



Programa para la Protección Ambiental Acuerdo de Cooperación No. 517-A-00-09-00106-00

Informe determinación del balance hídrico y el caudal ecológico de la microcuenca Haina-Duey, República Dominicana.



Magdalena Nuñez
Septiembre, 2013

“Esta publicación fue posible gracias al apoyo generoso provisto por el pueblo estadounidense a través la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), y su receptor principal The Nature Conservancy (TNC) y su socio PRONATURA según los términos del Acuerdo de Cooperación No. 517-A-00-09-00106-00 (Programa para la Protección Ambiental). El contenido y las opiniones expresadas aquí son responsabilidad de PRONATURA v no reflejan necesariamente la posición o política de USAID o TNC, v no se



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

19/10/13

Determinación del Balance Hídrico y el Caudal Ecológico de la Microcuenca Haina-Duey, Provincia San Cristóbal, República Dominicana

Introducción

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la determinación del balance hídrico y el caudal ecológico de la microcuenca Haina-Duey, que como parte del componente del diseño, implementación y monitoreo de proyectos pilotos para la adaptación al cambio climático está implementando TNC en sociedad con PRONATURA.

Antecedentes

El Programa de Protección Ambiental (PPA) en el horizonte definido de 5 años de ayuda para facilitar el cumplimiento de los compromisos asumidos por la República Dominicana al ratificar el Acuerdo de Libre Comercio con Centroamérica y Estados Unidos (DR-CAFTA), inició en el año 2009 con actividades orientadas a fortalecer la asistencia técnica, capacitación y equipamiento a las instituciones nacionales públicas y privadas, que promuevan una más efectiva protección a la calidad ambiental y la biodiversidad, este quinto año concluye con esfuerzos orientados a fortalecer las estrategias y acciones requeridas por el país para la adaptación al Cambio Climático en materia ambiental.

La implementación de iniciativas de conservación del componente para el diseño, implementación y monitoreo del proyecto piloto de adaptación al Cambio Climático plantea en el Plan de Manejo del Parque Nacional Montaña La Humeadora (de la cual la microcuenca Haina-Duey en Guanaito forma parte) para un manejo adecuado de los recursos, actividades en las cuales es necesario conocer cuál es el balance hídrico y el caudal ecológico de la zona.

Justificación

La importancia del agua en la Microcuenca Haina-Duey es vital, ya que en ella se encuentran uno de los puntos de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Santo Domingo, (Toma Guanaito II, Toma II del Sistema Duey y Toma Nueva Duey, que aportan un total de 1.23 m³/s), por lo que cualquier acción que se proyecte en esta microcuenca requiere conocer cuáles son los aportes disponibles y en qué periodo del año ocurren, de manera que se mantenga la sostenibilidad ambiental del sistema fluvial.

Objetivos

Determinar el balance hídrico, el caudal ecológico y las medidas a aplicar para mantener el caudal ecológico o imitación del mismo circulando en el río.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Metodología de estudio

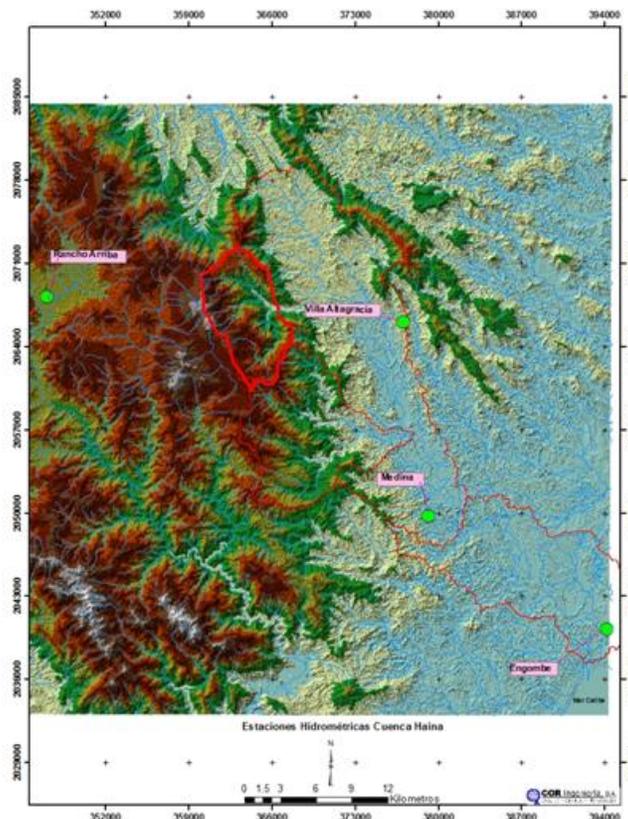
- **Recolección de información hidroluviométrica**

Se colectó la información hidroluviométrica de la cuenca del río Haina y de cuencas vecinas. Con la información hidroluviométrica reunida, se realizó un análisis de la misma para determinar si la distribución areal corresponde a la disponibilidad de datos deseada.

- **Determinación de los parámetros físicos e hidrogeológicos**

La recopilación de los datos secundarios incluyó la revisión bibliográfica de las estadísticas de los datos de lluvia y climáticos de las estaciones Villa Altagracia, Rancho Arriba, Medina y Engombe, que han sido tomadas en cuenta para este estudio por su cercanía a la microcuenca.

La preparación de los datos de entrada al modelo y de los parámetros de los segmentos se realizó a partir de estudios previos de la región, de la información hidroluviométrica, la información geológica e hidrogeológica, así como de información de campo. Esta información hidroluviométrica se muestra en la Figura No.1 a continuación, con la ubicación de las estaciones pluviométricas.





USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Figura 1. Mapa de Estaciones Hidropluviométricas del Estudio de Haina-Duey

- Balance hídrico

- Balance hídrico con el Método de Thornthwaite. Se realizó partiendo de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración mensual estimada para conocer el balance de agua en el suelo a lo largo del año.

- Balance Hídrico diario de la cuenca. Metodología que se fundamenta en la ecuación de equilibrio del agua en la cuenca, establecida a partir de métodos indirectos que se basan en técnicas paramétricas para el cálculo de la capacidad de retención del agua en el perfil edáfico, a partir de variables físicas, orgánicas y de disposición de los horizontes del suelo, realizada con la simulación del ciclo hidrológico por medio de la herramienta Soil and Water Assessment Tool (SWAT).

- Modelación hidrológica

Para la simulación hidrológica se realizó el desarrollo de un modelo de elevaciones, un análisis de la topografía a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) y de la información temática disponible, cuyo análisis y resultados se obtienen del Sistema de Información Geográfica (GIS). A partir del DEM se determinó la cuenca vertiente y la red de drenaje al punto de concentración elegido, las direcciones de flujo y la correspondiente división del territorio en subcuencas; del modelo se obtienen además los principales parámetros físicos de la subcuencas.

El proceso antes descrito se llevó a cabo mediante la herramienta de análisis hidrológico ArcGIS, utilizando la herramienta Hydrology de Spatial Analyst, contenida en Arctoolbox-Spatial Analyst Tools. La modelación hidrológica se llevó a cabo por medio de la Herramienta de Evaluación del Suelo y Agua (SWAT) que permite simular varios procesos físicos diferentes en una cuenca hidrográfica, que son separados en dos divisiones mayores. La primera división es la *Fase Terrestre del Ciclo Hidrológico*, esta fase controla la cantidad de agua, sedimentos, las cargas de alimento nutritivo y de pesticida al canal principal en cada subcuenca; la segunda división es la *Fase de Transito a través del cauce del Ciclo Hidrológico*.

La organización para introducir los datos de caudales del río Haina en Guanaito al programa de computadora, se realizó de manera automática a partir de los resultados de la modelación hidrológica realizada en SWAT.

La relación de fechas del año Juliano con el Calendario Civil para la construcción e interpretación de los gráficos son mostradas en la tabla siguiente.

Tabla 1. Relación de las Fechas del año Juliano con el Calendario Civil

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
0 -31	32- 59	60 - 90	91-120	121 -151	152 -181
Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
182 -211	212 - 242	243 -272	273 - 302	303 - 333	334 - 365



COR Ingeniería, SRL

CONSULTORIA • CONSTRUCCION • REPRESENTACION

contacto@coringenieria.com

Av. Núñez de Cáceres 252, Edif. M+B, Apto. E-1, El Millón
Santo Domingo. R.D.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

- Caudal ecológico

La base de datos de hidrogramas fluviales diarios que representa las condiciones base en el tramo del río Haina aguas arriba de la obra de toma de la CAASD en Duey, ha sido construida con la aplicación del modelo Herramienta para Evaluación del Suelo y Agua (SWAT). La simulación abarca el periodo 1955-1999, considerado representativo de la variación climática. Para el levantamiento de los datos primarios (régimen de caudales ecológicos) se utilizó el software Indicadores de Alteraciones Hidrológicas (IHA por sus siglas en inglés).

Resultados esperados

Con las metodologías antes descritas se han obtenido:

- Balance Hídrico Mensual de la Microcuenca Haina-Duey en Guanaito
- Caudales Medios Diarios (que sirvan de entrada al Modelo Indicadores de Alteraciones Hidrológicas (IHA) para la determinación de los Parámetros del Componente del Caudal Ecológico o Ambiental.
- El caudales ecológico de la Microcuenca Haina-Duey en Guanaito
- Medidas a implementar para el mantenimiento del caudal ecológico circulante en el río.

Área de estudio

La hidrografía de la cuenca del río Haina está constituida por cauces permanentes y no permanentes. Los cursos superficiales de carácter permanente incluyen el río Haina, con un cauce de orden 3, una longitud de 83.33 km y una pendiente media de 1.4%.

El clima general de la cuenca del río Haina se caracteriza por un clima subtropical húmedo, con una precipitación media anual de 1,839 mm, una temperatura media anual de 25.3 °C, evaporación anual de 1,651 mm, humedad relativa de alrededor 78.31%, velocidad del viento de 0.93 m/s a 3 m de altura y de 1.15 m/s a 1 m de altura. Los días alcanzan las 8 horas de sol, en promedio. En esta cuenca predominan las prácticas agrícolas de diverso tipo, que ocupan el 59,7% del área de la cuenca y las regiones boscosas que se despliegan en el 34.5% del territorio, el resto del área de la cuenca tiene otros usos.

La Micro-cuenca Haina-Duey está localizada en la Loma La Humeadora, correspondiente al frente más oriental de la Cordillera Central de la República Dominicana, la más alta y extensa de las Cordilleras de la isla, alcanzando los 1315 msnm. Esta zona de la Cordillera Central recibe los vientos alisios que penetran al territorio del país por el nordeste cargados de vapor de agua que arrastra desde el océano Atlántico, provocando su ascenso, condensación y precipitaciones orográficas que la convierten esta región en una zona de gran captación de agua.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES

The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

El río Haina recibe por su margen derecha al río Duey para conformar la Microcuenca Haina-Duey correspondiente al área de estudio presentada en la Figura No. 2 a continuación.

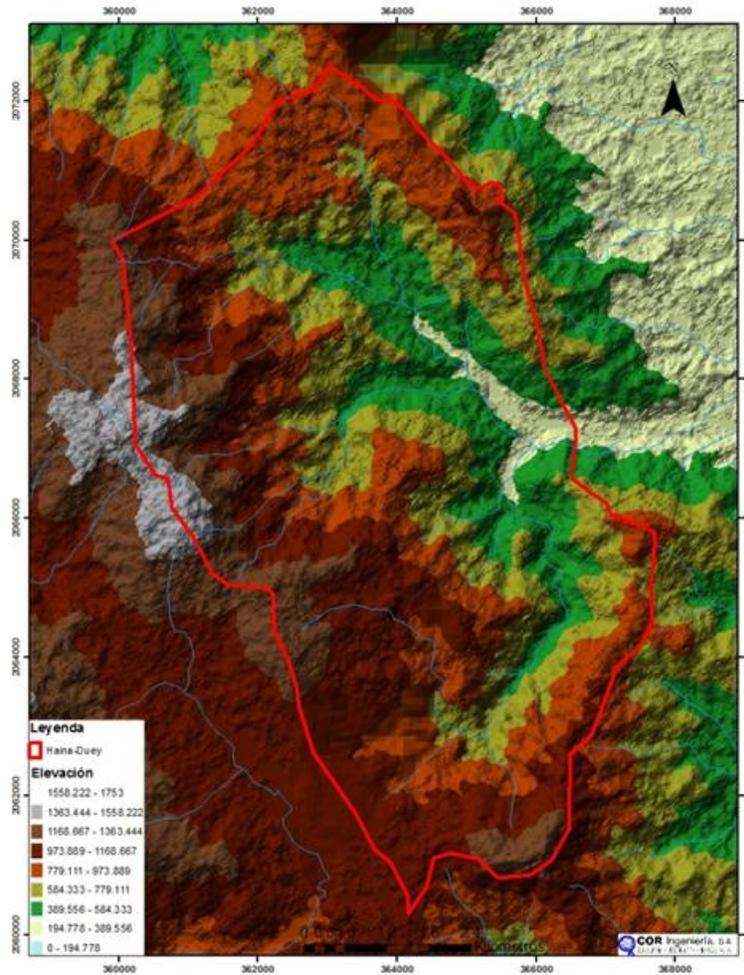


Figura 2. Microcuenca Haina-Duey en Guanarito

Según la clasificación de L. Holdridge, la microcuenca presenta dos zonas de vida bien definidas. El Bosque Muy Húmedo Montano Bajo y Bosque Muy Húmedo Subtropical como muestra la siguiente figura. La división territorial de las zonas de vida guarda mucha relación con el patrón territorial de lluvias que se registra en el área.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

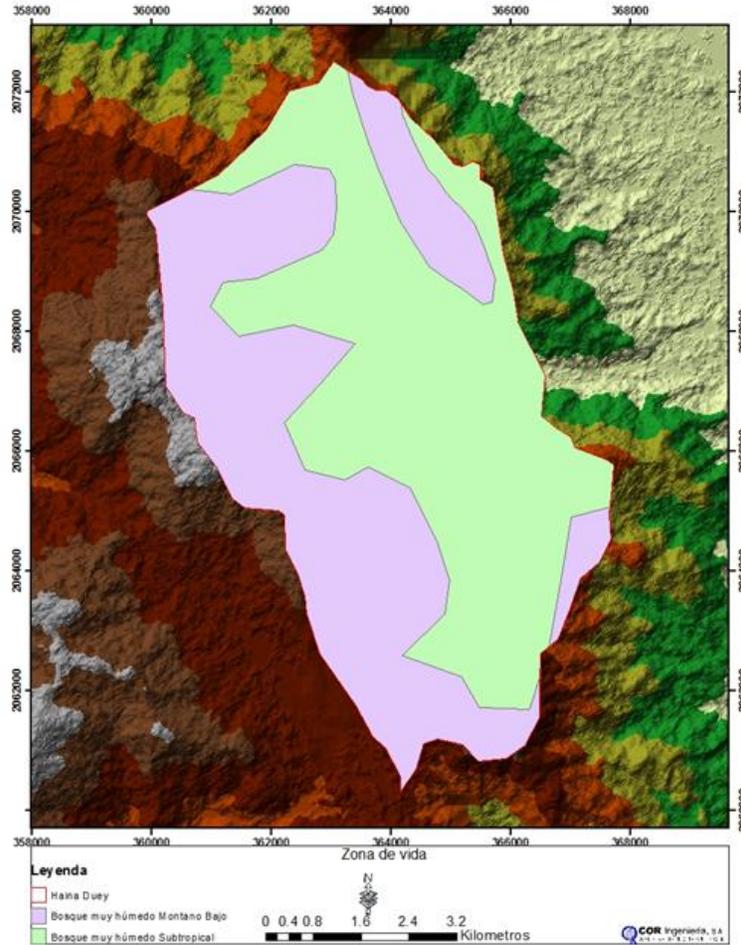


Figura 3. Mapa de Zonas de Vida de Holdridge de la Microcuenca Haina-Duey

1. Balance Hídrico

En el presente estudio se examinan los sistemas de balances hídricos de Thornthwaite y el ciclo hidrológico simulado por SWAT (que utiliza el método del No. de Curva del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de U.S.A. (U.S.D.A.) para el cálculo de la escorrentía, integrando ambas líneas de trabajo con la finalidad de efectuar el balance hídrico para la microcuenca Haina-Duey, que permite determinar la relación existente entre el régimen de precipitación, sus tasas de infiltración/escorrentía y los volúmenes de agua de ríos y arroyos de la cuenca.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

- Balance Hídrico a Intervalo Mensual

El balance hídrico es un método que refleja los aportes de agua por recarga de precipitación de lluvia o por riegos y su salida mediante evapotranspiración, recargas subterráneas y corrientes superficiales. Toda el agua que cae en la superficie es devuelta a la atmosfera por evaporación y transpiración.

$$P + E + I + ET +/\- \Delta SW = 0$$

P = Recarga por precipitación o por riegos

E = Escorrentía

I = Infiltración

ET = Evapotranspiración

ΔSW = Variación en el contenido de agua en el suelo

La ETP es necesario calcularla previamente. La capacidad de campo, es el agua que un suelo puede retener en mm; con frecuencia se adoptan valores estándares en función de la textura del suelo para la capacidad de campo, como por ejemplo, en suelos arcillosos, 100 mm o más, en arenas muy permeables, 10 mm y en suelos intermedios, 50 mm. La reserva de agua utilizable (RAU) es la cantidad de agua que un suelo contiene en un momento dado y varía entre cero (suelo seco) y la capacidad de campo.

La disponibilidad de las aguas tanto superficiales como subterráneas que pueden ser recogidas o desviadas para su uso es posible determinarlo mediante un balance hídrico, de manera que se tenga una mejor visión de las posibles expansiones de la agricultura y el uso intensivo del suelo.

Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración mensual estimada, se puede estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año; la figura a continuación muestra la precipitación y temperatura media mensual de la estación Villa Altagracia en mm y grados centígrados (°C) respectivamente y la evaporación de la estación Bonao en mm.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES

The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

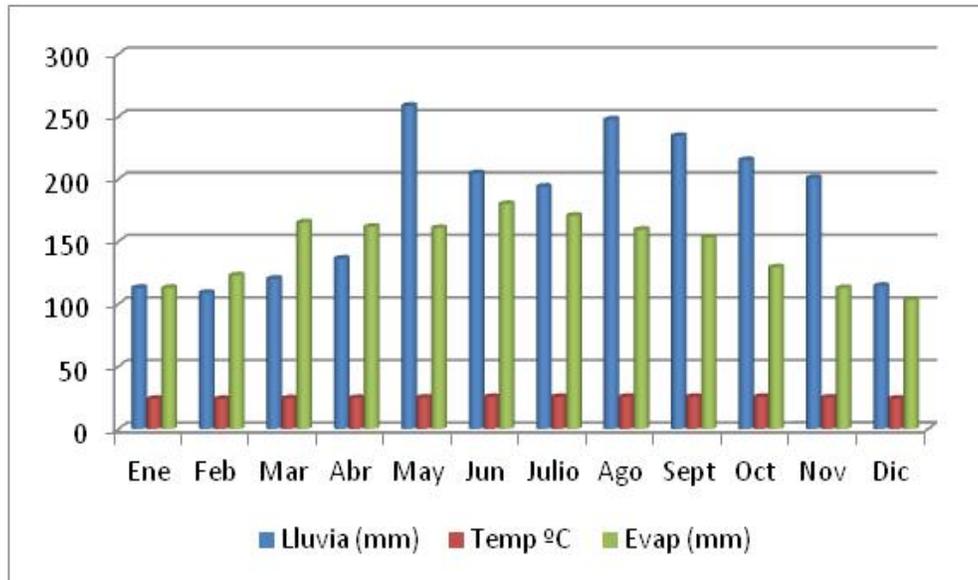


Figura 4. Transcurso de la Lluvia, Evaporación y Temperatura del Área de Estudio

La Figura 4 anterior presenta un régimen de lluvia de tipo bimodal con el pico de lluvia máximo en mayo y el secundario en agosto, con periodos de disminución de la precipitación que coincide con el invierno climático y otro en julio, de menor alcance. La evaporación presenta su máximo valor en junio, viéndose suplida y superada por las precipitaciones. La temperatura es prácticamente constante a todo lo largo del año, correspondiente al tipo de clima de la zona tropical.

El conocimiento del balance de humedad (balance hídrico) es necesario para definir la falta y excesos de agua y es de aplicación para las clasificaciones climáticas, para definir la hidrología de una zona y para la planificación hidráulica.

En este informe se aborda el método de estimación del balance hídrico utilizando y representando de los datos de evapotranspiración real, potencial, de precipitación y temperatura mediante los diagramas de balance hídrico y las fichas hídricas (formas elaboradas que permiten establecer clasificaciones climáticas).

Para determinar el balance en el suelo se requiere conocer la evapotranspiración potencial (ETP), la capacidad de campo (CC), reserva de agua utilizable (RAU) y el agua disponible por el suelo

En el diagrama del balance hídrico a continuación se compara la evapotranspiración potencial y la real con la precipitación a intervalo mensual. Esta comparación proporciona información sobre la cantidad en exceso de agua disponible en el suelo o el déficit durante las diferentes estaciones.



PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

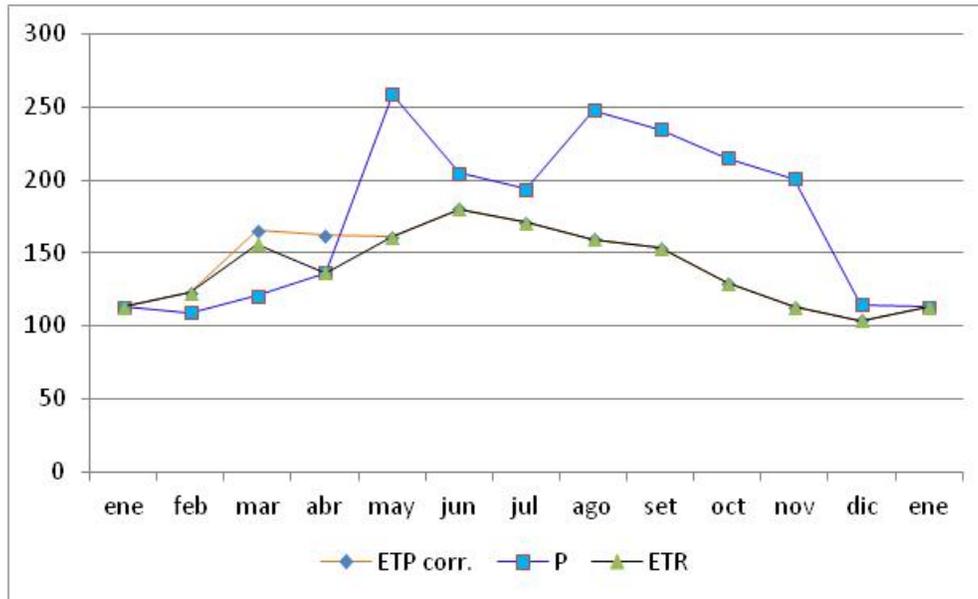


Figura 5. Diagrama de Balance Hídrico del Suelo Microcuencia Haina-Duey Mensual

La diferencia entre la ETP y ETR es el **déficit** que en el grafico se presenta desde febrero hasta mediados de abril; cuando la precipitación supera a la evapotranspiración (desde mediados del mes de abril hasta enero) hay exceso de agua, que corresponde al almacenamiento en reservas (que inicialmente se acumula en el suelo) más los excedentes. Donde ETR está por encima de P corresponde a la utilización de la reserva del suelo, que en este caso se inicia en febrero y concluye en abril con el inicio de la época lluviosa.

Tabla 2. Ficha Hídrica de Representación del Balance Hídrico Microcuencia Haina-Duey

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	ene	Total
temp	24	24	25	25	25	26	26	26	26	26	25	24	24	
i	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	11	11	138
ETP sin corr	100	100	106	110	115	122	124	124	125	124	115	103	100	
nº días mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	
nº horas luz	11	12	12	13	13	13	13	13	12	12	11	11	11	
ETP corr.	113	123	165	162	161	180	171	160	153	130	113	104	113	1734
P	113	109	120	137	259	205	194	248	235	215	201	115	113	2150
ETR	113	123	156	137	161	180	171	160	153	130	113	104	113	1699
Déficit	0	0	9	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
Reserva	50	36	0		50	50	50	50	50	50	50	50	50	
Excedentes	0	0	0	0	48	25	23	88	31	86	88	11	0	400



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

- Balance Hídrico a Intervalo Diario

Este método trata de determinar la escorrentía superficial que origina la lluvia en una determinada superficie, está basado en coeficientes que definen el comportamiento del complejo hidrológico suelo-vegetación en relación con la lluvia caída, determinando la capacidad que posee la cuenca vertiente de producir escorrentía, simulando el ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico es simulado por SWAT basado en la ecuación del equilibrio del agua:

$$SW_t = SW_0 + \Sigma(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

dónde SW_t es el contenido final de agua en el suelo (mm H₂O), SW_0 es el contenido inicial de agua del suelo en un día i (mm H₂O), t es el tiempo (días), R_{day} es la cantidad de precipitación en un día i (mm H₂O), Q_{surf} es la cantidad de escorrentía de la superficie en un día i (mm H₂O), E_a es la cantidad de evapotranspiración en día i (mm H₂O), W_{seep} es la cantidad de agua que percola en el perfil del suelo en un día i (mm H₂O), y Q_{gw} es la cantidad de flujo de retorno en un día i (mm H₂O).

Previa a la simulación hidrológica del sistema de drenaje para la caracterización fisiográfica e hidrológica de la cuenca se desarrolló un modelo de elevaciones que identifica y caracteriza la red de escorrentía existente. El estudio topológico se basó principalmente en el análisis de la topografía a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (DEM en lo adelante), así como la información temática disponible, cuyo análisis y resultados se obtienen a partir de asistentes del Sistema de Información Geográfica (GIS).

A partir del DEM, la determinación de la cuenca vertiente al punto de concentración elegido se efectuó a través de un procedimiento de cálculo automático que incorpora el GIS empleado, y que se fundamenta en las direcciones de flujo que se establecen entre celdas contiguas del modelo. De esta manera se agruparon las celdas cuyos flujos se van acumulando, deduciéndose tanto la red de drenaje como la correspondiente división del territorio en subcuencas. La figura a continuación presenta las subcuencas resultantes del modelo digital.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES

The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

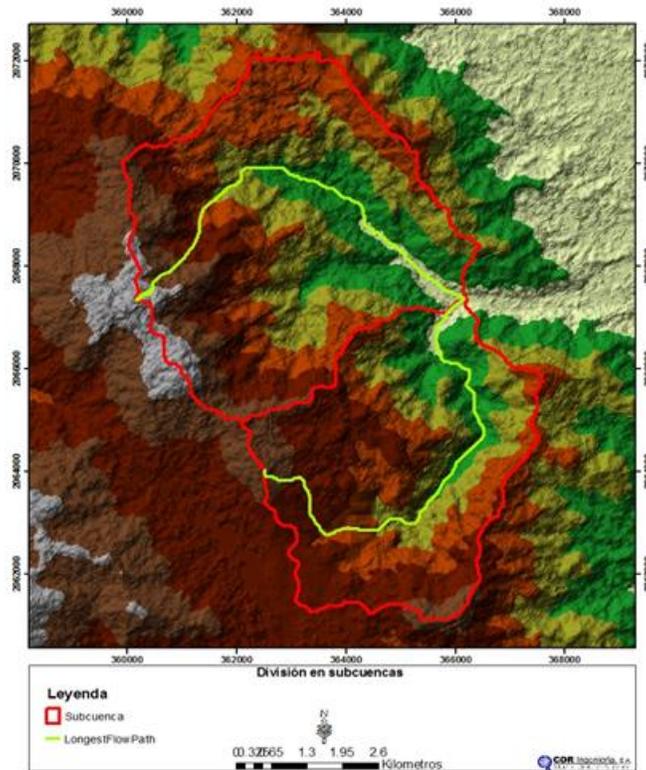


Figura 6. División de Subcuencas de Haina-Duey en Guanarito y Red de Drenaje

Estas cuencas están definidas de tal manera que la cuenca de estudio sea la envolvente de todas ellas, coincidiendo la cuenca definida con el punto de concentración de las aguas correspondiente al punto de Haina en Guanarito. El modelo físico está compuesto por agregación de estas subcuencas, de los que se obtienen además como resultado los principales parámetros físicos de la subcuencas agregadas: su delimitación, longitud de cauces, pendiente media y superficies de aporte.

El proceso antes descrito se llevo a cabo mediante la herramienta de análisis hidrológico ArcGIS, utilizando la herramienta Hydrology de Spatial Analyst, contenida en Arctoolbox-Spatial Analyst Tools que debe contar previamente con el modelo digital de elevación del área de estudio. El modelo hidrológico requiere también el GRID de cobertura y uso de la tierra, el de suelos, archivos de texto y tablas (tablas de localización para la recolección de información de lluvia, clima, temperatura, ubicación de las salidas, de atributos de uso del suelo, entre otros) que son procesados para dar inicio a la simulación hidrológica.

El comando "Run SWAT" es utilizado para construir los archivos de entrada y ejecutar el modelo SWAT, que simula la hidrología de la cuenca en dos vertientes: **1)** La Fase Terrestre del Ciclo Hidrológico, y **2)** la Fase de Transito a través de la red de drenaje.

 **COR Ingeniería, SRL**
CONSULTORIA • CONSTRUCCION • REPRESENTACION
contacto@coringenieria.com

Av. Núñez de Cáceres 252, Edif. M+B, Apto. E-1, El Millón
Santo Domingo. R.D.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

La modelación hidrológica de la fase terrestre de la herramienta SWAT comprende todos los procesos por los que pasa el agua de lluvia en una cuenca: Cuando el agua desciende, puede ser interceptada o puede ser contenida en el dosel de la vegetación o cae a la superficie del suelo. El agua en la superficie del suelo se infiltrará en el perfil de la tierra o fluirá sobre el terreno como escorrentía. La escorrentía se mueve relativamente rápido hacia un canal de corriente y contribuye en un corto plazo en la corriente. El agua infiltrada puede ser contenida en el suelo y evapotranspirada posteriormente o puede avanzar lentamente al sistema de agua-superficie a través de pasos subterráneos.

La fase de tránsito por los cauces se realiza una vez que SWAT determina las cargas de agua, sedimento, nutrientes y pesticidas hacia el canal principal, las cargas son dirigidas por la red de corrientes de la cuenca. Adicionalmente al seguimiento del flujo masivo en el canal, SWAT modela la transformación de sustancias químicas en la corriente y cauce.

Para la microcuenca Haina-Duey se han obtenido las series de caudales de escorrentía que a intervalo mensual son presentadas a continuación. (Tabla 3 y Figura 7)

Tabla 3. Caudales Medios Mensuales sitio Obra de Toma CAASD en Duey

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom Anual
1.3	1.4	0.8	0.5	0.8	0.9	0.6	1.5	2.0	1.5	2.2	1.4	1.2

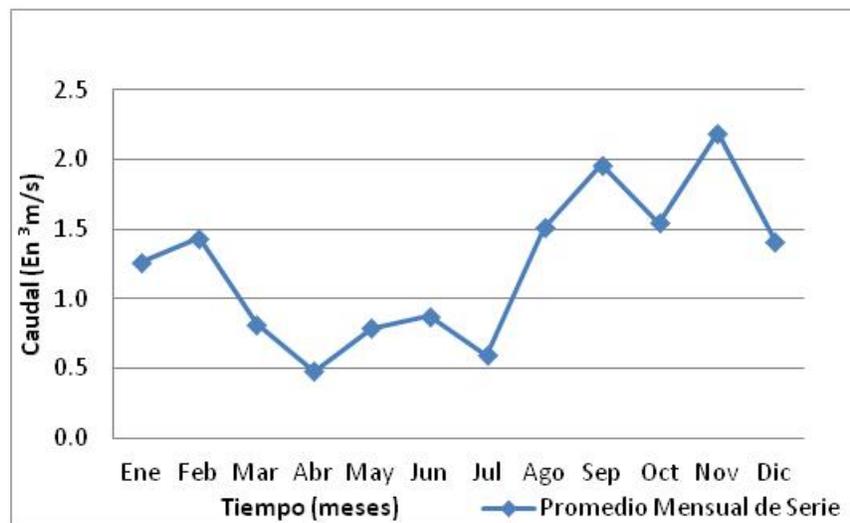


Figura 7. Caudal Promedio Mensual Generado en SWAT (1955-1999)

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Puesto que para cuencas muy pequeñas, como es el caso de estudio, la resolución mensual resulta limitante para aumentar detalles que son determinantes en este estudio. En la grafica siguiente se muestran los resultados de los balances hídricos mensuales y diarios.

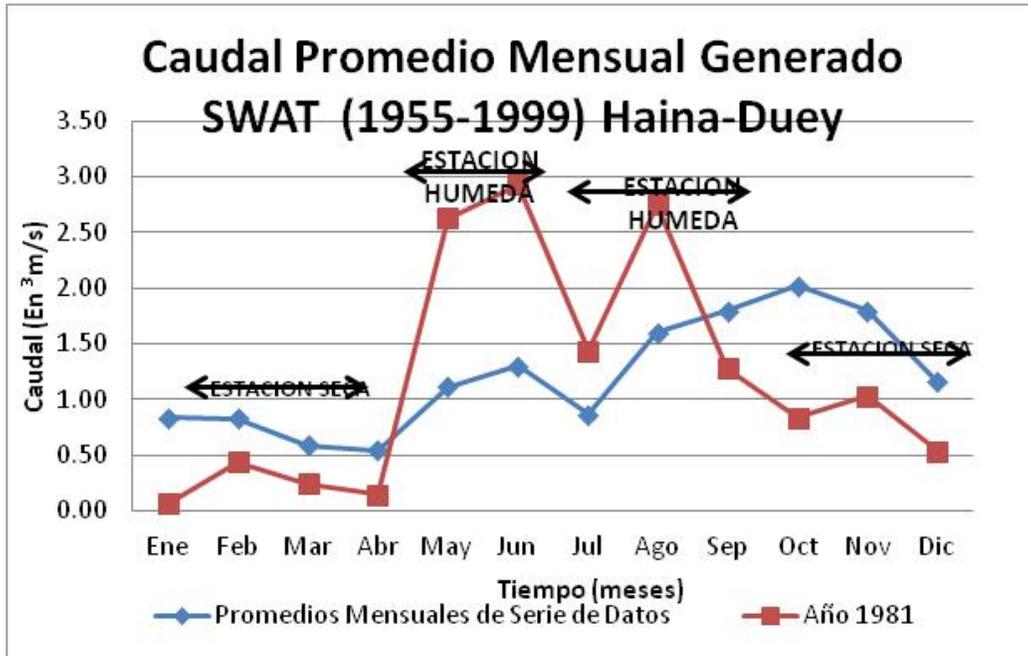


Figura 8. Caudales Mensuales Promedio y del Año Promedio (1981 Seleccionado)

En la Figura 8 se distingue la variabilidad intra-anual a intervalo mensual en la que se visualiza un fuerte modelo estacional con dos períodos húmedos (mayo-junio) agosto-febrero) y un período seco (febrero-abril) claramente definidos.

Comparando los balances hídricos mensuales y diarios con una misma estación meteorológica, se observa que los diarios muestran oscilaciones de importancia en la reserva de agua cuando esta se hace máxima, así como diversos desfases en las curvas de agotamiento y recarga de la reserva.

A continuación, la Figura 9 muestra la variabilidad de los caudales medios diarios obtenidos de la modelación, donde se presentan valores por debajo de los 5 m³/s la mayor parte del tiempo, las avenidas más frecuentes oscilan entre 10 y 30 m³/s, y las grandes inundaciones sobrepasan los 130 m³/s.

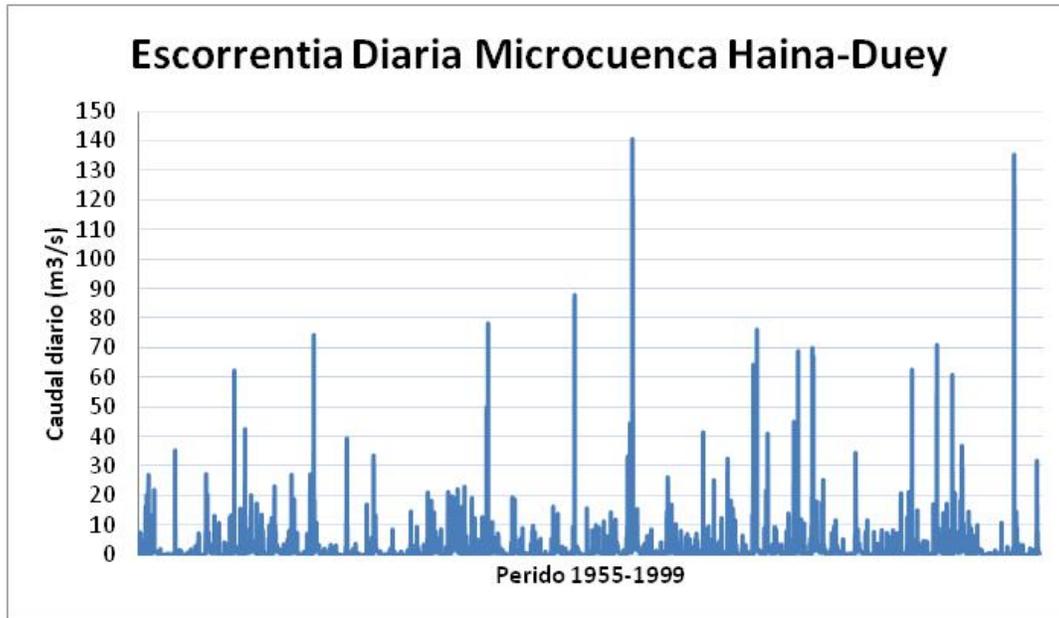
PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Figura 9. Escorrentía Media Diaria Resultante de SWAT

2. Caudal Ecológico

15

La base de datos de hidrogramas fluviales diarios que representa las condiciones base en el tramo del río Haina aguas arriba de la obra de Toma de la CAASD en Duey, ha sido construida con la aplicación del modelo Herramienta para Evaluación del Suelo y Agua (SWAT, por sus siglas en inglés). Este modelo requiere información específica sobre clima y tiempo, propiedades de suelos, topografía, vegetación y prácticas de manejo que ocurren en la cuenca. Es de simulación continua y genera como resultado caudales medios diarios. La simulación abarca el periodo 1955-1999, considerado representativo de la variación climática

Para el levantamiento de los datos primarios (régimen de caudales ecológicos) se utilizó el software Indicadores de Alteraciones Hidrológicas (IHA por sus siglas en inglés), programa que calcula las características hidrológicas y sus cambios en el tiempo, a través de los datos de caudales diarios de los ríos, obteniéndose como resultado 67 parámetros estadísticos ecológicamente relevantes, (33 parámetros estadísticos IHA del régimen de caudales y 34 parámetros componentes de caudal ecológico, EFC) que generan rangos de recomendaciones para determinar el régimen hidrológico de caudales ecológicos o ambientales.

El método utilizado (Modelo IHA) calcula los parámetros estadísticos de la serie de escorrentía natural, para cinco tipos diferentes de componentes del caudal ecológico



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

(caudales bajos, extremadamente bajos, pulsos de caudal alto, pequeñas inundaciones y grandes inundaciones).

La figura a continuación (Figura 10) presenta la relación del régimen natural de caudales con los procesos ecológicos del ecosistema fluvial, en los que se ve claramente cómo los diferentes componentes del caudal ecológico conforman y definen el sistema.

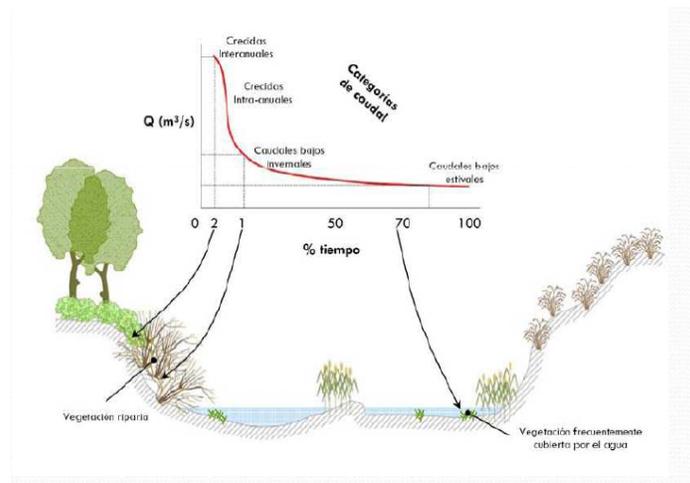


Figura 10. Relación Directa Régimen Hidrológico y Procesos Biológicos del Ecosistema

La curva de duración de caudales resultantes del modelo son mostrados en la tabla a continuación (Tabla 4). El modelo IHA calcula la curva de duración de caudales para el periodo de análisis del archivo de datos hidrológicos (caudales medios diarios de la serie 1955-1999 de la microcuenca Haina-Duey) siguiendo la metodología de ordenar (clasificar) el promedio de las descargas diarias para el periodo de registro, asigna al valor de cada descarga su posición (M) en la lista ordenada y calcula la probabilidad de excedencia (P) con la siguiente formula

$$P = 100 * [M / (n+1)]$$

P = probabilidad que un caudal dado pueda ser igualado o excedido (% de tiempo)

M = Posición clasificada en la lista (adimensional)

N = cantidad de eventos por periodo de registro (adimensional)

Tabla 4. Curva de Duración de Caudales Medios Diarios Micro-cuenca Haina - Duey

Probabilidad de excedencia	Caudal Q
----------------------------	----------



COR Ingeniería, SRL
CONSULTORIA • CONSTRUCCION • REPRESENTACION
contacto@coringenieria.com

Av. Núñez de Cáceres 252, Edif. M+B, Apto. E-1, El Millón
Santo Domingo. R.D.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

(%)	(m ³ /s)
2	7.64
5	3.05
10	1.89
20	1.27
25	1.12
30	0.994
40	0.79
50	0.631
60	0.481
70	0.352
75	0.3
80	0.25
90	0.15
95	0.092

La curva de duración de caudales muestra una probabilidad de excedencia de 2% correspondiente a las crecidas interanuales, de 5% de excedencia catalogada como crecidas intra-anales o avenidas habituales, los caudales con una excedencia de un 25% como caudales bajos o caudales base y los del 95 % de probabilidad de excedencia como caudales de sequía, los caudales que exceden el 70 % del tiempo mantienen la vegetación de las orillas del cauce frecuentemente cubierta por agua.

Caudales bajos. Esta es la condición dominante en la mayoría de los ríos. En los ríos naturales, después de un evento de precipitación, el río retorna a su nivel de flujo base o caudal bajo, que se mantienen por la descarga de agua subterránea en el río.

Caudales extremadamente bajos. Son los niveles mas bajos que alcanza el río durante los periodos de sequía.

Pulsos de caudal alto. Cuando una tormenta produce lluvias abundantes que el río supera su nivel de caudal bajo, estos incluyen cualquier crecimiento del agua que no sobrepase las riberas del cauce.

Pequeñas inundaciones. Incluye las crecidas del río que sobrepasan el cauce principal, pero no incluye inundaciones mas extremas de menor frecuencia.

Grandes inundaciones. Son inundaciones extremas que generalmente cambian la estructura biológica y física de un río y su planicie de inundación.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

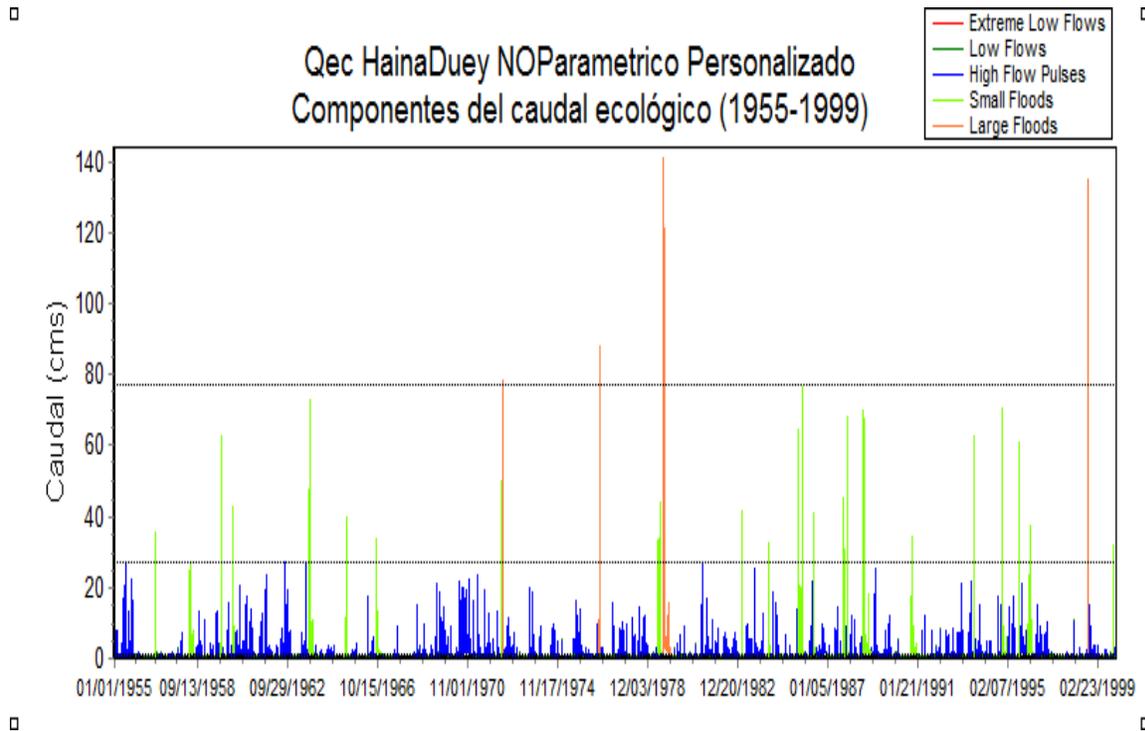


Figura 11. Componentes del Caudal Ecológico

Los parámetros de los componentes del caudal ecológico mostrados en la Figura 11, se describen en términos de la magnitud, duración, frecuencia y estacionalidad (momento) de los caudales; parámetros estos ecológicamente importantes en: las condiciones habituales (determinantes de la disponibilidad general de agua en el ecosistema) y los caudales extremos, tales como pulsos altos o avenidas habituales, inundaciones y estiajes que representan las condiciones ambientalmente más críticas.

Análisis hidrológico

Los resultados de los registros de caudales simulados de los 45 años (1955-1999) muestran un rango de variabilidad dentro del cual se puede definir varios "tipos de año", "seco", "normal" y "húmedo". Esta variabilidad interanual con años individuales que varían desde muy secos a muy húmedos como se muestra en la Figura 12.

Las características de alguno de los componentes del caudal ecológico varían para años secos, normales y húmedos, como son la magnitud y la frecuencia de los picos de caudal alto y de las grandes y pequeñas inundaciones.

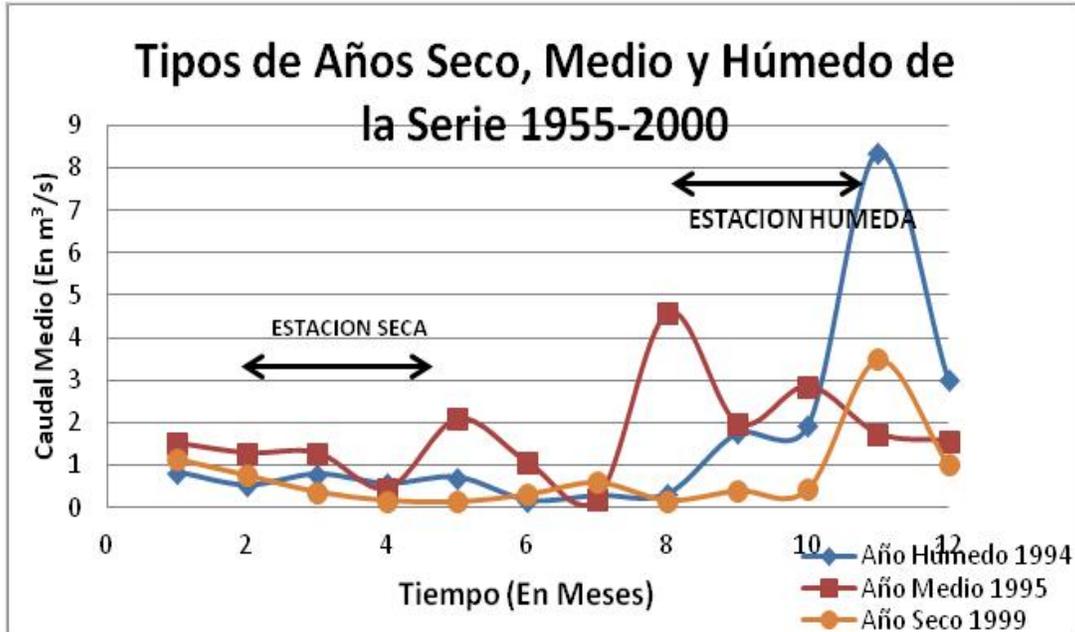
PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Figura 12. Variabilidad intra e interanual de la Microcuenca Haina-Duey

La variabilidad intra-anual presentada para cada tipo de año es bien marcada con un fuerte modelo estacional (figura 13), con dos estaciones secas (una principal y otra secundaria) y dos estaciones húmedas también (una principal y otra secundaria).

La estación seca principal para la microcuenca se presenta en el periodo diciembre-abril con caudales bajos y extremadamente bajos relativamente constantes; la estación seca secundaria se presenta en los meses de julio a agosto con caudales base fluctuantes.

Las estaciones húmedas abarcan los meses de mayo a junio para la secundaria, donde se observan los pulsos de caudal alto, típicos de este tipo de estación; de septiembre a noviembre se presenta estación húmeda principal con caudales altos correspondientes a las pequeñas inundaciones (o avenidas frecuentes) y las grandes avenidas (inundaciones).

Aunque mayo representa el mes de mayor precipitación, los cinco meses antecedentes de periodo seco, desde diciembre hasta abril, puede ser la causa de que las escorrentías de mayo no se produzcan sino hasta haber suplido la humedad total del suelo, en los meses desde agosto a noviembre, donde las escorrentías se presentan con el ascenso de las lluvias en la región, como se muestra en el grafico de los caudales medios de las figuras 13, 14 y 15.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES

The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Componentes del caudal ecológico de la Micro-cuenca Haina-Duey

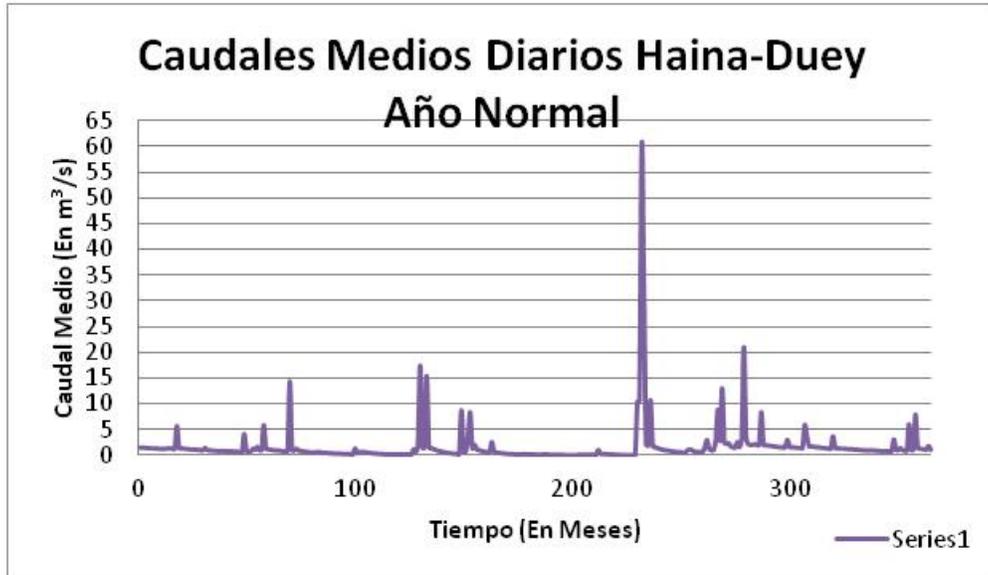


Figura 13. Condiciones Hidrológicas Año Normal de los Caudales Diarios

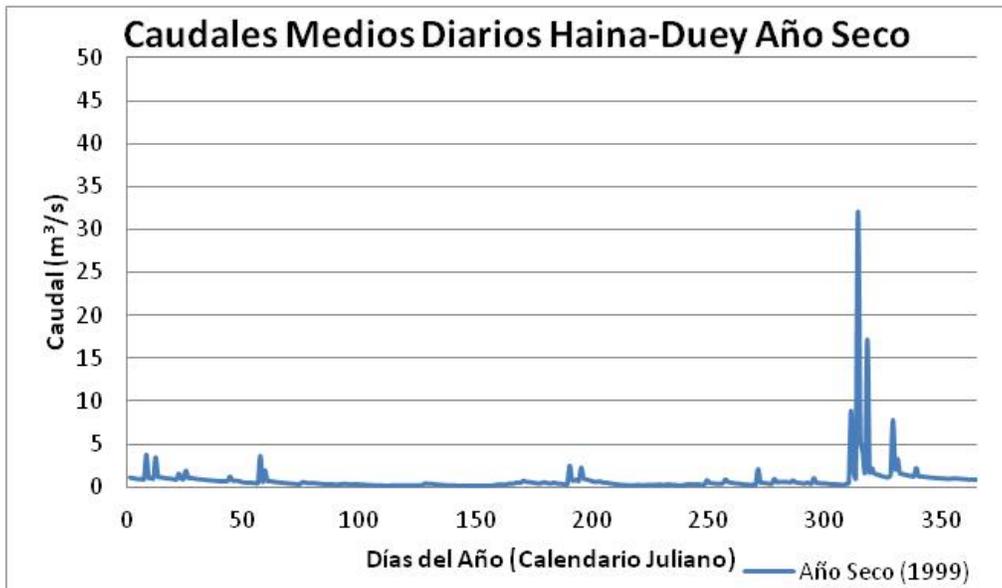


Figura 14. Condiciones Hidrológicas Año Seco de los Caudales Diarios

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

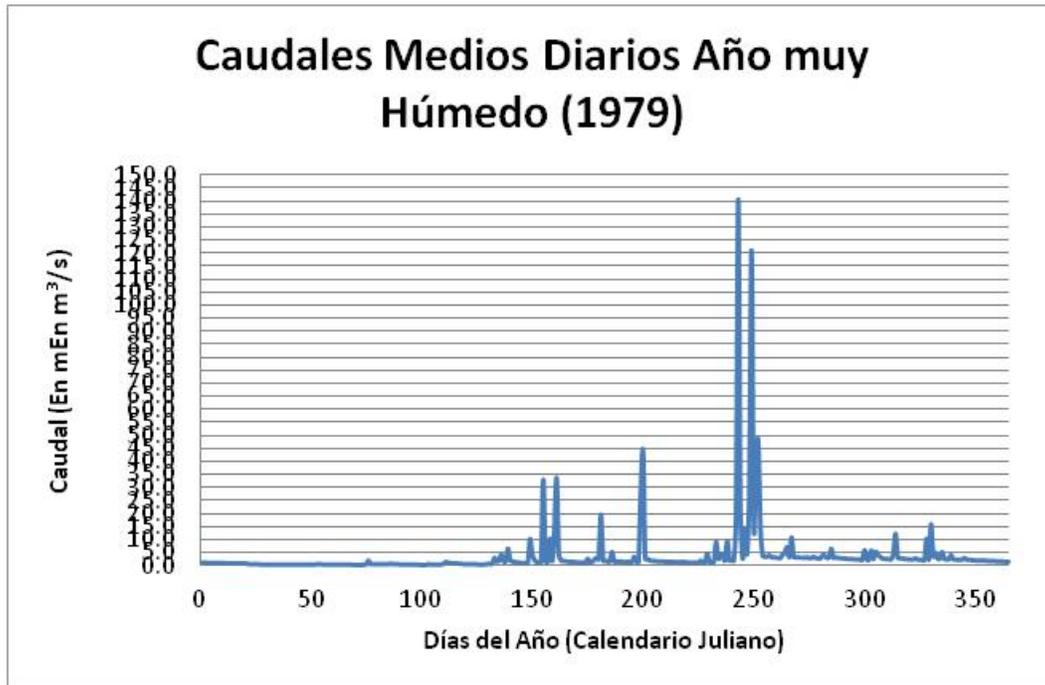


Figura 15. Condiciones Hidrológicas Año Muy Húmedo de los Caudales Diarios

El modelo Indicador de Alteraciones Hidrológicas en la fase del cálculo de los parámetros de los componentes del caudal ecológico utiliza un algoritmo predeterminado que evalúa los umbrales para cada componente del caudal en cuanto a magnitud, para realizar de manera automática la separación de cada tipo de caudal. En este caso los umbrales definidos por el modelo IHA (los umbrales pueden ser determinados por el usuario) corresponden a:

Tabla 5. Umbrales Predeterminados Automáticamente por el Modelo IHA

EFC umbral caudal alto:	1.12 m ³ /s
EFC umbral caudal extremo bajo:	0.146 m ³ /s
EFC pico mínimo de pequeñas inundaciones	27.3 m ³ /s
EFC pico mínimo de grandes inundaciones:	77.14 m ³ /s

Los resultados de los parámetros de los componentes del caudal ecológico de la modelación Paramétrica de IHA son presentados en la tabla a continuación, donde se muestra las magnitudes, frecuencias, duración y estación de los componentes del caudal ecológico de la Micro-cuenca Haina-Duey.

Tabla 6 Parámetros de los Componentes del Caudal Ecológico



PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Parámetros de Componente del Caudal Ecológico (EFC)		
Picos extremos bajos (Magnitud)	0.09583	m ³ /s
Duración Q extr bajos	10	Dias
Temporada de Q extr bajos	Mar-	Abril
Frecuencia de Qextr bajo	4	Veces
Picos de caudal alto (Magnitud)	4.605	m ³ /s
Duración caudal alto	4	Dias
Temporada caudal alt	May-	Junio
Frecuencia caudal alto al año	15 Veces Año	Hum y Normal
Frecuencia caudal alto al año	4 Veces Año Seco	
Pico pequeñas inund	47.79	m ³ /s
Duración pequeñas in	3	Dias
Temporada pequeñas i	Sept-Oct-	Nov
Frecuenc. pequeñas inundaciones	0.5	Veces
Pico grandes inundaciones	110.6	m ³ /s
Duración grandes inundaciones	2	Dias
Temporada grandes inundaciones	Sept--	Oct
Frec. grandes inunda	0.09	Veces

Caracterización de los caudales naturales

La caracterización de los caudales naturales se presenta en esta sección. El proceso de caracterización del régimen natural de caudales se ha realizado en dos vías paralelas:

- **Atendiendo a los valores medios o habituales como determinantes de la disponibilidad general de agua en el sistema.**
- **Atendiendo a los valores extremos del régimen: máximos-avenidas y mínimos-sequias que representan las condiciones ambientalmente más críticas.**

Los valores resultantes, 67 parámetros del Modelo computacional IHA describen la realidad de las aportaciones que de manera natural el río tendría; estos resultados del caudal afluente son tomados como la condición de referencia que debe imitarse en la obra de Toma Duey.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

➤ Valores Habituales

Las condiciones de referencia de los caudales habituales del Tramo_Toma_Duey se han determinado a partir de la serie de tiempo 1955-2000 resultantes del Balance Hídrico de la Microcuenca.

La caracterización de los valores habituales se realizó a escala diaria, agrupando algunos de los parámetros a escala mensual y anual para un mejor manejo.

Para la evaluación de los resultados estadísticos se analizaron los parámetros que proporcionó el modelo computacional IHA, considerando la condición de referencia como la definida al obtener el valor de los parámetros para el régimen natural y recomendar con esa misma información el rango de caudales ambientales que deben permanecer circulando en el cauce para mantener la integridad del río.

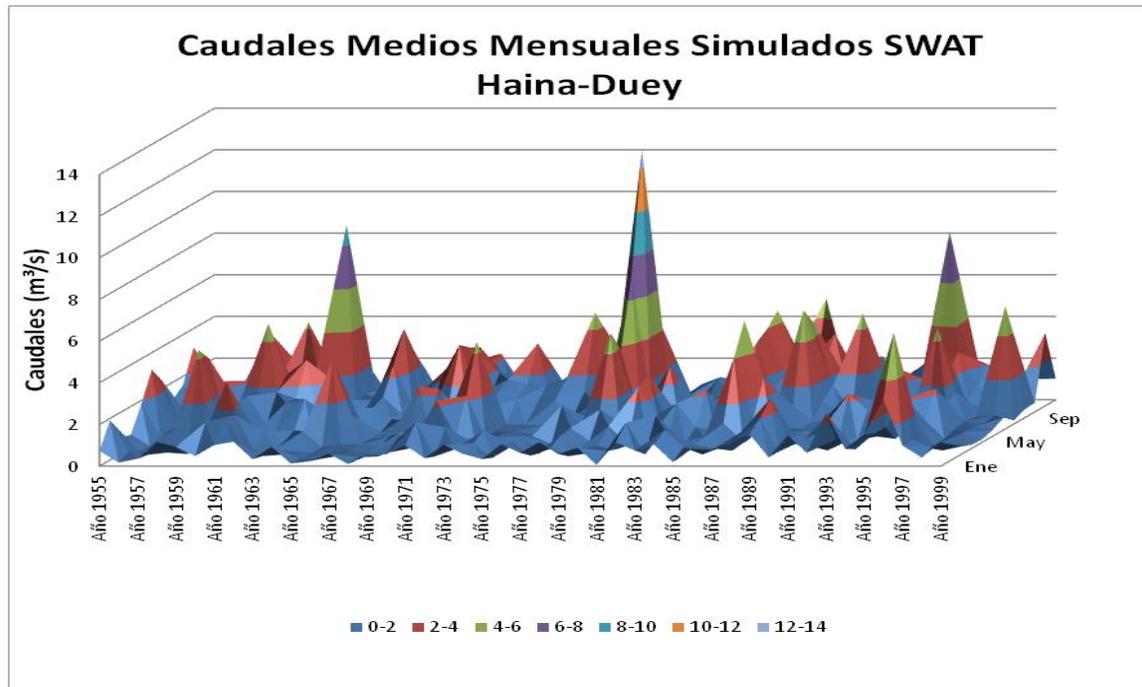


Figura 16. Caudales Mensuales Simulados SWAT en la Toma Haina-Duey

La Figura 16 presenta los caudales afluentes al sitio de la Toma Haina-Duey que muestran la variabilidad a lo largo de la serie de datos.

Los resultados del escurrimiento superficial para el periodo 1955-1999 a intervalo mensual son presentados en el cuadro y gráficos a continuación.

Tabla 7. Caudales Promedios Mensuales Afluentes a Obra de Toma CAASD Duey



contacto@coringenieria.com

Av. Núñez de Cáceres 252, Edif. M+B, Apto. E-1, El Millón
Santo Domingo. R.D.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
Promedios Mensuales de Serie de Datos	0.84	0.83	0.59	0.55	1.11	1.30	0.86	1.60	1.80	2.02	1.80	1.16	1.210

La Tabla 7 muestra la magnitud de los caudales promedio mensuales (caudal base mensual) del Río Haina en el sitio de estudio. La Figura 17 presenta el caudal base medio anual de la serie de datos de caudales 1955-1999, que representa una gran variabilidad inter-anual referente a los caudales bajos.

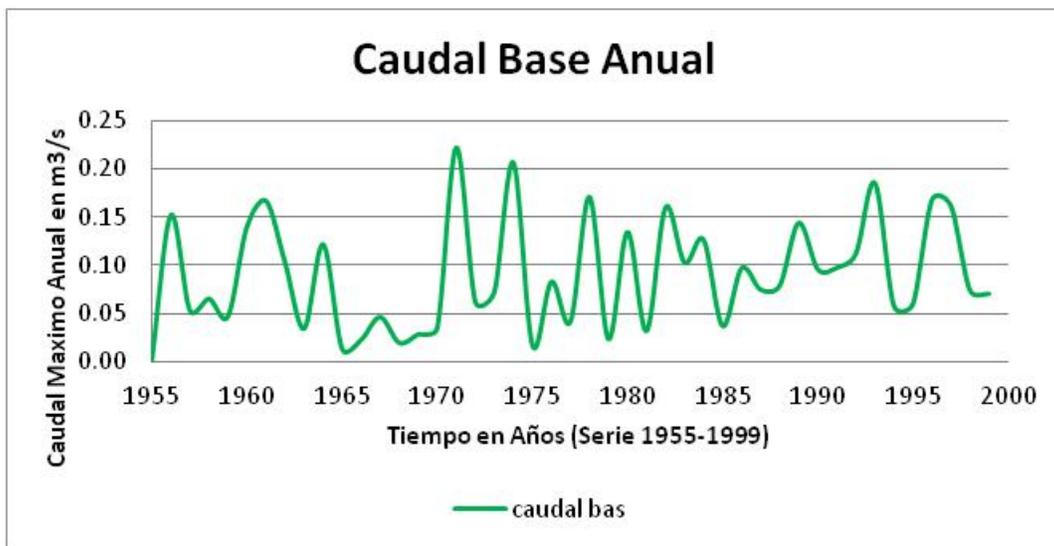


Figura 17. Caudales Base de la Serie 1955-1999

Los caudales a intervalo diario son presentados en la figura siguiente, donde se muestra que la respuesta de la cuenca es inmediata prácticamente, ya que los picos de caudales se manifiestan en los meses en los cuales ocurre la lluvia excedente, situación esta que no se refleja en el gráfico a intervalo mensual.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES

The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

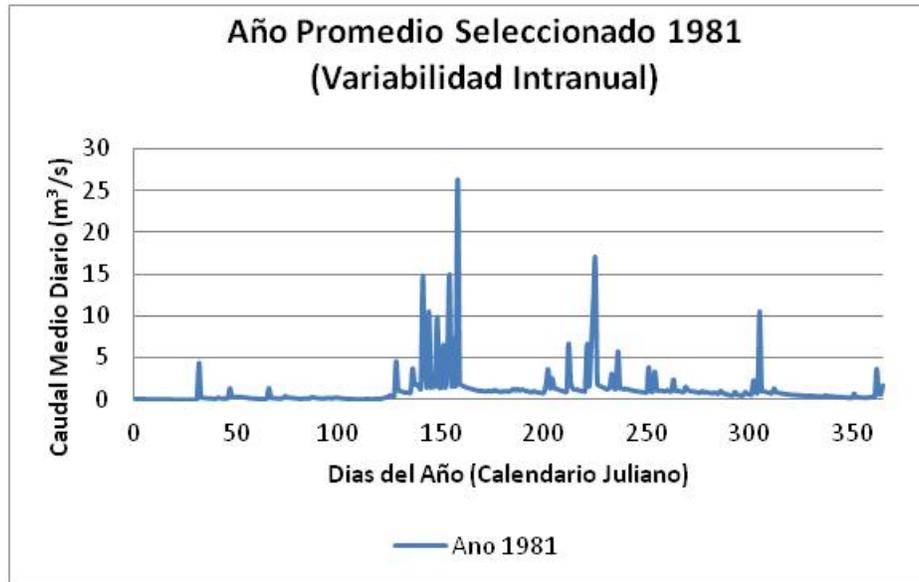


Figura 18. Hidrograma de Caudales Diarios del Año 1981 (Seleccionado Año Promedio)

En el hidrograma de caudales diarios del año 1981 (año seleccionado como año promedio) Figura 18, se muestra que la magnitud del pico máximo de la primera temporada húmeda es de 26.4 m³/s el día 7 de junio (día 158 del calendario juliano).

Los valores mínimos corresponden a la segunda quincena del mes de enero y los máximos primarios a la última semana de mayo y la primera de junio, con un pico de caudal secundario el 13 de agosto.

La variabilidad ambiental intra e interanual es una parte esencial del ecosistema del río que facilita el mantenimiento de la biodiversidad y los servicios del ecosistema importantes para las comunidades humanas. Diferentes especies e incluso individuos dentro de una misma especie prosperan bajo condiciones óptimas diferentes.

En la Tabla 8 muestra la magnitud y la variabilidad intra e interanual para los años que se definieron como año húmedo, año medio y año seco. Los valores medios habituales de la serie de datos proporcionan un valor de la media diaria cercano a los 27 m³/s.

Los caudales finales recomendados para Haina-Duey adoptan el concepto de un régimen flexible que responda a la variación interanual en la disponibilidad de caudal. Las recomendaciones para años secos, normales y húmedos tratan de mantener la variabilidad a largo plazo en el caudal del río (bajo la suposición de que la variación natural de las condiciones de caudal ayudara a mantener un ecosistema diverso y sano corriente abajo).

Tabla 8. Magnitud y Variabilidad Inter e Intraanual de los Caudales en (m³/s)

 **COR Ingeniería, SRL**
CONSULTORIA • CONSTRUCCION • REPRESENTACION
contacto@coringenieria.com

Av. Núñez de Cáceres 252, Edif. M+B, Apto. E-1, El Millón
Santo Domingo. R.D.



PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Muy Húm 1979	0.6	0.2	0.3	0.3	1.6	4.9	3.9	7.1	12.8	2.9	3.7	2.0	3.36
Húmedo 1995	1.5	1.3	1.3	0.4	2.1	1.1	0.2	4.6	2.0	2.9	1.7	1.6	1.72
Medio 1985	0.19	0.62	0.44	0.51	0.54	0.15	0.33	0.99	3.62	3.97	4.58	1.39	1.44
Seco 1999	1.1	0.8	0.4	0.2	0.1	0.3	0.6	0.2	0.4	0.4	3.5	1.0	0.75

➤ **Valores Extremos: Mínimos, Sequías Extremas, Pulsos Altos y Avenidas Pequeñas y Extraordinarias**

- **Sequías extremas o Caudales extremadamente bajos**

La cantidad de días con caudal cero se presenta en la Tabla 9, en esta se muestra que los resultados de las estadísticas para los tipos de año húmedo, medio y seco, así como para toda la serie de 45 años, no presentan ningún día con caudal igual a cero, lo que indica que este punto del río siempre tiene entrada de agua.

Tabla 9. Número Medio de Días al Año con Caudal Cero por Tipo de Año

Año	Nº. días con Q cero
Año Húmedo 1995	0
Año Medio 1985	0
Año Seco 1999	0

Como todos los ríos dominicanos el río Haina tiene un periodo predecible y más o menos consistente de caudales extremadamente bajos desde enero a mayo, después del cual los caudales del río se vuelven más variables a medida que los pulsos de caudal alto interrumpen los flujos bases constantes. Este periodo de caudal bajo debe ser considerado como un aspecto crucial del régimen de caudal natural del río al cual están adaptados muchos componentes del ecosistemas y comunidades humanas.

- **Máximos y Mínimos**

Los promedios de los caudales bajos mensuales resultantes del Modelo IHA para cada mes de la serie de 45 años de datos (1955-1999) son presentados en el siguiente cuadro (Tabla 10); estos caudales mínimos son los que siempre deben mantenerse circulando en el cauce y son graficados para cada año de la serie en la Figura 19.

Tabla 10. Caudales Bajos Promedios de la Serie 1955-1999

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Caudales Bajos Prom	0.64	0.48	0.44	0.42	0.49	0.55	0.56	0.61	0.66	0.73	0.78	0.73



PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL



Figura 19. Caudales Mínimos de Cada Año de la Serie 1955-1999

De igual manera los máximos anuales son presentados para la misma duración de las condiciones extremas mínimas indicadas anteriormente.

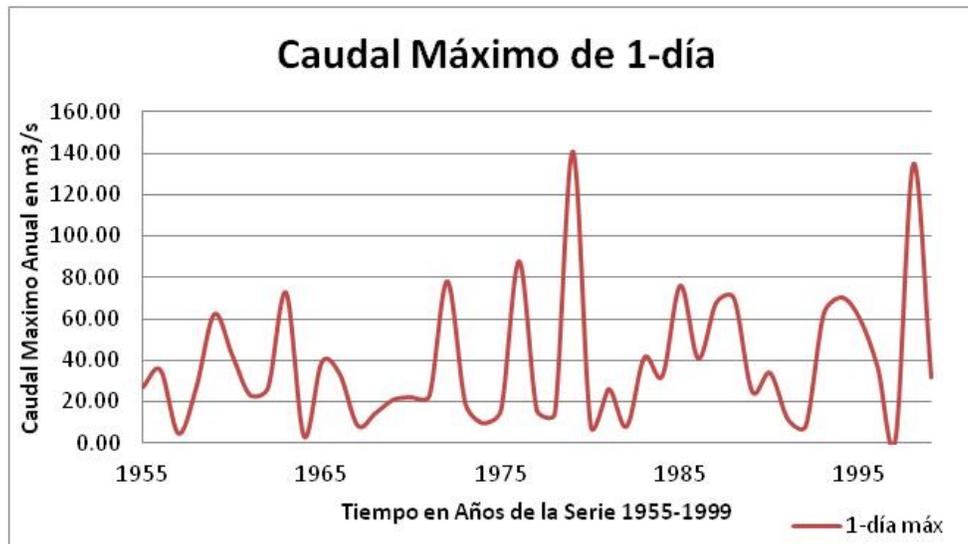


Figura 20. Caudales Máximos de Cada Año de la Serie 1955-1999

La estacionalidad (ocurrencia) de los caudales mínimos anuales se presenta en los meses de marzo y abril y el valor mínimo promedio de la serie de 45 años es de 0.100 m³/s. Los máximos anuales ocurren con mayor frecuencia en septiembre-octubre con valores promedio de 5 m³/s.

El valor para las pequeñas inundaciones de la microcuenca oscila entre 25 y 75 m³/s, en los cuales en 24 años no ocurren inundaciones de esa magnitud.



PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

La Tabla 10 muestra la magnitud de las condiciones extremas presentando los caudales mínimos anuales a través de la media de un día, los mínimos de tres días, siete días, treinta días y noventa días consecutivos de valores de las medias móviles de mínimos con ciertos rangos de magnitud.

Tabla 11. Condiciones Hidrológicas Extremas por Tipo de Año

Año Húmedo (1995)		Año Medio (1985)		Año Seco (1999)	
Q mínimos	Q m3/s	Q mínimos	Q m3/s	Q mínimos	Q m3/s
Q min 1 día	0.074	Q min 1 día	0.047	Q min 1 día	0.042
Q min 3 día	0.083	Q min 3 día	0.049	Q min 3 día	0.044
Q min 7 día	0.103	Q min 7 día	0.053	Q min 7 día	0.052
Q min 30 día	0.178	Q min 30 día	0.100	Q min 30 día	0.109
Q min 90 día	0.634	Q min 90 día	0.031	Q min 90 día	0.175
Q Máximos	Q m3/s	Q Máximos	Q m3/s	Q Máximos	Q m3/s
Q max 1 día	60.6	Q max 1 día	76.3	Q max 1 día	32.0
Q max 3 día	34.57	Q max 3 día	27.65	Q max 3 día	13.85
Q max 7 día	18.46	Q max 7 día	12.76	Q max 7 día	9.163
Q max 30 día	5.091	Q max 30 día	5.80	Q max 30 día	3.713
Q max 90 día	3.53	Q max 90 día	4.2	Q max 90 día	1.653

- **Percentiles de los Caudales**

Tabla 12. Percentiles Resultante del Análisis de IHA de la Serie

	Percent iles del periodo :1955-1999				
	10%	25%	50%	75%	90%
Enero	0.2172	0.338	0.586	0.836	1.042
Febrero	0.1874	0.237	0.363	0.6875	0.9421
Marzo	0.186	0.2115	0.3015	0.6165	0.795
Abril	0.1764	0.2273	0.349	0.509	0.6372
Mayo	0.2166	0.2673	0.382	0.4873	0.6256
Junio	0.2353	0.312	0.392	0.6766	0.9307
Julio	0.2398	0.3338	0.4565	0.6318	0.8788
Agosto	0.2925	0.3564	0.5135	0.6564	0.9268
Septiembre	0.2680	0.4124	0.5903	0.734	0.9215
Octubre	0.3130	0.4260	0.7610	0.9185	1.074
Noviembre	0.2345	0.5788	0.8393	1.009	1.083
Diciembre	0.2803	0.4453	0.7698	0.9746	1.047

2.1 Determinación de los Caudales Ambientales a ser Establecidos

El mantenimiento en el río de los elementos críticos de los componentes del caudal ecológico (caudales extremadamente bajos, caudales bajos, pulsos de caudales altos,



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

pequeñas inundaciones y grandes inundaciones) lo más cercano a los valores naturales en magnitud, duración, estacionalidad, tasa de cambio y frecuencia son claves para mantener la funcionalidad del río. Con los resultados del modelo IHA se han determinado los rangos de los caudales ambientales a ser establecidos en el tramo intervenido del río Haina, manteniendo así la gama completa de las condiciones naturales de caudal representadas por estos cinco tipos de eventos.

Caudales Ecológicos y Medidas a implementar para su mantenimiento

Los valores recomendados de años secos se obtuvieron del rango ubicado entre los percentiles 10 y 25 de los valores de caudal bajo; los valores recomendados de años normales se obtuvieron de un rango centrado en el percentil 50 de los valores de caudal bajo; los valores recomendados de años húmedos se obtuvieron del rango ubicado entre los percentiles 75 y 90 de los valores mensuales de caudal bajo.

Se prevé que los caudales diarios promedio de la estación seca principal serán tomados en su totalidad para abastecimiento de agua en la Toma Nueva de Duey; como no existe obra de regulación en el tramo, se recomienda dejar en el cauce un porcentaje de 10% del caudal afluente circulando por el cauce aguas debajo de la Obra de Toma.

Para la cuenca alta del río Duey donde se pondrá en práctica el proyecto piloto de agroforestería análoga, deberá siempre tener en cuenta los compromisos aguas abajo para agua potable.

Los pulsos de caudal alto en caso de no sobrepasar la capacidad de captación de la obra de toma, es recomendable que se sigan las reglas simples basadas en dejar un porcentaje del 10% del caudal de afluencia, de manera que se mantenga el nivel natural de variabilidad intra-anual. Los caudales afluentes a la obra de Toma de la CAASD que sobrepasen la capacidad de la misma, transcurrirán de manera natural río abajo.

3. Conclusiones

La puesta en práctica de medidas de conservación del componente “diseño, implementación y monitoreo del proyecto piloto para la adaptación al cambio climático que se provee en la cuenca de Haina debe formar parte del plan general de manejo ambiental a implementar en la cuenca, y debe ser una respuesta de adaptación y mitigación adecuada a los problemas que presenta la cuenca.

En general, debe plantearse un plan de ordenamiento para el manejo integrado de los recursos de la cuenca del río Haina, considerando los escenarios alternativos que los estudios de cambio climático aportan. Lo que implicaría que, en términos de los recursos de agua de la cuenca, se debe hacer un balance hídrico al término de tres, cinco y diez años de haberse iniciado el proyecto piloto.

Como el país está considerado entre los países más vulnerables a los impactos potenciales del Cambio Climático por su condición de Pequeño Estado Insular. El Estudio “Potential



COR Ingeniería, SRL
CONSULTORIA • CONSTRUCCION • REPRESENTACION
contacto@coringenieria.com

Av. Núñez de Cáceres 252, Edif. M+B, Apto. E-1, El Millón
Santo Domingo. R.D.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



The Nature
Conservancy
Conservando la naturaleza.
Protegiendo la vida.



PRONATURA
FONDO PRO NATURALEZA, INC.

PROGRAMA PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL

Impacts of Climate Change for Biodiversity in Central America, Mexico and Dominican Republic” (CATHALAC, 2008), proyecta escenarios del cambio climático y sus impactos sobre la biodiversidad. Estos resultados indican escenarios de aumento de temperatura, reducción de las precipitaciones y aumento de los niveles del mar.

Tabla 13. Proyección temperaturas medias y precipitación

Año	Temp °C	Precipitación (mm)
Año 2010	26.2	1277
Año 2030	26.9	1137
Año 2050	27.2	976
Año 2100	29.4	543

En lo concerniente a la Precipitación media en milímetros, los escenarios propuestos plantean una reducción de 140 mm desde el 2010 al 2030, 301 mm al 2050 y 734 mm al 2100. Estas reducciones del nivel de la precipitación combinadas con el incremento de la temperatura y en consecuencia de aumento de la evapotranspiración plantean un cambio radical de balance hídrico que debe ser monitoreado.

Esta situación planteada en este modelo coincide con los resultados obtenidos por la Oficina Meteorológica del Reino Unido en 1998, en los que afirma que el Caribe Oriental será la zona más árida en cualquiera de los escenarios que sean modelados.

4. Recomendaciones

La limitación de la información de precipitación de las estaciones utilizadas en el estudio hasta el 31 de diciembre del año 1999, plantean la necesidad de ampliar esta serie hasta el año 2012 para de esta manera obtener la crecida provocada por las lluvias de las tormentas Olga y Noel ocurridas en el año 2007.

Las medidas implementadas en este proyecto piloto de adaptación al cambio climático deben ser monitoreadas para 3, 5 y 10 años, de manera que se puedan modelar los cambios en la cobertura proyectados.

El monitoreo debe incluir un balance hídrico donde se obtengan datos de la escorrentía superficial y la evaluación de las estadísticas de esta serie de datos con un análisis para dos periodos, uno para la serie de datos sin practicas del proyecto piloto (1955-2012) y otro a partir de la implementación de dichas prácticas, con escenarios proyectados de cambios de uso de suelos, cobertura vegetal y capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.