.00	6.00	180.00	110.00	0.40	750.00	800.00	80.00	30.00	30.00	140.00
Zonas Urbanas	0.71	3.30	4.50	125.00	80.00	0.70	400.00			30.00		
Pastos	0.80	3.50	5.50	130.00	100.00	0.65	500.00			30.00		
Cuerpos de agua	1.00	3.50	4.50	140.00	100.00	0.50	700.00			30.00		
Suelos desnudos	0.75	3.30	4.50	130.00	75.00	0.70	300.00			30.00		

*Se aplica de manera general a toda la cuenca.

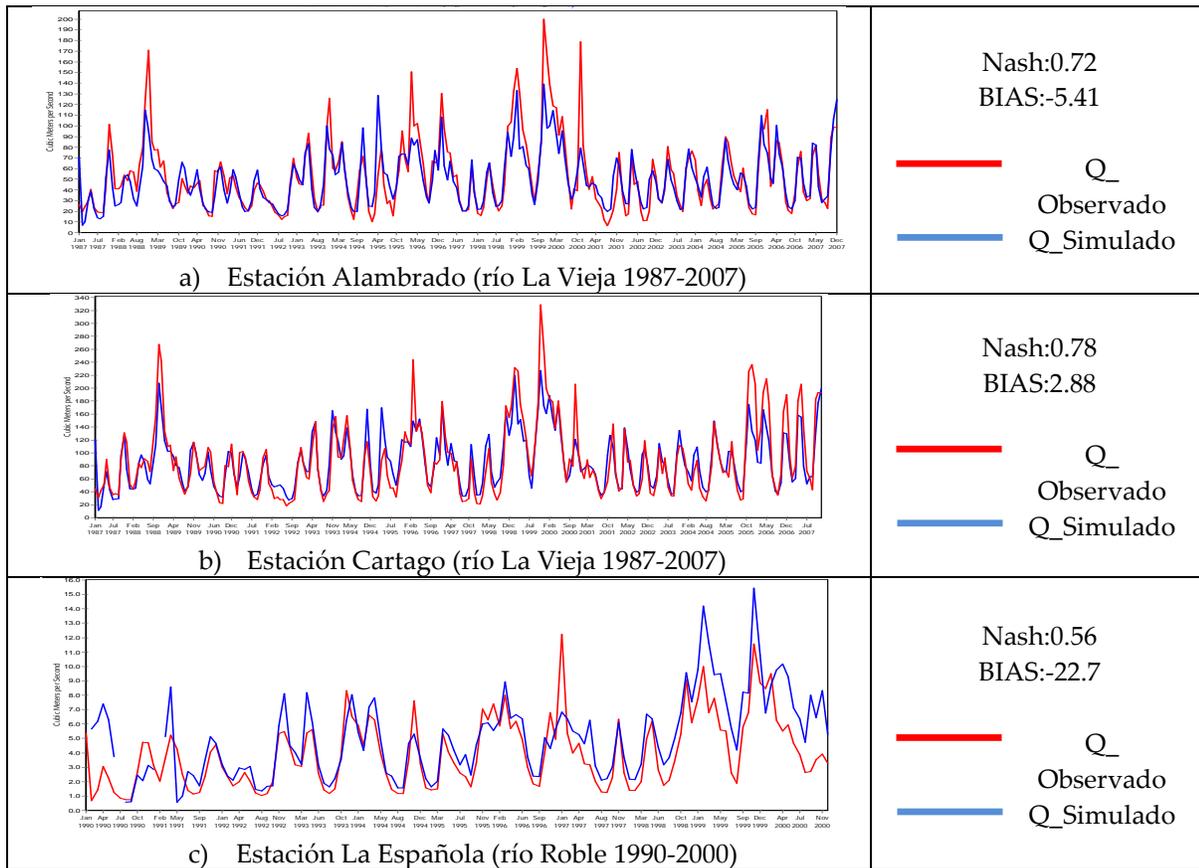


Figura 9. Datos medido vs Datos Simulados.

Cambio Climático

Para la cuenca del río La Vieja se definieron en total 35 escenarios de cambio climático, estos escenarios son producto del trabajo conjunto entre el National Center for Atmospheric Research (NCAR), el Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Stockholm Environment Institute (SEI).

Estos escenarios de clima son basados en datos climáticos históricos a partir de los cuales se calcula la anomalía promedio de la precipitación y temperatura para cada escenario climático, así se preserva la tendencia alrededor del promedio y la variabilidad interanual y de esta forma se representa la anomalía histórica en las proyecciones futuras.

Es de resaltar que estos escenarios de clima se basan en diferentes Modelos Climáticos Globales o Modelos de Circulación General (MCG) que en este caso son los modelos del CMIP-5, en los Cambios representativos de Concentración de Carbono en la Atmósfera (RCP 4.5 y 8.5), en el Reliability Ensemble Averaging (REA). Aun así la resolución de estos modelos es muy baja para el uso en cuencas de la escala espacial de la Vieja en el rango entre 1,000-10,000 km². En este punto surge la importancia de realizar un 'downscaling' o cambio de escala para mejorar la resolución de los modelos generando por consiguiente una disminución en la incertidumbre.

Tanto para los registros históricos de precipitación y temperatura se estimó el promedio mensual y su anomalía mensual asociada. Para el caso de la precipitación se multiplicó por la anomalía ($P' = \bar{P} * \Delta P$) y para el caso de la temperatura se suma dicha anomalía ($T' = \bar{T} + \Delta T$), de esta forma se produce la misma representación de las series de tiempo de los datos históricos (Maraun et al., 2010; Maurer, Hidalgo, Das, Dettinger, & Cayan, 2010; Wood, Maurer, Kumar, & Lettenmaier, 2002).

Análisis de Decisiones Robustas (ADR)

Se evaluaron diferentes incertidumbres asociadas principalmente al cambio climático, crecimiento poblacional, consumo per cápita y reducción de pérdidas de los sistemas de abastecimiento. Igualmente se llevó a cabo el análisis y evaluación de algunas estrategias de adaptación ante escenarios de cambio climático, destacando la Reducción del Índice de Agua No Facturada (RIANF) y la implementación de Caudales Ecológicos (Tabla 2).

Tabla 2. Incertidumbres y estrategias ejecutadas

Incertidumbres	Estrategias
Cambio climático (6 escenarios)*	No estrategia
Cambio demográfico (4 escenarios)**	Reducción del índice de agua no facturada (RIANF).
Consumo per cápita (3 escenarios) **	Implementación de caudales ecológicos.
Reducción de pérdidas (2 escenarios) **	

* incluye clima histórico

** incluye escenario base o actual.

La combinación de estas incertidumbres y estrategias representaron en total 1 728 posibles escenarios futuros en la cuenca del río La Vieja. Con el fin de interpretar y analizar los resultados de estos escenarios se desarrolló un proceso de “Análisis de Decisiones Robustas (ADR)”, basado en el modelo de recursos hídricos WEAP, rutinas de programación o scripting y herramientas de visualización como el software Tableau.

Uno de los objetivos de este estudio fué realizar un análisis de la oferta y la demanda hídrica en la cuenca del río La Vieja. Para este análisis se consideraron las principales demandas de agua, las cuales corresponden a 17 cabeceras municipales y 4 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH). Igualmente es de resaltar que este análisis planteó que la mayor prioridad en la demanda de agua se dará sobre el caudal ecológico, seguido del consumo humano y finalmente otros usos del agua.

La Figura 12 representa el mapa de vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de agua urbana de los 16 municipios que se abastecen de la cuenca del río La Vieja en un horizonte de tiempo proyectado al 2050. Para la estimación de dicha vulnerabilidad se implementó la siguiente expresión.

$$Vulnerabilidad = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Frecuencia de falla}}{\# \text{ de datos de la serie de tiempo}}$$

Donde la frecuencia de falla corresponde al número de veces en la cual el sistema no tiene la capacidad de suplir la demanda de agua de los municipios. El # de datos de la serie de tiempo corresponde al número total de registros de tiempo en el periodo de simulación del modelo.

En este mapa se evaluaron los escenarios asociados a las incertidumbres presentadas en la Tabla 2, igualmente se consideraron la condición de escenario base, lo cual implica la no implementación de estrategias. La interpretación del mapa de la Figura 12 se realiza mediante una escala de color (rojo en este caso) donde el color más suave representa una baja vulnerabilidad, y el color más fuerte representa una mayor vulnerabilidad en cuanto a la cobertura de la demanda de agua urbana.

Como puede apreciarse en la Figura 12 la mayor vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de agua bajo el análisis de esta combinación de escenarios de incertidumbres de clima, cambio demográfico, consumo per cápita y eficiencia del sistema de abastecimiento; se presenta sobre los municipios de Armenia, Circasia, La Tebaida y Salento. Es de resaltar que estos cuatro municipios se abastecen de las aguas del río Quindío, convirtiéndolo en la fuente de abastecimiento con mayor presión sobre el recurso hídrico.

La Figura 13 es similar a la Figura 12, en este caso se presenta la vulnerabilidad para la cobertura de la demanda del caudal ecológico (Entendiéndose el Caudal Ecológico como aquel caudal mínimo que se debe dejar en una corriente de agua, inmediatamente después de un aprovechamiento hídrico o captación, con el fin de garantizar la vida y el desarrollo de la flora y fauna presentes en el medio acuático.) en la cuenca del río La Vieja.



Figura 10. Mapa de vulnerabilidad cobertura de la demanda de agua urbana cuenca del río La Vieja bajo condiciones de incertidumbre (eje vertical incertidumbres – eje horizontal centros urbanos).



Figura 11. Mapa de vulnerabilidad cobertura de caudal ecológico cuenca del río La Vieja (eje vertical incertidumbres – eje horizontal sitios de captación).

Este caudal ecológico se estima a partir de la metodología del IDEAM, la cual sugiere realizar la estimación de un caudal ambiental (ecológico) constante igual a un porcentaje de descuento (25%) del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente (UNAL & MAVDT, 2008). En la Figura 13 se puede apreciar como bajo la combinación de incertidumbres asociadas al clima, cambio demográfico, consumo per cápita y eficiencia del sistema de abastecimiento (sin implementación de estrategias), la vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de dicho caudal es baja en gran parte de la cuenca, esto debido a la alta prioridad definida para el caudal ecológico acorde a la normatividad colombiana y a las diferentes reglamentaciones expedidas por las Corporaciones Autónomas Regionales del Quindío (CRQ), Risaralda (CARDER) y Valle del Cauca (CVC), la cual ha sido representada en esta modelación de la cuenca (CRQ et al., 2011). Igualmente se puede observar problemas de cobertura de la demanda de caudales ecológicos principalmente aguas abajo de las bocatomas de los municipios de La Tebaida, bocatoma PCH El Bosque, bocatoma PCH Campestre y PCH La Unión. Al igual que para la cobertura de la demanda urbana, la mayor vulnerabilidad de cobertura del caudal ecológico se da sobre el cauce del río Quindío.

Medidas de adaptación

Como medidas de adaptación se desarrollaron en el modelo las estrategias asociadas a la implementación de caudales ecológicos y la Reducción de los Índices de Agua No Facturada (RIANF); es de resaltar que el río Quindío actualmente cuenta con caudales ecológicos definidos, por lo tanto no se aplica esta estrategia para el mismo, sin embargo para los demás tributarios del río La Vieja se implementó esta estrategia de caudal ecológico mediante la metodología del IDEAM.

Como se pudo identificar la mayor presión sobre el recurso hídrico se encuentra en el río Quindío, por lo que a continuación se presenta un análisis más detallado de la cobertura de la demanda urbana y de caudales ecológicos sobre el mismo. A modo de ejemplo para comprender el análisis de dichos

resultados, se presenta un escenario crítico que representa las condiciones extremas de clima, los cuales corresponden a un aumento del 16% y una reducción del 21% en la precipitación, además se considera un aumento de 1.1 °C en la temperatura. En cuanto al cambio demográfico se consideró la condición más desfavorable la cual corresponde a un crecimiento alto, igual en relación al consumo per cápita se consideró un aumento en la dotación de 10 l/hab*día, finalmente se consideró la eficiencia del sistema de abastecimiento en su condición desfavorable, la cual corresponde con las pérdidas actuales.

Bajo las condiciones de este escenario se buscó evaluar los cambios en la vulnerabilidad de la cobertura de la demanda urbana y de los caudales ecológicos en el río Quindío bajo la implementación de las estrategias de adaptación (RIANF y Caudal Ecológico), comparados con el escenario base, el cual en este caso específico correspondió a las condiciones de clima histórico y a la no implementación de estrategias. Es de resaltar que el simple hecho de evaluar los escenarios de clima ya se está involucrando un cambio en la vulnerabilidad de la cuenca. A continuación la Figura 14 presenta dicho cambio de la vulnerabilidad asociado al escenario descrito anteriormente.

En la Figura 14 presenta un análisis comparativo entre la situación base sin implementación de estrategias y el caso en el cual se activaron las estrategia del caudal ecológico y RIANF para evaluar el porcentaje de cambio en la vulnerabilidad de la cobertura de la demanda de agua urbana. Allí se puede observar que el impacto causado por la estrategia del caudal ecológico en cuanto a la mejora de la cobertura de demanda de agua de los municipios es muy bajo, cercano al 0%, e incluso en para los municipios de La Tebaida y Salento se observó que esta estrategia aumenta la vulnerabilidad de la cobertura de la demanda. Sin embargo esta estrategia es de gran importancia al momento de implementar y desarrollar instrumentos de planificación de la cuenca hidrográfica del río La Vieja ya que genera beneficios para la flora y fauna acuática, ayudando a la conservación de las fuentes hídricas y a la protección del medio ambiente.

Por otro lado bajo el escenario de la implementación de la estrategia de la RIANF, comparada con el escenario base (sin estrategia), se puede observar que ésta genera cierta mejora en cuanto al abastecimiento de centros urbanos, principalmente en los municipios de Salento, Armenia, Circasia y La Tebaida; en general la vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de agua de estos municipios, se ve reducida en promedio para el escenario analizado en un 3.2 % para Salento, 5.0 % para Armenia, 3.5 % para Circasia y 4.0 % para La Tebaida.

Estrategia	Clima	Poblacion	Consumo	Eficiencia	Armenia	Alcala	Buena Vista	Caicedonia	Calarca	Cartago	Circasia	Cordoba	Filandia	Genova	La Tebaida	Montenegro	Pijao	Quimbaya	Salento	Ulloa
Sin Estrategia	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				0.00%				0.00%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				0.00%				0.00%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				0.00%				0.00%	
QE	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				1.67%				0.00%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						0.00%				1.25%				1.30%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	0.00%						-0.76%				0.00%				-0.26%	
RANF	Historico	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	-4.92%						-3.40%				-4.17%				-4.36%	
	P(+16%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	-3.70%						-2.53%				-2.50%				-1.30%	
	P(-21%) - T(+1.1 °C)	Crecim_Alto	Aumento (+10 l/hab-dia)	Perd_actual	-6.52%						-4.53%				-5.15%				-3.93%	

Valores de medidas

Figura 12. Mapa % de cambio de vulnerabilidad en la cobertura de la demanda urbana, escenario base + estrategias.

Dado que el cambio en la vulnerabilidad de la cobertura en la demanda urbana es bajo (inferior al 5%) y la evidencia que muestra este estudio sobre los problemas del abastecimiento de centros poblados, se recomienda a la Autoridad Ambiental CRQ realizar estudios enfocados a evaluar otras posibles fuentes de abastecimiento de agua, entre las cuales se pueden citar, a manera de ejemplo el uso conjunto de

aguas superficiales y subterráneas, e igualmente la posibilidad de un embalse que permita suplir la demanda de agua en las épocas de escasez.

La Figura 15 presenta el mismo análisis comparativo que la Figura 14 pero en este caso se buscó evaluar el porcentaje de cambio en la vulnerabilidad de la cobertura de la demanda de los caudales ecológicos, en el caso en que se activaron las estrategias del caudal ecológico y RIANF.

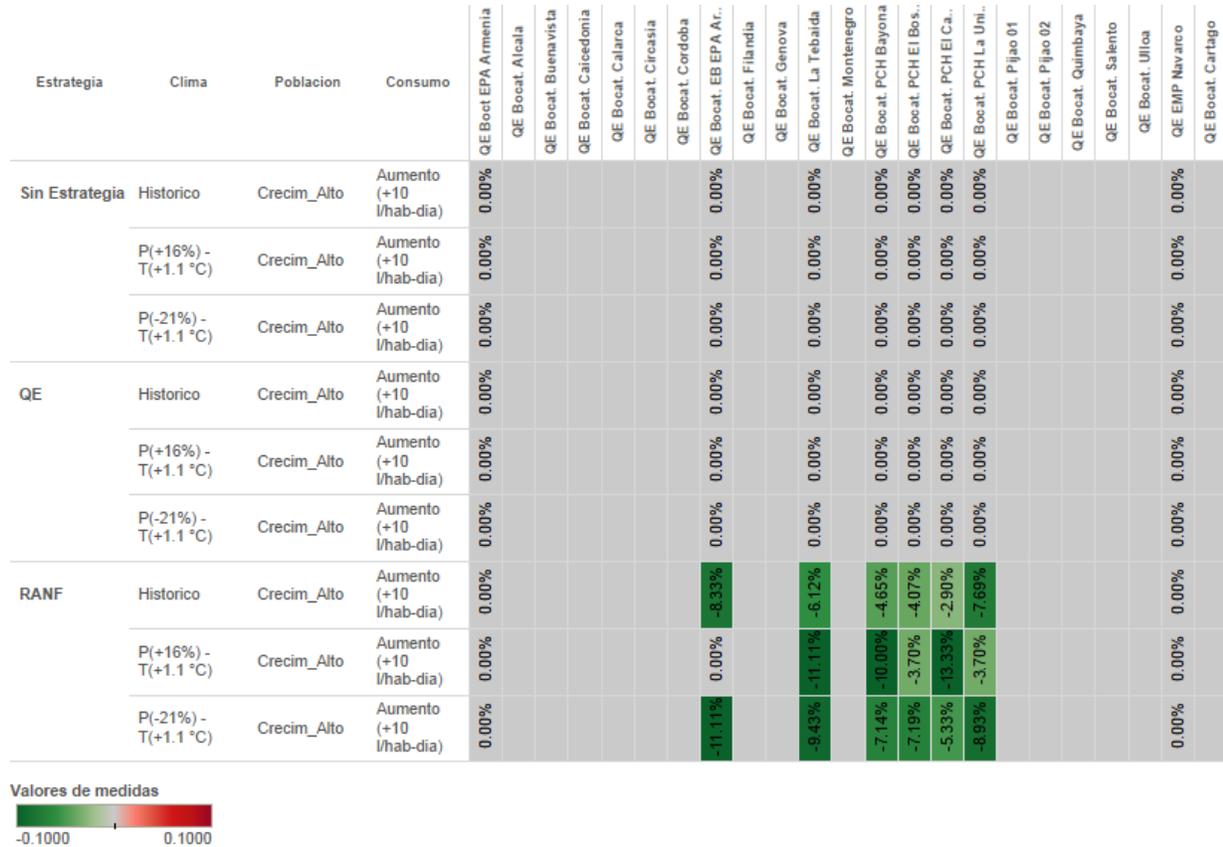


Figura 13. Mapa % de cambio de vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de caudales ecológicos, escenario base + estrategias.

Como se esperaba para el caso del río Quindío la estrategia del caudal ecológico no genera ningún impacto pues dicho río ya contaba con caudales ecológicos definidos por la CRQ y la mayor prioridad que se definió para esta demanda hacen que el modelo garantice dicha cobertura durante todo el periodo de modelación. Para el caso en el cual se activa la estrategia RIANF se puede apreciar cómo se redujo la vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de caudales ecológicos principalmente en los

sitios de captación de la estación de bombeo de Empresas Publicas de Armenia (EPA) y las bocatomas del municipio de La Tebaida, PCH Campestre, PCH Bayona, PCH La Unión y PCH El Bosque, con valores de reducción que oscilan entre 2.90% y el 13.33% para el escenario analizado.

Recomendaciones y Conclusiones

A continuación se da una serie de recomendaciones sobre las medidas a llevar a cabo, con el fin de mejorar las condiciones de abastecimiento de los centros poblados y demás demandas hídricas de la cuenca del río La Vieja.

Como se pudo apreciar en este estudio, el río Quindío (principal tributario del río La Vieja) es la corriente hídrica que presenta mayor presión y estrés hídrico en cuanto al abastecimiento de centros urbanos, por lo que se recomienda a la autoridad ambiental priorizar estudios de ordenación y reglamentación sobre esta corriente con el fin de mejorar los balances hídricos de oferta y demanda, de tal manera que permitan mitigar o disminuir el impacto que el cambio climático pueda generar sobre el abastecimiento de los centros poblados y demás demandas hídricas.

Dado que la estrategia de reducción del índice de agua no facturada genera un bajo impacto de adaptación en cuanto a la cobertura de demanda de agua para los municipios, se recomienda a la autoridad ambiental, estudiar y evaluar otras alternativas de abastecimiento, entre las cuales se citan a manera de ejemplo el uso conjunto de aguas subterráneas y superficiales, al igual que la posible implementación de un embalse, con el fin de mejorar las condiciones de abastecimiento urbano, especialmente en los municipios de Armenia, Circasia, Montenegro y La Tebaida.

Se recomienda a la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) la apropiación de estas herramientas de Análisis de Decisiones Robustas (ADR) para la planificación y gestión de los recursos hídricos, con el fin de continuar realizando estudios a nivel detallado para las diferentes subcuencas del río La Vieja.

Como principales conclusiones de este estudio se puede decir que de acuerdo a los escenarios de cambio climático y modelos de circulación general implementados en la cuenca del río La vieja y sus tributarios, son evidentes los efectos del clima sobre el recurso hídrico y sus implicaciones a futuro en las diferentes actividades socioeconómicas en la región. Esta situación, debe ser el punto de partida para convocar a los diferentes actores en la cuenca con el fin de identificar y ajustar diferentes medidas y estrategias que permitan mejorar la reducción de la vulnerabilidad en cuanto a las coberturas de la demanda de agua urbana y caudales ecológicos. De esta forma se busca generar mayor sensibilidad, responsabilidad y acciones sobre los efectos generados en los recursos hídricos y medio ambiente. Este tipo de trabajo participativo se ha llevado a cabo a escala de cuenca en otros países con resultados satisfactorios, tal como indica (Shi, Escobar, Joyce, & Kostaras, 2013) en el Alto Bolivia.

Los municipios que presentan mayor vulnerabilidad en cuanto a la cobertura de la demanda urbana son los municipios de Salento, Circasia, Armenia y La Tebaida. Estos municipios tienen la particularidad que todos se abastecen de la cuenca del río Quindío, por lo cual se concluye que el río Quindío es el que presenta la mayor presión y estrés sobre el recurso hídrico. (García et al., 2011) cita varias directrices para reducir la vulnerabilidad de los sistemas hídricos presentadas por (WMO & UNP, 1997) las cuales se orientan hacia la determinación de tarifas, iniciativas para mejorar la eficiencia hídrica de los sistemas, mejoras ingenieriles y estructurales en la infraestructura del suministro de agua, políticas agrícolas y planificación urbanística.

Con esta modelación del sistema de recursos hídricos de la cuenca del río La Vieja bajo escenarios de incertidumbres y estrategias, se está garantizando la cobertura de la demanda del caudal ecológico en la mayoría de los puntos de abastecimiento de la cuenca, a excepción de la bocatoma de La Tebaida, PCH El Bosque, PCH Campestre y La Unión, los cuales se encuentran sobre el cauce del río Quindío. Este escenario hace que la CRQ piense en una actualización de la reglamentación del río Quindío e

implemente metodologías más detalladas para la estimación de caudales ecológicos tales como las presentadas en (Da Costa et al., 2015) y que se enfocan principalmente en la simulación del hábitat.

Con este modelo de los sistemas de recursos hídricos de la cuenca del río La Vieja, desarrollado en WEAP, las Corporaciones Autónomas Regionales (CRQ, CARDER, CVC) cuentan con una herramienta de gestión y planificación para apoyar la toma de decisiones en lo referente al recurso hídrico, brindando una mayor comprensión sobre el funcionamiento del sistema y permitiendo realizar análisis sobre oferta y demanda hídrica a escala temporal y espacial y bajo el análisis de los efectos del cambio climático en general. A nivel internacional instituciones como el Departamento de Recursos Hídricos (DWR por sus siglas en inglés) del estado de California en Estados Unidos, ha implementado este tipo de herramientas para la evaluación, planificación y administración de sus recursos hídricos obteniendo excelentes resultados que le permiten conocer en todo momento la dinámica y estado del recurso hídrico bajo condiciones de incertidumbre y vulnerabilidad climática, lo cual se convierte en una herramienta de ADR que permite tomar las mejores decisiones en cuanto a la GIRH.

AGRADECIMIENTOS

A la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) por el financiamiento de este proyecto. Igualmente al Instituto de Ambiente de Estocolmo (SEI), The Nature Conservancy (TNC), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), National Center for Atmospheric Research (NCAR), por su apoyo técnico y científico en el desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS

- CRQ, CARDER, CVC, UNIQUINDÍO, UTP, & UNIVALLE. (2011). PROPUESTA DE ORDENACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA MEDIANTE EL DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA CON CRITERIOS DE EFICIENCIA ECONÓMICA E IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE APOYO A LA DECISIÓN. INFORME I RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO (CRQ), CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA (CARDER), CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (CVC), UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, UNIVERSIDAD DEL VALLE.
- CRQ, CVC, CARDER, UAESPNN, MAVDT, IDEAM, & GTZ. (2007). PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LA VIEJA. CRQ.
- DA COSTA, M., MORETTI MATTOS, T., MUÑOZ-MAS, R., MARTÍNEZ-CAPEL, F., FERNANDES, V., ARÁJUO, F., & OTHERS. (2015). ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS BASADA EN SIMULACIÓN DEL HÁBITAT FÍSICO EN UN PEQUEÑO RÍO DEL SUDESTE DE BRASIL. CUADERNOS DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIAS FORESTALES, (41).
- FAO, COSUDE, ASDI, & BMZ. (2012). HERRAMIENTAS PARA LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR AGROPECUARIO. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN (COSUDE), AGENCIA SUECA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO (ASDI) Y MINISTERIO FEDERAL DE COOPERACIÓN ECONÓMICA Y DESARROLLO (BMZ).
- GARCÍA, G. M. L., CARVAJAL, E. Y., & JIMÉNEZ, H. (2011). LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS COMO ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. REVISTA INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD (1), 19–29.
- GUPTA, H. V., SOROOSHIAN, S., & YAPO, P. O. (1999). STATUS OF AUTOMATIC CALIBRATION FOR HYDROLOGIC MODELS: COMPARISON WITH MULTILEVEL EXPERT CALIBRATION. JOURNAL OF HYDROLOGIC ENGINEERING.
- HERNÁNDEZ, D., & MEJÍA, J. C. (2014). ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL SECTOR AGROPECUARIO EN LA REGIÓN DEL EJE CAFETERO COLOMBIANO.
- IDEAM. (2012). REVISTA TÉCNICA. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA (VOLUMEN 1 N° 1). INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES.
- IPCC. (2014). CAMBIO CLIMÁTICO 2014–IMPACTOS, ADAPTACIÓN Y VULNERABILIDAD. CONTRIBUCIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO II AL QUINTO INFORME DE EVALUACIÓN DEL IPCC. ISBN (0521), 88010–7.
- LE GOULVEN, P., ALEMÁN, M., & OSORNO, I. (1993). HOMOGENEIZACIÓN Y REGIONALIZACIÓN PLUVIOMÉTRICA POR EL MÉTODO DEL VECTOR REGIONAL. FUNCIONAMIENTO DEL RIEGO PARTICULAR EN LOS ANDES ECUATORIANOS: RECOMENDACIONES PARA EL PLAN NACIONAL DE RIEGO: COMUNICACIONES PRESENTADAS SOBRE EL RIEGO TRADICIONAL EN LOS ANDES DEL ECUADOR: PERÍODO 1987-1992 (PP. 95–118). RETRIEVED FROM [HTTP://WWW.DOCUMENTATION.IRD.FR/HOR/FDI:010042845](http://www.documentation.ird.fr/hor/FDI:010042845)
- MARAUN, D., WETTERHALL, F., IRESO, A., CHANDLER, R., KENDON, E., WIDMANN, M., BRIENEN, S., ET AL. (2010). PRECIPITATION DOWNSCALING UNDER CLIMATE CHANGE: RECENT DEVELOPMENTS TO BRIDGE THE GAP BETWEEN DYNAMICAL MODELS AND THE END USER. REVIEWS OF GEOPHYSICS (3).
- MAURER, E. P., HIDALGO, H. G., DAS, T., DETTINGER, M., & CAYAN, D. (2010). THE UTILITY OF DAILY LARGE-SCALE CLIMATE DATA IN THE ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE IMPACTS ON DAILY STREAMFLOW IN CALIFORNIA. HYDROLOGY AND EARTH SYSTEM SCIENCES, 14 (6), 1125–1138.
- MAVDT. (2010). POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, VICEMINISTERIO DE AMBIENTE, DIRECCIÓN DE ECOSISTEMAS • GRUPO DE RECURSO HÍDRICO.

- MAVDT, D. (2002). LINEAMIENTOS DE POLÍTICA DE CAMBIO CLIMÁTICO. RESUMEN EJECUTIVO. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, DEPARTAMENTO DE PLANEACIÓN NACIONAL.
- MORIASI, D., ARNOLD, J., VAN LIEW, M., BINGNER, R., HARMEL, R., & VEITH, T. (2007). MODEL EVALUATION GUIDELINES FOR SYSTEMATIC QUANTIFICATION OF ACCURACY IN WATERSHED SIMULATIONS. *TRANS. ASABE*, 50 (3), 885–900.
- NASH, JE., & SUTCLIFFE, J. V. (1970). RIVER FLOW FORECASTING THROUGH CONCEPTUAL MODELS PART I—A DISCUSSION OF PRINCIPLES. *JOURNAL OF HYDROLOGY* (3), 282–290.
- PNUMA, & REGATA. (2012). <I>PERFIL DE PAÍS: MARCO REGULATORIO Y FINANCIAMIENTO PARA CAMBIO CLIMÁTICO. I. INTEGRACIÓN DE LA ADAPTACIÓN Y LA MITIGACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN Y EN EL MARCO REGULATORIO.</I> PROGRAMA DE LA NACIONES UNIDAS PA EL MEDIO AMBIENTE, PORTAL REGIONAL PARA LA TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y LA ACCIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.
- SEI, UG, & UC. (2009). <I>GUÍA METODOLÓGICA DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y DE RECURSOS HÍDRICOS CON EL MODELO WEAP</I>. STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE AND CENTRO DE CAMBIO GLOBAL (UG) AND UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE.
- SHI, L., ESCOBAR, M., JOYCE, B., & KOSTARAS, J. (2013). ORDENAMIENTO TERRITORIAL ESTRATÉGICO TENIENDO EN CUENTA LA ESCASEZ DE AGUA DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ALTO, BOLIVIA.
- SIEBER. (2007). USER GUIDE FOR WEAP21. STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE.
- UNAL, & MAVDT. (2008). METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDAL AMBIENTAL EN PROYECTOS LICENCIADOS. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA-SEDE BOGOTÁ. MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.
- VAUCHEL, P. (2005). HYDRACCESS: SOFTWARE FOR MANAGEMENT AND PROCESSING OF HYDRO-METEOROLOGICAL DATA.
- WMO, & UNP. (1997). IMPACTOS REGIONALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO: EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD. WORD METEROGICA ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME.
- WOOD, A. W., MAURER, E. P., KUMAR, A., & LETTENMAIER, D. P. (2002). LONG-RANGE EXPERIMENTAL HYDROLOGIC FORECASTING FOR THE EASTERN UNITED STATES. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERES* (1984–2012), 107 (D20), ACL–6.
- YATES, D., SIEBER, J., PURKEY, D., & HUBER-LEE, A. (2005A). WEAP21—A DEMAND-, PRIORITY-, AND PREFERENCE-DRIVEN WATER PLANNING MODEL: PART 1: MODEL CHARACTERISTICS. *WATER INTERNATIONAL*, 30 (4), 487–500.
- YATES, D., SIEBER, J., PURKEY, D., & HUBER-LEE, A. (2005B). WEAP21—A DEMAND-, PRIORITY-, AND PREFERENCE-DRIVEN WATER PLANNING MODEL: PART 2: AIDING FRESHWATER ECOSYSTEM SERVICE EVALUATION. *WATER INTERNATIONAL*, 30 (4), 487–500.

DIRECCION INSTITUCIONAL DE LOS AUTORES

GABRIEL LOZANO SANDOVAL, Ph.D (c).
 Docente Programa Ingeniería Civil
 Universidad del Quindío
 Carrera 15 Calle 12 Norte
 Armenia, Quindío, Colombia
 Facultad de ingeniería piso 3
 Tel. +57 (6) 7359300 Ext. 905
 E-mail: galozano@uniquindio.edu.co

Web: www.uniquindio.edu.co

MARISA ESCOBAR, Ph.D.

Senior Scientist, US Water and Sanitation Group

Stockholm Environment Institute-U.S Center, Davis, California

400 F Street, Davis, CA

95616, USA

Tel: +1 (530)753-3035

Email: marisa.escobar@sei-us.org

Web: www.sei-us.org

CESAR AUGUSTO RODRÍGUEZ MEJÍA, M.Sc. (c).

Docente Programa Ingeniería Civil

Universidad del Quindío

Carrera 15 Calle 12 Norte

Armenia, Quindío, Colombia

Facultad de ingeniería piso 3

Tel. +57 (6) 7359300 Ext. 905

Email: carodriguezm@uniquindio.edu.co

Web: www.uniquindio.edu.co

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Set parámetros de calibración modelo WEAP La Vieja.....	17
Tabla 2. Incertidumbres y estrategias ejecutadas	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización cuenca del río La Vieja	7
Figura 2. Modelo Hidrológico del SSD WEAP (SEI et al., 2009; Sieber, 2007).....	8
Figura 3. Esquema modelo WEAP ríos La Vieja.....	9
Figura 4. Mapa coberturas de suelo (CRQ et al., 2007)	11
Figura 5. Mapa localización estaciones hidroclimatológicas.....	12
Figura 7. Análisis de la precipitación - Vector Regional.....	13
Figura 8. Serie de tiempo de temperatura	14
Figura 10. Ejemplo mapa de precipitación distribuida cuenca del río La Vieja.....	16
Figura 11. Datos medido vs Datos Simulados.	17
Figura 12. Mapa de vulnerabilidad cobertura de la demanda de agua urbana cuenca del río La Vieja bajo condiciones de incertidumbre (eje vertical incertidumbres – eje horizontal centros urbanos).....	21
Figura 13. Mapa de vulnerabilidad cobertura de caudal ecológico cuenca del río La Vieja (eje vertical incertidumbres – eje horizontal sitios de captación).	21
Figura 14. Mapa % de cambio de vulnerabilidad en la cobertura de la demanda urbana, escenario base + estrategias.	24
Figura 15. Mapa % de cambio de vulnerabilidad en la cobertura de la demanda de caudales ecológicos, escenario base + estrategias.....	25

Jiutepec, Morelos a 14 de septiembre de 2015

GABRIEL LOZANO SANDOVAL
CESAR AUGUSTO RODRÍGUEZ MEJÍA
(CIDERA). UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
DAVID PURKEY
MARISA ESCOBAR
STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE SEI, DAVIS USA
JUAN MAURICIO CASTAÑO
CARLOS ANDRÉS SABAS RAMIREZ
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA (UTP)
ALBERTO GALVIS
MARÍA FERNANDA JARAMILLO
INSTITUTO CINARA. UNIVERSIDAD DEL VALLE

AUTORES

Con esta fecha recibimos en nuestra redacción su artículo **"Modelación hidrológica del río La vieja. Herramienta de análisis de decisiones robustas"** Apreciamos cumplidamente su colaboración y aprovechamos para comentarles que, conforme con la Política Editorial de la revista, el texto será sometido a un proceso de arbitraje, de cuyo resultado les informaremos oportunamente.

Sin más por el momento, les reitero nuestro agradecimiento por habernos distinguido con su confianza y esperamos seguir contando con su valiosa participación.

ATENTAMENTE
LA COORDINADORA EDITORIAL



LIC. HELENA RIVAS LÓPEZ

Los Modelos de Gestión como herramienta para el análisis de la relación agua-sociedad en el territorio con enfoque desde las Ciencias Ambientales. Estudio de caso de la ciudad de Pereira en la cuenca del río Otún.

Sabas, C.A; Castaño, J.M; Castro, N.L; Escobar, M; Purkey, D.

Abstract

Este artículo presenta la modelación de los recursos hídricos en la cuenca del río Otún, partiendo del reconocimiento de los siguientes aspectos estructurales que materializan la relación agua-sociedad y hacen de esta un referente como territorio socio-hidrológico. La cuenca del Otún abastece mediante una captación multipropósito a la altura de la vereda El porvenir, agua para consumo humano a los municipios de Pereira y Dosquebradas, y brinda agua para generación hidroeléctrica, debiendo garantizar después de la captación en cualquier período hidrológico un caudal de restricción ambiental definido por la autoridad ambiental. Para evidenciar lo anterior, se ha implementado un modelo lluvia-escorrentía con la información disponible de usos del suelo, curvas de nivel, hidrología y variables climáticas como precipitación, temperatura, humedad y velocidad del viento. Teniendo en cuenta que en la parte alta de la cuenca se encuentran zonas de páramo, se buscó conocer con mayor detalle la respuesta hidrológica de dicha zona, como la regulación de caudales base y la capacidad de almacenamiento de agua, lo cual se llevó a cabo a través de la generación de un modelo a escala diaria donde solo se incluyen las áreas de páramo para así evidenciar el caudal generado en dichas coberturas frente al observado en toda la cuenca.

Los resultados de este estudio evidencian que hay una conexión entre la implementación de POMCAs con los procesos ADR, en términos de generar una visión integral en la gestión del recurso hídrico y sentar las bases para la vinculación activa de los actores durante la formulación y ejecución de medidas de adaptación a corto y mediano plazo. WEAP, XLRM y ADR han permitido conocer con rigor conceptual y metodológico el comportamiento espacial, temporal y el estado del agua en términos de oferta, disponibilidad, calidad, uso, demanda, amenazas y vulnerabilidad, considerando, además, incertidumbres asociadas a la variabilidad climática, actividades humanas actuales y proyectadas, la dinámica poblacional y socioeconómica y el uso del suelo. Con esos insumos, en talleres participativos es posible delinear los posibles escenarios futuros.

Al contrastar las demandas del río Otún producto de la captación multipropósito a la altura de Nuevo Libaré (10.35 m³/seg) con la oferta hídrica, se obtuvieron unas altas condiciones de vulnerabilidad del sistema hídrico, asociada a las muchas veces en las que la demanda es superior a la oferta, lo cual ocurre en los meses de enero-febrero y julio-agosto, debido al régimen bimodal de la precipitación predominante en cuencas de montaña localizadas en la región Andina de Colombia. El principal impacto en la alta vulnerabilidad del sistema obedece a la generación de energía, y será de mayor o menor grado, dependiendo del escenario de cambio climático. La modelación de la cuenca del río Otún ha permitido conocer el aporte del ecosistema páramo frente al de otras coberturas en la zona, encontrando que en los meses de caudales bajos como agosto, el páramo representa hasta un 80% del flujo del cual se abastece en el sector de Nuevo Libaré los usos de consumo humano y energía. Los resultados muestran el importante rol del páramo como regulador hidrológico. Esto implica que ante las incertidumbres del cambio climático, la conservación del ecosistema Páramo se convierte en una de las estrategias que proporcionan mayor resiliencia para la sociedad en su conjunto en la cuenca; debiendo continuar los esfuerzo interinstitucionales que se han venido llevando a la práctica en los últimos 60 años.

Los Modelos de Gestión como herramienta para el análisis de la relación agua-sociedad en el territorio con enfoque desde las Ciencias Ambientales. Estudio de caso de la ciudad de Pereira en la cuenca del río Otún.

Sabas, C.A; Castaño, J.M; Castro, N.L; Escobar, M; Purkey, D.

1 UN MARCO CONCEPTUAL NECESARIO A NIVEL INTRODUCTORIO.

1.1 La Gestión en La Problemática Ambiental de la Relación Agua-Sociedad

“La crisis del agua no es una crisis debida a la escasez física de este recurso sino que esencialmente se trata de un problema de mala gestión” (Llamas, 1995). Esa era una premisa aceptada en los finales del siglo XX, y aunque pudiera aceptarse que se han realizado esfuerzos por mejorar esta gestión en los últimos años, y que los avances conceptuales y metodológicos también han avanzado, no se puede desconocer la complejidad inherente a la relación agua-sociedad en el territorio, la cual se deja entrever en el planteamiento del siguiente interrogante: *“Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas ¿por qué no lo podemos hacer?”* (Dourojeanni, 2007).

Una posible respuesta a tan simple, pero a la vez profundo interrogante, estaría relacionada con el tratamiento inconexo que se ha dado a los componentes de la relación agua-sociedad en el territorio, que no muestra su estrecha vinculación como aspectos de una misma problemática que hace que se potencian mutuamente, puesto que deberían abordarse de manera conjunta para lograr su sostenibilidad (Vilches *et al.*, 2008). Este abordaje demanda una visión *articuladora, integradora y sistémica* para la gestión de la relación agua-sociedad; es decir, concebir las relaciones e intercambios constantes entre la sociedad y la naturaleza como la clave para la calidad de vida y sostenibilidad ambiental (Álvarez, 2012).

Debe entonces reconocerse que el modelo de investigación del recurso hídrico, como todos los temas ambientales, se ha caracterizado por una aproximación monodisciplinar, especializada, reduccionista y fragmentada que limita el entendimiento, y por ende, las propuestas de solución a los problemas ambientales asociados. Entendiendo que estos últimos, surgen de la relación sociedad-naturaleza en un contexto particular, requiriendo para su estudio y análisis de un enfoque complementario entre las ciencias sociales (blandas) y naturales (duras). Esta convergencia demanda como punto de partida para el estudio de la ciencia ambiental, el territorio; concepto integrador, dinámico, sistémico y holista que se materializa en el espacio geográfico, social, político, cultural e histórico.

Una aproximación a esta mirada integradora del territorio, es posible a través del concepto de *macroscopio* definido inicialmente por Odum (1971) y complementado por Rosnay (1979), que consideran que los socio-ecosistemas y los sistemas complejos, deberían ser contemplados como un todo en vez de tomar sus componentes separadamente. Este enfoque holístico y metafórico se contrapone a los estudios puntuales que, al centrarse en un único aspecto o problema, ignora sus vinculaciones con otros e imposibilitan su comprensión (Vilches *et al.*, 2008). Lo anterior es particularmente importante si lo contextualizamos en el estudio de las ciencias ambientales, porque los planteamientos parciales y el reduccionismo causal, ignoran la estrecha relación de los problemas y la necesidad de abordarlos conjuntamente (García, 2006; Moran, 2010). De otro lado, pareciera que el concepto del macroscopio ya está un poco anticuado debido a los años que han pasado desde su aparición; no obstante, trabajos de investigación recientes para la gestión sostenible del agua en México incorporan el concepto en su esencia, al ya no hablar de agua superficial, potable y residual en forma separada, sino que abordan la integralidad de los mismos como sistema macroscópico (Nápoles-Rivera *et al.*, 2013).

Lo anterior, justifica la necesidad de un nuevo enfoque, ya que desde el momento que se plantea el ambiente como un sistema, todo se hace más complejo (García, 1994). El hecho de que cada parte se considera como componente integral de un todo, y que la alteración de alguna logra desequilibrar el todo en instantes relativos, hace que la inclusión de las actuaciones del hombre en esta trama resulten esenciales (Köppen *et al.*, 2005). Las puertas de nuevos enfoques como los ofrecidos por las ciencias ambientales, abre los hermetismos y permite hacer cruces de saberes (Castro, 2005; Leff, 2006; Sotolongo y Delgado, 2006; López y Hernández, 2009), no solo en función del crecimiento del conocimiento en sí mismo, lo cual es en esencia académico, sino que también, y posiblemente lo más interesante desde la perspectiva de las ciencias ambientales, establece la posibilidad para estudiar un objeto o problema ambiental desde las perspectivas que se requieran pro entendimiento y su resolución sistémica (RCFA, 2007; Hicks *et al.*, 2010); incluyendo las propiedades emergentes inherentes a las delicadas relaciones de los sistemas sociedad-naturaleza, cultura-ambiente, desarrollo-conservación (Khagram *et al.*, 2010).

En este sentido, se ha consolidado en la Tabla 1-1 una comparación de enfoques epistemológicos entre la ciencia contemporánea y las ciencias ambientales, en la que se destaca el territorio como ámbito de trabajo, el macroscopio como una mirada integradora, se privilegia la comprensión y la incertidumbre por encima de la precisión y el control, y se reconoce la complejidad como concepto transversal.

Tabla 1-1. Comparación de enfoques epistemológicos entre la ciencia contemporánea y las ciencias ambientales

CIENCIA CONTEMPORÁNEA (CIENCIA DEL MÉTODO)	CIENCIAS AMBIENTALES (CIENCIA REVOLUCIONARIA)
CIENTÍFICO CONTEMPORÁNEO	INVESTIGADOR EN CIENCIAS AMBIENTALES
LABORATORIO	TERRITORIO
MICROSCOPIO	MACROSCOPIO
COMPONENTES, PARTES, ELEMENTOS	“EL TODO” CON LAS RELACIONES ENTRE LOS ELEMENTOS, PROPIEDADES EMERGENTES
CONTROL, PRECISIÓN	INCERTIDUMBRE, COMPRENSIÓN
LINEALIDAD	COMPLEJIDAD

Debe entonces reconocerse el agua, la hidrología y los recursos hídricos, dentro de conceptos como el territorio y la visión macroscópica de los socio-ecosistemas; que deben ser estudiados, entendidos y analizados para ser gestionados de manera integrada, con el propósito de lograr su sostenibilidad. En particular, Betancur *et al.* (2010) mencionan que “Dentro de las ciencias ambientales, a escala global, ningún otro recurso como el agua constituye un elemento articulador de la gestión, ajustada al paradigma de la sostenibilidad”.

Retomando los conceptos de macroscopio, territorio, relación agua-sociedad y gestión integrada, en la Figura 1-1 se presenta la visión macroscópica de la relación agua-sociedad en el territorio con una mirada desde las ciencias ambientales, donde se identifican componentes como la oferta-demanda-calidad en el contexto de cuenca hidrográfica, la importancia de las actividades de monitoreo y disponibilidad de información para realizar una adecuada gestión, entendida esta última como la toma de decisiones por parte de las diferentes territorialidades presentes que se expresan a través de relaciones de poder (Buitrago, 2010).

Al analizar la Figura 1-1, se evidencia como la "gestión (decisiones)" de la relación agua-sociedad en el territorio es el elemento con más retroalimentación, toda vez que la normatividad y las políticas inciden y condicionan sus decisiones, la modelación a través de escenarios soporta sus actuaciones sobre el territorio, e incorpora aspectos como el cambio climático que altera el equilibrio en los socio-ecosistemas, retroalimenta los escenarios de modelación e incorpora la necesidad de implementar estrategias para la resiliencia y adaptación.



Figura 1-1. La visión macroscópica de la relación agua-sociedad en el territorio – una mirada desde las ciencias ambientales (Fuente: Elaboración propia).

Se destaca entonces la modelación como una herramienta soporte a las decisiones en la gestión, caracterizada por escenarios que reconocen la incertidumbre, la multiespacialidad y multitemporalidad. En particular, los escenarios de cambio climático se encuentran en la parte superior y alteran las diferentes relaciones, exacerbando el comportamiento de los patrones en condiciones normales. Es así, como el pronóstico del tiempo, la variabilidad climática y la generación de escenarios de cambio climático se han convertido en insumos fundamentales para la toma de decisiones en el territorio, debiendo recurrir a información meteorológica y climática a distintas escalas temporales y espaciales para su implementación (Ruiz, 2012).

El cambio climático es “*la variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantienen durante un período prolongado (generalmente durante decenios o por más tiempo)*” (Ruiz, 2012). El IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) generó escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y ha reproducido la respuesta del clima del futuro en baja resolución (datos de grilla de las variables meteorológicas fuertemente espaciados del orden de los cientos de kilómetros para todo el mundo). Entre tanto, algunos centros meteorológicos nacionales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) han llevado dichos resultados de baja resolución a la alta resolución simulando fenómenos meteorológicos de menor escala en el espacio y de corta duración en el tiempo para el resto del siglo XXI; es decir para el período 2011-2100 (Ruiz, 2010, Pabón, 2010).

El IDEAM ha venido desarrollando investigación para detectar las evidencias del cambio climático en Colombia y para elaborar los escenarios climáticos que con mayor probabilidad se presentarían en los próximos decenios. Mediante una evaluación de los modelos climáticos globales que mejor representan el clima regional y con la ayuda de modelos climáticos regionales de alta resolución espacial, se simularon diversos escenarios climáticos que ocurrirían sobre el territorio indicando que:

“La temperatura media en el territorio nacional continuará incrementándose durante el transcurrir del siglo XXI de tal manera que para el período 2011-2040 habría aumentado en $1.4\pm 0.4^{\circ}\text{C}$, para 2041-2070 en $2.4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y para 2071-2100 en $3.2\pm 0.7^{\circ}\text{C}$. Los aumentos más significativos de la temperatura media se esperarían en gran parte de las regiones Caribe y Andina especialmente en los departamentos de Sucre, Norte de Santander, Risaralda, Huila y Tolima” (Ruiz, 2010).

“Las mayores reducciones de lluvia, para el resto del siglo XXI (2011-2100), se esperarían en Córdoba, Bolívar, Huila, Nariño, Cauca, Tolima y Risaralda, pero en algunos de estos departamentos este cambio ya se empezaría a evidenciar en el transcurso del período 2011-2040” (Ruiz, 2012).

Con respecto a impactos en la relación agua-sociedad ante cambio climático en Colombia, la alteración del ciclo hídrico a nivel regional podría generar desabastecimiento de agua para consumo humano especialmente en las regiones Caribe y Andina, desmejorar el saneamiento básico con implicaciones en la salud humana, incrementar los costos de provisión de agua y ocasionar conflictos entre la población y entidades encargadas de la gestión de los recursos y de la provisión de agua potable (Pabón, 2010).

De otro lado, el ENA 2010 (Estudio Nacional del Agua) analizó los efectos del cambio climático sobre la escurriencia media anual en las principales zonas hidrológicas, bajo predicciones de modelos regionales de clima sobre el territorio colombiano. Los resultados arrojados por el ENA concluyen que, en general, el recurso hídrico presenta las mayores afectaciones en las zonas Andina y Caribe. Se llama la atención, en especial, sobre las cuencas afluentes del río Cauca, dado que es una de las zonas hidrológicas más vulnerables al fenómeno ENSO (El Niño/Southern Oscillation), (IDEAM, 2010). Complementariamente, las estimaciones bajo los diversos escenarios de cambio climático coinciden en una reducción fuerte en la escurriencia para la región Andina y Caribe respecto a las demás áreas hidrológicas del país (disminuciones mayores del 30% respecto al promedio)” (García *et al.*, 2012).

A nivel de la región Andina, hablando específicamente de glaciares y nevados se ha pronosticado su extinción, investigaciones recientes estiman que el nevado Santa Isabel estará extinto alrededor del periodo 2024 – 2030. Esta situación es de preocupación internacional, toda vez que los glaciares o nevados en Colombia son únicos por su ubicación latitudinal, siendo considerados como importantes indicadores de cambio climático, debido a las condiciones propias de la alta montaña, la variabilidad intranual y los eventos climáticos extremos como los fenómenos “El Niño” y “La Niña” (Ceballos *et al.*, 2012).

Las regiones tienen entonces la necesidad de generar respuestas inmediatas a las afectaciones del recurso hídrico asociadas con el cambio climático y la variabilidad climática, además de orientar la planificación del uso del agua y de la ocupación del territorio con una visión a largo plazo. Adaptarse a la variabilidad climática es parte de los retos que genera el cambio climático (García *et al.*, 2012).

Los problemas actuales en torno a la relación agua-sociedad en los Andes tropicales, relacionados las repercusiones del cambio climático en el ciclo hidrológico, y evidenciados en el retroceso de los glaciares y sus proyecciones hacia futuro, las posibles reducciones en las precipitaciones y el crecimiento demográfico continuo, requieren que se formulen y apliquen estrategias de adaptación y mitigación. La meta principal de tales iniciativas de adaptación es la de aumentar la resistencia ante fenómenos extremos y reducir la vulnerabilidad de las poblaciones locales (Vuille, 2013), lo que se ha definido con el concepto de resiliencia y que tiene su orientación y enfoque centrado en los socio-ecosistemas (Resilience Alliance, 2007).

1.2 El Estudio De La Relación Agua-Sociedad En El Territorio

Muchos autores, procedentes de disciplinas y de campos de actividad muy diferentes, vienen coincidiendo, cada vez con mayor claridad, en el uso de la investigación interdisciplinaria para el estudio del recurso hídrico en el territorio. Así, por ejemplo, un reconocido economista estudioso del tema, lo expresa en estos términos: “... *no hay gestión del agua sin gestión del territorio, de la misma manera que no nos apropiamos sólo de recursos sino de ecosistemas*” (Aguilera, 1997). Por su parte, un biólogo dice “ *La gestión*

del agua debiera ser la gestión de las tramas de relaciones territoriales en las que ésta interviene." (Díaz Pineda, 2000). Un ingeniero coincide en que: "... parece necesario tener en cuenta esta estrecha relación entre agua y territorio, tanto desde el punto de vista de la planificación como desde el de la gestión, de forma que lleguemos no sólo a la gestión integral del agua por cuencas hidrográficas, como hoy está admitido casi universalmente, sino a la gestión conjunta de ambos." (López Martos, 2000).

De conformidad con lo anterior, el enfoque interdisciplinario en la planificación hidrológica es necesario, pero no puede plantearse rigurosa y coherentemente si no es en el marco de una estrategia territorial de referencia como los planes de ordenamiento territorial y los planes de ordenación del recurso hídrico en cuencas hidrográficas. Por lo tanto, la gestión integrada del agua con el territorio se hace imprescindible, por su presencia en todas las actividades de la producción y desarrollo económico y social, por sus funciones básicas en todos los sistemas naturales y por su especial dimensión simbólica y cultural.

Para algunos autores, el territorio es considerado un lugar o extensión de superficie que contiene a los grupos humanos y sus actividades. Santos (2002), cita al territorio como el lugar donde confluyen todas las acciones, pasiones, poderes, fuerzas y debilidades; es donde la historia del hombre se realiza a partir de las manifestaciones de su existencia. *El territorio* (del latín "terra") alude a cualquier extensión de la superficie terrestre habitada por grupos humanos y delimitada en diferentes escalas: local, municipal, regional, nacional, supranacional, cuenca, litoral, etc. (Montañez, 2001). Mançano (2007) señala que es imposible comprender el concepto de territorio sin concebir sus relaciones de poder: por tanto son espacio de gobernanza y espacio de propiedad.

Se retoma al territorio como un espacio socializado, en el cual, los agentes sociales tejen relaciones de poder, de conflicto, de organización, de convivencia, dando lugar a un proceso de apropiación y reestructuración del mismo (Montañez, 2001). Igualmente, se adopta la conceptualización de Montañez y Delgado (1998) en la que el territorio no es fijo, sino móvil, mutable y desequilibrado, donde la realidad social es cambiante porque tiende a ser condicionado en sus procesos internos, no sólo por su contigüidad, sino por las interconexiones que realiza más allá de sus límites o fronteras; pero que también está condicionado y condiciona de acuerdo a los atributos históricos, sociales, biofísicos, culturales y políticos en el escenario local y en la globalidad en que se encuentra inmerso.

Adentrarse en la relación agua-sociedad en el territorio implica adoptar como premisa, tal como lo cita Montañez (2001) en una obra de la red de estudios de espacio y territorio (RET) publicada por la Universidad Nacional de Colombia, que "*así como los humanos transforman la Tierra para convertirla en su casa, al hacerlo se transforman ellos mismos no sólo mediante la propia acción que implica esa transformación, sino también por los efectos que esa Tierra transformada ocasiona sobre la especie y la sociedad humanas*". En este sentido, al deforestarse el suelo con coberturas boscosas para desarrollar actividades agrícolas, pecuarias o urbanizar, se altera el ciclo hidrológico en su relación lluvia-escorrentía y se afectan los regímenes aguas abajo, incidiendo y transformando los patrones de variabilidad hidrológica.

Complementariamente, autores como Polanco (2001) han planteado que se requiere de una evolución epistemológica urgente en las ciencias ambientales, caracterizada por un término

a la moda pero muy poco implementado como lo es la interdisciplinariedad. Este investigador, expone la *modelación espacial del medio ambiente* como ejemplo concreto de un trabajo interdisciplinario, cuestionando el ejercicio científico fundado en la discretización de un medio natural y social continuo, en subconjuntos y componentes elementales (reduccionismo); que en esencia ha sustentado históricamente el criterio de “aislar para comprender mejor”, y ahora debe dar paso el nuevo paradigma de “reunir lo que ha sido separado”, haciendo énfasis en las propiedades de las interrelaciones y volviendo al conjunto con ayuda de los modelos como herramienta y ruta metodológica. En el fondo, lo que se plantea es una transformación multidimensional del concepto de ciencia, empezando por el replanteamiento del significado de la parcelación disciplinaria y el fraccionamiento teórico, concibiendo el carácter polidimensional de la información y su importancia en la concepción del todo. Es allí, donde la modelación del ambiente es uno de estos campos en el cual las disciplinas están sujetas a una estructura global que guía la investigación hacia un objetivo común (Polanco, 2001).

1.3 La Gestión del Recurso Hídrico a través del Enfoque Interdisciplinario de Las Ciencias Ambientales.

La madurez del estudio científico ha hecho visible la necesidad de especificar y especializar la aproximación del hombre al entendimiento de los diferentes fenómenos que le circundan, principalmente los relacionados con el ambiente, y dentro de este el recurso hídrico, considerando su contaminación, conservación, gestión e investigación. En este sentido, es que el conocimiento humano se ha formalizado mediante su academización, parcelizándose en especialidades que ofrecen el entendimiento del mundo mediante sus consecuentes y variados enfoques, no siempre cercanos a la verdadera realidad (De La Herrán, 2011).

Las teorías que explican la complejidad de la aproximación del hombre a sus propias filias y fobias, se construye en la transversalidad que ofrece hacer las relaciones entre las múltiples especificidades y enfoques que ha estructurado el hombre en función de entender lo que le rodea (García, 2004, Sotolongo y Delgado, 2006, De La Herrán, 2011). Desde estas ideas, es posible plantear que la forma de entender lo que sucede en el contexto se hace efectiva mientras integre la mayor cantidad de enfoques que lo influyen. De esta suerte, y entendiendo la dinámica de los planteamientos que se hacen visibles en todas las manifestaciones del hombre, la otrora costumbre resolutiva que se concentraba en procesos basados en enfoques individuales y consecuentemente verticales, se transforma y se complementa en procesos heurísticos en el desarrollo y holísticos en el enfoque que son direccionados por el sistema de pensamiento que ofrece la perspectiva de las ciencias ambientales, y dentro de esta la **interdisciplina**, como pilar fundamental de la aproximación a la comprensión de los problemas ambientales (Cubillos, 1998; Cubillos, 2010).

Es así como la **interdisciplina** obliga a escudriñar más profundo, a dar más miradas, repasarlas, integrarlas, relacionarlas y cuestionarlas, permitiendo hallar la razón de ser y hacer un esfuerzo intelectual que busca que los paradigmas de las **ciencias ambientales** (RCFA, 2007) sean traducidos de forma contundente hacia el individuo social desprevenido, que se ve confrontado por situaciones desequilibradas, problemáticas, bien sean con el mismo, con la sociedad o con el medio ambiente en general. De la misma

forma, la academia se ve obligada a concebir sus desarrollos intelectuales dentro de marcos de referencia que buscan que el hombre social se encuentre satisfecho consigo mismo, con la sociedad o con el medio ambiente, o en un sentido más sistémico, con todos ellos en la proporción que le corresponda (Khagram *et al.*, 2010; Hicks *et al.*, 2010).

1.4 La Gestión a partir del Reconocimiento del Territorio y los Sistemas Socio-Ecológicos.

Partiendo del diagrama conceptual de la Figura 1-2, el sistema socio-cultural está compuesto por los individuos, los grupos locales, y las instituciones a mayor escala, así como por las relaciones que se establecen entre ellos. Este sistema se beneficia de los servicios generados por el ecosistema, y desarrolla acciones (abastecimiento, pesca, agricultura, etc.) que se categorizan en el estudio del recurso hídrico como demanda, y hace intervenciones (restauración, conservación, etc.) que modifican directa o indirectamente el funcionamiento y estructura de los ecosistemas (Palomo *et al.*, 2011).

El abordaje de la relación agua-sociedad en el territorio a partir de los sistemas socio-ecológicos, nos permite identificar un concepto emergente para el recurso hídrico como el territorio socio-hidrológico, en el cual se reconocen los agentes sociales que inciden en las relaciones de poder en el territorio, y van más allá de la jurisdicción político administrativa.

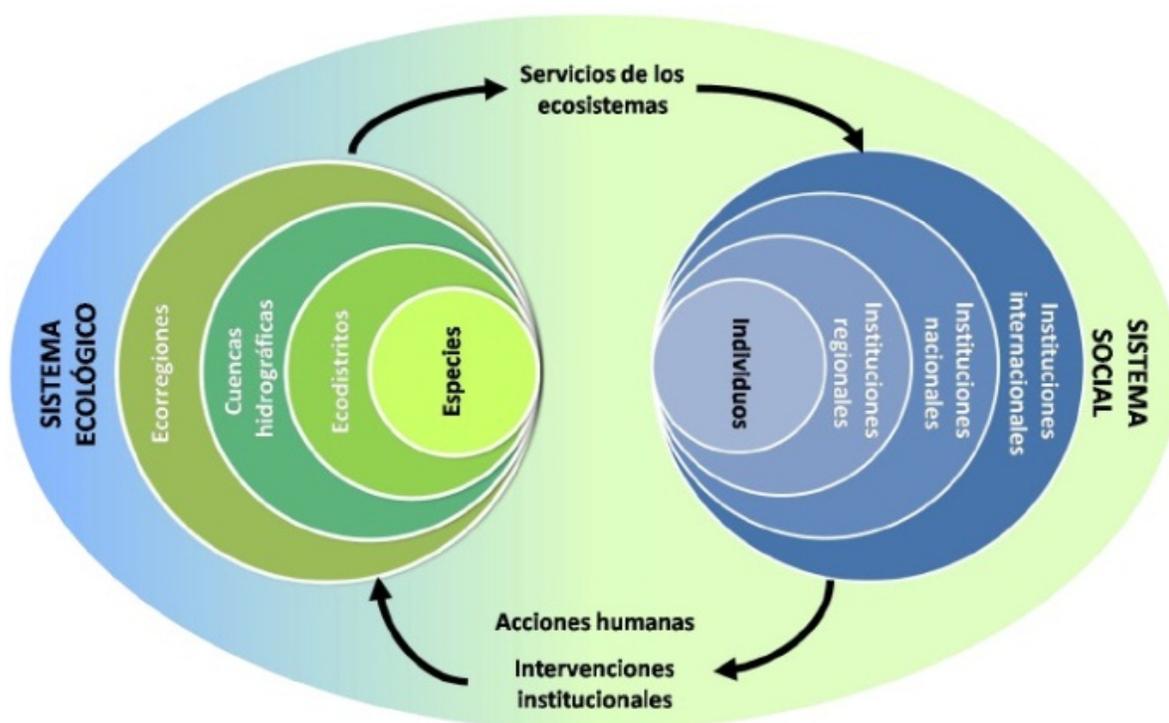


Figura 1-2. Diagrama conceptual de un sistema socio-ecológico. Fuente (Palomo et al., 2011)

1.5 Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), Cambio Climático e incertidumbre en los Modelos de Gestión.

La gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) ha sido el marco de referencia tanto para la construcción de política pública en Colombia como para la ejecución de proyectos relacionados con la regulación de la oferta y la administración de la demanda del recurso hídrico (Blanco, 2008). Este marco de referencia, que aboga por una mirada integral y coordinada del manejo del agua, los suelos y los recursos relacionados, busca como propósito la asignación del agua para las diferentes actividades económicas sin menoscabo de la integridad de los ecosistemas y del derecho de las generaciones futuras a disfrutar un acceso seguro al agua (Jønch-Clausen & Fugl, 2001).

En Colombia, aunque existe un marco legal e institucional formal para asumir la GIRH, y que el recurso hídrico, al menos teóricamente, ha sido considerado eje articulador de la gestión ambiental (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), aún es mucho lo que queda por hacer en cuanto a lograr un cabal cumplimiento de los propósitos de la GIRH (Blanco, 2008). De otro lado, cuando se incorpora el cambio climático en la GIRH la complejidad y los niveles de incertidumbre aumentan; de hecho, existen evidencias que indican que el cambio climático más que un fenómeno físico probable, es una realidad que reta hoy a países como Colombia (Steinhoff *et al.*, 2015). Por lo tanto, la adopción de medidas orientadas a enfrentar el impacto de un clima cambiante sobre la hidrología y la calidad del agua no resulta una tarea que puede aplazarse (Ludwig *et al.*, 2014).

En la actualidad, el aumento de la complejidad e incertidumbre que el cambio climático adiciona al análisis y gestión de agua en las cuencas hidrográficas enfrenta en las regiones y su institucionalidad -Agencias Ambientales, prestadores del servicio de acueducto, agricultores, gremios, universidades, etc.- a encontrar herramientas y metodologías, como la metodología XLRM (Lempert *et al.*, 2003) y el software WEAP (Yates *et al.*, 2005), que permitan asistir la toma de decisiones asociadas a la GIRH en condiciones de incertidumbre climática.

1.6 Instrumentos de Planificación Hídrica y Ambiental en las Cuencas Hidrográficas

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) de Colombia contempla la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en cuatro niveles:

1. Áreas hidrográficas o macrocuencas que corresponden a las cinco macrocuencas del país: Magdalena-Cauca, Caribe, Orinoco, Amazonas y Pacífico;
2. Zonas hidrográficas para monitorear el estado del recurso hídrico e impactos de las acciones desarrolladas en el marco de la PNGIRH.
3. Subzonas hidrográficas o cuencas objeto de ordenación y manejo mediante Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) y
4. Microcuencas y acuíferos de orden inferior a las Subzonas no contempladas por el POMCA.

Se entiende por ordenación de una cuenca la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna, y por manejo de la cuenca, la ejecución de obras y tratamientos. Las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs) administran las cuencas en sus jurisdicciones con los POMCA y planes de ordenamiento de recurso hídrico (PORH), instrumentos de planificación y guías operativas con ámbitos de aplicación y fines distintos, pero complementarios. En el departamento de Risaralda se ha identificado la cuenca del río Otún, como la principal cuenca para la implementación de estos instrumentos de planificación

El POMCA es un instrumento para la planeación regional del uso coordinado del suelo, agua, flora y fauna y el manejo de cuencas, en la perspectiva de equilibrar el aprovechamiento social y económico y la conservación de la estructura físicobiótica, particularmente del recurso hídrico.

El PORH es un instrumento de planificación que permite intervenir de manera sistémica los cuerpos de agua en subzonas hidrográficas o su nivel subsiguiente, para garantizar la calidad y cantidad requeridas para el sostenimiento de ecosistemas acuáticos y usos actuales y futuros.

Los POMCA y PORH tienen en común un procedimiento de cuatro fases: aprestamiento/declaratoria, diagnóstico, prospectiva y zonificación ambiental (identificación de usos potenciales del recurso hídrico) y formulación del plan de ordenamiento específico. Ambos instrumentos reconocen procesos de participación social para consolidar y fortalecer la gobernabilidad y la gestión integral del recurso.

Actualmente, durante la formulación de los POMCA y PORH no suele considerarse la variabilidad climática futura, y al momento de aplicar ambos instrumentos no se acostumbra coordinar acciones ni priorizar tareas comunes. A ello se suma la falta de datos e información técnica sobre calidad y cantidad del agua, en un contexto caracterizado por la creciente presión sobre el recurso, el deterioro de cuencas, la alteración de ecosistemas y la contaminación de fuentes de agua.

2 LOS ASPECTOS CLAVES DEL TERRITORIO ESTUDIADO

2.1 Descripción del área de Estudio

La Cuenca Hidrográfica del río Otún ésta localizada en el flanco Occidental de la Cordillera Central, en el departamento de Risaralda, Subregión 1. Esta cuenca tiene una extensión aproximada de 480.61 km², que corresponden al 13.4% del área total del Departamento; alberga una población aproximada de 373.911 habitantes, que representan el 41,6% de la población total de Risaralda, ver **Figura 2-2-1**.

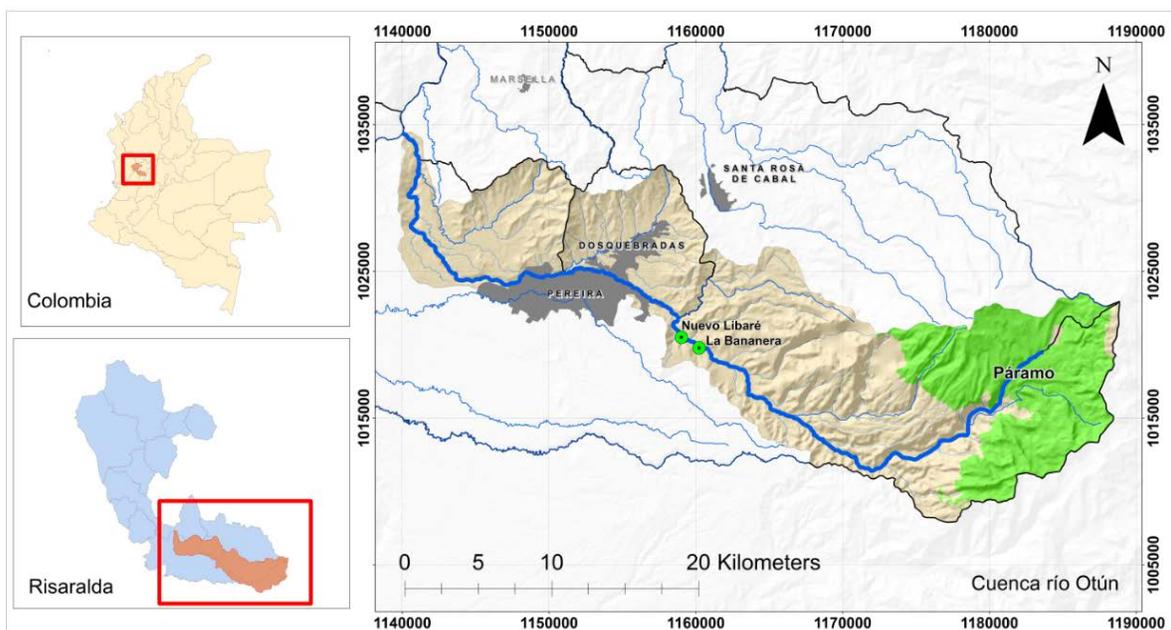


Figura 2-2-1. Localización de la cuenca hidrográfica del río Otún. Fuente: (Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica-UTP, 2014)

El río Otún nace en el caño Alsacia, afluente de la Laguna del Otún, a una altura de 3980 msnm y desemboca en el río Cauca a los 875 msnm, aprovechando drenajes naturales superficiales y subterráneos de los nevados de Santa Isabel, Quindío y el páramo de Santa Rosa, localizados en el Parque Nacional Natural de los Nevados, en su trayectoria discurre por territorios de los municipios de Pereira, Santa Rosa de Cabal, Dosquebradas y Marsella. Es de vital prioridad para el municipio de Pereira pues es la única fuente utilizada como abastecedora de agua para los diferentes usos de la zona.

En su recorrido cruza la zona urbana del municipio de Pereira en sentido oriente occidente, siendo a su vez el límite Norte de la ciudad y continúa hasta su desembocadura, en el sitio denominado Estación Pereira, después de un recorrido de 66 km y un área de drenaje de 480.62 Km². El perfil longitudinal del río Otún, es cóncavo hacia la parte alta. La pendiente varía desde un 27% en la parte alta, 5% en la parte media y 2% en la parte baja, significando que la velocidad del flujo, su capacidad de erosión y arrastre de materiales disminuyen aguas abajo. La cuenca se encuentra delimitada por las siguientes cotas altitudinales:

- Cuenca Alta: 3500 - 5200 msnm
- Cuenca Media: 1800 - 3500 msnm
- Cuenca Baja: 875-1800 msnm

La cuenca alta va desde su nacimiento hasta las microcuencas Volcanes y La Bananera – La Bella; la cuenca media, inicia en la quebrada San José, hasta la desembocadura de la quebrada Dosquebradas y la cuenca baja, a partir de la microcuenca Combia Alta hasta su desembocadura en el río Cauca.

2.2 Aspectos Climáticos Relevantes.

El clima regional está influenciado tanto por el frente o zona de convergencia intertropical (ZCIT) que determina la forma bimodal de las precipitaciones como por la circulación general del Valle del río Cauca. Debido a esta conformación del relieve, la región presenta una gran variedad de climas locales con temperaturas medias superiores a 24° C, en la planicie del Cauca, hasta zonas con temperaturas medias de 6° C en la parte alta e incluso áreas de nieves perpetuas en la cumbre de la Cordillera Central. El comportamiento climático está determinado por dos períodos lluviosos al año con máximos en Abril y Octubre y por las características del relieve, las cuales determinan el cambio de las lluvias con la altura, de tal manera que a una elevación aproximada de 2000 msnm las lluvias son del orden de 2500 mm/año; disminuyendo a partir de esta altura progresivamente hasta alcanzar promedios de 1000 mm/año a 4500 msnm, ver **Figura 2-2-2**.

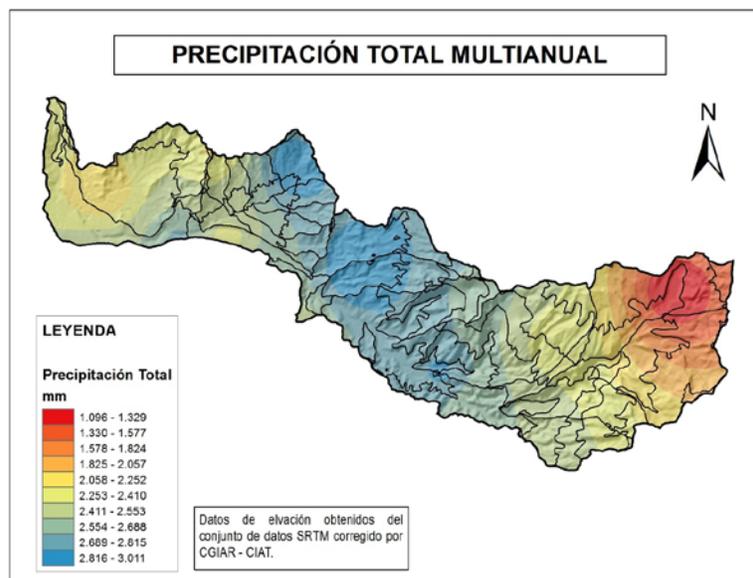


Figura 2-2-2 Comportamiento de la Precipitación en la cuenca hidrográfica del río Otún. Fuente: (Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica-UTP, 2014)

2.3 La Relación Agua-Sociedad En El Municipio De Pereira

El clima de Colombia está inicialmente determinado por la posición del territorio nacional dentro de la franja de traslación de la zona de Convergencia Intertropical (CIT), formada por el enfrentamiento de los vientos alisios que soplan hacia el Ecuador desde los centros de altas presiones subtropicales. El paso de la CIT ocasiona tiempo ciclónico en oposición al tiempo anticiclónico que antecede o sigue al paso de la CIT; esto permite explicar los inviernos de abril- mayo y octubre- noviembre (paso de la CIT por la zona centro del país) y los veranos de julio- agosto y diciembre- enero a marzo- abril (paso de la CIT hacia el norte y el sur del país respectivamente) (IDEAM, 2010).

Desde la perspectiva del espacio geográfico, los elementos biofísicos definidos por la localización geográfica, tales como el clima y la hidrología, caracterizan ambientalmente el territorio en cuanto a la variabilidad climática e hidrológica, ya que con regímenes bimodales de lluvia característicos de la región Andina en Colombia, donde en los meses de enero-febrero y julio-agosto se presentan los períodos de menor lluvia, y en abril.-mayo y octubre-noviembre los de mayor lluvia, con precipitaciones promedio anuales superiores a los 2000 mm; se influye en la relación sociedad-naturaleza manifiesta a través de las transformaciones en los usos del suelo y el evidente deterioro en las variables del recurso hídrico: calidad y cantidad (oferta-demanda).

Las características socioeconómicas, culturales y físicas de las cuencas del municipio de Pereira, hacen latente las condiciones que durante muchos años se ha manifestado en desastres afectando la calidad de vida de sus habitantes. Por consiguiente la expansión urbana y el aumento de la población, configuran la problemática ambiental que da cuenta de una inadecuada planificación y ocupación del territorio, en un municipio caracterizado por la ocurrencia de fenómenos de inestabilidad de laderas, acompañada de una alta sismicidad y precipitación que se ha manifestado en deslizamientos, represamiento natural de cauces, avenidas torrenciales e inundaciones. El reconocimiento de este contexto, ha llevado que recientemente se hayan implementado estrategias locales de adaptación a la variabilidad climática como los sistemas de alerta temprana (Fernandez y Sabas, 2012).

En cuanto al tema de disponibilidad hídrica, se presenta un múltiple uso del agua en el río Otún, corriente principal de la región, en la cual confluyen el uso para la captación de consumo humano del municipio de Pereira ($2 \text{ m}^3/\text{seg}$), parte del municipio de Dosquebradas ($0.35 \text{ m}^3/\text{seg}$) y la generación hidroeléctrica de la Empresa de Energía de Pereira ($5 \text{ m}^3/\text{seg}$). La suma de estas demandas ($7.35 \text{ m}^3/\text{seg}$) permiten resaltar la cantidad mínima necesaria esperada que debería ofertar la cuenca (en la captación) en todo momento, sin afectar a ningún usuario, pero al que se debe adicional el caudal para garantizar la sostenibilidad del ecosistema acuático ($3 \text{ m}^3/\text{seg}$). Este uso multipropósito se concibió en principio como una ventaja competitiva y eficiente para la ciudad, sin embargo, el desarrollo urbano y la estructura institucional llevaron a una situación conflictiva entre los usuarios del agua, donde la variabilidad climática se ha hecho presente en la frágil relación de balance oferta-demanda del recurso hídrico. Dicho conflicto, tiene que ver con que en la actualidad, hay momentos del año (meses) donde no se puede generar energía, porque se debe brindar prioridad al consumo humano y garantizar un caudal remanente en la corriente para sostenibilidad del ecosistema acuático.

Actualmente, las corrientes hídricas del municipio de Pereira evidencian un deterioro en la calidad, producto de la contaminación por aguas residuales domésticas, comerciales y agrícolas; asociadas tanto a la urbanización de las cuencas medias de los ríos Otún y Consota (tributario del río La Vieja), como a la transformación del uso del suelo, en el cual la conservación cede espacio a la producción agrícola y pecuaria. Esto se ha evidenciado en

la implementación de diferentes metodologías para el estudio de la calidad del agua en dichas corrientes hídricas.

No obstante, a pesar de que existe un Plan Maestro de Alcantarillado que concibe la recolección y posterior tratamiento de las aguas residuales urbanas del municipio de Pereira, no se podría garantizar que está sea la respuesta absoluta a un problema ambiental que en el fondo es mucho más complejo y obliga un análisis con visión macroscópica del territorio para una adecuada gestión.

De otro lado, en el sector rural del municipio de Pereira existen acueductos rurales donde en sus cuencas abastecedoras se ha declarado el agotamiento del recurso hídrico (Sabas y Paredes, 2009a), brindando un reconocimiento al caudal ambiental y al efecto evidente de la variabilidad climática (Sabas y Paredes, 2009b) .

Todo lo anterior, sustenta la necesidad de efectuar análisis espacio-temporales que incluyan el efecto de la variabilidad hidrológica y el cambio climático para asistir la toma de decisiones en la planificación territorial.

2.4 Cuenca Hidrográfica Referente Importante Pero Insuficiente en el caso del Río Otún.

A partir del reconocimiento de los atributos anteriores del espacio geográfico que inciden en la variabilidad climática, esto implica que se deba utilizar un referente espacial de gestión hídrica, que convencionalmente ha sido la cuenca hidrográfica, ver Figura 2-3.

Sin embargo, para el caso de Pereira este concepto es insuficiente, toda vez que es evidente como el desarrollo del municipio desde su fundación, se ha centrado sobre la divisoria de aguas de las cuencas de los ríos Otún y Consota, siendo esta última tributaria de la cuenca del río La Vieja, que es un sistema hídrico totalmente independiente y diferente, ver Figura 2-4.



Figura 2-3. Cuencas hidrográficas en el análisis del sistema hídrico del municipio de Pereira. Fuente: (Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica-UTP, 2013)

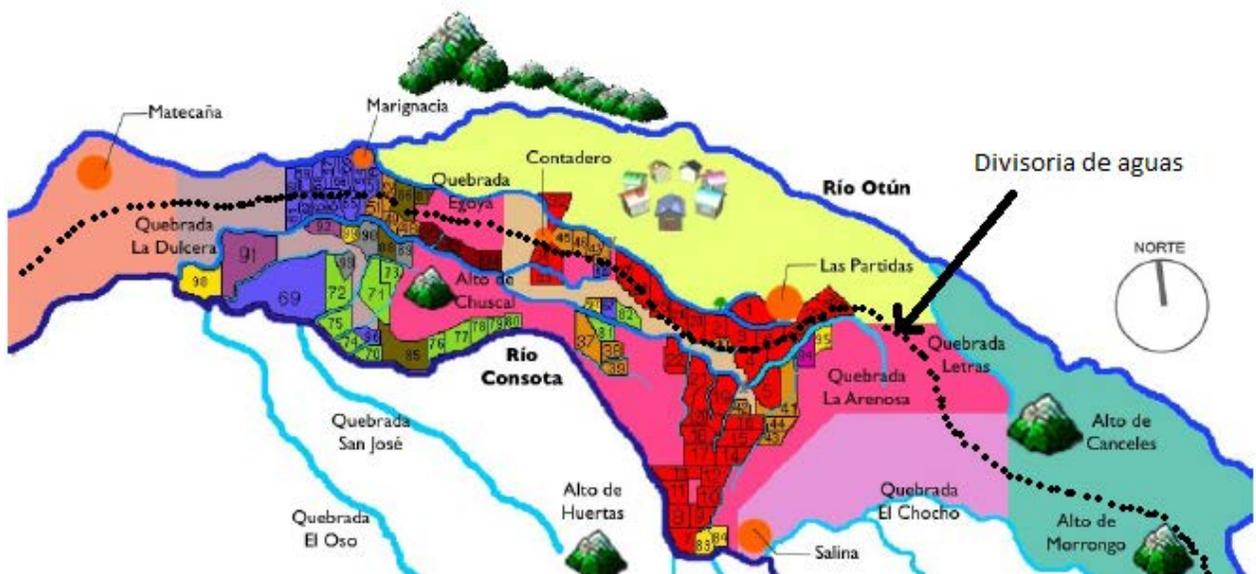


Figura 2-4. Conformación Política y Espacial de Pereira 1857-1877. p. 29. (Modificado de Martínez, 2007)

En consecuencia, si nos acogemos al concepto de cuenca, no se podría hablar de recurso hídrico en el municipio de Pereira sin contemplar las dos cuencas citadas (Otún y La Vieja), o hacer referencia a la cuenca del río Cauca. Esto implica reconocer otras territorialidades que incluyen tres departamentos (Risaralda, Valle, Quindío) y jurisdicciones de tres autoridades ambientales (CARDER, CVC, CRQ) ver Figura 2-5. Adicionalmente, existen otros municipios, entre ellos Santa Rosa, Pereira y Cartago, y el área metropolitana centro occidente (AMCO) que incluye a Dosquebradas y La Virginia.

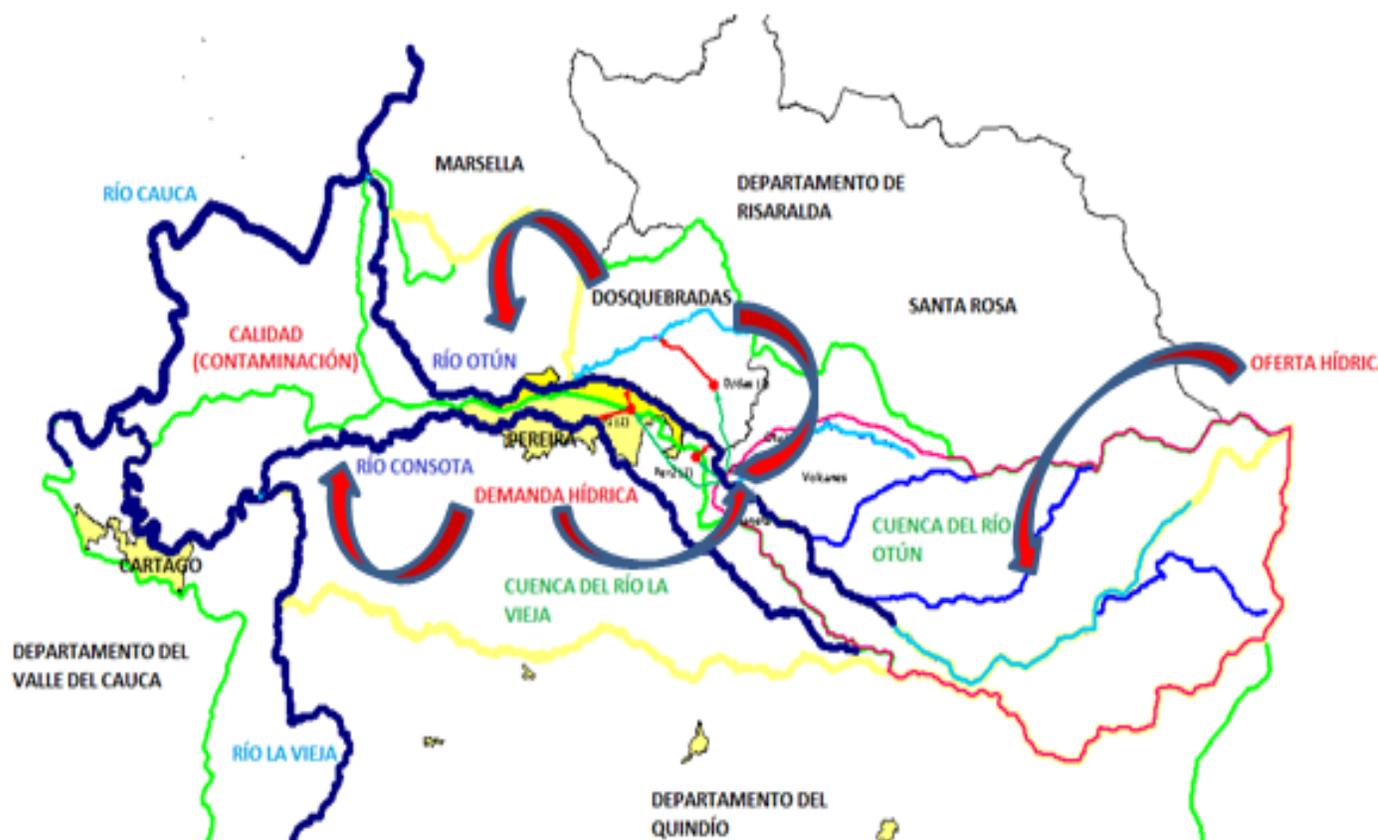


Figura 2-5. Localización general del área de interés en la investigación en el contexto regional

En síntesis, el concepto de cuenca si bien es importante y pertinente, en este municipio es insuficiente y se debe redefinir la escala de análisis para la relación agua-sociedad, abordando su estudio mediante análisis multiescalares que permitan entender las múltiples retroalimentaciones para concebir una gestión integrada y sistémica. Esto es posible mediante modelo que sean flexibles en la definición de la escala y en la agregación o desagregación de los análisis.

3 MÉTODOS

3.1 El Análisis de Decisiones Robustas (ADR)

El marco de Análisis o Apoyo a las Decisiones Robustas (ADR) y el Sistema de Evaluación y Planeación del Agua (Water Evaluation And Planning - WEAP) han demostrado ser una excelente herramienta al momento de integrar escenarios de cambio climático a la gestión de recursos hídricos superficiales y subterráneos, y ha sido aplicada en un proceso de siete etapas cuatro en una fase de preparación y tres en la fase de ejecución/investigación.

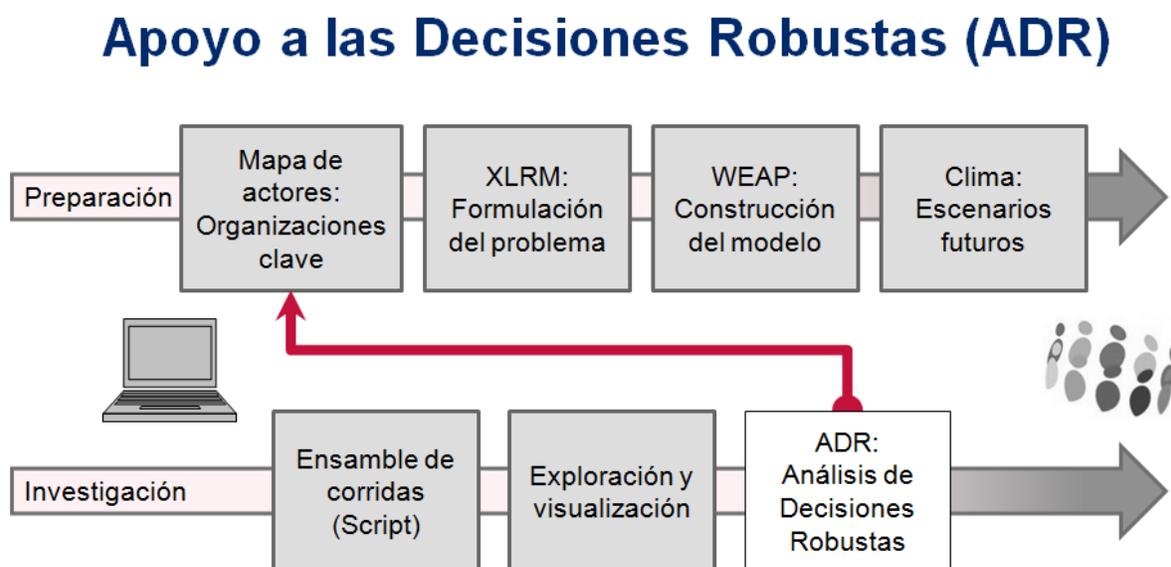


Figura 3-1. El Marco Metodológico ADR

El primer paso corresponde al Mapa de los actores, en el cual se deben identificar los actores representativos y se puede mapear quiénes son los directamente involucrados en la toma de decisiones y los usuarios indirectos que podrían ser afectados por dichas decisiones.

Para formular la problemática, se aplica el XLRM, donde los actores definen colectivamente las incertidumbres futuras que enfrenta la gestión de recursos hídricos (X); las estrategias de manejo disponibles a fin de reducir la vulnerabilidad asociada con incertidumbres (L), y las medidas o métricas disponibles (M) para evaluar el desempeño potencial de las estrategias propuestas frente a los escenarios futuros utilizando modelos (R).

En la construcción del modelo se emplea la herramienta WEAP, en la que se desarrolla una modelación hidroclimatológica que analiza las demandas de agua para uso humano, industrial y ecológico frente a la capacidad de abastecimiento, tomando en cuenta fuentes superficiales y subterráneas, información climática y análisis del suelo.

Posteriormente, se definen los escenarios y proyecciones del cambio climático utilizando bases de datos y herramientas de procesamiento, realizando proyecciones para la región en base a proyecciones de Modelos del de Circulación Global (MCG), Modelos de Circulación Regional (MCR) y otros escenarios.

Para realizar el ensamble de corridas, se desarrolla una rutina de programación computacional, se generan escenarios de cambio, incluido el climático, tomando en cuenta varias combinaciones de incertidumbres posibles e impactos en la población, etc.

Se continúa con la visualización de los resultados, explorando las potencialidades y limitaciones del sistema mediante visualizaciones dinámicas, permite consolidar la base de datos de los resultados del modelo de forma visual.

Finalmente, se identifican de las opciones en cada uno de los escenarios proyectados y priorizando las decisiones más robustas se identifican opciones que mejoren el desempeño del sistema en las dimensiones definidas.

En ese contexto, el proceso de planificación ADR con la herramienta WEAP y el modelo XLRM se constituye en un soporte fundamental para la gestión integral del agua en los escenarios futuros proyectados, y también en un instrumento clave para la construcción colectiva del conocimiento con la participación de actores representativos en la gestión de recursos de cada subzona hidrográfica.

La información generada en el proceso ADR reducirá y/o evitará conflictos, permitirá aplicar de forma más eficiente los diferentes instrumentos de planeación, evitará fuertes gastos futuros en tareas de planificación, seguimiento y control, y sobre todo facilitará la toma de decisiones más coherentes y pertinentes en los planos nacional y local, fortaleciendo de esta manera la planificación integral de acciones y estrategias de adaptación al cambio climático.

ADR y WEAP son herramientas analíticas de gran utilidad para las autoridades ambientales regionales, tomadores de decisión, proveedores y usuarios del agua, ya que les ayudan a desarrollar su capacidad de respuesta al cambio climático, y les brindan orientación en tareas de planificación y gestión del recurso hídrico, en el desarrollo de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático y en la adopción de decisiones más pertinentes y robustas en varios escenarios posibles, a corto, mediano y largo plazo.

3.2 La Articulación entre los Instrumentos de Planificación Hídrica y el Marco ADR

Las guías técnicas de los PORH/POMCA reconocen que el conocimiento y la información son fundamentales para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, y para sustentar la toma de decisiones, razón por la cual “es oportuno trascender del enfoque

de los sistemas de información per se, hacia la construcción de una estrategia de gestión del conocimiento que integre y oriente los procesos de investigación, evaluación y monitoreo de los recursos naturales, de organización de datos, y la generación de productos de información”.

Atendiendo el requerimiento anterior, el modelo WEAP sistematiza la información disponible para orientar a las autoridades ambientales regionales, proveedores y usuarios del agua, en tanto que el proceso ADR ayuda a construir una sólida base de datos numéricos y gráficos dinámicos de indicadores clave, de gran utilidad al momento de adoptar las decisiones más robustas y priorizar las más pertinentes estrategias de adaptación al cambio climático y otras incertidumbres, a corto, mediano y largo plazo. Cabe destacar que las siete etapas del marco ADR engloban todas las etapas de análisis previstas en los POMCA y PORH, mientras que el sistema WEAP cumple fases específicas de los POMCA como, por ejemplo análisis técnicos, participación pública requerida y construcción de un modelo predictivo de incertidumbres y estrategias de adaptación.

3.3 El enfoque participativo del XLRM

Dentro del desarrollo del estudio, se estableció el uso del marco XLRM para la definición de escenarios de modelación. El marco XLRM es una metodología desarrollada por el Centro RAND Pardee (Lempert *et al.*, 2003) que provee una guía estructurada para la formulación del problemas a evaluar dentro de un análisis de escenarios. Dicha metodología fue planteada para descubrir dentro de un proceso participativo, los elementos que comprenderán la formulación de escenarios de modelación para el apoyo a la toma de decisiones robustas bajo la incertidumbre futura para la gestión del recurso hídrico en la cuenca del Río Otún.

La metodología del marco XLRM requiere también del uso de diferentes paquetes informáticos que lo soporten: en este caso la plataforma WEAP, herramienta de evaluación integrada, que ha sido instrumentada en numerosas cuencas y distritos de riego en el mundo (Moss *et al.*, 2010). Se define como integrada, dado que busca interpretar representaciones de los modelos climáticos y ecosistémicos con modelos antrópicos como los usos del suelo, el uso del agua, etc. (Lempert y Bonomo, 1998). Para el uso de esta herramienta es necesario tener una línea base de las variables a evaluar y la definición de unos escenarios a ser modelados para su consecuente análisis.

Los resultados obtenidos en la aplicación del marco XLRM serán los escenarios a modelar en la plataforma WEAP. Estos escenarios serán líneas argumentales de cómo un sistema futuro podría evolucionar con el tiempo (Yates *et al.*, 2005). Esto permitirá evaluar las consecuencias de los cambios no deseados en el sistema de la cuenca del río Otún y cómo estos cambios pueden ser mitigados por políticas o intervenciones robustas. El resultado de estos análisis obtenidos se utilizarán para guiar el desarrollo de paquetes de respuesta a los cambios que son inciertos (Dessai y Hulme, 2007).

3.4 Análisis y Procesamiento de Información Obtenida para Implementar el modelo WEAP en la Cuenca Alta del río Otún

Se utilizaron diferentes fuentes de datos para la definición del modelo espacial. En primer lugar, se hizo uso de la información oficial de cuencas hidrográficas, subcuencas y microcuencas elaborada y revisada periódicamente por la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), con base en las curvas de nivel levantadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:25.000. Esto permite que los resultados sean ajustados a la cartografía que se utiliza en los ámbitos de planeación y control en el territorio departamental.

El Modelo de Elevación Digital SRTM (MED) con una resolución de 90 metros, fue remuestreado hasta alcanzar una resolución de salida de 30 metros. Este modelo fue utilizado para definir las fajas de altitud de 500 m. que se usaron en la delimitación de los *catchments*. El MED fue migrado a sistema de coordenadas planas Gauss Colombia Zona Occidental, para hacer posible su utilización con la información provista por CARDER.

3.4.1 Puntos de Interés para los Análisis de las Relaciones Agua-Sociedad en la Cuenca del Río Otún

Los puntos de interés fueron definidos teniendo en cuenta inicialmente el área aferente del acueducto del Municipio de Pereira, así como las subcuencas que aportan los caudales más importantes en la misma. Adicionalmente, fue incluida una microcuenca que se consideró representativa, más que por sus caudales, por los procesos humanos que en ella tienen lugar tanto en términos de demanda hídrica como de aporte de contaminantes y escorrentía de sedimentos.

Los puntos de interés seleccionados se presentan en la Tabla 2-1, se pueden apreciar junto con las cuencas de interés en la Figura 3-1.

3.4.2 Organización de la Información para Obtener los Catchments

Se definió la necesidad de organizar adecuadamente el registro de las cuencas de interés, de manera que la organización permita tener una única tabla y una única capa de información geográfica que contenga todas las entidades. Las cuencas de interés se organizaron en niveles jerárquicos anidados, tomando para el establecimiento de las bases de datos las siguientes condiciones:

- a. Cada unidad debe tener un nombre y un código únicos que los identifiquen en la base de datos.
- b. Ninguna cuenca de interés debe sobreponerse con otra para mantener la integridad en los registros.

Tabla 2-1. Puntos de cierre hídrico para la delimitación de cuencas de interés para el modelo WEAP en la cuenca del río Otún.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	LON (W)	LAT (N)	ALTITUD (msnm)
Nuevo Libaré	Bocatoma del acueducto de Pereira sobre el cauce principal del río Otún.	75,6476892	4,78296474	1534
Qda. Volcanes	Desembocadura de la Quebrada Volcanes en el río Otún. Cuenca con sensor de nivel UTP.	75,6425032	4,78083847	1551
La Bananera	Punto sobre el río Otún de importancia por la presencia de estación limnigráfica del IDEAM.	75,6368468	4,77642675	1576
Qda. El Manzano	Desembocadura de la Qda. El Manzano en el río Otún. Cuenca con sensor de nivel UTP.	75,6155087	4,76447393	1652
Río San Juan	Desembocadura del río San Juan en el río Otún.	75,6083478	4,76130787	1675
Retén Cataluña	Puesto de información Ambiental de Aguas y Aguas.	75,60035556	4,743963889	1740
Río Barbo	Desembocadura del río Barbo. Cierre de la subcuenca del mismo río.	75,5846602	4,73593882	1836
El Cedral	Punto sobre el río Otún, estación hidroclimatológica UTP.	75,5234799	4,70438674	2210
Río Azul	Desembocadura del Río Azul en el río Otún. Cierre de la subcuenca.	75,4718797	4,72836363	2887

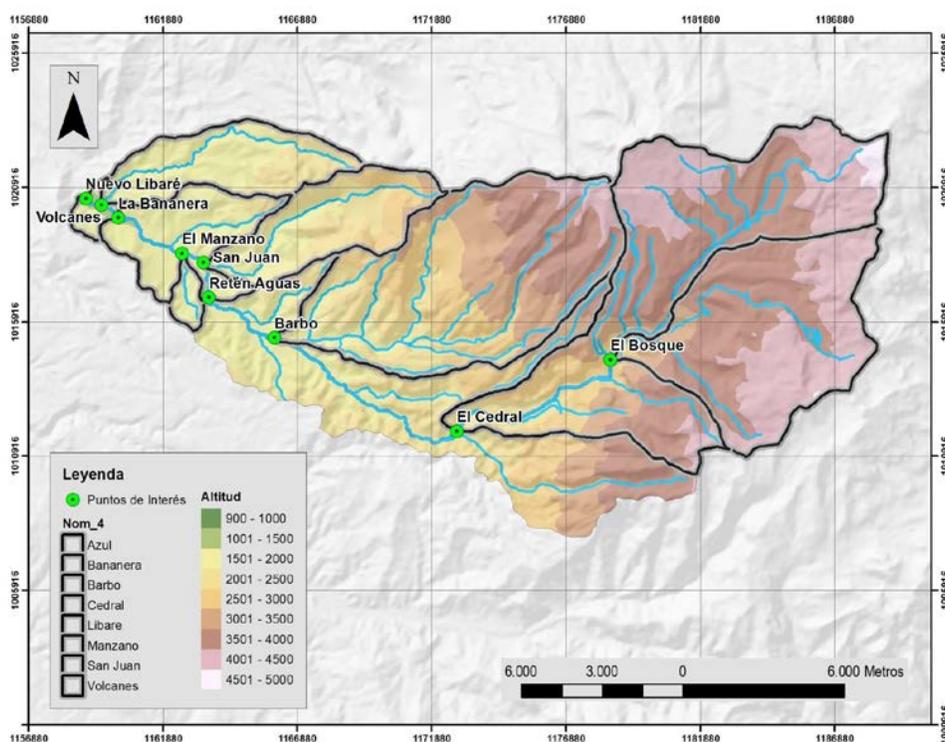


Figura 3-2. Puntos y cuencas de interés para la modelación WEAP en la cuenca del río Otún.

- c. Debe ser posible entrar información para cada una de las cuencas de interés, de manera separada.
- d. Debe ser posible obtener resultados del modelo para cada una de las cuencas de interés, de manera separada.

Se ha entendido por *Catchment* una unidad independiente, resultado de la superposición de las cuencas de interés con fajas de altitud de 500 metros. Esta es la unidad espacial para los análisis hidrológicos que realiza WEAP en su modelo lluvia-escorrentía. A continuación se describe el proceso para obtenerlos.

3.4.2.1 Generación de fajas de altitud

Se generaron fajas de altitud cada 500 metros, con base en el modelo de elevación digital SRTM obtenida de CGIAR, remuestreada previamente para contar con una resolución de 30 m. Posteriormente, se hizo una reclasificación de la imagen cada 500 metros, cuyo resultado fue exportado a vectores para obtener el resultado que se aprecia en la Figura 3-2, donde cada faja corresponde a un polígono concreto.

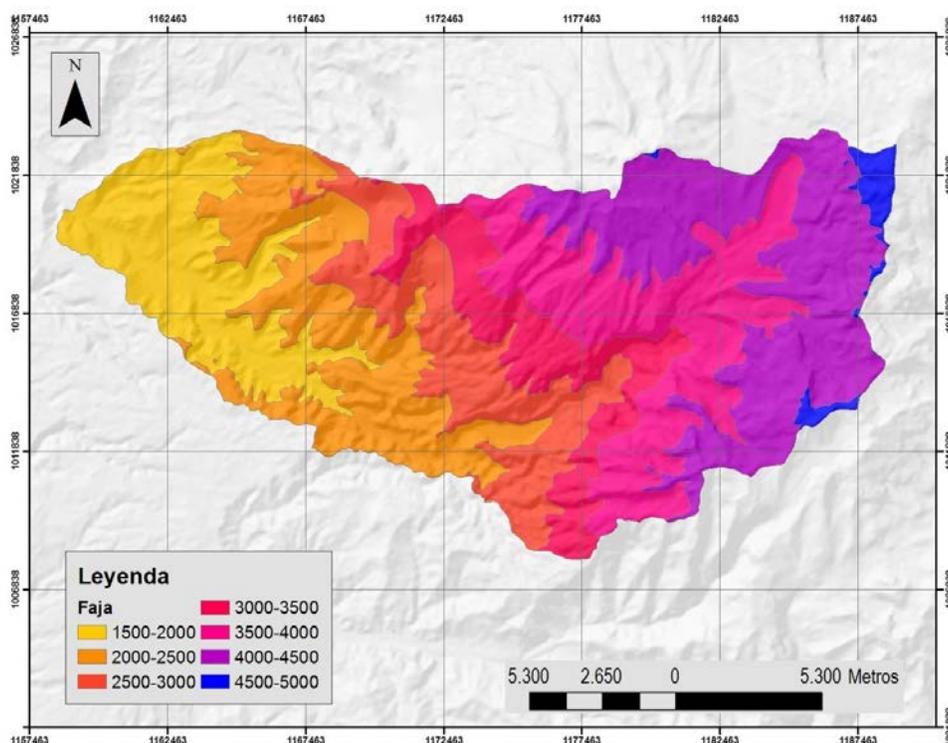


Figura 3-3. Procesamiento de Fajas de Altitud con un rango de 500 metros para la definición de Catchments en la cuenca del río Otún.

3.4.2.2 Establecimiento de Catchments

Se efectuó una intersección entre las fajas de altitud y las cuencas de interés, obteniendo una serie de polígonos, cada uno de los cuales corresponde a un *catchment*. De la misma

forma que las cuencas de interés, cada uno de estos polígonos debía contar con un código único. Los códigos se obtuvieron a partir de la unión del código de cada una de las cuencas de interés, con el indicador de rango de cada una de las fajas de altitud. De esta forma, se obtuvo un total de 49 *catchments*, que se presentan en la Figura 3-3.

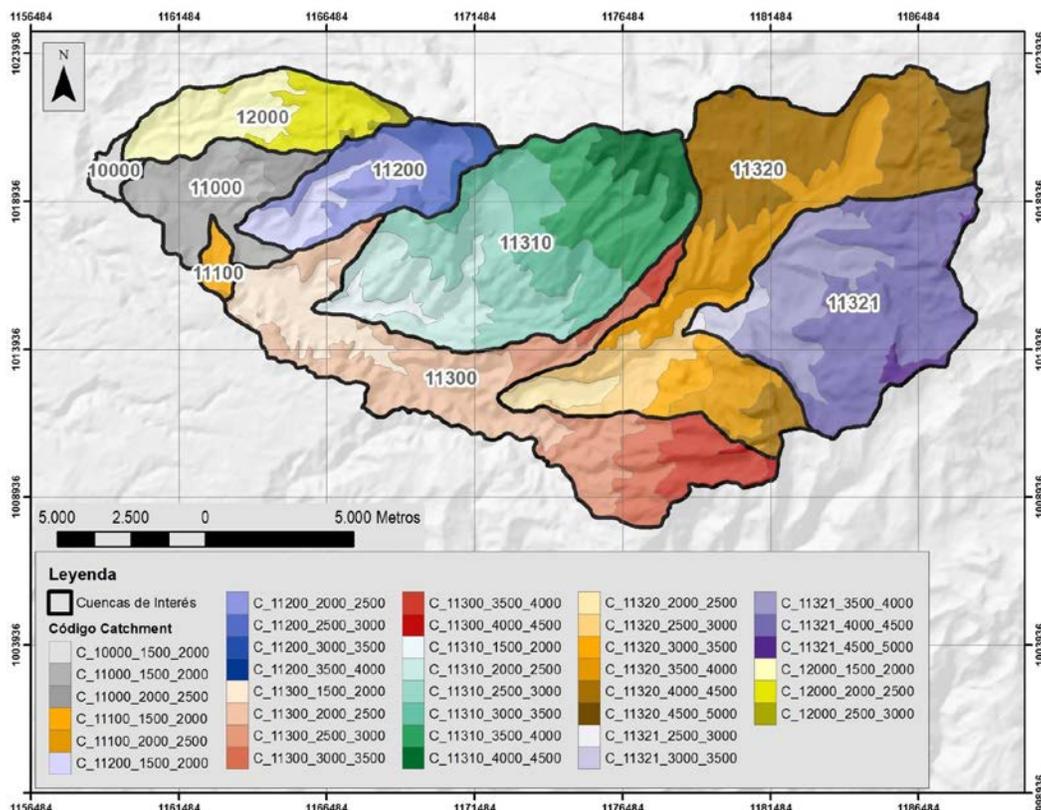


Figura 3-4. Catchments con un rango de 500 metros de altura en la cuenca del río Otún.

3.4.3 Estaciones meteorológicas

Como información relevante para los *catchments* se debe contar con una red de estaciones meteorológicas que puedan proveer insumos para alimentar el modelo. En consecuencia, se consultó la información de las estaciones climatológicas para la zona de estudio. Inicialmente se realizó la recopilación de la información disponible en la región, en este caso de estudio fueron: el IDEAM, CENICAFE, La CHEC y la Red Hidroclimatológica de Risaralda (REDH, operada por el grupo EIS de la Universidad Tecnológica de Pereira), estas instituciones poseen bases de datos con las series climáticas tanto mensuales como diarias de las estaciones de monitoreo instaladas a nivel nacional, por lo cual se realizó un filtrado de las estaciones que son de utilidad para los fines del estudio.

3.4.4 Coberturas del Suelo y Ecosistemas

Con el fin de conocer el estado actual de la cobertura del suelo, y de acuerdo con los lineamientos para la utilización del modelo WEAP, se procedió a identificar los porcentajes de cobertura de la tierra en las distintas cuencas de interés, así como en cada uno de sus *catchments*, tanto en porcentaje como en área. Para este fin se utilizó el mapa de coberturas de la tierra para 2011, elaborado por CARDER, con clasificación según la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010)¹. Dada la escala de análisis a utilizar se hizo el análisis tomando el nivel 2 de agregación para la cobertura de la tierra. Para cada uno de los *catchments* se calculó el porcentaje por tipo de cobertura del suelo. Posteriormente, se utilizó el mapa de coberturas del suelo elaborado por CARDER en 2011 con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia por el IDEAM, a nivel 3, usando como apoyo el mapa de ecosistemas de Risaralda elaborado por CARDER y WWF en 2008, obteniendo finalmente las coberturas agrupadas.

3.5 Descripción General del Modelo WEAP y su Módulo Hidrológico

WEAP es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos cuyo objetivo es asistir más que sustituir al planificador experimentado. Proporciona un marco comprensivo, flexible y de uso fácil para la planificación y análisis de políticas relacionadas con el recurso hídrico. El Sistema de Evaluación y Planificación del Agua WEAP ("Water Evaluation and Planning"), apunta a incorporar estos asuntos en un instrumento práctico y robusto para la planificación integrada de los recursos hídricos. WEAP es desarrollado por el Stockholm Environment Institute (SEI).

WEAP funciona usando el principio básico de balance de masa pudiendo ser utilizado para sistemas municipales y agrícolas, a una sola cuenca o complejos sistemas de cuencas hidrográficas, (Nacionales y Transfronterizos). Por otra parte, WEAP puede simular una amplia gama de los componentes naturales e intervenidos de estos sistemas, incluyendo escorrentía por precipitación, flujo base, y recarga de aguas subterráneas por precipitación; análisis de demandas sectoriales; conservación del agua; derechos de agua y prioridades de asignación, operaciones de los embalses; generación de hidroelectricidad; seguimiento de la contaminación y calidad de las agua; evaluaciones de vulnerabilidad, requisitos de los ecosistemas e incluso un módulo de análisis financiero también permite que el usuario realice Análisis Económico para los proyectos de gestión de recursos hídricos. La estructura de datos y el nivel de detalle se pueden modificar fácilmente para satisfacer los requisitos y la disponibilidad de datos para un sistema y un análisis particular (SEI, 2007).

¹ IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

En general, este modelo hidrológico es espacialmente continuo con un área de estudio configurado como un set de subcuencas contiguas que cubren toda la extensión de la cuenca de análisis. Un set homogéneo de datos climáticos (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) es utilizado en cada una de estas subcuencas, que se encuentran divididas en diferentes tipos de cobertura/uso de suelo. Un modelo cuasi físico unidimensional, con dos receptáculos de balance de agua para cada tipo de cobertura/uso de suelo, distribuye el agua entre escorrentía superficial, infiltración, evaporación, flujo base y percolación, ver Figura 3-4.

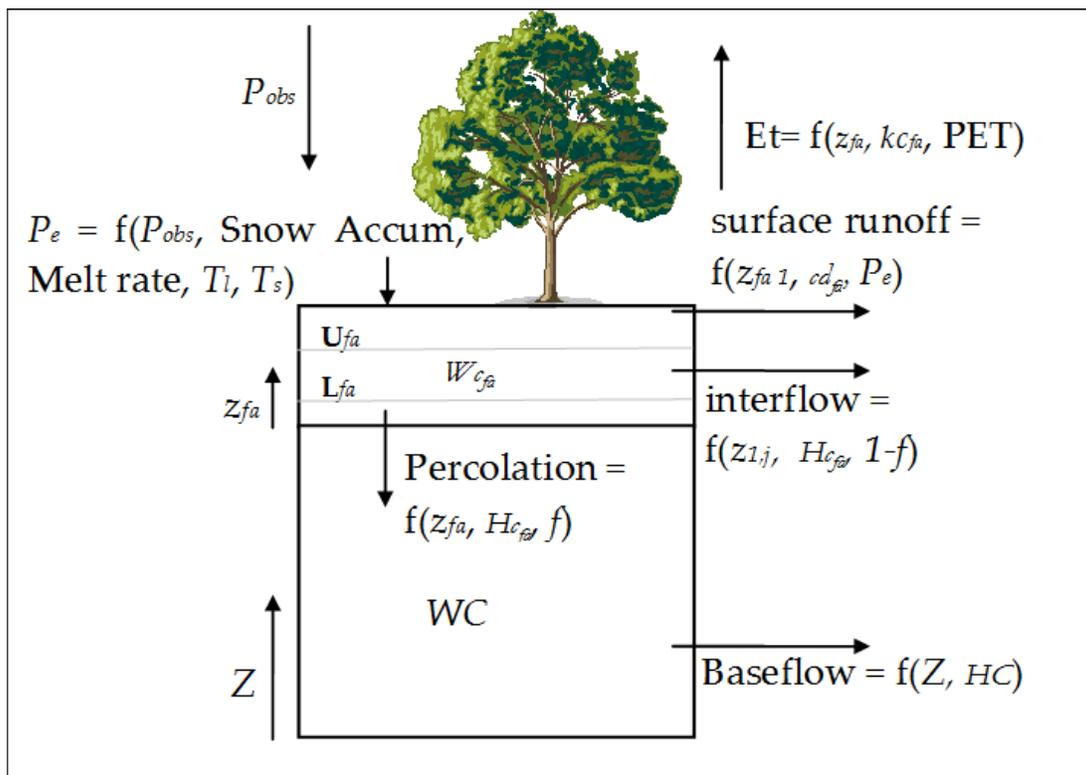


Figura 3-5. Modelo Hidrológico de WEAP - diagrama de doble balde (Yates et al., 2005a)

Los valores de cada una de estas áreas se suman para obtener los valores agregados en una subcuenca. En cada tiempo de corrida del modelo, WEAP calcula primero los flujos hidrológicos, que son traspasados a los ríos y acuíferos asociados. La distribución de agua se realiza para el mismo tiempo de corrida, donde las restricciones relacionadas con las características de la red de distribución, las regulaciones ambientales y a la vez las prioridades y preferencias asignadas a diferentes puntos de demanda son usadas como condiciones de operación de un algoritmo de programación lineal que maximiza la satisfacción de demanda hasta el mayor valor posible.

3.6 Parámetros de Calibración del Modelo WEAP en la cuenca Alta del Río Otún

Ya se mencionaron los parámetros evaluados en el modelo doble balde para calcular la escorrentía de cada uno de los Catchments, los cuales son los mismo usados para la calibración del modelo, es decir para generar en el modelo las condiciones según las características propias de la zona donde se lleva a cabo la modelación. Es importante resaltar que este método considera que en la capa superior del suelo se incluyen los aportes de precipitación y derretimiento de hielo, además de la irrigación, y la evapotranspiración y los flujos de caudal se consideran como pérdidas desde la cuenca o área. También se considera la percolación hacia la capa más profunda, la cual es calibrada para mejorar la simulación del flujo base en la cuenca. Así las cosas, la escorrentía total se define como la suma de la escorrentía directa y la superficial, la escorrentía sub-superficial representada por el modelo y el flujo derivado de las capas del suelo más profundas.

Los parámetros mencionados pueden variar de acuerdo a las propiedades del suelo, la vegetación y otros. Al momento de calibrar también se debe tener en cuenta la escala de tiempo con la cual está corriendo el modelo, dado que la sensibilidad de los parámetros no será la misma a una escala de tiempo mensual que a una diaria.

Para evaluar los resultados de la calibración del modelo se puede usar diferentes índices para caracterizar el comportamiento de la cuenca, en este caso se usaron: a) Coeficiente de Nash-Sutcliffe; b) Error cuadrático medio y c) BIAS.

3.6.1 Coeficiente de Nash-Sutcliffe

Esta medida propuesta por Nash y Sutcliffe (Nash y Sutcliffe, 1970) busca establecer la eficiencia del modelo para predecir los caudales en comparación con la utilización de la media como predictor de la variable. Un coeficiente de NS = 0 implica que el modelo pronostica los caudales de igual forma a como lo haría la media de los datos observados, un NS negativo implica que la media es mejor predictor y un NS mayor a 0 implica que el modelo es mejor predictor que la media.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Qm_i - Qs_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Qm_i - \overline{Qm})^2}$$

Donde:

n = número de datos

Q_s = caudal simulado

Q_m = caudal medido

Los valores representados por este índice son decimales alrededor de uno (1), así, un valor igual a uno (1) corresponderá a un perfecto modelo de gestión, el valor cero (0) indicaría que el modelo de predicciones es tan preciso como la medida de los datos observados.

3.6.2 Error Cuadrático Medio (ECM)

El ECM se define como el promedio del cuadrado de la diferencia entre la medida estimada y la original. Cuando el valor de este índice es cero (0) implica una modelación perfecta, y para valores mayores a cero el ECM se utiliza para comparar modelaciones distintas de la misma variable. El ECM se define de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$ECM = \frac{\sum_{i=1}^n (Qm_i - Qs_i)^2}{n}$$

3.6.3 BIAS

El “bias” o sesgo estadístico es el promedio de la diferencia entre los valores medidos y los valores estimados. Sirve para evaluar la existencia de errores sistemáticos de sub o sobreestimación de la variable modelada. Su fórmula es similar a la del ECM pero a diferencia de esta no incluye el término cuadrático, por lo que se ve menos influenciado por diferencias entre los caudales máximos simulados y observados, ya que el ECM amplifica estos errores. Los valores El “bias” o sesgo estadístico es el promedio de la diferencia entre los valores medidos y los valores estimados. Sirve para evaluar la existencia de errores sistemáticos de sub o sobreestimación de la variable modelada .

Su fórmula es similar a la del ECM pero a diferencia de esta no incluye el término cuadrático, por lo que se ve menos influenciado por diferencias entre los caudales máximos simulados y observados, ya que el ECM amplifica estos errores.

$$BIAS = \frac{\sum_i^n Qm_i - Qs_i}{n}$$

3.7 Regionalización de la Información de los Escenarios de Cambio Climático

Los escenarios climáticos se escogieron a partir de 35 modelos de circulación global (GCMs) disponibles para la trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero más crítica (RPC 8.5). Para el ajuste de resolución de la información climática a nivel de cuenca (Downscaling), se utilizó el método delta con series históricas de precipitación y temperatura (1998-2012) de alrededor de 40 estaciones hidroclimatológicas de IDEAM, Cenicafé y la Red Hidroclimatológica de Risaralda (REDH).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO OTÚN

4.1 Implementación del Método XLRM

De un total de 16 incertidumbres (X) y más de 20 estrategias (L) identificadas en un taller, participativo se definieron en función de la información disponible cinco incertidumbres y cuatro estrategias para propósitos de modelación. El proceso de priorización consideró la disponibilidad de información como la factibilidad de que la incertidumbre y/o estrategia fuera modelable en la plataforma WEAP.

Tabla 4-1. Incertidumbres y Estrategias definidas para la Modelación en la cuenca del río Otún.

Incertidumbres	Estrategias
Clima	Conservación de ecosistemas estratégicos (Páramo y Bosque)
Crecimiento Poblacional	Programas de ahorro y uso eficiente de agua
Consumo de Agua	Caudales Ambientales
Pérdidas de los sistemas de distribución	Definición de prioridades entre los tipos de demanda y caudales ambientales
Cambios en las áreas de bosque y páramo	

De acuerdo a lo anterior, se procedió a incluir incertidumbres asociadas a la demanda de agua como son: el cambio demográfico, consumo per cápita y niveles de pérdidas de agua en la infraestructura; e incertidumbres relacionadas con la oferta en aspectos relacionados con cambio climático y cambios de coberturas de los suelos. Además se exploraron medidas de adaptación como: cambios en las prioridades de las concesiones, modificación de los caudales ecológicos, la reducción de agua no facturada y la continuidad de los programas de conservación de ecosistemas estratégicos en la cuenca (Páramo y bosque).

Aapoyados en el marco conceptual de servicios ecosistémicos se identificaron 16 posibles medidas de desempeño (M). De este grupo de medidas se escogieron 6, las cuales se enuncian a continuación y se describen más adelante al momento de explicar el ensamble de los modelos.

Tabla 4-2. Medidas de Desempeño definidas para la Modelación en la cuenca del río Otún.

Medidas de Desempeño (M)
1. Caudales en las diferentes corrientes tributarias (oferta superficial)
2. Comportamiento de la demanda
3. Cobertura de demanda para uso doméstico
4. Cobertura de demanda para generación de energía
5. Cobertura de caudales ambientales
6. Caudal aportado por el páramo

4.2 Modelo Hidrológico en WEAP para la Cuenca del Río Otún

Aplicada la metodología descrita se obtuvo un modelo con los *catchments*, que permitiera realizar los análisis hidrológicos y de gestión correspondiente, el modelo esquematizado se presenta en la Figura 4-1.

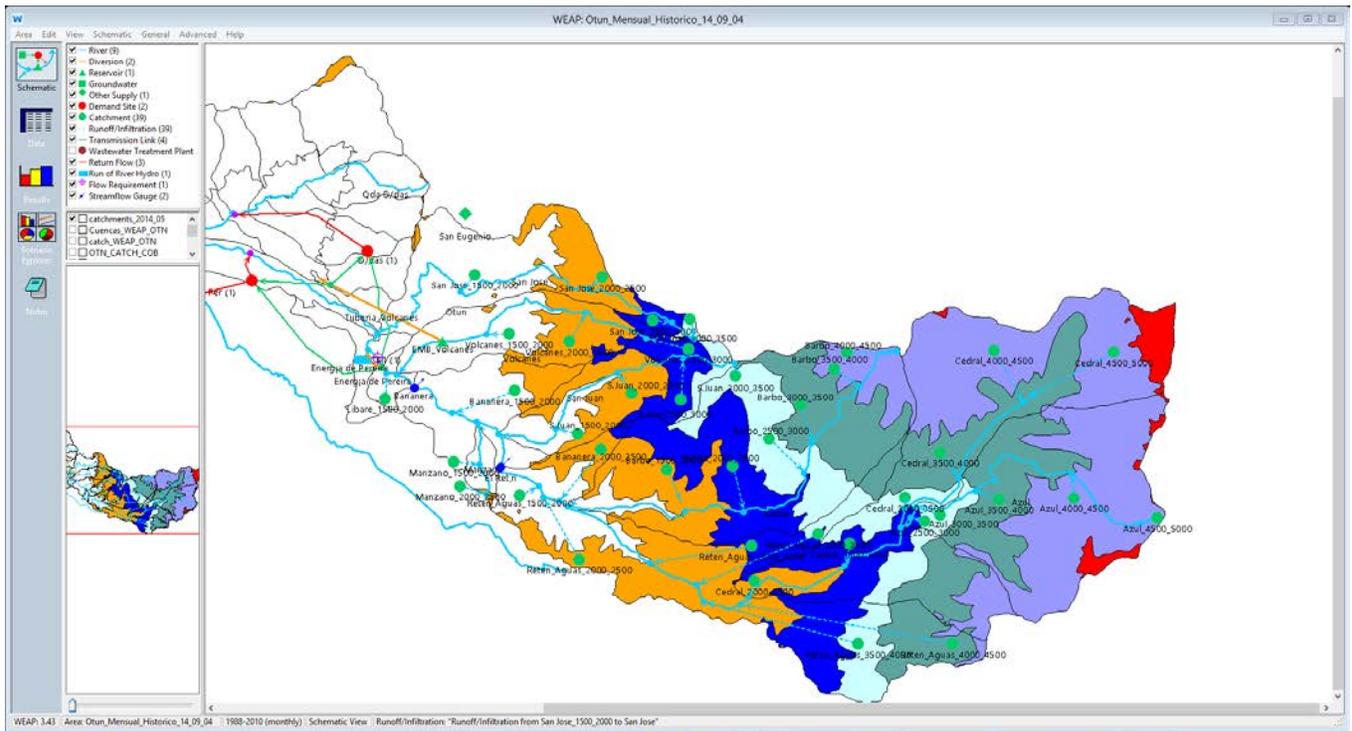


Figura 4-1. Esquema en WEAP de la modelación hidrológica de la cuenca del río Otún.

4.2.1 Series de Clima

Los datos obtenidos, producto del trabajo colaborativo entre SEI, NCAR e IDEAM, correspondieron a series de datos mensuales (2012 -2100) de precipitación y temperatura para la cuenca río Otún. Para caracterizar cada modelo, se calcularon las desviaciones del promedio de la serie futura, agrupada en los intervalos 2012-2040, 2040-2070 y 2070-2100, con respecto a los valores promedio históricos de precipitación y temperatura respectivamente (Ver Figura 4-3). A partir de las desviaciones presentadas para fin de siglo (2070-2100) se escogieron 6 modelos climáticos: cuatro representado las desviaciones máximas y mínima de precipitación (modelos 34 y 2) y temperatura (modelos 16 y 21); y dos modelos coincidentes con las condiciones de desviación promedio de todos los modelos que representa la línea azul de la Figura 4-3 (modelo 16 para precipitación y modelo 17 para temperatura). Esta selección permitió tener un abanico de condiciones climáticas que dan cuenta de diferentes condiciones de oferta de agua.

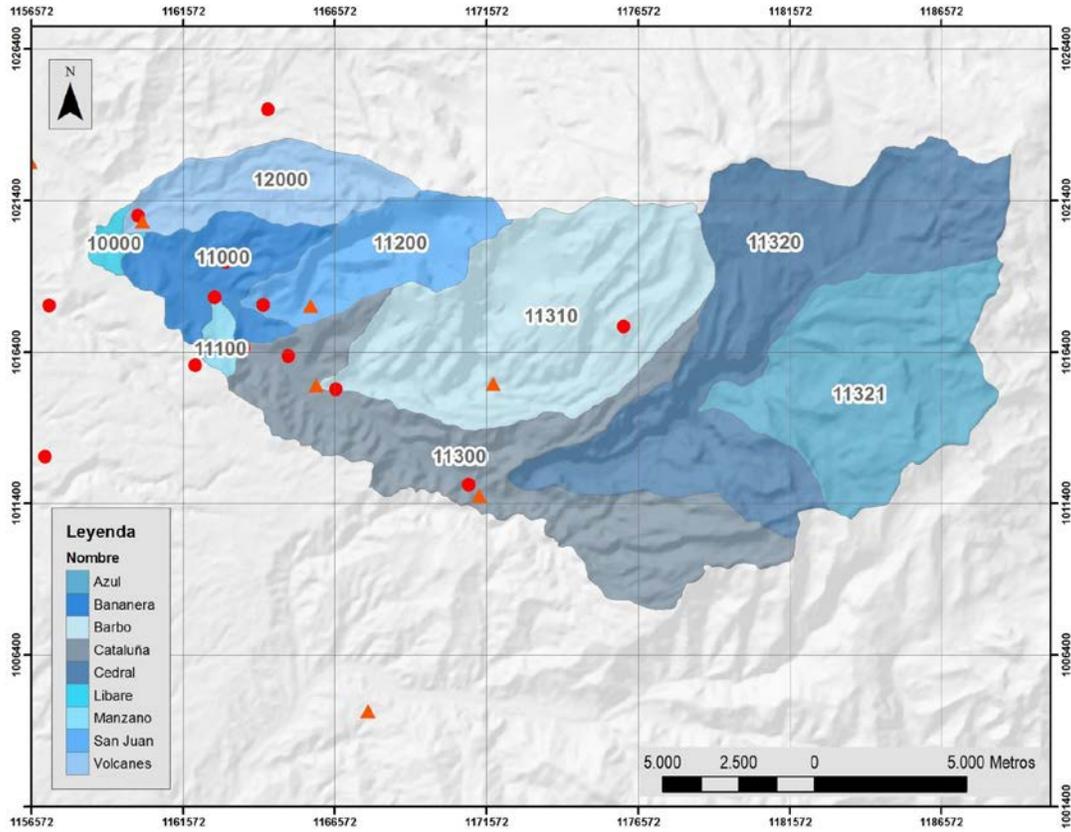


Figura 4-2. Distribución estaciones hidroclimatológicas en la cuenca del río Otún

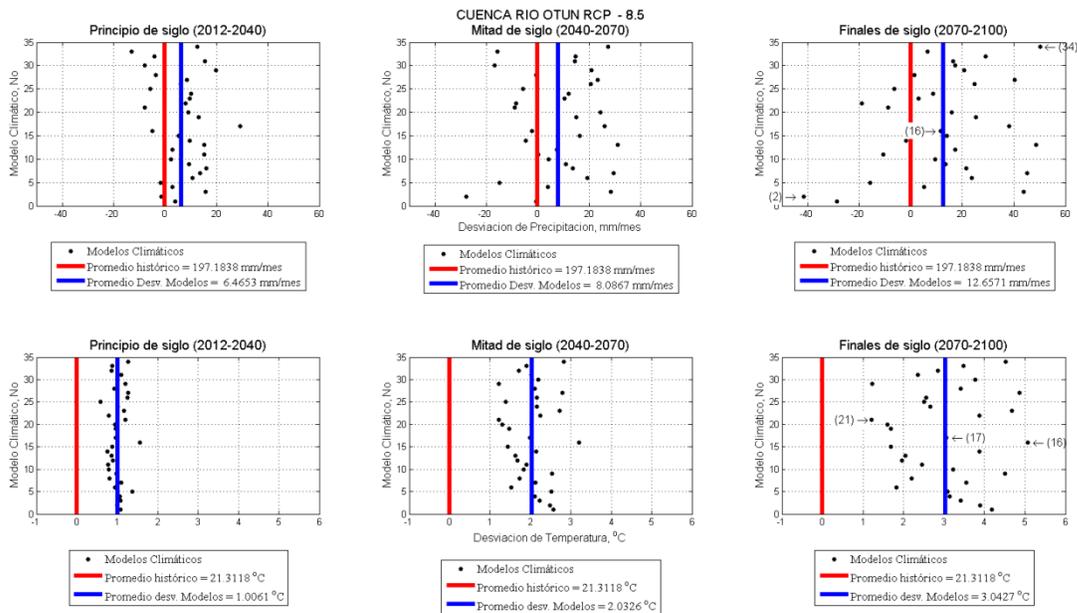


Figura 4-3. Dispersión de los resultados de los 35 GCM para los períodos 2012-2040, 2040-2070 y 2070-2100 en la cuenca del río Otún

4.2.2 Resultados del modelo en la captación multipropósito

En este modelo a escala de tiempo de mensual, además de la oferta hídrica, se consideró la demanda que corresponde a sus principales concesiones de agua: i) agua para consumo humano en los municipios de Pereira y Dosquebradas ($2.35 \text{ m}^3/\text{s}$) y ii) generación de energía ($5 \text{ m}^3/\text{s}$). Adicional a estas demandas, se consideró la garantía de un caudal de $3 \text{ m}^3/\text{s}$ como caudal ambiental en el río después de la captación multipropósito.

De acuerdo a lo anterior, se contrastaron la suma de todas las demandas ($10.35 \text{ m}^3/\text{seg}$) con la oferta hídrica, obteniendo unas altas condiciones de vulnerabilidad del sistema hídrico a la altura de Nuevo Libaré. La vulnerabilidad se asoció a las veces en las que el río no podría suplir las demandas sin afectar a ningún usuario y al ecosistema acuático (fallas del sistema). En función de lo anterior, una alta vulnerabilidad (color rojo en el mapa de vulnerabilidad) se asocia a las muchas veces en las que la demanda es superior a la oferta, lo cual ocurre todos los años especialmente en los meses de enero-febrero y julio-agosto, debido al régimen bimodal de la precipitación predominante en cuencas de montaña localizadas en la región Andina de Colombia.

La estrategia de gestión primordial consistió en la priorización de las demandas, considerando el siguiente orden: 1) ambiental, 2) consumo humano Y 3) energía. Encontrado como resultado que el principal impacto en la alta vulnerabilidad del sistema obedece a la generación de energía.

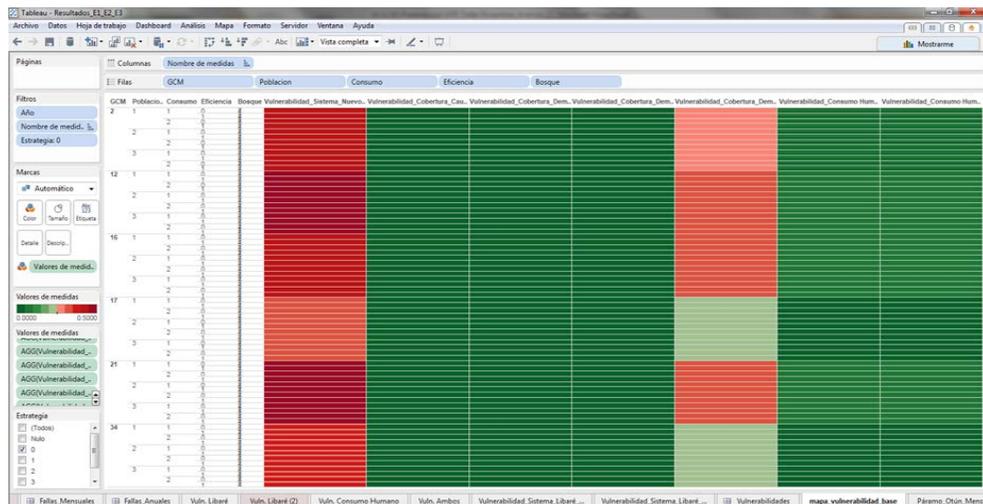


Figura 4-4. Mapa de Vulnerabilidad para el Análisis del Sistema Hídrico en el Río Otún a la altura de la Captación Multipropósito existen en el Sector de Nuevo Libaré, Región Andina de Colombia.

El análisis del mapa de vulnerabilidad muestra en la primera columna (todas las filas rojas) las condiciones de alta vulnerabilidad del sistema hídrico en el río Otún a la altura de Nuevo Libaré, sector de la captación multipropósito. Al realizar un análisis más detallado

sobre la cobertura de cada una de las demandas: ambiental (segunda columna, todo verde), consumo humano de Pereira (tercera columna, todo verde), consumo humano de Dosquebradas (cuarta columna, todo verde), y generación de energía (quinta columna, rojos y verdes); se encuentra como resultado que el principal impacto en la alta vulnerabilidad del sistema obedece a la generación de energía, y que será de mayor o menor grado dependiendo del escenario de cambio climático, por ejemplo para los escenarios 17 y 34 la vulnerabilidad es baja (color verde dentro de la columna 5), mientras que para los escenarios restantes es muy alta . Posteriormente, se analizó la demanda priorizada para caudales ambientales y consumo humano, restringiendo la demanda energética en caso de que no exista la oferta suficiente, encontrando bajas vulnerabilidades para las condiciones actuales (columna 6, todo verde) y proyección futura (columna 7, todo verde).

4.3 Modelación en WEAP a Escala Mensual en la cuenca Alta del Río Otún

Este modelo permite evaluar con mayor precisión el comportamiento de los páramos en la regulación hídrica en la parte alta de la cuenca, por lo que en este modelo sólo se tuvieron en cuenta los Catchment que incluían páramo, como se muestra en la . Las franjas de elevación jugaron un papel fundamental para el montaje del modelo, dado que es a partir de los 3000 m.s.n.m que se encuentra el ecosistema páramo en la cuenca del Otún, lo cual permitió la delimitación de los Catchments y conocer las coberturas del suelo y sus características. Así las cosas, el modelo de páramo se encuentra ubicado en las franjas de elevación entre los 3000 y 5000 m.s.n.m.

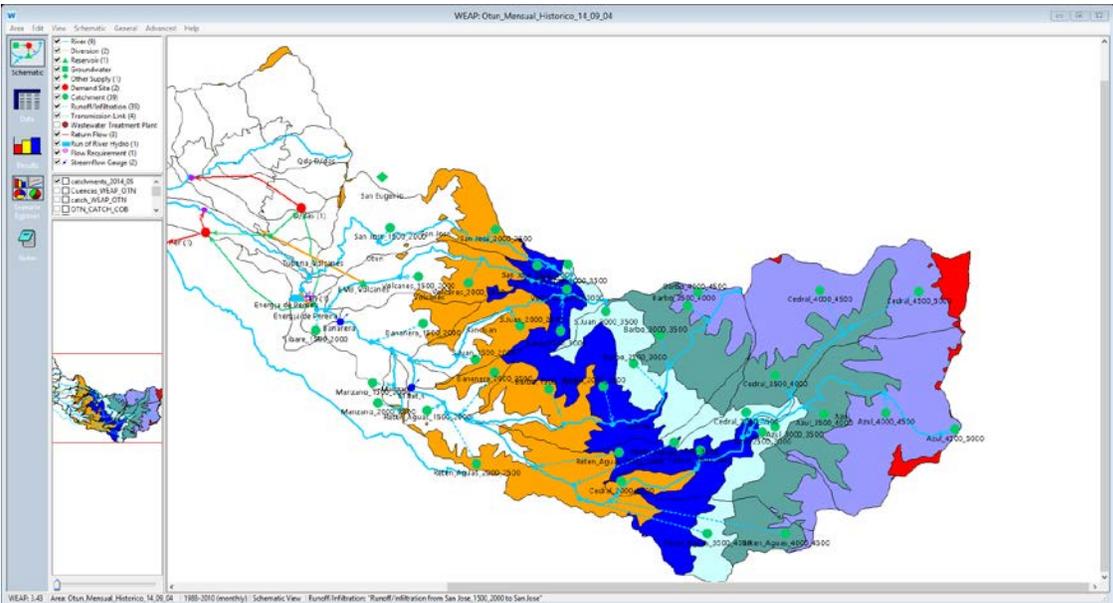


Figura 4-5. Modelo del Páramo en el río Otún

Las áreas de captación se delimitaron con base a la información cartográfica correspondiente a la zona teniendo en cuenta las franjas de elevación y los puntos de cierre para cada fuente de interés para el estudio. En total, fueron catorce (14) los Catchments ubicados a partir de las franjas de elevación de 3000 m.s.n.m, los cuales tiene como fuentes receptores de su escorrentía, las corrientes hídricas Azul, Barbo, Otún, San José y San Juan.

Para modelar la escorrentía mediante el método de lluvia escorrentía ofrecido por WEAP para modelar los procesos que se generan al interior de cada Catchment, se ingresaron los siguientes parámetros:

Tabla 4-3. Parámetros método Lluvia Escorrentía modelo Páramo

PARÁMETRO WEAP	VALOR
Soil Water Capacity (mm)	70
Deep Water Capacity (mm)	210
Runoff Resistance Factor	2
Root Zone Conductivity (mm/mes)	240
Deep Conductivity (mm/mes)	120
Prefer Flow Direction	If(PrevTSValue(Interflow[m ³])/Area[M ²] * 1000 > 15, 0.75, 0.25)
Humedad en el Bucket 1 (Z1) (%)	15
Humedad en el Bucket 2 (Z2) (%)	10
Kc	1.2

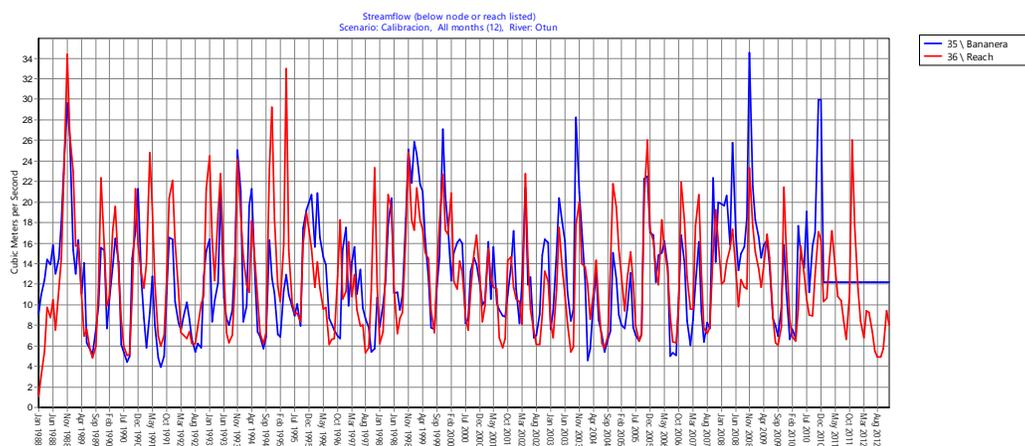


Figura 4-6. Caudal mensual medido Vs Caudal modelado en el río Otún

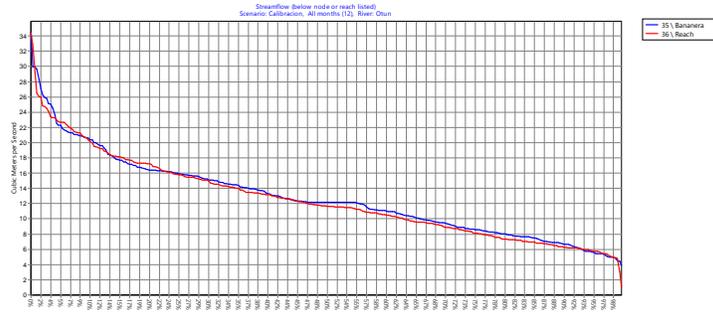


Figura 4-7. Porcentaje duración de caudal mensual Otún medido Vs modelado

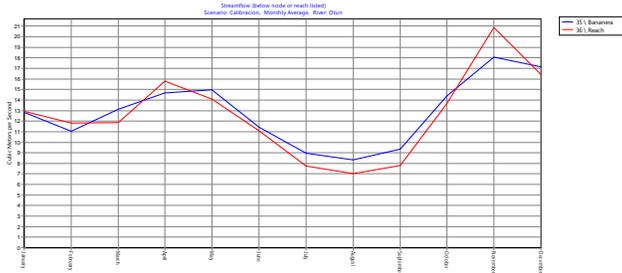


Figura 4-8. Caudal mensual multianual río Otún medido Vs modelado

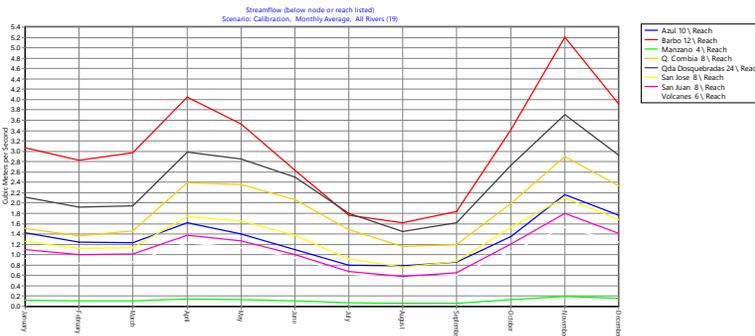


Figura 4-9. Caudal mensual multianual (m3/s) principales tributarios río Otún

4.4 El Ecosistema Páramo como Regulador de Caudal en la Cuenca del río Otún

La Figura 4-11 permite evidenciar el caudal aportado por el páramo respecto al caudal del río Otún con datos modelados a escala mensual, a la altura de la bocatoma multipropósito de Nuevo Libaré. Donde en promedio, se tiene que el páramo aporta alrededor del 40% al caudal del río Otún en este sitio entre los años 2014-2050. Es notoria la variabilidad del aporte del páramo en función del comportamiento de la precipitación y sus respuestas de caudal en la cuenca, ya que el óptimo pluviométrico se encuentra por debajo de los 3000 m.s.n.m (aprox. 1800 m.s.n.m) y en algunos períodos este aporte de escorrentía puede ser mayor que el aporte del páramo. Sin embargo, debe considerarse que la disponibilidad de agua en la parte alta del río Otún debe garantizarse aún en los períodos de menor lluvia y por ende menor escorrentía, por lo cual es de importancia desagregar los flujos de caudal

(base, interflujo, escorrentía superficial) para identificar los aportes de la cuenca alta que van a satisfacer las demandas en la parte media en esos momentos críticos.

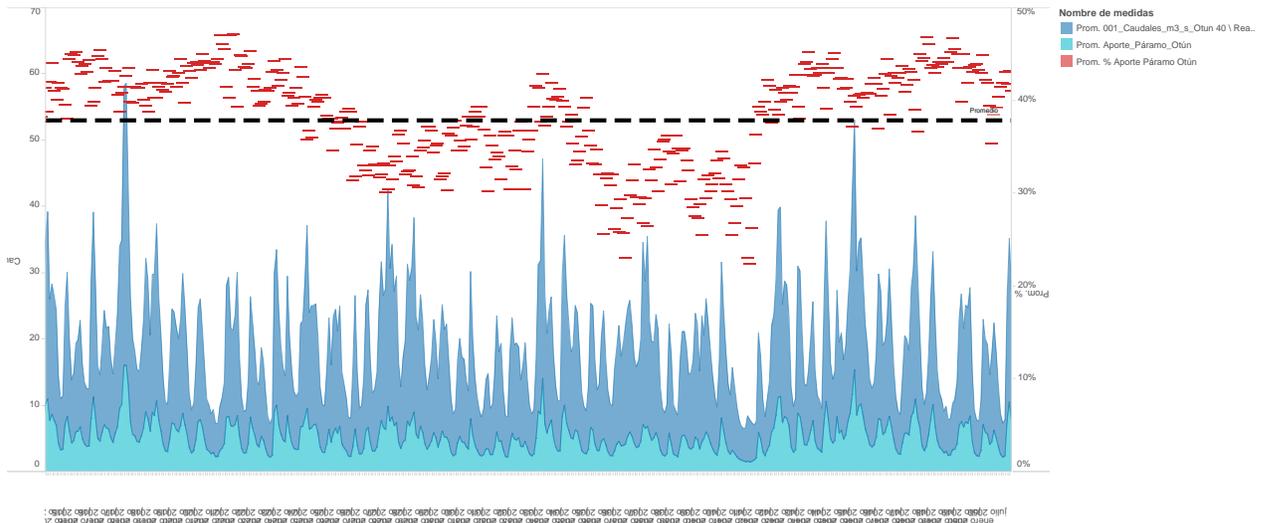


Figura 4-10. Aporte del caudal del páramo respecto al caudal en Nuevo Libaré en el río Otún

El caudal aportado por el páramo permite aportar un 50% en promedio a la satisfacción de los requerimientos hídricos ($10.35 \text{ m}^3/\text{s}$) en el sector de Nuevo Libaré. Aunque existen momentos que puede aportar el 100% de esa demanda, de acuerdo al régimen bimodal de lluvias, que corresponde a los meses húmedos de abril-mayo y noviembre-diciembre. En la parte inferior de la Figura 4-12, el color verde del caudal corresponde al flujo base proveniente del páramo, que a pesar de las variabilidades climáticas e hidrológicas, presenta una tendencia constante en promedio a los $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

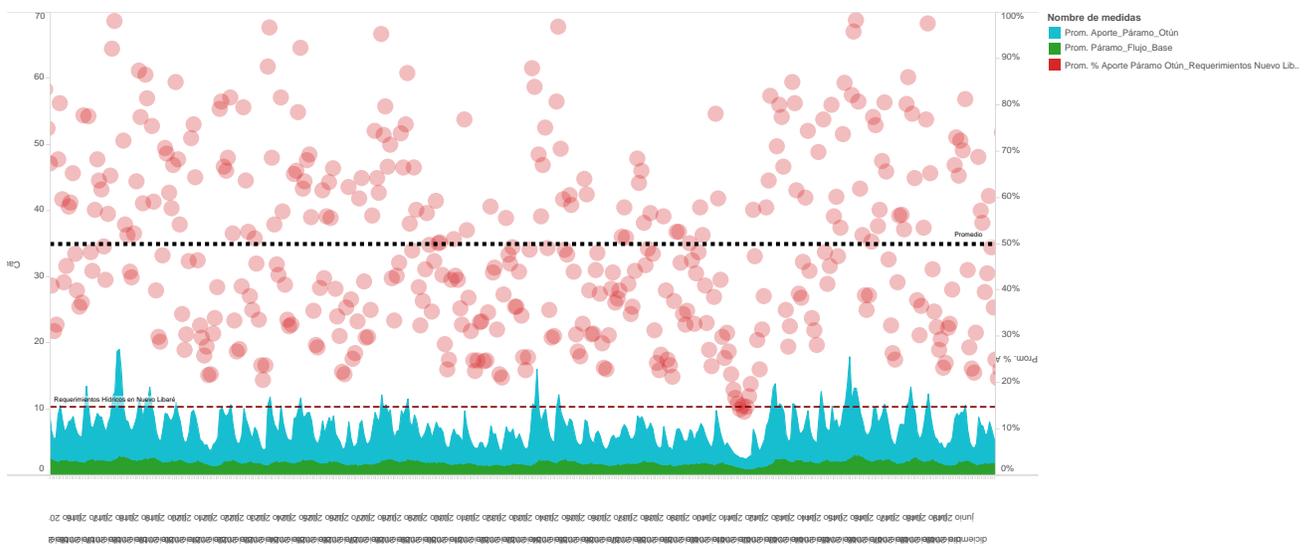


Figura 4-11. Aporte del caudal del páramo respecto a la demanda total ejercida en Nuevo Libaré

Detallando la desagregación de los flujos de caudal aportados por el páramo, se aprecia en la Figura 4-13 como la cuenca es sensible a los cambios de clima (precipitación y temperatura), donde la composición y los aportes de los flujos cambian en forma dinámica. En períodos húmedos el mayor aporte corresponde a la escorrentía superficial, mientras que en los períodos de menor lluvia, el flujo base se convierte en el de mayor aporte (año 2040).

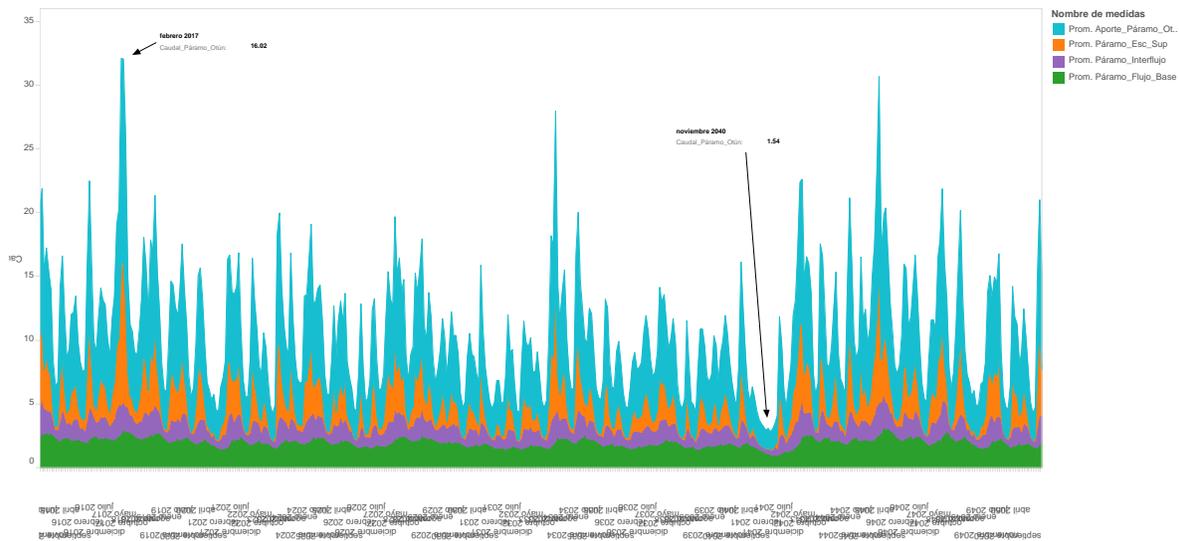


Figura 4-12. Desagregación de los flujos de caudal aportados por el Páramo en el tiempo en el río Otún

Para soportar el último comentario, se ha realizado una gráfica adicional para visualizar el comportamiento de los flujos en cada uno de los meses del año 2040, siendo este el año más crítico proyectado. Encontrando que en estos períodos, el flujo base puede empezar representando un aporte del 40% a principios de enero, pero que a medida que pasan los meses puede alcanzar hasta un 80% del total del caudal aportado por el páramo para satisfacer las demandas en la parte media. Esto habla de una manera relevante del rol del páramo como regulador hidrológico, sin entrar a considerar las otras funciones ecosistémicas que cumplen estos caudales en la parte alta de la cuenca, ver la Figura 4-14.

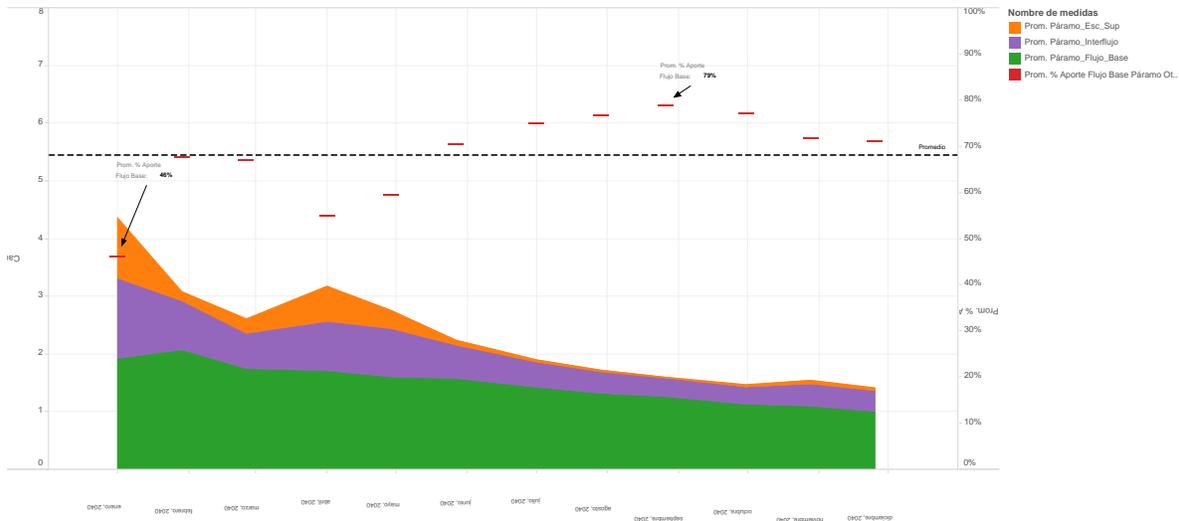


Figura 4-13. Aporte del flujo base en el caudal aportado por el Páramo en los periodos más secos en el río Otún

La modelación de la cuenca del río Otún ha permitido conocer el aporte del ecosistema páramo frente al de otras coberturas en la zona, encontrando que en los meses de caudales bajos como agosto, este representa hasta un 60% del flujo del cual se abastece en el sector de Nuevo Libaré los usos de consumo humano y energía. Esto implica que ante las incertidumbres del cambio climático, la conservación del ecosistema Páramo se convierte en una de las estrategias que proporcionan mayor resiliencia para la sociedad en su conjunto en la cuenca; debiendo continuar los esfuerzo interinstitucionales que se han venido llevando a la práctica en los últimos sesenta años.

4.5 Una reflexión final para la gestión en la cuenca hidrográfica del río Otún

Los resultados de este estudio evidencian que hay una conexión entre la implementación de POMCAs con los procesos ADR, en términos de generar una visión integral en la gestión del recurso hídrico y sentar las bases para la vinculación activa de los actores durante la formulación y ejecución de medidas de adaptación a corto y mediano plazo.

WEAP, XLRM y ADR han permitido conocer con rigor conceptual y metodológico el comportamiento espacial, temporal y el estado del agua en términos de oferta, disponibilidad, calidad, uso, demanda, amenazas y vulnerabilidad, considerando, además, incertidumbres asociadas a la variabilidad climática, actividades humanas actuales y proyectadas, la dinámica poblacional y socioeconómica y el uso del suelo. Con esos insumos, en talleres participativos es posible delinear los posibles escenarios futuros.

Al contrastar las demandas del río Otún producto de la captación multipropósito a la altura de Nuevo Libaré (10.35 m³/seg) con la oferta hídrica, se obtuvieron unas altas condiciones de vulnerabilidad del sistema hídrico, asociada a las muchas veces en las que la demanda es superior a la oferta, lo cual ocurre en los meses de enero-febrero y julio-agosto, debido al

régimen bimodal de la precipitación predominante en cuencas de montaña localizadas en la región Andina de Colombia.

El principal impacto en la alta vulnerabilidad del sistema obedece a la generación de energía, y será de mayor o menor grado, dependiendo del escenario de cambio climático.

Si se implementa la estrategia de gestión relacionada con priorización de las demandas con el orden: 1) ambiental, 2) consumo humano Y 3) generación de energía, se encontrará mayor resiliencia al cambio climático, puesto que se disminuye la vulnerabilidad del sistema. No obstante, se hace deberán analizar y concertar con la Empresa de Energía de Pereira nuevas alternativas de aprovechamiento del recurso hídrico, tales como una concesión variables a lo largo del año que se ajuste en su operación para maximizar la generación en las épocas de caudal superior al promedio, y restringir la captación en los momentos de estiaje.

La modelación de la cuenca del río Otún ha permitido conocer el aporte del ecosistema páramo frente al de otras coberturas en la zona, encontrando que en los meses de caudales bajos como agosto, el páramo representa hasta un 80% del flujo del cual se abastece en el sector de Nuevo Libaré los usos de consumo humano y energía. Los resultados muestran el importante rol del páramo como regulador hidrológico. Esto implica que ante las incertidumbres del cambio climático, la conservación del ecosistema Páramo se convierte en una de las estrategias que proporcionan mayor resiliencia para la sociedad en su conjunto en la cuenca; debiendo continuar los esfuerzo interinstitucionales que se han venido llevando a la práctica en los últimos 60 años.

5 Referencias

- Aguilera Klink, F. (1997)., “Prólogo”, en Arrojo, P. y J.M. Naredo, *La gestión del agua en España y California*, Bakeaz, Bilbao.
- Álvarez, C.M. (2012). *El ordenamiento del agua*. Revista Técnica - IDEAM. Vol. 1-No 1. pp. 9 – 16.
- Betancur, T., Campillo, A.K., García, V. (2011). *Una Metodología Para La Formulación De Planes De Ordenamiento Del Recurso Hídrico*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín 10 (19), 67-78.
- Boersema, J.J., y Reijnders, L. (2009). *Principles of Environmental Sciences*. Springer Science + Business Media B.V. 542 pp.
- Buitrago, O. (2010). *Agua, territorio y gestión: caminos por recorrer*. Perspectiva geográfica, Vol. 15. pp.125–142.
- Castro, S. (2005). *Transdisciplinariedad y diálogos de saberes*. Conferencia Miradas y Perspectivas de las Ciencias Sociales y Humanas. Pp 53 - 59.
- Ceballos, J.L., Real, E.L., Meneses, I. (2012). *La sensibilidad de los glaciares*. Revista Técnica - IDEAM. Vol. 1-No 1. pp. 45 – 54.
- Cubillos, L.F. (1998). *Un Estudio de la Formación Interdisciplinaria en la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira*.
- Cubillos, L.F. (2010). *Epistemología de las Ciencias Ambientales: Pretensiones Académicas Frente al Proceso “Fundacional” de una Nueva Área de Conocimiento para Colombia*. En *Cátedra Ambiental. Memorias 2006 – 2009 Un espacio de Reflexión para la Sustentabilidad*. Rodríguez, D. y García, A.M. Eds., Pereira, 224.
- De La Herrán, A. (2011). *Complejidad y Transdisciplinariedad*. Revista Educacao Skepsis, n. 2. Formacao Profisscional, vol. I. (Contextos de la Formación Profesional), Sao Paulo: skepsis.org. Pp 294 – 320.
- Díaz Pineda, F. (2000). “Solidaridad hídrica”, *El País*, 11 de septiembre de 2000.
- Dollar, E.C.J., James, C.S., Rogers, K.H., Thoms, M.C. (2007). *A framework for interdisciplinary understanding of rivers as ecosystems*. *Geomorphology* 89, 147–162.
- Dourojeanni, A.C. (2007). *Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas ¿por qué no lo podemos hacer?. Gestión y políticas en cuencas*. pp. 149-183.
- Fattorelli, S. y Fernandez, P.C. (2011). *Diseño Hidrológico*. Segunda edición (edición digital). 602 pp.
- Fernández, C.C. y Sabas, C.A. (2012). *Sistema de Alerta Temprana Centrado en la Población para la Cuenca Media del Río Otún*. Revista Scientia et Technica No. 50, pp 199-205.
- García, M., Jaramillo, O., Vargas, O. (2012). *Cuánta agua nos queda*. Revista Técnica - IDEAM. Vol. 1-No 1. pp. 32 – 44.
- García, M.C., Piñeros, A., Bernal, F.A., Ardila, E. (2012). *Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia*. Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes #36. pp. 60-64.
- García, R. (1994). *Interdisciplinariedad y Sistemas Complejos*. Editorial Gedisa. Barcelona.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos: conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Ed. Gedisa.

- Hicks, C.C., Fitzsimmons, C. y Polunin, N. (2010). *Interdisciplinarity in the environmental sciences: barriers and frontiers*. *Environmental Conservation* 37 (4). Pp 464 - 477.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Khagram, S., Nicholas, K.A., Bever, D.M., Warren, J., Richards, E.H., Oleson, K., Kitzes, J., Katz, R., Hwang, R., Goldman, R., Funk, J., y Brauman, K.A. (2010). *Thinking about knowing: conceptual foundations for interdisciplinary environmental research*. *Environmental Conservation* 37 (4). Pp 388 -
- Köppen, E., Mansilla, R, y Miramontes, P. (2005). *La interdisciplina desde la teoría de los sistemas complejos*. *Ciencias*, 79. Pp 4 -12.
- Leff, E. (2006). "La complejidad ambiental: del logos científico al diálogo de saberes". En: *Ciencias Ambientales: Una nueva área de conocimiento* (RCFA, 2007). Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA - . Pp 39 -47.
- Llamas, M. R. (1995). *La Crisis del Agua: ¿Mito o realidad?*. *Atti dei Convegni Lincei, Accademia dei Lincei, Roma, N° 114*, pp. 107-115.
- López, C.E. y Hernández, U. (2009). *Diálogo entre Saberes: Ciencias, Saberes e Ideología en Torno a lo Ambiental*. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira.
- López Martos. J. (2000). *Agua y territorio*. *Obras Públicas (OP)*, núm. 50, pp. 46-53.
- Mañano, B. (2007). *Territorio, teoría y política*. *Intervención en el Seminario Internacional: las configuraciones de los territorios rurales en el siglo XXI*, Universidad Javeriana.
- Martínez, S. 2011. *Contexto histórico de un territorio. El centro occidente colombiano antes de la colonización antioqueña*. *Revista Historia 2.0, Conocimiento histórico en clave digital No. 2*, pp. 158-170
- MAVDT. (2010). *Decreto 3930 de 2010 "Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"*.
- Montañez, G. (2001). *Razón y pasión del espacio y el territorio*. En *Espacios y territorios: Razón, pasión e imaginarios*. Editorial Unibiblos. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, pp. 15-32.
- Montañez, G. y Delgado, O. (1998). *Espacio, territorio y región: conceptos básicos para un proyecto nacional*. *Cuadernos de Geografía, Universidad Nacional de Colombia*, pp. 1-11.
- Moran, E.F. (2010). *Environmental Social Science: human-environment interactions and sustainability*.
- Nápoles-Rivera, F., Serna-González, M., El-Halwagi, M.M., y Ponce-Ortega, J.M. (2013). *Sustainable water management for macroscopic systems*. *Journal of Cleaner Production* (47). Pp 102 - 117.
- Odum, H.T. (1971). *Environment, Power and Society*, Wiley Interscience.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental accounting: emergy and decision making*. John Wiley, New York, USA.
- Pabón, D. (2010). *Informe de evaluación del Cambio Climático en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia y Conservación Internacional. Bogotá, Colombia.
- Palomo, I., B. Martín-López, C. López-Santiago, y C. Montes. (2011). *Participatory scenario planning for protected areas management under the ecosystem services*

- framework: the doñana social-ecological system in southwestern spain. Ecology and Society* 16(1): 23.
- Polanco, J.A. (2001). *Medio ambiente y perspectivas interdisciplinarias de investigación.. ENSAYOS FORHUM, 19, Miradas al Hábitat, 150–158.*
- Pretty, J., Adams, B., Berkes, F., Ferreira de Athayde, S., Dudley, N., Hunn, E., Maffi, L., Milton, K., Rapport, D., Robbins, P., Sterling, E., Stolton, S., Tsing, A., Vintinner, E., y Pilgrim, S. (2009). *The Intersections of Biological Diversity and Cultural Diversity: Towards Integration. Conservation and Society* 7 (2), 100–112.
- Red Colombiana de Formación Ambiental – RCFA- . (2007). “Ciencias Ambientales: Nueva área de conocimiento”. *Compilado por: Sáenz, Orlando. Digiprint editores. Bogotá, Colombia.*
- Resilience Alliance. (2007). *Assessing resilience in Social-ecological systems. A workbook for scientists.*
- Rivas, L.A. (2009). *Efectos de la teoría de la complejidad en la gestión ambiental en México. Instituto Politécnico Nacional. 431 pp.*
- Rosnay, J. (1979). *The Macroscope. New York: Harper & Row.*
- Ruiz, J. F. (2010). *Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución. Panorama 2011–2100. Nota técnica 005/2010 del IDEAM.*
- Ruiz, J.F. (2012). *Escenarios de cambio climático en Colombia. Revista Técnica - IDEAM. Vol. 1-No 1. pp. 18 – 30.*
- Sabas, C.A. y Paredes, D. (2009a). *Impacto del crecimiento de Pereira sobre el recurso hídrico en la cuenca del río Cestillal. Revista Scientia et Technica No. 42, pp 399-404.*
- Sabas, C.A. y Paredes, D. (2009b). *Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del río Barbas. Revista Scientia et Technica No. 42, pp 405-410.*
- Salinas, A.A., y Paz, O. (2011). *Aplicación del Modelo de Planificación Hídrica de Cuencas WEAP al Proyecto: Aducción de Recursos Hídricos Mururata. Rev. Tec. Inv. Doc., vol.6, no.6, pp. 27-38.*
- Santos, M. (2002). *O dinheiro e o território. En: Santos M., Becker, B., Silva, C.A.F. Território, territórios: ensayos sobre o ordenamiento territorial, pp. 7-13.*
- Sotolongo, P.L. y Delgado, C.J. (2006). *Capítulo IV. La complejidad y el diálogo transdisciplinario de saberes. En: la revolución contemporánea del saber y la complejidad social. Hacia unas ciencias sociales de nuevo tipo. Pp 65 – 77.*
- Suárez, J., Muñoz, H., Orozco, S., Sánchez, G., Ritter, W., Carreón, M.F., Muñoz, M.L., Triviño, J.M. (2009). *Disponibilidad de agua y el cambio climático global en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. Gestión Ambiental, no.18, pp. 49-61.*
- Toledo, V.M., Alarcón-Cháires, P., Barón, L. (2009). *Revisualizar lo rural desde una perspectiva multidisciplinaria. Revista de la Universidad Bolivariana 8 (22), 328-345.*
- Vilches, A., Gil, D. y Valdés, P. 2008. *Macroscopio: Instrumento fundamental de la necesaria r-evolución por la sostenibilidad. En Moreno, J. (Ed.): Didáctica de las ciencias. Nuevas Perspectivas. Segunda parte, (Pp. 206-236), ISBN: 978-959-18-0350-4. La Habana: Educación Cubana.*
- Vuille, M. (2013). *Climate change and water resources in the tropical Andes. IDB Technical Note; 517.*
- WATER EVALUATION AND PLANING, WEAP. [En línea] <www.weap21.org>
- WEAP, *User Guide for Weap21, (2005).*
- WEAP, *Tutorial: A collection of stand-alone modules to aid in learning the weap software. (2009).*

Los Modelos de Gestión como herramienta para el análisis de la relación agua-sociedad en el territorio con enfoque desde las Ciencias Ambientales. Estudio de caso de la ciudad de Pereira en la cuenca del río Otún.

Sabas, C.A; Castaño, J.M; Castro, N.L; Escobar, M; Purkey, D.

Abstract

Este artículo presenta la modelación de los recursos hídricos en la cuenca del río Otún, partiendo del reconocimiento de los siguientes aspectos estructurales que materializan la relación agua-sociedad y hacen de esta un referente como territorio socio-hidrológico. La cuenca del Otún abastece mediante una captación multipropósito a la altura de la vereda El porvenir, agua para consumo humano a los municipios de Pereira y Dosquebradas, y brinda agua para generación hidroeléctrica, debiendo garantizar después de la captación en cualquier período hidrológico un caudal de restricción ambiental definido por la autoridad ambiental. Para evidenciar lo anterior, se ha implementado un modelo lluvia-escorrentía con la información disponible de usos del suelo, curvas de nivel, hidrología y variables climáticas como precipitación, temperatura, humedad y velocidad del viento. Teniendo en cuenta que en la parte alta de la cuenca se encuentran zonas de páramo, se buscó conocer con mayor detalle la respuesta hidrológica de dicha zona, como la regulación de caudales base y la capacidad de almacenamiento de agua, lo cual se llevó a cabo a través de la generación de un modelo a escala diaria donde solo se incluyen las áreas de páramo para así evidenciar el caudal generado en dichas coberturas frente al observado en toda la cuenca.

Los resultados de este estudio evidencian que hay una conexión entre la implementación de POMCAs con los procesos ADR, en términos de generar una visión integral en la gestión del recurso hídrico y sentar las bases para la vinculación activa de los actores durante la formulación y ejecución de medidas de adaptación a corto y mediano plazo. WEAP, XLRM y ADR han permitido conocer con rigor conceptual y metodológico el comportamiento espacial, temporal y el estado del agua en términos de oferta, disponibilidad, calidad, uso, demanda, amenazas y vulnerabilidad, considerando, además, incertidumbres asociadas a la variabilidad climática, actividades humanas actuales y proyectadas, la dinámica poblacional y socioeconómica y el uso del suelo. Con esos insumos, en talleres participativos es posible delinear los posibles escenarios futuros.

Al contrastar las demandas del río Otún producto de la captación multipropósito a la altura de Nuevo Libaré (10.35 m³/seg) con la oferta hídrica, se obtuvieron unas altas condiciones de vulnerabilidad del sistema hídrico, asociada a las muchas veces en las que la demanda es superior a la oferta, lo cual ocurre en los meses de enero-febrero y julio-agosto, debido al régimen bimodal de la precipitación predominante en cuencas de montaña localizadas en la región Andina de Colombia. El principal impacto en la alta vulnerabilidad del sistema obedece a la generación de energía, y será de mayor o menor grado, dependiendo del escenario de cambio climático. La modelación de la cuenca del río Otún ha permitido conocer el aporte del ecosistema páramo frente al de otras coberturas en la zona, encontrando que en los meses de caudales bajos como agosto, el páramo representa hasta un 80% del flujo del cual se abastece en el sector de Nuevo Libaré los usos de consumo humano y energía. Los resultados muestran el importante rol del páramo como regulador hidrológico. Esto implica que ante las incertidumbres del cambio climático, la conservación del ecosistema Páramo se convierte en una de las estrategias que proporcionan mayor resiliencia para la sociedad en su conjunto en la cuenca; debiendo continuar los esfuerzos interinstitucionales que se han venido llevando a la práctica en los últimos 60 años.

Los Modelos de Gestión como herramienta para el análisis de la relación agua-sociedad en el territorio con enfoque desde las Ciencias Ambientales. Estudio de caso de la ciudad de Pereira en la cuenca del río Otún.

Sabas, C.A; Castaño, J.M; Castro, N.L; Escobar, M; Purkey, D.

1 UN MARCO CONCEPTUAL NECESARIO A NIVEL INTRODUCTORIO.

1.1 La Gestión en La Problemática Ambiental de la Relación Agua-Sociedad

“La crisis del agua no es una crisis debida a la escasez física de este recurso sino que esencialmente se trata de un problema de mala gestión” (Llamas, 1995). Esa era una premisa aceptada en los finales del siglo XX, y aunque pudiera aceptarse que se han realizado esfuerzos por mejorar esta gestión en los últimos años, y que los avances conceptuales y metodológicos también han avanzado, no se puede desconocer la complejidad inherente a la relación agua-sociedad en el territorio, la cual se deja entrever en el planteamiento del siguiente interrogante: *“Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas ¿por qué no lo podemos hacer?”* (Dourojeanni, 2007).

Una posible respuesta a tan simple, pero a la vez profundo interrogante, estaría relacionada con el tratamiento inconexo que se ha dado a los componentes de la relación agua-sociedad en el territorio, que no muestra su estrecha vinculación como aspectos de una misma problemática que hace que se potencian mutuamente, puesto que deberían abordarse de manera conjunta para lograr su sostenibilidad (Vilches *et al.*, 2008). Este abordaje demanda una visión *articuladora, integradora y sistémica* para la gestión de la relación agua-sociedad; es decir, concebir las relaciones e intercambios constantes entre la sociedad y la naturaleza como la clave para la calidad de vida y sostenibilidad ambiental (Álvarez, 2012).

Debe entonces reconocerse que el modelo de investigación del recurso hídrico, como todos los temas ambientales, se ha caracterizado por una aproximación monodisciplinar, especializada, reduccionista y fragmentada que limita el entendimiento, y por ende, las propuestas de solución a los problemas ambientales asociados. Entendiendo que estos últimos, surgen de la relación sociedad-naturaleza en un contexto particular, requiriendo para su estudio y análisis de un enfoque complementario entre las ciencias sociales (blandas) y naturales (duras). Esta convergencia demanda como punto de partida para el estudio de la ciencia ambiental, el territorio; concepto integrador, dinámico, sistémico y holista que se materializa en el espacio geográfico, social, político, cultural e histórico.

Una aproximación a esta mirada integradora del territorio, es posible a través del concepto de *macroscopio* definido inicialmente por Odum (1971) y complementado por Rosnay (1979), que consideran que los socio-ecosistemas y los sistemas complejos, deberían ser contemplados como un todo en vez de tomar sus componentes separadamente. Este enfoque holístico y metafórico se contrapone a los estudios puntuales que, al centrarse en un único aspecto o problema, ignora sus vinculaciones con otros e imposibilitan su comprensión (Vilches *et al.*, 2008). Lo anterior es particularmente importante si lo contextualizamos en el estudio de las ciencias ambientales, porque los planteamientos parciales y el reduccionismo causal, ignoran la estrecha relación de los problemas y la necesidad de abordarlos conjuntamente (García, 2006; Moran, 2010). De otro lado, pareciera que el concepto del macroscopio ya está un poco anticuado debido a los años que han pasado desde su aparición; no obstante, trabajos de investigación recientes para la gestión sostenible del agua en México incorporan el concepto en su esencia, al ya no hablar de agua superficial, potable y residual en forma separada, sino que abordan la integralidad de los mismos como sistema macroscópico (Nápoles-Rivera *et al.*, 2013).

Lo anterior, justifica la necesidad de un nuevo enfoque, ya que desde el momento que se plantea el ambiente como un sistema, todo se hace más complejo (García, 1994). El hecho de que cada parte se considera como componente integral de un todo, y que la alteración de alguna logra desequilibrar el todo en instantes relativos, hace que la inclusión de las actuaciones del hombre en esta trama resulten esenciales (Köppen *et al.*, 2005). Las puertas de nuevos enfoques como los ofrecidos por las ciencias ambientales, abre los hermetismos y permite hacer cruces de saberes (Castro, 2005; Leff, 2006; Sotolongo y Delgado, 2006; López y Hernández, 2009), no solo en función del crecimiento del conocimiento en sí mismo, lo cual es en esencia académico, sino que también, y posiblemente lo más interesante desde la perspectiva de las ciencias ambientales, establece la posibilidad para estudiar un objeto o problema ambiental desde las perspectivas que se requieran pro entendimiento y su resolución sistémica (RCFA, 2007; Hicks *et al.*, 2010); incluyendo las propiedades emergentes inherentes a las delicadas relaciones de los sistemas sociedad-naturaleza, cultura-ambiente, desarrollo-conservación (Khagram *et al.*, 2010).

En este sentido, se ha consolidado en la Tabla 1-1 una comparación de enfoques epistemológicos entre la ciencia contemporánea y las ciencias ambientales, en la que se destaca el territorio como ámbito de trabajo, el macroscopio como una mirada integradora, se privilegia la comprensión y la incertidumbre por encima de la precisión y el control, y se reconoce la complejidad como concepto transversal.

Tabla 1-1. Comparación de enfoques epistemológicos entre la ciencia contemporánea y las ciencias ambientales

CIENCIA CONTEMPORÁNEA (CIENCIA DEL MÉTODO)	CIENCIAS AMBIENTALES (CIENCIA REVOLUCIONARIA)
CIENTÍFICO CONTEMPORÁNEO	INVESTIGADOR EN CIENCIAS AMBIENTALES
LABORATORIO	TERRITORIO
MICROSCOPIO	MACROSCOPIO
COMPONENTES, PARTES, ELEMENTOS	“EL TODO” CON LAS RELACIONES ENTRE LOS ELEMENTOS, PROPIEDADES EMERGENTES
CONTROL, PRECISIÓN	INCERTIDUMBRE, COMPRENSIÓN
LINEALIDAD	COMPLEJIDAD

Debe entonces reconocerse el agua, la hidrología y los recursos hídricos, dentro de conceptos como el territorio y la visión macroscópica de los socio-ecosistemas; que deben ser estudiados, entendidos y analizados para ser gestionados de manera integrada, con el propósito de lograr su sostenibilidad. En particular, Betancur *et al.* (2010) mencionan que “Dentro de las ciencias ambientales, a escala global, ningún otro recurso como el agua constituye un elemento articulador de la gestión, ajustada al paradigma de la sostenibilidad”.

Retomando los conceptos de macroscopio, territorio, relación agua-sociedad y gestión integrada, en la Figura 1-1 se presenta la visión macroscópica de la relación agua-sociedad en el territorio con una mirada desde las ciencias ambientales, donde se identifican componentes como la oferta-demanda-calidad en el contexto de cuenca hidrográfica, la importancia de las actividades de monitoreo y disponibilidad de información para realizar una adecuada gestión, entendida esta última como la toma de decisiones por parte de las diferentes territorialidades presentes que se expresan a través de relaciones de poder (Buitrago, 2010).

Al analizar la Figura 1-1, se evidencia como la "gestión (decisiones)" de la relación agua-sociedad en el territorio es el elemento con más retroalimentación, toda vez que la normatividad y las políticas inciden y condicionan sus decisiones, la modelación a través de escenarios soporta sus actuaciones sobre el territorio, e incorpora aspectos como el cambio climático que altera el equilibrio en los socio-ecosistemas, retroalimenta los escenarios de modelación e incorpora la necesidad de implementar estrategias para la resiliencia y adaptación.



Figura 1-1. La visión macroscópica de la relación agua-sociedad en el territorio – una mirada desde las ciencias ambientales (Fuente: Elaboración propia).

Se destaca entonces la modelación como una herramienta soporte a las decisiones en la gestión, caracterizada por escenarios que reconocen la incertidumbre, la multiespacialidad y multitemporalidad. En particular, los escenarios de cambio climático se encuentran en la parte superior y alteran las diferentes relaciones, exacerbando el comportamiento de los patrones en condiciones normales. Es así, como el pronóstico del tiempo, la variabilidad climática y la generación de escenarios de cambio climático se han convertido en insumos fundamentales para la toma de decisiones en el territorio, debiendo recurrir a información meteorológica y climática a distintas escalas temporales y espaciales para su implementación (Ruiz, 2012).

El cambio climático es “*la variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad, que se mantienen durante un período prolongado (generalmente durante decenios o por más tiempo)*” (Ruiz, 2012). El IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) generó escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y ha reproducido la respuesta del clima del futuro en baja resolución (datos de grilla de las variables meteorológicas fuertemente espaciados del orden de los cientos de kilómetros para todo el mundo). Entre tanto, algunos centros meteorológicos nacionales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) han llevado dichos resultados de baja resolución a la alta resolución simulando fenómenos meteorológicos de menor escala en el espacio y de corta duración en el tiempo para el resto del siglo XXI; es decir para el período 2011-2100 (Ruiz, 2010, Pabón, 2010).

El IDEAM ha venido desarrollando investigación para detectar las evidencias del cambio climático en Colombia y para elaborar los escenarios climáticos que con mayor probabilidad se presentarían en los próximos decenios. Mediante una evaluación de los modelos climáticos globales que mejor representan el clima regional y con la ayuda de modelos climáticos regionales de alta resolución espacial, se simularon diversos escenarios climáticos que ocurrirían sobre el territorio indicando que:

“La temperatura media en el territorio nacional continuará incrementándose durante el transcurrir del siglo XXI de tal manera que para el período 2011-2040 habría aumentado en $1.4 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, para 2041-2070 en $2.4 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y para 2071-2100 en $3.2 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$. Los aumentos más significativos de la temperatura media se esperarían en gran parte de las regiones Caribe y Andina especialmente en los departamentos de Sucre, Norte de Santander, Risaralda, Huila y Tolima” (Ruiz, 2010).

“Las mayores reducciones de lluvia, para el resto del siglo XXI (2011-2100), se esperarían en Córdoba, Bolívar, Huila, Nariño, Cauca, Tolima y Risaralda, pero en algunos de estos departamentos este cambio ya se empezaría a evidenciar en el transcurso del período 2011-2040” (Ruiz, 2012).

Con respecto a impactos en la relación agua-sociedad ante cambio climático en Colombia, la alteración del ciclo hídrico a nivel regional podría generar desabastecimiento de agua para consumo humano especialmente en las regiones Caribe y Andina, desmejorar el saneamiento básico con implicaciones en la salud humana, incrementar los costos de provisión de agua y ocasionar conflictos entre la población y entidades encargadas de la gestión de los recursos y de la provisión de agua potable (Pabón, 2010).

De otro lado, el ENA 2010 (Estudio Nacional del Agua) analizó los efectos del cambio climático sobre la escurrimiento media anual en las principales zonas hidrológicas, bajo predicciones de modelos regionales de clima sobre el territorio colombiano. Los resultados arrojados por el ENA concluyen que, en general, el recurso hídrico presenta las mayores afectaciones en las zonas Andina y Caribe. Se llama la atención, en especial, sobre las cuencas afluentes del río Cauca, dado que es una de las zonas hidrológicas más vulnerables al fenómeno ENSO (El Niño/Southern Oscillation), (IDEAM, 2010). Complementariamente, las estimaciones bajo los diversos escenarios de cambio climático coinciden en una reducción fuerte en la escurrimiento para la región Andina y Caribe respecto a las demás áreas hidrológicas del país (disminuciones mayores del 30% respecto al promedio)” (García *et al.*, 2012).

A nivel de la región Andina, hablando específicamente de glaciares y nevados se ha pronosticado su extinción, investigaciones recientes estiman que el nevado Santa Isabel estará extinto alrededor del periodo 2024 – 2030. Esta situación es de preocupación internacional, toda vez que los glaciares o nevados en Colombia son únicos por su ubicación latitudinal, siendo considerados como importantes indicadores de cambio climático, debido a las condiciones propias de la alta montaña, la variabilidad intranual y los eventos climáticos extremos como los fenómenos “El Niño” y “La Niña” (Ceballos *et al.*, 2012).

Las regiones tienen entonces la necesidad de generar respuestas inmediatas a las afectaciones del recurso hídrico asociadas con el cambio climático y la variabilidad climática, además de orientar la planificación del uso del agua y de la ocupación del territorio con una visión a largo plazo. Adaptarse a la variabilidad climática es parte de los retos que genera el cambio climático (García *et al.*, 2012).

Los problemas actuales en torno a la relación agua-sociedad en los Andes tropicales, relacionados las repercusiones del cambio climático en el ciclo hidrológico, y evidenciados en el retroceso de los glaciares y sus proyecciones hacia futuro, las posibles reducciones en las precipitaciones y el crecimiento demográfico continuo, requieren que se formulen y apliquen estrategias de adaptación y mitigación. La meta principal de tales iniciativas de adaptación es la de aumentar la resistencia ante fenómenos extremos y reducir la vulnerabilidad de las poblaciones locales (Vuille, 2013), lo que se ha definido con el concepto de resiliencia y que tiene su orientación y enfoque centrado en los socio-ecosistemas (Resilience Alliance, 2007).

1.2 El Estudio De La Relación Agua-Sociedad En El Territorio

Muchos autores, procedentes de disciplinas y de campos de actividad muy diferentes, vienen coincidiendo, cada vez con mayor claridad, en el uso de la investigación interdisciplinaria para el estudio del recurso hídrico en el territorio. Así, por ejemplo, un reconocido economista estudioso del tema, lo expresa en estos términos: “... *no hay gestión del agua sin gestión del territorio, de la misma manera que no nos apropiamos sólo de recursos sino de ecosistemas*” (Aguilera, 1997). Por su parte, un biólogo dice “ *La gestión*

del agua debiera ser la gestión de las tramas de relaciones territoriales en las que ésta interviene." (Díaz Pineda, 2000). Un ingeniero coincide en que: "... parece necesario tener en cuenta esta estrecha relación entre agua y territorio, tanto desde el punto de vista de la planificación como desde el de la gestión, de forma que lleguemos no sólo a la gestión integral del agua por cuencas hidrográficas, como hoy está admitido casi universalmente, sino a la gestión conjunta de ambos." (López Martos, 2000).

De conformidad con lo anterior, el enfoque interdisciplinario en la planificación hidrológica es necesario, pero no puede plantearse rigurosa y coherentemente si no es en el marco de una estrategia territorial de referencia como los planes de ordenamiento territorial y los planes de ordenación del recurso hídrico en cuencas hidrográficas. Por lo tanto, la gestión integrada del agua con el territorio se hace imprescindible, por su presencia en todas las actividades de la producción y desarrollo económico y social, por sus funciones básicas en todos los sistemas naturales y por su especial dimensión simbólica y cultural.

Para algunos autores, el territorio es considerado un lugar o extensión de superficie que contiene a los grupos humanos y sus actividades. Santos (2002), cita al territorio como el lugar donde confluyen todas las acciones, pasiones, poderes, fuerzas y debilidades; es donde la historia del hombre se realiza a partir de las manifestaciones de su existencia. *El territorio* (del latín "terra") alude a cualquier extensión de la superficie terrestre habitada por grupos humanos y delimitada en diferentes escalas: local, municipal, regional, nacional, supranacional, cuenca, litoral, etc. (Montañez, 2001). Mançano (2007) señala que es imposible comprender el concepto de territorio sin concebir sus relaciones de poder: por tanto son espacio de gobernanza y espacio de propiedad.

Se retoma al territorio como un espacio socializado, en el cual, los agentes sociales tejen relaciones de poder, de conflicto, de organización, de convivencia, dando lugar a un proceso de apropiación y reestructuración del mismo (Montañez, 2001). Igualmente, se adopta la conceptualización de Montañez y Delgado (1998) en la que el territorio no es fijo, sino móvil, mutable y desequilibrado, donde la realidad social es cambiante porque tiende a ser condicionado en sus procesos internos, no sólo por su contigüidad, sino por las interconexiones que realiza más allá de sus límites o fronteras; pero que también está condicionado y condiciona de acuerdo a los atributos históricos, sociales, biofísicos, culturales y políticos en el escenario local y en la globalidad en que se encuentra inmerso.

Adentrarse en la relación agua-sociedad en el territorio implica adoptar como premisa, tal como lo cita Montañez (2001) en una obra de la red de estudios de espacio y territorio (RET) publicada por la Universidad Nacional de Colombia, que "*así como los humanos transforman la Tierra para convertirla en su casa, al hacerlo se transforman ellos mismos no sólo mediante la propia acción que implica esa transformación, sino también por los efectos que esa Tierra transformada ocasiona sobre la especie y la sociedad humanas*". En este sentido, al deforestarse el suelo con coberturas boscosas para desarrollar actividades agrícolas, pecuarias o urbanizar, se altera el ciclo hidrológico en su relación lluvia-escorrentía y se afectan los regímenes aguas abajo, incidiendo y transformando los patrones de variabilidad hidrológica.

Complementariamente, autores como Polanco (2001) han planteado que se requiere de una evolución epistemológica urgente en las ciencias ambientales, caracterizada por un término

a la moda pero muy poco implementado como lo es la interdisciplinariedad. Este investigador, expone la *modelación espacial del medio ambiente* como ejemplo concreto de un trabajo interdisciplinario, cuestionando el ejercicio científico fundado en la discretización de un medio natural y social continuo, en subconjuntos y componentes elementales (reduccionismo); que en esencia ha sustentado históricamente el criterio de “aislar para comprender mejor”, y ahora debe dar paso el nuevo paradigma de “reunir lo que ha sido separado”, haciendo énfasis en las propiedades de las interrelaciones y volviendo al conjunto con ayuda de los modelos como herramienta y ruta metodológica. En el fondo, lo que se plantea es una transformación multidimensional del concepto de ciencia, empezando por el replanteamiento del significado de la parcelación disciplinaria y el fraccionamiento teórico, concibiendo el carácter polidimensional de la información y su importancia en la concepción del todo. Es allí, donde la modelación del ambiente es uno de estos campos en el cual las disciplinas están sujetas a una estructura global que guía la investigación hacia un objetivo común (Polanco, 2001).

1.3 La Gestión del Recurso Hídrico a través del Enfoque Interdisciplinario de Las Ciencias Ambientales.

La madurez del estudio científico ha hecho visible la necesidad de especificar y especializar la aproximación del hombre al entendimiento de los diferentes fenómenos que le circundan, principalmente los relacionados con el ambiente, y dentro de este el recurso hídrico, considerando su contaminación, conservación, gestión e investigación. En este sentido, es que el conocimiento humano se ha formalizado mediante su academización, parcelizándose en especialidades que ofrecen el entendimiento del mundo mediante sus consecuentes y variados enfoques, no siempre cercanos a la verdadera realidad (De La Herrán, 2011).

Las teorías que explican la complejidad de la aproximación del hombre a sus propias filias y fobias, se construye en la transversalidad que ofrece hacer las relaciones entre las múltiples especificidades y enfoques que ha estructurado el hombre en función de entender lo que le rodea (García, 2004, Sotolongo y Delgado, 2006, De La Herrán, 2011). Desde estas ideas, es posible plantear que la forma de entender lo que sucede en el contexto se hace efectiva mientras integre la mayor cantidad de enfoques que lo influyen. De esta suerte, y entendiendo la dinámica de los planteamientos que se hacen visibles en todas las manifestaciones del hombre, la otrora costumbre resolutiva que se concentraba en procesos basados en enfoques individuales y consecuentemente verticales, se transforma y se complementa en procesos heurísticos en el desarrollo y holísticos en el enfoque que son direccionados por el sistema de pensamiento que ofrece la perspectiva de las ciencias ambientales, y dentro de esta la **interdisciplina**, como pilar fundamental de la aproximación a la comprensión de los problemas ambientales (Cubillos, 1998; Cubillos, 2010).

Es así como la **interdisciplina** obliga a escudriñar más profundo, a dar más miradas, repasarlas, integrarlas, relacionarlas y cuestionarlas, permitiendo hallar la razón de ser y hacer un esfuerzo intelectual que busca que los paradigmas de las **ciencias ambientales** (RCFA, 2007) sean traducidos de forma contundente hacia el individuo social desprevenido, que se ve confrontado por situaciones desequilibradas, problemáticas, bien sean con el mismo, con la sociedad o con el medio ambiente en general. De la misma

forma, la academia se ve obligada a concebir sus desarrollos intelectuales dentro de marcos de referencia que buscan que el hombre social se encuentre satisfecho consigo mismo, con la sociedad o con el medio ambiente, o en un sentido más sistémico, con todos ellos en la proporción que le corresponda (Khagram *et al.*, 2010; Hicks *et al.*, 2010).

1.4 La Gestión a partir del Reconocimiento del Territorio y los Sistemas Socio-Ecológicos.

Partiendo del diagrama conceptual de la Figura 1-2, el sistema socio-cultural está compuesto por los individuos, los grupos locales, y las instituciones a mayor escala, así como por las relaciones que se establecen entre ellos. Este sistema se beneficia de los servicios generados por el ecosistema, y desarrolla acciones (abastecimiento, pesca, agricultura, etc.) que se categorizan en el estudio del recurso hídrico como demanda, y hace intervenciones (restauración, conservación, etc.) que modifican directa o indirectamente el funcionamiento y estructura de los ecosistemas (Palomo *et al.*, 2011).

El abordaje de la relación agua-sociedad en el territorio a partir de los sistemas socio-ecológicos, nos permite identificar un concepto emergente para el recurso hídrico como el territorio socio-hidrológico, en el cual se reconocen los agentes sociales que inciden en las relaciones de poder en el territorio, y van más allá de la jurisdicción político administrativa.

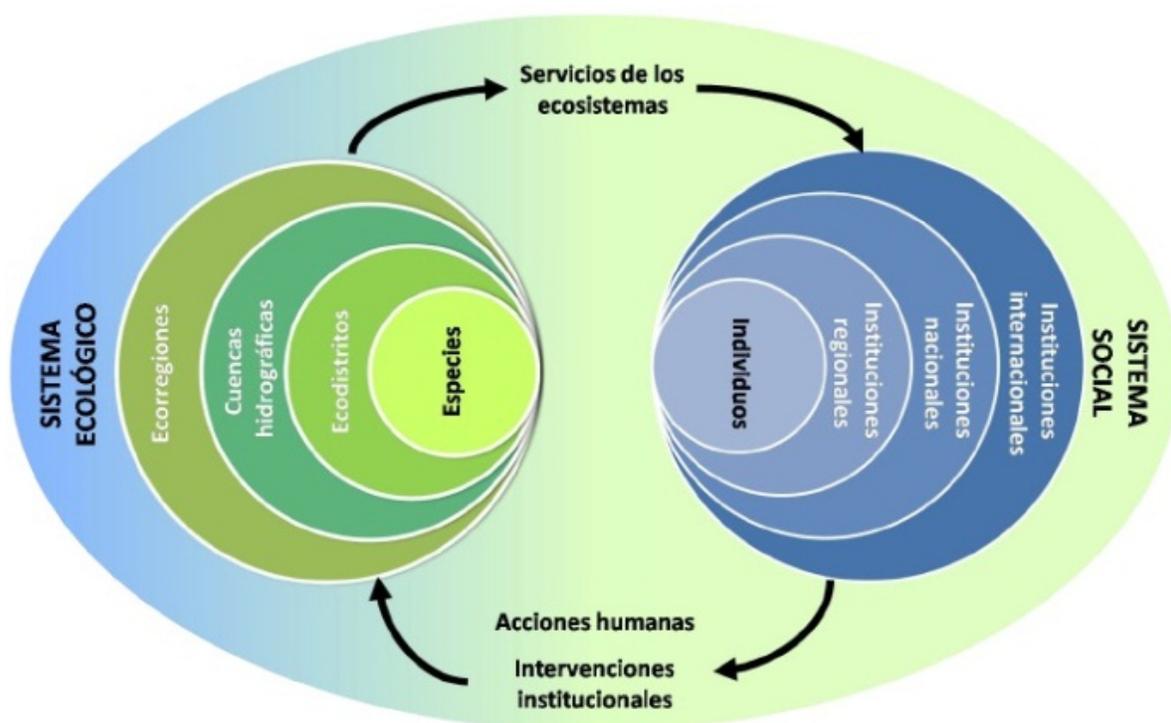


Figura 1-2. Diagrama conceptual de un sistema socio-ecológico. Fuente (Palomo et al., 2011)

1.5 Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), Cambio Climático e incertidumbre en los Modelos de Gestión.

La gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) ha sido el marco de referencia tanto para la construcción de política pública en Colombia como para la ejecución de proyectos relacionados con la regulación de la oferta y la administración de la demanda del recurso hídrico (Blanco, 2008). Este marco de referencia, que aboga por una mirada integral y coordinada del manejo del agua, los suelos y los recursos relacionados, busca como propósito la asignación del agua para las diferentes actividades económicas sin menoscabo de la integridad de los ecosistemas y del derecho de las generaciones futuras a disfrutar un acceso seguro al agua (Jønch-Clausen & Fugl, 2001).

En Colombia, aunque existe un marco legal e institucional formal para asumir la GIRH, y que el recurso hídrico, al menos teóricamente, ha sido considerado eje articulador de la gestión ambiental (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), aún es mucho lo que queda por hacer en cuanto a lograr un cabal cumplimiento de los propósitos de la GIRH (Blanco, 2008). De otro lado, cuando se incorpora el cambio climático en la GIRH la complejidad y los niveles de incertidumbre aumentan; de hecho, existen evidencias que indican que el cambio climático más que un fenómeno físico probable, es una realidad que reta hoy a países como Colombia (Steinhoff *et al.*, 2015). Por lo tanto, la adopción de medidas orientadas a enfrentar el impacto de un clima cambiante sobre la hidrología y la calidad del agua no resulta una tarea que puede aplazarse (Ludwig *et al.*, 2014).

En la actualidad, el aumento de la complejidad e incertidumbre que el cambio climático adiciona al análisis y gestión de agua en las cuencas hidrográficas enfrenta en las regiones y su institucionalidad -Agencias Ambientales, prestadores del servicio de acueducto, agricultores, gremios, universidades, etc.- a encontrar herramientas y metodologías, como la metodología XLRM (Lempert *et al.*, 2003) y el software WEAP (Yates *et al.*, 2005), que permitan asistir la toma de decisiones asociadas a la GIRH en condiciones de incertidumbre climática.

1.6 Instrumentos de Planificación Hídrica y Ambiental en las Cuencas Hidrográficas

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) de Colombia contempla la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en cuatro niveles:

1. Áreas hidrográficas o macrocuencas que corresponden a las cinco macrocuencas del país: Magdalena-Cauca, Caribe, Orinoco, Amazonas y Pacífico;
2. Zonas hidrográficas para monitorear el estado del recurso hídrico e impactos de las acciones desarrolladas en el marco de la PNGIRH.
3. Subzonas hidrográficas o cuencas objeto de ordenación y manejo mediante Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) y
4. Microcuencas y acuíferos de orden inferior a las Subzonas no contempladas por el POMCA.

Se entiende por ordenación de una cuenca la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna, y por manejo de la cuenca, la ejecución de obras y tratamientos. Las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs) administran las cuencas en sus jurisdicciones con los POMCA y planes de ordenamiento de recurso hídrico (PORH), instrumentos de planificación y guías operativas con ámbitos de aplicación y fines distintos, pero complementarios. En el departamento de Risaralda se ha identificado la cuenca del río Otún, como la principal cuenca para la implementación de estos instrumentos de planificación

El POMCA es un instrumento para la planeación regional del uso coordinado del suelo, agua, flora y fauna y el manejo de cuencas, en la perspectiva de equilibrar el aprovechamiento social y económico y la conservación de la estructura físicobiótica, particularmente del recurso hídrico.

El PORH es un instrumento de planificación que permite intervenir de manera sistémica los cuerpos de agua en subzonas hidrográficas o su nivel subsiguiente, para garantizar la calidad y cantidad requeridas para el sostenimiento de ecosistemas acuáticos y usos actuales y futuros.

Los POMCA y PORH tienen en común un procedimiento de cuatro fases: aprestamiento/declaratoria, diagnóstico, prospectiva y zonificación ambiental (identificación de usos potenciales del recurso hídrico) y formulación del plan de ordenamiento específico. Ambos instrumentos reconocen procesos de participación social para consolidar y fortalecer la gobernabilidad y la gestión integral del recurso.

Actualmente, durante la formulación de los POMCA y PORH no suele considerarse la variabilidad climática futura, y al momento de aplicar ambos instrumentos no se acostumbra coordinar acciones ni priorizar tareas comunes. A ello se suma la falta de datos e información técnica sobre calidad y cantidad del agua, en un contexto caracterizado por la creciente presión sobre el recurso, el deterioro de cuencas, la alteración de ecosistemas y la contaminación de fuentes de agua.

2 LOS ASPECTOS CLAVES DEL TERRITORIO ESTUDIADO

2.1 Descripción del área de Estudio

La Cuenca Hidrográfica del río Otún está localizada en el flanco Occidental de la Cordillera Central, en el departamento de Risaralda, Subregión 1. Esta cuenca tiene una extensión aproximada de 480.61 km², que corresponden al 13.4% del área total del Departamento; alberga una población aproximada de 373.911 habitantes, que representan el 41,6% de la población total de Risaralda, ver **Figura 2-2-1**.

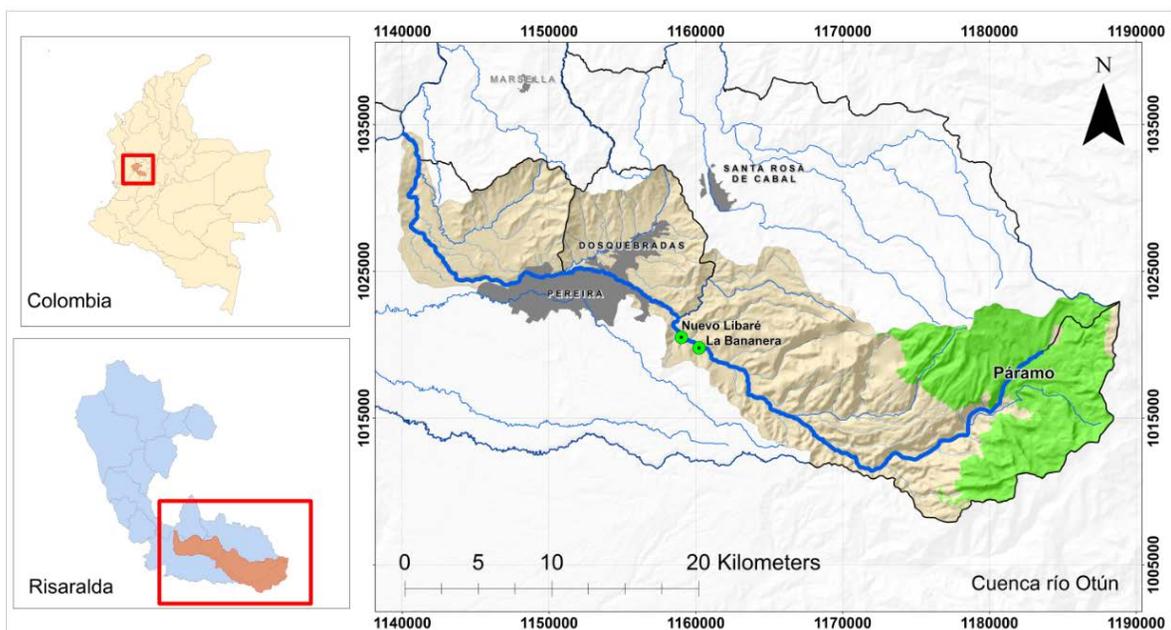


Figura 2-2-1. Localización de la cuenca hidrográfica del río Otún. Fuente: (Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica-UTP, 2014)

El río Otún nace en el caño Alsacia, afluente de la Laguna del Otún, a una altura de 3980 msnm y desemboca en el río Cauca a los 875 msnm, aprovechando drenajes naturales superficiales y subterráneos de los nevados de Santa Isabel, Quindío y el páramo de Santa Rosa, localizados en el Parque Nacional Natural de los Nevados, en su trayectoria discurre por territorios de los municipios de Pereira, Santa Rosa de Cabal, Dosquebradas y Marsella. Es de vital prioridad para el municipio de Pereira pues es la única fuente utilizada como abastecedora de agua para los diferentes usos de la zona.

En su recorrido cruza la zona urbana del municipio de Pereira en sentido oriente occidente, siendo a su vez el límite Norte de la ciudad y continúa hasta su desembocadura, en el sitio denominado Estación Pereira, después de un recorrido de 66 km y un área de drenaje de 480.62 Km². El perfil longitudinal del río Otún, es cóncavo hacia la parte alta. La pendiente varía desde un 27% en la parte alta, 5% en la parte media y 2% en la parte baja, significando que la velocidad del flujo, su capacidad de erosión y arrastre de materiales disminuyen aguas abajo. La cuenca se encuentra delimitada por las siguientes cotas altitudinales:

- Cuenca Alta: 3500 - 5200 msnm
- Cuenca Media: 1800 - 3500 msnm
- Cuenca Baja: 875-1800 msnm

La cuenca alta va desde su nacimiento hasta las microcuencas Volcanes y La Bananera – La Bella; la cuenca media, inicia en la quebrada San José, hasta la desembocadura de la quebrada Dosquebradas y la cuenca baja, a partir de la microcuenca Combia Alta hasta su desembocadura en el río Cauca.

2.2 Aspectos Climáticos Relevantes.

El clima regional está influenciado tanto por el frente o zona de convergencia intertropical (ZCIT) que determina la forma bimodal de las precipitaciones como por la circulación general del Valle del río Cauca. Debido a esta conformación del relieve, la región presenta una gran variedad de climas locales con temperaturas medias superiores a 24° C, en la planicie del Cauca, hasta zonas con temperaturas medias de 6° C en la parte alta e incluso áreas de nieves perpetuas en la cumbre de la Cordillera Central. El comportamiento climático está determinado por dos períodos lluviosos al año con máximos en Abril y Octubre y por las características del relieve, las cuales determinan el cambio de las lluvias con la altura, de tal manera que a una elevación aproximada de 2000 msnm las lluvias son del orden de 2500 mm/año; disminuyendo a partir de esta altura progresivamente hasta alcanzar promedios de 1000 mm/año a 4500 msnm, ver **Figura 2-2-2**.

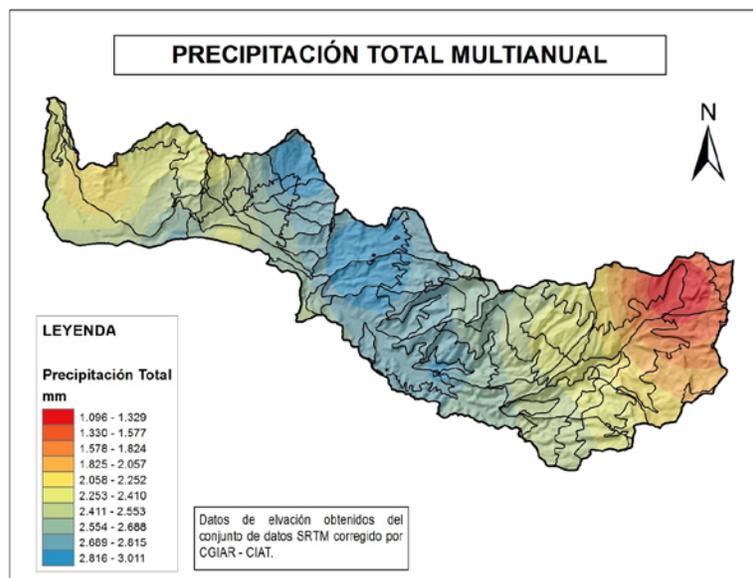


Figura 2-2-2 Comportamiento de la Precipitación en la cuenca hidrográfica del río Otún. Fuente: (Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica-UTP, 2014)

2.3 La Relación Agua-Sociedad En El Municipio De Pereira

El clima de Colombia está inicialmente determinado por la posición del territorio nacional dentro de la franja de traslación de la zona de Convergencia Intertropical (CIT), formada por el enfrentamiento de los vientos alisios que soplan hacia el Ecuador desde los centros de altas presiones subtropicales. El paso de la CIT ocasiona tiempo ciclónico en oposición al tiempo anticiclónico que antecede o sigue al paso de la CIT; esto permite explicar los inviernos de abril- mayo y octubre- noviembre (paso de la CIT por la zona centro del país) y los veranos de julio- agosto y diciembre- enero a marzo- abril (paso de la CIT hacia el norte y el sur del país respectivamente) (IDEAM, 2010).

Desde la perspectiva del espacio geográfico, los elementos biofísicos definidos por la localización geográfica, tales como el clima y la hidrología, caracterizan ambientalmente el territorio en cuanto a la variabilidad climática e hidrológica, ya que con regímenes bimodales de lluvia característicos de la región Andina en Colombia, donde en los meses de enero-febrero y julio-agosto se presentan los períodos de menor lluvia, y en abril.-mayo y octubre-noviembre los de mayor lluvia, con precipitaciones promedio anuales superiores a los 2000 mm; se influye en la relación sociedad-naturaleza manifiesta a través de las transformaciones en los usos del suelo y el evidente deterioro en las variables del recurso hídrico: calidad y cantidad (oferta-demanda).

Las características socioeconómicas, culturales y físicas de las cuencas del municipio de Pereira, hacen latente las condiciones que durante muchos años se ha manifestado en desastres afectando la calidad de vida de sus habitantes. Por consiguiente la expansión urbana y el aumento de la población, configuran la problemática ambiental que da cuenta de una inadecuada planificación y ocupación del territorio, en un municipio caracterizado por la ocurrencia de fenómenos de inestabilidad de laderas, acompañada de una alta sismicidad y precipitación que se ha manifestado en deslizamientos, represamiento natural de cauces, avenidas torrenciales e inundaciones. El reconocimiento de este contexto, ha llevado que recientemente se hayan implementado estrategias locales de adaptación a la variabilidad climática como los sistemas de alerta temprana (Fernandez y Sabas, 2012).

En cuanto al tema de disponibilidad hídrica, se presenta un múltiple uso del agua en el río Otún, corriente principal de la región, en la cual confluyen el uso para la captación de consumo humano del municipio de Pereira ($2 \text{ m}^3/\text{seg}$), parte del municipio de Dosquebradas ($0.35 \text{ m}^3/\text{seg}$) y la generación hidroeléctrica de la Empresa de Energía de Pereira ($5 \text{ m}^3/\text{seg}$). La suma de estas demandas ($7.35 \text{ m}^3/\text{seg}$) permiten resaltar la cantidad mínima necesaria esperada que debería ofertar la cuenca (en la captación) en todo momento, sin afectar a ningún usuario, pero al que se debe adicional el caudal para garantizar la sostenibilidad del ecosistema acuático ($3 \text{ m}^3/\text{seg}$). Este uso multipropósito se concibió en principio como una ventaja competitiva y eficiente para la ciudad, sin embargo, el desarrollo urbano y la estructura institucional llevaron a una situación conflictiva entre los usuarios del agua, donde la variabilidad climática se ha hecho presente en la frágil relación de balance oferta-demanda del recurso hídrico. Dicho conflicto, tiene que ver con que en la actualidad, hay momentos del año (meses) donde no se puede generar energía, porque se debe brindar prioridad al consumo humano y garantizar un caudal remanente en la corriente para sostenibilidad del ecosistema acuático.

Actualmente, las corrientes hídricas del municipio de Pereira evidencian un deterioro en la calidad, producto de la contaminación por aguas residuales domésticas, comerciales y agrícolas; asociadas tanto a la urbanización de las cuencas medias de los ríos Otún y Consota (tributario del río La Vieja), como a la transformación del uso del suelo, en el cual la conservación cede espacio a la producción agrícola y pecuaria. Esto se ha evidenciado en

la implementación de diferentes metodologías para el estudio de la calidad del agua en dichas corrientes hídricas.

No obstante, a pesar de que existe un Plan Maestro de Alcantarillado que concibe la recolección y posterior tratamiento de las aguas residuales urbanas del municipio de Pereira, no se podría garantizar que está sea la respuesta absoluta a un problema ambiental que en el fondo es mucho más complejo y obliga un análisis con visión macroscópica del territorio para una adecuada gestión.

De otro lado, en el sector rural del municipio de Pereira existen acueductos rurales donde en sus cuencas abastecedoras se ha declarado el agotamiento del recurso hídrico (Sabas y Paredes, 2009a), brindando un reconocimiento al caudal ambiental y al efecto evidente de la variabilidad climática (Sabas y Paredes, 2009b) .

Todo lo anterior, sustenta la necesidad de efectuar análisis espacio-temporales que incluyan el efecto de la variabilidad hidrológica y el cambio climático para asistir la toma de decisiones en la planificación territorial.

2.4 Cuenca Hidrográfica Referente Importante Pero Insuficiente en el caso del Río Otún.

A partir del reconocimiento de los atributos anteriores del espacio geográfico que inciden en la variabilidad climática, esto implica que se deba utilizar un referente espacial de gestión hídrica, que convencionalmente ha sido la cuenca hidrográfica, ver Figura 2-3.

Sin embargo, para el caso de Pereira este concepto es insuficiente, toda vez que es evidente como el desarrollo del municipio desde su fundación, se ha centrado sobre la divisoria de aguas de las cuencas de los ríos Otún y Consota, siendo esta última tributaria de la cuenca del río La Vieja, que es un sistema hídrico totalmente independiente y diferente, ver Figura 2-4.



Figura 2-3. Cuencas hidrográficas en el análisis del sistema hídrico del municipio de Pereira. Fuente: (Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica-UTP, 2013)

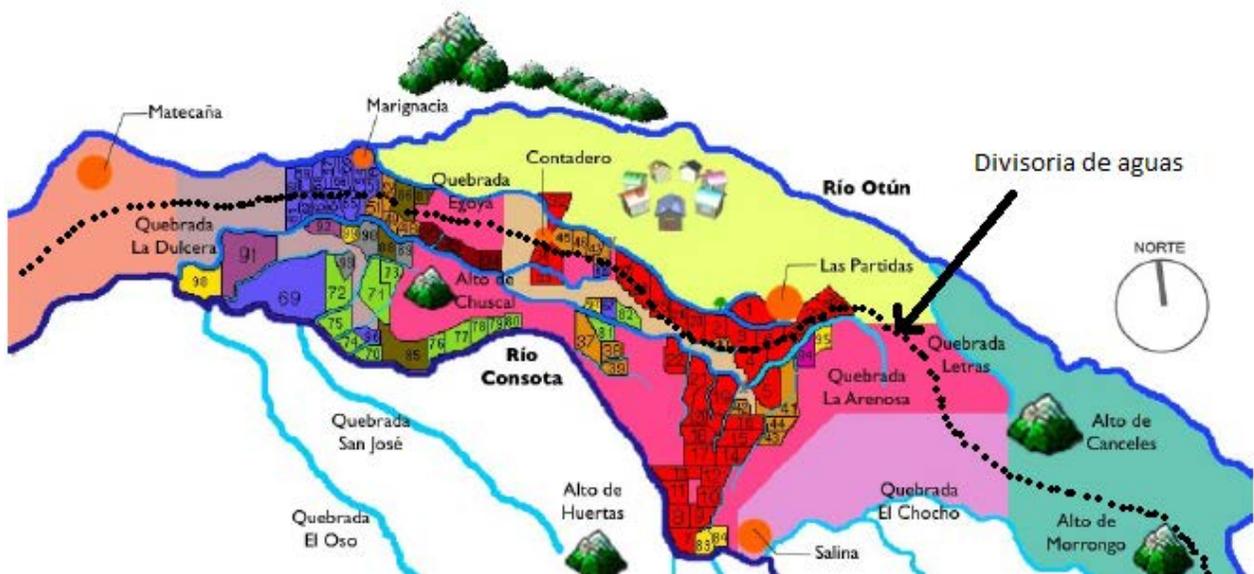


Figura 2-4. Conformación Política y Espacial de Pereira 1857-1877. p. 29. (Modificado de Martínez, 2007)

En consecuencia, si nos acogemos al concepto de cuenca, no se podría hablar de recurso hídrico en el municipio de Pereira sin contemplar las dos cuencas citadas (Otún y La Vieja), o hacer referencia a la cuenca del río Cauca. Esto implica reconocer otras territorialidades que incluyen tres departamentos (Risaralda, Valle, Quindío) y jurisdicciones de tres autoridades ambientales (CARDER, CVC, CRQ) ver Figura 2-5. Adicionalmente, existen otros municipios, entre ellos Santa Rosa, Pereira y Cartago, y el área metropolitana centro occidente (AMCO) que incluye a Dosquebradas y La Virginia.

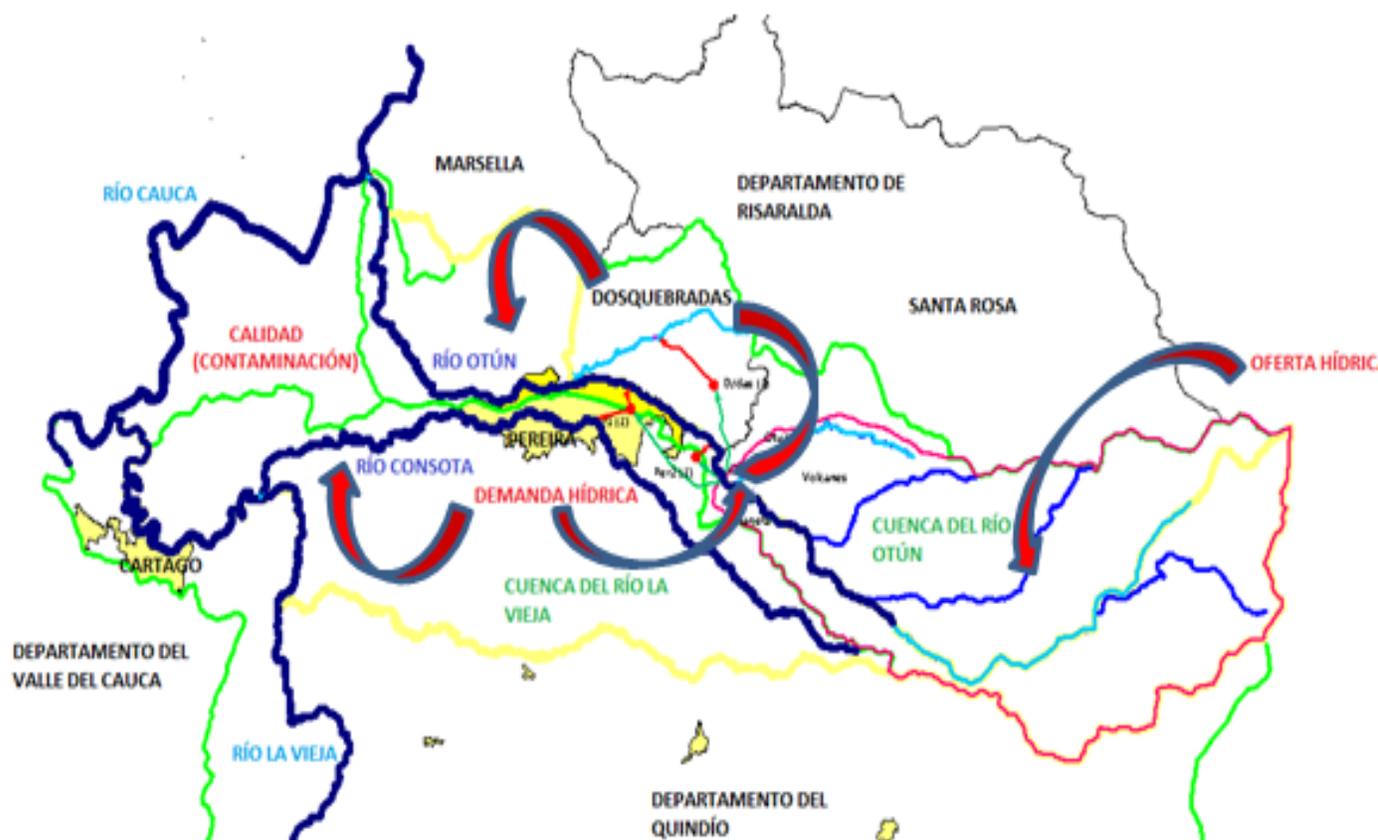


Figura 2-5. Localización general del área de interés en la investigación en el contexto regional

En síntesis, el concepto de cuenca si bien es importante y pertinente, en este municipio es insuficiente y se debe redefinir la escala de análisis para la relación agua-sociedad, abordando su estudio mediante análisis multiescalares que permitan entender las múltiples retroalimentaciones para concebir una gestión integrada y sistémica. Esto es posible mediante modelo que sean flexibles en la definición de la escala y en la agregación o desagregación de los análisis.

3 MÉTODOS

3.1 El Análisis de Decisiones Robustas (ADR)

El marco de Análisis o Apoyo a las Decisiones Robustas (ADR) y el Sistema de Evaluación y Planeación del Agua (Water Evaluation And Planning - WEAP) han demostrado ser una excelente herramienta al momento de integrar escenarios de cambio climático a la gestión de recursos hídricos superficiales y subterráneos, y ha sido aplicada en un proceso de siete etapas cuatro en una fase de preparación y tres en la fase de ejecución/investigación.

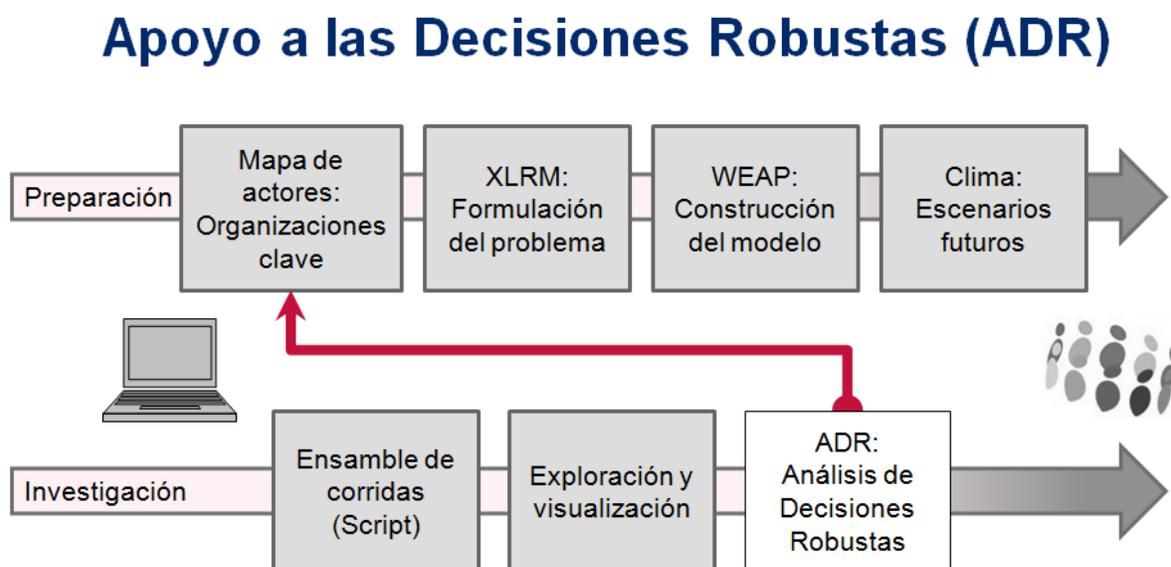


Figura 3-1. El Marco Metodológico ADR

El primer paso corresponde al Mapa de los actores, en el cual se deben identificar los actores representativos y se puede mapear quiénes son los directamente involucrados en la toma de decisiones y los usuarios indirectos que podrían ser afectados por dichas decisiones.

Para formular la problemática, se aplica el XLRM, donde los actores definen colectivamente las incertidumbres futuras que enfrenta la gestión de recursos hídricos (X); las estrategias de manejo disponibles a fin de reducir la vulnerabilidad asociada con incertidumbres (L), y las medidas o métricas disponibles (M) para evaluar el desempeño potencial de las estrategias propuestas frente a los escenarios futuros utilizando modelos (R).

En la construcción del modelo se emplea la herramienta WEAP, en la que se desarrolla una modelación hidroclimatológica que analiza las demandas de agua para uso humano, industrial y ecológico frente a la capacidad de abastecimiento, tomando en cuenta fuentes superficiales y subterráneas, información climática y análisis del suelo.

Posteriormente, se definen los escenarios y proyecciones del cambio climático utilizando bases de datos y herramientas de procesamiento, realizando proyecciones para la región en base a proyecciones de Modelos del de Circulación Global (MCG), Modelos de Circulación Regional (MCR) y otros escenarios.

Para realizar el ensamble de corridas, se desarrolla una rutina de programación computacional, se generan escenarios de cambio, incluido el climático, tomando en cuenta varias combinaciones de incertidumbres posibles e impactos en la población, etc.

Se continúa con la visualización de los resultados, explorando las potencialidades y limitaciones del sistema mediante visualizaciones dinámicas, permite consolidar la base de datos de los resultados del modelo de forma visual.

Finalmente, se identifican de las opciones en cada uno de los escenarios proyectados y priorizando las decisiones más robustas se identifican opciones que mejoren el desempeño del sistema en las dimensiones definidas.

En ese contexto, el proceso de planificación ADR con la herramienta WEAP y el modelo XLRM se constituye en un soporte fundamental para la gestión integral del agua en los escenarios futuros proyectados, y también en un instrumento clave para la construcción colectiva del conocimiento con la participación de actores representativos en la gestión de recursos de cada subzona hidrográfica.

La información generada en el proceso ADR reducirá y/o evitará conflictos, permitirá aplicar de forma más eficiente los diferentes instrumentos de planeación, evitará fuertes gastos futuros en tareas de planificación, seguimiento y control, y sobre todo facilitará la toma de decisiones más coherentes y pertinentes en los planos nacional y local, fortaleciendo de esta manera la planificación integral de acciones y estrategias de adaptación al cambio climático.

ADR y WEAP son herramientas analíticas de gran utilidad para las autoridades ambientales regionales, tomadores de decisión, proveedores y usuarios del agua, ya que les ayudan a desarrollar su capacidad de respuesta al cambio climático, y les brindan orientación en tareas de planificación y gestión del recurso hídrico, en el desarrollo de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático y en la adopción de decisiones más pertinentes y robustas en varios escenarios posibles, a corto, mediano y largo plazo.

3.2 La Articulación entre los Instrumentos de Planificación Hídrica y el Marco ADR

Las guías técnicas de los PORH/POMCA reconocen que el conocimiento y la información son fundamentales para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, y para sustentar la toma de decisiones, razón por la cual “es oportuno trascender del enfoque

de los sistemas de información per se, hacia la construcción de una estrategia de gestión del conocimiento que integre y oriente los procesos de investigación, evaluación y monitoreo de los recursos naturales, de organización de datos, y la generación de productos de información”.

Atendiendo el requerimiento anterior, el modelo WEAP sistematiza la información disponible para orientar a las autoridades ambientales regionales, proveedores y usuarios del agua, en tanto que el proceso ADR ayuda a construir una sólida base de datos numéricos y gráficos dinámicos de indicadores clave, de gran utilidad al momento de adoptar las decisiones más robustas y priorizar las más pertinentes estrategias de adaptación al cambio climático y otras incertidumbres, a corto, mediano y largo plazo. Cabe destacar que las siete etapas del marco ADR engloban todas las etapas de análisis previstas en los POMCA y PORH, mientras que el sistema WEAP cumple fases específicas de los POMCA como, por ejemplo análisis técnicos, participación pública requerida y construcción de un modelo predictivo de incertidumbres y estrategias de adaptación.

3.3 El enfoque participativo del XLRM

Dentro del desarrollo del estudio, se estableció el uso del marco XLRM para la definición de escenarios de modelación. El marco XLRM es una metodología desarrollada por el Centro RAND Pardee (Lempert *et al.*, 2003) que provee una guía estructurada para la formulación del problemas a evaluar dentro de un análisis de escenarios. Dicha metodología fue planteada para descubrir dentro de un proceso participativo, los elementos que comprenderán la formulación de escenarios de modelación para el apoyo a la toma de decisiones robustas bajo la incertidumbre futura para la gestión del recurso hídrico en la cuenca del Río Otún.

La metodología del marco XLRM requiere también del uso de diferentes paquetes informáticos que lo soporten: en este caso la plataforma WEAP, herramienta de evaluación integrada, que ha sido instrumentada en numerosas cuencas y distritos de riego en el mundo (Moss *et al.*, 2010). Se define como integrada, dado que busca interpretar representaciones de los modelos climáticos y ecosistémicos con modelos antrópicos como los usos del suelo, el uso del agua, etc. (Lempert y Bonomo, 1998). Para el uso de esta herramienta es necesario tener una línea base de las variables a evaluar y la definición de unos escenarios a ser modelados para su consecuente análisis.

Los resultados obtenidos en la aplicación del marco XLRM serán los escenarios a modelar en la plataforma WEAP. Estos escenarios serán líneas argumentales de cómo un sistema futuro podría evolucionar con el tiempo (Yates *et al.*, 2005). Esto permitirá evaluar las consecuencias de los cambios no deseados en el sistema de la cuenca del río Otún y cómo estos cambios pueden ser mitigados por políticas o intervenciones robustas. El resultado de estos análisis obtenidos se utilizarán para guiar el desarrollo de paquetes de respuesta a los cambios que son inciertos (Dessai y Hulme, 2007).

3.4 Análisis y Procesamiento de Información Obtenida para Implementar el modelo WEAP en la Cuenca Alta del río Otún

Se utilizaron diferentes fuentes de datos para la definición del modelo espacial. En primer lugar, se hizo uso de la información oficial de cuencas hidrográficas, subcuencas y microcuencas elaborada y revisada periódicamente por la Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), con base en las curvas de nivel levantadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:25.000. Esto permite que los resultados sean ajustados a la cartografía que se utiliza en los ámbitos de planeación y control en el territorio departamental.

El Modelo de Elevación Digital SRTM (MED) con una resolución de 90 metros, fue remuestreado hasta alcanzar una resolución de salida de 30 metros. Este modelo fue utilizado para definir las fajas de altitud de 500 m. que se usaron en la delimitación de los *catchments*. El MED fue migrado a sistema de coordenadas planas Gauss Colombia Zona Occidental, para hacer posible su utilización con la información provista por CARDER.

3.4.1 Puntos de Interés para los Análisis de las Relaciones Agua-Sociedad en la Cuenca del Río Otún

Los puntos de interés fueron definidos teniendo en cuenta inicialmente el área aferente del acueducto del Municipio de Pereira, así como las subcuencas que aportan los caudales más importantes en la misma. Adicionalmente, fue incluida una microcuenca que se consideró representativa, más que por sus caudales, por los procesos humanos que en ella tienen lugar tanto en términos de demanda hídrica como de aporte de contaminantes y escorrentía de sedimentos.

Los puntos de interés seleccionados se presentan en la Tabla 2-1, se pueden apreciar junto con las cuencas de interés en la Figura 3-1.

3.4.2 Organización de la Información para Obtener los Catchments

Se definió la necesidad de organizar adecuadamente el registro de las cuencas de interés, de manera que la organización permita tener una única tabla y una única capa de información geográfica que contenga todas las entidades. Las cuencas de interés se organizaron en niveles jerárquicos anidados, tomando para el establecimiento de las bases de datos las siguientes condiciones:

- a. Cada unidad debe tener un nombre y un código únicos que los identifiquen en la base de datos.
- b. Ninguna cuenca de interés debe superponerse con otra para mantener la integridad en los registros.

Tabla 2-1. Puntos de cierre hídrico para la delimitación de cuencas de interés para el modelo WEAP en la cuenca del río Otún.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	LON (W)	LAT (N)	ALTITUD (msnm)
Nuevo Libaré	Bocatoma del acueducto de Pereira sobre el cauce principal del río Otún.	75,6476892	4,78296474	1534
Qda. Volcanes	Desembocadura de la Quebrada Volcanes en el río Otún. Cuenca con sensor de nivel UTP.	75,6425032	4,78083847	1551
La Bananera	Punto sobre el río Otún de importancia por la presencia de estación limnigráfica del IDEAM.	75,6368468	4,77642675	1576
Qda. El Manzano	Desembocadura de la Qda. El Manzano en el río Otún. Cuenca con sensor de nivel UTP.	75,6155087	4,76447393	1652
Río San Juan	Desembocadura del río San Juan en el río Otún.	75,6083478	4,76130787	1675
Retén Cataluña	Puesto de información Ambiental de Aguas y Aguas.	75,60035556	4,743963889	1740
Río Barbo	Desembocadura del río Barbo. Cierre de la subcuenca del mismo río.	75,5846602	4,73593882	1836
El Cedral	Punto sobre el río Otún, estación hidroclimatológica UTP.	75,5234799	4,70438674	2210
Río Azul	Desembocadura del Río Azul en el río Otún. Cierre de la subcuenca.	75,4718797	4,72836363	2887

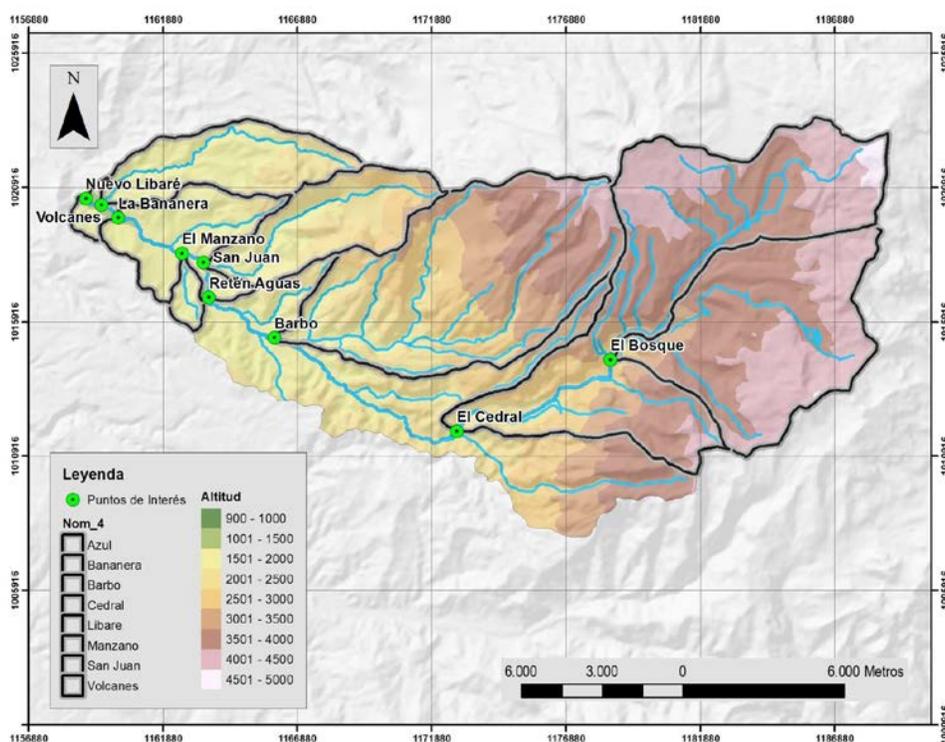


Figura 3-2. Puntos y cuencas de interés para la modelación WEAP en la cuenca del río Otún.

- c. Debe ser posible entrar información para cada una de las cuencas de interés, de manera separada.
- d. Debe ser posible obtener resultados del modelo para cada una de las cuencas de interés, de manera separada.

Se ha entendido por *Catchment* una unidad independiente, resultado de la superposición de las cuencas de interés con fajas de altitud de 500 metros. Esta es la unidad espacial para los análisis hidrológicos que realiza WEAP en su modelo lluvia-escorrentía. A continuación se describe el proceso para obtenerlos.

3.4.2.1 Generación de fajas de altitud

Se generaron fajas de altitud cada 500 metros, con base en el modelo de elevación digital SRTM obtenida de CGIAR, remuestreada previamente para contar con una resolución de 30 m. Posteriormente, se hizo una reclasificación de la imagen cada 500 metros, cuyo resultado fue exportado a vectores para obtener el resultado que se aprecia en la Figura 3-2, donde cada faja corresponde a un polígono concreto.

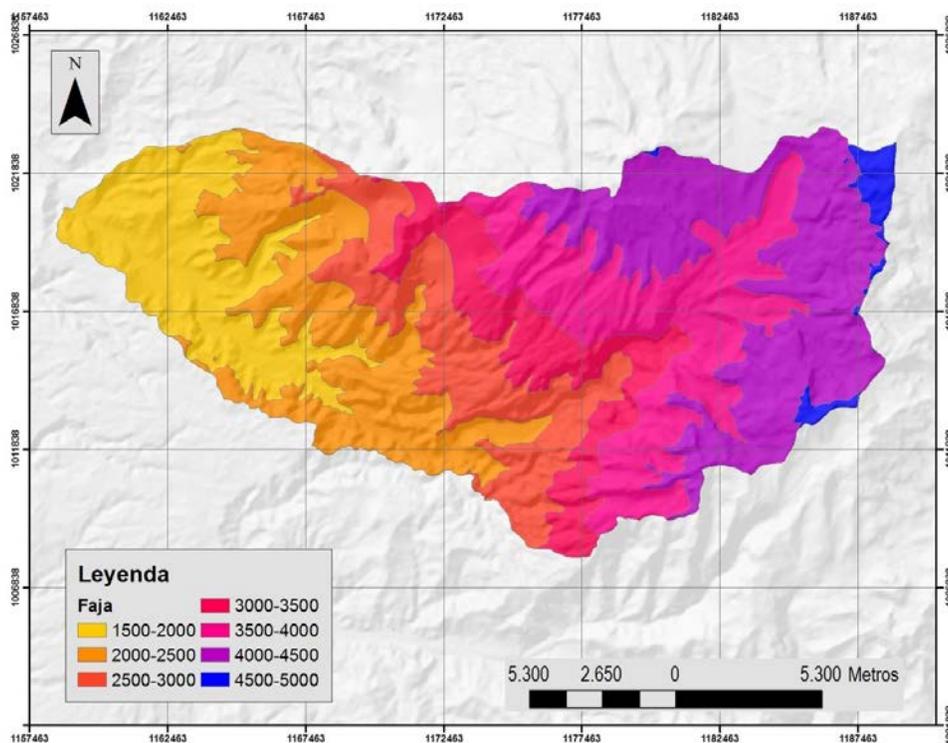


Figura 3-3. Procesamiento de Fajas de Altitud con un rango de 500 metros para la definición de Catchments en la cuenca del río Otún.

3.4.2.2 Establecimiento de Catchments

Se efectuó una intersección entre las fajas de altitud y las cuencas de interés, obteniendo una serie de polígonos, cada uno de los cuales corresponde a un *catchment*. De la misma

forma que las cuencas de interés, cada uno de estos polígonos debía contar con un código único. Los códigos se obtuvieron a partir de la unión del código de cada una de las cuencas de interés, con el indicador de rango de cada una de las fajas de altitud. De esta forma, se obtuvo un total de 49 *catchments*, que se presentan en la Figura 3-3.

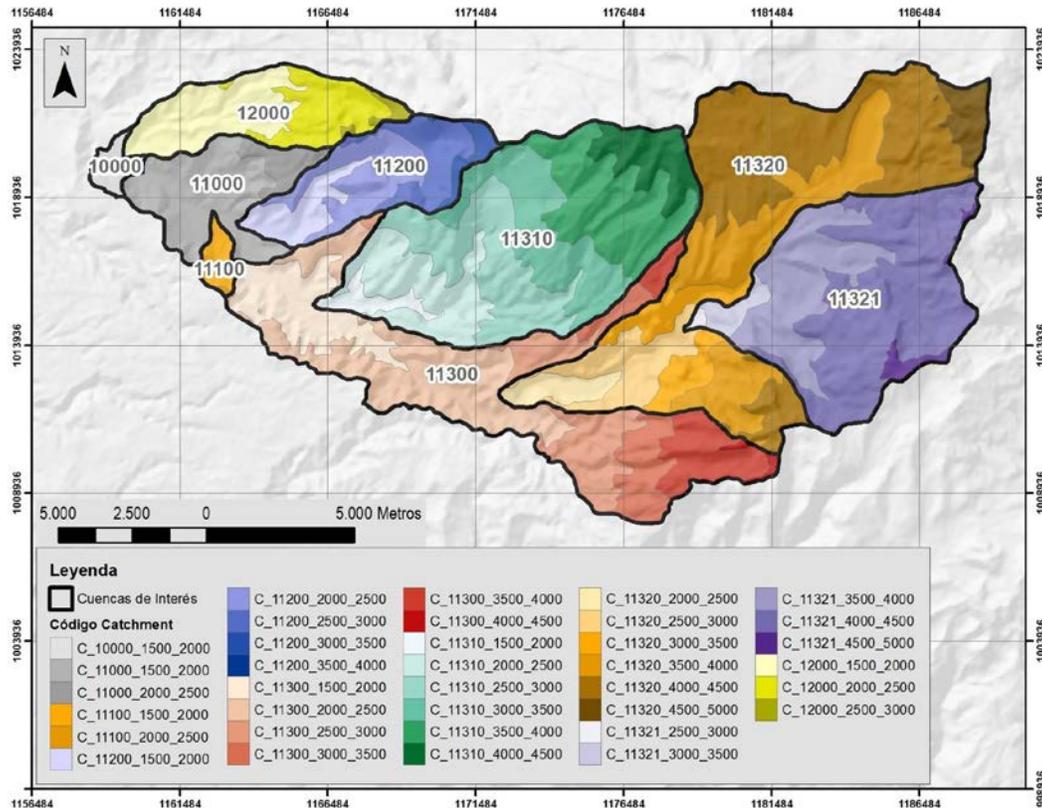


Figura 3-4. Catchments con un rango de 500 metros de altura en la cuenca del río Otún.

3.4.3 Estaciones meteorológicas

Como información relevante para los *catchments* se debe contar con una red de estaciones meteorológicas que puedan proveer insumos para alimentar el modelo. En consecuencia, se consultó la información de las estaciones climatológicas para la zona de estudio. Inicialmente se realizó la recopilación de la información disponible en la región, en este caso de estudio fueron: el IDEAM, CENICAFE, La CHEC y la Red Hidroclimatológica de Risaralda (REDH, operada por el grupo EIS de la Universidad Tecnológica de Pereira), estas instituciones poseen bases de datos con las series climáticas tanto mensuales como diarias de las estaciones de monitoreo instaladas a nivel nacional, por lo cual se realizó un filtrado de las estaciones que son de utilidad para los fines del estudio.

3.4.4 Coberturas del Suelo y Ecosistemas

Con el fin de conocer el estado actual de la cobertura del suelo, y de acuerdo con los lineamientos para la utilización del modelo WEAP, se procedió a identificar los porcentajes de cobertura de la tierra en las distintas cuencas de interés, así como en cada uno de sus *catchments*, tanto en porcentaje como en área. Para este fin se utilizó el mapa de coberturas de la tierra para 2011, elaborado por CARDER, con clasificación según la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010)¹. Dada la escala de análisis a utilizar se hizo el análisis tomando el nivel 2 de agregación para la cobertura de la tierra. Para cada uno de los *catchments* se calculó el porcentaje por tipo de cobertura del suelo. Posteriormente, se utilizó el mapa de coberturas del suelo elaborado por CARDER en 2011 con la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia por el IDEAM, a nivel 3, usando como apoyo el mapa de ecosistemas de Risaralda elaborado por CARDER y WWF en 2008, obteniendo finalmente las coberturas agrupadas.

3.5 Descripción General del Modelo WEAP y su Módulo Hidrológico

WEAP es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos cuyo objetivo es asistir más que sustituir al planificador experimentado. Proporciona un marco comprensivo, flexible y de uso fácil para la planificación y análisis de políticas relacionadas con el recurso hídrico. El Sistema de Evaluación y Planificación del Agua WEAP ("Water Evaluation and Planning"), apunta a incorporar estos asuntos en un instrumento práctico y robusto para la planificación integrada de los recursos hídricos. WEAP es desarrollado por el Stockholm Environment Institute (SEI).

WEAP funciona usando el principio básico de balance de masa pudiendo ser utilizado para sistemas municipales y agrícolas, a una sola cuenca o complejos sistemas de cuencas hidrográficas, (Nacionales y Transfronterizos). Por otra parte, WEAP puede simular una amplia gama de los componentes naturales e intervenidos de estos sistemas, incluyendo escorrentía por precipitación, flujo base, y recarga de aguas subterráneas por precipitación; análisis de demandas sectoriales; conservación del agua; derechos de agua y prioridades de asignación, operaciones de los embalses; generación de hidroelectricidad; seguimiento de la contaminación y calidad de las agua; evaluaciones de vulnerabilidad, requisitos de los ecosistemas e incluso un módulo de análisis financiero también permite que el usuario realice Análisis Económico para los proyectos de gestión de recursos hídricos. La estructura de datos y el nivel de detalle se pueden modificar fácilmente para satisfacer los requisitos y la disponibilidad de datos para un sistema y un análisis particular (SEI, 2007).

¹ IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

En general, este modelo hidrológico es espacialmente continuo con un área de estudio configurado como un set de subcuencas contiguas que cubren toda la extensión de la cuenca de análisis. Un set homogéneo de datos climáticos (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) es utilizado en cada una de estas subcuencas, que se encuentran divididas en diferentes tipos de cobertura/uso de suelo. Un modelo cuasi físico unidimensional, con dos receptáculos de balance de agua para cada tipo de cobertura/uso de suelo, distribuye el agua entre escorrentía superficial, infiltración, evaporación, flujo base y percolación, ver Figura 3-4.

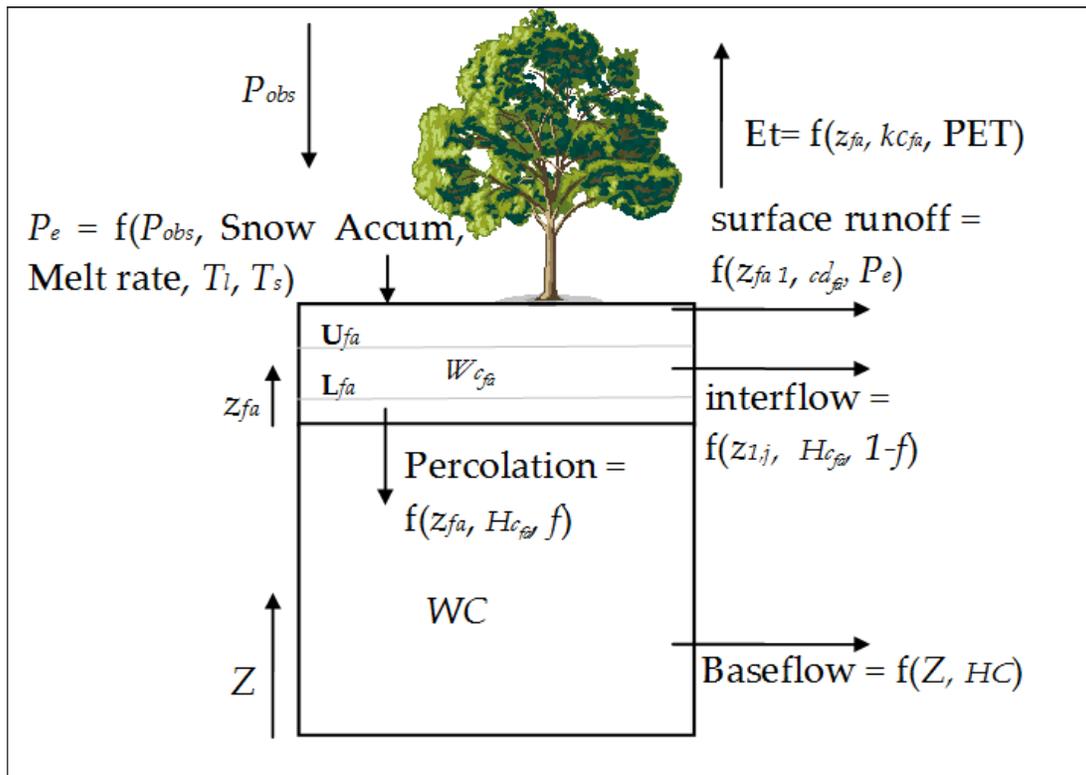


Figura 3-5. Modelo Hidrológico de WEAP - diagrama de doble balde (Yates et al., 2005a)

Los valores de cada una de estas áreas se suman para obtener los valores agregados en una subcuenca. En cada tiempo de corrida del modelo, WEAP calcula primero los flujos hidrológicos, que son traspasados a los ríos y acuíferos asociados. La distribución de agua se realiza para el mismo tiempo de corrida, donde las restricciones relacionadas con las características de la red de distribución, las regulaciones ambientales y a la vez las prioridades y preferencias asignadas a diferentes puntos de demanda son usadas como condiciones de operación de un algoritmo de programación lineal que maximiza la satisfacción de demanda hasta el mayor valor posible.

3.6 Parámetros de Calibración del Modelo WEAP en la cuenca Alta del Río Otún

Ya se mencionaron los parámetros evaluados en el modelo doble balde para calcular la escorrentía de cada uno de los Catchments, los cuales son los mismo usados para la calibración del modelo, es decir para generar en el modelo las condiciones según las características propias de la zona donde se lleva a cabo la modelación. Es importante resaltar que este método considera que en la capa superior del suelo se incluyen los aportes de precipitación y derretimiento de hielo, además de la irrigación, y la evapotranspiración y los flujos de caudal se consideran como pérdidas desde la cuenca o área. También se considera la percolación hacia la capa más profunda, la cual es calibrada para mejorar la simulación del flujo base en la cuenca. Así las cosas, la escorrentía total se define como la suma de la escorrentía directa y la superficial, la escorrentía sub-superficial representada por el modelo y el flujo derivado de las capas del suelo más profundas.

Los parámetros mencionados pueden variar de acuerdo a las propiedades del suelo, la vegetación y otros. Al momento de calibrar también se debe tener en cuenta la escala de tiempo con la cual está corriendo el modelo, dado que la sensibilidad de los parámetros no será la misma a una escala de tiempo mensual que a una diaria.

Para evaluar los resultados de la calibración del modelo se puede usar diferentes índices para caracterizar el comportamiento de la cuenca, en este caso se usaron: a) Coeficiente de Nash-Sutcliffe; b) Error cuadrático medio y c) BIAS.

3.6.1 Coeficiente de Nash-Sutcliffe

Esta medida propuesta por Nash y Sutcliffe (Nash y Sutcliffe, 1970) busca establecer la eficiencia del modelo para predecir los caudales en comparación con la utilización de la media como predictor de la variable. Un coeficiente de NS = 0 implica que el modelo pronostica los caudales de igual forma a como lo haría la media de los datos observados, un NS negativo implica que la media es mejor predictor y un NS mayor a 0 implica que el modelo es mejor predictor que la media.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Qm_i - Qs_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Qm_i - \overline{Qm})^2}$$

Donde:

n = número de datos

Q_s = caudal simulado

Q_m = caudal medido

Los valores representados por este índice son decimales alrededor de uno (1), así, un valor igual a uno (1) corresponderá a un perfecto modelo de gestión, el valor cero (0) indicaría que el modelo de predicciones es tan preciso como la medida de los datos observados.

3.6.2 Error Cuadrático Medio (ECM)

El ECM se define como el promedio del cuadrado de la diferencia entre la medida estimada y la original. Cuando el valor de este índice es cero (0) implica una modelación perfecta, y para valores mayores a cero el ECM se utiliza para comparar modelaciones distintas de la misma variable. El ECM se define de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$ECM = \frac{\sum_{i=1}^n (Qm_i - Qs_i)^2}{n}$$

3.6.3 BIAS

El “bias” o sesgo estadístico es el promedio de la diferencia entre los valores medidos y los valores estimados. Sirve para evaluar la existencia de errores sistemáticos de sub o sobreestimación de la variable modelada. Su fórmula es similar a la del ECM pero a diferencia de esta no incluye el término cuadrático, por lo que se ve menos influenciado por diferencias entre los caudales máximos simulados y observados, ya que el ECM amplifica estos errores. Los valores El “bias” o sesgo estadístico es el promedio de la diferencia entre los valores medidos y los valores estimados. Sirve para evaluar la existencia de errores sistemáticos de sub o sobreestimación de la variable modelada .

Su fórmula es similar a la del ECM pero a diferencia de esta no incluye el término cuadrático, por lo que se ve menos influenciado por diferencias entre los caudales máximos simulados y observados, ya que el ECM amplifica estos errores.

$$BIAS = \frac{\sum_i^n Qm_i - Qs_i}{n}$$

3.7 Regionalización de la Información de los Escenarios de Cambio Climático

Los escenarios climáticos se escogieron a partir de 35 modelos de circulación global (GCMs) disponibles para la trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero más crítica (RPC 8.5). Para el ajuste de resolución de la información climática a nivel de cuenca (Downscaling), se utilizó el método delta con series históricas de precipitación y temperatura (1998-2012) de alrededor de 40 estaciones hidroclimatológicas de IDEAM, Cenicafé y la Red Hidroclimatológica de Risaralda (REDH).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO OTÚN

4.1 Implementación del Método XLRM

De un total de 16 incertidumbres (X) y más de 20 estrategias (L) identificadas en un taller, participativo se definieron en función de la información disponible cinco incertidumbres y cuatro estrategias para propósitos de modelación. El proceso de priorización consideró la disponibilidad de información como la factibilidad de que la incertidumbre y/o estrategia fuera modelable en la plataforma WEAP.

Tabla 4-1. Incertidumbres y Estrategias definidas para la Modelación en la cuenca del río Otún.

Incertidumbres	Estrategias
Clima	Conservación de ecosistemas estratégicos (Páramo y Bosque)
Crecimiento Poblacional	Programas de ahorro y uso eficiente de agua
Consumo de Agua	Caudales Ambientales
Pérdidas de los sistemas de distribución	Definición de prioridades entre los tipos de demanda y caudales ambientales
Cambios en las áreas de bosque y páramo	

De acuerdo a lo anterior, se procedió a incluir incertidumbres asociadas a la demanda de agua como son: el cambio demográfico, consumo per cápita y niveles de pérdidas de agua en la infraestructura; e incertidumbres relacionadas con la oferta en aspectos relacionados con cambio climático y cambios de coberturas de los suelos. Además se exploraron medidas de adaptación como: cambios en las prioridades de las concesiones, modificación de los caudales ecológicos, la reducción de agua no facturada y la continuidad de los programas de conservación de ecosistemas estratégicos en la cuenca (Páramo y bosque).

Aapoyados en el marco conceptual de servicios ecosistémicos se identificaron 16 posibles medidas de desempeño (M). De este grupo de medidas se escogieron 6, las cuales se enuncian a continuación y se describen más adelante al momento de explicar el ensamble de los modelos.

Tabla 4-2. Medidas de Desempeño definidas para la Modelación en la cuenca del río Otún.

Medidas de Desempeño (M)
1. Caudales en las diferentes corrientes tributarias (oferta superficial)
2. Comportamiento de la demanda
3. Cobertura de demanda para uso doméstico
4. Cobertura de demanda para generación de energía
5. Cobertura de caudales ambientales
6. Caudal aportado por el páramo

4.2 Modelo Hidrológico en WEAP para la Cuenca del Río Otún

Aplicada la metodología descrita se obtuvo un modelo con los *catchments*, que permitiera realizar los análisis hidrológicos y de gestión correspondiente, el modelo esquematizado se presenta en la Figura 4-1.

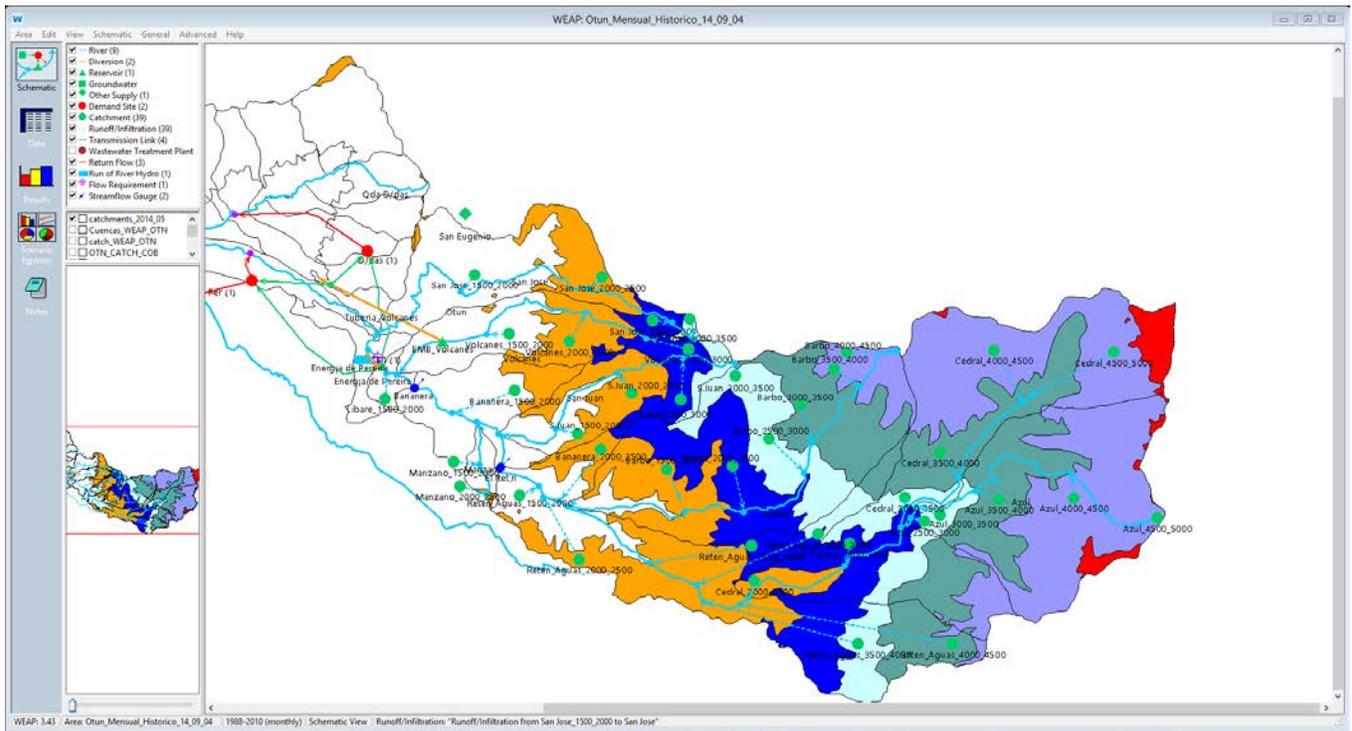


Figura 4-1. Esquema en WEAP de la modelación hidrológica de la cuenca del río Otún.

4.2.1 Series de Clima

Los datos obtenidos, producto del trabajo colaborativo entre SEI, NCAR e IDEAM, correspondieron a series de datos mensuales (2012 -2100) de precipitación y temperatura para la cuenca río Otún. Para caracterizar cada modelo, se calcularon las desviaciones del promedio de la serie futura, agrupada en los intervalos 2012-2040, 2040-2070 y 2070-2100, con respecto a los valores promedio históricos de precipitación y temperatura respectivamente (Ver Figura 4-3). A partir de las desviaciones presentadas para fin de siglo (2070-2100) se escogieron 6 modelos climáticos: cuatro representado las desviaciones máximas y mínima de precipitación (modelos 34 y 2) y temperatura (modelos 16 y 21); y dos modelos coincidentes con las condiciones de desviación promedio de todos los modelos que representa la línea azul de la Figura 4-3 (modelo 16 para precipitación y modelo 17 para temperatura). Esta selección permitió tener un abanico de condiciones climáticas que dan cuenta de diferentes condiciones de oferta de agua.

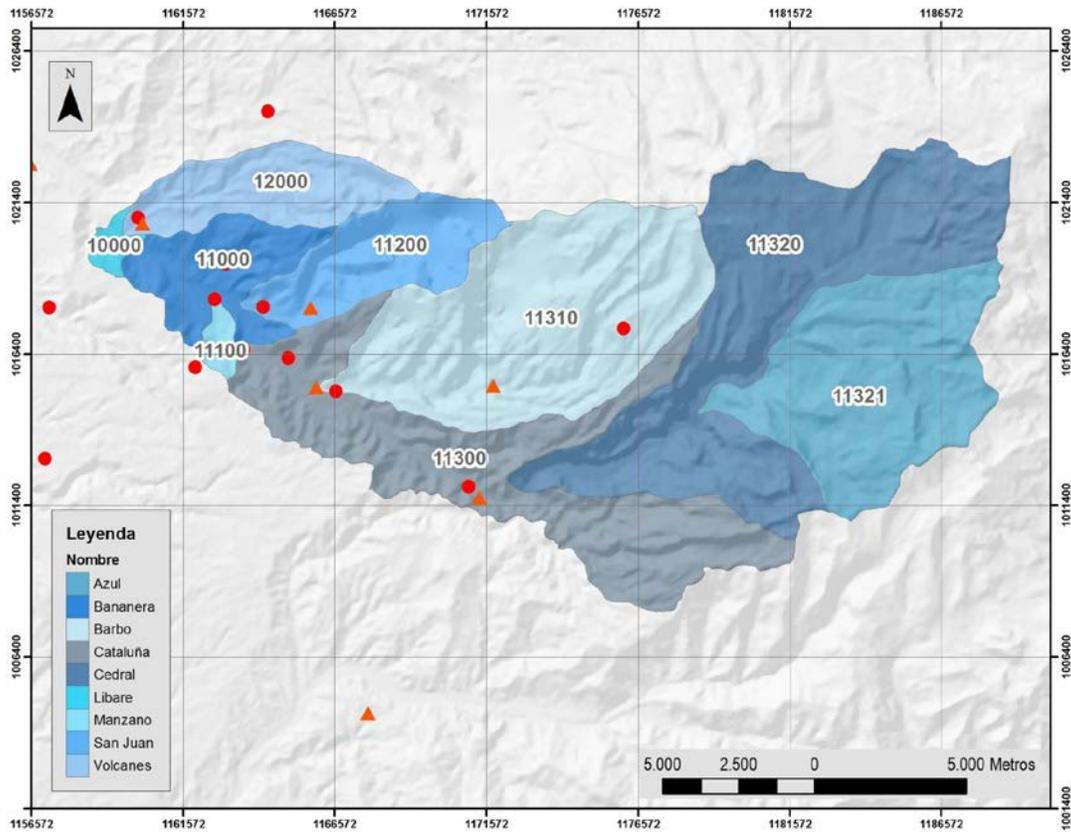


Figura 4-2. Distribución estaciones hidroclimáticas en la cuenca del río Otún

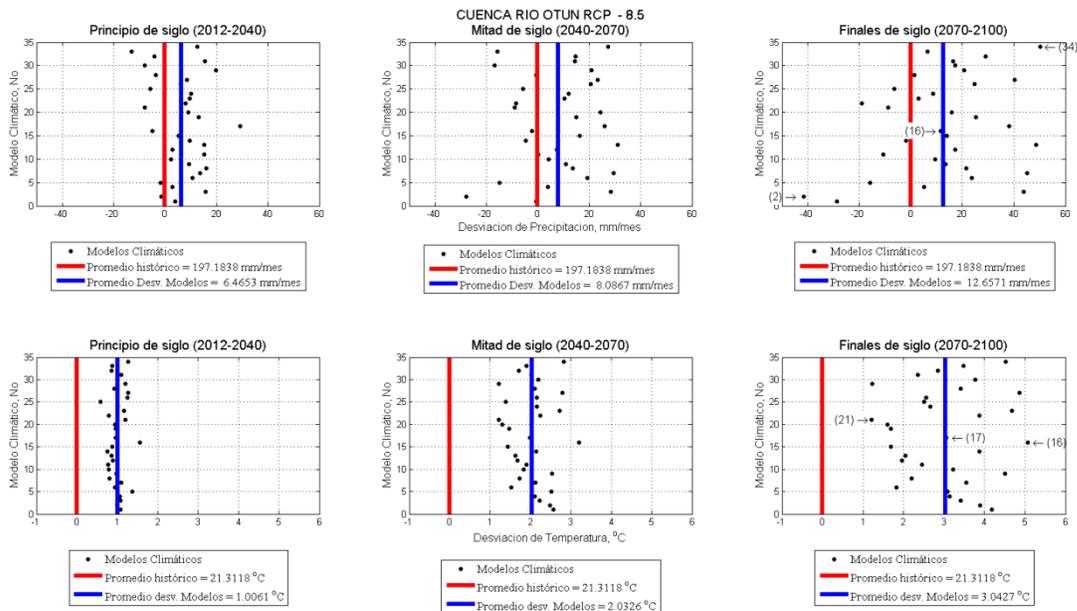


Figura 4-3. Dispersión de los resultados de los 35 GCM para los períodos 2012-2040, 2040-2070 y 2070-2100 en la cuenca del río Otún

4.2.2 Resultados del modelo en la captación multipropósito

En este modelo a escala de tiempo de mensual, además de la oferta hídrica, se consideró la demanda que corresponde a sus principales concesiones de agua: i) agua para consumo humano en los municipios de Pereira y Dosquebradas ($2.35 \text{ m}^3/\text{s}$) y ii) generación de energía ($5 \text{ m}^3/\text{s}$). Adicional a estas demandas, se consideró la garantía de un caudal de $3 \text{ m}^3/\text{s}$ como caudal ambiental en el río después de la captación multipropósito.

De acuerdo a lo anterior, se contrastaron la suma de todas las demandas ($10.35 \text{ m}^3/\text{seg}$) con la oferta hídrica, obteniendo unas altas condiciones de vulnerabilidad del sistema hídrico a la altura de Nuevo Libaré. La vulnerabilidad se asoció a las veces en las que el río no podría suplir las demandas sin afectar a ningún usuario y al ecosistema acuático (fallas del sistema). En función de lo anterior, una alta vulnerabilidad (color rojo en el mapa de vulnerabilidad) se asocia a las muchas veces en las que la demanda es superior a la oferta, lo cual ocurre todos los años especialmente en los meses de enero-febrero y julio-agosto, debido al régimen bimodal de la precipitación predominante en cuencas de montaña localizadas en la región Andina de Colombia.

La estrategia de gestión primordial consistió en la priorización de las demandas, considerando el siguiente orden: 1) ambiental, 2) consumo humano Y 3) energía. Encontrado como resultado que el principal impacto en la alta vulnerabilidad del sistema obedece a la generación de energía.

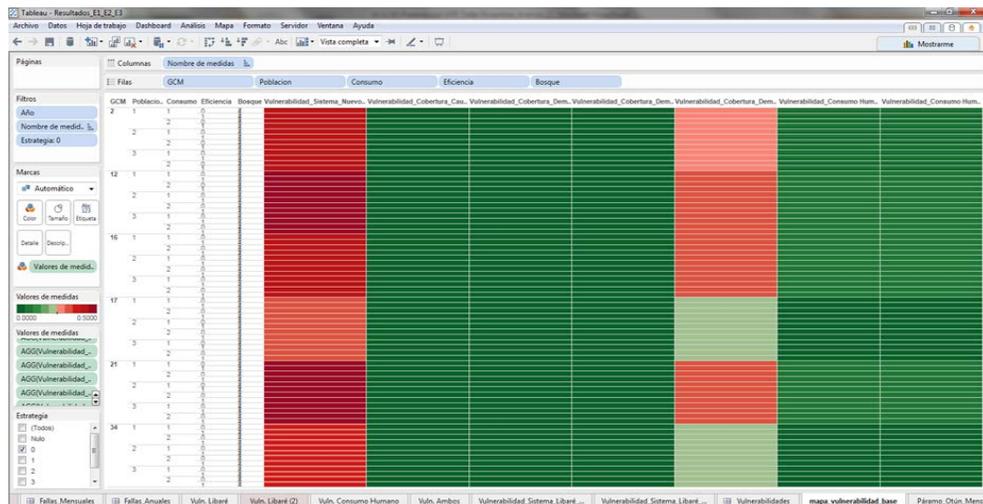


Figura 4-4. Mapa de Vulnerabilidad para el Análisis del Sistema Hídrico en el Río Otún a la altura de la Captación Multipropósito existen en el Sector de Nuevo Libaré, Región Andina de Colombia.

El análisis del mapa de vulnerabilidad muestra en la primera columna (todas las filas rojas) las condiciones de alta vulnerabilidad del sistema hídrico en el río Otún a la altura de Nuevo Libaré, sector de la captación multipropósito. Al realizar un análisis más detallado

sobre la cobertura de cada una de las demandas: ambiental (segunda columna, todo verde), consumo humano de Pereira (tercera columna, todo verde), consumo humano de Dosquebradas (cuarta columna, todo verde), y generación de energía (quinta columna, rojos y verdes); se encuentra como resultado que el principal impacto en la alta vulnerabilidad del sistema obedece a la generación de energía, y que será de mayor o menor grado dependiendo del escenario de cambio climático, por ejemplo para los escenarios 17 y 34 la vulnerabilidad es baja (color verde dentro de la columna 5), mientras que para los escenarios restantes es muy alta . Posteriormente, se analizó la demanda priorizada para caudales ambientales y consumo humano, restringiendo la demanda energética en caso de que no exista la oferta suficiente, encontrando bajas vulnerabilidades para las condiciones actuales (columna 6, todo verde) y proyección futura (columna 7, todo verde).

4.3 Modelación en WEAP a Escala Mensual en la cuenca Alta del Río Otún

Este modelo permite evaluar con mayor precisión el comportamiento de los páramos en la regulación hídrica en la parte alta de la cuenca, por lo que en este modelo sólo se tuvieron en cuenta los Catchment que incluían páramo, como se muestra en la . Las franjas de elevación jugaron un papel fundamental para el montaje del modelo, dado que es a partir de los 3000 m.s.n.m que se encuentra el ecosistema páramo en la cuenca del Otún, lo cual permitió la delimitación de los Catchments y conocer las coberturas del suelo y sus características. Así las cosas, el modelo de páramo se encuentra ubicado en las franjas de elevación entre los 3000 y 5000 m.s.n.m.

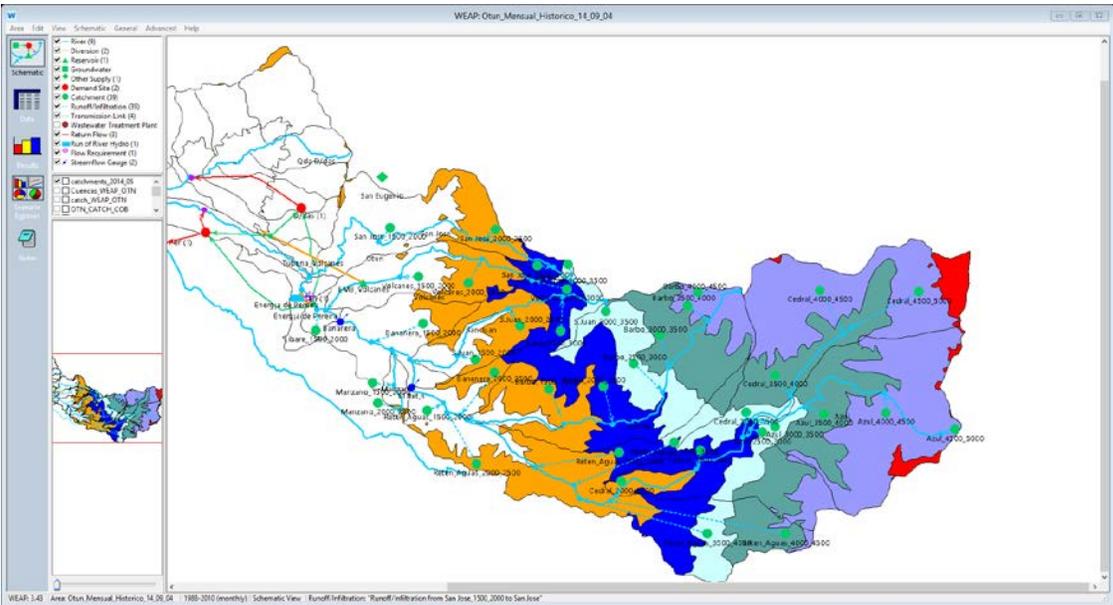


Figura 4-5. Modelo del Páramo en el río Otún

Las áreas de captación se delimitaron con base a la información cartográfica correspondiente a la zona teniendo en cuenta las franjas de elevación y los puntos de cierre para cada fuente de interés para el estudio. En total, fueron catorce (14) los Catchments ubicados a partir de las franjas de elevación de 3000 m.s.n.m, los cuales tiene como fuentes receptores de su escorrentía, las corrientes hídricas Azul, Barbo, Otún, San José y San Juan.

Para modelar la escorrentía mediante el método de lluvia escorrentía ofrecido por WEAP para modelar los procesos que se generan al interior de cada Catchment, se ingresaron los siguientes parámetros:

Tabla 4-3. Parámetros método Lluvia Escorrentía modelo Páramo

PARÁMETRO WEAP	VALOR
Soil Water Capacity (mm)	70
Deep Water Capacity (mm)	210
Runoff Resistance Factor	2
Root Zone Conductivity (mm/mes)	240
Deep Conductivity (mm/mes)	120
Prefer Flow Direction	If(PrevTSValue(Interflow[m^3])/Area[M^2] * 1000 > 15, 0.75, 0.25)
Humedad en el Bucket 1 (Z1) (%)	15
Humedad en el Bucket 2 (Z2) (%)	10
Kc	1.2

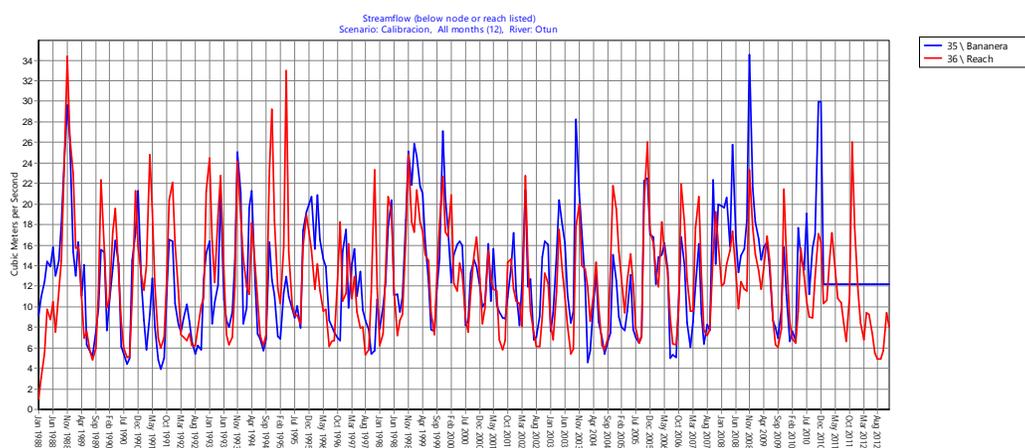


Figura 4-6. Caudal mensual medido Vs Caudal modelado en el río Otún

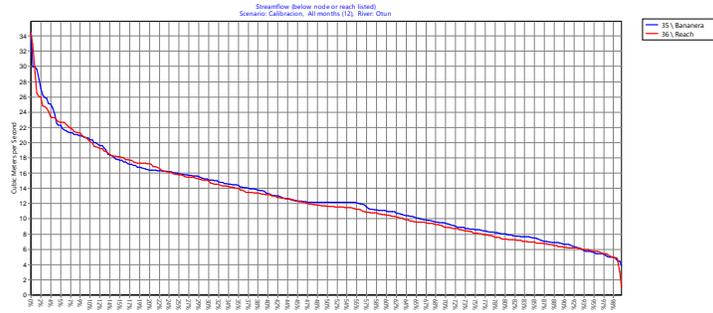


Figura 4-7. Porcentaje duración de caudal mensual Otún medido Vs modelado

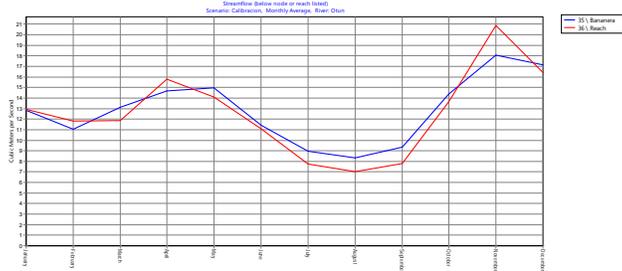


Figura 4-8. Caudal mensual multianual río Otún medido Vs modelado

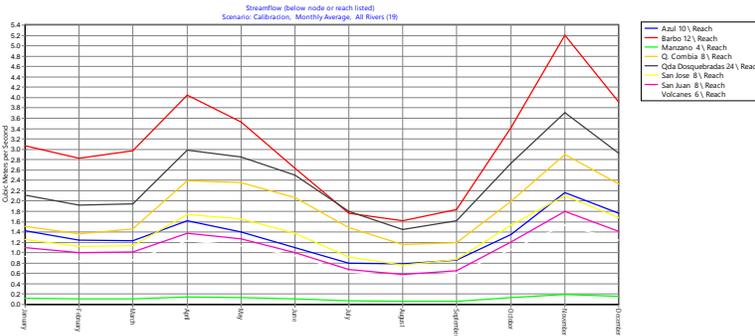


Figura 4-9. Caudal mensual multianual (m3/s) principales tributarios río Otún

4.4 El Ecosistema Páramo como Regulador de Caudal en la Cuenca del río Otún

La Figura 4-11 permite evidenciar el caudal aportado por el páramo respecto al caudal del río Otún con datos modelados a escala mensual, a la altura de la bocatoma multipropósito de Nuevo Libaré. Donde en promedio, se tiene que el páramo aporta alrededor del 40% al caudal del río Otún en este sitio entre los años 2014-2050. Es notoria la variabilidad del aporte del páramo en función del comportamiento de la precipitación y sus respuestas de caudal en la cuenca, ya que el óptimo pluviométrico se encuentra por debajo de los 3000 m.s.n.m (aprox. 1800 m.s.n.m) y en algunos períodos este aporte de escorrentía puede ser mayor que el aporte del páramo. Sin embargo, debe considerarse que la disponibilidad de agua en la parte alta del río Otún debe garantizarse aún en los períodos de menor lluvia y por ende menor escorrentía, por lo cual es de importancia desagregar los flujos de caudal

(base, interflujo, escorrentía superficial) para identificar los aportes de la cuenca alta que van a satisfacer las demandas en la parte media en esos momentos críticos.

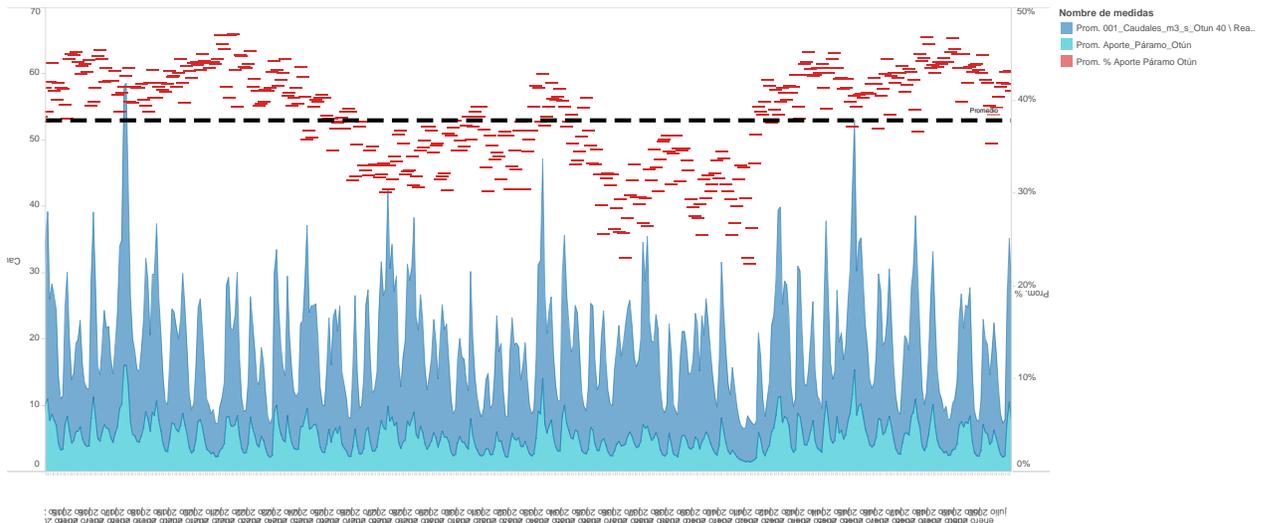


Figura 4-10. Aporte del caudal del páramo respecto al caudal en Nuevo Libaré en el río Otún

El caudal aportado por el páramo permite aportar un 50% en promedio a la satisfacción de los requerimientos hídricos ($10.35 \text{ m}^3/\text{s}$) en el sector de Nuevo Libaré. Aunque existen momentos que puede aportar el 100% de esa demanda, de acuerdo al régimen bimodal de lluvias, que corresponde a los meses húmedos de abril-mayo y noviembre-diciembre. En la parte inferior de la Figura 4-12, el color verde del caudal corresponde al flujo base proveniente del páramo, que a pesar de las variabilidades climáticas e hidrológicas, presenta una tendencia constante en promedio a los $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

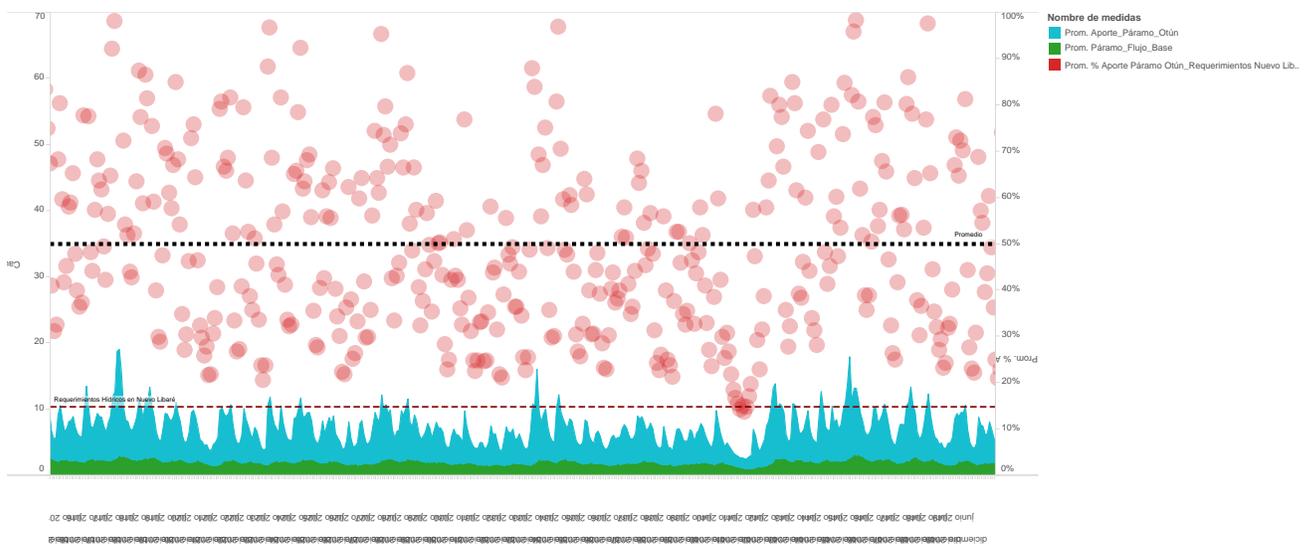


Figura 4-11. Aporte del caudal del páramo respecto a la demanda total ejercida en Nuevo Libaré

Detallando la desagregación de los flujos de caudal aportados por el páramo, se aprecia en la Figura 4-13 como la cuenca es sensible a los cambios de clima (precipitación y temperatura), donde la composición y los aportes de los flujos cambian en forma dinámica. En períodos húmedos el mayor aporte corresponde a la escorrentía superficial, mientras que en los períodos de menor lluvia, el flujo base se convierte en el de mayor aporte (año 2040).

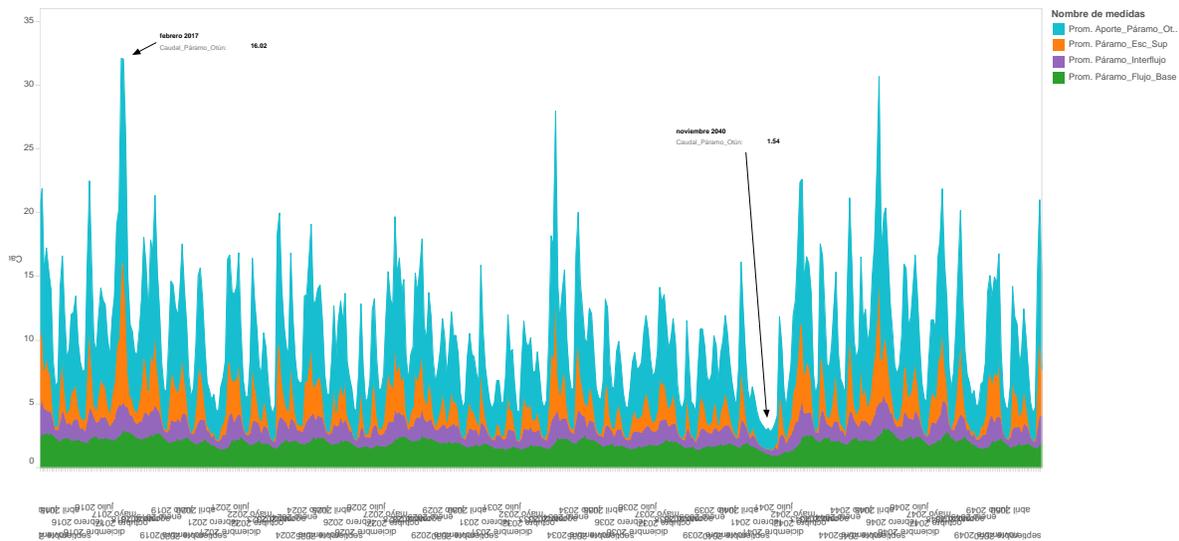


Figura 4-12. Desagregación de los flujos de caudal aportados por el Páramo en el tiempo en el río Otún

Para soportar el último comentario, se ha realizado una gráfica adicional para visualizar el comportamiento de los flujos en cada uno de los meses del año 2040, siendo este el año más crítico proyectado. Encontrando que en estos períodos, el flujo base puede empezar representando un aporte del 40% a principios de enero, pero que a medida que pasan los meses puede alcanzar hasta un 80% del total del caudal aportado por el páramo para satisfacer las demandas en la parte media. Esto habla de una manera relevante del rol del páramo como regulador hidrológico, sin entrar a considerar las otras funciones ecosistémicas que cumplen estos caudales en la parte alta de la cuenca, ver la Figura 4-14.

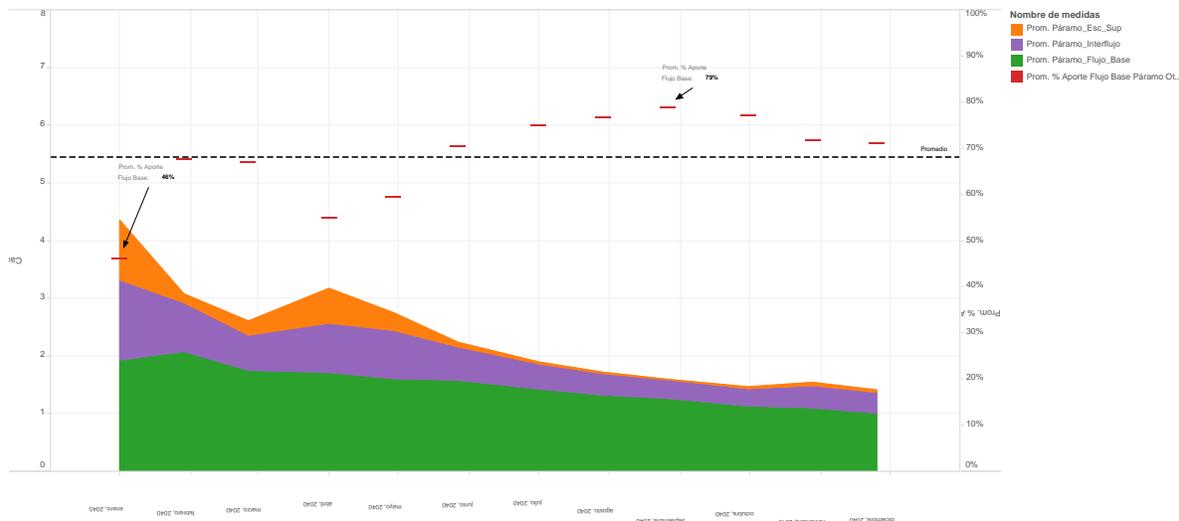


Figura 4-13. Aporte del flujo base en el caudal aportado por el Páramo en los periodos más secos en el río Otún

La modelación de la cuenca del río Otún ha permitido conocer el aporte del ecosistema páramo frente al de otras coberturas en la zona, encontrando que en los meses de caudales bajos como agosto, este representa hasta un 60% del flujo del cual se abastece en el sector de Nuevo Libaré los usos de consumo humano y energía. Esto implica que ante las incertidumbres del cambio climático, la conservación del ecosistema Páramo se convierte en una de las estrategias que proporcionan mayor resiliencia para la sociedad en su conjunto en la cuenca; debiendo continuar los esfuerzo interinstitucionales que se han venido llevando a la práctica en los últimos sesenta años.

4.5 Una reflexión final para la gestión en la cuenca hidrográfica del río Otún

Los resultados de este estudio evidencian que hay una conexión entre la implementación de POMCAs con los procesos ADR, en términos de generar una visión integral en la gestión del recurso hídrico y sentar las bases para la vinculación activa de los actores durante la formulación y ejecución de medidas de adaptación a corto y mediano plazo.

WEAP, XLRM y ADR han permitido conocer con rigor conceptual y metodológico el comportamiento espacial, temporal y el estado del agua en términos de oferta, disponibilidad, calidad, uso, demanda, amenazas y vulnerabilidad, considerando, además, incertidumbres asociadas a la variabilidad climática, actividades humanas actuales y proyectadas, la dinámica poblacional y socioeconómica y el uso del suelo. Con esos insumos, en talleres participativos es posible delinear los posibles escenarios futuros.

Al contrastar las demandas del río Otún producto de la captación multipropósito a la altura de Nuevo Libaré (10.35 m3/seg) con la oferta hídrica, se obtuvieron unas altas condiciones de vulnerabilidad del sistema hídrico, asociada a las muchas veces en las que la demanda es superior a la oferta, lo cual ocurre en los meses de enero-febrero y julio-agosto, debido al

régimen bimodal de la precipitación predominante en cuencas de montaña localizadas en la región Andina de Colombia.

El principal impacto en la alta vulnerabilidad del sistema obedece a la generación de energía, y será de mayor o menor grado, dependiendo del escenario de cambio climático.

Si se implementa la estrategia de gestión relacionada con priorización de las demandas con el orden: 1) ambiental, 2) consumo humano Y 3) generación de energía, se encontrará mayor resiliencia al cambio climático, puesto que se disminuye la vulnerabilidad del sistema. No obstante, se hace deberán analizar y concertar con la Empresa de Energía de Pereira nuevas alternativas de aprovechamiento del recurso hídrico, tales como una concesión variables a lo largo del año que se ajuste en su operación para maximizar la generación en las épocas de caudal superior al promedio, y restringir la captación en los momentos de estiaje.

La modelación de la cuenca del río Otún ha permitido conocer el aporte del ecosistema páramo frente al de otras coberturas en la zona, encontrando que en los meses de caudales bajos como agosto, el páramo representa hasta un 80% del flujo del cual se abastece en el sector de Nuevo Libaré los usos de consumo humano y energía. Los resultados muestran el importante rol del páramo como regulador hidrológico. Esto implica que ante las incertidumbres del cambio climático, la conservación del ecosistema Páramo se convierte en una de las estrategias que proporcionan mayor resiliencia para la sociedad en su conjunto en la cuenca; debiendo continuar los esfuerzo interinstitucionales que se han venido llevando a la práctica en los últimos 60 años.

5 Referencias

- Aguilera Klink, F. (1997)., "Prólogo", en Arrojo, P. y J.M. Naredo, *La gestión del agua en España y California*, Bakeaz, Bilbao.
- Álvarez, C.M. (2012). *El ordenamiento del agua*. Revista Técnica - IDEAM. Vol. 1-No 1. pp. 9 – 16.
- Betancur, T., Campillo, A.K., García, V. (2011). *Una Metodología Para La Formulación De Planes De Ordenamiento Del Recurso Hídrico*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín 10 (19), 67-78.
- Boersema, J.J., y Reijnders, L. (2009). *Principles of Environmental Sciences*. Springer Science + Business Media B.V. 542 pp.
- Buitrago, O. (2010). *Agua, territorio y gestión: caminos por recorrer*. Perspectiva geográfica, Vol. 15. pp.125–142.
- Castro, S. (2005). *Transdisciplinariedad y diálogos de saberes*. Conferencia Miradas y Perspectivas de las Ciencias Sociales y Humanas. Pp 53 - 59.
- Ceballos, J.L., Real, E.L., Meneses, I. (2012). *La sensibilidad de los glaciares*. Revista Técnica - IDEAM. Vol. 1-No 1. pp. 45 – 54.
- Cubillos, L.F. (1998). *Un Estudio de la Formación Interdisciplinaria en la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira*.
- Cubillos, L.F. (2010). *Epistemología de las Ciencias Ambientales: Pretensiones Académicas Frente al Proceso "Fundacional" de una Nueva Área de Conocimiento para Colombia*. En *Cátedra Ambiental. Memorias 2006 – 2009 Un espacio de Reflexión para la Sustentabilidad*. Rodríguez, D. y García, A.M. Eds., Pereira, 224.
- De La Herrán, A. (2011). *Complejidad y Transdisciplinariedad*. Revista Educacao Skepsis, n. 2. Formacao Profisscional, vol. I. (Contextos de la Formación Profesional), Sao Paulo: skepsis.org. Pp 294 – 320.
- Díaz Pineda, F. (2000). "Solidaridad hídrica", *El País*, 11 de septiembre de 2000.
- Dollar, E.C.J., James, C.S., Rogers, K.H., Thoms, M.C. (2007). *A framework for interdisciplinary understanding of rivers as ecosystems*. *Geomorphology* 89, 147–162.
- Dourojeanni, A.C. (2007). *Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas ¿por qué no lo podemos hacer?*. *Gestión y políticas en cuencas*. pp. 149-183.
- Fattorelli, S. y Fernandez, P.C. (2011). *Diseño Hidrológico*. Segunda edición (edición digital). 602 pp.
- Fernández, C.C. y Sabas, C.A. (2012). *Sistema de Alerta Temprana Centrado en la Población para la Cuenca Media del Río Otún*. *Revista Scientia et Technica* No. 50, pp 199-205.
- García, M., Jaramillo, O., Vargas, O. (2012). *Cuánta agua nos queda*. *Revista Técnica - IDEAM*. Vol. 1-No 1. pp. 32 – 44.
- García, M.C., Piñeros, A., Bernal, F.A., Ardila, E. (2012). *Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia*. *Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes* #36. pp. 60-64.
- García, R. (1994). *Interdisciplinariedad y Sistemas Complejos*. Editorial Gedisa. Barcelona.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos: conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Ed. Gedisa.

- Hicks, C.C., Fitzsimmons, C. y Polunin, N. (2010). *Interdisciplinarity in the environmental sciences: barriers and frontiers*. *Environmental Conservation* 37 (4). Pp 464 - 477.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Khagram, S., Nicholas, K.A., Bever, D.M., Warren, J., Richards, E.H., Oleson, K., Kitzes, J., Katz, R., Hwang, R., Goldman, R., Funk, J., y Brauman, K.A. (2010). *Thinking about knowing: conceptual foundations for interdisciplinary environmental research*. *Environmental Conservation* 37 (4). Pp 388 -
- Köppen, E., Mansilla, R, y Miramontes, P. (2005). *La interdisciplina desde la teoría de los sistemas complejos*. *Ciencias*, 79. Pp 4 -12.
- Leff, E. (2006). "La complejidad ambiental: del logos científico al diálogo de saberes". En: *Ciencias Ambientales: Una nueva área de conocimiento* (RCFA, 2007). Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA - . Pp 39 -47.
- Llamas, M. R. (1995). *La Crisis del Agua: ¿Mito o realidad?*. *Atti dei Convegni Lincei, Accademia dei Lincei, Roma, N° 114*, pp. 107-115.
- López, C.E. y Hernández, U. (2009). *Diálogo entre Saberes: Ciencias, Saberes e Ideología en Torno a lo Ambiental*. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira.
- López Martos. J. (2000). *Agua y territorio*. *Obras Públicas (OP)*, núm. 50, pp. 46-53.
- Mañano, B. (2007). *Territorio, teoría y política*. *Intervención en el Seminario Internacional: las configuraciones de los territorios rurales en el siglo XXI*, Universidad Javeriana.
- Martínez, S. 2011. *Contexto histórico de un territorio. El centro occidente colombiano antes de la colonización antioqueña*. *Revista Historia 2.0, Conocimiento histórico en clave digital No. 2*, pp. 158-170
- MAVDT. (2010). *Decreto 3930 de 2010 "Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"*.
- Montañez, G. (2001). *Razón y pasión del espacio y el territorio*. En *Espacios y territorios: Razón, pasión e imaginarios*. Editorial Unibiblos. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, pp. 15-32.
- Montañez, G. y Delgado, O. (1998). *Espacio, territorio y región: conceptos básicos para un proyecto nacional*. *Cuadernos de Geografía, Universidad Nacional de Colombia*, pp. 1-11.
- Moran, E.F. (2010). *Environmental Social Science: human-environment interactions and sustainability*.
- Nápoles-Rivera, F., Serna-González, M., El-Halwagi, M.M., y Ponce-Ortega, J.M. (2013). *Sustainable water management for macroscopic systems*. *Journal of Cleaner Production* (47). Pp 102 - 117.
- Odum, H.T. (1971). *Environment, Power and Society*, Wiley Interscience.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental accounting: emergy and decision making*. John Wiley, New York, USA.
- Pabón, D. (2010). *Informe de evaluación del Cambio Climático en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia y Conservación Internacional. Bogotá, Colombia.
- Palomo, I., B. Martín-López, C. López-Santiago, y C. Montes. (2011). *Participatory scenario planning for protected areas management under the ecosystem services*

- framework: the doñana social-ecological system in southwestern spain. Ecology and Society* 16(1): 23.
- Polanco, J.A. (2001). *Medio ambiente y perspectivas interdisciplinarias de investigación.. ENSAYOS FORHUM*, 19, *Miradas al Hábitat*, 150–158.
- Pretty, J., Adams, B., Berkes, F., Ferreira de Athayde, S., Dudley, N., Hunn, E., Maffi, L., Milton, K., Rapport, D., Robbins, P., Sterling, E., Stolton, S., Tsing, A., Vintinner, E., y Pilgrim, S. (2009). *The Intersections of Biological Diversity and Cultural Diversity: Towards Integration. Conservation and Society* 7 (2), 100–112.
- Red Colombiana de Formación Ambiental – RCFA- . (2007). “Ciencias Ambientales: Nueva área de conocimiento”. *Compilado por: Sáenz, Orlando. Digiprint editores. Bogotá, Colombia.*
- Resilience Alliance. (2007). *Assessing resilience in Social-ecological systems. A workbook for scientists.*
- Rivas, L.A. (2009). *Efectos de la teoría de la complejidad en la gestión ambiental en México. Instituto Politécnico Nacional. 431 pp.*
- Rosnay, J. (1979). *The Macroscope. New York: Harper & Row.*
- Ruiz, J. F. (2010). *Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución. Panorama 2011–2100. Nota técnica 005/2010 del IDEAM.*
- Ruiz, J.F. (2012). *Escenarios de cambio climático en Colombia. Revista Técnica - IDEAM. Vol. 1-No 1. pp. 18 – 30.*
- Sabas, C.A. y Paredes, D. (2009a). *Impacto del crecimiento de Pereira sobre el recurso hídrico en la cuenca del río Cestillal. Revista Scientia et Technica No. 42, pp 399-404.*
- Sabas, C.A. y Paredes, D. (2009b). *Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del río Barbas. Revista Scientia et Technica No. 42, pp 405-410.*
- Salinas, A.A., y Paz, O. (2011). *Aplicación del Modelo de Planificación Hídrica de Cuencas WEAP al Proyecto: Aducción de Recursos Hídricos Mururata. Rev. Tec. Inv. Doc., vol.6, no.6, pp. 27-38.*
- Santos, M. (2002). *O dinheiro e o território. En: Santos M., Becker, B., Silva, C.A.F. Território, territórios: ensayos sobre o ordenamiento territorial, pp. 7-13.*
- Sotolongo, P.L. y Delgado, C.J. (2006). *Capítulo IV. La complejidad y el diálogo transdisciplinario de saberes. En: la revolución contemporánea del saber y la complejidad social. Hacia unas ciencias sociales de nuevo tipo. Pp 65 – 77.*
- Suárez, J., Muñoz, H., Orozco, S., Sánchez, G., Ritter, W., Carreón, M.F., Muñoz, M.L., Triviño, J.M. (2009). *Disponibilidad de agua y el cambio climático global en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. Gestión Ambiental, no.18, pp. 49-61.*
- Toledo, V.M., Alarcón-Cháires, P., Barón, L. (2009). *Revisualizar lo rural desde una perspectiva multidisciplinaria. Revista de la Universidad Bolivariana 8 (22), 328-345.*
- Vilches, A., Gil, D. y Valdés, P. 2008. *Macroscopio: Instrumento fundamental de la necesaria r-evolución por la sostenibilidad. En Moreno, J. (Ed.): Didáctica de las ciencias. Nuevas Perspectivas. Segunda parte, (Pp. 206-236), ISBN: 978-959-18-0350-4. La Habana: Educación Cubana.*
- Vuille, M. (2013). *Climate change and water resources in the tropical Andes. IDB Technical Note; 517.*
- WATER EVALUATION AND PLANING, WEAP. [En línea] <www.weap21.org>
- WEAP, *User Guide for Weap21*, (2005).
- WEAP, *Tutorial: A collection of stand-alone modules to aid in learning the weap software.* (2009).

INTEGRACIÓN DE LOS MODELOS WEAP Y QUAL2K PARA LA SIMULACIÓN DE LA CALIDAD AGUA DE FUENTES SUPERFICIALES. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO LA VIEJA, COLOMBIA

Jaramillo, María Fernanda¹; Galvis, Alberto¹; Escobar, Marisa²; Forni, Laura²; Purkey, David²; Siebel, Jack²; Lozano, Gabriel³; Rodríguez, Cesar³; Castaño, Juan⁴; Sabas, Carlos⁴

Resumen

En esta investigación se evaluó el impacto de las aguas residuales domésticas y agroindustriales en la cuenca del río La Vieja, Colombia, considerando como factores para la evaluación el crecimiento poblacional, el desarrollo agroindustrial y los efectos de la variabilidad y el cambio climático. La evaluación de la calidad del agua se logró mediante la integración de las herramientas de modelación WEAP (Water Evaluation And Planning System) y QUAL2K, que permitió realizar el análisis dendrítico (sistema ramificado de 11 fuentes hídricas que tributan tributarias al cauce principal) del comportamiento de la cantidad y la calidad del agua del río La Vieja. La cuenca del río La Vieja se localiza al centro sur de Colombia, con una extensión aproximadamente de 2.880 km² y forma parte de la Ecorregión cafetera con importancia estratégica para el Producto Interno Bruto del país. Las principales ventajas de la integración de los modelos corresponde a la posibilidad de modificar la cinética de degradación de los contaminantes por tramo de río en el modelo QUAL2K y la dinamización de los resultados de este modelo en pasos de tiempo mensual, beneficio que aporta el modelo de planificación WEAP. La integración de modelos tuvo como resultado principal la identificación del comportamiento espacio temporal de los parámetros de calidad del agua Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Temperatura (T) en una escala de agregación mensual en el año de línea base considerado como 2011 y la evaluación de la implementación de dos estrategias de control de la contaminación hídrica: sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales y sistemas de tratamiento anaerobio para la remoción de carga orgánica en el beneficio del café.

Palabras claves: Integración de modelos, WEAP, QUAL2K, Calidad del Agua, Río La Vieja-Colombia.

Summary

Falta incluir resumen en Inglés

Key word: Models Integrations, WEAP, QUAL2K, Water Quality, La Vieja river, Colombia.

¹ Investigador Instituto CINARA, Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle. Cali, Colombia. maria.f.jaramillo@correounivalle.edu.co, alberto.galvis@correounivalle.edu.co

² Investigador Senior, Instituto SEI, Davis, California, Estados Unidos. marisa.escobar@sei-us.org

³ Investigador Grupo CIDERA, Universidad del Quindío, Colombia. galozano@uniquindio.edu.co

⁴ Investigador Grupo EIS, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. jmc@utp.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

La degradación de la calidad de los recursos hídricos superficiales en las cuencas colombianas se ha incrementado debido a la disposición de aguas residuales de origen doméstico y agroindustrial sin considerar los objetivos de calidad de los cuerpos hídricos receptores (MAVDT, 2010). Bajo el marco normativo colombiano, los objetivos de calidad de los cuerpos hídricos deben ser determinados por las Autoridades Ambientales mediante el desarrollo del instrumento de planificación "*Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico*". En la cuenca del río La Vieja en Colombia, la contaminación hídrica de las fuentes superficiales es causada de manera similar por disposición de aguas residuales de origen doméstico y agroindustrial y los objetivos de calidad del agua para esta fuente, no han sido definidos al año 2015.

En función de la magnitud de los vertimientos de aguas residuales domésticas, se realizó en esta investigación, un análisis a los Programas de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de los municipios ubicados en la cuenca del río La Vieja, en el cual se identificó que el 87% de la carga contaminante que genera el sector doméstico (7,5 ton DBO₅/día), se destina sin tratamiento a fuentes hídricas superficiales. El 13% restante, que corresponde a 1,2 ton DBO₅/día, se destina a las fuentes hídricas superficiales luego de realizarse únicamente un tratamiento a nivel primario para la remoción de sólidos.

En el sector agroindustrial el aporte de carga contaminante al río La Vieja corresponde al 45 % (7,5 ton DBO₅/día), de los cuales el 51% (2,3 ton DBO₅/día) es proveniente del sector cafetero. Ambos sectores doméstico y agroindustrial aportan 95% de la contaminación puntual al río La Vieja. Razón por la cual se hace necesaria la evaluación de estrategias de prevención y control de la contaminación hídrica enfocadas en estos sectores.

Debido a la situación anterior, este estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de la generación y disposición de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas en la calidad del agua del río La Vieja y once de sus principales afluentes, a través de la integración de los modelos QUAL2K y WEAP. Esta integración de modelos se realiza por primera de forma dendrítica para más de 4 fuentes tributarias a un cauce principal y mediante la utilización de un modelo hidrológico para la cuenca del río La Vieja, previamente desarrollado en WEAP.

El modelo QUAL2K es un modelo para el análisis del comportamiento de la calidad del agua, respaldado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés). Este

modelo considera el flujo de agua como unidimensional y permanente. Para la simulación del transporte de sustancias contaminantes QUAL2K emplea el balance de calor y temperatura en función de datos meteorológicos horarios, introducidos en un espacio de ciclo diario.

El QUAL2K simula sistemas hídricos de tipo dendrítico y el cauce es considerado completamente mezclado horizontal y verticalmente. El modelo acepta entradas puntuales y no puntuales (distribuidas) de cargas contaminantes y caudales. La fuente hídrica simulada es representada como una sucesión de tramos o segmentos llamados elementos computacionales, a través de los cuales se efectúan los correspondientes balances de masa, flujo y calor (EPA, 2013). Así mismo, el programa QUAL2K utiliza dos formas para representar el carbono orgánico, siendo éstas: DBO rápida y DBO lenta. Además, simula condiciones de anoxia reduciendo a cero las tasas de oxidación. Para procesos de denitrificación el modelo emplea una reacción de primer orden (Chapra, 2008).

El modelo QUAL2K ha sido empleado ampliamente para estudiar el comportamiento de la calidad del agua de fuentes superficiales en diferentes partes del mundo. Algunas de sus aplicaciones en el contexto de la evaluación de impactos y toma de decisiones frente a una gestión integral del recurso hídrico han sido desarrolladas. Zainudin *et al.*, (2010) realizó la evaluación de la calidad del agua del río Tebrau para analizar la influencia de los vertimientos industriales y la implementación de diferentes estrategias de saneamiento como parte del plan de gestión de su cuenca.

Pai *et al.*, (2010) realizó la evaluación del impacto del tratamiento de agua residual tratada con sistemas ecológicos de la ciudad de Taichung, Taiwan, utilizando la modelación del cuerpo hídrico antes y después de la implementación de los sistemas. El QUAL2K también ha sido usado para analizar la calidad del agua, bajo el impacto de la implementación de reuso de efluentes provenientes de canales agrícolas en Egipto (Rashed y El-Sayed, 2014)

El modelo WEAP es considerado como una herramienta de planificación integrada de recursos hídricos, que puede ser implementada para representar las condiciones actuales de un sistema hídrico (superficial o subterráneo) en un área determinada. WEAP es usado para evaluar la demanda y opciones de suministro incorporando los objetivos ambientales y normativos del contexto específico de análisis (Yates *et al.*, 2005). Mediante WEAP es posible evaluar los impactos futuros de un sistema a través de la modelación de escenarios.

Esta capacidad de WEAP contribuye a enfrentar uno de los retos más complejos de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que es la planificación de los recursos con una visión a largo plazo y mediante una evaluación integrada de diferentes alternativas de gestión. Esta visión de WEAP ha permitido apoyar la planificación de los recursos hídricos, proporcionando un análisis común y un marco de gestión de información que permite involucrar a diferentes actores y tomadores de decisiones en un proceso de planificación abierto (Phurisamban, 2014).

El fundamento conceptual del modelo WEAP es el principio básico de balance de masa. A través de este principio se puede simular una amplia gama de los componentes naturales e intervenidos de los sistemas hídricos, incluyendo análisis hidrológicos lluvia-escorrentía, recarga potencial de los acuíferos por precipitación, generación de energía hidroeléctrica y calidad del agua (Vicuña *et al.*, 2009). Por medio de rutinas programadas en WEAP, es posible evaluar de manera integrada los componentes citados y otra variedad de elementos de análisis para la planeación y evaluación de los recursos hídricos, como son instrumentos normativos de un contexto específico y escenarios de cambio climático.

La herramienta WEAP, también ha sido diseñada para ser integrada con otros modelos de simulación, permitiendo con esto realizar análisis de tipo robusto. En la evaluación de la calidad del agua WEAP puede ser integrado con el Modelo QUAL2K. La principal ventaja del desarrollo de integración entre estos dos modelos, ha sido la simulación continua de WEAP, permitiendo realizar análisis de resultados para cada paso de tiempo continuo en todo el horizonte de evaluación (Yates *et al.*, 2005).

Para la calidad del agua, el modelo WEAP puede modelar contaminantes conservativos y no conservativos. Contaminantes conservativos son modelados a través de un balance de masa y los contaminantes no conservativos son modelados con diversos métodos que son incorporados en WEAP. Los parámetros que son posibles modelar con WEAP son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura (T), sales y Sólidos Suspendidos Totales (SST). A través de la conexión entre los modelos WEAP y QUAL2K, es posible modelar un grupo al menos 20 parámetros de calidad de agua de forma simultánea (Yates *et al.*, 2005).

Recientemente se desarrolló un Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) para la toma de decisiones y para la evaluación de la calidad del agua de la cuenca del río Litani, en el marco de los planes nacionales de gestión del agua en el Líbano. El análisis de calidad

del agua se realizó mediante el uso de las rutinas de calidad del agua en WEAP, para OD y DBO₅ desarrolladas por Chapra (2008). El modelo desarrollado permitió evaluar el impacto de diferentes sistemas de tratamiento de agua municipales bajo diferentes escenarios de clima (Assaf y Saadeh, 2008).

La primera integración de los modelos WEAP y QUAL2K se realizó en el año 2007, permitiendo modelar hasta 4 fuentes hídricas de manera simultánea, debido a la limitación del modelo QUAL2K en su versión 2.04. Bajo la presente investigación, en el año 2013-2014 se desarrolló la integración computacional de la versión más reciente del modelo WEAP y el modelo QUAL2K en su versión V.2.07, que permitió modelar de manera simultánea hasta 12 fuentes hídricas.

Este artículo presenta los resultados de la integración de los modelos WEAP y QUAL2K desarrollada de manera conjunta entre el SEI y el Instituto Cívara de la Universidad del Valle. La relevancia de esta investigación corresponde la construcción de una herramienta de modelación integrada de los dos modelos de simulación descritos anteriormente, en el caso de estudio de la cuenca del río La Vieja en Colombia.

Con los modelos integrados fue posible evaluar el comportamiento de la calidad del agua superficial del río La Vieja y de 11 de sus principales afluentes. Los parámetros evaluados correspondieron al caudal, mediante el desarrollo de un modelo hidrológico y de demanda, la DBO₅, el OD y la T.

La integración de los modelos permitió dinamizar la escala temporal de las simulaciones que se realizan con el modelo QUAL2K obteniendo resultados de cantidad y calidad en WEAP para cada paso de tiempo, mientras que el modelo QUAL2K permitió una modelación de tipo dendrítico y en la cual la cinética de degradación de los parámetros modelados pudo ser modificada según las condiciones físicas del sistema.

2. ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del río La Vieja se localiza en el centro occidente de Colombia, forma parte de la Ecorregión del Eje Cafetero y tiene una extensión de 2.880 km² que abarcan los departamentos Quindío (68%), Valle del Cauca (22%) y Risaralda (10%) (Figura 1). En función de los parámetros climatológicos y de acuerdo con la caracterización realizada por CRQ *et al.*, (2008), la cuenca del río La Vieja presenta un comportamiento bimodal de la precipitación característico de la zona andina como consecuencia



Figura 1. Localización zona de estudio

de la convergencia intertropical con dos periodos húmedos (marzo-abril-mayo y octubre-noviembre-diciembre) y dos periodos secos (enero-febrero y junio-julio-agosto-septiembre). La precipitación media anual multianual corresponde a 2.072 mm/año, con precipitaciones máximas de 2.400 mm/año y mínimas de 1.700 mm/año. Respecto a la temperatura, esta puede oscilar entre los 4°C en zonas con elevación superior a los 4.000 m.s.n.m y 24°C en zonas con elevación aproximada a los 950 m.s.n.m. El gradiente de este parámetro respecto a la elevación corresponde a una disminución de 0,87 °C por cada 100 m.s.n.m.

El rendimiento hídrico de toda el área de drenaje del río La Vieja (2.880 km²) fue estimado en 34 L/s-km² con una oferta hídrica de 2.975 Mm³/año. El mayor aportante de oferta hídrica dentro del sistema corresponde a la subcuenca del río Quindío (277 km²) con una oferta hídrica de 187 Mm³/año y rendimiento específico de 21 L/s-km². El menor aportante corresponde a la cuenca de la quebrada El Loro (7 km²) con una oferta hídrica de 4,57 Mm³/año y un rendimiento específico de 18 L/s/km² (CRQ *et al.*, 2008).

3. METODOLOGÍA

La evaluación del impacto de las aguas residuales domésticas e industriales se realizó mediante la integración del modelo WEAP en su versión más actualizada y QUAL2K (versión 2.07). El esquema metodológico de la modelación de calidad de agua, mediante la integración de los modelos, se presenta en la Figura 2.

El primer paso consistió en la definición de la escala temporal de análisis a paso de tiempo mensual. La caracterización de la cantidad de agua y la demanda hídrica del sistema fue desarrollada con base en la modelación hidrológica del río La Vieja, realizada por Lozano *et al.*, (2015), que empleó dos puntos de monitoreo de caudal, para la comparación entre las simulaciones realizadas y los registros históricos.

En esta caracterización se realizaron dos modelos, un modelo histórico que fue calibrado y validado para un periodo comprendido entre 1970 y 2010 y un modelo "futuro" para análisis de escenarios en el periodo comprendido entre 2011 y 2050. Para la modelación

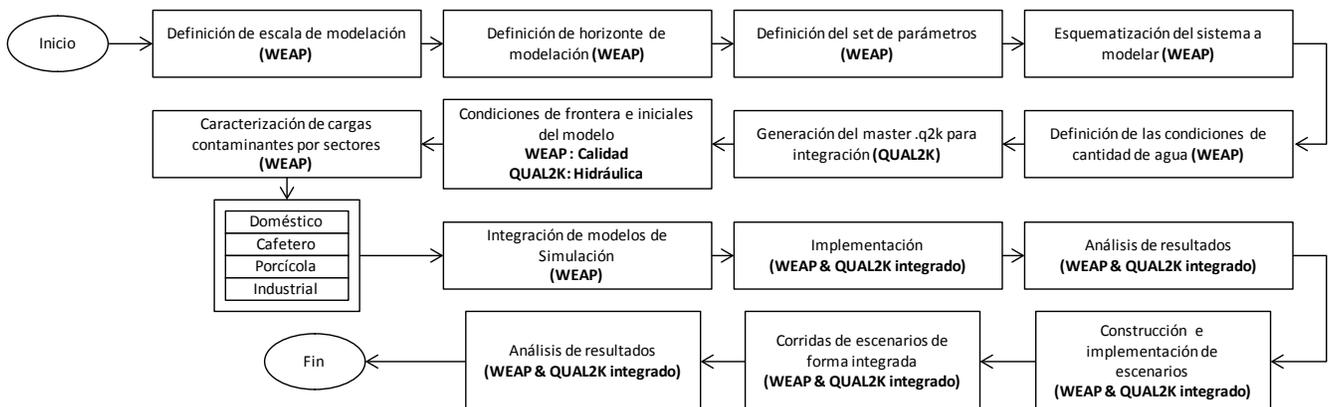


Figura 2. Esquema metodológico de integración de modelos WEAP y QUAL2K

de la calidad de agua se empleó el modelo "futuro" de cantidad y demanda de agua desarrollado por Lozano *et al.*, (2015). El año de línea base para la modelación de calidad fue el 2011, que permitió el uso de información existente (Tabla 1) para una calibración preliminar

Tabla 1. Fuentes de información para la calidad del agua en la cuenca del río La Vieja.

Fuente de información	Descripción	Parámetros monitoreados	Periodo y frecuencia de monitoreo
CVC, UTP y Aguas y Aguas	Muestreos históricos de calidad en el cauce principal del río La Vieja y río Consota	DBO, OD, pH, T, SST, Nitratos, Sulfatos, Fosfatos, Coliformes, Dureza Turbiedad	Periodo: 2006 - 2010 Frecuencia: muestreo semestral (invierno-verano)
Universidad del Quindío <i>et al.</i> , (2012)	Histórico de muestreos de calidad en el cauce principal del río Consota	DBO, SST, pH, T, Coliformes	2007 - 2010
Universidad del Quindío <i>et al.</i> , (2012)	Programa de monitoreo de la cantidad y la calidad del recurso hídrico.	DBO, SST, pH, T OD, Coliformes totales y fecales	Periodo: 2011 Frecuencia: Seguimiento de masa de agua mediante monitoreo de 57 puntos

La estimación de cargas contaminantes por sectores productivos se realizó con base en la revisión de literatura y algunas caracterizaciones de vertimientos realizada por la Universidad del Quindío *et al.*, (2012).

Las cargas contaminantes del sector cafetero se estimaron con base en la metodología desarrollada por Comité de Cafeteros y CVC (2012). Todos los vertimientos fueron representados en WEAP como cargas puntuales, que fueron localizadas de forma distribuida en la cuenca según su ubicación en las diferentes subcuencas y su aporte a los afluentes.

Los criterios considerados para la determinación de cargas fueron específicos para cada sector productivo. Para el sector doméstico se consideró la población de cada municipio y la carga contaminante generada por habitante/día.

Para el sector industrial se consideraron las auto declaraciones de carga contaminante vertida en los cuerpos hídricos, que realizan las industrias a las autoridades ambientales y para los sectores cafetero y porcícola: se consideraron los periodos de producción, las cargas contaminantes por unidad productiva y las producción de cada sector. En el sector cafetero se consideró el manejo que los caficultores colombianos realizan a los subproductos del café.

Los parámetros de calidad del agua definidos para esta investigación correspondieron a DBO₅, OD y Temperatura.

El sistema hídrico modelado se consideró de tipo dendrítico con 11 afluentes al río La Vieja que corresponde al cauce principal. La esquematización para la modelación de calidad se realizó en el componente de modelación hidrológica en WEAP. Para la esquematización se consideraron dos características hidrológicas: i) la red de drenaje que considera 150 áreas de drenaje (denominadas catchments en el modelo WEAP) y ii) la elevación de la media de la cuenca que determina la dirección de flujo del agua desde el terreno al cauce de modelación.

Para la esquematización de la zona de estudio en WEAP, se emplearon coberturas cartográficas correspondientes al límite de la cuenca del río La Vieja, las subcuencas, coberturas de suelo, los límites departamentales, las cabeceras municipales, la red hídrica y el modelo digital de terreno. Para la caracterización hidráulica se emplearon secciones transversales del río La Vieja y de sus principales tributarios. Con esta información y datos de aforos de la zona se obtuvieron las relaciones caudal-profundidad-ancho de cada fuente a simular por tramos.

Una vez realizada la caracterización de la calidad y la cantidad de agua en WEAP, se desarrolló la esquematización en QUAL2K (V.2.07) que permitió la integración de los modelos de simulación. Para la integración de los modelos de manera computacional, se modificó el código de programación de WEAP que permitió la lectura de los datos hidroclimáticos como condiciones de frontera desde el WEAP para ser migrados al modelo QUAL2K.

Para el análisis de escenarios de calidad de agua frente al cambio climático, el horizonte de modelación se definió con el modelo "futuro" desarrollado para el periodo 2011 y 2050, que permitió analizar escenarios de cambio climático construidos específicamente para la zona de estudio con el apoyo del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCAR, por sus siglas en inglés).

Otros escenarios para la evaluación del impacto de las aguas residuales en la cuenca del río La Vieja fueron construidos mediante la implementación del análisis XLRM, el cual es una metodología para la identificación y construcción del problema asociado al manejo de los recursos hídricos.

El XLRM contextualiza, de manera participativa, el problema, sus causas y efectos a través de la caracterización de incertidumbres y estrategias que

contribuyen al mejoramiento del sistema físico, que en este caso consiste los recursos hídricos (Valencia *et al.*, 2013). Mediante el desarrollo de 2 sesiones de trabajo con diferentes actores de la cuenca del río La Vieja se identificaron las incertidumbres (X) y estrategias (L) para la gestión del agua en el contexto local.

Mediante el combinatorio de las incertidumbres y estrategias se construyeron los escenarios que fueron simulados bajo la integración de los modelos (R) que permitieron extraer medidas de desempeño (M), que para este caso correspondieron a indicadores de calidad del agua como DBO₅, OD y T.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Línea base de la calidad del agua

El sistema dendrítico modelado fue esquematizado y sistematizado en WEAP (Figura 3). Los resultados de la integración de modelos para la línea base, considerada en el mes de enero del año 2011, se presenta en las Figuras 4 y 5 que corresponden a los perfiles longitudinales para el Caudal, la DBO₅ la T y el OD en el cauce principal del río La Vieja.

El perfil de la DBO₅ y del OD para el sistema hídrico modelado, y en comparación con las observaciones históricas realizadas, se presenta en la Figura 4-superior. La condición de cantidad y temperatura asociada a las observaciones históricas se presenta en la Figura 4-Inferior.

En función de la DBO₅, se observó que la modelación representa las condiciones típicas históricas para el cauce principal. Especialmente el primer incremento de la concentración de la DBO₅ se presenta aguas abajo del río Espejo, en el cual se vierten las residuales domésticas de Armenia, aproximadamente a 16,6 km desde la confluencia de los ríos Quindío y Barragán.

El segundo incremento de la DBO₅ corresponde al impacto del río Consota, que recibe las aguas residuales del municipio de Pereira, aproximadamente a 72,4 km del nacimiento del río La Vieja. En el total de su tránsito, el río La Vieja incrementa su DBO₅ aproximadamente en 2 mg/L desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Cauca.

De la comparación del perfil de OD simulado respecto a las mediciones históricas puntuales, la modelación representó las condiciones del cauce principal (Figura 4-superior). Especialmente el comportamiento del OD es el esperado, presentando mayor magnitud de concentración hacia el nacimiento del sistema hídrico. A medida que el río es impactado la concentración de OD disminuye en aproximadamente 1 mg/L desde su nacimiento hasta su confluencia con el río Cauca.

En la Figuras 5 se observa la variación espacio-temporal de la DBO₅ y el OD, debido a la dinamización mensual de la simulación con WEAP.

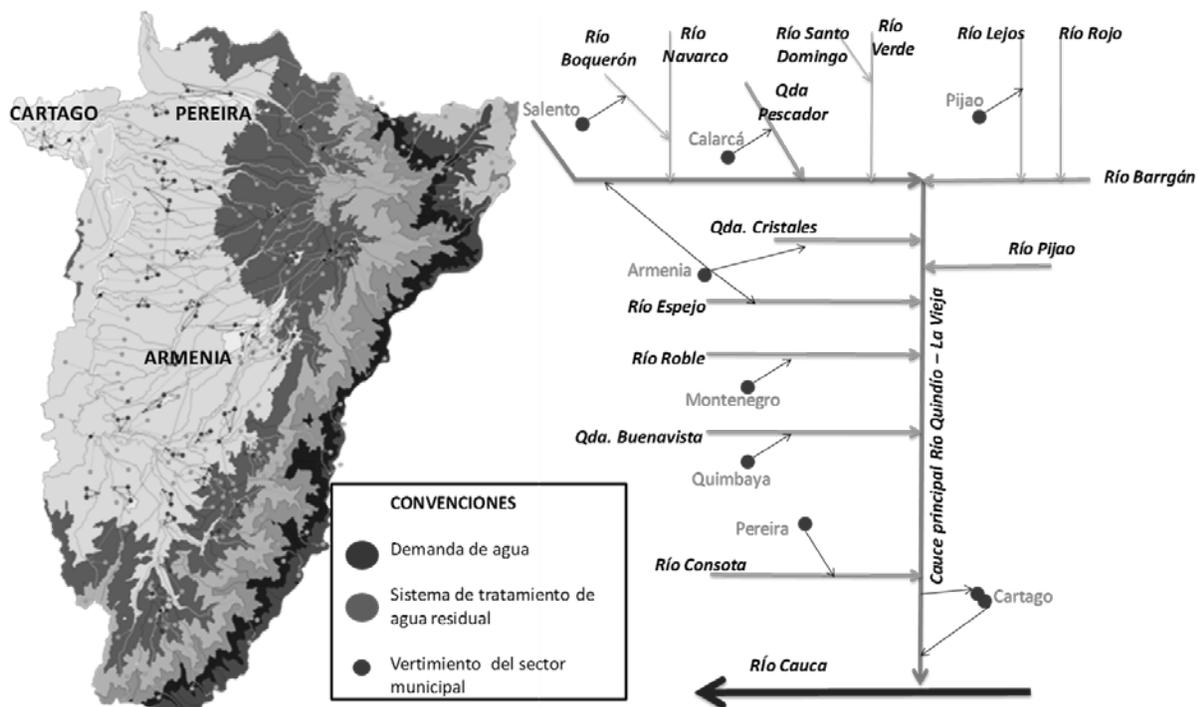


Figura 3. Esquematización del sistema dendrítico modelado en WEAP

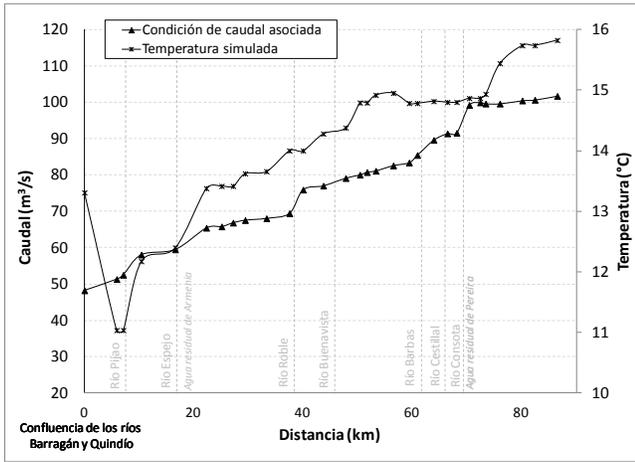
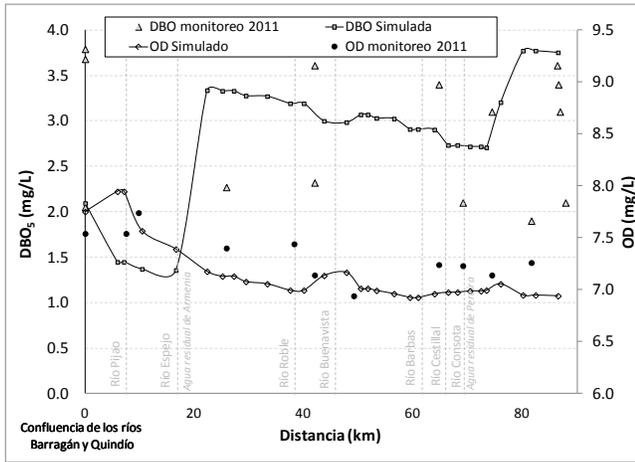


Figura 4. Perfiles de calidad del río La Vieja. Condición de línea base (Enero 2011). Superior: Perfil de DBO₅ y OD simulado y monitoreado 2011. Inferior: Condición de cantidad y temperatura simuladas, asociadas a las condiciones del monitoreo de enero de 2011

La variación mensual de la DBO₅ presenta valores máximos en los meses de abril y mayo meses en los cuales se realiza la cosecha principal de Café en la región. Esto implica una mayor generación de carga contaminante (2,3 ton DBO₅ /día), dando como resultado el comportamiento de los perfiles simulados (Figura 5-superior).

Los meses de menor concentración de la DBO₅ corresponden a octubre, noviembre, diciembre y enero. En estos meses se aunque se realiza beneficio de café, generando aportes de carga contaminantes al cuerpo receptor, la condición hidrológica favorece a la dilución de la carga contaminante por efecto de la precipitación. En los meses correspondientes a Julio, agosto y septiembre no se realiza beneficio de Café por tanto el aporte de carga contaminante es menor. Sin embargo la condición hidrológica de verano, hace que la contaminación de otros sectores (Doméstico e Industrial) impacte el cuerpo receptor obteniendo el perfil de calidad simulado.

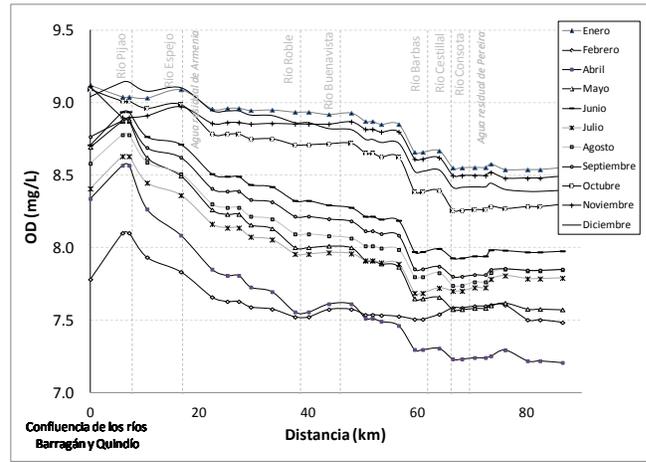
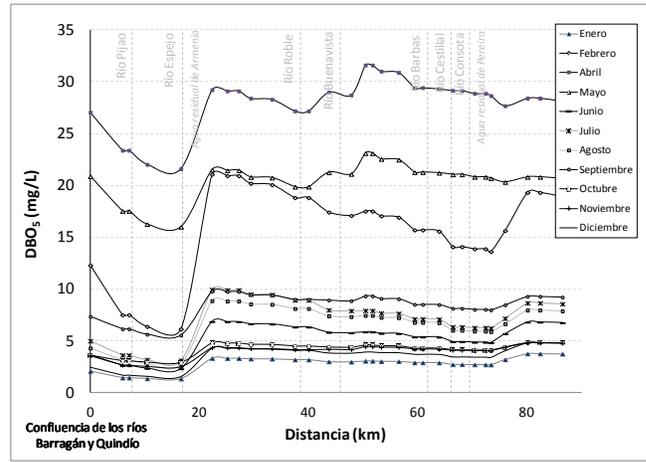


Figura 5. Variación mensual de la calidad del agua Superior: Perfil de DBO₅ simulada 2011. Inferior: Perfil de OD simulado 2011

La variación temporal del OD que presenta valores mínimos en los meses de febrero, abril, julio y agosto y valores máximos en los meses de enero, diciembre, octubre y noviembre (Figura 5-inferior). Esto obedece a la variación en el aporte de las cargas contaminantes de los diferentes sectores y al comportamiento climatológico de la zona de estudio.

En todas las simulaciones realizadas para la condición de Línea Base (a escala mensual para el año 2011) se observó el efecto de las descargas de agua residual de los diferentes sectores mediante el aumento de la DBO₅ y disminución del OD en el recorrido del cauce principal del río La Vieja.

4.2 Análisis de escenarios de calidad de agua

Los resultados asociados a la construcción y simulación de escenarios de control de la contaminación hídrica, surgen de la implementación del análisis XLRM, ajustados a cada uno de los componentes de análisis en el sistema de recursos

hídricos (cantidad y calidad), donde se identificaron para el estudio de la calidad del agua del río La Vieja, 4 tipos de incertidumbres y 3 estrategias de prevención y control de la contaminación (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del XLRM para la construcción de escenarios de calidad del agua

XLRM	TIPO / SECTOR	INCERTIDUMBRE / ESTRATEGIA
Incertidumbre (X)	Clima	Variabilidad Climática
		Cambio Climático
	Urbano	Cambio demográfico
		Consumo de agua por persona
Agrícola	Variabilidad en la producción	
Estrategias (L)	Municipio	Implementación de Sistemas de tratamiento de aguas residuales (STAR)
	Cafetero	Implementación de beneficio ecológico
		Implementación de Sistema modular de tratamiento anaeróbico de aguas residuales de beneficio de café (SMTA)

En función de las incertidumbres en esta investigación se desarrollaron 30 escenarios de cambio climático con el apoyo del NCAR, de los cuales 6 fueron priorizados para el caso de estudio, siendo estos representativos del clima histórico analizado y de las condiciones extremas en función de la Temperatura y la Precipitación.

Para este artículo, la calidad del agua fue analizada en el escenario climático con incremento en la precipitación en un 7% y un aumento de temperatura

de 1,2 °C respecto al clima histórico. La variabilidad climática del año de referencia 2011 fue considerada con base en el período histórico, como resultado del modelo hidrológico implementado con variaciones bimodales características de la zona de estudio.

El cambio demográfico fue considerado bajo 3 posibles valores según las proyecciones del DANE (2005) y el consumo de agua por persona se mantuvo constante para el desarrollo de las simulaciones presentadas en este artículo.

En la identificación de las estrategias de calidad de agua, los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, propuestos por los municipios de la cuenca del río La Vieja, cumplirán con el requerimiento normativo colombiano con una eficiencia de remoción de la DBO₅ del 80%. Los Sistemas de tratamiento anaeróbico identificados para el sector cafetero fueron propuestos con una eficiencia de remoción de DBO₅ del 70% (Roa *et al.*, 2009).

En función de la construcción de las estrategias de control de la contaminación hídrica, en la implementación de PTAR para el sector municipal se consideraron 3 elementos: i) año de inicio de la PTAR, ii) cobertura de la PTAR en función del sistema de recolección de las aguas residuales del municipio y iii) la eficiencia de remoción de la DBO₅. En total fueron considerados 20 municipios en la zona de estudio (Tabla 3).

Tabla 3. Implementación de PTAR en los municipios de la cuenca del río La Vieja

Municipio	Elemento 1. Implementación PTAR			Elemento 2. Aumento de la cobertura			Elemento 3. Aumento de la eficiencia		
	Año de inicio	Eficiencia	Cobertura	Año	Eficiencia	Cobertura	Año	Eficiencia	Cobertura
Caicedonia	2011	88	35	2015	88	100			
Cartago	2019	50	100				2033	80	100
Armenia	2033	80	71						
Buenavista	2011	70	70						
Buenavista	2019	80	30						
Calarca	2023	80	52						
Calarca	2023	80	48						
Circacia	2023	80	73						
Córdoba	2015	80	100						
Filandia	2019	80	19						
Filandia	2019	80	81						
Génova	2023	80	100						
Montenegro	2023	80	10						
Montenegro	2019	80	90						
Tebaida	2011	65	70	2015		100	2015	80	
Pijao	2023	80	100						
Salento	2011	65	70	2015		100	2015	80	
Salento	2011		30						
Quimbaya	2019	80	100						
Pereira	2018	30	70	2025		100	2025	80	
Ulloa	2011	80	30	2015	80	100			
Alcalá	2023	80	100						

En la construcción de la estrategia de implementación de SMTA para el sector cafetero, se consideró la variación temporal de la producción de carga contaminante de acuerdo con el comportamiento de los periodos de beneficio en la región, que corresponden a una cosecha principal en los meses de marzo, abril y mayo y una cosecha menor o mitaca en los meses de septiembre, octubre y noviembre.

Combinadas incertidumbres y estrategias, se obtuvieron 57 escenarios de calidad del agua. Cada escenario fue simulado y comparado con su situación tendencial (condición en la cual no se implementa ninguna estrategia pero si existe impacto por las incertidumbres) en dos horizontes de evaluación 2019 y 2033 (Figura 6).

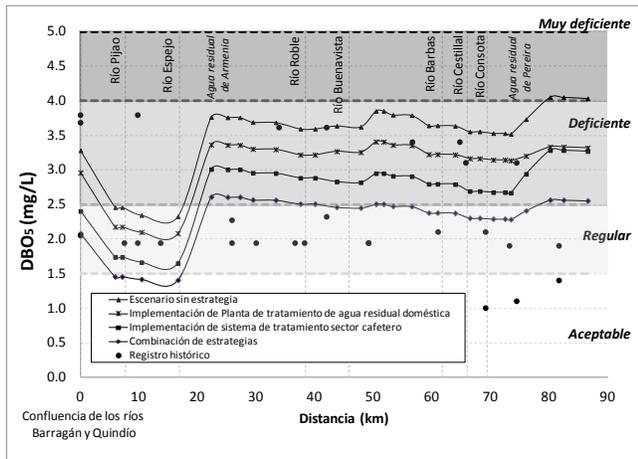
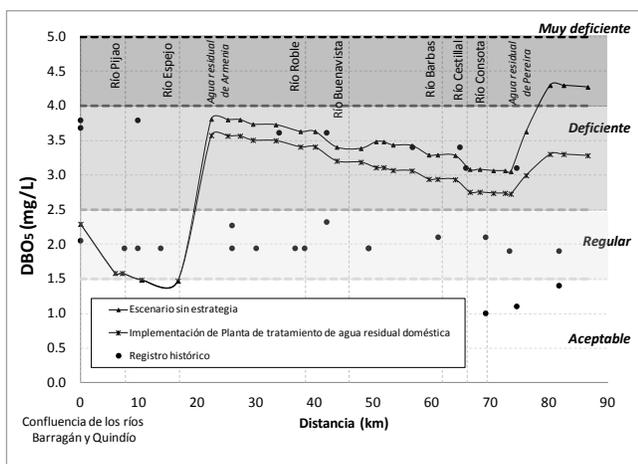


Figura 6. Evaluación de escenarios en el río La Vieja. Superior: Año de evaluación 2019. Inferior: Año de evaluación 2033.

En la Figura 6-superior se presenta la evaluación de la implementación de PTAR al año 2019. Se observó que tanto la situación tendencial como el escenario de implementación de PTAR presentan un comportamiento similar, sin embargo la condición de calidad del río La Vieja presenta un incremento luego de su paso por el municipio de Armenia, con un

decremento de aproximadamente 0,5 mg /L de DBO₅. Esta condición de mejora tiende a incrementarse a medida que el cauce del río La Vieja transcurre, recibiendo las aguas residuales tratadas de los 19 municipios restantes.

En la Figura 6-inferior se presenta la evaluación de los escenarios implementados al año 2033. Todos los escenarios presentan la misma tendencia en el comportamiento de la DBO₅, sin embargo la estrategia combinada entre implementación de PTAR y SMTA presenta el mejor impacto en el cauce principal del río La Vieja, incluso recuperando el río desde una condición catalogada de "Deficiente" a "Regular" para fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, de acuerdo con el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

En la evaluación de las dos estrategia de prevención y control de la contaminación hídrica, se observa un mejoramiento del cauce principal, en función de la DBO₅, debido a la implementación de estrategias de manera simultánea y a escala de cuenca.

5. CONCLUSIONES

Con la integración de los modelos WEAP y QUAL2K, para la simulación de la calidad del agua de fuentes hídricas superficiales, fue posible evaluar el impacto de las aguas residuales provenientes del sector doméstico y agroindustrial. Esta integración de las herramientas computacionales es de utilidad debido a la simbiosis de escalas espacio-temporales de ambos modelos y por permitir modificar parámetros en los diferentes elementos de río. Esta integración permite la dinamización de la escala espacio-temporal y la integración entre modelos hidrológicos y de cauces superficiales.

Con el modelo de línea base desarrollado y calibrado para el caso de estudio, es posible evaluar escenarios para la prevención y control de la contaminación hídrica en la cuenca del río La Vieja. Estos escenarios pueden ser desarrollados en el marco del análisis de decisiones robustas y con objetivo de planificación ambiental.

El modelo desarrollado para la evaluación de escenarios permitió evaluar estrategias para el control de la contaminación a escala de cuenca. La importancia de este tipo de evaluación, corresponde a la simplificación de sistemas de complejos que contribuyen a la planificación hídrica por sectores y a diferentes tipos de actores. La cuenca como unidad de análisis representa un sistema complejo, que mediante la integración de los modelos WEAP y QUAL2K puede ser

analizada de forma sistémica y en el marco de las decisiones robustas.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Gobierno de los Estados Unidos de América por la financiación del proyecto "Construcción de capacidades frente al Cambio Climático: Ríos del páramo al valle por urbes y campiñas", a través de La Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y bajo la coordinación técnica del Instituto del Medio Ambiente de Estocolmo (SEI).

También expresan sus agradecimientos a los socios directos del proyecto: Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ), Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Aguas y Aguas de Pereira, Grupo de investigación CIDERA de la Universidad del Quindío, Grupo de Investigación EIS de la Universidad Tecnológica de Pereira y al grupo de investigación GIRH del Instituto Cinara de la Universidad del Valle.

7. BIBLIOGRAFÍA

Assaf, H., y Saadeh, M. (2008). Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon, using an integrated GIS-based decision support system. *Environmental Modelling & Software*, 23(10), 1327-1337.

Chapra, S. (2008). *Surface water-quality modeling*, Waveland press, Long Grove, Estados Unidos.

Comité de Cafeteros, y CVC. (2012). Taller regional para la definición de cargas contaminantes del sector cafetero. Cartago, Colombia.

CRQ, CVC, CARDER, UAESPNN, MAVDT, IDEAM, y GTZ. (2008). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja.

DANE. (2005). Censo general. Colombia.

EPA. (2013). River and Stream Water Quality Model (QUAL2K). <http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html>.

Lozano, G., Rodríguez, C., Purkey, D., Escobar, M., Castaño, J., Sabas, C., Galvis, A., y Jaramillo, M. F. (2015). Modelación hidrológica de cuencas hidrográficas en WEAP como una herramienta de evaluación y adaptación al cambio climático. Caso de estudio cuencas de los ríos La Vieja y Otún en la región cafetera de Colombia En: *Water Week Latinoamérica 2015*, Santiago de Chile, Chile.

MAVDT. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico

Pai, T.-Y., Huang, J.-T., Wang, S.-C., Chang, D.-H., Huang, K.-J., Lee, C.-C., Lin, S.-R., Tseng, C.-H., Sung, P.-J., y Leu, H.-G. (2010). Evaluation of Ecological Water Purification Processes in Dali River Using QUAL2K. *Journal of Environmental Engineering and Management*, 20(4), 239-243.

Phurisamban, R. (2014). Addressing Climate Change Adaptation in Water Resource Management: A Case Study of the Sacramento Region. University of California, Berkeley.

Rashed, A. A., y El-Sayed, E. (2014). Simulating Agricultural Drainage Water Reuse Using QUAL2K Model: Case Study of the Ismailia Canal Catchment Area, Egypt. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(5).

Roa, G., Oliveros, C., Álvarez, J., Ramírez, C., Sanz, J., Davila, M., Álvarez, J., Zambrano, D., Puerta, G., y Rodríguez, N. (2009). Beneficio ecológico del Café, Chichiná, Colombia.

Universidad del Quindío, Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad del Valle, CRQ, CARDER, y CVC. (2012). Ordenación del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río la Vieja mediante el Desarrollo de una Metodología con Criterios de Eficiencia Económica e Implementación de Herramientas de Apoyo a la Decisión. Informes en proceso de revisión., Armenia, Quindío.

Valencia, J., Forni, L., Castaño, J., Purkey, D., Escobar, M., Sabas, C., Lozano, G., Rodríguez, C., Galvis, A., y Jaramillo, M. (2013). Aplicación de la metodología XLRM para la definición de escenarios de modelación en WEAP: Una herramienta para la construcción de modelos de cambio climático. En: *AGUA2013. Seminario Manejo del riesgo en el ciclo del agua.*, Cali, Colombia.

Vicuña, S., Coello, C., y Cisneros, F. (2009). Modelación hidrológica de recursos hídricos de la cuenca del río Paute. En: *XII Seminario Latinoamericano: Agua y Cambio Climático*, Chile.

Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., y Huber-Lee, A. (2005). WEAP21. A demand, priority, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics. *Water International*, 30(4), 487-500.

Zainudin, Z., Rahman, N. A., Abdullah, N., y Mazlan, N. F. (2010). Development of Water Quality Model for Sungai Tebrau using QUAL2K. *Journal of Applied Sciences*, 10, 2748-2750.

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE Y AGUA VIRTUAL DE CAFÉ BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO USANDO WEAP

ESTIMATING WATER FOOTPRINT AND VIRTUAL WATER IN THE PRODUCTION OF GREEN COFFEE CONSIDERING CLIMATE CHANGE SCENARIOS USING WEAP

John Alexander Chavarro^{1}, Jorge Iván Chavarro², Marisa Escobar³*

Resumen

Para la determinación de la huella hídrica verde y agua virtual en el cultivo del café se utilizó el método de modelación de crecimiento de la planta PGM integrado a WEAP. El área de estudio es la cuenca del río Guarapas en el Departamento del Huila, la cual es de interés ambiental para la conservación del macizo colombiano y su diversidad de servicios ecosistémicos, uno de estos es la generación de agua. El cultivo de café en esta área representa la actividad agrícola de mayor importancia e impacto en la economía rural, generando una fuerte presión sobre el ecosistema. Como resultado de la implementación de WEAP-PGM se cuenta con la modelación de los sistemas de producción de biomasa de 8 tipos de coberturas presentes, la demanda hídrica actual y futura bajo escenarios de cambio climático para consumo humano y coberturas y un modelo hidrológico de la cuenca del río Guarapas utilizado para determinar incertidumbres y ayudar en la formulación de estrategias de adaptación ante 8 posibles escenarios.

Palabras Clave: Huella hídrica verde, Agua virtual, café, cambio climático, gestión integral del de recursos hídricos, modelación hidrológica, modelo de la planta, WEAP

Abstract

The method of modeling the growth of integrated PGM WEAP plant was used for the determination of the green water footprint and virtual water in the cultivation of coffee. The study area is Guarapas river basin in the Department of Huila, which is environmental conservation interest of the Macizo Colombiano and diversity of ecosystem services, one of which is the generation of water. The cultivation of coffee in this area represents the most important agricultural activity and impact on the rural economy, generating strong pressure on the ecosystem. As a result of the implementation of WEAP-PGM it has modeling systems of biomass production of 8 types of coverages present current and future water demand under scenarios of climate change for human consumption and hedges and a hydrological model Guarapas River Basin used to determine uncertainties and assist in developing strategies to adapt to 8 possible scenarios.

Keywords: Green water footprint, virtual water, coffee, climate change, integrated management of water resources, hydrologic modeling, model of plant growth, WEAP.

^{1*} Ing. Agrícola Candidato a M.Sc. Hidrosistemas, investigador auxiliar, Centro de Investigación CENIGAA, john.chavarro@cenigaa.org

* Autor corresponsal

² Ing. Agrícola Candidato a M.Sc. Hidrosistemas, investigador auxiliar, Centro de Investigación CENIGAA, jorge.chavarro@cenigaa.org

³ Ing. Civil, M.Sc. Ingeniería Civil y Ambiental, P.hD. Ciencias Hidrológicas, marisa.escobar@sei-international.org

Introducción

El desarrollo económico, el rápido aumento de la población, la aceleración en los procesos de urbanización y aspectos como la variabilidad y cambio climático están creando nuevos desafíos en relación a la escasez de agua cada vez mayor en todo el mundo [1]. Estos nuevos escenarios, generan la necesidad de re-estructurar y re-equilibrar el uso de los recursos naturales orientado en la sostenibilidad, habitabilidad y la productividad de las regiones [2], motivando el desarrollo de nuevos conceptos como son la seguridad alimentaria, la seguridad energética y la seguridad hídrica, todos estos relacionados con la disponibilidad del agua. Los más recientes informes del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) han resaltado que la frecuencia, intensidad, periodicidad y estacionalidad de eventos climáticos extremos (inundaciones, ciclones tropicales, olas de calor, sequías prolongadas, entre otros) aumentarían en el contexto de los escenarios de cambio climático, generando efectos directos e indirectos en las condiciones meteorológicas locales [3]. Los fenómenos de variabilidad climática extrema, tienen una fuerte incidencia sobre las variables meteorológicas, entre ellas la precipitación, una de las más susceptibles a este tipo de eventos. La necesidad de conocer y estudiar la riqueza hídrica de Colombia, su actual uso y aprovechamiento impulsaron la generación de manera periódica el Estudio Nacional del Agua (ENA), como un insumo técnico para la planificación y la gestión integrada del recurso hídrico para el apoyo de la toma de decisiones; este

estudio cuenta con una serie de índices que permite realizar un análisis integrador a gran escala, así: (i) Índice del Uso de Agua, (ii) Índice de Retención y Regulación Hídrica, (iii) Índice de Vulnerabilidad Hídrica por Desabastecimiento, (iv) Índice de Calidad el agua, entre otros [4]. Otras experiencias en relación a la planificación del uso y gestión integral del recurso hídrico en el país ante escenarios de cambio climático, estimaciones de oferta y demanda, huella hídrica, entre otros [5–7], han sido muy importantes en la ampliación entorno al actual estado del recurso hídrico en diferentes regiones y como su oferta podría variar dependiendo de los escenarios de cambio climático. Sin embargo, los estudios e iniciativas anteriores responden a temas de gran escala alrededor del recurso hídrico y su inferencia sobre las regiones es restringida.

Uno de los principales retos hoy en día para la humanidad, están asociados a enfrentar las consecuencias de los cambios acelerados del clima, los cuales tienen un fuerte impacto en los recursos naturales, la sociedad y la economía [8]. El análisis de los escenarios de cambio climático para Colombia, dejan ver posibles aumentos en la temperatura media en el periodo 2011-2014 de 1°C en los 4 escenarios RCP (Caminos representativos de concentración, por sus siglas en inglés); Los resultados en relación a la precipitación muestran que para la región Caribe y la Amazonia en el periodo de 2011-2100 presentarían una disminución del orden del 10-40%; para el centro y norte de la región Andina habrían incrementos entre 10 y 30%, siendo el eje cafetero, la cuenca alta del río Cauca y el Altiplano Cundiboyacense con mayor

aumento. Finalmente, en la Orinoquía y el resto del país los cambios en la precipitación no son tan significativos al encontrarse en el orden del +/-10% [8].

El modelo de la cuenca del río Guarapas se construye en el marco del proyecto “Creando capacidad de adaptación en la planeación de los recursos hídricos: Río del páramo al valle, por urbes y campiñas” iniciado en 2012, donde su principal objetivo es el fortalecimiento de la capacidad de adaptación de la sociedad frente al cambio climático alrededor de la planificación del recurso hídrico, desarrollado a través de un convenio interinstitucional entre el Centro de Investigaciones en Ciencias y Recursos Geoambientales (CENIGAA) y el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI, por sus siglas en inglés). En el presente documento se trata de describir los detalles del modelo y sus resultados; además explica cómo se utilizó la herramienta WEAP, y muestra de manera amigable como los resultados permiten a los tomadores de decisión administrar de manera eficiente el preciado recurso bajo diferentes escenarios climáticos mediante el diseño de medidas adaptativas.

Materiales y métodos

La cuenca del Río Guarapas (ver Figura 1) está situada en sur del departamento del Huila (sur occidente colombiano) en la jurisdicción de los municipios de Palestina y Pitalito, entre las coordenadas 1° 30'N a 1°59'N y 76°24'W a 75°56'W. El río nace en el macizo colombiano en el flanco occidental de la cordillera oriental a una altura aproximada de 2715 msnm en la vereda Villas del macizo en el municipio de Palestina. Este sistema hidrográfico forma parte de la región cafetera más

importante del Huila, y tiene un área aproximada de 705.54 Km². Por encontrarse en su totalidad en el departamento del Huila, esta cuenca es administrada por la autoridad ambiental Corporación del Alto Magdalena (CAM).

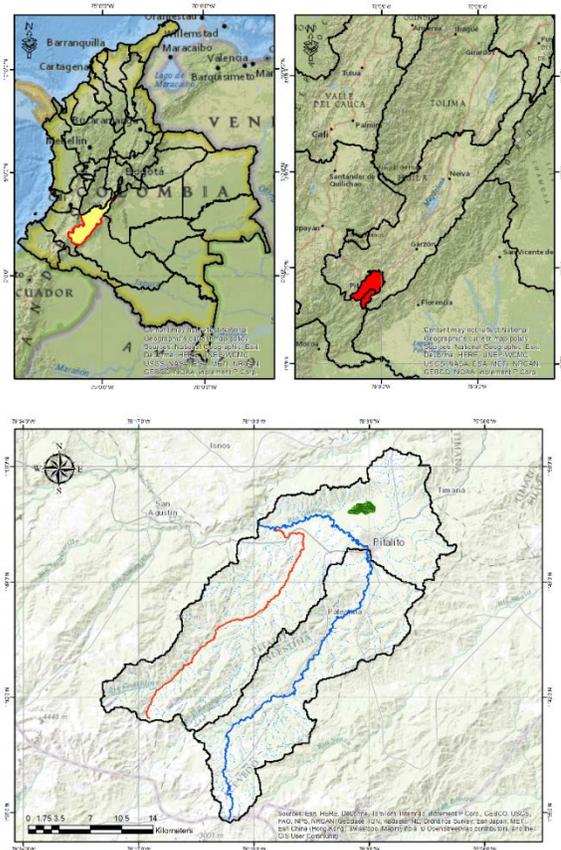


Figura 1 Localización geográfica de las cuencas Río Guachicos (rojo) y Río Guarapas (azul).

La cuenca hidrográfica del río Guarapas es un área de carácter estratégico que tiene reconocimiento internacional al integrar la Reserva de la biosfera Cinturón Andino, declarado por la UNESCO en 1979, constituye uno de los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad global de la Eco región de los Andes del Norte de acuerdo a la WWF es considerada uno de los 25 “Hot spot” de la

biodiversidad a nivel mundial de acuerdo a Conservación Internacional⁴.

Con la aplicación local del modelo WEAP (Sistema de Evaluación y Planeación del Agua), una herramienta que permite modelar la hidrología y la gestión del recurso hídrico en varios escenarios posibles, se realizó la modelación hidrológica de la cuenca del río Guarapas incluyendo análisis de:

- Oferta y demanda de las principales cabeceras municipales
- Caudal en la desembocadura en el río Magdalena, punto de cierre de la cuenca
- Producciones del cultivo de Café Cereza (fruta en bruto sin post-proceso para comercialización)

Con este modelo se busca generar y evaluar escenarios futuros asociados a la variabilidad climática, y adoptar estrategias de adaptación al cambio climático (proyectados al año 2050) a resolución diaria. Se utilizó información hidroclimatológica suministrada por instituciones de carácter nacional de la red de monitoreo hidrometeorológico nacional administrado por IDEAM.

La cuenca del río Guarapas fue modelada en WEAP a escala de sub-cuencas, y estas a su vez, por bandas de elevación (cada 500 metros) con el fin de capturar la variabilidad espacial en temas de producción agrícola que imprime el clima. De esta forma se modeló 2 corrientes, río Guachicos y Guarapas, y además se consideró las demandas por consumo humano de los acueductos de Palestina y Pitalito. En total, se evaluó 6 coberturas vegetales: bosque, café, cultivos agrícolas,

pastos, suelo desnudo y zonas urbanas a partir de información de coberturas suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Alto Magdalena (CAM) actualizada al año 2010. Se empleó información del punto de monitoreo hidrológico, estación Pitalito 2 (código nacional: 21017050), ubicado sobre el río Guarapas constituyéndose este como el punto de cierre de esta sub-cuenca. En la modelación hidrológica se utilizó el método lluvia-escorrentía de Crecimiento de la Planta (PGM por sus siglas en inglés) implementado en WEAP. El modelo de crecimiento de la planta es un método de simulación diaria del crecimiento de la planta y sus más importantes procesos fisiológicos como transpiración, procesos del ciclo del agua en la atmósfera como la evaporación y prácticas culturales del cultivo como las programaciones de riego, y por supuesto la producción de biomasa del cultivo. Como entradas al modelo requeridas por el método seleccionado, se obtuvo:

- *En clima:* precipitación, temperaturas máximas y mínimas, velocidad del viento, radiación solar, punto de rocío y/o humedad relativa máxima y mínima y concentración atmosférica de CO₂ todas estas a resolución diaria.

- *Uso del suelo:* mapas de coberturas del suelo, albedo, capacidad de almacenamiento del suelo, tipo de suelos, entre otros. La información cartográfica fue suministrada por la Corporación Regional del Alto Magdalena (CAM) derivada del Plan de ordenamiento de la Cuenca hidrográfica de Guarapas 2009 (ver Figura 2).

⁴ POMCH Río Guarapas, 2009

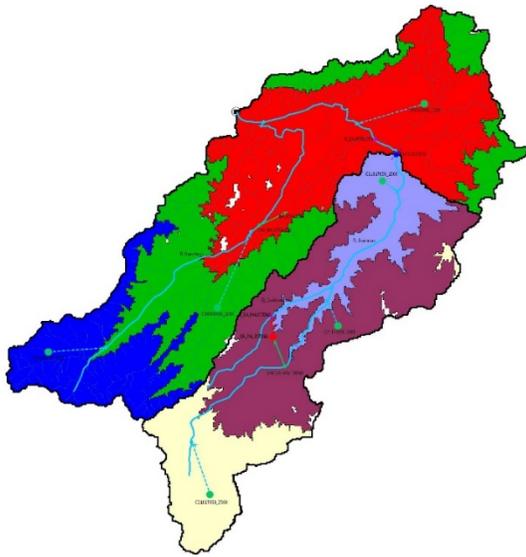


Figura 2 Esquema topológico de la cuenca del Río Guarapas

Con respecto a las entradas de precipitación se consideró construir campos de precipitación dado que el monitoreo de dicha variable dentro de la cuenca es limitado como se evidencia en la baja densidad de estaciones dentro del área de estudio. Por lo tanto, se aplicaron técnicas de interpolación a un conjunto de 38 estaciones de tipo pluviométrica, pluviográfica, climatológica ordinaria y/o principal arrojando como mejor resultado la metodología de interpolación de Krigging. En cuanto a datos de temperatura máxima y mínima, estos se determinaron a partir de la relación entre los valores medidos de temperatura máxima y mínima diaria de un conjunto de 9 estaciones de tipo climatológico ordinario y/o principal, y las elevaciones medias de las áreas en estudio mediante la aplicación de una regresión lineal, esto con el fin de representar de la mejor manera las diferencias en temperaturas de las diferentes sub-cuencas (bandas de elevación). En el caso del parámetro radiación solar se utilizaron los datos de

brillo solar de la estación 21055020 cercana a la cuenca del Río Guarapas. Para la humedad relativa máxima, temperatura mínima y velocidad del viento se utilizaron los promedios de las estaciones cercanas al área de estudio, lo anterior a falta de mediciones directas disponibles al interior de la cuenca Guarapas. Con respecto a los datos de CO₂ en la atmósfera, fueron utilizados los disponibles en el IPCC⁵, tanto para los registros históricos como los de sus proyecciones.

En el modelo hidrológico se utilizó el modelo de crecimiento de la planta (PGM), el cual es un modelo matemático de simulación diaria del crecimiento de las plantas, que involucra procesos como la transpiración, la evaporación, el riego, la fertilización, producción de biomasa, entre otros. El modelo tiene en cuenta aspectos importantes como la disponibilidad de agua en el suelo, la concentración del CO₂ en la atmósfera y por supuesto el clima. No solo modela cultivos agrícolas sino también coberturas no comerciales como bosques y otras coberturas verdes.

Los modelos son abstracciones de los sistemas reales y constituyen una poderosa herramienta de análisis y también de predicción (con alguna incertidumbre) de fenómenos. De esta forma, el proceso de ajuste de parámetros o calibración del modelo busca a través de algoritmos de optimización, tanteo y error y/o criterio de experto encontrar el conjunto de parámetros óptimos que representen de la mejor manera la variable de estado del sistema (en nuestro caso los registros históricos de la producción de café cereza), pero también las demás variables que componen el ciclo hidrológico como

⁵ http://www.ipcc-data.org/observ/ddc_co2.html

caudales, humedad en el suelo, evapotranspiración real, etc. Normalmente, y para evitar juicios sesgados en la selección de los parámetros óptimos se utilizan métricas de desempeño para evaluar la bondad de ajuste del modelo a nuestros datos históricos. Sin embargo, debido a la no disponibilidad de un registro histórico de producción de café cereza en el área de análisis al momento de la realización de este estudio, no fue posible la estimación del desempeño del modelo. Por esta razón el ajuste del modelo obedeció más a la configuración de los parámetros fisiológicos de la planta de café y a las condiciones de la zona apuntando a una producción de biomasa (café cereza) de 8.125 Ton/Ha/Año en 2010, según información recolectada en campo (no oficial). También en base a conocimiento experto e información secundaria se ajustaron los parámetros relacionados con el suelo. En resumen, la Tabla 1 contiene los rangos de valores de los parámetros tanto del suelo como de la planta utilizados en el modelo y que permitieron obtener las producciones esperadas para el año de referencia (2010). En este caso, el proceso de calibración permitió encontrar la mejor respuesta en relación a la producción de café objetivo.

De esta forma, los principales parámetros del cultivo los cuales están relacionados con las temperaturas óptimas de producción y parámetros fisiológicos fueron ajustados de acuerdo a las producciones registradas en la zona de estudio. Los parámetros relacionados con el suelo fueron aproximados desde el estudio de suelos del Huila extraído desde el POMCH de la cuenca Guarapas (POMCH 2009, CAM) suministrado por la Corporación Regional del Alto Magdalena (CAM), sin embargo estos valores fueron modificados en función de lograr un mejor ajuste entre la respuesta del modelo hidrológico y los datos observados en la estación de calibración. La calibración del Río Guarapas busca principalmente representar las producciones de café cereza, por lo tanto, los parámetros más relevantes son los relacionados con el cultivo, especialmente los basados en las temperaturas los cuales resultan ser los de mayor sensibilidad en la respuesta a las producciones de café. Durante el proceso de calibración se utilizó la estación Pitalito 2 (21017050) principal fuente de información para dicho proceso, sin embargo, la correlación entre los resultados de hidrología del modelo versus los registrados por la estación no son

Tabla 1 Conjunto de parámetros de calibración modelo WEAP Guarapas

Cobertura	Parámetros del Suelo								Parámetros del Cultivo						
	SHC		ISWC		DG		SA	PUCF	SLT	SMLFE	Crop Specific base temperature (°C)	Optimal plant growth temperature (°C)	Maximum Crop Height (m)	Maximum Root Depth (m)	Potential Harvest Index
	Max	Min	Max	Min	Max	Min									
Bosque	800	1010	20.0	10.0	500.0	10.0	0.18	1.0			0.00	18.00	10.00	3.50	0.76
Café	800	1010	15.0	10.0	150.0	10.0	0.18	1.0			12.00	20.70	2.00	1.00	0.56
Cultivos Agrícolas	400	1010	30.0	10.0	500.0	10.0	0.25	1.0			8.00	25.00	2.50	2.00	0.50
Pasto	900	2000	30.0	10.0	500.0	10.0	0.20	1.0	0.10	0.50	12.00	18.00	0.50	2.00	0.90
Suelo desnudo	80	500	10.0	10.0	150.0	10.0	0.08	0.0			-	-	-	-	-
Zona Urbana	80	500	0.0	0.0	150.0	10.0	0.50	0.0			-	-	-	-	-

buenas, tal vez debido a una no muy buena caracterización climática de la sub-unidades hidrológicas utilizadas que de manera directa afectan la estimación de las demandas ambientales en la cuenca y que finalmente resultan ser las más importantes dentro del modelo hidrológico de crecimiento de la planta (PGM). Vale la pena resaltar que el modelo de crecimiento de la planta es exigente en cuanto a demanda de información meteorológica de variables como humedad relativa máxima y mínima, punto de rocío, radiación solar y velocidad del viento que en algunos casos no es monitoreada en el área de estudio o la calidad de la información no es la adecuada. Sin embargo, y con el fin de mejorar el ajuste tanto de producción de los cultivos como de la parte hidrológica se plantea que en el futuro mediante técnicas de distribución espacial y/o mediante la inclusión de registros de estaciones meteorológicas del sector cafetero se pueda caracterizar más cercanamente las condiciones de producción de la cuenca Guarapas.

Análisis de decisiones robustas (ADR)

Una vez construido y calibrado, el modelo de la cuenca del Río Guarapas fue utilizado para determinar incertidumbres y formular estrategias de adaptación al cambio climático con la metodología analítica del XLRM desarrollada por la corporación RAND. En varios talleres realizados en la ciudad de Neiva entre junio y agosto de 2013, y agosto de 2014, con la participación de diferentes sectores del Departamento del Huila, se definió el contexto de modelación que permite la evaluación de escenarios futuros y que para el caso de la cuenca Guarapas se describe en la Tabla 2.

Se plantearon un total de 8 escenarios a ser ejecutados, debido a la cantidad de escenarios, estos fueron estimados directamente en la plataforma WEAP. Los resultados podrán ser evaluados por los tomadores de decisión mediante distintas estrategias de visualización.

Tabla 2 Incertidumbres y estrategias definidas en la cuenca del Río Guarapas mediante WEAP

Incertidumbre (X)	Estrategia (L)
Clima (8)	No hay estrategia planteada, con el ejercicio se busca determinar la respuesta del cultivo de café frente a los escenarios de cambio.

Uso de la plataforma como herramienta para la estimación de indicadores de agua

Actualmente el IDEAM realiza estudios a nivel nacional enfocados a determinar el estado actual del recurso hídrico y el uso del agua en diferentes sectores de la economía. Un ejemplo de esto es el estudio de Huella Hídrica Multisectorial que tiene como propósito cuantificar y evaluar las huellas hídricas azul y verde para cuatro sectores económicos: Agropecuario, Industrial, energético y petrolero. Se incluye el componente doméstico. En este sentido la plataforma WEAP con PGM ofrecen una alternativa para la estimación de estos indicadores para el sector agropecuario y más específicamente en la demanda hídrica de cultivos. De esta manera, es posible estimar las huellas hídricas verde y azul relacionadas con la demanda hídrica de los cultivos y a partir de estas estimar el agua virtual considerando que el café es un producto de exportación. Adicionalmente para cubrir la totalidad de las huellas hídricas, se propone el acoplamiento del módulo Qual2K para la determinación de la huella hídrica gris por actividades de beneficio del café.

Resultados y discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ejercicio de modelación y bajo los 8 escenarios de clima analizados, se observa en la mayoría de los escenarios un incremento en la producción de café cereza entre el 8% y hasta el 27%, dicha respuesta se explica básicamente debido al aumento en la concentración de CO₂ en la atmósfera y la temperatura promedio superficial.

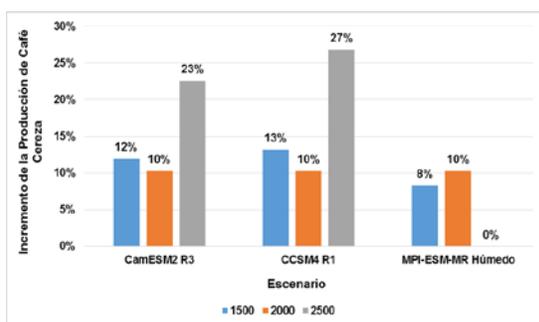


Figura 3 Respuesta relativa en incremento de la producción de Café Cereza en las diferentes bandas de elevación analizadas (1500, 2000 y >2500 msnm) bajo 3 escenarios futuros de clima.

En la actualidad, las bandas de elevación por encima de los 2500 msnm en la cuenca del Río Guarapas pertenecen a coberturas de Bosques y áreas protegidas en más del 90%. De acuerdo a los resultados dichas áreas en la cuenca se tornarían aptas para el desarrollo agrícola entre ellas la producción de café (según los resultados un aumento de la productividad de aproximadamente entre el 23 a 27% en los escenarios de clima secos).

De acuerdo a los resultados del presente estudio y considerando los escenarios climáticos analizados, es posible inferir que zonas actualmente restringidas para la explotación agrícola, en especial café, podrían ser habilitadas para explotación agropecuaria dado el cambio en las condiciones agroecológicas de dichas zonas. Sin embargo, en la actualidad

dichas zonas concuerdan con áreas de protección ambiental que a su vez prestan servicios ecosistémicos invaluable no solo para los usuarios de la cuenca del Río Guarapas, sino también para otras cuencas de gran relevancia nacional como el Río Magdalena que nacen en la estrella fluvial más importante del País, el Macizo Colombiano.

Por lo tanto, es necesario y prioritario generar medidas de adaptación que busquen hacer frente a estos posibles escenarios futuros con el fin de proteger nuestros agroecosistemas. A continuación se presentan algunas medidas consecuencia del análisis de los resultados del ejercicio de modelación en la cuenca del Río Guarapas.

- La potencial situación descrita plantea el desarrollo y/o fortalecimiento de estrategias de ordenación y conservación del territorio en el marco de actividades productivas, pues los servicios ecosistémicos que prestan dichas áreas (quizás aún no valorados) deberán ser preservados para el bien de la sociedad y el ecosistema. Actualmente, el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural INCODER desarrolla y promueve el esquema de ordenamiento productivo en base al potencial uso del suelo y la oferta ambiental del área. Sin embargo, y teniendo en cuenta que estas propuestas son a largo plazo (> 20 años), el enfoque es limitado en cuanto a que no considera el cambio en las condiciones actuales de oferta y demanda ambiental y el deterioro de suelos debido al cambio dinámico de las coberturas que se presenta en la cuenca Guarapas.

- El paisaje agrícola ofrece diversos servicios ambientales, incluyendo el secuestro de carbono, la biodiversidad,

entre otros. Es importante crear estrategias enfocadas a incentivos económicos que conlleven a la restauración de tierras forestales degradadas, protección de bosques y desarrollo de mercados de carbono, lo anterior generaría incentivos interesantes para los agricultores y un impulso para que la sociedad en general se sensibilice hacia la conservación.

- Otra línea de acción con miras a la adaptación de la caficultura antes estos potenciales escenarios de clima es la preservación de coberturas de alto porte dentro de su área de cultivo, generando zonas de sombra que permitan el control de la temperatura en épocas de verano intenso en las zonas de cultivo cercano al límite altitudinal bajo. La renovación de cafetales con variedades que soporten la variabilidad climática extrema para contrarrestar los principales factores climáticos que ponen en riesgo la viabilidad de los cafetales (aumento de la resiliencia).

Aunque los resultados aquí expuestos indican un claro aumento de la temperatura promedio en la mayoría de los escenarios de clima evaluados, lo cual junto con el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera favorecen en general la mayor producción de los cultivos, en especial café, es importante señalar también que otro reto tal vez de igual o mayor importancia es la variabilidad climática con la cual se convivirá en adelante. Por lo tanto, se considera como factor fundamental la descripción de la variabilidad climática en las regiones cafeteras como herramienta para entender los retos a los cuales nos estamos enfrentando. Esto implica el desarrollo de programas de monitoreo climatológico óptimos apoyados por sistemas modernos de alertas

agroclimáticas tempranas soportados en sistemas robustos.

El fortalecimiento institucional de los entes gestores del recurso hídrico, los gremios agrícolas, las instituciones de investigación y los tomadores de decisión a nivel nacional, regional y local.

El desarrollo de estrategias de comunicación, articulación y coordinación entre las diferentes partes (entes gubernamentales, administradores de los recursos naturales, sectores privados, salud pública, emergencia y gestión del riesgo, entre otros) de los programas, proyectos y medidas de adaptación desarrolladas para hacer frente a los distintos temas que impactan los diferentes sectores.

Adoptar un marco de políticas que apoye a la población más vulnerable y sus modos de sostenimiento, así como también las inversiones en investigación en agricultura climáticamente inteligente enfocando los esfuerzos en aquellos sectores que potencialmente serían los más afectados por los impactos de los efectos en la alteración del clima, lo cual puede ser apalancado en la estrategia nacional de ordenamiento productivo.

Conclusiones

Los resultados de la modelación de la cuenca Guarapas obtenidos a través de la plataforma WEAP, son herramientas clave en la gestión y planificación del recurso hídrico que ayudan a comprender el sistema y los posibles efectos del cambio climático en general, además de apoyar a la Corporación Regional del Alto Magdalena (CAM) en el análisis espacio-temporal de la oferta y demanda hídrica.

El cambio climático afectará entonces el crecimiento y la producción de los

sistemas agropecuarios, en especial café, directamente mediante el aumento en la concentración de CO₂ atmosférico (“fertilización por carbono”) y los cambios debido al clima, y además indirectamente por las interacciones complejas entre los agroecosistemas provocados por los cambios de temperatura y precipitación.

El enfoque aquí utilizado permite identificar medidas adaptativas al sector agropecuario, considerado un eje de vital importancia para el desarrollo socio-económico del mundo, el cual se verá fuertemente afectado por los efectos en el cambio del clima, en especial las zonas de alta montaña que prestan servicios ecosistémicos de altísimo valor

Sin embargo, es necesario profundizar en los alcances de este tipo de iniciativas como instrumento para la evaluación del riesgo hidrometeorológico por efectos del cambio climático y mitigación de estos efectos mediante la generación de medidas adaptativas para cada sector involucrado.

Además de los cambios en las condiciones de clima y sus potenciales efectos sobre la agricultura, es necesario también estudiar la variabilidad climática y la variabilidad climática extrema como factores adicionales adversos al desarrollo productivo de los sectores agropecuarios.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI) por la oportunidad de realizar apropiación social del conocimiento de sus herramientas tecnológicas para la gestión integral del recurso hídrico. A la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) por su apoyo en el desarrollo de este proyecto de investigación.

Bibliografía

- [1] W. Xiao-jun, Z. Jian-yun, S. Shahid, X. Xing-hui, H. Rui-min, S. Man-ting, Catastrophe theory to assess water security and adaptation strategy in the context of environmental change, *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 19 (2014) 463–477. doi:10.1007/s11027-012-9443-x.
- [2] V.P. Singh, *The Security of Water, Food, Energy and Liveability of Cities*, Springer Netherlands, Dordrecht, 2014. doi:10.1007/978-94-017-8878-6.
- [3] H. Marvin, G. Kleter, Proactive systems for early warning of potential impacts of natural disasters on food safety: Climate-change-induced extreme events as case in point, *Food Control.* 34 (2013) 444–456. doi:10.1016/j.foodcont.2013.04.037.
- [4] IDEAM, *Estudio Nacional del Agua*, ISBN 978-958-8067-70-4, Bogotá, Colombia, 2014.
- [5] H. Angarita, E. Domínguez, J. Delgado, M. Escobar, *Energy and Water*, *World Water Week. Abstract V* (2014) 67–68.
- [6] N. Castro, Implementación del sistema de modelación WEAP como herramienta del recurso hídrico en la vereda La Bella, (2014) 72.
- [7] M.F. Jaramillo, M. Escobar, C. Figueroa, *Implementación del modelo WEAP para el estudio de la calidad del agua en la cuenca del río La Vieja*, 2014. http://sei-us.org/Publications_PDF/SEI-USAID-FS-2014-Modelo-WEAP-calidad-agua-rio-La-Vieja.pdf.
- [8] C. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, *Escenarios de cambio climático para precipitación y temperatura para Colombia 2011-2100*, ISBN 978-958-8902-56-2, Bogotá, Colombia, 2015.

6. Partners

Contents:

- Direct boundary partners
- Other key partners



Direct boundary partners

Nombre	Institución	Cargo	Teléfono	Celular	E-Mail
Juan Mauricio Castaño Rojas	UTP - EIS	Coordinador grupo EIS	(6) 3137249	3148141462	jumacaro1971@gmail.com
Carlos Andrés Sabas Ramírez	UTP - EIS	Ing. Ambiental	(6) 3137249	312 7140060	carlossabas9@gmail.com
Norma Castro	UTP - EIS	Est. Adm Ambiental		3127041326	nhorma2@hotmail.com
Abelino de Jesús Arias	CARDER	Ing. Sanitario	(6) 3151013	3117777974	abarias@carder.gov.co
Angélica Moncada	CARDER	Ing. Civil. Esp. Hidrología		3113742700	amoncada@carder.gov.co ; angelicamoncada@hotmail.com
Lina Marcela Alarcón	CRQ	Ing. Ambiental	(6) 7460600	3006542770	lmalarconmora@crq.gov.co
Juan Carlos Molina	CRQ	Ing. de Sistemas	(6) 7460600	3013700887	jcmolinasanchez@crq.gov.co
Patricia Rojas	CRQ	Ing. Sanitaria	(6) 7460600	3006508947	projassanchez@crq.gov.co
Lina Gallego	CRQ	Profesional Especializado	(6) 7460601		limaga83@gmail.com
Gabriel Lozano	Universidad del Quindío - CIDERA	Coordinador grupo CIDERA	(6) 7460298 ext 103	3104530000	galozano@uniquindio.edu.co
César Rodríguez	Universidad del Quindío - CIDERA	Ing. Civil	(6) 7460298 ext 103	3128727316	carodriguezmejia@gmail.com
Juan David Parra	Universidad del Quindío - CIDERA	Profesional Especializado	(6) 7460298 ext 104		juan.david0013@hotmail.com
María Fernanda Jaramillo	Universidad del Valle - CINARA	Ing. Agrícola	(2) 3392345	3164488146	maria.f.jaramillo@correounivalle.edu.co
Alberto Galvis	Universidad del Valle - CINARA	Coordinador grupo CINARA	(2) 3392345	316 4466419	alberto.galvis@correounivalle.edu.co
Juan Gabriel Urrego	Universidad del Valle - CINARA	Profesional Especializado	(2) 3392346		juan.urrego@correounivalle.edu.co
Paola Janeth Patiño	CVC	Ing. Sanitaria		3113677543	paola-janeth.patino@cvc.gov.co ; paopatino616@hotmail.com
Alberto Riáscos	CVC	Ing. Civil		3117626015	jose-alberto.riascos@cvc.gov.co
Amparo Duque	CVC	Dirección Técnica Ambiental	57 2 318 17 00	3104137162	amparo.duque@cvc.gov.co
Jorge Hernán Marulanda	AYA	Lic. Biología	(6) 3151308	3155858770	jhmarulanda@aguasyaguas.com.co
Adalberto Arroyave	AYA	Ing. Sanitario	(6) 3151307	3108982236	aarroyave@aguasyaguas.com.co
John Chavarro	CENIGAA	Investigador	316 473 9518	3183835436	john.chavarro@cenigaa.org

Nombre	Institución	Cargo	Teléfono	Celular	E-Mail
Jorge Chavarro	CENIGAA	Director	316 473 9518	3164739816	jorge.chavarro@cenigaa.org
Edisney Silva	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Jefe de Planeación	(57 8) 8765017		esilva@cam.gov.co
Fredy Medina	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Sub Dirección Ambiental	(57 8) 8765017	3138863441	fmedina@cam.gov.co
Oscar Moncayo	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Profesional Especializado	(57 8) 8765017	3112003144	monoscasan@hotmail.com
Paula Anacona	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Profesional Especializado	(57 8) 8765017	3124352428	panacona@cam.gov.co
Carlos Alberto Vargas	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Ingeniero Agrícola	(57 8) 8765017		cvargas@cam.gov.co
Nelson Omar Vargas Martínez	IDEAM	Sub dirección Hidrología	(571)3527160 Ext 1500		nvargas@ideam.gov.co
María Teresa Martínez	IDEAM	Subdirección de Meteorología	(571)3527160		mmartinez@ideam.gov.co
Franklyn Ruiz	IDEAM	Subdirección de Meteorología	(571)3527160		franruiz@ideam.gov.co
Fabio Andrés Bernal Quiroga	IDEAM	Profesional Especializado	(571)3527160		fbernal@ideam.gov.co
Andrea Rodríguez	IDEAM	Profesional Especializado	(571)3527160		aorodriguez@ideam.gov.co
Guillermo Armenta	IDEAM	Contratista	(571)3527160		garmentap@ideam.gov.co
Vicky Guerrero	IDEAM	Estudios Ambientales	(571)3527160	3002413952	ingetopograf@gmail.com

Other key partners

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Gabriel López Vallejo	Ministerio del Medio Ambiente (MADS)	Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Bogotá DC	ministro@minambiente.gov.co
Rodrigo Suarez Castaño	Ministerio del Medio Ambiente	Director Cambio Climático	Bogotá DC	RSuarez@minambiente.gov.co
Mariana Rojas	Ministerio del Medio Ambiente	Coordinadora Adaptación	Bogotá DC	marrojas@minambiente.gov.co
Eliana Álvarez	Ministerio del Medio Ambiente	Cambio Climático	Bogotá DC	EAlvarez@minambiente.gov.co
Luis Alfonso Escobar	Ministerio del Medio Ambiente	Dirección de Recurso Hídrico	Bogotá DC	LEscobar@minambiente.gov.co
Mauricio Bayona	Ministerio del Medio Ambiente	Recurso Hídrico	Bogotá DC	maubayona@gmail.com
María Claudia García	Ministerio del Medio Ambiente	Dirección de Bosques	Bogotá DC	mcgarcia@minambiente.gov.co
Luis Alberto Giraldo	Ministerio del Medio Ambiente	Dirección Ordenamiento Territorial	Bogotá DC	lgiraldo@minambiente.gov.co
Mauricio Mira	Ministerio del Medio Ambiente	Dirección Negocios Verdes	Bogotá DC	mmira@minambiente.gov.co
Pablo Viera	Ministerio del Medio Ambiente	Viceministro	Bogotá DC	PVieira@minambiente.gov.co
Diana Pabón	Ministerio del Medio Ambiente	Asesora SINA	Bogotá DC	dpabon@minambiente.gov.co
Ingrid Vanessa Cortés Martínez	Ministerio del Medio Ambiente	Profesional Especializado	Bogotá DC	icortes@minambiente.gov.co
Brigitte Baptiste	Instituto Humboldt	Directora	Bogotá DC	brigittebaptiste@humboldt.org.co
Germán Andrade	Instituto Humboldt	Sub Director Cambio Climático	Bogotá DC	gandrade@uniandes.edu.co
Carmen Cándelo	WWF Colombia	<i>Governance & Livelihood Programme</i> Director en WWF Colombia	Bogotá DC	ccandelo@wwf.org.co
Beth-Sua Carvajal	WWF Colombia	Profesional en Servicios Ambientales WWF Colombia	Bogotá DC	bethsua.c@gmail.com
Jorge Rubiano	Universidad del Valle	Profesor asociado	Cali, Valle	jerubiano@gmail.com
Claudia Martínez	E3 Asesorías	Directora	Bogotá DC	claudia@e3asesorias.com
Milton Hernán Romero	4D Elements Consultores	Director	Bogotá DC	milher67@gmail.com

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Oscar Ocampo	4D Elements Consultores	Ingeniero Ambiental	Bogotá DC	aguacolombia@gmail.com
Sandra Garavito	LCRD (Low Carbon Development Strategy)	Sectoral Lead Advisor	Bogotá DC	sgaravito@lcrdcolombia.org
Beatriz Mogollón	LCRD (Low Carbon Development Strategy)	Ecosystem Services and Hydrology Researcher	Bogotá DC	bmogollon@lcrdcolombia.org
Sonia Borja	LCRD (Low Carbon Development Strategy)	Investigadora	Bogotá DC	smbqil55@gmail.com
Martha Elena Camacho	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA	Subdirectora de Evaluación y Seguimiento	Bogotá DC	mecamacho@anla.gov.co
Simón Gaviria Muñoz	Departamento Nacional de Planeación - CAF	Director	Bogotá DC	dnp@dnp.gov.co
Carlos Iván Márquez Pérez	Unidad Nacional de Gestión de Riesgo	Director	Bogotá DC	carlos.marquez@gestiondelriesgo.gov.co
Orlando Cabrera Molinares	ASOCAR - CORPAMAG	Director	Bogotá DC	direccion@corpamag.gov.co
Alcira Perdomo	CORPAMAG	Abogada	Santa Marga, Magdalena	alciraperdomoabogados@gmail.com
Camilo Melo	ASOCAR	Profesional	Bogotá DC	camilo.melo@asocars.org.co
Ramón Leal Leal	ASOCAR	Director	Bogotá DC	ramon.leal2@asocars.org.co
Omar Franco Torres	IDEAM	Director	Bogotá DC	direccion@ideam.gov.co
Nelson Omar Vargas Martínez	IDEAM	Sub dirección Hidrología	Bogotá DC	nvargas@ideam.gov.co
Diana Quimbaya	IDEAM	Jefe oficina de Cooperación Internacional	Bogotá DC	dquimbay@ideam.gov.co
Fabio Andrés Bernal Quiroga	IDEAM	Profesional Especializado	Bogotá DC	fbernal@ideam.gov.co
Andrea Rodríguez	IDEAM	Profesional Especializado	Bogotá DC	aorodriguez@ideam.gov.co
Guillermo Armenta	IDEAM	Contratista	Bogotá DC	garmentap@ideam.gov.co
Luis Carlos Aponte Pérez	IDEAM	Sub director de Estudios Ambientales	Bogotá DC	lcaponte@ideam.gov.co
Vicky Guerrero	IDEAM	Estudios Ambientales	Bogotá DC	vguerrero@ideam.gov.co
María Patricia Cuervo	IDEAM	Profesional Especializada	Bogotá DC	mcuervo@ideam.gov.co
Javier Mendoza	IDEAM	Tercera Comunicación Nacional CC	Bogotá DC	jmendoza@ideam.gov.co

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Jorge Enrique Gutiérrez	IDEAM	Vulnerabilidad y Adaptación Tercera Comunicación Nacional CC	Bogotá DC	jorgeenriquegutierrezv@gmail.com
María Teresa Martínez	IDEAM	Subdirección de Meteorología	Bogotá DC	mmartinez@ideam.gov.co
Franklyn Ruiz	IDEAM	Subdirección de Meteorología	Bogotá DC	franruiz@ideam.gov.co
María Constanza Rosero Mesa	IDEAM	Profesional Especializado	Bogotá DC	mrosero@ideam.gov.co
Bairon Alirio Aldana Roa	IDEAM	Contratista	Bogotá DC	baldanar@gmail.com
Paula Andrea Corredor	IDEAM	Ingeniero Ambiental	Bogotá DC	pacorredorb@gmail.com
Jorge Valencia	UPME - Unidad de Planeación Minero-Energética	Director	Bogotá DC	jorge.valencia@upme.gov.co
HÉCTOR HERNANDO HERRERA	UPME - Unidad de Planeación Minero-Energética	Profesional Especializado	Bogotá, Colombia	hectorhernandoherrera@hotmail.com
Diego Barragán Correa	Aguas y Aguas de Pereira	Director	Pereira, Risaralda	dbarragan@aguasyaguas.com.co
Jorge Hernán Marulanda	Aguas y Aguas de Pereira	Lic. Biología	Pereira, Risaralda	jhmarulanda@aguasyaguas.com.co
Adalberto Arroyave	Aguas y Aguas de Pereira	Ing. Sanitario	Pereira, Risaralda	aarroyave@aguasyaguas.com.co
Roberto Parra	Aguas y Aguas de Pereira	Director de Operaciones	Pereira, Risaralda	rparra@aguasyaguas.com.co
Carlos Cuellar	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Director	Neiva, Huila	cacuellar@cam.gov.co
Tatiana Mendoza	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Coordinadora Cambio Climático	Neiva, Huila	cambioclimatico@cam.gov.co
Edisney Silva	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Jefe de Planeación	Neiva, Huila	esilva@cam.gov.co
Fredy Medina	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Sub Dirección Ambiental	Neiva, Huila	fmedina@cam.gov.co
Oscar Moncayo	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Profesional Especializado	Neiva, Huila	monoscasan@hotmail.com
Paula Anacona	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Profesional Especializado	Neiva, Huila	panacona@cam.gov.co

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Carlos Alberto Vargas	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM	Ingeniero Agrícola	Neiva, Huila	cvgargas@cam.gov.co
John Chavarro	CENIGAA	Investigador	Neiva, Huila	john.chavarro@cenigaa.org
Jorge Chavarro	CENIGAA	Director	Neiva, Huila	jorge.chavarro@cenigaa.org
Helmer Guzmán	CENIGAA	Investigador Auxiliar	Neiva, Huila	helmer.guzman@cenigaa.org
Cristian Cifuentes	CENIGAA	Investigador	Neiva, Huila	cristian.cifuentes@cenigaa.org
Juliana Delgado	The Nature Conservancy - TNC	Especialista en Agua Dulce	Bogotá DC	jdelgado@tnc.org
Juanita González	The Nature Conservancy - TNC	Especialista en Cambio Climático	Bogotá DC	juanita_gonzalez@tnc.org
Héctor Angarita	The Nature Conservancy - TNC	Investigador	Bogotá DC	flector@gmail.com
Thomas Walschburger	The Nature Conservancy - TNC	Science Coordinator	Bogotá DC	twalschburger@tnc.org
Alejandra Torres	The Nature Conservancy - TNC	Directora	Bogotá DC	alejandra.torres@tnc.org
Adriana Soto	The Nature Conservancy - TNC	Directora Regional	Bogotá DC	adriana.soto@tnc.org
Carlos Pedraza	The Nature Conservancy - TNC	Especialista en GIS/Información	Bogotá DC	cpedraza@tnc.org
Juan Mauricio Castaño	Universidad Tecnológica de Pereira - UTP	Coordinador grupo EIS	Pereira, Risaralda	jumacaro1971@gmail.com
Norma Castro	Universidad Tecnológica de Pereira - UTP	Administración Ambiental	Pereira, Risaralda	nhorma2@hotmail.com
Carlos Sabas	Universidad Tecnológica de Pereira - UTP	Ingeniero Ambiental	Pereira, Risaralda	carlossabas9@gmail.com
Stephania Suarez	Universidad Tecnológica de Pereira - UTP	Asistente Administrativa	Pereira, Risaralda	stephania-suarez-grajales@gmail.com
Andrés Carmona	Nodo Regional Ecoregión Eje Cafetero	Coordinador	Cali, Valle	andres.carmona@cvc.gov.co
Paola Janeth Patiño	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC	Ingeniera Sanitaria	Cali, Valle	paola-janeth.patino@cvc.gov.co
Alberto Riascos	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC	Ingeniero Civil	Cali, Valle	jose-alberto.riascos@cvc.gov.co
Amparo Duque	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC	Dirección Técnica Ambiental	Cali, Valle	amparo.duque@cvc.gov.co

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Rubén Darío Materón	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca- CVC	Director General	Cali, Valle	direcciongencral@cvc.gov.co
María Clemencia Sandoval	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca- CVC	Directora Técnica Ambiental (E)	Cali, Valle	rparra@aguasyaguas.com.co
Juan Sebastián Herrera	Personero - Salento	Personero	Salento, Quindío	personeriasalento@hotmail.com
Jaime Eduardo Valderrama	Asesor Personero Salento	Asesor	Salento, Quindío	personeriasalento@hotmail.com
Epifanio Marín Ríos	Corporación Autónoma Regional de Risaralda - CARDER	Ingeniero Forestal	Pereira, Risaralda	emarin@carder.gov.co
Angélica Moncada	Corporación Autónoma Regional de Risaralda - CARDER	Profesional Especializado	Pereira, Risaralda	angelicamoncada@hotmail.com
Abelino Arias	Corporación Autónoma Regional de Risaralda - CARDER	Ing. Sanitario	Pereira, Risaralda	abarias@carder.gov.co
Juan Manuel Álvarez Villegas	Corporación Autónoma Regional de Risaralda - CARDER	Director	Pereira, Risaralda	jalvarez@carder.gov.co
Raúl Jiménez García	Corporación Autónoma Regional de Caldas - CORPOCALDAS	Director	Manizales, Caldas	raulgarcia@corpocaldas.gov.co
Wilford Rincón	Corporación Autónoma Regional de Caldas - CORPOCALDAS	Subdirector Planificación Ambiental del Territorio	Manizales, Caldas	wilfordrincon@corpocaldas.gov.co
Patricia García	Corporación Autónoma Regional de Caldas - CORPOCALDAS	Profesional Especializada	Manizales, Caldas	marthapgarcia@corpocaldas.gov.co
Lina Marcela Alarcón	Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ	Ing. Ambiental	Armenia, Quindío	lmalarconmora@crq.gov.co
Leonardo Montoya	Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ	Profesional Especializado	Armenia, Quindío	leomonto31@gmail.com
Juan Carlos Molina	Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ	Ingeniero de Sistemas	Armenia, Quindío	jcmolinasanchez@crq.gov.co
Patricia Rojas	Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ	Ing. Sanitaria	Armenia, Quindío	projassanchez@crq.gov.co
Lina Gallego	Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ	Profesional Especializada	Armenia, Quindío	limaga83@gmail.com

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Orlando Martínez	Corporación Autónoma del Quindío - CRQ	Planeación	Armenia, Quindío	orlandomar001@yahoo.com
Edgar Fabián Jaramillo	Corporación Autónoma del Quindío - CRQ	Sub Director de Regulación y Gestión Ambiental	Armenia, Quindío	fabiancho76@gmail.com
Gabriela Valencia	Corporación Autónoma del Quindío - CRQ	Subdirectora de Gestión Ambiental	Armenia, Quindío	gvalenciavasquez@crq.gov.co
John James Fernández López	Corporación Autónoma del Quindío - CRQ	Director General	Armenia, Quindío	direccion@crq.gov.co
María Fernanda Jaramillo	Univalle -CINARA	Investigadora	Cali, Valle	maria.f.jaramillo@correounivalle.edu.co
Alberto Galvis	Univalle -CINARA	Coordinador Grupo CINARA	Cali, Valle	alberto.galvis@correo.univalle.edu.co
Juliana Valencia	Proyecto PARA-Agua,	Coordinador Colombia	Pereira, Risaralda	juliana.valencia@para-agua.org
CARLOS ANDRÉS ALAPE	Especialista Financiero, PARA-Agua, Colombia	Especialista Financiero	Bogotá, Colombia	calapeospina@hotmail.com
Germán Poveda Jaramillo	Universidad Nacional	Escuela de Geociencias y Medio Ambiente	Medellin, Antioquia	gpoveda@unal.edu.co
Gabriel Lozano	Universidad del Quindío	Coordinador proyecto CIDERA	Armenia, Quindío	galozano@uniquindio.edu.co
Cesar Rodríguez	Universidad del Quindío	Investigador	Armenia, Quindío	carodriguezmejia@gmail.com
Carolina Figueroa	Agencia de los Estados para el Desarrollo Internacional - USAID	Asesora Cambio Climático USAID	Bogotá DC	cfigueroa@usaid.gov
Christopher Abrams	Agencia de los Estados para el Desarrollo Internacional - USAID	Director Oficina del Medio Ambiente	Bogotá DC	CAbrams@usaid.gov
Danielle Spinard	Agencia de los Estados para el Desarrollo Internacional - USAID	Sub Directora Oficina de Medio Ambiente	Bogotá DC	DSpinard@usaid.gov
Daniel López	Agencia de los Estados para el Desarrollo Internacional - USAID	Mission Environmental Officer	Bogotá DC	dlopez@usaid.gov
Miguel A. Atuesta	Agencia de los Estados para el Desarrollo Internacional - USAID	Acquisition/Procurement Specialist	Bogotá DC	matuesta@usaid.gov
Nilo Lima	Instituto de Ambiente de Colombia - SEI	Investigador	Bogotá DC	nilobcred@hotmail.com
Luisa Cusgen	Instituto de Ambiente de Colombia - SEI	Consultora	Bogotá DC	luicus@gmail.com
María Paula Quinceno	Fundación Science para el Desarrollo Internacional - SI	Investigador	Bogotá DC	mariapaulaquiceno@fundacion-science.org

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Margarita Escobar	Fundación Science International - SI	Investigador	Bogotá DC	margaritaescobar@fundsio.org
José Fernando Escobar	Fundación Science International - SI	Director General	Bogotá DC	jofesco@gmail.com
Juanita Gómez	Fundación Science International - SI	Abogada	Bogotá DC	juanitagomez@fundsio.org
Juan Lucas Restrepo	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA	Director General	Bogotá DC	jlrestrepo@corpoica.org.co
Alonso González	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA	Director de Investigación	Bogotá DC	agonzalezm@corpoica.org.co
Cesar Terán Chávez	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA	Investigador	Bogotá DC	cteran@corpoica.org.co
Juan Carlos Martínez Medrano	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA	Investigador	Bogotá DC	jcmartinezm@corpoica.org.co
Jorge Plazas González	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA	Investigador	Bogotá DC	jplazas@corpoica.org.co
Rebeca Hallin	Embassy of Sweden	Second Secretary	Bogotá DC	rebecca.hallin@gov.se
Thomas Andersson	Embassy of Sweden	Commercial Officer	Bogotá DC	thomas.andersson@gov.se
Mauricio Ossa	Embassy of Sweden	Asistente del grupo promoción	Bogotá DC	mauricio.ossa@gov.se
Carolina Jarro	Parques Nacionales	Sub dirección de gestión y manejo de áreas protegidas	Bogotá DC	carolina.jarro@parquesnacionales.gov.co
Eduardo Behrentz	Universidad de los Andes	Decano de Ingeniería	Bogotá DC	ebehrent@uniandes.edu.co
Luis Alejandro Camacho	Universidad de los Andes	Ingeniería Ambiental	Bogotá DC	la.camacho@uniandes.edu.co
Mario Diazgranados	Universidad de los Andes	Ingeniería Ambiental	Bogotá DC	mdiazgra@uniandes.edu.co
Juan Pablo Ramos	Universidad de los Andes	Ingeniería Ambiental	Bogotá DC	jramos@uniandes.edu.co
Juan Pablo Rodríguez	Universidad de los Andes	Ingeniería Ambiental	Bogotá DC	pabl_rod@uniandes.edu.co
Joanna Husserl	Universidad de los Andes	Ingeniería Ambiental	Bogotá DC	jhusserl@uniandes.edu.co
Daniel Ruiz Carrascal	Escuela de Ingeniería de Antioquia	Profesor Asociado	Medellín, Antioquia	pfcarlos@iri.columbia.edu

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Olga Ocampo	Universidad de Caldas	Profesor	Caldas, Risaralda	olgaocampolopez@gmail.com
Julián Vélez	Universidad de Caldas	Profesor	Caldas, Risaralda	jjvelezu@unal.edu.co
Rey Ariel Borbón	Incoder	Director	Bogotá DC	reyarielborbon@incoder.gov.co
David Serna	International Finance Corporation - IFC	Consultor	Bogotá DC	dserna@ifc.org
Henry Alterio	Waves - Colombia	Coordinador Nacional	Bogotá DC	henry.alterio@gmail.com
Claudia Rodríguez	Waves - Colombia	Consultora - Chinchiná	Bogotá DC	claudiasolr@gmail.com
Daniela Gutiérrez	Waves - Colombia	Asistente	Bogotá DC	daniguttor@gmail.com
Luz Dary Yépez	Waves - Colombia	Consultora - Chinchiná	Bogotá DC	luzdary96@gmail.com
Rita Cestti	International Bank for Reconstruction and Development (WB)	Senior Water Resources Economist	USA	Rcestti@worldbank.org
Alfred Ignacio Ballesteros Alarcón	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR	Director General	Bogotá	direccion_general@car.gov.co
Olaff Puello Castillo	Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique - CARDIQUE	Director General	Cartagena, Bolívar	direccion@cardique.gov.co
Ricardo Arnold Baduin Ricardo	Corporación Autónoma Regional de Sucre - CARSUCRE	Director General	Sincelejo, Sucre	carsucra@carsucra.gov.co
Flor María Rangel Guerrero	Corporación Autónoma Regional de Santander - CAS	Director General	San Gil, Santander	direccion@cas.gov.co
Ludwing Arley Anaya Méndez	Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB	Director General	Bucaramanga, Santander	arley.anaya@cdmb.gov.co
Teófilo Cuesta Borja	Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó - CODECHOCÓ	Director General	Quibdó, Chocó	direccion@codechoco.gov.co
Alejandro González Valencia	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia - CORANTIOQUIA	Director General	Medellín, Antioquia	direccion@corantioquia.gov.co
Beltsy Giobanna Barrera Murillo	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial de La Macarena - CORMACARENA-Orinoco	Director General	Villavicencio, Meta	beltsy.barrera@cormacarena.gov.co

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Eduardo Sánchez	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial de La Macarena – CORMACARENA-Orinoco	Sub Director de Control y Gestión Ambiental	Villavicencio, Meta	eduardo.sanchez@cormacarena.gov.co
Ingrid Suarez	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial de La Macarena – CORMACARENA-Orinoco	Coordinadora Grupo Agua	Villavicencio, Meta	ingrid.suarez@cormacarena.gov.co
Carlos Mario Zuluaga	Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE	Director General	El Santuario, Antioquia	czuluaga@cornare.gov.co
José Ricardo López Dulcey	Corporación Autónoma Regional de Boyacá – CORPOBOYACÁ	Director General	Tunja, Boyacá	direccionggeneral@corpoboyaca.gov.co
María Carolina Obando Vargas	Corporación Autónoma Regional de Boyacá – CORPOBOYACÁ	Ingeniera Sanitaria y Ambiental	Tunja, Boyacá	cobando@corpoboyaca.gov.co
Kaleb Villalobos Brochel	Corporación Autónoma Regional del Cesar – CORPOCESAR	Director General	Valledupar, Cesar	direccionggeneral@corpocesar.gov.co
Fabio Antonio Guerrero Amaya	Corporación Autónoma Regional de Chivor – CORPOCHIVOR	Director General	Garagoa, Boyacá	direccionggeneral@corpochivor.gov.co
Luis Manuel Medina Toro	Corporación Autónoma Regional de La Guajira – CORPOGUAJIRA	Director General	Riohacha, La Guajira	director@corpoguajira.gov.co
Oswaldo Jiménez Díaz	Corporación Autónoma Regional del Guavio – CORPOGUAVIO	Director General	Gachalá, Cundinamarca	ojimenez@corpoguavio.gov.co
Jesús Oviedo Quiroz	Corporación para el Desarrollo Sostenible de La Mojana y El San Jorge – CORPOMOJANA	Director General	San Marcos, Sucre	joviedo@corpomojana.gov.co
Luis Lizcano Contreras	Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental – CORPONOR	Director General	Cúcuta, Norte de Santander	direccionggeneral@corponor.gov.co
Martha Plazas Roa	Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia – CORPORINOQUIA - Orinoco	Director General	Yopal, Casanare	direccion@corporinoquia.gov.co
Gabriel Ceballos Echeverri	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá – CORPOURABA	Director General	Apartadó, Antioquia	gceballos@corpouraba.gov.co

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Jorge Enrique Cardoso	Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA	Director General	Ibagué, Tolima	direccion.general@cortolima.gov.co
Alberto Escolar Vega	Corporación Autónoma Regional del Atlántico – CRA	Director General	Barranquilla, Atlántico	direccion@crautonomia.gov.co
José Luis Abisambra	Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar – CSB	Director General	Magangué, Bolívar	directorcsb@gmail.com
José Fernando Tirado	Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge – CVS	Director General	Montería, Córdoba	direccion@cvs.gov.co
Efraín Domínguez	Universidad Javeriana - Departamento Ecología y Territorio	Profesor Titular	Bogotá DC	e.dominguez@javeriana.edu.co
Andrés Etter	Universidad Javeriana - Departamento Ecología y Territorio	Profesor Asociado	Bogotá DC	aetter@javeriana.edu.co
Juan Diego Giraldo	Universidad Javeriana - Departamento Ingeniería	Profesor Asistente	Bogotá DC	jgiraldo@javeriana.edu.co
Luis Eduardo Castro	Gobernación del Casanare	Director Departamento Administrativo de Planeación	Yopal, Casanare	planeacion@casanare.gov.co
Karen Sanabria	Gobernación del Casanare	Cooperación Internacional	Yopal, Casanare	karen.ci.gob@gmail.com
Reinaldo Orduz Amaya	Gobernación del Casanare	Director de banco de programas y proyectos	Yopal, Casanare	hydroconsultoriacolombiana@gmail.com
Juan Manuel Silva Chavarro	Universidad Surcolombiana	Estudiante de Ingeniería Agrícola	Pitalito, Huila	juansilva.ing.agricola@gmail.com
Jessica Córdoba	Universidad de la Salle	Estudiante Ingeniería Ambiental	Bogotá, Colombia	jessica_cordoba1991@hotmail.com
Carmen Angélica Lamprea Abril	Universidad de la Salle	Estudiante Ingeniería Ambiental	Bogotá, Colombia	angelaab@gmail.com
Alejandra Hernández	Universidad de la Salle	Estudiante Ingeniería Ambiental	Bogotá, Colombia	alehflorez93@hotmail.com
Juan Camilo Betancourt Beltrán	Universidad de la Salle	Estudiante Ingeniería Ambiental	Bogotá, Colombia	yanco_182@hotmail.com
Carlos David Moreno Castillo	Universidad de Cundinamarca	Estudiante Ingeniería Ambiental	Facatativá, Cundinamarca	david93moreno@gmail.com

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Andrés Peña Cardenal	Universidad Central	Estudiante	Bogotá, Colombia	andres19481@hotmail.com
Jamer Carabalí	Universidad de la Salle	Estudiante Ingeniería Ambiental	Bogotá, Colombia	jamcacho8@gmail.com
DIANA CAROLINA FORIGUA	Universidad Central	Estudiante	Bogotá, Colombia	dforiguaq@ucentral.edu.co
JENNIFER KATHERINE AGUILAR BELLO	Universidad Central	Estudiante	Bogotá, Colombia	jaguilarb1@ucentral.edu.co
Cristian David Ramírez Sosa	Corporación Universitaria Lasallista	Docente de Cátedra- Ing Forestal- MSc. Medio Ambiente y Desarrollo	Bello, Antioquia	davidsord2014@gmail.com
Luis. Barreto Pedraza	Universidad de la Salle	Profesor Asistente	Bogotá, Colombia	lubarreto@unisalle.edu.co
Ricardo Arévalo	Universidad Jorge Tadeo Lozano	Estudiante	Bogotá, Colombia	rarevalohaddad@outlook.com
Diego Restrepo	CONSULAGUA	Hydroinformatics Engineer	Bogotá, Colombia	dierestrepo@gmail.com
VÍCTOR HERNÁN GARZÓN RODRÍGUEZ	Universidad Nacional de Colombia	Estudiante	Bogotá, Colombia	yhgarzonr@unal.edu.co
Prof. Jaime A. Serrano A.	Fundacion LSR	Director	Norte de Santander, Colombia	director@fundacionlsr.org
Yair Móvil	SEI	Consultor		ymovil2@hotmail.com
JAIRO ALEXANDER CASTRO SALAMANCA	Universidad Nacional de Colombia	Hidrólogo	Bogotá, Colombia	jacs.ser@gmail.com
Blas Sierra	Universidad Central	Estudiante	Bogotá, Colombia	bsierraq@ucentral.edu.co
DORA CASTAÑO	UPME - Unidad de Planeación Minero-Energética	Profesional Especializada	Bogotá, Colombia	dora.castano@gmail.com
FELIPE ARDILA	Universidad Javeriana - Departamento Ingeniería	Estudiante	Bogotá, Colombia	felipeardilac@gmail.com
Alexis reyes	Universidad Nacional de Colombia	Recursos Hídricos	Bogotá, Colombia	ingalexisba@gmail.com
LUIS PEÑUELA	Independiente	Ingeniero Agrícola	Bogotá, Colombia	lpenuel62@yahoo.es
Edna Lorena Delgado Hurtado	Universidad de los Andes	Coordinadora Laboratorio Ambiental y Civil	Bogotá, Colombia	edelgado@uniandes.edu.co

Nombre	Institución	Cargo	Ciudad	email
Alejandra Campo	E3 Asesorías	Consultora	Bogotá, Colombia	acampo@e3asesorias.com
DIEGO JAVIER BENAVIDES PARRA	SVL AMBIENTAL	Ingeniero Ambiental	Bogotá, Colombia	JAVIERLOGIC@GMAIL.COM
JULIO LÓPEZ	Universidad Nacional de Colombia	Ingeniería Ambiental	Bogotá DC	JUELOPEZMA@UNAL.EDU.CO
Erlendy Bernal Cañón	Universidad Nacional de Colombia	Ingeniero Civil	Bogotá, Colombia	ebernalc@unal.edu.co
JOHN BAYONA	Fundepáramos	Ingeniero Agrónomo	Bogotá, Colombia	jfbayona@hotmail.com
Alex Chuchía	Parques Nacionales	Ingeniero SIG	Bogotá, Colombia	alxcuchia@gmail.com
Rodrigo Montenegro Cárdenas	Fundación para la Defensa del Medio Ambiente	Investigador	Bogotá, Colombia	funamdes@aim.com
Adriano chaparro	Corporación Autónoma regional de Cundinamarca	Investigador	Bogotá, Colombia	acharro81@yahoo.com
Mauricio Santos Vega	Departamento Nacional de Planeación - CAF	Investigador	Bogotá, Colombia	mauricio.santosv@gmail.com
Tania Fernanda Santos S.	Universidad de los Andes	Asistente de Investigación Doctoral	Bogotá, Colombia	tf.santos22@uniandes.edu.co
Diana Marcela Muñoz Nieto	Universidad Nacional de Colombia	Docente de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia	Bogotá, Colombia	dmmunozni@unal.edu.co

U.S. Agency for International Development
Bogotá, Colombia