USAID
Apoyo a Políticas y Regulaciones para el Crecimiento Económico

Cerrar Documento

54
Coediciones

Estudio que identifica y justifica inversiones estratégicas para adaptación al cambio climático relacionadas con el agua

Producto 2.1.1.1

Documento elaborado por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar (URL), bajo subcontrato (Grant Number: 1071-36-13-FOG-0204-01) con Weidemann Associates para el proyecto de Apoyo a Políticas y Regulaciones Para el Crecimiento Económico de USAID.

Guatemala, abril de 2013

iarna
Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
UINIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

Universidad Rafael Landívar
Tradición Jesuita en Guatemala

Cerrar Documento

Estudio que identifica y justifica inversiones estratégicas para adaptación al cambio climático relacionadas con el agua

(Producto 2.1.1.1 / Grant number: 1071-36-13-FOG-0204-01)

Abril, 2013

La realización de esta publicación fue posible gracias al apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América proporcionado a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) bajo el contrato AID-520-TO-11-00001. El contenido aquí expresado es responsabilidad exclusiva de los autores y el mismo no necesariamente refleja las opiniones de la USAID o del Gobierno de los Estados Unidos de América.

Cerrar Documento

Agradecimiento

Este documento fue elaborado por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar (URL), bajo subcontrato (Grant Number: 1071-36-13-FOG-0204-01) con Weidemann Associates para el proyecto de Apoyo a Políticas y Regulaciones Para el Crecimiento Económico de USAID.

Coordinación del estudio:

Juventino Gálvez
Héctor Tuy

Investigadores asociados involucrados:

Nils Saubes
Miguel Martínez
Flavio Linares

Cerrar Documento

Contenido

I. INTRODUCCIÓN 1

II. OBJETIVOS 2

2.1 Objetivo general 2

2.2 Objetivos específicos 2

III. MARCO TEÓRICO 3

3.1 Marco referencial 3

3.1.1 El altiplano occidental de Guatemala 3

3.2 Marco conceptual 5

3.2.1 El modelo hidrológico de la plataforma WEAP 5

3.2.2 Evaluación sistémica del estado de los recursos hídricos: El Índice de Gestión Hídrica (IGH) 6

IV. MATERIALES Y MÉTODOS 8

4.1 Modelación hidrológica 8

4.1.1 Construcción del modelo 8

4.1.2 Calibración 11

4.2 El índice de gestión hídrica (IGH) 13

V. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL ALTIPLANO GUATEMALTECO 15

5.1 Modelación hidrológica 15

5.1.1 Situación actual 15

5.1.1.1 Balance hidrológico 15

5.1.2 Disponibilidad hídrica anual 16

5.1.3 Balance hídrico 18

5.1.4 Necesidad de riego 21

5.1.5 Escenario B2 22

5.1.6 Disponibilidad hídrica anual 22

5.1.7 Escenario A2 26

5.1.8 Disponibilidad hídrica anual 27

5.2 Índice de Gestión Hídrica y sus componentes 31

5.2.1 Índice de Gestión Hídrica 31

5.2.2 Componente Recurso 34

Cerrar Documento

5.2.3 Componente Acceso 40
5.2.4 Componente Capacidad 42
5.2.5 Componente Uso 47
5.2.6 Componente Ambiente 50
VI. INVERSIONES ESTRATÉGICAS 53
6.1 Programa de Gestión Integrada de Recursos Hídricos 53
6.1.1 Descripción 53
6.1.1.1 Objetivo 55
6.1.1.2 Metas de la inversión estratégica 55
6.1.2 Municipios priorizados 56
6.1.3 Costos 59
6.2 Programa de mejoramiento de la infraestructura de los sistemas de miniriego actuales y construcción de nuevos sistemas de irrigación en 37 municipios priorizados del altiplano 60
6.2.1 Descripción 60
6.2.1.1 Objetivos 61
6.2.1.2 Metas 61
6.2.2 Municipios priorizados 62
6.2.3 Costos 63
6.3 Implementación de sistemas de investigación-extensión-capacitación campesina para cubrir 84 municipios priorizados en la zona del altiplano. 64
6.3.1 Descripción 64
6.3.1.1 Objetivo 65
6.3.1.2 Metas 65
6.3.2 Municipios priorizados 66
6.3.3 Costos 68
6.4 Arreglos institucionales para la puesta en marcha 69
6.5 Cronograma para la implementación de las inversiones estratégicas 69
VII. BIBLIOGRAFÍA 71

Cerrar Documento

Lista de cuadros

Cuadro 1. Datos de entrada del modelo 8
Cuadro 2. Valores de coeficientes de cultivos 10
Cuadro 3. Clases y puntajes de pendiente 11
Cuadro 4. Indicadores priorizados para la estimación del IGH 13
Cuadro 5. Balance hidrológico general en el altiplano occidental 16
Cuadro 6. Escala utilizada para evaluar el nivel de gestión hídrica en el altiplano Guatemalteco. 31
Cuadro 7. Municipios con un IGH deficiente. 33
Cuadro 8. Municipios con componente Recurso adecuado 35
Cuadro 9. Municipios con componente Recurso deficiente. 36
Cuadro 10. Municipios con valores del Componente Acceso ¨Deficientes¨ 40
Cuadro 11. Municipios con valores del componente Capacidad deficientes 43
Cuadro 12. Municipios con valores del componente Uso ¨Deficientes¨. 49
Cuadro 13. Municipios con valores del componente Ambiente deficientes 51
Cuadro 14. Municipios priorizados para implementar inversiones en Gestión integrada de recursos hídricos 56
Cuadro 15. Costos requeridos para las implementar inversiones estratégicas relacionadas con la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (Monto en Quetzales) 59
Cuadro 16. Municipios priorizados para implementar el Programa de mejoramiento de la infraestructura de los sistemas de miniriego. 62
Cuadro 17. Costos de mejoramiento de los sistemas actuales de miniriego y el establecimiento de nuevos sistemas en zonas de potencial hortícola en 37 municipios priorizados de la zona del altiplano (cifras en millones de Quetzales). 63
Cuadro 18. Municipios priorizados para implementar el Programa de sistemas de investigación-extensión-capacitación campesina para cubrir 84 municipios priorizados en la zona del altiplano 66
Cuadro 19. Cuadro 1. Costos de implementación del programa investigación y capacitación campesina para cubrir 84 municipios priorizados en la zona del altiplano (cifras en miles de Quetzales). 69
Cuadro 20. Cronograma para la implementación de las inversiones estratégicas 70

Cerrar Documento

Lista de figuras

Figura 1. Delimitación geográfica de la región del altiplano guatemalteco 4
Figura 2. Elementos del balance hidrológico modelados con WEAP 5
Figura 3. Balance hidrológico general en el altiplano occidental 15
Figura 4. Disponibilidad hídrica para la situación actual 17
Figura 5. Balance hídrico para la situación actual 19
Figura 6. Excedente anual de agua por hectárea para la situación actual 20
Figura 7. Necesidad potencial de riego en el área con potencial hortícola del altiplano occidental, enfoque situación actual 22
Figura 8. Disponibilidad hídrica para el escenario B2 al 2020 24
Figura 9. Disponibilidad hídrica para el escenario B2 al 2050 25
Figura 10. Disponibilidad hídrica para el escenario B2 al 2080 26
Figura 11. Disponibilidad hídrica para el escenario A2 al 2020 28
Figura 12. Disponibilidad hídrica para el escenario B2 al 2080 A2 al 2050 29
Figura 13. Disponibilidad hídrica para el escenario A2 al 2080 30
Figura 14. Índice de Gestión Hídrica en el altiplano Guatemalteco 32
Figura 15. Componente Recurso del IGH en el altiplano guatemalteco 36
Figura 16. Componente Acceso del IGH en el altiplano guatemalteco 42
Figura 17. Componente Capacidad del IGH en el altiplano guatemalteco 46
Figura 18. Componente Uso del IGH en el altiplano guatemalteco. 48
Figura 19. Componente Ambiente del IGH en el altiplano guatemalteco 52

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día muchos países del mundo se encuentran frente a enormes retos en el campo de la gestión del agua. Estos retos son más grandes para los países en vía de desarrollo debido a la expansión urbana, el desarrollo industrial, así como la modernización e intensificación de la agricultura, lo cual genera una creciente demanda de este recurso para los diversos usos. Esta situación provoca la extracción intensiva de los recursos hídricos, y el aumento de su contaminación, debido al vertido de aguas negras (Bahri, 2012) y contaminantes, tanto de origen orgánico como inorgánico.

La situación de Guatemala no es muy distinta a la descrita anteriormente, ya que aunque en el país cuenta con suficiente agua, el recurso está mal gestionado (IARNA-URL, 2012). Por otro lado, el cambio climático amenaza al país con la alteración del ciclo hidrológico y la reducción de la disponibilidad del agua en el país, especialmente en el altiplano.

Es por esto que cada vez se hace más urgente que los sectores públicos y privados, así como la sociedad civil, generen iniciativas orientadas hacia una mejor gestión, la cual debe estar basada, preferiblemente, en los fundamentos de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

Con el fin de generar información científica que apoye los argumentos anteriores, se desarrolló el presente trabajo para conocer la situación actual y futura de los recursos hídricos del altiplano guatemalteco, así como proponer una serie de inversiones estratégicas que permitirán mejorar la gestión del agua y promover la adaptación al cambio climático en este territorio.

Para alcanzar este objetivo, se realizaron modelaciones hidrológicas y se calculó el balance hidrológico. El estudio se realizó a nivel de las subcuencas del altiplano para luego realizar un análisis sistémico a nivel municipal.

El presente documento consta de siete partes, la primera es la introducción. En la segunda parte del documento se presentan los objetivos del estudio para luego abordar el contexto y las bases conceptuales necesarias para comprender este trabajo. Posteriormente se describe la metodología utilizada, y luego en la quinta parte, se aborda la situación de los recursos hídricos en el altiplano guatemalteco. En esta sección se presenta un análisis biofísico que se fundamenta en la modelación hidrológica de la situación actual y de los escenarios A2 y B2 del IPCC. En la sexta parte se analizan las inversiones propuestas para mejorar la gestión de los recursos hídricos en el altiplano guatemalteco, así como la adaptación al cambio climático. Para terminar, se presenta la bibliografía consultada.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Identificar y justificar inversiones estratégicas relacionadas con el agua para promover la adaptación al cambio climático en el altiplano occidental de Guatemala.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el estado de la gestión de los recursos hídricos en los municipios del Altiplano Occidental de Guatemala.
- Identificar y clasificar los municipios del Altiplano Occidental que afrontan problemas de gestión hídrica y las áreas de gestión pública y local a mejorar.
- Identificar inversiones estratégicas para la adaptación al cambio climático encaminadas a asegurar la disponibilidad de los recursos hídricos en los municipios priorizados.
- Orientar a los tomadores de decisión clave para la implementación de políticas y planes de acción favorables a una gestión integrada y exitosa del agua.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Marco referencial

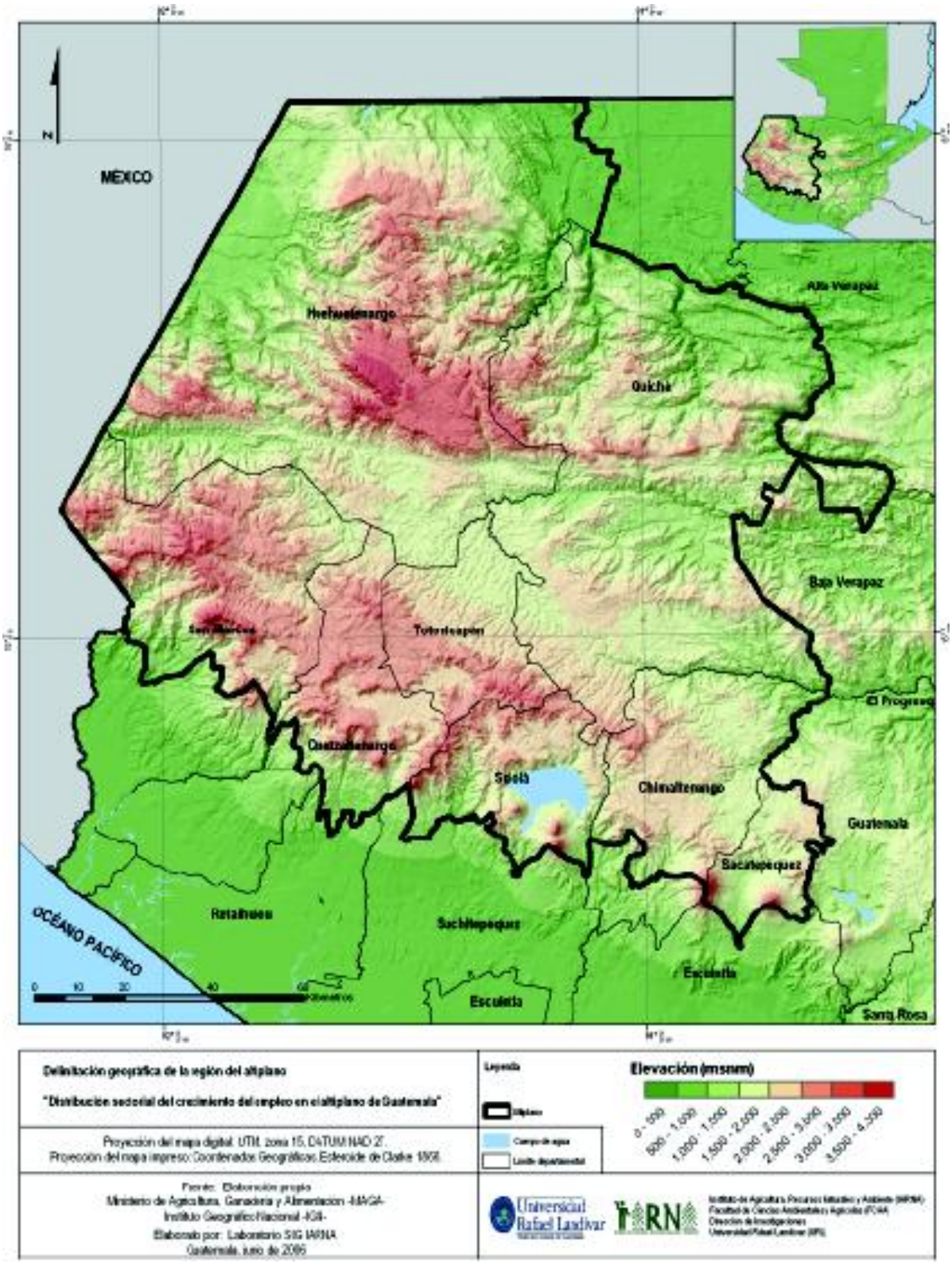
3.1.1 El altiplano occidental de Guatemala

El área de trabajo lo constituye el Altiplano Occidental, definido por IARNA/URL (2008) como el área comprendida por los departamentos de Sacatepéquez. Sololá, Chimaltenango (a excepción de los municipios de Yepocapa y Pochuta), Totonicapán, Quetzaltenango (a excepción de los municipios Génova, Flores Costa Cuca, Colomba y Coatepeque), Quiché (a excepción del municipio Playa Grande Ixcán), Huehuetenango y San Marcos (a excepción de los municipios Malacatán, El Rodeo, Catarina, El Tumbador, Esquipulas Palo Gordo, Pajapita, Ayutla, Ocós, Nuevo Progreso, El Quetzal y La Reforma).

La delimitación del área de estudio, según el IARNA, se basó en la división de regiones y zonas agrarias de Guatemala hecha por AVANCSO (2001), en la cual se definió la región agraria como un espacio amplio socioeconómica y territorialmente, que integra un conjunto de zonas agrarias que si bien pueden presentar ciertas diferencias entre sí, éstas no llegan a prevalecer sobre las características comunes productivas y del medio natural, así como las de naturaleza histórica, expresadas en la particular vía de desarrollo que le otorga cierta racionalidad y por lo tanto cierta coherencia a la región agraria". El altiplano es un espacio geográfico que, si bien no puede calificarse como homogéneo, presenta características comunes de carácter biofísico, socioeconómico e histórico-cultural que permiten considerarlo como una unidad regional coherente.

En la Figura 1, se presenta el área de estudio la cual comprende 147 municipios ubicados en ocho departamentos con una superficie de 20,927 km² equivalente al 19.3% de la extensión territorial de Guatemala.

Figura 1. Delimitación geográfica de la región del altiplano guatemalteco

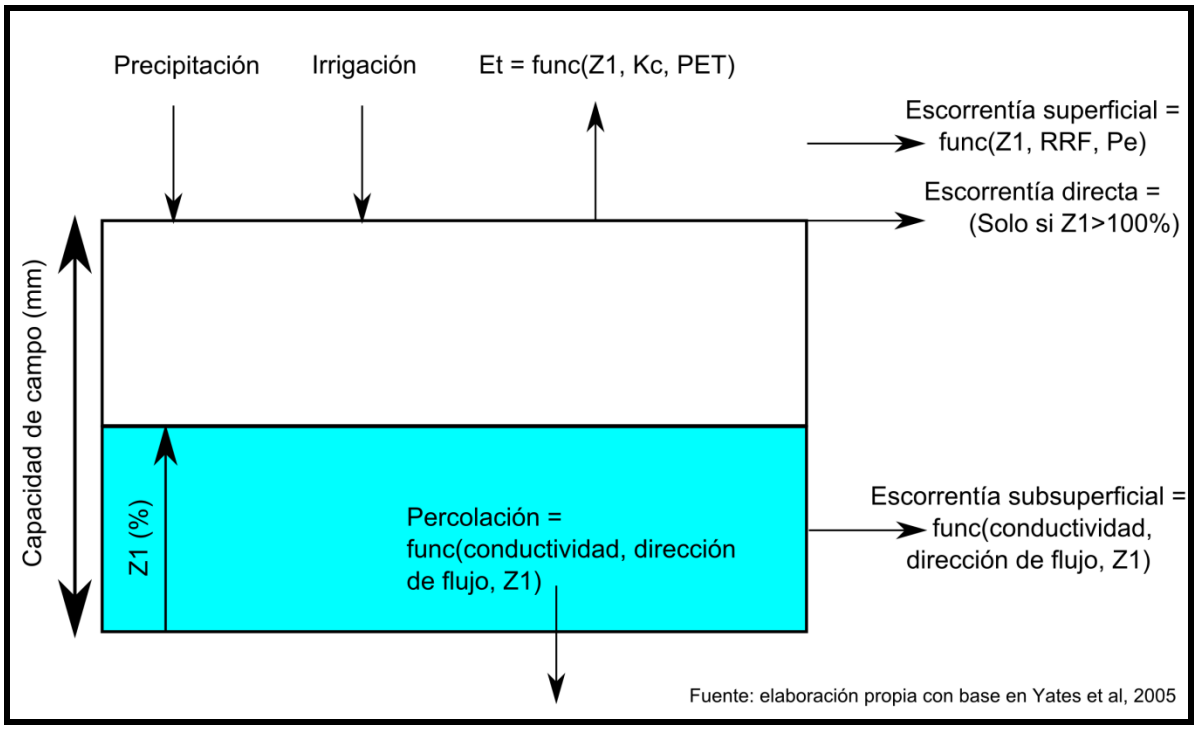


3.2 Marco conceptual

3.2.1 El modelo hidrológico de la plataforma WEAP

El modelo que se utilizó para determinar el balance hidrológico corresponde al módulo de hidrología *soil moisture method* de la plataforma WEAP (*Water Evaluation and Planning*), el cual permite realizar un balance hídrico de suelos basado en la simulación de la variación del volumen de agua almacenada en el suelo. A continuación, se dará una descripción resumida de los algoritmos del modelo, basada en Yates, Sieber, Purkey & Huber-Lee (2005).

Figura 2. Elementos del balance hidrológico modelados con WEAP



El balance de masas definido por el modelo hidrológico está dado por la siguiente ecuación. Se observa cómo cada término de la ecuación, que corresponde a un elemento del balance hidrológico, es afectado de forma diferente por los parámetros indicados:

$$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)\, k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t) z_{1,j}^{\frac{RRF_j}{2}} - f_j k_j z_{1,j}^2 - (1 - f_j) k_j z_{1,j}^2$$

Donde:
Primer término: cambio de humedad en el suelo
Segundo término: precipitación
Tercer término: evapotranspiración
Cuarto término: escorrentía superficial
Quinto término: flujo intermedio o escorrentía subsuperficial

Sexto término: percolación

- Precipitación: Corresponde a la cantidad total de agua precipitada durante el tiempo del estudio.
- Evapotranspiración: El cálculo de la evapotranspiración real para una clase de uso de la tierra en particular depende de la evapotranspiración potencial, dada por la ecuación de Penman-Montieth, por el coeficiente de cultivo/planta (Kc), y las condiciones reales de disponibilidad de agua para las plantas (Recuadro 1).
- Escorrentía superficial: Su cálculo depende del nivel de precipitación, de un factor de resistencia a la escorrentía (RRF – siendo el mismo dependiente del índice de área foliar y de la pendiente), y del nivel de saturación del suelo.
- Flujo intermedio o escorrentía subsuperficial: Corresponde a los flujos horizontales de agua que ocurren debajo de la superficie del suelo. Dicha escorrentía contribuye finalmente a los caudales de los ríos. Su estimación depende de la cantidad de agua presente en el suelo, de la conductividad hidráulica del mismo, y de la dirección preferencial de los flujos.
- Percolación: Corresponde a la lámina de agua que contribuye a la recarga de los acuíferos. Depende de la cantidad de agua presente en el suelo, de la conductividad hidráulica del mismo, y de la dirección preferencial de los flujos.

3.2.2 Evaluación sistémica del estado de los recursos hídricos: El Índice de Gestión Hídrica (IGH)

Luego de realizar una evaluación puramente biofísica de los recursos hídricos en el Altiplano, se hizo una evaluación sistémica a nivel municipal. La evaluación además de tomar en cuenta el subsistema ambiental, incluye parámetros de la situación de los subsistemas económico, social e institucional en torno al tema de los recursos hídricos. El índice de gestión hídrica proporciona una idea del estado en el cual se encuentra el recurso agua en el contexto del sistema socio-ambiental. El objetivo de este acercamiento es poder evaluar de manera integrada los municipios del altiplano guatemalteco sobre la gestión de sus recursos hídricos.

El cálculo del índice de gestión hídrica para los municipios del altiplano se basa en el concepto de *índice de pobreza hídrica* definido por Sullivan (2001, 2002). A través de este acercamiento se pretende identificar los factores biofísicos, sociales, económicos e institucionales que relacionan agua y pobreza. Dichos factores están vinculados entre ellos a través de un índice compuesto único (Sullivan, 2001, 2002).

En el caso de su aplicación para el altiplano guatemalteco, la construcción del índice se apoyó sobre cinco componentes, cada uno siendo relevante para evaluar el estado de la gestión de los recursos hídricos a nivel municipal (Heidecke, 2006; Sullivan *et al.,* 2003). A continuación se describen dichos componentes:

- Recurso: Disponibilidad física del agua, teniendo en cuenta la variabilidad y la calidad del recurso.
- Acceso: Nivel de acceso al agua para uso humano. El acceso hace referencia al uso de agua apta para el abastecimiento humano, doméstico, agrícola, e industrial.
- Capacidad: Eficacia de la capacidad de la población para manejar el agua.
- Uso: Formas de uso en las cuales el agua se utiliza para diversos propósitos; incluye uso doméstico, agrícola, ganadero e industrial.

Cerrar Documento

- Ambiente: Evaluación de la integridad ambiental que relaciona el agua con el uso de recurso natural, productividad agrícola y degradación de tierras.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Modelación hidrológica

4.1.1 Construcción del modelo

A. La plataforma WEAP

El modelo hidrológico utilizado para estimar la disponibilidad de agua –u oferta hidrológica– para las subcuencas del altiplano guatemalteco, corresponde al módulo "hidrología" de la plataforma WEAP (*Water Evaluation And Planning*), que se presenta como un sistema de apoyo a la toma de decisiones en materia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

Yates, Sieber, Purkey & Huber-Lee (2005) describen esta plataforma como una herramienta que permite relacionar los procesos hidrológicos a nivel de cuenca con los aspectos socio-económicos de la gestión de los recursos hídricos. Este aspecto hace de WEAP una herramienta particularmente adaptada para abordar problemáticas de GIRH. Además, permite analizar varios tipos de escenarios (climatológicos, cambios en el uso de la tierra, cambios en el nivel de la demanda y su estructura, etc.) en un entorno de modelación dinámica.

B. Datos de entrada

A continuación, se describen los datos utilizados en el modelo y los procedimientos realizados previamente a su integración. En el Cuadro 1 se presentan los datos requeridos por el modelo y el nivel en el cual se registraron.

Cuadro 1. Datos de entrada del modelo

Dato	Nivel de entrada	Fuente
Precipitación	Subcuenca	Base de datos Worldclim (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005).
Temperatura	Subcuenca	Base de datos Worldclim (Hijmans et al., 2005).
Velocidad del viento	Subcuenca	Estaciones meteorológicas del Insivumeh.
Humedad	Subcuenca	Estaciones meteorológicas del Insivumeh.
Latitud	Subcuenca	Sistema de Información Geográfica IARNA-URL.
Conductividad hidráulica	Serie de suelo	Mapa de series de suelos de Simmons (Simmons, Tarano, & Pinto, 1959).
Capacidad de campo	Serie de suelo	Mapa de series de suelos de Simmons (Simmons et al., 1959).
Categorías de uso de la tierra	Categoría de uso de la tierra	Mapa de uso de la tierra del 2003 (MAGA, 2006).
Coeficiente de cultivo	Categoría de uso de la tierra	(Allen, Pereira, Raes, & Smith,

Dato	Nivel de entrada	Fuente
		1998), Snyder, Orang, Bali & Eching (2000).
Factor de resistencia a la escorrentía	Categoría de uso de la tierra	Scurlock, Asner & Gower (2001).

Fuente: Elaboración propia.

C. Datos climáticos

- Precipitación promedio mensual: Los valores mensuales de precipitación se obtuvieron de la base de datos *WorldClim* (Hijmans, Cameron, Parra, Jones & Jarvis, 2005). A través del uso del SIG se extrajeron los datos mensuales del área de estudio a partir de las capas *raster*. Luego, se calculó el valor promedio de precipitación mensual a nivel de cada subcuenca. Este fue el valor utilizado en el modelo.
- Temperatura promedio mensual: Se empleó el mismo procedimiento utilizado para los valores de precipitación.
- Velocidad del viento: Los valores de velocidad del viento promedio mensual se obtuvieron de las estaciones de medición del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Dichas estaciones se encuentran georeferenciadas con lo cual se lograron definir los polígonos de Thiessen. Según la ubicación de cada subcuenca dentro de dichos polígonos, se atribuyó un valor a nivel de cada subcuenca.
- Humedad: El procedimiento para obtener los valores de humedad promedio mensual fue el mismo que aquel seguido para los valores de velocidad del viento.
- Latitud: A través del SIG se calculó la latitud exacta del centro geométrico de cada subcuenca.

D. Datos de uso de la tierra

- Categorías de uso de la tierra: La superficie de las categorías presentes en las subcuencas fue obtenida a partir del mapa de uso de la tierra del año 2003 (MAGA, 2006). El uso de la tierra del 2003 fue modificado, con el fin de tomar en cuenta la totalidad del área del altiplano con alto potencial hortícola. Para la categoría de uso "hortalizas" se tomó entonces en cuenta la zonificación definida por IARNA-URL, (2008) como el área que reúne las características biofísicas favorables al desarrollo de la horticultura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Esta decisión se justifica por el hecho que el presente estudio explora las posibles oportunidades de inversiones estratégicas positivas para el progreso de los pequeños productores en el altiplano, y precisamente el desarrollo de este tipo de agricultura ha sido identificado como una de las vías para alcanzar esta meta (IARNA-URL, 2006, 2008).

- Coeficientes de cultivo: Los valores de coeficientes de cultivos (coeficientes de evapotranspiración) para cada categoría de uso de la tierra se determinaron con base en el estudio de Allen, Pereira, Raes & Smith (1998) y la herramienta BISm (*Basic Irrigation Scheduling*) desarrollada por Snyder, Orang, Bali & Eching (2000). Los valores utilizados para cada categoría se muestran en el Cuadro 2.

- Para poder calcular el coeficiente de cultivo mensual de las categorías de uso agrícola, primero se seleccionó el cultivo más representativo de las categorías "granos básicos" y "hortalizas", para lo cual se revisó el Censo Agropecuario (INE y MAGA, 2004) de los

departamentos de Guatemala y Chimaltenango. Asimismo, se analizaron las fechas de siembra de estos cultivos.

- En el caso de los "granos básicos" se seleccionó el maíz, pues este cultivo representa más del 60% de la superficie de esta categoría en los dos departamentos. Para la categoría "hortalizas" se seleccionó el brócoli, ya que corresponde el cultivo más representado también en ambos departamentos (17%).

- Las fechas de siembra se determinaron basados en el estudio de la FAO (2006) y usando los datos definidos para la zona agroecológica 4 de Guatemala. En el caso del maíz, se usó el primero de abril como fecha de siembra, asumiendo una sola siembra por año. Para el brócoli se usaron como fechas de siembra el primero de enero y el primero de julio, ya que se asumió había dos cosechas por año. Para la categoría "bosque" se usó el coeficiente de evapotranspiración de un bosque mixto, derivado del promedio entre los coeficientes de evapotranspiración determinados para los bosques latifoliados y coníferas.

Cuadro 2. Valores de coeficientes de cultivos

Categorías de uso de la tierra	Kc 1	Kc 2	Kc 3	Kc 4	Kc 5	Kc 6	Kc 7	Kc 8	Kc 9	Kc10	Kc11	Kc12
Arbustos	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Asentamientos	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Bosque	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Granos básicos	0.24	0.23	0.22	0.21	0.34	1.04	1.04	0.61	0.24	0.25	0.26	0.26
Hortalizas	0.3	0.3	0.51	0.86	0.99	0.94	0.3	0.3	0.51	0.86	0.99	0.94
Humedales	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Otros Usos	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Pastos nativos	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95

Fuente: Elaboración propia.

- Factor de resistencia a la escorrentía: En WEAP, dicho factor corresponde a un índice que toma en cuenta factores de pendiente y de índice de área foliar. Se extiende entre 0.1 y 10 (las valores más altos significan más resistencia a la escorrentía). En el presente estudio se construyó con base en los valores de índice de área foliar determinados por Scurlock, Asner & Gower (2001), y a los valores de pendiente derivados del modelo numérico de terreno (MNT), utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se calcularon las pendientes promedio para cada una de las unidades de respuesta hidrológica, y se determinaron tres clases a las cuales se les atribuyó un puntaje entre uno y diez (Cuadro 3). Luego se calculó el promedio entre el índice de área foliar y el puntaje de pendiente a nivel de cada área fraccional, dándole una ponderación doble al índice de área foliar.

Cuadro 3. Clases y puntajes de pendiente

Clases	X < 10%	10% < X < 30%	X > 30%
Puntaje	10	5	1

Fuente: Elaboración propia.

E. Características del agua en el suelo

- Capacidad de campo: Este valor fue calculado para cada serie de suelos con base en sus clases texturales, tales como fueron descritas en Guatemala por Simmons, Tarano y Pinto (1959). Los valores de capacidad de campo (en porcentaje de volumen de suelo) se obtuvieron gracias a las ecuaciones de Saxton & Rawls (2006), reunidas y automatizadas en el modelo *Soil Water Characteristics*. Seguidamente, se multiplicó el valor obtenido por los datos de profundidad dados por Simmons, Tarano y Pinto (1959), para obtener el contenido de agua a capacidad de campo, en milímetros. Con el fin de evaluar el efecto del tipo de cobertura, se aplicó un factor de compactación para las categorías de uso agrícola (granos básicos y hortalizas), y un factor de descompresión para las categorías de uso forestal (bosques).

- Conductividad hidráulica saturada: Para cada serie de suelo, este valor (en distancia/tiempo) también se obtuvo de la descripción de textura dada por Simmons, Tarano y Pinto (1959). Luego, se utilizó el modelo *Soil Water Characteristics* para obtener el valor de conductividad hidráulica. En el caso de la categoría de uso "áreas urbanas", se usó el valor de conductividad hidráulica para un suelo urbanizado, dado por el modelo *Soil Water Characteristics* (Saxton & Rawls, 2006).

4.1.2 Calibración

A. El modelo Cropwat

Según Droubi *et al.* (2008), el parámetro que más influye los resultados del balance hidrológico en WEAP –es decir el más sensible– es la conductividad hidráulica saturada. Los autores indican que los valores de este parámetro en WEAP no corresponden exactamente a los valores de conductividad hidráulica saturada, tales como están definidos en el ámbito de las ciencias del suelo. Es decir, el valor está utilizado de manera específica por WEAP, por lo que la conductividad hidráulica saturada según este modelo tiene que ser más baja que la conductividad hidráulica saturada determinada por las ciencias del suelo (Droubi *et al.*, 2008). Por lo tanto, este parámetro necesita pasar por una etapa de calibración.

Dada la poca disponibilidad de estudios y pruebas de campo en la zona, se propuso usar el modelo Cropwat para obtener valores de evapotranspiración. De este modo, se pudo calibrar el parámetro de conductividad hidráulica saturada en WEAP con el objetivo de acercarse a los valores de evapotranspiración obtenidos con Cropwat.

Se calcularon los valores de evapotranspiración real para cada una de las series de suelos modeladas en WEAP. No se pudieron calcular valores para las áreas urbanas, ya que los procesos de evaporación ocurren de manera diferente y no se pueden modelar con Cropwat. Algunas series de suelos tampoco pudieron ser modeladas, dado que sus valores de conductividad hidráulica (determinadas por el modelo *Soil Water Characteristics*) se encontraban fuera de rango de Cropwat.

Se observó que, dividiendo los valores de conductividad hidráulica originalmente definidos en WEAP entre 100, los valores de evapotranspiración real obtenidos en WEAP se acercaban a aquellos obtenidos con Cropwat. Por lo tanto, se aplicó el factor de división entre 100 al parámetro de conductividad hidráulica saturada, originalmente definido con el modelo *Soil Water Characteristics*, para cada una de las unidades de respuesta hidrológica modelada.

A continuación se compararon los valores de evapotranspiración real obtenidos para cada serie de suelos en WEAP y Cropwat. El promedio del valor absoluto de las tasas de variación calculadas para cada área fraccional resultó ser de 12.4%. Además, se calculó la desviación estándar a este promedio, la cual resultó ser de 8.1%. Por lo tanto, los resultados obtenidos con WEAP se consideraron como aceptables.

B. Escenarios modelados

El balance y la oferta hidrológica se estimaron tanto para la situación actual (línea base) – es decir con los datos climáticos y de uso de la tierra actuales – como para escenarios a futuro. Dichos escenarios corresponden a escenarios de cambio climático sin repuesta particular por parte de la sociedad (escenarios tendenciales). Para ellos, se usaron las proyecciones de precipitación y temperatura al 2020, 2050 y 2080 obtenidas del modelo HCCPR-HADCM3 para los escenarios A2 y B2 definidos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Se emplearon los datos de uso de la tierra actual.

C. Estimación del consumo y del balance hídrico

En una última fase, con el objetivo de determinar el balance hídrico en las subcuencas del altiplano, se estimó el consumo de agua para cada cuenca. La estimación de dicho consumo se realizó con base en valores de población e indicadores de consumo de agua genéricos dados por la literatura.

En la estimación poblacional para cada subcuenca se usaron datos del censo poblacional del 2002 (INE, 2002). Se utilizaron datos del 2002 registrados a nivel de poblados y proyectados hasta el año 2020 ya que dichos datos están adecuados para agregarlos a nivel de subcuenca a través del SIG. La proyección de los datos de población a nivel de poblados se basó en las tasas de evolución definidas a nivel de municipios por el INE (2002), y transferidas a nivel de cada poblado según su ubicación municipal.

Para estimar el consumo de agua per cápita se utilizó el umbral definido por el PNUD (PNUD, 2006) como la cantidad mínima de agua por habitante (1,700 metros cúbicos por habitante por año) necesaria para cubrir los varios usos (domestico, agrícola, industrial y ambiental).

Multiplicando la población por este umbral se estimó entonces el consumo anual teórico de agua dentro de cada cuenca. Luego se obtuvo el balance hídrico haciendo la diferencia entre la disponibilidad anual por cuenca y dicho valor de consumo.

La estimación del balance hídrico para los escenarios a futuro se basó en los datos de población del 2020, inclusivo para el balance al 2050 y 2080, ya que no existen datos de proyección de población a plazos más largos que 2020.

4.2 El índice de gestión hídrica (IGH)

Como se explicó en la sección 3.2.2, el Índice de Gestión Hídrica (IGH) se basa en los componentes recurso (R), acceso (A), capacidad (C), uso (U), y ambiente (Am) y en el caso del presente trabajo cada uno de estos recibió diferente peso. De igual manera los indicadores dentro de cada uno de los componentes recibieron un peso específico distinto. En la selección de los indicadores y su priorización se realizaron cuatro talleres; los componentes así como sus indicadores, la fuente de información y el peso asignado se presentan a continuación en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Indicadores priorizados para la estimación del IGH

Componente	Indicadores priorizados	Fuente	Peso (cada componente suma 100)
Recurso (25)	Disponibilidad hídrica per cápita (m^3/hab)	IARNA-URL (2013)	40
	Recarga potencial (m^3/ha)	IARNA-URL (2013)	25
	Numero de meses con estrés hídrico	IARNA-URL (2013)	25
	Tasa de variación de la disponibilidad hídrica al 2020 (%)	IARNA-URL (2013)	10
Acceso (20)	NBI agua (%)	INE (2002)	33.33
	NBI Saneamiento (%)	INE (2002)	33.33
	Acceso a riego (superficie regada/ superficie total agrícola - %)	Elaboración propia, con base en INE/MAGA (2003)	33.33
Capacidad (20)	Tasa de crecimiento natural de la población (%)	INE (2002)	14
	Tasa de analfabetismo (%)	INE (2002)	14
	Mortalidad infantil (menores de 1 año - %)	Ministerio de salud (2009)	14
	Desnutrición crónica (%)	Mineduc/Sesan (2008)	14
	Población en condiciones de pobreza extrema (%)	INE (2002)	14
	Porcentaje del presupuesto municipal dedicado a agua y saneamiento (%)	USAID/ICEFI (2009)	30
Uso (15)	Agua consumida para uso doméstico (m^3/habitante/año)	Elaboración propia, con base en IARNA/URL (2009)	40
	Agua consumida para riego (m^3/ha/año)	Elaboración propia, con base en INE/MAGA (2003) y Segeplan (2006)	40
	Agua consumida para uso pecuario (m^3/año)	Elaboración propia, con base en INE/MAGA (2003) y FAO (2009)	20
Ambiente (20)	Cobertura forestal (%)	INAB, CONAP, UVG, URL (2012)	20
	Tasa anual de deforestación (%)	INAB, CONAP, UVG, URL (2012)	20
	Índice de deterioro físico de la tierra	IARNA/URL (2006)	10
	Erosión de suelos (ton/ha/año)	IARNA/URL (2009)	15
	Tierras forestales de captación y regulación hidrológica (%)	INAB (2005)	25
	Áreas protegidas (%)	CONAP (2010)	10

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo matemático del IGH combina los cinco componentes claves a través de la ecuación general siguiente:

$$IGH = \frac{\sum_{i=1}^{N} w_i X_i}{\sum_{i=1}^{N} w_i}$$

Donde IGH es el índice de gestión hídrica para un lugar en particular, Xi se refiere al componente i de la estructura del IGH para ese lugar, y wi es el peso aplicado a ese componente. Cada componente tiene a su vez un número de subcomponentes, que se combinan para obtener los valores respectivos. Para los cinco componentes tomados en cuenta para el índice, la ecuación se expresa de la forma siguiente:

$$IGH = \frac{w_r R + w_a A + w_c C + w_u U + w_{am} Am}{w_r + w_a + w_c + w_u + w_{am}}$$

El IGH es el promedio ponderado de los cinco componentes: recurso (R), acceso (A), capacidad (C), uso (U), y ambiente (Am). Cada uno de los indicadores se estandariza en un rango con un valor adimensional entre 0 a 100, al igual que el valor final del IGH. Cada componente corresponde a su vez a un promedio ponderado de los indicadores que lo integran. En el caso del presente estudio, se atribuyó un peso mayor al componente de Recurso (nivel de importancia), menor al Uso y similar peso a los de Acceso, Capacidad y Ambiente. Adicionalmente, dentro de cada uno de los componentes, cada indicador tiene un peso específico (el cual se describe en la sección de materiales y métodos).

V. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL ALTIPLANO GUATEMALTECO

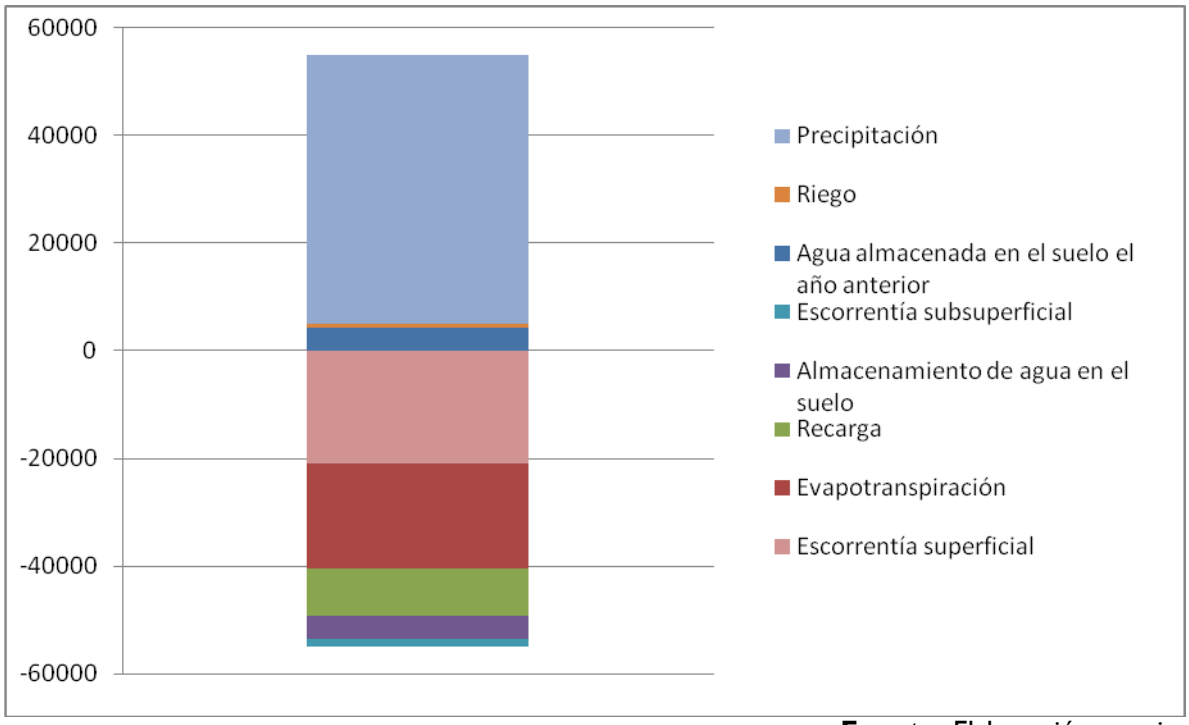
5.1 Modelación hidrológica

5.1.1 Situación actual

5.1.1.1 Balance hidrológico

A través del presente estudio se calculó el balance hidrológico o balance hídrico de suelos, y con base en dicho balance se pudieron determinar los volúmenes anuales de los principales flujos que forman parte del ciclo hidrológico superficial. En el modelo hidrológico utilizado se consideraron los flujos de entrada siguientes: Precipitaciones, riego y agua almacenada en el suelo durante el año anterior; y por otro lado, los flujos de salida siguientes: Evapotranspiración, escorrentía superficial y subsuperficial, recarga y almacenamiento de agua en el suelo. A continuación se detallan los valores de los diferentes flujos del balance hídrico de suelos (Figura 3 y Cuadro 5)

Figura 3. Balance hidrológico general en el altiplano occidental



Fuente: Elaboración propia.

Al observar los datos del Cuadro 5, se aprecia que la precipitación anual total para el área del Altiplano Occidental alcanza un poco más de los 50,000 millones de metros cúbicos, y que los flujos de salida más importantes son la escorrentía superficial y la evapotranspiración, los cuales representan respectivamente el 37.8% (20,820 millones de metros cúbicos) y el 35.8% (19,717 millones de metros cúbicos) del total de los flujos de salida. Los flujos de recarga representan el 16%, mientras que el agua almacenada en la capa de suelo alcanza el 7.69% y la escorrentía subsuperficial es menos del 3%.

Cuadro 5. Balance hidrológico general en el altiplano occidental

Tipo de flujo	Flujos	Millones de metros cúbicos	Peso relativo (%)
Flujos de entrada	Precipitación	50,075	90.92
	Irrigación	769	1.4
	Agua almacenada en el suelo el año anterior	4,235	7.69
	Total de entradas	55,078	100
Flujos de salida	Evapotranspiración	19,717	35.8
	Escorrentía superficial	20,820	37.8
	Recarga	8,761	15.91
	Escorrentía subsuperficial	1,546	2.81
	Almacenamiento de agua en el suelo	4,235	7.69
	Total de salidas	55,079	100

Fuente: Elaboración propia.

El balance hidrológico es fundamental para identificar las cuencas que más agua reciben por la precipitación, las que más pierden agua por la evapotranspiración y para estimar la disponibilidad hídrica anual.

5.1.2 Disponibilidad hídrica anual

La disponibilidad hídrica u oferta hidrológica es el volumen de agua que queda disponible anualmente en el subsistema ambiental, dicho de otra forma, es el agua que queda después de que los procesos de evapotranspiración se han llevado a cabo. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los resultados de disponibilidad hídrica para la situación actual.

Al analizar la Figura 4 salta a la vista que el altiplano, y principalmente en su parte central, se caracteriza por una relativa escasez hídrica, si se compara con las áreas ubicadas en sus márgenes (Bocacosta al sur y Franja Transversal del Norte al norte).

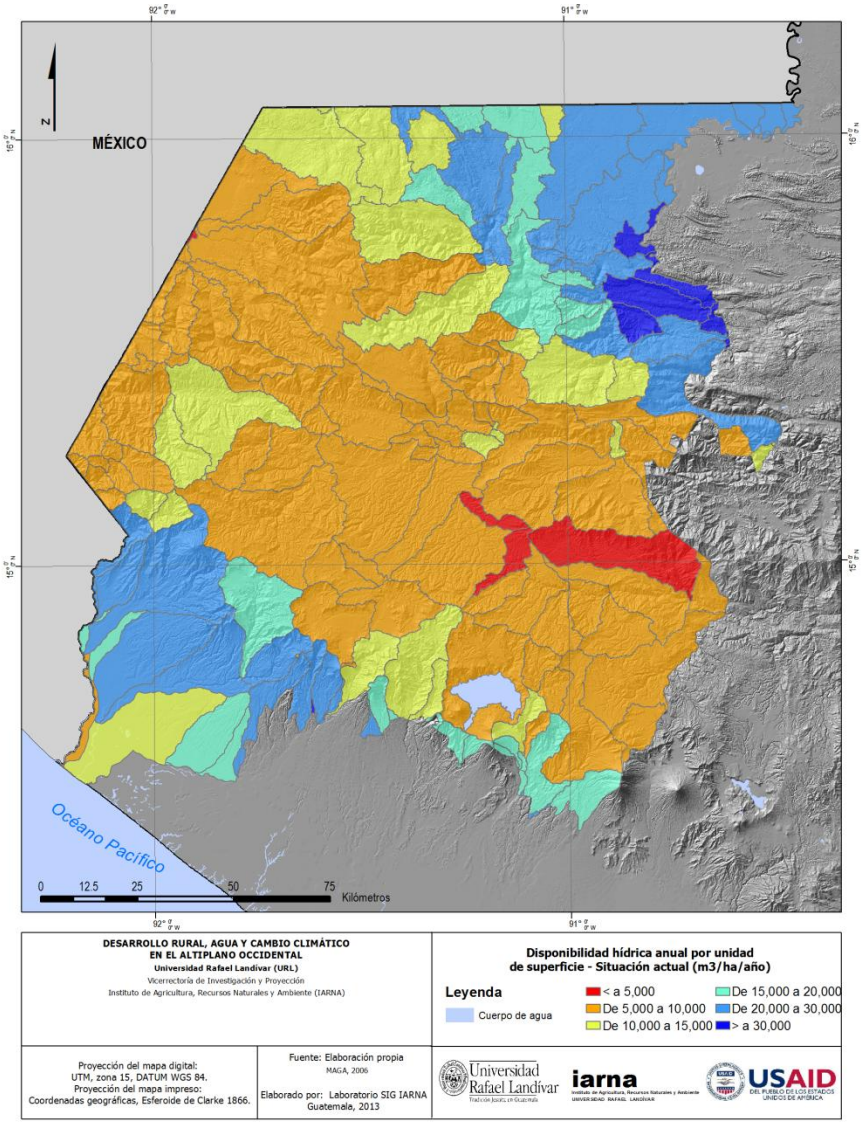
Las subcuencas más críticas están ubicadas en la parte central del altiplano, y corresponden a las subcuencas de las partes altas de las cuencas del río Motagua y del río Negro, en la parte sur de El Quiché y en Totonicapán. En dicha zona se encuentran tres subcuencas cuya disponibilidad hídrica anual ha sido estimada por debajo de los 5,000 metros cúbicos por hectárea. Situación que también se da en las partes altas del altiplano, y sobre todo en el área del corredor seco extendido.

Contrario a lo anterior, las cuencas que presentan niveles de disponibilidad más altos están ubicadas en los márgenes del altiplano. En la parte suroccidental, corresponden a las subcuencas de la vertiente Pacifico, y pertenecen principalmente a las cuencas de los ríos Ocosito, Naranjo y Suchiate. En esta zona, las subcuencas analizadas presentan niveles de disponibilidad que son por lo general arriba de los 20,000 metros cúbicos por hectárea por año. Dichas zonas pertenecen al área de la Bocacosta ubicada en los departamentos de Quetzaltenango y San Marcos. En la parte norte del altiplano, las subcuencas con más ventajas en términos de disponibilidad hídrica corresponden a las que drenan hacía la Franja Transversal del Norte y que están ubicadas en las

partes medias y bajas de las cuencas de los ríos Ixcán, Xaclbal, Copón, Chixoy y Tzejá. En muchas de aquellas subcuencas, la disponibilidad hídrica anual alcanza los 20,000 metros cúbicos por hectárea, y a veces sobrepasa los 30,000 metros cúbicos por hectárea

Los datos analizados en esta sección demuestran que en términos biofísicos la distribución del recurso hídrico en el altiplano es desigual, pero para poder entender la magnitud es necesario tomar en cuenta la demanda del ser humano sobre el recurso, es por esto que en la siguiente sección se presentan los resultados del balance hídrico incluyendo este factor.

Figura 4. Disponibilidad hídrica para la situación actual



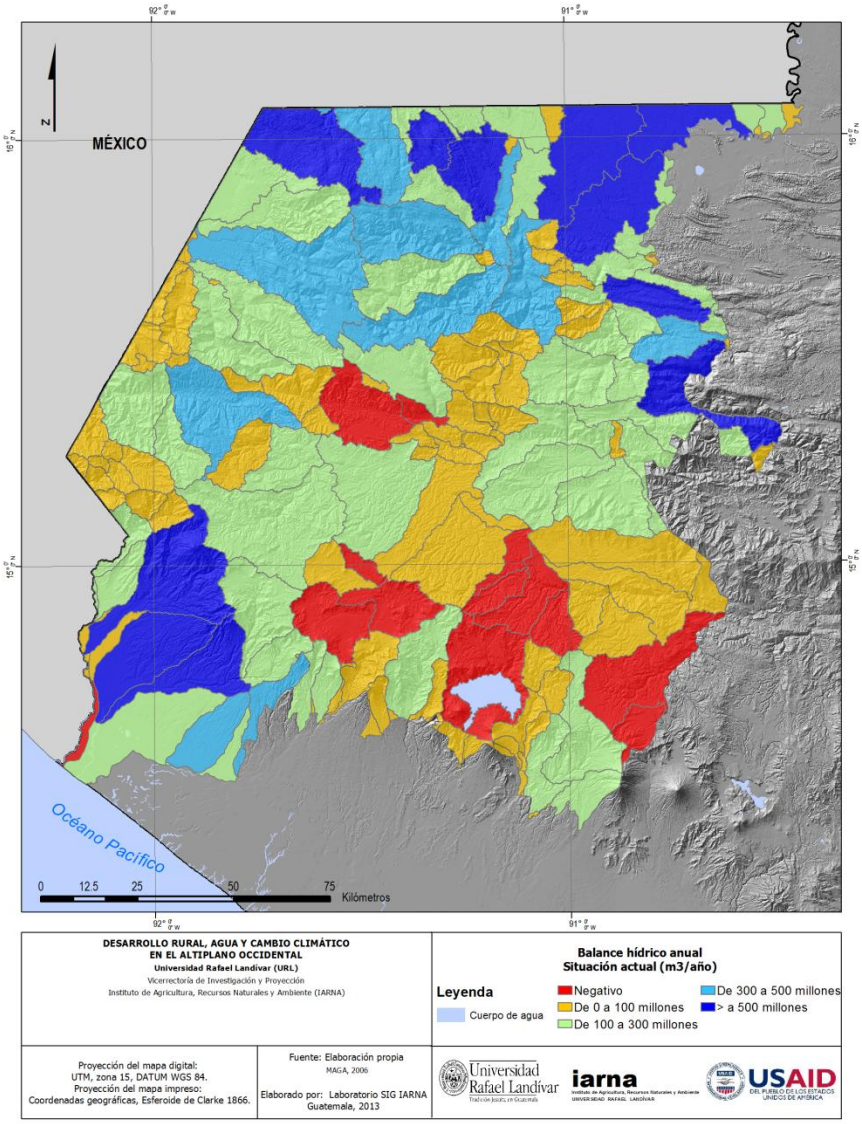
Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Balance hídrico

El cálculo del balance hídrico permite identificar aquellas subcuencas que presentan un déficit o excedente anual de recursos hídricos. Los resultados del balance hídrico anual se presentan en la Figura 5.
En el mapa a continuación (Figura 5), se puede observar que la mayor parte de las subcuencas estudiadas presentan un balance hídrico excedentario para el periodo actual. No obstante, el área del altiplano cuenta con un cierto número de cuencas deficitarias en términos de recursos hídricos.

Las subcuencas con un balance hídrico deficitario están vinculadas a las principales áreas urbanas del altiplano: Chimaltenango, Sololá, Santa Cruz del Quiché, Huehuetenango y Quetzaltenango. Es importante mencionar que este indicador no revela necesariamente la falta de recursos hídricos para dichas ciudades, ya que estas pueden recurrir a medidas estructurales (ej. Importación de agua proveniente de otras subcuencas), pero en realidad, si muestra que en estas zonas existe localmente una fuerte presión sobre los recursos hídricos. Las subcuencas que presentan un balance hídrico deficitario forman parte de las cuencas altas de los ríos Motagua, Selegua y Samalá. De igual manera resulta deficitaria la cuenca del Lago de Atitlán.

Figura 5. Balance hídrico para la situación actual



Fuente: Elaboración propia.

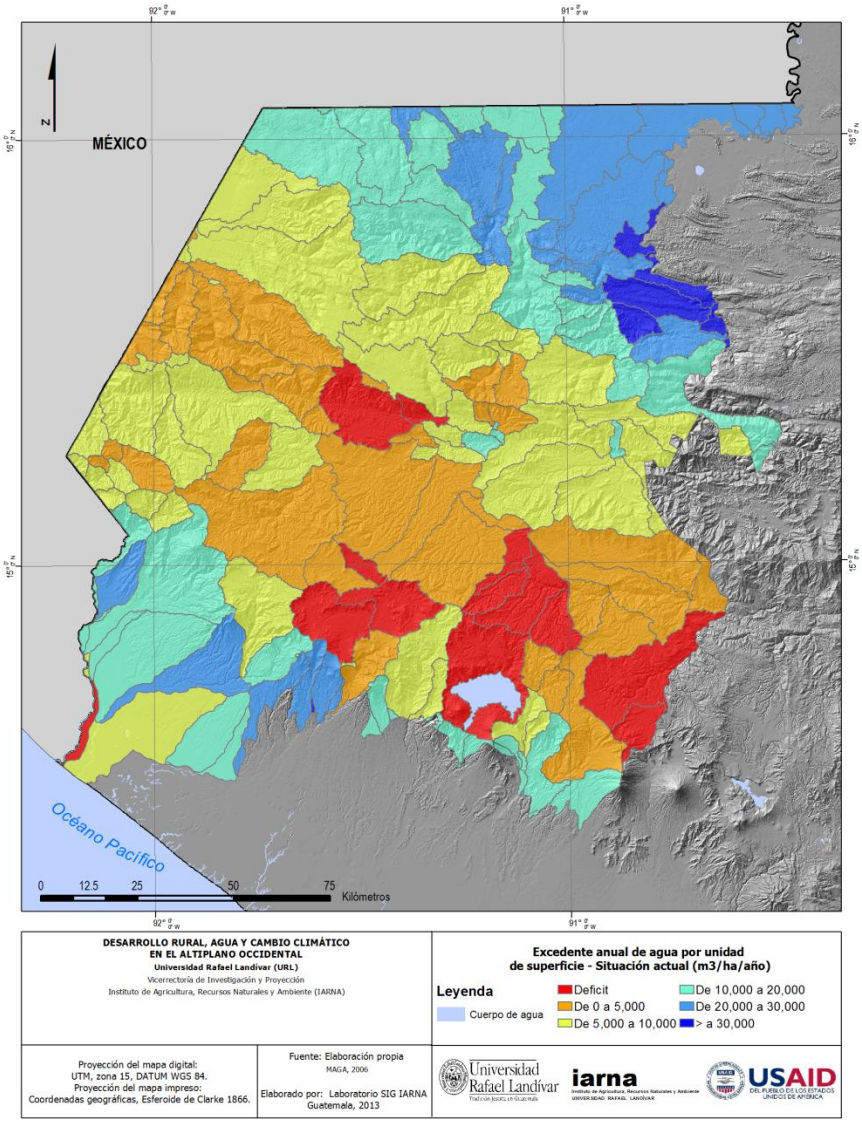
En el resto de la parte alta del altiplano, la mayor parte de las subcuencas presentan un excedente anual de recursos hídricos inferior a 200 millones de metros cúbicos.

Las subcuencas con un mayor excedente de recursos hídricos están principalmente ubicadas a los márgenes del altiplano, es decir en la Bocacosta en el suroccidente y en la Franja Transversal del Norte en la parte norte. En aquellas áreas, la mayor parte de las subcuencas presentan un excedente que supera los 300 millones de metros cúbicos al año, y en ciertos casos sobrepasa los 500 millones de metros cúbicos. En la parte suroccidental, las subcuencas que destacan en términos del excedente de recursos hídricos pertenecen a las cuencas de los ríos Ocosito, Naranjo y Suchiate, mientras en la parte norte destacan las cuencas de los ríos Nentón, Pojóm, Ixcán, Xaclbal y Tzejá.

Después de haber analizado los valores del balance bruto, es importante observar los resultados de dicho balance relativizados por el factor de superficie, ya que este indicador además de analizar

el volumen de agua disponible luego de haber satisfecho las necesidades ecosistémicas y humanas, también permite tener una idea de la eficiencia del paisaje para producir agua dentro de cada cuenca. Los resultados de este indicador se presentan en la Figura 6.

Figura 6. Excedente anual de agua por hectárea para la situación actual



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el mapa anterior, se observa las mismas subcuencas con un déficit anual de agua por hectárea. Se nota que el eje central del altiplano (que corresponde a la extensión del llamado Corredor Seco) presenta valores más bajos en cuanto al excedente anual de agua por hectárea. Dicho eje central está conformado por las cuencas de los ríos Motagua, Negro y Selegua. Al alejarse de este eje central, se puede observar un gradiente positivo hacía el norte y sur en cuanto al excedente anual de agua por hectárea. Dicho gradiente está más marcado, pero alcanza los valores más grandes en la extremidad suroccidente (Bocacosta) y en la parte norte de los departamentos de Huehuetenango y Quiché.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 6 muestra que 13sub-cuencas con un total de 245,284 hectáreas (12%) presentan un déficit anual de agua por hectárea.

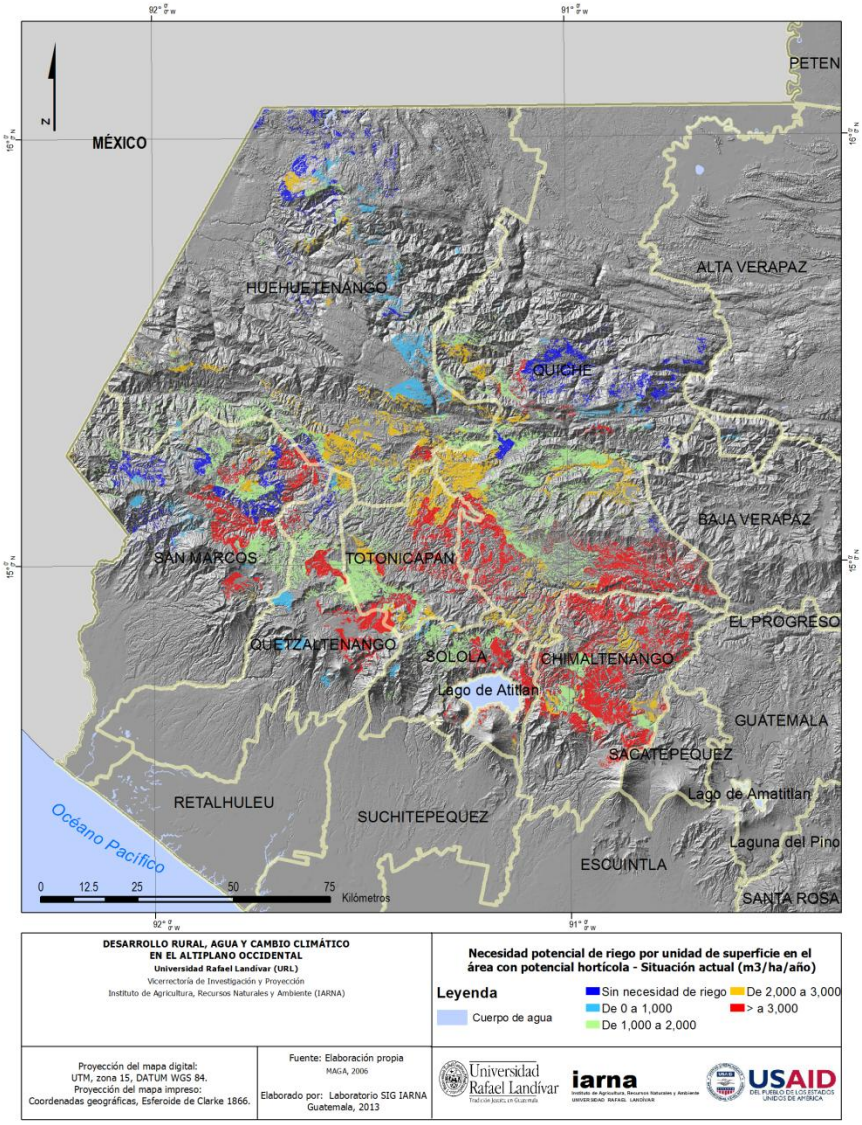
5.1.4 Necesidad de riego

La modelación hidrológica permitió aportar elementos cuantitativos en cuanto a las necesidades de riego en el altiplano. Dado que dicha modelación está basada en un balance hídrico de suelos, se pudo estimar la necesidad de riego para cada unidad hidrológica correspondiente a un uso teóricamente regado (hortalizas y caña de azúcar). En resumen, la necesidad de riego calculada en el presente estudio depende de factores climáticos, de las características de los suelos y del uso de agua por la vegetación. Los resultados de dicho análisis están presentados en el mapa a continuación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 7).

Al observar el mapa, se nota una concentración de áreas con poca o sin necesidad de riego en tres zonas: **El norte de Huehuetenango, el norte de San Marcos y la parte mediana de El Quiché (Zona Reina y triángulo Ixil)**. Estás áreas están vinculadas con las áreas más lluviosas del altiplano. En el caso de la Zona Reina se encuentran las series de suelo Amay y Calanté, las cuales han sido descritas como suelos profundos y bien drenados, adaptados para la agricultura permanente o anual (Simmons et al., 1959). En el triángulo Ixil, las áreas con poca necesidad de riego están también asociadas con la serie Calanté. Al noroeste de San Marcos, dichas áreas está asociadas con las series Camanchá (área de Tacaná, Sibinal e Ixchiguán) y Sinaché (entre Comitancillo y Concepción Tutuapa). Ambas series han sido descritas como suelos profundos y bien drenados, adaptados al desarrollo agrícola, inclusive hortícola (cultivo de papa) (Simmons et al., 1959). En el caso del norte de Huehuetenango, las áreas con menos necesidad de riego corresponden a la serie de suelo Jacaltenango, igualmente descritas como suelos profundos y bien drenados. Al analizar las áreas con potencial hortícola que pueden desarrollarse sin riego se tienen que estás están distribuidas en 42 municipios y cubren un área de 36,163 hectáreas (2%).

Al contrario, las áreas con más necesidad de riego (con requerimientos superiores a 3,000 metros cúbicos por hectárea por año) están principalmente en la franja ubicada directamente al norte de la cadena volcánica en los departamentos de Chimaltenango, la franja sur de El Quiché, Sololá, Totonicapán y las partes medias de Quetzaltenango y San Marcos. Corresponden por lo general a áreas con menos precipitaciones (cuencas de los ríos Motagua, Negro y Lago de Atitlán). Estas áreas están asociadas con las series de suelos Zacualpa, Cauqué, Quiché, Chol (en Chimaltenango y El Quiché), Totonicapán (en Totonicapán), Tolimán (en Sololá) Patzité (en Totonicapán, Sololá, Quetzaltenango y San Marcos). La mayor parte de estos suelos poseen características propicias al desarrollo agrícola, pero son muy erosionables o muy erosivos (ej. Patzité, Tolimán, Totonicapán, Cauqué) (Simmons et al., 1959). Al contabilizar las áreas con potencial hortícola que tienen necesidad de riego estas se distribuyen en 112 municipios y cubren un área de 171,500 hectáreas (8%).

Figura 7. Necesidad potencial de riego en el área con potencial hortícola del altiplano occidental, enfoque situación actual



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5 Escenario B2

En esta sección se presentan los resultados de la modelación hidrológica para el escenario B2, para los años 2020, 2050 y 2080, lo que permitirá identificar las cuencas más vulnerables a los efectos del cambio climático.

5.1.6 Disponibilidad hídrica anual

Una vez que los resultados de la modelación hidrológica han sido evidenciados para la situación actual, es importante ver cuáles son las tendencias a las cuales está sometido el altiplano

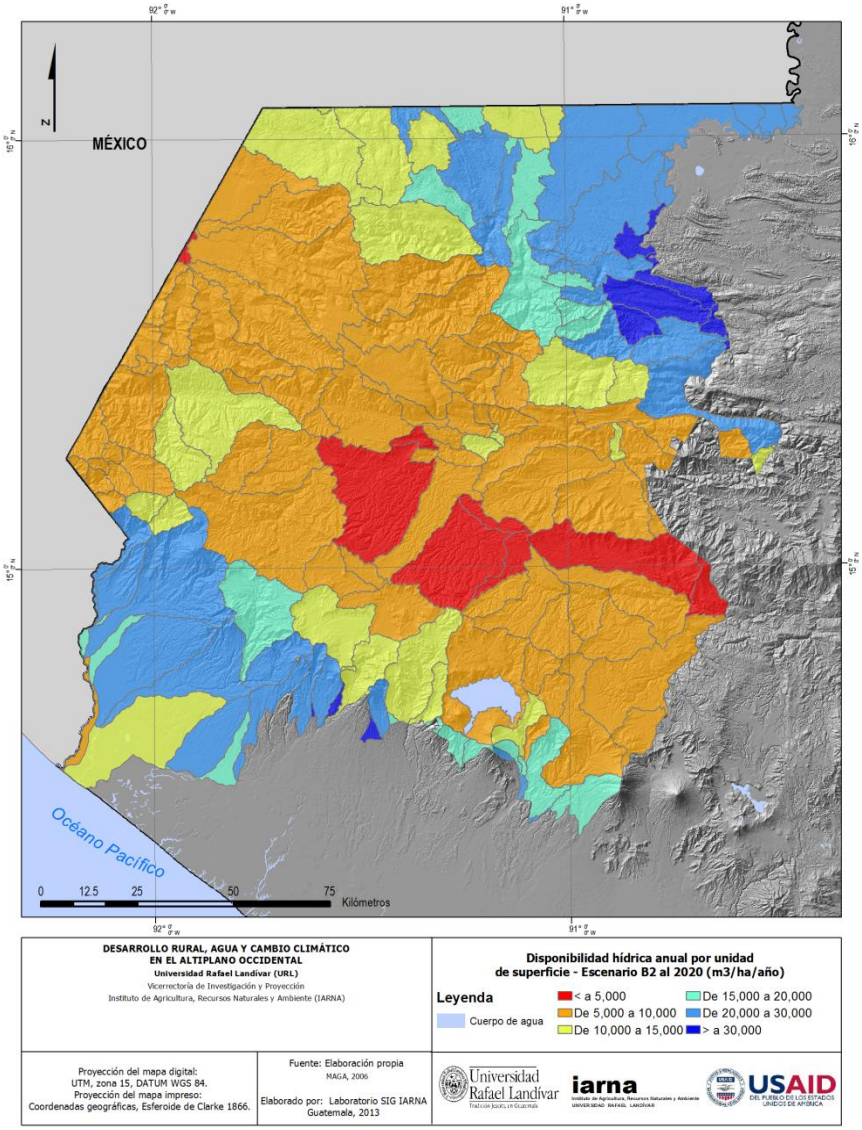
guatemalteco en términos de recursos hídricos. Los resultados de disponibilidad hídrica por unidad de superficie por cuenca están presentados en los mapas a continuación (Figuras 8, 9 y 10).

En el escenario B2 se estima que para el 2020, 20 subcuencas tendrían déficit hídrico. Estás áreas están ubicadas principalmente en la parte alta de las cuencas de los ríos Motagua y Negro. Las subcuencas con las tasas de variación más bajas en el 2020 se encuentran en la parte baja de las cuencas del noroccidente, fronterizas con México (Selegua, Nentón, Xaclbal); las subcuencas con una tasa de variación también se encuentran en el noroccidente, aunque también en la cuenca alta de los ríos Motagua y Negro. Para el año 2050, la variación climática se ve agudizada en comparación con el año 2020, ya que se pasa de un 16% del área en estrés hídrico a un 24%.

Para el año 2080 la disminución de la disponibilidad hídrica se generaliza en el altiplano, con tasas de variación entre -22.6% y -69% en comparación a la situación actual. Un total de 73 subcuencas presentarían estrés hídrico. Estas cuencas se ubican principalmente alrededor del área que corresponde a la extensión del corredor seco, en las cuencas de los ríos Motagua, Negro, Blanco, Selegua, Nentón y Xaclbal alto.

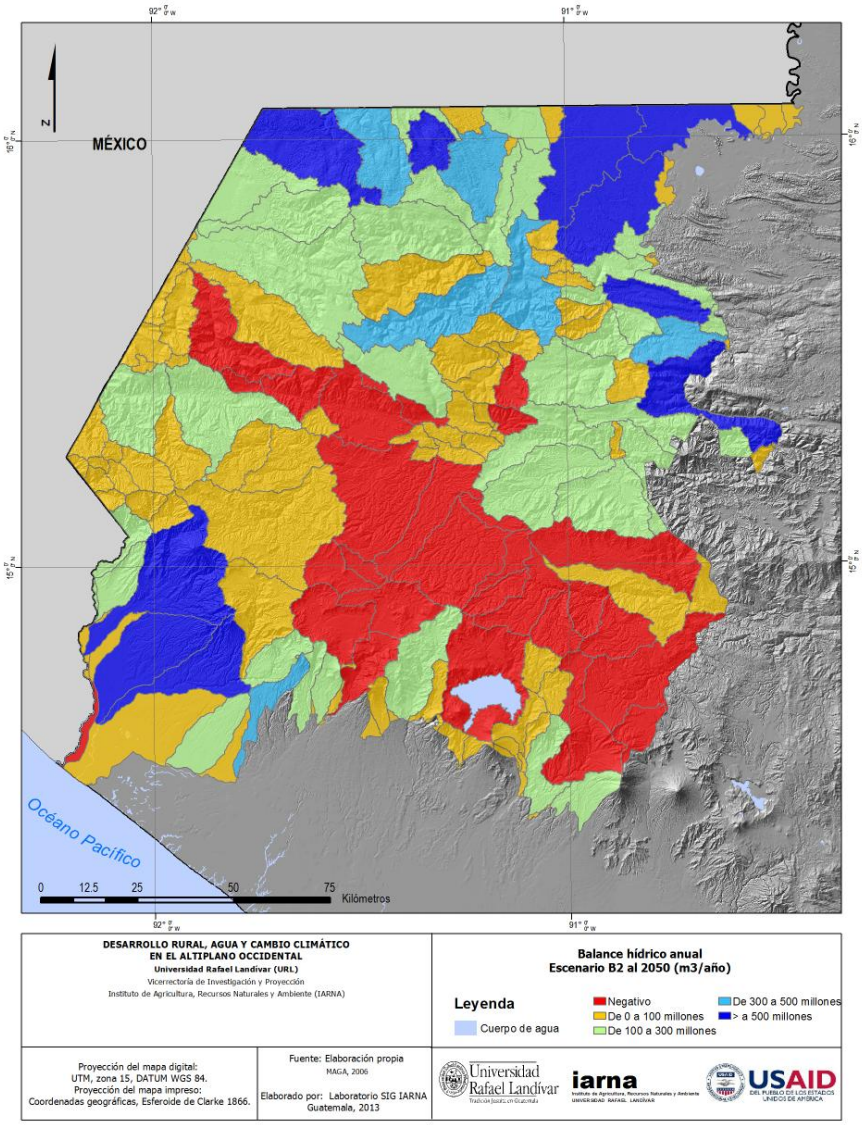
En este escenario, la disminución en la disponibilidad hídrica afectaría 20 cuencas (245,284 hectáreas que representan el 16% del área total) en el 2020, 29 cuencas (con una extensión de 590,042hectáreas, que equivalen al 24%) en el 2050, y 73 cuencas (1,451,559 hectáreas que representan el 60% del territorio analizado) en el 2080, estás áreas se pueden apreciar en rojo en las figuras 8, 9 y 10. Para mayor detalle ver zonas azules y verdes de las figuras 8, 9 y 10.

Figura 8. Disponibilidad hídrica para el escenario B2 al 2020



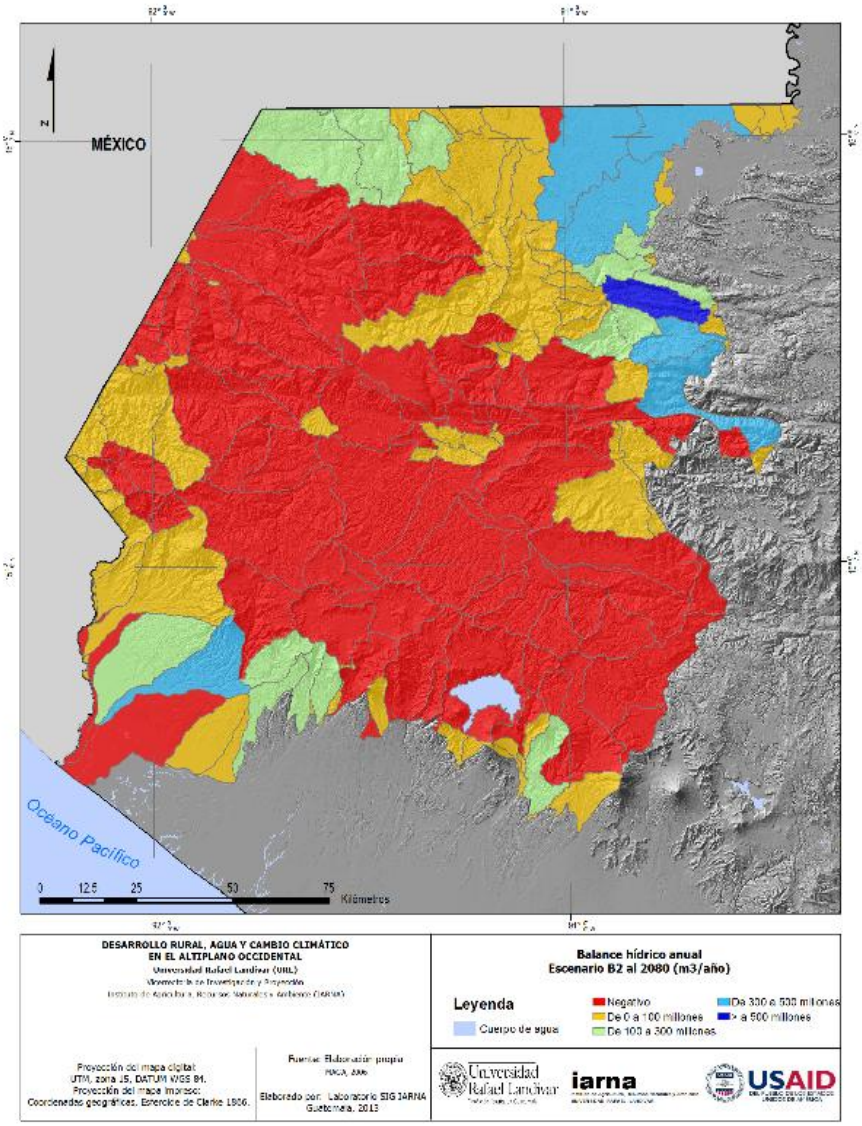
Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Disponibilidad hídrica para el escenario B2 al 2050



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Disponibilidad hídrica para el escenario B2 al 2080



Fuente: Elaboración propia.

5.1.7 Escenario A2

Antes de empezar esta sección es necesario aclarar que el escenario A2 se caracteriza por cambios más drásticos en los factores de precipitaciones y temperatura que para el escenario B2. Al igual que para el escenario B2, el documento se enfoca únicamente en la presentación del indicador de disponibilidad hídrica anual.

A continuación se presentan los resultados de la modelación hidrológica para el escenario A2, para los años 2020, 2050 y 2080. La idea de analizar este escenario es entender que pasaría si las condiciones ambientales se agudizaran en relación a un escenario más optimista (B2).

5.1.8 Disponibilidad hídrica anual

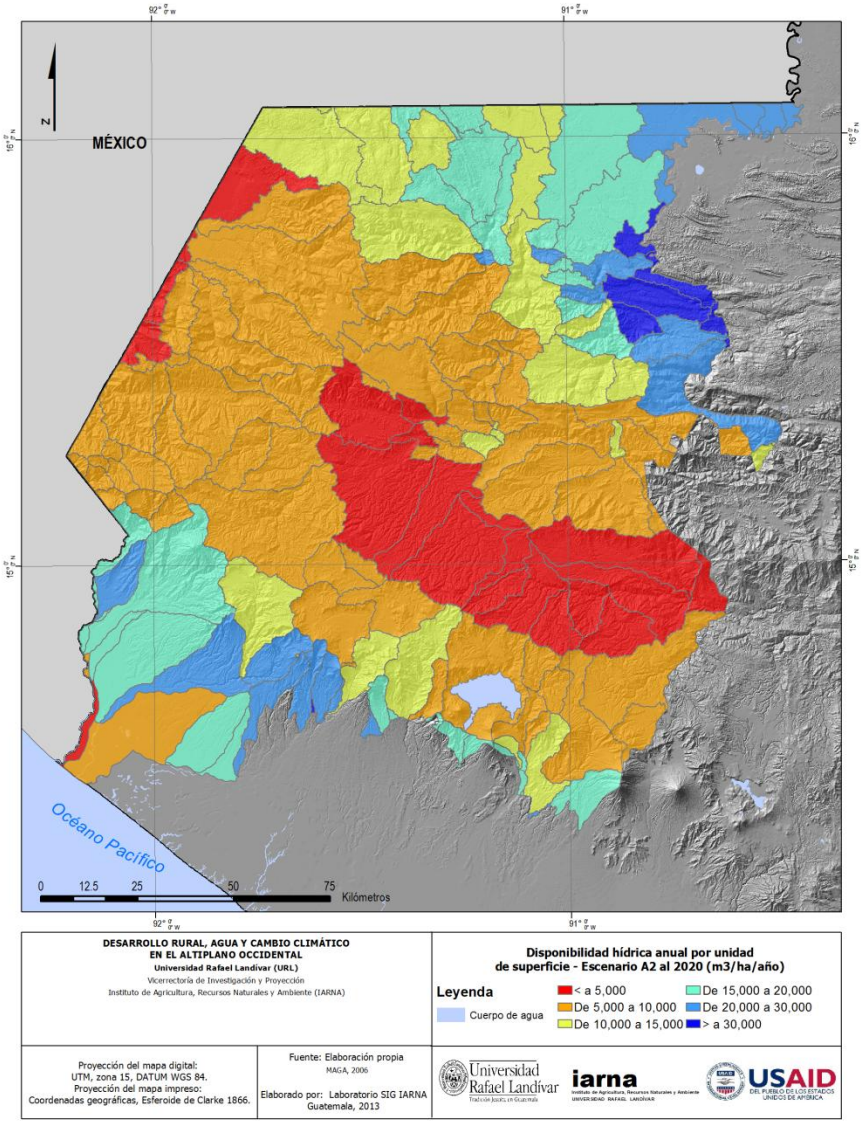
Los resultados de disponibilidad hídrica anual están presentados en las figuras 11, 12 y 13.

Para el escenario A2, la disminución de la disponibilidad hídrica ocurre de manera más drástica y rápida, esto se puede apreciar en que a partir del año 2020 la totalidad de las subcuencas del altiplano sufren una disminución de la disponibilidad hídrica de entre -4.1% y -29.8%. En el 2020, un total de 22 subcuencas (416,038 hectáreas que equivalen al 20% del área de estudio) déficit hídrico. Dichas áreas están ubicadas en las cuencas de los ríos Motagua y Negro, así como en la parte baja de las cuencas del Selegua y del río Nentón. Al Igual que para el escenario B2, las subcuencas sujetas a una menor variación (superior a -10%) de la disponibilidad hídrica están ubicadas en la Bocacosta y alrededor de la Zona Reina y del Ixcán.

Al año 2050, las variaciones serían drásticas comparándoles con el año 2020. En total 42 subcuencas (875,332 hectáreas que equivalen al 36% del altiplano) entrarían en estrés hídrico. Estas subcuencas están ubicadas cerca del eje constituido por las cuencas del Motagua, Negro y Selegua/Nentón.

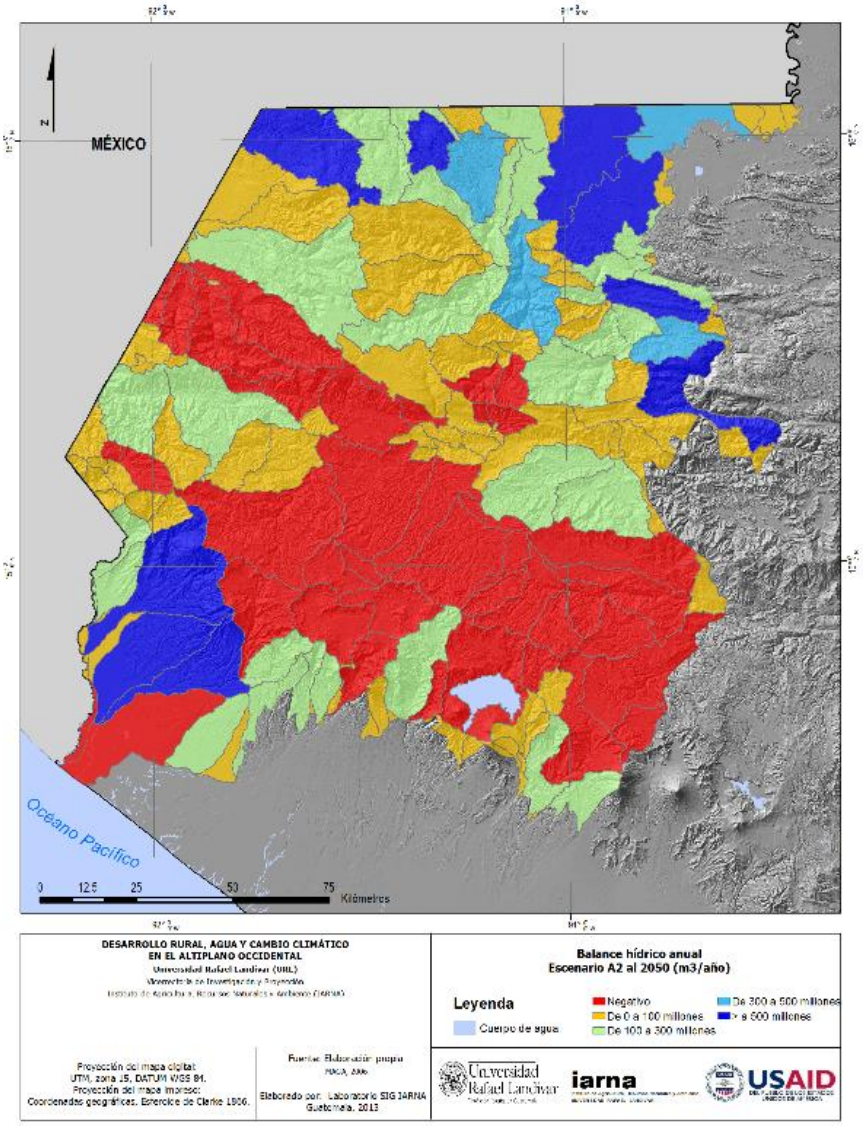
Para el 2080 los cambios son más drásticos aún, ya que en ese año 76 subcuencas (con un área de 1,486, 934 hectáreas que equivalen al 61% del área total del altiplano) tendrán estrés hídrico. La disponibilidad hídrica disminuiría en promedio del 44.3% en la zona del altiplano, llegando en ciertas subcuencas a sobrepasar el 70%. Al igual que para el escenario B2, las subcuencas sujetas a una variación más importante (inferior a -50%) se encontrarían en las cuencas de los ríos Motagua, Negro, Blanco, Xaclbal, Ixcán, Pojóm, Nentón y Selegua. Las subcuencas sujetas a variaciones menores estarían ubicadas en la Bocacosta, así como en la Zona Reina.

Figura 11. Disponibilidad hídrica para el escenario A2 al 2020



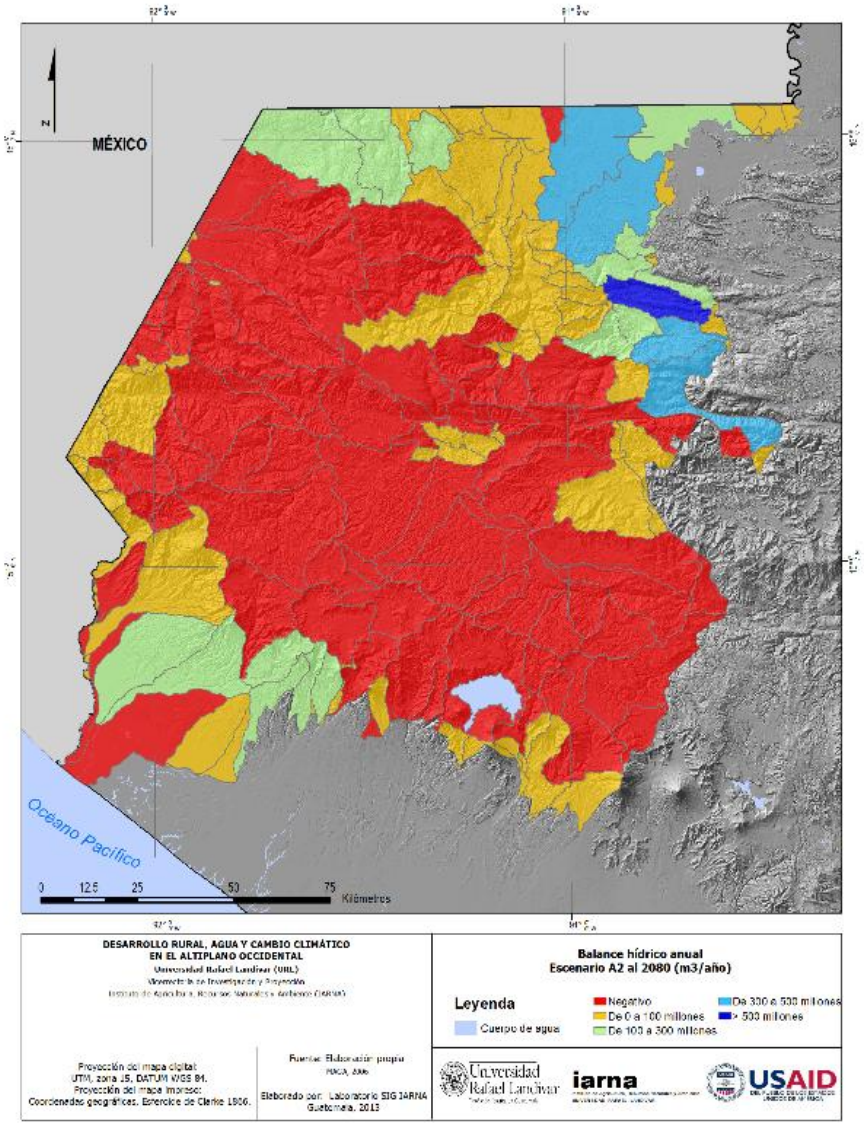
Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Disponibilidad hídrica para el escenario B2 al 2080 A2 al 2050



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Disponibilidad hídrica para el escenario A2 al 2080



Fuente: Elaboración propia.

5.2 Índice de Gestión Hídrica y sus componentes

Como se explicó en la sección 5.1 (Índice de Gestión Hídrica y los componentes utilizados en el presente trabajo) el índice de gestión hídrica combina cinco componentes (recurso, acceso, capacidad, uso y ambiente) con ponderación relativa que va de cero a cien. Con fines de evaluar el estado de la gestión de los recursos hídricos en los municipios del altiplano occidental de Guatemala, los índices de Gestión Hídrica Municipal obtenidos fueron clasificados usando la escala que se presenta en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Escala utilizada para evaluar el nivel de gestión hídrica en el altiplano Guatemalteco.

Clasificación	Valor del Índice de Gestión Hídrica	Disponibilidad
Alto	>75	
Medio alto	50-75	
Medio Bajo	25-50	
Bajo	< 25	

Fuente: Elaboración propia.

Es importante enfatizar que el Índice IGH no solamente es un número sino la manifestación de cinco componentes que reflejan los principales atributos relacionados con el manejo del agua a nivel municipal.

Para facilitar el análisis de la información, los municipios se dividieron en dos grupos, el primero está integrado por los municipios que tienen una gestión hídrica adecuada o aceptable (que incluye los rangos Alto y Medio Alto) y se caracterizan por presentar valores de IGH mayores a 50. El segundo, está conformado por aquellos municipios que tienen una gestión hídrica deficiente (con rangos Medio Bajo y Bajo), es decir, aquellos que presentan valores de IGH menores de 50.

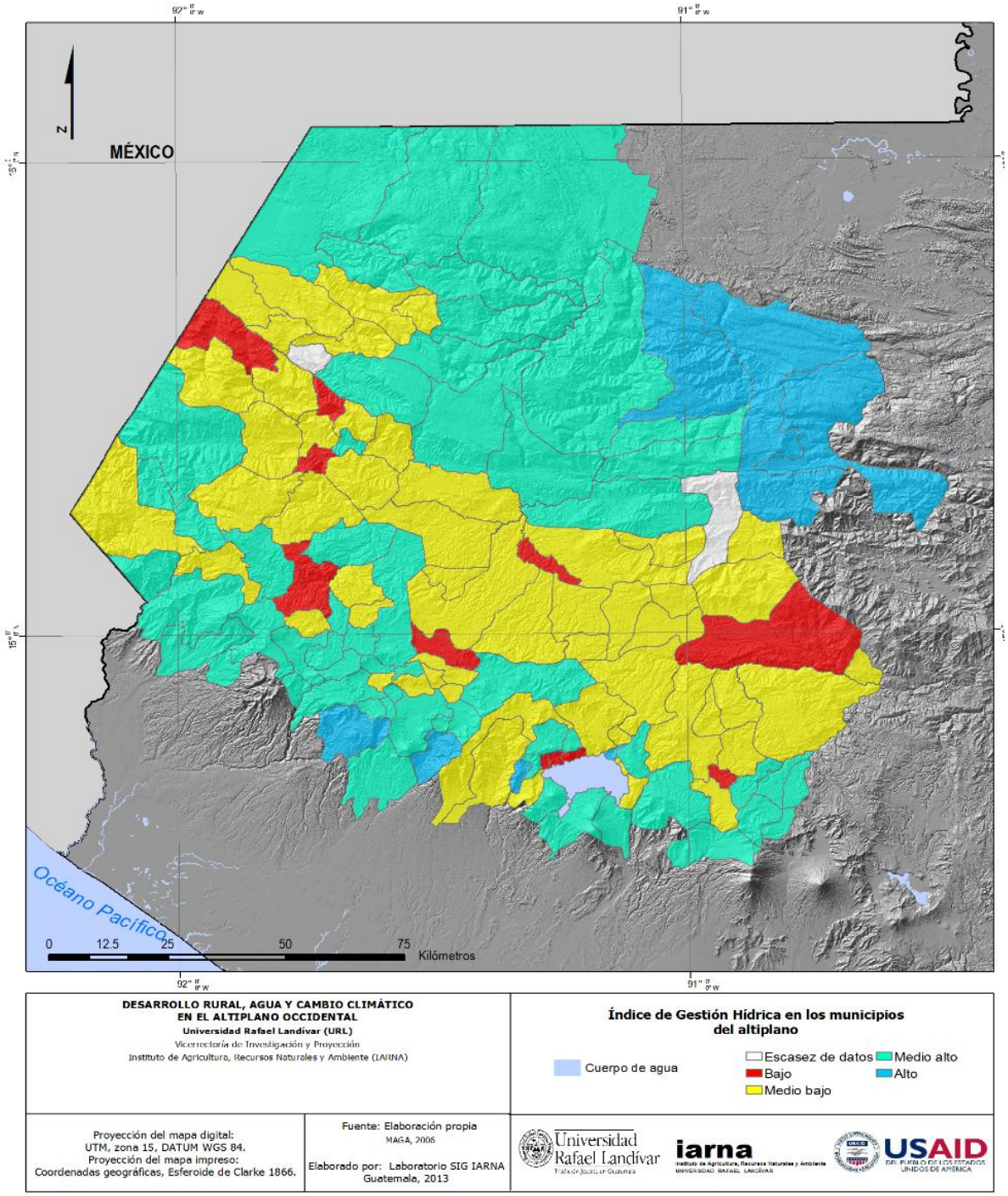
A manera de referencia, es necesario mencionar que el índice se ha aplicado para todos los países del mundo, permitiendo obtener una clasificación planetaria provisoria, en tanto a nivel de comunidades se ha desarrollado en algunos países de África (Sudáfrica, Tanzania) y en Asia (Sri Lanka). En el caso de los países africanos, Sudáfrica tiene un valor de IPH de 52.2 reflejando la mayor dificultad en el componente de acceso al agua, mientras Tanzania con un menor valor de 48.3 se ve agravada por causa de los desequilibrios ambientales a los que está sometida (Sullivan, et al., 2002).

En el caso de Guatemala, los resultados del IGH y sus componentes a nivel de territorios municipales se presentan a continuación.

5.2.1 Índice de Gestión Hídrica

De los 129 municipios evaluados, 64 presentan un IGH adecuado, es decir, con valores mayores a 50. Estos municipios representan el 59% del área total del altiplano. En este territorio el 49% del área está cubierta por hortalizas y el 41% tiene potencial para el desarrollo hortícola (para más detalle ver Cuadro 7 y Figura 14). El listado de municipios con un IGH deficiente se presenta a continuación en el Cuadro 7, así como sus áreas totales, y las áreas hortícolas actuales y potenciales.

Figura 14. Índice de Gestión Hídrica en el altiplano Guatemalteco



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 7. Municipios con un IGH deficiente

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Chimaltenango	Chimaltenango	4,909	109	1,666
Chimaltenango	Patzún	18,420	1,958	6,005
Chimaltenango	Acatenango	13,100	26	3,707
Chimaltenango	San Andrés Iztapa	6,766	328	2,727
Chimaltenango	Parramos	2,944	97	1,810
Chimaltenango	Zaragoza	5,192	309	1,804
Chimaltenango	El Tejar	4,556	29	2,190
Sololá	San José Chacayá	1,579	14	614
Sololá	Santa María Visitación	2,076	0	270
Sololá	Santa Lucía Utatlán	5,107	8	2,046
Sololá	Santa Clara La Laguna	1,436	1	397
Sololá	San Andrés Semetabaj	5,297	94	2,341
Sololá	Panajachel	772	13	263
Sololá	San Lucas Tolimán	7,369	18	1,436
Sololá	San Pedro La Laguna	5,066	5	544
Sololá	Santiago Atitlán	11,590	43	1,294
Totonicapán	Totonicapán	24,450	111	6,682
Quetzaltenango	Quetzaltenango	12,680	326	5,609
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,650	186	10,430
Quetzaltenango	Sibilia	4,106	102	2,312
Quetzaltenango	Cajolá	2,053	12	594
Quetzaltenango	San Juan Ostuncalco	10,900	365	68
Quetzaltenango	San Mateo	1,082	93	130
Quetzaltenango	Concepción Chiquirichapa	2,189	395	0
Quetzaltenango	San Martín Sacatepéquez	14,380	751	0
Quetzaltenango	Almolonga	1,255	394	512
Quetzaltenango	Cantel	4,974	34	1,275
Quetzaltenango	Zunil	7,746	617	1,006
Quetzaltenango	San Francisco la Unión	1,689	0	1,020
Quetzaltenango	El Palmar	17,590	34	766
Quetzaltenango	La Esperanza	1,225	61	539
Quetzaltenango	Palestina de los Altos	3,602	366	353
San Marcos	San Marcos	12,050	163	2,548
San Marcos	San Pedro Sacatepéquez	7,737	214	1,649
San Marcos	San Antonio Sacatepéquez	4,731	125	791
San Marcos	Sibinal	10,430	818	1,670

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
San Marcos	Tajumulco	25,140	283	4,248
San Marcos	Tejutla	14,300	230	6,433
San Marcos	San Rafael Pie de la Cuesta	4,520	23	0
San Marcos	San Pablo	21,240	4	0
San Marcos	San José Ojetenam	7,861	410	1,142
San Marcos	San Cristóbal Cucho	2,970	37	62
San Marcos	Sipacapa	15,140	468	7,115
San Marcos	Río Blanco	3,119	7	1,319
Huehuetenango	Chiantla	41,310	1,670	10,290
Huehuetenango	Cuilco	45,360	124	4,341
Huehuetenango	Nentón	76,620	72	10,830
Huehuetenango	Soloma	26,300	138	1,984
Huehuetenango	Todos Santos Cuchumatán	26,920	800	80
Huehuetenango	Santa Eulalia	25,070	7	955
Huehuetenango	San Mateo Ixtatán	58,330	107	7,464
Huehuetenango	Tectitán	7,254	219	472
Huehuetenango	San Juan Ixcoy	21,070	577	1,474
Huehuetenango	San Sebastián Coatán	15,670	34	1,293
Huehuetenango	Santa Cruz Barillas	116,600	6	132
Huehuetenango	Aguacatán	32,520	341	11,750
Huehuetenango	San Rafael Pétzal	2,517	13	286
Quiché	Chajul	52,580	1	5,603
Quiché	Cunén	22,600	215	5,875
Quiché	San Juan Cotzal	16,300	8	4,957
Quiché	Nebaj	85,310	184	11,900
Quiché	Uspantán	83,730	102	6,409
Quiché	Sacapulas	36,980	497	15,890
Quiché	Chicamán	56,670	49	3,733

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el IGH es un promedio de cinco componentes mencionados, es posible que un valor pequeño en un componente pueda ser compensado por un valor alto en otro, por lo que a fin de comprender el tipo de vulnerabilidad que tiene cada uno de los municipios objeto de estudio, a continuación, se hace un análisis por cada uno de los componentes del IGH.

5.2.2 Componente Recurso

La variable recurso se refiere a la disponibilidad física del agua (subterránea y superficial) tomando en cuenta su variabilidad en el tiempo y calidad así como la cantidad total de agua. El análisis de

este componente permite entender la situación de la materia prima para la subsistencia de personas y agricultura en el altiplano.

Los resultados del componente muestran que solamente cinco municipios tienen niveles adecuados de recurso, estos municipios son Chicamán, Uspantán, y Chajul en el departamento de El Quiché, así como El Palmar y San Martín Sacatepéquez en el departamento de Quetzaltenango (para más detalle ver Cuadro 8).

Un total de 124 municipios tienen problemas relacionados con el recurso (valores por debajo de 50); de estos 32 presentan un índice bajo. Al analizar los 124 municipios en conjunto, representan un área municipal de 1,797,615 hectáreas (80%), de las que 29,551 (97%) corresponden a áreas con cobertura de hortalizas y 445,330 (95%) hectáreas tienen potencial para desarrollar horticultura. Los valores de este grupo se presentan en el Fuente: Elaboración propia.

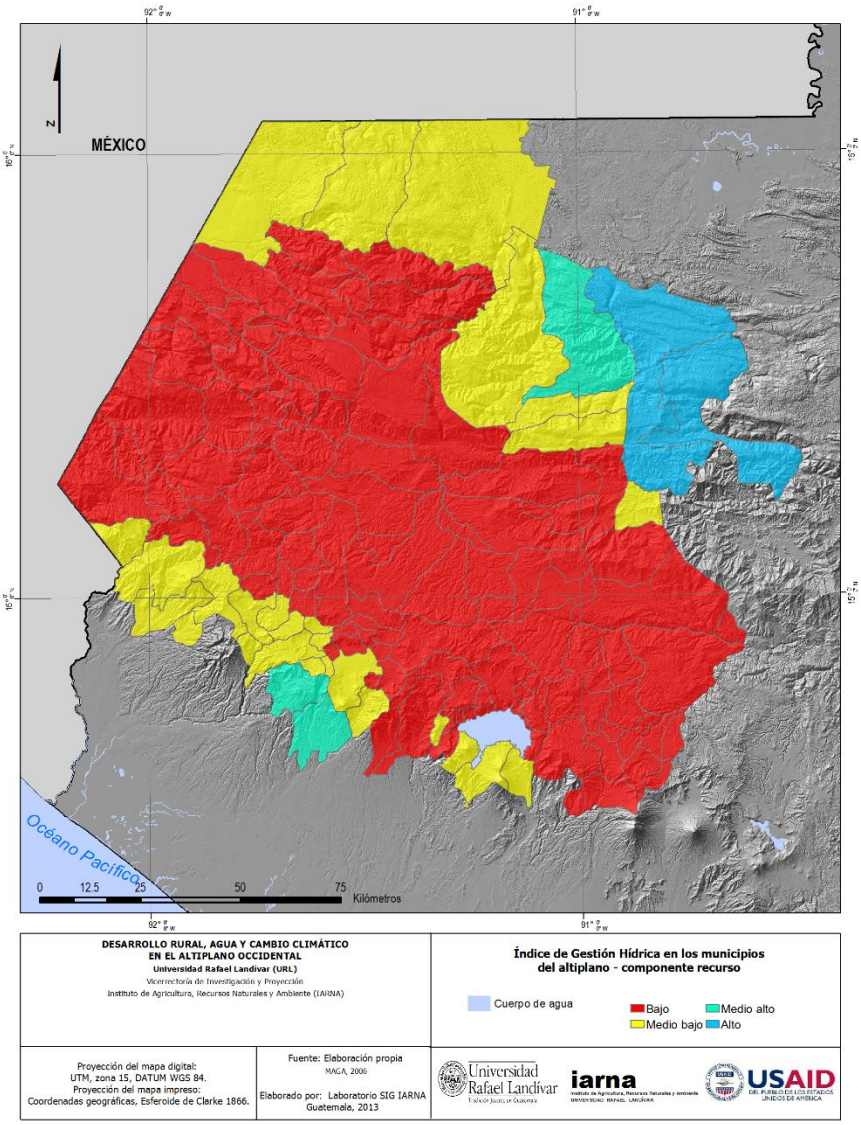
Cuadro 9 y la Figura 15. Dicho de otra forma el 91% de los municipios tienen problemas de disponibilidad física de agua, por lo que es de suma importancia implementar medidas encaminadas a la conservación de los recursos hídricos tales como estructuras de almacenamiento de agua, y protección de las zonas de recarga y descarga hídrica (estos temas serán abordados a profundidad en el documento de inversiones estratégicas).

Cuadro 8. Municipios con componente Recurso adecuado

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Quetzaltenango	San Martín Sacatepéquez	14,380	751	0
Quetzaltenango	El Palmar	17,590	34	766
Quiché	Chajul	52,580	1	5,603
Quiché	Uspantán	83,730	102	6,409
Quiché	Chicamán	56,670	49	3,733

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Componente Recurso del IGH en el altiplano guatemalteco



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 9. Municipios con componente Recurso deficiente

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Chimaltenango	Chimaltenango	4,909	109	1,666
Chimaltenango	San José Poaquil	9,658	316	4,568
Chimaltenango	San Martín Jilotepeque	41,010	206	14,210
Chimaltenango	San Juan Comalapa	8,575	254	3,573
Chimaltenango	Santa Apolonia	4,614	183	1,677
Chimaltenango	Tecpán Guatemala	24,790	895	9,397

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Chimaltenango	Patzún	18,420	1,958	6,005
Chimaltenango	Patzicía	12,950	3	5
Chimaltenango	Santa Cruz Balanyá	6,474	1,180	3,700
Chimaltenango	Acatenango	13,100	26	3,707
Chimaltenango	San Andrés Iztapa	6,766	328	2,727
Chimaltenango	Parramos	2,944	97	1,810
Chimaltenango	Zaragoza	5,192	309	1,804
Chimaltenango	El Tejar	4,556	29	2,190
Sololá	Sololá	15,140	760	6,882
Sololá	San José Chacayá	1,579	14	614
Sololá	Santa María Visitación	2,076	0	270
Sololá	Santa Lucía Utatlán	5,107	8	2,046
Sololá	Nahualá	18,620	377	4,191
Sololá	Santa Catarina Ixtahuacán	18,980	58	3,039
Sololá	Santa Clara La Laguna	1,436	1	397
Sololá	Concepción	1,497	85	384
Sololá	San Andrés Semetabaj	5,297	94	2,341
Sololá	Panajachel	772	13	263
Sololá	Santa Catarina Palopó	473	14	55
Sololá	San Antonio Palopó	2,612	42	746
Sololá	San Lucas Tolimán	7,369	18	1,436
Sololá	Santa Cruz La Laguna	1,127	11	84
Sololá	San Pablo La Laguna	614	9	191
Sololá	San Marcos La Laguna	919	0	114
Sololá	San Juan La Laguna	3,718	2	637
Sololá	San Pedro La Laguna	5,066	5	544
Sololá	Santiago Atitlán	11,590	43	1,294
Totonicapán	Totonicapán	24,450	111	6,682
Totonicapán	San Cristóbal Totonicapán	4,426	65	3,067
Totonicapán	San Francisco El Alto	7,264	103	4,846
Totonicapán	San Andrés Xecul	1,649	9	1,078
Totonicapán	Momostenango	36,000	1,360	18,420
Totonicapán	Santa María Chiquimula	23,750	692	10,600
Totonicapán	Santa Lucía La Reforma	4,541	517	3,360
Totonicapán	San Bartolo Aguas Calientes	5,640	335	2,455
Quetzaltenango	Quetzaltenango	12,680	326	5,609
Quetzaltenango	Salcajá	1,688	53	1,254

Cerrar Documento

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Quetzaltenango	Olintepeque	3,218	65	1,689
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,650	186	10,430
Quetzaltenango	Sibilia	4,106	102	2,312
Quetzaltenango	Cabricán	8,366	327	3,072
Quetzaltenango	Cajolá	2,053	12	594
Quetzaltenango	San Miguel Siguila	1,713	2	195
Quetzaltenango	San Juan Ostuncalco	10,900	365	68
Quetzaltenango	San Mateo	1,082	93	130
Quetzaltenango	Concepción Chiquirichapa	2,189	395	0
Quetzaltenango	Almolonga	1,255	394	512
Quetzaltenango	Cantel	4,974	34	1,275
Quetzaltenango	Huitán	3,634	71	1,830
Quetzaltenango	Zunil	7,746	617	1,006
Quetzaltenango	San Francisco la Unión	1,689	0	1,020
Quetzaltenango	La Esperanza	1,225	61	539
Quetzaltenango	Palestina de los Altos	3,602	366	353
San Marcos	San Marcos	12,050	163	2,548
San Marcos	San Pedro Sacatepéquez	7,737	214	1,649
San Marcos	San Antonio Sacatepéquez	4,731	125	791
San Marcos	Comitancillo	13,480	1,266	6,870
San Marcos	San Miguel Ixtahuacán	19,610	111	8,306
San Marcos	Concepción Tutuapa	22,410	423	8,199
San Marcos	Tacaná	36,190	779	6,112
San Marcos	Sibinal	10,430	818	1,670
San Marcos	Tajumulco	25,140	283	4,248
San Marcos	Tejutla	14,300	230	6,433
San Marcos	San Rafael Pie de la Cuesta	4,520	23	0
San Marcos	San Pablo	21,240	4	0
San Marcos	Ixchiguán	10,440	540	1,788
San Marcos	San José Ojetenam	7,861	410	1,142
San Marcos	San Cristóbal Cucho	2,970	37	62
San Marcos	Sipacapa	15,140	468	7,115
San Marcos	Río Blanco	3,119	7	1,319
San Marcos	San Lorenzo	4,482	45	2,462
Huehuetenango	Huehuetenango	23,530	45	9,743
Huehuetenango	Chiantla	41,310	1,670	10,290
Huehuetenango	Malacatancito	25,680	19	16,320

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Huehuetenango	Cuilco	45,360	124	4,341
Huehuetenango	Nentón	76,620	72	10,830
Huehuetenango	San Pedro Necta	13,280	12	0
Huehuetenango	Jacaltenango	20,690	452	147
Huehuetenango	Soloma	26,300	138	1,984
Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán	18,550	127	2,734
Huehuetenango	Santa Bárbara	15,000	30	4,994
Huehuetenango	La Libertad	21,700	11	595
Huehuetenango	La Democracia	16,890	92	0
Huehuetenango	San Miguel Acatán	17,580	96	637
Huehuetenango	San Rafael la Indepencia	5,657	18	311
Huehuetenango	Todos Santos Cuchumatán	26,920	800	80
Huehuetenango	San Juan Atitán	5,795	12	0
Huehuetenango	Santa Eulalia	25,070	7	955
Huehuetenango	San Mateo Ixtatán	58,330	107	7,464
Huehuetenango	Colotenango	6,182	1	448
Huehuetenango	San Sebastián Huehuetenango	9,034	317	20
Huehuetenango	Tectitán	7,254	219	472
Huehuetenango	Concepción Huista	10,400	646	562
Huehuetenango	San Juan Ixcoy	21,070	577	1,474
Huehuetenango	San Antonio Huista	6,465	2	0
Huehuetenango	San Sebastián Coatán	15,670	34	1,293
Huehuetenango	Santa Cruz Barillas	116,600	6	132
Huehuetenango	Aguacatán	32,520	341	11,750
Huehuetenango	San Rafael Pétzal	2,517	13	286
Huehuetenango	San Gaspar Ixchil	3,543	0	1,090
Huehuetenango	Santiago Chimaltenango	3,936	0	0
Huehuetenango	Santa Ana Huista	11,710	2	0
Quiché	Santa Cruz del Quiché	11,230	641	6,343
Quiché	Chiché	11,580	18	7,812
Quiché	Chinique	6,121	84	3,097
Quiché	Zacualpa	24,770	15	6,921
Quiché	Chichicastenango	24,580	714	8,846
Quiché	Patzité	5,318	2	2,701
Quiché	San Antonio Ilotenango	13,870	462	9,106
Quiché	San Pedro Jocopilas	29,490	150	15,510
Quiché	Cunén	22,600	215	5,875

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Quiché	San Juan Cotzal	16,300	8	4,957
Quiché	Joyabaj	47,280	390	22,710
Quiché	Nebaj	85,310	184	11,900
Quiché	San Andrés Sajcabaja	16,940	0	5,280
Quiché	Sacapulas	36,980	497	15,890
Quiché	San Bartolomé Jocotenango	10,340	4	3,959
Quiché	Canillá	10,210	100	4,120
Quiché	Pachalum	4,183	23	954

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Componente Acceso

La variable Acceso se refiere al nivel de provisión o abastecimiento que tiene la población al agua, en cantidad y calidad para los distintos usos humanos. En el área de estudio hay un total 88 de municipios que presentan un nivel de Acceso calificado como Adecuado. Los 41 municipios que presentan índices deficientes representan el 36% (704,511 hectáreas) del área total del altiplano, en este territorio 44% (13,482 hectáreas) del área está cubierta con hortalizas y 34% (158,942 hectáreas) del área restante tiene potencial hortícola. En el Cuadro 10 se presentan los municipios con valores de acceso clasificados como deficientes, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 16 se presentan el mapa con la distribución de los municipios y su situación de acceso al agua.

El hecho de que aproximadamente el 66% del área del altiplano presente un nivel adecuado de provisión o abastecimiento de agua indica que las autoridades locales han hecho mucho énfasis en este tema, pero todavía se requieren de mayores esfuerzos en la inversión.

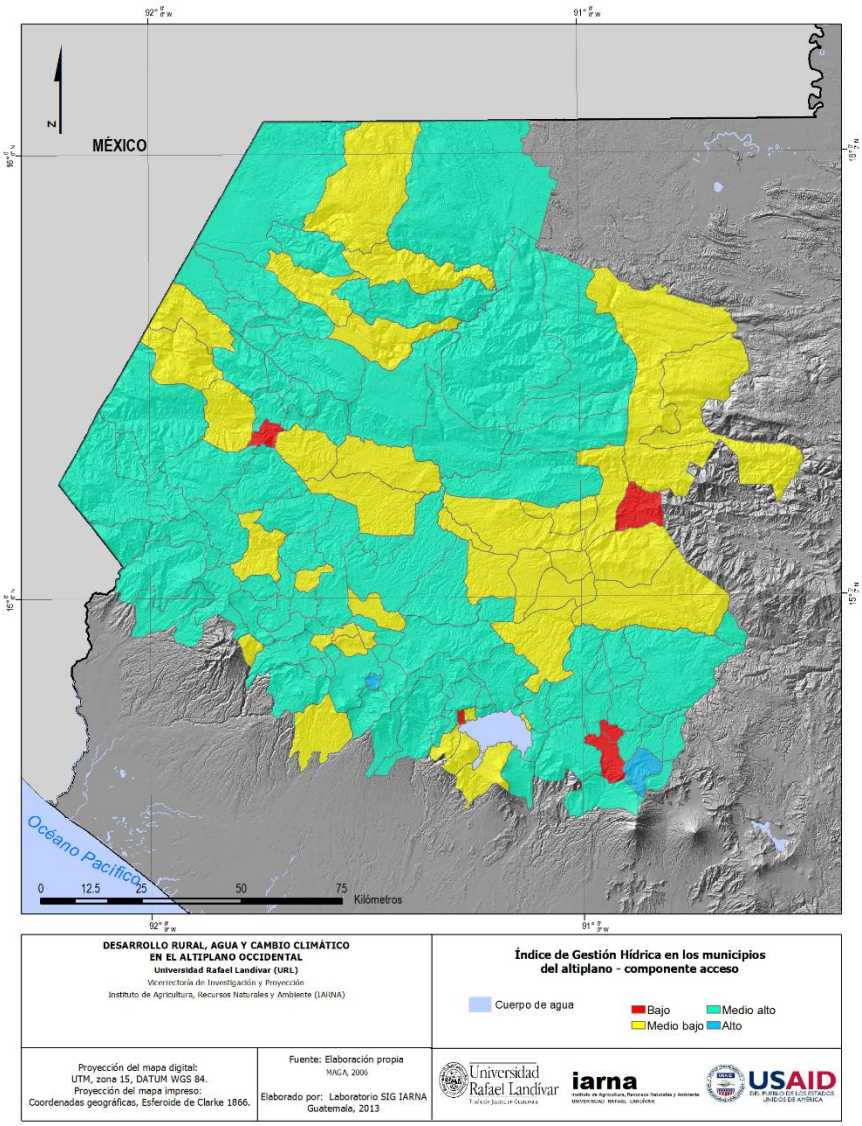
Cuadro 10. Municipios con valores del Componente Acceso ¨Deficientes¨.

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área Hortalizas (Ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Quiché	Chicamán	9,658	316	4,568
Quiché	Canillá	41,010	206	14,210
Quiché	San Bartolomé Jocotenango	8,575	254	3,573
Quiché	Uspantán	24,790	895	9,397
Quiché	Joyabaj	12,950	3	5
Quiché	San Pedro Jocopilas	6,766	328	2,727
Quiché	San Antonio Ilotenango	2,944	97	1,810
Quiché	Chichicastenango	4,556	29	2,190
Quiché	Zacualpa	1,579	14	614
Quiché	Chinique	2,076	0	270

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área Hortalizas (Ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Quiché	Chiché	5,107	8	2,046
Quiché	Santa Cruz del Quiché	18,620	377	4,191
Huehuetenango	San Gaspar Ixchil	1,497	85	384
Huehuetenango	San Juan Ixcoy	1,127	11	84
Huehuetenango	San Mateo Ixtatán	11,590	43	1,294
Huehuetenango	Santa Eulalia	24,450	111	6,682
Huehuetenango	San Miguel Acatán	36,000	1,360	18,420
Huehuetenango	La Democracia	23,750	692	10,600
Huehuetenango	La Libertad	4,541	517	3,360
Huehuetenango	Santa Bárbara	5,640	335	2,455
Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán	12,680	326	5,609
Huehuetenango	Malacatancito	2,053	12	594
Huehuetenango	Huehuetenango	10,900	365	68
San Marcos	San Cristóbal Cucho	1,255	394	512
San Marcos	Comitancillo	13,480	1,266	6,870
Quetzaltenango	El Palmar	14,300	230	6,433
Quetzaltenango	San Francisco la Unión	4,520	23	0
Quetzaltenango	Huitán	10,440	540	1,788
Quetzaltenango	San Miguel Siguila	41,310	1,670	10,290
Quetzaltenango	Olintepeque	20,690	452	147
Totonicapán	Santa Lucía La Reforma	21,700	11	595
Totonicapán	San Andrés Xecul	5,657	18	311
Totonicapán	San Francisco El Alto	26,920	800	80
Sololá	Santiago Atitlán	58,330	107	7,464
Sololá	San Pedro La Laguna	6,182	1	448
Sololá	San Juan La Laguna	9,034	317	20
Sololá	San Marcos La Laguna	7,254	219	472
Sololá	San Pablo La Laguna	10,400	646	562
Sololá	Santa Catarina Palopó	116,600	6	132
Chimaltenango	Santa Cruz Balanyá	16,300	8	4,957
Chimaltenango	Patzicía	47,280	390	22,710

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Componente Acceso del IGH en el altiplano guatemalteco



Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Componente Capacidad

Se refiere a la eficacia de la población para manejar el agua, se interpreta en el sentido de los ingresos que permite tener un mejor acceso a agua, educación y salud, los cuales indican también la capacidad de lobby para mejorar su provisión al agua así como su capacidad de manejo del recurso. En este componente 82 municipios presentan valores de capacidad deficiente, estos representan el 74% del área municipal estudiada (1,521,646 hectáreas) y a nivel agrícola, el 61% del área del territorio está cubierto con hortalizas actualmente (18,680 hectáreas) y el 65% de las áreas tiene potencial de desarrollo hortícola (303,958 hectáreas), los resultados se presentan en el Cuadro 11 y Figura 17.

Cuadro 11. Municipios con valores del componente Capacidad deficientes

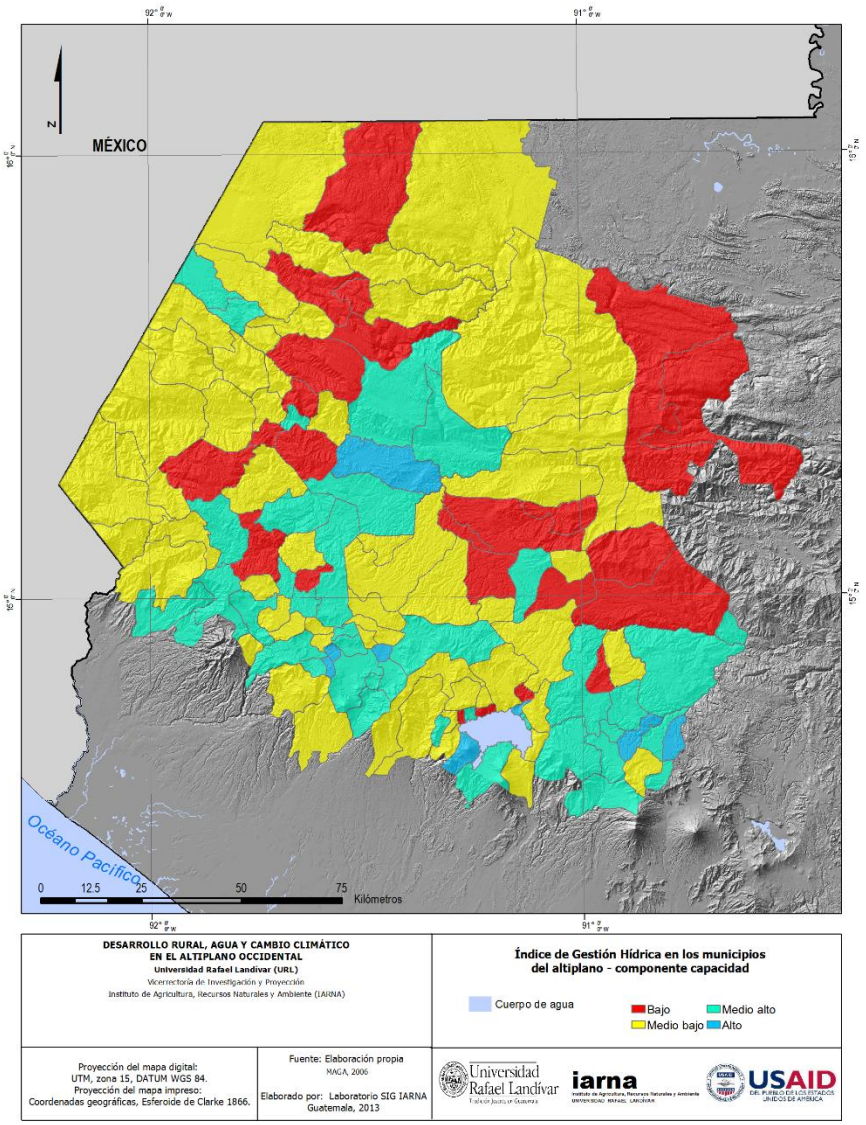
Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Chimaltenango	San José Poaquil	9,658	316	4,568
Chimaltenango	Santa Apolonia	4,614	183	1,677
Chimaltenango	San Andrés Iztapa	6,766	328	2,727
Sololá	Sololá	15,140	760	6,882
Sololá	San José Chacayá	1,579	14	614
Sololá	Santa Lucía Utatlán	5,107	8	2,046
Sololá	Nahualá	18,620	377	4,191
Sololá	Santa Catarina Ixtahuacán	18,980	58	3,039
Sololá	Santa Clara La Laguna	1,436	1	397
Sololá	Concepción	1,497	85	384
Sololá	San Andrés Semetabaj	5,297	94	2,341
Sololá	San Antonio Palopó	2,612	42	746
Sololá	San Lucas Tolimán	7,369	18	1,436
Sololá	Santa Cruz La Laguna	1,127	11	84
Sololá	San Pablo La Laguna	614	9	191
Sololá	San Juan La Laguna	3,718	2	637
Totonicapán	San Cristóbal Totonicapán	4,426	65	3,067
Totonicapán	San Francisco El Alto	7,264	103	4,846
Totonicapán	San Andrés Xecul	1,649	9	1,078
Totonicapán	Momostenango	36,000	1,360	18,420
Totonicapán	Santa María Chiquimula	23,750	692	10,600
Totonicapán	Santa Lucía La Reforma	4,541	517	3,360
Totonicapán	San Bartolo Aguas Calientes	5,640	335	2,455
Quetzaltenango	Cabricán	8,366	327	3,072
Quetzaltenango	Cajolá	2,053	12	594
Quetzaltenango	San Miguel Siguila	1,713	2	195
Quetzaltenango	San Martín Sacatepéquez	14,380	751	0
Quetzaltenango	Huitán	3,634	71	1,830
Quetzaltenango	El Palmar	17,590	34	766
Quetzaltenango	Palestina de los Altos	3,602	366	353
San Marcos	San Antonio Sacatepéquez	4,731	125	791
San Marcos	Comitancillo	13,480	1,266	6,870
San Marcos	San Miguel Ixtahuacán	19,610	111	8,306
San Marcos	Concepción Tutuapa	22,410	423	8,199
San Marcos	Tacaná	36,190	779	6,112

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
San Marcos	Sibinal	10,430	818	1,670
San Marcos	Tajumulco	25,140	283	4,248
San Marcos	Ixchiguán	10,440	540	1,788
San Marcos	San José Ojetenam	7,861	410	1,142
San Marcos	San Cristóbal Cucho	2,970	37	62
San Marcos	San Lorenzo	4,482	45	2,462
Huehuetenango	Cuilco	45,360	124	4,341
Huehuetenango	Nentón	76,620	72	10,830
Huehuetenango	San Pedro Necta	13,280	12	0
Huehuetenango	Jacaltenango	20,690	452	147
Huehuetenango	Soloma	26,300	138	1,984
Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán	18,550	127	2,734
Huehuetenango	Santa Bárbara	15,000	30	4,994
Huehuetenango	La Libertad	21,700	11	595
Huehuetenango	La Democracia	16,890	92	0
Huehuetenango	San Miguel Acatán	17,580	96	637
Huehuetenango	San Rafael la Indepencia	5,657	18	311
Huehuetenango	Todos Santos Cuchumatán	26,920	800	80
Huehuetenango	San Juan Atitán	5,795	12	0
Huehuetenango	Santa Eulalia	25,070	7	955
Huehuetenango	San Mateo Ixtatán	58,330	107	7,464
Huehuetenango	Colotenango	6,182	1	448
Huehuetenango	San Sebastián Huehuetenango	9,034	317	20
Huehuetenango	Tectitán	7,254	219	472
Huehuetenango	Concepción Huista	10,400	646	562
Huehuetenango	San Juan Ixcoy	21,070	577	1,474
Huehuetenango	San Sebastián Coatán	15,670	34	1,293
Huehuetenango	Santa Cruz Barillas	116,600	6	132
Huehuetenango	San Gaspar Ixchil	3,543	0	1,090
Huehuetenango	Santiago Chimaltenango	3,936	0	0
Quiché	Chiché	11,580	18	7,812
Quiché	Chinique	6,121	84	3,097
Quiché	Zacualpa	24,770	15	6,921
Quiché	Chajul	52,580	1	5,603
Quiché	Chichicastenango	24,580	714	8,846
Quiché	Patzité	5,318	2	2,701
Quiché	San Antonio Ilotenango	13,870	462	9,106

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Quiché	San Pedro Jocopilas	29,490	150	15,510
Quiché	Cunén	22,600	215	5,875
Quiché	San Juan Cotzal	16,300	8	4,957
Quiché	Joyabaj	47,280	390	22,710
Quiché	Nebaj	85,310	184	11,900
Quiché	Uspantán	83,730	102	6,409
Quiché	Sacapulas	36,980	497	15,890
Quiché	San Bartolomé Jocotenango	10,340	4	3,959
Quiché	Canillá	10,210	100	4,120
Quiché	Chicamán	56,670	49	3,733

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Componente Capacidad del IGH en el altiplano guatemalteco



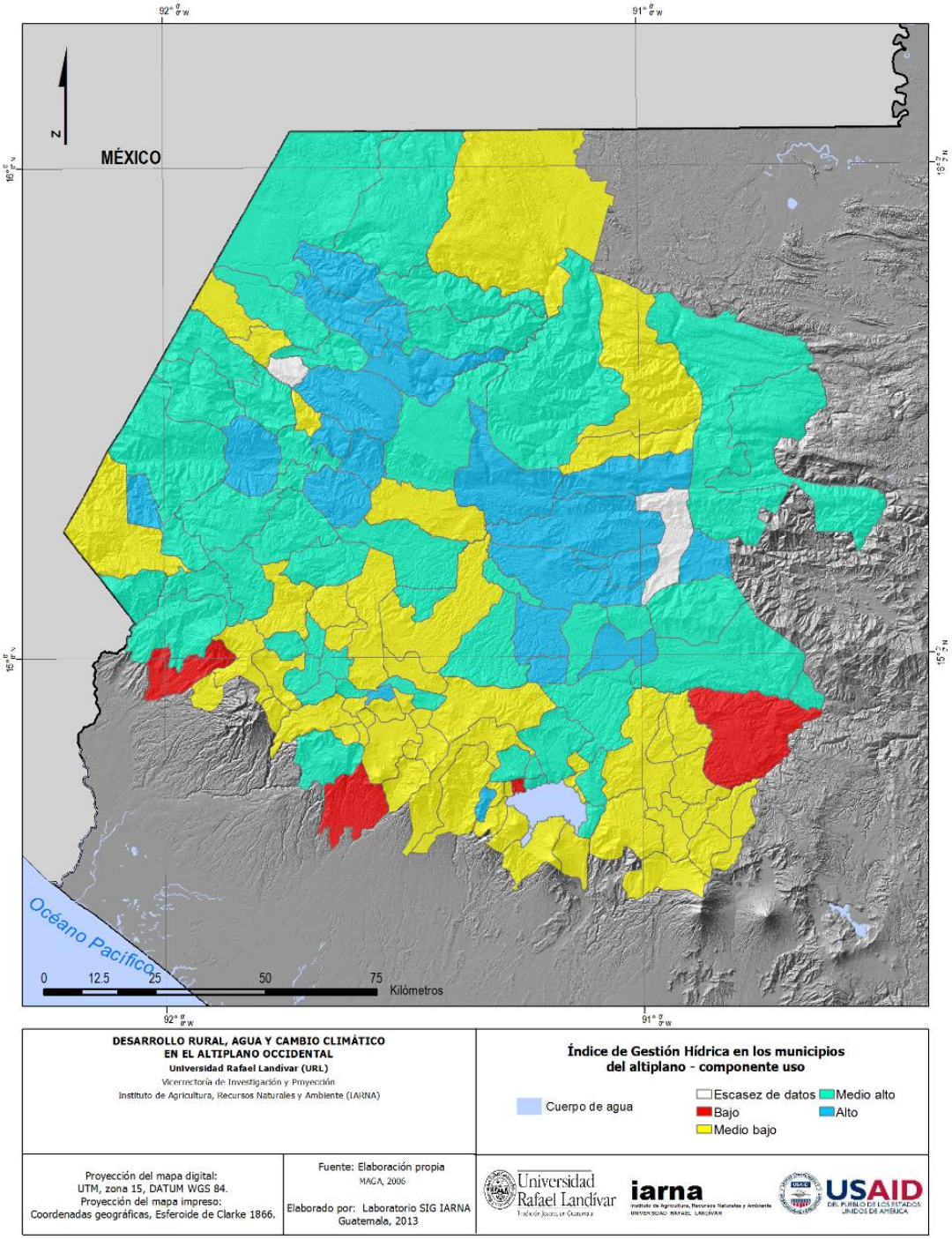
Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el 74% de las áreas estudiadas tienen una baja eficacia de la capacidad de la población para manejar el agua, se hace necesario desarrollar una serie de inversiones estratégicas que permitan a la población subsanar esta debilidad. Aunque este asunto se tratará en un documento aparte, se sugiere desarrollar acciones encaminadas a fortalecer la organización comunitaria en torno al manejo de los recursos hídricos, así como incrementar la capacidad de lobby para mejorar la provisión de agua.

5.2.5 Componente Uso

Como su nombre lo indica, el componente se refiere a las formas en las cuales el agua se utiliza para diversos propósitos (incluye uso doméstico, agrícola, ganadero e industrial). De los municipios evaluados, 70 presentaron niveles aceptables en este componente. Los restantes 59 municipios presentan deficiencias en el uso del recurso constituyendo un área municipal de 734,593hectáreas (36%) cuyo territorio tiene actualmente 13,674 hectáreas (44%) cubiertas con horticultura, y 166,663hectáreas (46%) con potencial de desarrollo hortícola (los resultados se muestran en el Cuadro 12 y Figura 18).

Figura 18. Componente Uso del IGH en el altiplano guatemalteco.



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 12. Municipios con valores del componente Uso ¨Deficientes¨.

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Chimaltenango	Chimaltenango	4,909	109	1,666
Chimaltenango	San José Poaquil	9,658	316	4,568
Chimaltenango	San Martín Jilotepeque	41,010	206	14,210
Chimaltenango	San Juan Comalapa	8,575	254	3,573
Chimaltenango	Santa Apolonia	4,614	183	1,677
Chimaltenango	Tecpán Guatemala	24,790	895	9,397
Chimaltenango	Patzún	18,420	1,958	6,005
Chimaltenango	Patzicía	12,950	3	5
Chimaltenango	Santa Cruz Balanyá	6,474	1,180	3,700
Chimaltenango	Acatenango	13,100	26	3,707
Chimaltenango	San Andrés Iztapa	6,766	328	2,727
Chimaltenango	Parramos	2,944	97	1,810
Chimaltenango	Zaragoza	5,192	309	1,804
Chimaltenango	El Tejar	4,556	29	2,190
Sololá	Nahualá	18,620	377	4,191
Sololá	Santa Catarina Ixtahuacán	18,980	58	3,039
Sololá	Santa Clara La Laguna	1,436	1	397
Sololá	Concepción	1,497	85	384
Sololá	Panajachel	772	13	263
Sololá	Santa Catarina Palopó	473	14	55
Sololá	San Lucas Tolimán	7,369	18	1,436
Sololá	San Pablo La Laguna	614	9	191
Sololá	San Marcos La Laguna	919	0	114
Sololá	San Juan La Laguna	3,718	2	637
Sololá	San Pedro La Laguna	5,066	5	544
Sololá	Santiago Atitlán	11,590	43	1,294
Totonicapán	Totonicapán	24,450	111	6,682
Totonicapán	San Francisco El Alto	7,264	103	4,846
Totonicapán	San Andrés Xecul	1,649	9	1,078
Totonicapán	Momostenango	36,000	1,360	18,420
Quetzaltenango	Quetzaltenango	12,680	326	5,609
Quetzaltenango	Salcajá	1,688	53	1,254
Quetzaltenango	Olintepeque	3,218	65	1,689
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,650	186	10,430
Quetzaltenango	Cabricán	8,366	327	3,072
Quetzaltenango	San Miguel Siguila	1,713	2	195
Quetzaltenango	San Juan Ostuncalco	10,900	365	68

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Quetzaltenango	San Mateo	1,082	93	130
Quetzaltenango	Concepción Chiquirichapa	2,189	395	0
Quetzaltenango	Almolonga	1,255	394	512
Quetzaltenango	Cantel	4,974	34	1,275
Quetzaltenango	Huitán	3,634	71	1,830
Quetzaltenango	Zunil	7,746	617	1,006
Quetzaltenango	El Palmar	17,590	34	766
Quetzaltenango	La Esperanza	1,225	61	539
San Marcos	San Marcos	12,050	163	2,548
San Marcos	San Pedro Sacatepéquez	7,737	214	1,649
San Marcos	Comitancillo	13,480	1,266	6,870
San Marcos	Tacaná	36,190	779	6,112
San Marcos	San Rafael Pie de la Cuesta	4,520	23	0
San Marcos	San Pablo	21,240	4	0
San Marcos	San Cristóbal Cucho	2,970	37	62
Huehuetenango	Huehuetenango	23,530	45	9,743
Huehuetenango	San Antonio Huista	6,465	2	0
Huehuetenango	Santa Cruz Barillas	116,600	6	132
Huehuetenango	Santiago Chimaltenango	3,936	0	0
Huehuetenango	Santa Ana Huista	11,710	2	0
Quiché	Chajul	52,580	1	5,603
Quiché	San Juan Cotzal	16,300	8	4,957

Fuente: Elaboración propia.

5.2.6 Componente Ambiente

Se refiere a la evaluación de la integridad ambiental relacionada con el agua, y con los bienes y servicios provenientes de los ecosistemas acuáticos de la zona (ver Figura 19). En este componente 92 municipios (71% del altiplano) tienen valores adecuados, los 37 restantes presentan deficiencias ocupando un área municipal de 430,672hectáreas (21%). En este territorio 8,681 hectáreas (28%) están cubiertas con hortalizas y 146,541hectáreas (31%) tienen potencial hortícola (para más detalle ver Cuadro 13).

Dentro de las inversiones estratégicas que se pueden abordar para mejorar este componente están el incremento de la cobertura forestal, reducción de la tasa anual de deforestación, promover prácticas de conservación de suelos para reducir la erosión, promover la gestión integrada de cuencas con el fin de mantener o incrementar las tierras forestales de captación y regulación hidrológica, así como el establecimiento y manejo de áreas protegidas.

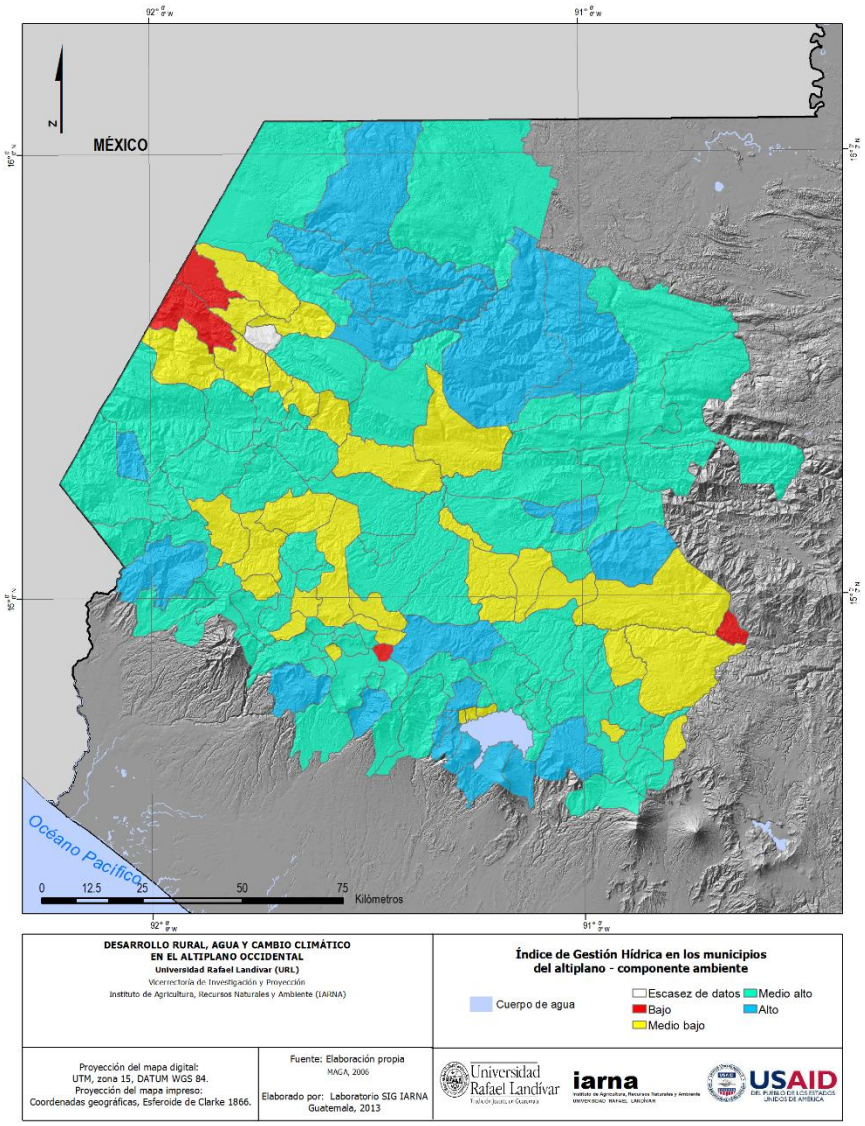
Cuadro 13. Municipios con valores del componente Ambiente deficientes

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Chimaltenango	San José Poaquil	9,658	316	4,568
Chimaltenango	San Martín Jilotepeque	41,010	206	14,210
Chimaltenango	Santa Cruz Balanyá	6,474	1,180	3,700
Chimaltenango	El Tejar	4,556	29	2,190
Sololá	Santa Cruz La Laguna	1,127	11	84
Sololá	San Pablo La Laguna	614	9	191
Sololá	San Marcos La Laguna	919	0	114
Totonicapán	San Cristóbal Totonicapán	4,426	65	3,067
Totonicapán	San Francisco El Alto	7,264	103	4,846
Totonicapán	Santa Lucía La Reforma	4,541	517	3,360
Quetzaltenango	Salcajá	1,688	53	1,254
Quetzaltenango	San Carlos Sija	22,650	186	10,430
Quetzaltenango	Sibilia	4,106	102	2,312
Quetzaltenango	La Esperanza	1,225	61	539
Quetzaltenango	Palestina de los Altos	3,602	366	353
San Marcos	Comitancillo	13,480	1,266	6,870
San Marcos	Tejutla	14,300	230	6,433
San Marcos	Sipacapa	15,140	468	7,115
San Marcos	San Lorenzo	4,482	45	2,462
Huehuetenango	Huehuetenango	23,530	45	9,743
Huehuetenango	San Pedro Necta	13,280	12	0
Huehuetenango	Jacaltenango	20,690	452	147
Huehuetenango	La Libertad	21,700	11	595
Huehuetenango	La Democracia	16,890	92	0
Huehuetenango	San Juan Atitán	5,795	12	0
Huehuetenango	San Sebastián Huehuetenango	9,034	317	20
Huehuetenango	Concepción Huista	10,400	646	562
Huehuetenango	San Antonio Huista	6,465	2	0
Huehuetenango	Aguacatán	32,520	341	11,750
Huehuetenango	Santiago Chimaltenango	3,936	0	0
Huehuetenango	Santa Ana Huista	11,710	2	0
Quiché	Santa Cruz del Quiché	11,230	641	6,343
Quiché	Chiché	11,580	18	7,812
Quiché	Patzité	5,318	2	2,701
Quiché	San Antonio Ilotenango	13,870	462	9,106
Quiché	Joyabaj	47,280	390	22,710

Departamento	Municipio	Área Municipio (ha)	Área actual Hortalizas (ha)	Área con Potencial Hortícola (ha)
Quiché	Pachalum	4,183	23	954

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Componente Ambiente del IGH en el altiplano guatemalteco



Fuente: Elaboración propia.

VI. INVERSIONES ESTRATÉGICAS

Las secciones anteriores del documento presentan evidencia sólida que la situación del recurso hídrico en el altiplano es problemática para varios municipios, y al hacer el análisis a futuro la situación se complicará mucho más. Dentro de la información que soporta esta afirmación está la siguiente:

- Bajo las condiciones actuales, la disponibilidad hídrica anual demuestra que la distribución del recurso hídrico en el altiplano es desigual, y el balance hídrico por hectárea indica que el 12% presenta un déficit anual de agua, por lo que desde un punto de vista biofísico se puede afirmar que el altiplano Guatemalteco presenta escasez de agua.
- Al analizar el número de meses con estrés hídrico, la variación de la disponibilidad hídrica neta, la disponibilidad hídrica per cápita y la recarga potencial, se tiene que el 80% de los municipios del altiplano Guatemalteco presentan problemas de disponibilidad física del agua (subterránea y superficial), esto afecta al 97% de las a áreas con cobertura de hortalizas y al 95% de las zonas con potencial para desarrollar horticultura.
- Actualmente el 40% del altiplano guatemalteco cuenta con una gestión hídrica deficiente, lo cual tiene un efecto directo sobre el 51% del área cubierta por hortalizas actualmente y el 59% de las áreas que actualmente no se están utilizando pero tienen potencial agrícola.
- 35% del área de trabajo presentan índices deficientes de provisión o abastecimiento de agua, en cantidad y calidad para los distintos usos humanos, esto incide directamente sobre el 44% de áreas cubiertas con hortalizas y el 34% de las áreas que no se utilizan pero tienen potencial hortícola.
- 74% del área municipal estudiada tienen problemas de capacidad para la gestión del agua, esto incluye el 61% del área cubierta con hortalizas actualmente y el 65% de las áreas con potencial hortícola.
- Los escenarios climáticos muestran que la disponibilidad hídrica irá disminuyendo en el altiplano, y se estima que en el 2080 entre el 39 y el 58% del territorio alcanzarán valores críticos. Estas proyecciones también estiman que en promedio disponibilidad hídrica puede disminuir en promedio alrededor del 44.3% en la zona del altiplano, llegando en ciertas subcuencas a sobrepasar el 70%.

Con base en la información anterior se puede afirmar que es fundamental desarrollar una serie de inversiones estratégicas encaminadas a mejorar la gestión de los recursos hídricos y promover la adaptación al cambio climático en el altiplano guatemalteco. Es por esto que en las siguientes secciones se hace una propuesta de inversiones priorizadas por municipio.

El marco de análisis para priorizar los municipios se basó en la disponibilidad de recurso hídrico y los componentes del IGH. Luego de analizarlos se llegó a la conclusión de que la disponibilidad del recurso, y los componentes recurso y ambiente obedecen a aspectos biofísicos, por lo que pueden agruparse en una sola categoría. Por su lado los componentes uso, acceso y capacidad también presentan aspectos que permiten su agrupación. Es por esto que las inversiones estratégicas se clasificaron en los dos grupos que se presentan a continuación.

6.1 Programa de Gestión Integrada de Recursos Hídricos

6.1.1 Descripción

La información generada en el presente trabajo demuestra que uno de los principales problemas en 67 municipios priorizados es la disponibilidad hídrica, lo cual se debe principalmente a la

cantidad de agua que precipita (que es un aspecto climático) así como a la condición de los ecosistemas ubicados en las zonas estratégicas para la regulación del ciclo hidrológico.

Debido a la naturaleza del problema no es posible hacer nada con respecto a los aspectos climáticos, pero si es posible mejorar las condiciones de las zonas estratégicas para la captación y regulación hidrológica, así como promover una administración y uso equilibrado del agua que permita alcanzar los intereses sociales, económicos de los distintos actores de la sociedad, al mismo tiempo que se asegura la salud de los ecosistemas.

Con base en lo anterior, se puede afirmar que es fundamental promover la gestión integrada de recursos hídricos en los municipios priorizados. Por gestión integrada de recursos hídricos se entiende al proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos asociados dentro de una cuenca, para maximizar el resultante bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales (GWP TAC, 2000, y GWP, 2004).

Para poder desarrollar una gestión integrada de recursos hídricos a nivel de cada uno de los municipios priorizados debe elaborarse un diagnóstico que permita conocer de manera general los aspectos biofísicos, socioeconómicos y ecológicos que existen de cada subcuenca o microcuenca, esta información permitirá conocer la oferta y demanda hídrica (por tipo de uso del agua). Con base en el diagnóstico se deben priorizar las subcuencas o microcuencas en base a la producción y consumo de agua y hacer una estrategia de intervención escalonada, en la que se inicie con las que presentan más problemas, hasta llegar gradualmente a las que tienen mejores condiciones.

Una vez hecha la priorización el procedimiento a seguir será similar en cada una de las subcuencas o microcuencas. El primer paso es la conformación de un concejo de cuenca con el fin de asegurar la participación de todos los actores involucrados en la gestión del recurso hídrico. Este permitirá la gobernanza para el manejo sostenible y equitativo de los recursos naturales relacionados con el agua. En este concejo se incluirá a la municipalidad, y de manera conjunta con esta se elaborará un perfil de proyecto para conseguir financiamiento de los Consejos Departamentales de Desarrollo (CODEDE), para implementar los procesos que se describen a continuación.

A partir del punto anterior, deberá elaborarse un diagnostico a profundidad de las condiciones biofísicas, socioeconómicas y ecológicas, que permita la formulación del plan de manejo de la cuenca, que es el instrumento que da las directrices para ordenar las acciones que requiere una cuenca, para lograr un uso sostenible de sus recursos naturales (en este caso enfocado a la producción y utilización del agua). Para esto se deberá elaborar un modelo de uso potencial de la tierra con el cual se clasificará la aptitud de la tierra y se definirán las acciones que se deben implementar para optimizar la producción y el uso del agua. Este proceso será acompañado y validado por los actores locales.

Una vez identificadas y definidas las líneas estratégicas y las líneas de acción, se priorizarán las actividades a desarrollar en el corto, mediano y largo plazo, se asignarán responsabilidades a los diferentes actores a involucrarse en implementación del plan de manejo, se estimarán los costos de las actividades propuestas.

Con el fin de apoyar la sostenibilidad de los planes de gestión integrada de los recursos hídricos (y/o las tecnologías aplicables en el plan de manejo de cuencas) en las áreas priorizadas se deben desarrollar una serie de instrumentos para apalancar los fondos provenientes de los CODEDES, siendo estos:

1. **Esquemas de pago por servicios ambientales hídricos**: son mecanismos en los que los usuarios de dichos servicios pagan a los proveedores, por implementar una serie de prácticas gracias a la cuales existe el flujo de servicios ambientales. Para que el esquema funcione, los proveedores y los usuarios deben ponerse de acuerdo y se debe establecer un mecanismo de compensación, el cual debe considerar el cobro, y pago, así como los mecanismos de monitoreo y control de los acuerdos. Este proceso puede efectuarse directamente entre estos dos actores, aunque generalmente existe un intermediario que es quien se encarga de estas tareas. Para la implementación de este tipo de mecanismo se debe:
   - Identificar las zonas que proporcionan los servicios ambientales hídricos
   - Cuantificar el flujo de servicios ambientales y asignarles un valor monetario
   - Desarrollar negociaciones entre proveedores y usuarios para establecer el funcionamiento del esquema, el cual debe incluir:
     - Monto de pago
     - Periodicidad de los pagos
     - Sistemas de monitoreo de la provisión de los servicios y de los pagos
     - Mecanismos de resolución de conflictos

2. **Incentivos para promover la reforestación o conservación de las tierras estratégicas para la recarga hídrica**. La idea de este programa es pagar a los propietarios de zonas de recarga hídrica para que conserven los bosques o para que promuevan la reforestación en estas áreas, las diferencias fundamentales con los esquemas de pago por servicios ambientales son: 1) los fondos provendrían de entes estatales, y 2) el pago se realizaría por los bosques y no por los servicios proveídos por estos. El procedimiento para la implementación del sistema de incentivos debe considerar:
   - Negociación con autoridades locales o de gobierno central para establecer las prioridades de inversión (en este caso deben estar relacionadas con el bosques para la provisión de agua)
   - Desarrollo del mecanismo el cual incluye:
     - Definición de acciones que califican para recibir el pago
     - Establecimiento del monto a pagar
     - Periodicidad del pago
     - Sistemas de monitoreo
     - Mecanismos de resolución de conflictos

Aunque también se puede considerar la promoción y uso de incentivos existentes (por ejemplo PINFOR y PINPEP).

6.1.1.1 Objetivo

- Contribuir al abastecimiento de agua en cantidad y calidad para consumo humano, y desarrollo hortícola de las familias en los 67 municipios priorizadas, a través de identificación e implementación de programas de Gestión Integrada de recursos hídricos.

6.1.1.2 Metas de la inversión estratégica

- Promover la gestión integrada de 267subcuencas
- Asegurar el abastecimiento de agua para 500,000 familias
- Asegurar el abastecimiento de agua para la producción hortícola en 474,068 hectáreas.

6.1.2 Municipios priorizados

Con base en un análisis de la situación hidrológica (disponibilidad hídrica per cápita, numero de meses con estrés hídrico, variación de la disponibilidad hídrica neta al 2020, recarga potencial) y ambiental (cobertura forestal, tasa anual de deforestación, índice de deterioro físico de la tierra, erosión de suelos, superficie municipal de las tierras forestales de captación y regulación hidrológica y áreas protegidas), se consideró como prioritarios para implementar inversiones en Gestión integrada de recursos hídricos a los siguientes municipios:

Cuadro 14. Municipios priorizados para implementar inversiones en Gestión integrada de recursos hídricos

Número	Departamento	Municipio
1	Huehuetenango	La Democracia
2	Huehuetenango	San Pedro Necta
3	Totonicapán	San Bartolo Aguas Calientes
4	Huehuetenango	La Libertad
5	Quiché	Santa Cruz del Quiché
6	Totonicapán	Santa Lucía La Reforma
7	Huehuetenango	Santiago Chimaltenango
8	Totonicapán	Momostenango
9	Huehuetenango	Huehuetenango
10	Huehuetenango	Jacaltenango
11	Huehuetenango	San Rafael la Independencia
12	Huehuetenango	Concepción Huista
13	Chimaltenango	San Juan Comalapa
14	Chimaltenango	Zaragoza
15	Huehuetenango	Colotenango
16	Chimaltenango	Santa Cruz Balanyá
17	Quiché	Chichicastenango
18	Chimaltenango	Chimaltenango
19	Huehuetenango	San Juan Atitán
20	Huehuetenango	San Sebastián Huehuetenango
21	Totonicapán	Santa María Chiquimula
22	Quiché	Chiché
23	Quiché	Pachalúm
24	Chimaltenango	Santa Apolonia
25	Chimaltenango	San José Poaquil
26	Huehuetenango	San Miguel Acatán
27	Huehuetenango	San Rafael Pétzal
28	Huehuetenango	San Sebastián Coatán
29	Quiché	San Antonio Ilotenango
30	Chimaltenango	San Martín Jilotepeque

Cerrar Documento

Número	Departamento	Municipio
31	Chimaltenango	El Tejar
32	Huehuetenango	Todos Santos Cuchumatán
33	Quiché	Joyabaj
34	Quiché	Patzité
35	Chimaltenango	Patzicía
36	Chimaltenango	Tecpán Guatemala
37	Quiché	Chinique
38	Huehuetenango	Malacatancito
39	Huehuetenango	Santa Ana Huista
40	Chimaltenango	San Andrés Iztapa
41	Huehuetenango	Aguacatán
42	Chimaltenango	Parramos
43	Huehuetenango	Chiantla
44	Totonicapán	San Francisco El Alto
45	San Marcos	Comitancillo
46	Totonicapán	Totonicapán
47	Quetzaltenango	Huitán
48	Sololá	Sololá
49	Sololá	San Andrés Semetabaj
50	Quetzaltenango	Cabricán
51	Sololá	Panajachel
52	Totonicapán	San Cristóbal Totonicapán
53	Sololá	Santa Catarina Palopó
54	Sololá	San Pablo La Laguna
55	San Marcos	San Lorenzo
56	Quetzaltenango	Salcajá
57	Sololá	Santa Clara La Laguna
58	Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán
59	Sololá	Santa Cruz La Laguna
60	Huehuetenango	Santa Bárbara
61	San Marcos	Tejutla
62	Sololá	San Marcos La Laguna
63	San Marcos	Tacaná
64	Huehuetenango	Santa Eulalia
65	Sololá	Santa Lucía Utatlán
66	Quiché	Zacualpa
67	Sololá	Concepción
68	Totonicapán	San Andrés Xecul
69	San Marcos	Río Blanco
70	Sololá	San Antonio Palopó

Cerrar Documento

Número	Departamento	Municipio
71	Huehuetenango	San Juan Ixcoy
72	Chimaltenango	Patzún
73	Quetzaltenango	Sibilia
74	San Marcos	Ixchiguán
75	San Marcos	San Miguel Ixtahuacán
76	Quetzaltenango	San Carlos Sija
77	Quetzaltenango	San Francisco la Unión
78	Quiché	Sacapulas
79	Sololá	San José Chacayá
80	Quiché	San Pedro Jocopilas
81	Huehuetenango	Cuilco
82	San Marcos	San José Ojetenam
83	San Marcos	Concepción Tutuapa
84	Sololá	San Juan La Laguna
85	Huehuetenango	Tectitán
86	San Marcos	Sipacapa
87	Quetzaltenango	Cantel
88	Chimaltenango	Acatenango
89	Quetzaltenango	Olintepeque
90	Quiché	San Bartolomé Jocotenango
91	Quetzaltenango	La Esperanza
92	Quetzaltenango	Almolonga
93	Huehuetenango	San Gaspar Ixchil
94	Sololá	Nahualá
95	Sololá	Santa Catarina Ixtahuacán
96	Quetzaltenango	San Mateo
97	Quetzaltenango	Cajolá
98	Sololá	Santiago Atitlán
99	Quetzaltenango	San Miguel Siguila
100	Sololá	San Pedro La Laguna
101	Quetzaltenango	Concepción Chiquirichapa
102	Sololá	San Lucas Tolimán
103	Quetzaltenango	Quetzaltenango
104	Quiché	Cunén
105	San Marcos	San Marcos
106	Quiché	Nebaj
107	Sololá	Santa María Visitación
108	Huehuetenango	Nentón
109	Quiché	San Juan Cotzal
110	San Marcos	San Antonio Sacatepéquez

Número	Departamento	Municipio
111	Huehuetenango	Santa Cruz Barillas
112	San Marcos	San Pedro Sacatepéquez
113	Quetzaltenango	San Juan Ostuncalco
114	San Marcos	Sibinal
115	Quetzaltenango	Zunil
116	Quetzaltenango	Palestina de los Altos
117	Quiché	Canillá
118	San Marcos	San Cristóbal Cucho
119	Huehuetenango	San Mateo Ixtatán
120	San Marcos	San Pablo
121	San Marcos	San Rafael Pie de la Cuesta
122	San Marcos	Tajumulco
123	Huehuetenango	Santa Ana Huista
124	Quetzaltenango	Salcajá
125	Huehuetenango	San Antonio Huista

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 Costos

A continuación, en el cuadro 15, se presentan los costos requeridos para las implementar inversiones estratégicas relacionadas con la Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

Cuadro 15. Costos requeridos para las implementar inversiones estratégicas relacionadas con la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (Monto en Quetzales)

Concepto	Costo año 1	Costo año 2	Costo año 3	Costo año 4	Costo año 5	Costo año 6	Costo año 7	Costo año 8	Costo año 9	Costo año 10
Diagnóstico general de los aspectos biofísicos, socioeconómicos y ecológicos y priorización de intervenciones	436,800									
Conformación de los concejos de cuenca	14,994,720	14,994,720								
Desarrollo de proyectos para el financiamiento de los esquemas de gestión integrada de recursos hídricos	23,400									

Concepto	Costo año 1	Costo año 2	Costo año 3	Costo año 4	Costo año 5	Costo año 6	Costo año 7	Costo año 8	Costo año 9	Costo año 10
Elaboración planes de manejo por cuenca		41,932,800								
Implementación de los planes de manejo de cuencas	0	852,921,491	852,921,491	852,921,491	852,921,491	852,921,491	852,921,491	852,921,491	852,921,491	852,921,491
Total	15,454,920	909,849,011	852,921,491	852,921,491	852,921,491	852,921,491	852,921,491	852,921,491	852,921,491	852,921,491

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Programa de mejoramiento de la infraestructura de los sistemas de mini riego actuales y construcción de nuevos sistemas de irrigación en 37 municipios priorizados del altiplano

6.2.1 Descripción

La disponibilidad y operación de sistemas de irrigación eficientes es prioritaria en el sector agrícola del altiplano. Las obras de infraestructura y equipos de los sistemas de mini riego actuales han sobrepasado su vida útil, ocasionando pérdidas del recurso hídrico en los sistemas de captación, distribución y uso (equipos desgastados) en las pequeñas unidades de producción campesina. Adicionalmente está el incremento de la demanda de usuarios y la reducción significativa de caudales por la variación extrema y cambio climático y por la falta de protección de las fuentes de agua o planes de manejo integrado de las microcuencas.

La disponibilidad de agua para riego es claves para combatir la inseguridad alimentaria, mejorar los ingresos económicos de las familias campesinas e incrementar los niveles de empleo en el altiplano.

El programa de mejoramiento de los sistemas actuales de mini riego consistirá de una revisión técnica por parte de la Dirección General de Riego del MAGA en estrecha colaboración con las Asociaciones comunitarias administradoras o regantes de cada área, elaborando para el efecto, un análisis y un plan operativo de acción. La gobernabilidad del riego entendida como la aplicación de la autoridad y las normativas establecidas por procedimientos tradicionales dentro de grupos organizados en asociaciones o comités comunitarios, será reconocidas y mejoradas por el MAGA a través de procesos participativos, con el objetivo de regular el uso, aprovechamiento del recurso, evitar conflictos sociales y por otro lado, coadyuvar a la generación de un plan de operación y mantenimiento eficiente del sistema de irrigación. De igual manera, en las áreas nuevas se propiciará el fortalecimiento y la capacitación de las asociaciones comunitarias administradoras del riego.
Los estudios para el diseño de los sistemas de mini riego en las nuevas zonas de desarrollo hortícola (estudios de prefactibilidad y factibilidad técnica, social, económica y ambiental) serán dirigidos por el MAGA. En todo el proceso se tendrá estrecha colaboración con las

asociaciones de productores locales organizados, COCODES, COMUDES y las respectivas municipalidades. El desarrollo de las nuevas áreas tomará como base la propuesta elaborada por el IARNA (2006) la cual ha sido conocida tanto por el MAGA como por el Ministerio de Comunicaciones, Transportes y Vivienda. Dicha propuesta también incluye los cultivos a sembrar en las nuevas zonas y la necesidad de mejorar las vías de acceso a través de extender y pavimentar la red de caminos rurales para facilitar la comercialización de los diferentes productos agrícolas.

Las unidades de mini riego contarán con planes de inversión y planes de negocios de acuerdo a la demanda de los mercados nacionales e internacionales a fin de incrementar su productividad y alcanzar la sostenibilidad económica.

Se fortalecerán las cadenas productivas y apertura de canales de comercialización de los productos hortícolas a nivel nacional e internacional. A nivel nacional se dará impulso al establecimiento de acuerdos comerciales entre Asociaciones de Productores (Empresas Asociativas), las municipalidades y empresa privada para la venta de productos hortícolas en los mercados municipales y supermercados. Por otro lado, se Incrementará el valor agregado de los productos hortícolas a través del mejoramiento de las cadenas de valor y la aplicación de buenas prácticas de procesamiento (BPM) acordes a las regulaciones y estándares establecidos. Se incorporarán procesos agroindustriales de acuerdo a estudios de inteligencia de mercados buscando oportunidades según la demanda (ej. Jugos envasados de zanahoria-naranja, zanahoria-piña, té de hierbabuena, té de alcachofa, alimentos procesados, envasados y congelados).

Los estudios de mercados y la generación de cadenas de valor serán coordinados entre el MAGA y la AGEXPORT con el patrocinio del gobierno central y organismos internacionales.

6.2.1.1 Objetivos

- Mejorar la eficiencia de los sistemas de mini riego en las áreas de producción actuales e incorporar nuevas zonas hortícolas estableciendo técnicas modernas de irrigación, mecanismos de gobernabilidad transparentes, planes de productividad y competitividad con el adecuado apoyo financiero y crediticio requerido por los pequeños productores.
- Contribuir a la generación de empleos rurales (reducción de la pobreza) a través del incremento de la productividad y el área de cultivos de exportación de las unidades productivas de pequeños y medianos productores de 37 municipios priorizados.

6.2.1.2 Metas

- Renovar en cuatro años consecutivos los sistemas de captación, conducción, distribución y uso eficiente del agua a través de técnicas de riego por goteo para irrigar 6,969 hectáreas del altiplano en 37 municipios priorizados.
- Diseñar y establecer sistemas de mini riego eficientes para abastecer de agua (agua de calidad y cantidad) en la irrigación de 25,000 has en el primer año, 25,000 has en el

segundo año, 24,033 has en el tercer año y 15,500 has en el cuarto año en la zona con potencial de desarrollo hortícola de 37 municipios priorizados.

- Crear un total de 31,000 empleos agrícolas permanentes al término de cuatro años de haber establecido los sistemas de mini riego y sistemas de producción intensiva en las nuevas zonas con potencial hortícola (89,533 has).

6.2.2 Municipios priorizados

Los municipios priorizados se detallan en el cuadro siguiente:

Cuadro 16. Municipios priorizados para implementar el Programa de mejoramiento de la infraestructura de los sistemas de mini riego.

No.	Departamento	Municipio
1	Sololá	San Pedro La Laguna
2	Quiché	Chicamán
3	Huehuetenango	San Mateo Ixtatán
4	Sololá	Santiago Atitlán
5	Huehuetenango	Santa Eulalia
6	Quiché	Uspantán
7	Quetzaltenango	San Francisco la Unión
8	Huehuetenango	San Juan Ixcoy
9	Quetzaltenango	El Palmar
10	San Marcos	San Cristóbal Cucho
11	San Marcos	San Pablo
12	Quetzaltenango	Quetzaltenango
13	Sololá	San Lucas Tolimán
14	San Marcos	San Pedro Sacatepéquez
15	San Marcos	San Rafael Pie de la Cuesta
16	Quetzaltenango	San Mateo
17	Quetzaltenango	La Esperanza
18	Quetzaltenango	Almolonga
19	San Marcos	San Marcos
20	Quetzaltenango	Zunil
21	Quetzaltenango	San Juan Ostuncalco
22	Huehuetenango	Santa Cruz Barillas
23	Chimaltenango	Chimaltenango
24	Sololá	Panajachel
25	Chimaltenango	El Tejar
26	Chimaltenango	Acatenango
27	Totonicapán	Totonicapán
28	Chimaltenango	Parramos
29	Quetzaltenango	Cantel

No.	Departamento	Municipio
30	Sololá	Santa Clara La Laguna
31	Chimaltenango	San Andrés Iztapa
32	Quetzaltenango	San Carlos Sija
33	Chimaltenango	Zaragoza
34	Quiché	Chajul
35	Quetzaltenango	Concepción Chiquirichapa
36	Quiché	San Juan Cotzal
37	Chimaltenango	Patzún

Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Costos

El costo del programa para 37 municipios donde se requiere la renovación y modernización de los sistema de mini riego (6,969 has) es de Q 292 millones en cuatro años, y el costo para el establecimiento de los sistemas de irrigación 89,533 has en la zonas nuevas de producción agrícola es de Q 3760 millones (ver cuadro).

Cuadro 17. Costos de mejoramiento de los sistemas actuales de mini riego y el establecimiento de nuevos sistemas en zonas de potencial hortícola en 37 municipios priorizados de la zona del altiplano (cifras en millones de Quetzales).

Concepto	Costo año 1 (millones de Quetzales)	Costo año 2 (millones de Quetzales)	Costo año 3 (millones de Quetzales)	Costo año 4 (millones de Quetzales)
Renovación y mantenimiento de los sistemas actuales de mini riego	73	73	73	73
Nuevos sistemas de mini riego en zonas c/potencial hortícola	1,050	1050	1,009	651
Total para 37 municipios	**1,123**	**1,123**	**1,082**	**724**

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Implementación de sistemas de investigación-extensión-capacitación campesina para cubrir 84 municipios priorizados en la zona del altiplano.

6.3.1 Descripción

Como resultado de la eliminación de los servicios de extensión agrícola por el gobierno en la década de los ´90, se ha incrementado la vulnerabilidad de los pequeños agricultores tanto del altiplano como de otras regiones del país, incrementando los niveles de pobreza y extrema pobreza. La asistencia técnica actual se caracteriza por ser aislada, descoordinada, basada principalmente en la entrega de insumos (fertilizantes) y sin la orientación debida para la formación del capital humano. Existen enormes pérdidas de los productos agrícolas, por la degradación de suelos (erosión hídrica y deterioro de la fertilidad), uso de mala calidad de agua (contaminación por residuos de agroquímicos y desechos sólidos urbanos), emergencia de nuevas plagas e incremento de su resistencia a plaguicidas y pérdidas de la producción-bienes ante la variación climática extrema y cambio climático. La asistencia técnica agrícola es urgente y necesaria para mejorar la productividad y la competitividad agrícola. Es clave para la sostenibilidad ambiental y fundamental para combatir la inseguridad alimentaria toda vez que se mejoran las capacidades de los agricultores en la implementación de buenas prácticas que permitan adaptarse a la evolución del mercado y al cambio climático.

La asistencia técnica estará enfocada al incremento de la productividad y la competitividad de los pequeños productores tomando como base los factores limitantes identificados en el manejo agronómico de los cultivos, especialmente en el uso de variedades mejoradas (de ciclo corto, tolerantes a sequias y lluvias intensas, resistentes al viento, a plagas y enfermedades, de buen rendimiento, etc.), manejo de la humedad y fertilidad del suelo, plagas y enfermedades, practicas de post-cosecha, manejo de residuos orgánicos e inorgánicos, procesamiento y empaque, aplicando las buenas prácticas agrícolas (BPAs) y las buenas prácticas de manufactura (BPM). La asistencia técnica estructurada y planificada incrementará en un 20% los rendimientos agrícolas (Propuesta de plan de acción para el Desarrollo Rural, IARNA, 2008).

Los programas de asesoría técnica tendrán carácter permanente y estarán estructurados utilizando técnicas participativas. Tanto la investigación como la capacitación tendrán como enfoque los sistemas productivos del pequeño agricultor. En los procesos de extensión, se tomarán en cuenta las experiencias y metodologías realizadas por los diferentes programas del ICTA y FAO en Guatemala, CATIE, Red SICTA, CIAT y CIMMYT en la región latinoamericana.

El conocimiento y las experiencias que tienen los productores en el desarrollo y manejo de tecnologías locales, serán la base para generar los procesos de capacitación de campesino a campesino, desarrollando parcelas demostrativas y ferias tecnológicas para el intercambio de experiencias.

Se contarán con facilitadores técnicos que no solamente darán la asistencia técnica sino registrarán los avances en la implementación de las prácticas agrícolas y propiciarán el intercambio de experiencias entre los productores. Dichos facilitadores deberán contar con la experiencia en los aspectos técnicos, manejo de grupos, manejo de técnicas de dialogo, método y técnicas de género, motivación y reconocimiento al buen desempeño.

Se integrarán equipos multidisciplinarios que permitan la búsqueda de alternativas viables para la sostenibilidad ambiental, económica, social y alimentaria de los pequeños productores. El equipo

proveerá de las herramientas efectivas para el manejo exitoso de las unidades productivas. Se mantendrá una comunicación directa entre los facilitadores técnicos y el equipo multidisciplinario para analizar y elaborar los programas de capacitación adecuados para cada grupo de productores. Se estructurarán planes de manejo del cultivo y sistemas de manejo de proceso para fines agroindustriales aplicando las buenas prácticas y siguiendo las regulaciones internacionales establecidas en los mercados de exportación.

Se construirán e implementarán siete centros o escuelas campesinas, uno por departamento del altiplano occidental. Las escuelas de capacitación campesina serán responsables de la capacitación integral usando las mejores prácticas de manejo de los cultivos y del proceso agroindustrial. La instrucción será desarrollada por facilitadores técnicos o agricultores experimentados y estará dirigida a los pequeños productores en horarios de fines de semana (viernes o sábados) completando 200 horas de instrucción, a costos relativamente bajos y en horarios de una jornada de trabajo. Cada productor cubrirá los gastos de transporte de su comunidad a la escuela y pagará Q25 por el almuerzo. Se establecerán una o más escuelas campesinas por departamento a efecto de integrar más productores a los procesos de tecnificación agrícola, facilitando su acceso y en horarios más convenientes al ritmo agrícola. Al completar la instrucción, cada participante recibirá un reconocimiento (diplomado) en técnicas o tecnologías específicas (ej. Selección masal de semillas de maíz, construcción de invernaderos, manejo integrado de plagas del tomate, manejo y conservación del suelo y del agua, costos de producción, manejo de cultivos nativos -Quilete, Amaranto-, etc.

Un equipo técnico integrado por facilitadores de campo del MAGA y representantes técnicos de las empresas agroexportadoras, efectuarán una auditoría integral para certificar las unidades de producción de los productores organizados como ¨Modelos de Producción y Empresarialidad Campesina¨ resaltando los avances de implementación de las buenas prácticas (BPAs mas BPM). Dichas unidades deberán reflejar no solo la responsabilidad ambiental y social sino la alimentaria y nutricional de la comunidad.

El MAGA a través del ICTA, será responsable de planificar y desarrollar la investigación agrícola. Se reforzarán y se establecerán nuevos centros de investigación en zonas de alta producción hortícola de los departamentos de Chimaltenango, Quetzaltenango, El Quiché y Huehuetenango. El MAGA invertirá recursos públicos y buscará alianzas con organismos internacionales (FAO, CATIE, USAID, JAPON), organizaciones no gubernamentales y mancomunidades para reforzar los centros actuales de investigación, la construcción y equipamiento de los nuevos centros.

6.3.1.1 Objetivo

- Incrementar las capacidades individuales y colectivas de los pequeños productores para mejorar la seguridad alimentaria en los 84 municipios priorizados a través de la aplicación de técnicas efectivas de producción agrícola y de adaptación a las variaciones del cambio climático.

6.3.1.2 Metas

- Implementar programas permanentes de investigación agrícola y asistencia técnica para incrementar las capacidades de 37,736 productores de 84 municipios priorizados, utilizando los avances tecnológicos en manejo intensivo de cultivos bajo ambientes controlados (invernaderos, macro y micro túneles) y en terrenos abiertos, planes de

manejo integrado de plagas, conservación y manejo de suelos, gestión de riesgo a la variación climática extrema, planes de manejo de residuos agrícolas.

- Establecer al término de cuatro años, siete escuelas de formación y capacitación campesina (una por departamento) para facilitar procesos de divulgación y adopción participativa de las tecnologías generadas en la investigación, y propiciar el intercambio de experiencias de campesino a campesino (parcelas demostrativas, diplomados de 200, ferias tecnológicas).
- Fortalecer dos centros regionales de investigación agrícola (Chimaltenango, Quetzaltenango) para la generación de nuevas tecnologías.

6.3.2 Municipios priorizados

Los municipios priorizados se detallan en el cuadro siguiente:

Cuadro 18. Municipios priorizados para implementar el Programa de sistemas de investigación-extensión-capacitación campesina para cubrir 84 municipios priorizados en la zona del altiplano.

No.	Departamento	Municipio
1	Huehuetenango	Santa Bárbara
2	Huehuetenango	San Rafael la Indepencia
3	Quiché	San Bartolomé Jocotenango
4	San Marcos	Comitancillo
5	Sololá	San Pablo La Laguna
6	Sololá	Concepción
7	Totonicapán	Santa Lucía La Reforma
8	Quiché	Zacualpa
9	Sololá	Santa Cruz La Laguna
10	Quiché	San Pedro Jocopilas
11	Huehuetenango	San Miguel Acatán
12	Huehuetenango	San Mateo Ixtatán
13	Quiché	Chicamán
14	Quetzaltenango	Huitán
15	Chimaltenango	Santa Apolonia
16	Quiché	San Antonio Ilotenango
17	Huehuetenango	San Juan Ixcoy
18	Huehuetenango	San Gaspar Ixchil
19	Quiché	Chiché
20	Quiché	Uspantán
21	Huehuetenango	San Juan Atitán
22	Quiché	Joyabaj
23	Huehuetenango	Todos Santos Cuchumatán
24	San Marcos	Concepción Tutuapa

Cerrar Documento

No.	Departamento	Municipio
25	San Marcos	San José Ojetenam
26	Quiché	San Andrés Sajcabaja
27	Quiché	Chichicastenango
28	Sololá	Nahualá
29	Quiché	San Juan Cotzal
30	Huehuetenango	Santiago Chimaltenango
31	Totonicapán	Santa María Chiquimula
32	Huehuetenango	Santa Eulalia
33	San Marcos	Sibinal
34	Quetzaltenango	Palestina de los Altos
35	Huehuetenango	Tectitán
36	Huehuetenango	San Sebastián Huehuetenango
37	Huehuetenango	San Pedro Necta
38	Quiché	Cunén
39	San Marcos	Ixchiguán
40	Sololá	San José Chacayá
41	Sololá	Santa Clara La Laguna
42	Sololá	Santa Catarina Ixtahuacán
43	Sololá	San Antonio Palopó
44	Sololá	San Juan La Laguna
45	Huehuetenango	Concepción Huista
46	Quiché	Nebaj
47	San Marcos	Tajumulco
48	Totonicapán	Momostenango
49	San Marcos	Tacaná
50	Quetzaltenango	Cabricán
51	Quiché	Canillá
52	San Marcos	San Miguel Ixtahuacán
53	Quiché	Chajul
54	Quiché	Chinique
55	Quiché	Patzité
56	Totonicapán	San Bartolo Aguas Calientes
57	Sololá	Sololá
58	Huehuetenango	La Libertad
59	Huehuetenango	San Sebastián Coatán
60	Quetzaltenango	Cajolá
61	Huehuetenango	Nentón
62	Huehuetenango	Unión Cantinil

No.	Departamento	Municipio
63	Huehuetenango	Santa Cruz Barillas
64	San Marcos	San Cristóbal Cucho
65	Huehuetenango	La Democracia
66	Quiché	Sacapulas
67	Totonicapán	San Andrés Xecul
68	Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán
69	San Marcos	San Lorenzo
70	Totonicapán	San Francisco El Alto
71	Quetzaltenango	San Martín Sacatepéquez
72	Chimaltenango	San José Poaquil
73	Quetzaltenango	El Palmar
74	Chimaltenango	San Andrés Iztapa
75	Huehuetenango	Cuilco
76	Huehuetenango	Soloma
77	Huehuetenango	Jacaltenango
78	Totonicapán	San Cristóbal Totonicapán
79	Huehuetenango	Colotenango
80	San Marcos	San Antonio Sacatepéquez
81	Sololá	San Lucas Tolimán
82	Sololá	San Andrés Semetabaj
83	Sololá	Santa Lucía Utatlán
84	Quetzaltenango	San Miguel Siguila

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3 Costos

El costo del programa de asistencia-extensión agrícola requerirá la inversión de Q145 millones por año. La construcción y operación de escuelas campesinas requerirá de Q6 millones (dos escuelas) en el primer año, y Q9 millones (tres escuelas) en el segundo año y Q3 millones (una escuela) en el tercer año.
El fortalecimiento de los dos centros de investigación requerirá la inversión de Q15 millones por año.

Cuadro 19. Costos de implementación del programa investigación y capacitación campesina para cubrir 84 municipios priorizados en la zona del altiplano (cifras en miles de Quetzales).

Concepto	Costo año 1 (millones Quetzales)	Costo año 2 (millones Quetzales)	Costo año 3 (millones Quetzales)
Asistencia técnica directa productores	145	145	145
Construcción y operación Esc. Campesinas	6	9	3
Centros investigación	15	15	15
Total para 84 municipios	**166**	**169**	**163**

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Arreglos institucionales para la puesta en marcha

La estrategia principal para implementar el plan de inversiones será la suscripción de alianzas público-privado- a nivel regional, departamental y municipal, articulando las asociaciones comunitarias con todas las organizaciones de desarrollo que operen en los territorios. Los COCODES, COMUDES, CODEDES y las Mancomunidades también formarán parte dentro de las alianzas estratégicas de desarrollo rural.

En relación al manejo integrado de cuencas y desarrollo de los sistemas de producción agrícola, la coordinación entre las organizaciones públicas, privadas, academia y organismos internacionales serán claves para la optimización de los recursos financieros y técnicos. Los planes de acción a nivel de territorio municipal y de microcuencas serán discutidos en este foro así como las metodologías y lecciones aprendidas. Con fines de crear estabilidad de la Coordinadora Interinstitucional, se elaborarán planes de acción integrados que especifiquen los objetivos, actividades y áreas geográficas a trabajar. También se generará un normativo interno a fin de mantener la armonía entre los sectores y organizaciones involucradas. La Coordinadora contará con Junta Directiva y una sede de trabajo, por lo tanto, en el caso del manejo de los recursos naturales y desarrollo agrícola, el Ministerio de Medio Ambiente, Instituto Nacional de Bosques y el Ministerio de Agricultura y Alimentación están directamente nominados para ser parte de la Coordinadora.

6.5 Cronograma para la implementación de las inversiones estratégicas.

Para poder atender las necesidades descritas en conservación del recurso hídrico, abastecimiento de la población y las capacidades para el uso eficiente del agua, el cronograma siguiente ejemplifica el calendario de implementación.

Cuadro 20. Cronograma para la implementación de las inversiones estratégicas

Programas	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Programa de gestión integrada de recursos hídricos.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Programa de mejoramiento de la infraestructura de riego actual y construcción de sistemas en áreas nuevas de potencial agrícola.	X	X	X	X						
Programa de investigación-extensión-capacitación	X	X	X	X						

Fuente: Elaboración propia.

Cerrar Documento

VII. BIBLIOGRAFÍA

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56 (p. 333). Roma: FAO. Retrieved from http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm

Droubi, A., Al-Sibai, M., Abdallah, A., Wolfer, J., Huber, M., Hennings, V., El Hajji, K., et al. (2008). Development and Application of a Decision Support System (DSS) for Water Resources Management in Zabadani bassin, Syria and Berrechid Basin, Morocco (p. 116). Damascus.

FAO. (2006). Calendario de cultivos America Latina y el Caribe. Roma.

Heidecke, C. (2006). DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A REGIONAL WATER POVERTY INDEX FOR BENIN (p. 55). Washington.

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 25(15), 1965–1978. doi:10.1002/joc.1276

IARNA-URL. (2005). Situación del Recurso Hídrico en Guatemala. Director (p. 31). Guatemala.

IARNA-URL. (2006). Distribución sectorial del crecimiento del empleo en el altiplano guatemalteco (p. 70). Guatemala.

IARNA-URL. (2008). Establecimiento de prioridades de inversión en infraestructura vial para la promoción del crecimiento agrícola en el altiplano de GuatemalaNo Title (p. 66). Guatemala.

IARNA-URL. (2011). Cambio climático y biodiversidad. Elementos para analizar sus interacciones en Guatemala con un enfoque ecosistémico (p. 99). Guatemala.

IARNA-URL. (2012). Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012: Vulnerabilidad local y creciente construcción del riesgo (p. 440). Guatemala.

INE. (2002). Censos Nacionales XI de Poblacion y VI de Habitacion. Guatemala.

Lavell, A. (2003). La gestión local del riesgo: Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central. Guatemala, CEPREDENAC- PNUD.

MAGA. (2006). Mapa de uso de la tierra y cobertura vegetal 2003. Guatemala.

MAGA. (2012). Política de Promoción del Riego 2013-2023 (p. 33). Guatemala.

PNUD. (2006). Human Development Report 2006. Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis. New York (Vol. 28, p. 440). United Nations Development Programme. doi:10.1016/S1352-0237(02)00387-8

Cerrar Documento

Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. Soil Science Society of America Journal, 70(5), 1569–1578. doi:10.2136/sssaj2005.0117

Scurlock, J. M. O., Asner, G. P., & Gower, S. T. (2001). Worldwide Historical Estimates of Leaf Area Index , 1932 – 2000. Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center.

Simmons, C., Tarano, J., & Pinto, J. (1959). Clasificacion de Reconocimiento de los Suelos de la Republica de Guatemala (Tirado-Sul., p. 1000). Guatemala: Servico Cooperativo Intermericano de Agricultura (SCIDA); Instituto Agropecuario Nacional (IAN).

Snyder, R. L., Orang, M., Bali, K., & Eching, S. (2000). Basic Irrigation Scheduling (BIS). Regents of the University of California.

Sullivan, C. (2001). The Potential for Calculating a Meaningful Water Poverty Index. Water International, 26(4), 471–480.

Sullivan, C. (2002). Calculating a Water Poverty Index. World Development, 30(7), 1195–1210. doi:10.1016/S0305-750X(02)00035-9

Sullivan, C., Meigh, J. R., Giacomello, A. M., Fediw, T., Lawrence, P., Samad, M., Mlote, S., et al. (2003). The Water Poverty Index : Development and application at the community scale. Natural resources forum, 27, 189–199.

Sáenz, G. M. (1995). Hidrología en la ingenieria. (Escuela colombiana de ingeniería, Ed.) (p. 284). Bogotá.

Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. (2005). WEAP21A demand-, priority-, and preference-driven water planning model Part 1: Model characteristics. Water International, 30(4), 487–500.