



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO**

**FACULTAD DE:**

**ARES LIBERALES Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN**

**TÍTULO:**

**Aplicación del Modelo Hidrológico HBV-*light* en las Cuencas del Río Mira y Portoviejo del Ecuador.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO  
PREVIO A OPTAR EL GRADO DE:**

**INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**KATHERINE LISETTE VILLAMARÍN UQUILLAS**

**TUTOR:**

**Dr. Franklin Ormaza González**

**SAMBORONDÓN**

**MAYO, 2015**

## **Aplicación del Modelo Hidrológico HBV-*light* en las Cuencas del Río Mira y Portoviejo del Ecuador.**

### **Resumen**

La aplicación de un modelo hidrológico es importante y útil para obtener resultados factibles para la gestión de los recursos hídricos y prevenir futuros problemas climáticos. En el presente trabajo se aplicó y evaluó la eficiencia en el cálculo de la escorrentía diaria real del modelo Hydrologiska Byrans Vattenavdelning (HBV-*light*) utilizando la base datos hidrometeorológicos de las estaciones convencionales de las cuencas del río Portoviejo y Mira en el período 2003-2013. Estos datos fueron obtenidos por medio del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Los resultados de escorrentía que produjo el modelo, no coincidieron de manera aceptable con los datos observados para ninguna de las dos cuencas estudiadas. La eficiencia del modelo para la cuenca del río Portoviejo fue de -0.1881 y para la cuenca del Río Mira fue de -1.013; el valor mínimo aceptable es de 0.65. Para los meses de julio a diciembre para Portoviejo y noviembre a febrero para Mira el modelo arrojó mejores resultados. Esto sugiere que para escorrentías acumuladas observadas mayores a 200 m<sup>3</sup>/s el modelo se aleja significativamente a los simulados. Se concluye que esta herramienta no es válida para el desarrollo de estudios en estas dos cuencas, por la poca confiabilidad (calidad) de sus datos. El modelo ha sido utilizado y validado con resultados positivos en países como Costa Rica, Panamá, China y Colombia por lo tanto, se recomienda que se realicen estudios con datos de estaciones automatizadas.

### **Palabras Clave**

HBV-*light*, Modelación, Escorrentía, Cuencas hídricas, Portoviejo, Mira, Hidrología, Ecuador

## **Abstract**

The application of a hydrological model is important and useful to obtain feasible and useful results for managing water resources and prevent future climate problems. In this paper was applied and evaluated the efficiency of calculating the actual daily runoff model Byrans hydrologiska Vattenavdelning (HBV-light) using hydrometeorological data base of conventional stations in Portoviejo and Mira river basins in the period 2003- 2013. These data were obtained by the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI). The results of runoff that produced the model did not coincide acceptably with observed data for any of the two studied basins. The model efficiency for Portoviejo River basin was -0.1881 and Mira River Basin was -1.013. The minimum acceptable value is 0.65. From July to December for Portoviejo and from November to February for Mira, the model gave us better results. That suggests us that for observed accumulated runoff greater than 200 m<sup>3</sup>/s model differs significantly from the simulated. We conclude that this tool is not valid for the development of studies in these two basins, by the unreliability of the data. The model has been used and validated with positive results in countries such as Costa Rica, Panama, China and Colombia therefore, it is recommended that studies be done with data from automated stations.

## **Key Words**

HBV-*light*, modeling, runoff, water basins, Portoviejo, Mira, Hydrology, Ecuador

## **Introducción**

Ecuador se encuentra ubicado al noroeste del continente Sudamericano, en la zona intertropical, entre los meridianos 75° 11' y 81° 01' de longitud este, y entre los paralelos 1° 21' de latitud norte y 5° de latitud sur que delimitan la costa sur del país (Barros & Troncoso, 2010). Cuenta con una superficie total de 257 217.07 km<sup>2</sup>, que está compuesta por 248 983.96 km<sup>2</sup> de territorio continental y 8 233.11 km<sup>2</sup> que conforman las Islas Galápagos (CISPDR, 2014). El país, por su ubicación en la zona de convergencia intertropical, está influenciado por la presencia de dos corrientes oceánicas (Pourrut, 1983), La corriente fría de Humboldt, la contracorriente subsuperficial de Cromwell y los fenómenos de El Niño o la Niña que provienen de las latitudes que se encuentran por debajo y por encima de la línea ecuatorial, cual genera condiciones diferentes de presión, temperatura, humedad y lluvias (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAHMI, 2000).

A nivel hidrológico, el país se encuentra dividido en 79 cuencas hidrográficas 137 subcuencas y 840 microcuencas, las cuales han sido agrupadas para conformar las 9 demarcaciones hidrográficas nacionales. (Secretaría del Agua, SENAGUA, 2012)



**Fig. 1.- Mapa del Ecuador con sus nueve Demarcaciones Hidrográficas**

**Fuente: Senagua 2012**

Para el desarrollo de investigaciones o estudios del clima, planificación territorial, uso de suelo, manejo de recursos hídricos etc., es necesario conocer y saber interpretar los cambios de las variables involucradas en los diferentes procesos hidrológicos y climáticos en los recursos naturales. Para la implementación de este tipo de investigaciones y proyectos se han desarrollado a nivel mundial modelos matemáticos como el Sacramento, desarrollado por el Servicio Meteorológico Nacional de Estados Unidos y el Departamento de California de Recursos Hídricos (Ponce, 1989), Modelo empírico de Horton que permite simular la capacidad de infiltración en función del tiempo (Nave, Pedrani, Vich, & Mariani), o el SWMM (Modelo de Gestión de Agua de Tormenta), desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Dichos modelos al combinar ciertas variables hidrometeorológicas, nos permiten conocer y analizar distintos aspectos relacionados al estado de los recursos naturales, su comportamiento y su variabilidad frente a distintos escenarios climáticos.

Además de los ya mencionados, se han desarrollado modelos que con una formulación matemática simple generan resultados muy confiables. El modelo que se aplicará en el presente trabajo de titulación es un modelo que surge a partir del Hydrologiska Byrans Vattenavdelning (HBV), modelo hidrológico conceptual originalmente desarrollado por el instituto Meteorológico e Hidrológico sueco (SMHI) en 1970 para el diseño de obras hidráulicas (Lindstrom, 1997), que fue modificado por diversas instituciones científicas hasta llegar a lo que se conoce en la actualidad como el modelo *HBV-light*, una de las versiones del modelo original que utiliza las mismas variables. Sin embargo la modelación matemática es de fácil comprensión y manejo, motivo por el cuál se recomienda para la enseñanza y aplicación. Su implementación es válida para diferentes tipos de clima y topografía en cuencas y subcuencas, utilizando los datos de precipitación, caudal, temperatura y evapotranspiración media (Seibert, 1999).

Desde su creación, ha proporcionado resultados confiables a los investigadores en varios países de Europa como Finlandia y Rusia donde fue utilizado por Motovilov & Vehviläinen en 1989 para el estudio de la dinámica de nivel en zonas forestales o en Eslovenia donde fue aplicado para el desarrollo de casos de estudios de inundaciones (Grillakis, Tsanis, & Koutroulis, 2010). En Alemania fue aplicado a cuencas de diferentes regiones para validar en modelo en áreas con bosques, elevaciones, precipitación y escorrentía diferente (Seibert, 1999). Es importante conocer que este modelo también ha sido utilizado en países con una variabilidad climática diferente como China para el estudio del balance hídrico y predicción del impacto del cambio climático (Gao, Wang, & Yin, 2002), en Colombia en la zona hidrográfica del Alto Cauca de la propuesta para enfrentar el cambio climático (cooperación autónoma

Regional del Valle, 2005) y en seis cuencas de América Central para la predicción de crecidas (Hamstrong *et al.* 1990)

La idea de la aplicación de este modelo hidrológico mencionado surge de la necesidad de determinar si es posible implementar en cuencas importantes de nuestro país esta herramienta eficaz a nivel internacional, pero nuevo para el Ecuador. Que permita interpretar e interpolar datos meteorológicos con el fin de gestionar de forma adecuada los recursos hídricos y dar solución a los problemas tanto de déficit como de exceso que sufren las regiones costa y sierra de nuestro país anualmente.

Para cumplir con la meta planteada, en el presente trabajo de investigación se presentarán y analizarán los resultados del procesamiento de los datos hidrometeorológicos recolectados de estaciones convencionales en un período de once años (2003 - 2013) de dos cuencas de nuestro país como lo son las cuencas de los Ríos Portoviejo y Mira, cada una con características climáticas, topográficas e hídricas distintas, con lo que podremos determinar la eficiencia del modelo implementado en las mismas y el valor que su uso tendrá en futuras investigaciones.

### **Cuenca del Río Portoviejo**

Se encuentra ubicada el noroccidente del país y pertenece a la Demarcación Hidrográfica de Manabí que está ubicada entre las coordenadas  $77^{\circ} 40' 78^{\circ} 30' W$ ,  $00^{\circ} 07' - 01^{\circ} 12' N$ , posee un área aproximada de  $2089.59 \text{ km}^2$ . El río Portoviejo posee una longitud de 106 km y un valor promedio de  $777 \times 10^6 \text{ m}^3$  de esorrentía Anual (IGM). Su afluente principal es el del Río chico que aporta con una esorrentía promedio de  $230 \times 10^6 \text{ m}^3$  al año y nace de las estribaciones de la cordillera de Balzar (Coello, 2006). El suelo se encuentran conformados principalmente por arenas, limos y arcilla y su nivel

freático va desde los 4 hasta los 20 m (Coello, 2006). Es una cuenca que se ve afectada por fuertes sequías entre los meses de Junio y Octubre y por fuertes inundaciones entre los meses de Enero y Mayo (CISPDR, 2014). Tiene una población total de 356 862 habitantes con una densidad de 171 personas por km<sup>2</sup> (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, 2010). Su desarrollo económico depende en gran parte de la agricultura, la cuenca de Portoviejo posee 55 068 ha de cultivos, siendo 29 728 ha de cultivos permanentes y 29 341 de cultivos transitorios. Además la industria manufacturera, constructiva y de suministro de agua y electricidad que aportan con 237 845 dólares del valor agregado total (\$ 962 151) de la Demarcación Hídrica de Manabí (Banco Central del Ecuador, 2010).

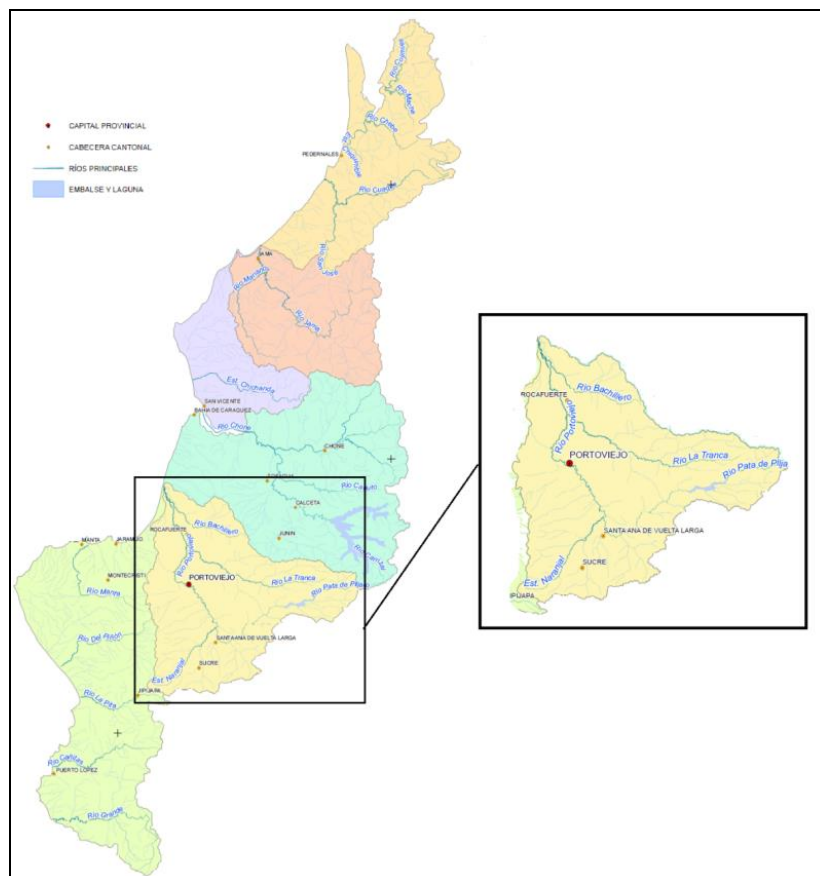


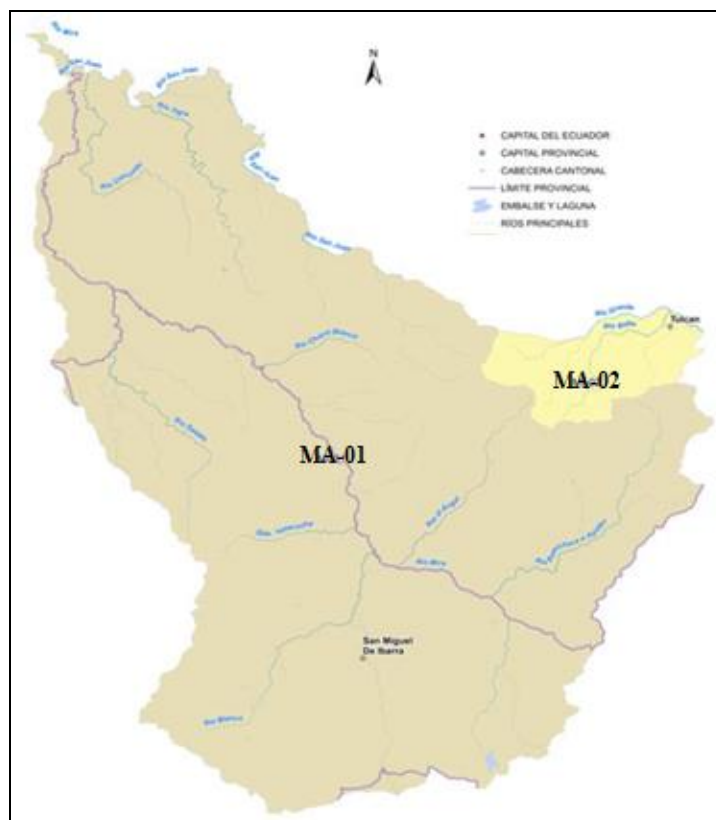
Fig. 2.- Ubicación de la Cuenca del Río Portoviejo en de la Demarcación Hídrica Manabí

Fuente: Senagua 2012



## **Cuenca del Río Mira**

Se encuentra ubicada en el norte de Ecuador en las coordenadas  $77^{\circ} 40' -78^{\circ} 30' W$ ,  $S 01^{\circ} 12' -00^{\circ} 07' N$ , pertenece a la Demarcación Hidrográfica Mira. La Cuenca se encuentra junto a San Juan y Carchi en el norte (UICN, 2009). Posee un área de 6.537,50 km<sup>2</sup>. El 59% del área de la cuenca pertenece a la parte norte de las Montañas de los Andes y el 41% restante, es una parte de la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes (Lloré & Rodríguez, 2005). El Río Mira, con 198.5 km, tiene un promedio anual de escorrentía de  $7340 \times 10^6 \text{ m}^3$  y su principal afluente es el Río San Juan que aporta con  $1746 \times 10^6 \text{ m}^3$  al año (IGM). Los suelos son casi en su totalidad franco arenosos con bajo contenido de materia orgánica y pendientes de 7 al 10% (INHERI, 1990). Mira posee una población de 473 842 habitantes aproximadamente con una densidad poblacional de 72 personas por km<sup>2</sup>. Su principal sustento económico proviene de la agricultura y ganadería que representan el 13.9% del PIB de la Demarcación que es \$ 1 000 512 365.



**Fig. 3.- Ubicación de la Cuenca del Río (M01) Mira en la Demarcación Hídrica Mira**

**Fuente: Senagua**

En Ecuador el INHAMI es el Instituto encargado de medir, recolectar y publicar anualmente los datos de las estaciones hidrológicas (229) y meteorológicas (169) ubicadas en las cuencas hidrográficas del país (INAMHI, 2015), sin embargo no existe institución alguna que se encargue de realizar predicciones o simulaciones permanentes relacionadas a balance hídrico y generación de escorrentía. Por lo tanto la aplicación del modelo *HBV-light* será importante para validar su uso en estas demarcaciones y determinar si es útil o no para instituciones educativas o nacionales que se dediquen y estén interesados en la investigación hidrometeorológica y gestión de recursos hídricos o climáticos.

## Marco teórico

### Estructura del modelo HBV-light

El modelo consta de cuatro diferentes módulos o rutinas, y simula la descarga diaria de escorrentía de una cuenca, utilizando las series históricas de datos de precipitación, temperatura y tasas de evapotranspiración potencial mensual a largo plazo (Liden, Harlin, & Karisson, 2001).

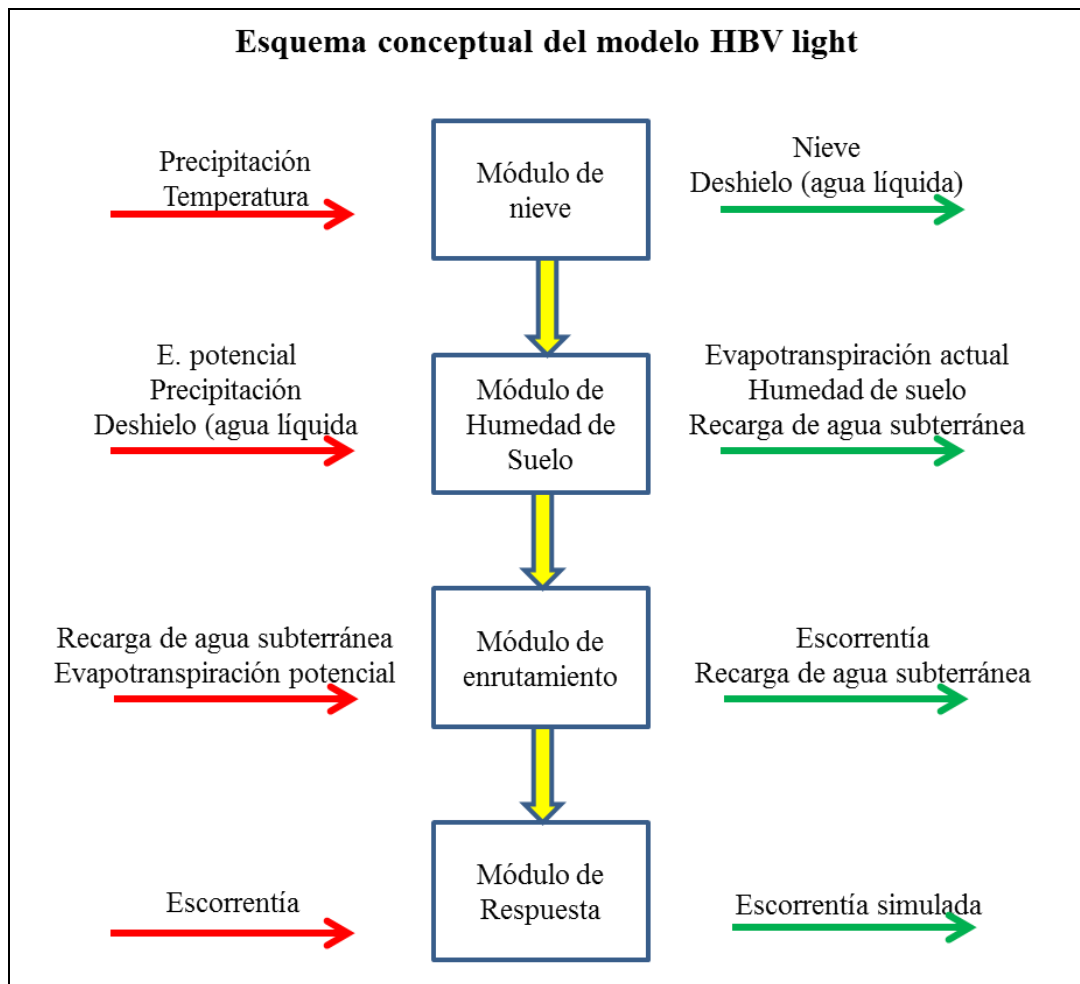


Fig 4.- Esquema conceptual del modelo matemático hidrológico HBV-light

Fuente: Manual HBV-light

- **Módulo de nieve:**

Los valores de acumulación de nieve y deshielo se calculan mediante un método promedio-día tomando en cuenta la elevación y vegetación de la zona (Akhtar, Ahmad, & Booij, 2007). La precipitación simulada se acumula en forma de nieve cuando la temperatura cae por debajo de un valor umbral calibrado (Umbral de temperatura TT) o como líquida con temperaturas por encima del umbral (TT), de acuerdo a una simple expresión grado-día (Bergström, 1992).

$$\text{MELT} = C_{\text{MELT}} * (T - \text{TT}) \quad (1)$$

Donde:

MELT = deshielo (mm/día)

$C_{\text{MELT}}$  = Factor grado-día ( $\text{mm } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ día}$ )

TT = Umbral de Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )

- **Módulo de Humedad de suelo**

En el suelo la precipitación y derretimiento se dividen en agua de recarga en suelo (SM) o aguas subterráneas (Harlin, 1991). Esto dependerá de la relación entre el contenido de agua en el suelo y el valor que determina la máxima capacidad de almacenamiento o capacidad de campo (FC) (Seibert, 2012).

La siguiente ecuación calcula la precipitación efectiva en función del contenido existente de humedad del suelo (Paredes, Solera, & Álvarez, 2014).

$$\text{Inf}_t = (-1/\text{FC})^\beta * P_t \quad (2)$$

Donde:

$\text{Inf}_t$  = Infiltración efectiva

FC= capacidad de almacenamiento

P= precipitación diaria

$\beta$  = coeficiente de forma que determina la contribución relativa a la escorrentía de la lluvia o del deshielo

La evapotranspiración real se simula como función de almacenamiento de agua real y es igual a la evapotranspiración potencial si  $SM/FC$  está por encima de  $LP[-]$ , mientras que se utiliza una reducción lineal cuando  $SM/FC$  está por debajo de  $LP$  (Cabrera, 2014).

$$E_{act} = E_{pot} \min (SM(t)/FC*LP, 1 ) \quad (3)$$

Donde:

$E_{act}$ = Evapotranspiración actual

$E_{pot}$ = Evapotranspiración potencial

SM= Humedad de suelo

t= tiempo (día)

FC= capacidad de almacenamiento

LP= humedad del suelo por encima de la cual  $ET_{act}$  alcanza  $ET_{pot}$  (mm)

- **Módulo de respuesta**

Calcula la escorrentía transformando el exceso de agua (ILQ) en función al almacenamiento de agua en el suelo (módulo de humedad de suelo) (Bergström, 1992). El modelo de un solo depósito lineal es una descripción de la cuenca donde se asume que la escorrentía  $Q(t)$  en el tiempo (t) es proporcional al almacenamiento de agua  $S(t)$  (Cabrera, 2014).

$$Q(t) = k S(t) \quad (4)$$

Donde:

S = almacenamiento (mm)

Q = flujo de salida (mm día<sup>-1</sup>)

t = tiempo (día)

k = coeficiente de recesión (día<sup>-1</sup>)

La rutina consta de los siguientes parámetros de respuesta:

- coeficientes de recesión, ~ K1 'y: Ki,
- UZL: umbral (mm)
- SUZ: Almacenamiento en la zona inferior (mm)
- Qi: componente de escorrentía
- PERC. Tasa de percolación constante (mm día<sup>-1</sup>)

- **Módulo de Enrutamiento**

El módulo final cumple la función de alisar del flujo generado, utilizando una función de ponderación triangular con un parámetro libre (Maxbass) para simular el encaminamiento de la escorrentía a la toma de captación (Seibert, *HBV light User's Manual version 2, 2005*).

### **Evaluación de Resultados**

Para la evaluación de las simulaciones con el modelo *HBV-light* se utiliza el coeficiente de eficiencia,  $R_{eff}$  que compara la predicción por el modelo con un valor constante del valor medio observado en el período entero.

$$R_{eff} = 1 - \frac{\sum (Q_{sim}(t) - Q_{Obs}(t))^2}{\sum Q_{Obs}(t) Q_{Obs}(t)} \quad (5)$$

Donde:

$Q_{sim}$ = Caudal Simulado

t= Tiempo (días)

$Q_{Obs}$ = Caudal Observado

Si, el valor  $Reff$  es igual a 1, la aplicación del modelo, los datos meteorológicos observados y sus resultados pueden ser considerados 100% confiables, ¿por el contrario, si el valor  $Reff$  es igual o menor a 0, tanto los datos observados como los simulados no son confiables (Seibert, 1997). La aplicación del modelo *HBV-light* es confiable cuando el valor de  $Reff$  es igual o mayor a 0.65, mientras mayor sea su valor mayor será la eficiencia del modelo (Chong, 2014).

## **Materiales y Metodología**

Para el desarrollo del presente trabajo académico se empleó el modelo hidrológico de uso libre, *HBV-light* versión 4.0.0.0 desarrollada por Jan Seibert en conjunto con el Departamento de Geografía de la Universidad de Zurich. Los datos que se utilizaron para la investigación son los valores hidrológicos y meteorológicos de las estaciones pertenecientes a las cuencas de los ríos Mira y Portoviejo correspondientes a dos de las cuatro regiones de nuestro país. Se definieron estas áreas de estudio; costa y sierra ecuatoriana; porque son las regiones que cada año tienen épocas marcadas de exceso y déficit de agua, que afecta las actividades de la población de la zona, por lo tanto son zonas en las que los estudios y la gestión de los recursos hídricos son de gran importancia y utilidad. No se incluyó en el estudio a una cuenca representativa del oriente Ecuatoriano debido a que no es una región que sufra de déficit del recursos hídrico y porque la distribución de las estaciones no es extensamente representativa. Tienen una distribución uniforme del recurso hídrico y poseen un bajo porcentaje de la población nacional en comparación con las otras regiones continentales del país.

La recopilación de la base de datos se la realizó en el INAMHI, que posee el registro histórico tanto de las estaciones Meteorológicas como las hidrológicas. Los datos utilizados para la modelación fueron los siguientes:

- Serie diaria de valores de precipitación
- Serie diaria de temperatura promedio
- Evapotranspiración Potencial
- Caudales diarios



## Estaciones Meteorológicas

Las estaciones e instrumentos para la medición de parámetros meteorológicos e hidrológicos se establecieron de acuerdo a las normas internacionales de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (INAMHI, 2012). Los instrumentos de medición meteorológica e hidrológica de los parámetros utilizados, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1.- Instrumentos de Medición de las Estaciones Meteorológicas

Variable (unidad)	Instrumento
Temperatura (°c)	Termómetro Seco Termómetro de Mínima Termómetro de Máxima Termógrafo
Humedad Atmosférica (%)	Psicrómetro Higrógrafo
Precipitación (mm)	Pluviómetro Pluviógrafo
Heliofanía (Horas de brillo solar)	Heliógrafo
Evaporación (mm)	Tanque de evaporación
Viento (km/h)	Anemocinógrafo Veleta (Aspa de Wild) Anemómetro Totalizador
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Limnógrafo

Fuente: INAMHI

Para la cuenca del Río Portoviejo se utilizaron los datos de la estación M005 para parámetros meteorológicos (INAMHI, 2003 - 2013) y valores de las estaciones HA2D y H0267 para la escorrentía (INAMHI, 2003 - 2013). Para la cuenca del río Mira se utilizaron datos de la estación (M102) para parámetros meteorológicos y valores de las estaciones H11, H16 y H24 para la escorrentía.

Es importante señalar que los datos proporcionados provienen de estaciones de recolección y observación de datos en campo convencionales, no automatizadas. Cabe además mencionar que desde hace aproximadamente 10 años se están instalando estaciones meteorológicas automáticas que registran datos cada hora. Su ubicación se ha realizado en los mismos puntos donde se encuentran las convencionales, sin embargo sus datos no son proporcionados ni publicados por INAMHI porque no son datos validados ni confiables.

**Foto 1.- Estación Meteorológica Convencional del INAMHI**



**Autor: Carlos Villamarín**

Tabla 2.- Estaciones Meteorológicas Utilizadas

Cod.	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Cuenca
M005	Portoviejo-utm	1° 2' 15" N	80° 27' 35" W	46	Portoviejo
M102	El Ángel	0° 37' 35" N	77° 56' 38" W	3000	Mira

Fuente: Inamhi 20003-2008

Tabla 3.- Estaciones Hidrológicas Utilizadas

Cod.	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud	Cuenca
HA2D	Portoviejo en Picoaza	1° 1' 19" N	80° 29' 3" W	48	Portoviejo
H267	Portoviejo en Sta. Ana	1° 12' 32" S	80° 21' 56" W	62	Portoviejo
H272	Chico AJ Portoviejo	0° 58' 16" S	80° 25' 8" W	35	Portoviejo
H011	Mira en Lita	0° 50' 57" N	78° 27' 49" W	475	Mira
H016	Apaqui AJ Chota	0° 25' 51" N	77° 56' 5" W	1715	Mira
H024	Blanto en Pte. Carretera	0° 15' 14" N	78° 17' 57" W		Mira

Fuente: Inamhi 20003-2008



Fig. 5.- Ubicación de la Estaciones Hidrológicas de la Cuenca del Río Portoviejo

Fuente: Anuario Hidrológico, INAMHI 2012

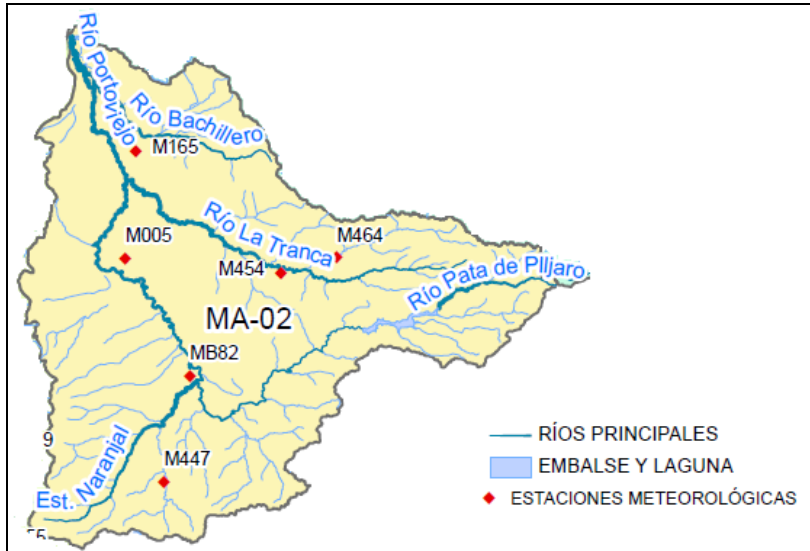


Fig. 6.- Ubicación de la Estaciones Meteorológicas de la Cuenca del Río Portoviejo

Fuente: INAMHI 2012

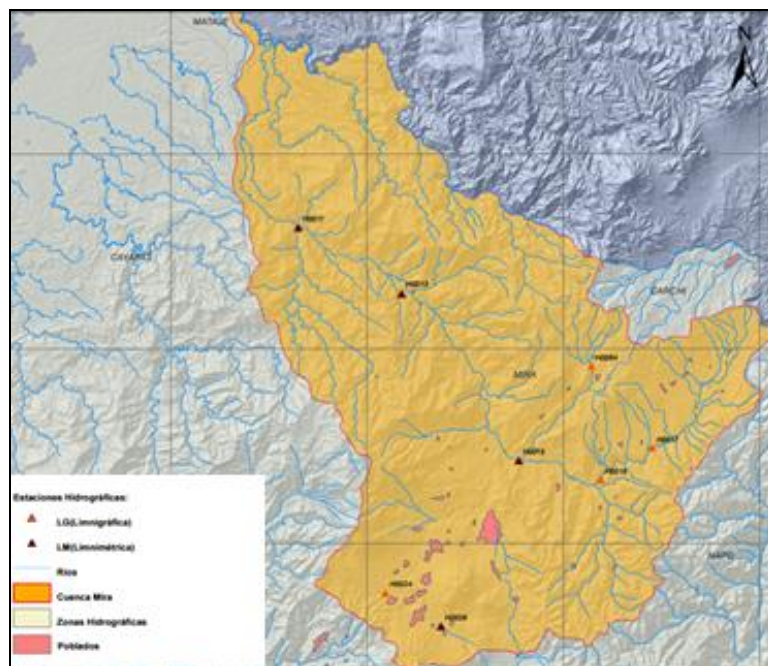


Fig.7.- Ubicación de la Estaciones Hidrológicas de la Cuenca del Río Mira

Fuente: Anuario Hidrológico, INAMHI 2012



**Fig 8.- Ubicación de la Estaciones Meteorológicas de la Cuenca del Río Mira**

**Fuente: INAMHI 2012**

Los datos, luego de ser recopilados se organizaron de forma temporal desde los más antiguos hasta los más actuales, ya que así los reconoce el modelo. Se calibró automáticamente el modelo con la herramienta de optimización GAP que ofrece este software y que puede ser utilizada en cualquier equipo que soporte la instalación del modelo. La calibración se realizó con un intervalo de datos de solo 5 años (2004 – 2008) corriendo el modelo 20000 veces (la recomendación es de mínimo 10000 veces) para lograr que los valores de los parámetros sean confiables (Chong, 2014).

Posterior a la calibración, se corrió finalmente el modelo ya con el período completo de 11 años y se obtuvo como resultado los datos de escorrentía simulada. Dichos datos generados se tabularon y graficaron con diagramas lineales en tres formas diferentes:

- Escorrentía simulada diaria para el período 2003 – 2013
- Escorrentía simulada mensual (once valores por mes) para cada año en el período 2003 - 2013

- Escorrentía mensual promediada de todos los meses del período 2003 – 2013 (un valor promedio para cada mes)

## Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos con el modelo hidrológico HBV-*light*. Dichos datos fueron procesados y representados gráficamente para poder observar la variación y diferencia que hay entre los datos tomados en campo y los datos simulados. En base a estos resultados se determinó la validez del modelo con datos de las estaciones convencionales de las cuencas hidrográficas de estudio.

### Cuenca Portoviejo

Para la cuenca del río Portoviejo el modelo nos dio un coeficiente de efectividad de los datos simulados de -0.1881. Se observa en la siguiente figura los parámetros obtenidos con la calibración automática del modelo.

Snow Routine	
Veg. zone 1	
TT	-1.8729251519 <input type="checkbox"/>
CFMAX	1.4924701667 <input type="checkbox"/>
SFCF	0.5210658869 <input type="checkbox"/>
CFR	0.05 <input type="checkbox"/>
CWH	0.1 <input type="checkbox"/>

Soil Moisture Routine	
Veg. zone 1	
FC	100.000022711 <input type="checkbox"/>
LP	0.9999985632 <input type="checkbox"/>
BETA	1.0000000557 <input type="checkbox"/>

Response Routine	
PERC	2.199999883 <input type="checkbox"/>
UZL	2.1731624994 <input type="checkbox"/>
K0	0.4999983356 <input type="checkbox"/>
K1	0.1999981630 <input type="checkbox"/>
K2	5.0001214076 <input type="checkbox"/>

Routing Routine	
MAXBAS	2.4999970188 <input type="checkbox"/>

Fig 9.- Parámetros calibrados automáticamente por el modelo para la Cuenca del Río Mira

Fuente: HBV-light

En la figura 10 se presenta la variación entre los datos observados y simulados con 11 valores mensuales por cada año, mientras que la figura 11 nos muestra un promedio de 11 años para cada mes (un valor por mes), en el que se observa la curva de escorrentía promedio y de forma más clara la amplia diferencia entre los valores obtenidos en las estaciones hidrológicas con los valores obtenidos por el modelo. Los datos con menor diferencia son 65% mayores a los simulados. Mientras que los datos con mayor diferencia llegan a ser 525% más altos, siendo siempre los valores tomados en campo, mayores a los obtenidos con el modelo.

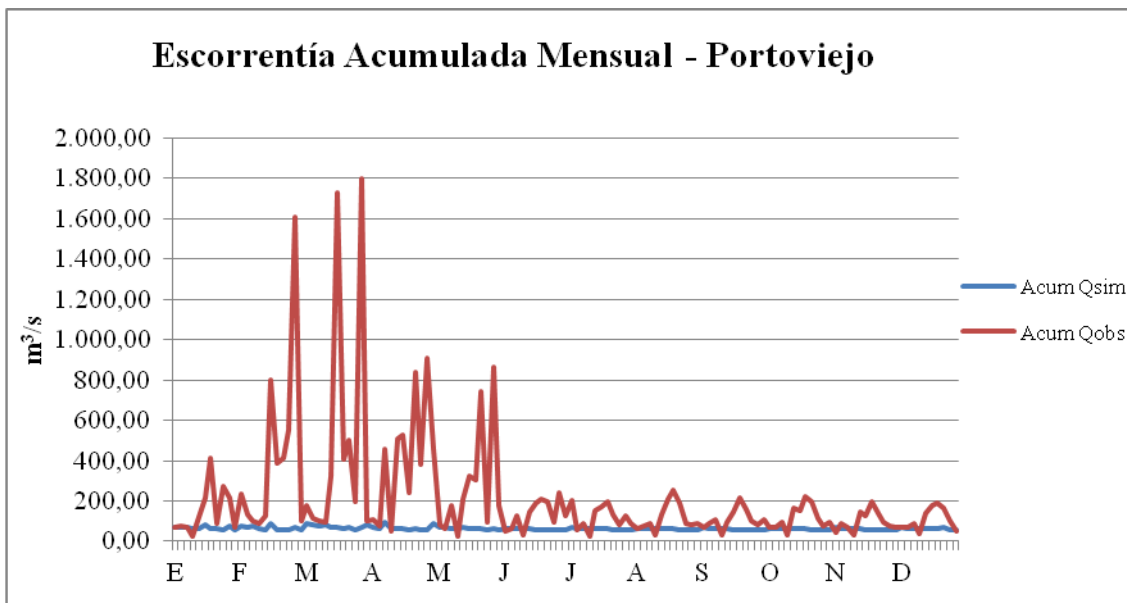


Fig 10.- Resultados de la escorrentía mensual observada y simulada para la cuenca del río Portoviejo

Elaborado por: Katherine Villamarín



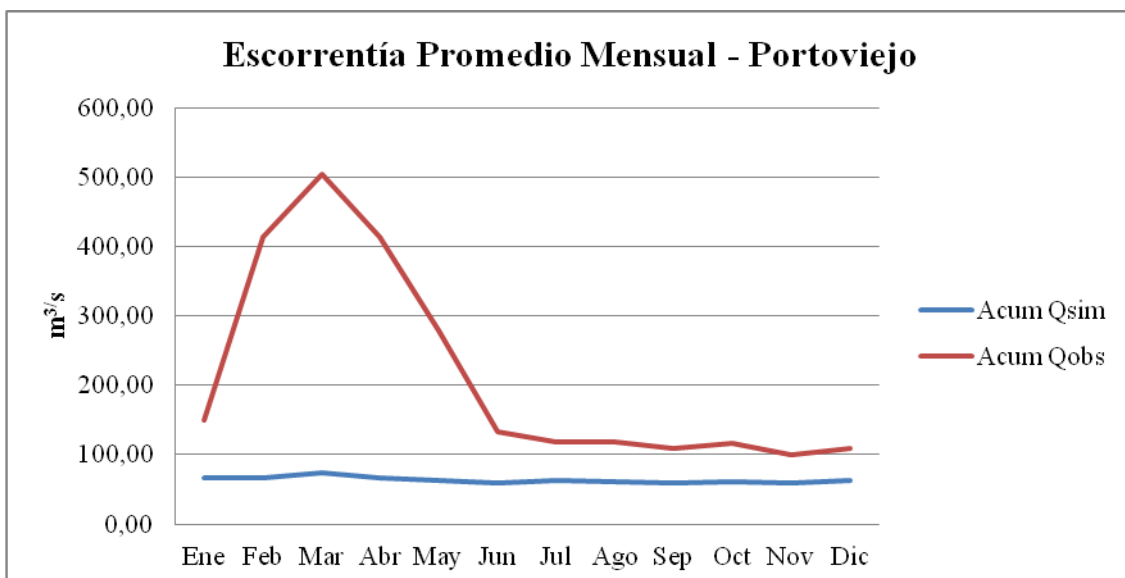


Fig 11.- Resultados de la escorrentía mensual promedio de 11 años observada y simulada para la cuenca del río Portoviejo

Elaborado por: Katherine Villamarín

Tabla 4.- Resultado del promedio mensual de 11 años de escorrentía observada y simulada y su diferencia

Mes	Escorrentía Simulada	Escorrentía Observada	Diferencia
Ene	66.16	149.49	83.32
Feb	65.90	413.00	347.10
Mar	73.73	504.74	431.01
Abr	67.45	414.71	347.27
May	62.94	278.79	215.85
Jun	60.04	133.81	73.77
Jul	62.11	119.18	57.07
Ago	61.82	118.52	56.70
Sep	60.12	109.53	49.41
Oct	61.63	117.06	55.43
Nov	59.94	99.25	39.31
Dic	63.27	109.56	46.28

Elaborado por: Katherine Villamarín

## Cuenca Mira

Para esta cuenca se obtuvo un coeficiente de efectividad del modelo y correlación de los resultados simulados con los datos observados en campo de -1.013. En la figura 12 se muestran los parámetros resultantes de la calibración automática.

Snow Routine	
Veg. zone 1	
TT	-1.2131328091 <input type="checkbox"/>
CFMAX	3.03691974381 <input type="checkbox"/>
SFCF	0.5821422072E <input type="checkbox"/>
CFR	0.05 <input type="checkbox"/>
CWH	0.1 <input type="checkbox"/>
Soil Moisture Routine	
Veg. zone 1	
FC	549.98416080E <input type="checkbox"/>
LP	0.99999656411 <input type="checkbox"/>
BETA	1.0000007596E <input type="checkbox"/>
Response Routine	
PERC	2.2080021711E <input type="checkbox"/>
UZL	69.996393196E <input type="checkbox"/>
K0	0.1000013290E <input type="checkbox"/>
K1	0.19999744894 <input type="checkbox"/>
K2	5.00000556184 <input type="checkbox"/>
Routing Routine	
MAXBAS	1.82991165737 <input type="checkbox"/>

Fig 12.- Parámetros calibrados automáticamente por el modelo para la Cuenca del Río Mira

Fuente: HBV-light

En la figura 13 se observa la variación entre los valores mensuales promediados (11 valores por mes para cada año) del caudal observado y simulado para la cuenca del río Mira. Mientras que en la figura 14 presentada para esta demarcación se observa de forma más drástica la variabilidad y poca compatibilidad entre los datos anuales promediados para cada mes. El 100% de los datos observados son mayores a los simulados con el modelo HBV-light.

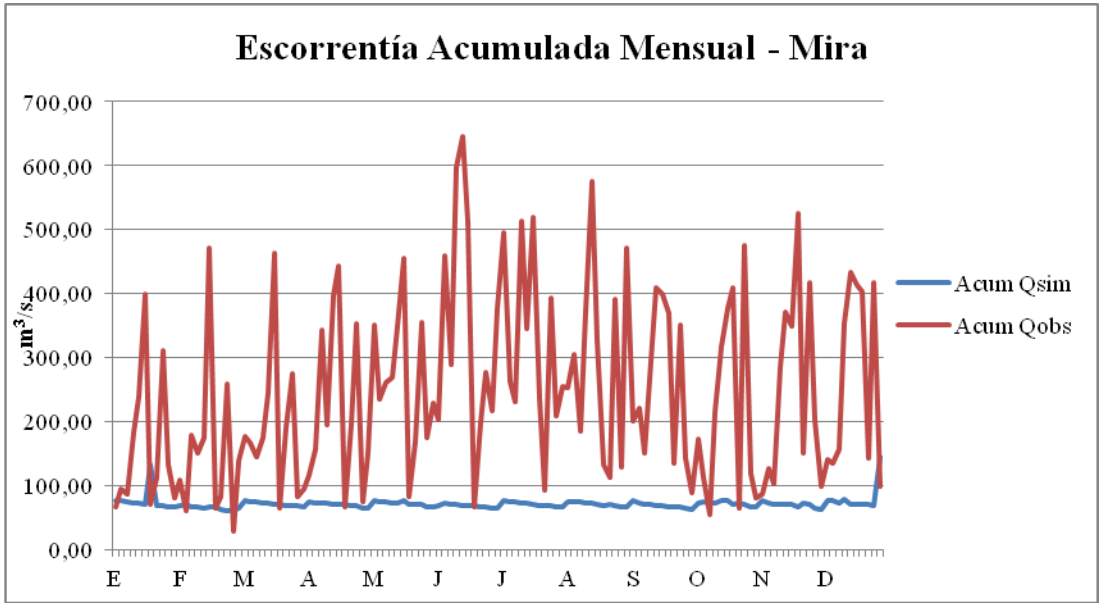


Fig 13.- Resultados de la escorrentía mensual observada y simulada para la cuenca del río Mira

Elaborado por: Katherine Villamarín

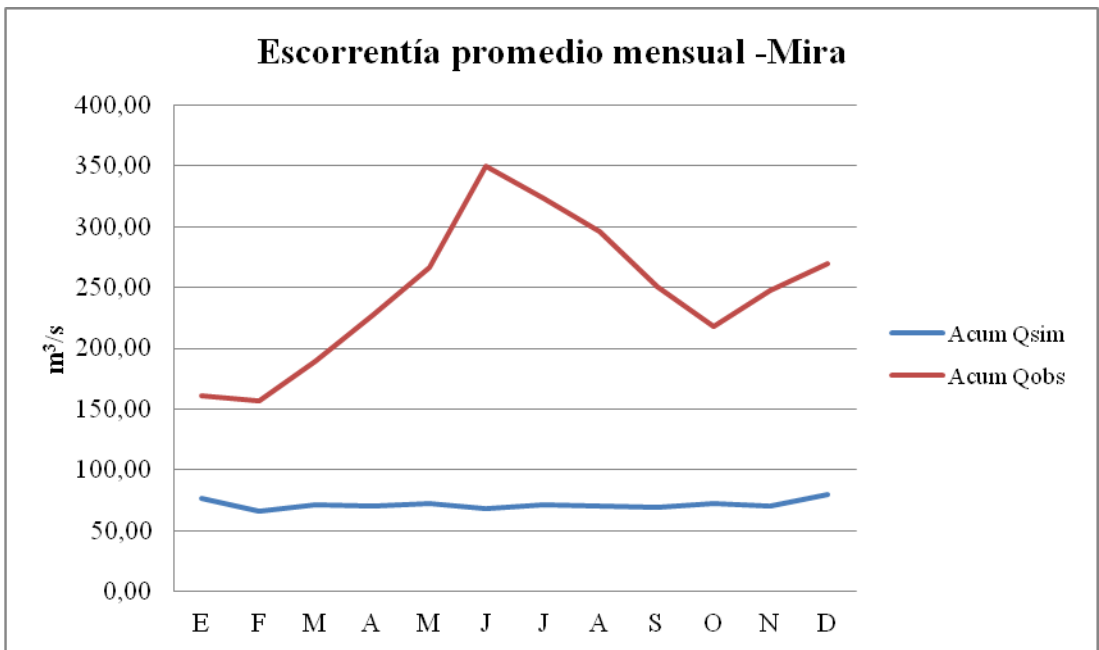


Fig 14.- Resultados de la escorrentía mensual promedio de 11 años observada y simulada para la cuenca del río Mira

Elaborado por: Katherine Villamarín

**Tabla 5.- Resultado del promedio mensual de 11 años de escorrentía observada y simulada y su diferencia**

<b>Mes</b>	<b>Escorrentía Simulada</b>	<b>Escorrentía Observada</b>	<b>Diferencia</b>
Ene	77.12	161.51	84.39
Feb	65.83	156.47	90.64
Mar	71.57	189.14	117.57
Abr	70.26	226.91	156.65
May	72.21	266.87	194.66
Jun	68.38	349.51	281.13
Jul	71.04	323.31	252.26
Ago	70.77	295.82	225.04
Sep	68.93	251.02	182.08
Oct	72.09	218.34	146.25
Nov	69.92	247.15	177.22
Dic	80.10	269.49	189.39

**Elaborado por: Katherine Villamarín**

## Discusión

En su mayoría, los datos utilizados para el desarrollo de la simulación de escorrentía superficial con el modelo HBV-*light* para las cuencas del Río Portoviejo y Mira fueron solicitados al INAMHI por medio de la Universidad de Especialidades Espíritu Santo (UEES). Los datos restantes fueron obtenidos directamente de los anuarios meteorológicos que publica anualmente esta misma institución. Dichos datos fueron procesados y ordenados por lo que podemos concluir que los resultados obtenidos parten de la modelación de datos reales recopilados directamente de la fuente encargada de la medición de los parámetros. A pesar de esto, el valor negativo de efectividad que nos dio el modelo para los datos del Río Portoviejo y Mira nos muestra poca consistencia entre los valores observados y simulados. Se debe anotar, que si se eliminan los valores más altos, que coinciden con la época lluviosa; enero y junio para Portoviejo y entre marzo y octubre para Mira, obtendríamos un gráfico más parejo con menor diferencia entre los valores observados y los valores generados y por lo tanto existiría mayor confianza en el cálculo de la escorrentía generada.

El modelo ha sido aplicado en varios países tropicales, y comparando nuestros resultados con los de estudios realizados en cuencas con condiciones similares como el de Colombia para la cuenca del río Chinchiná en la que los resultados del modelo fueron positivos ya que se obtuvo una eficiencia entre 0.6 y 0.9 con la calibración manual y automática o los del estudio en Centro América para los países Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua, Costa Rica y Panamá (Haggstrom *et al*, 1990), en las que se obtuvieron resultados positivos para la mayor parte de las cuencas y negativos para ciertas subcuencas de cada río. Se comprobó con esto que el modelo puede ser aplicado en cuencas con climatología y temperatura tropical, pero para obtener buenos resultados es necesario que la calidad de los datos sea confiable. Tanto la cuenca del río

Portoviejo como la del río Mira poseen datos incompletos que generan incertidumbre por lo tanto los cálculos de escorrentía aplicando el modelo *HBV-light* no son confiables.

El problema con la calidad de los datos ha sido identificada en varias investigaciones, entre esas la más relevante por su actualidad es la del Desarrollo de un Manual Hidrológico para el manejo de cuencas del sur de la costa Ecuatoriana desarrollada en Marzo del 2014 y la del Proyecto Plan Nacional del Agua desarrollada por el instituto CISPDR para SENAGUA en las que se expone que la calidad de los datos meteorológicos de las estaciones a nivel nacional no es confiable por errores en la recopilación o digitalización de los datos o problemas con los instrumentos de medición. Estas condiciones ocasionan que los datos generen incertidumbre y deban ser descartados o corregidos. No solamente a nivel nacional la calidad de los datos ha sido un problema al aplicar modelos hidrometeorológicos, a nivel internacional, es por esto que el modelo implementado es utilizado también para el control de la calidad de los datos hidrometeorológicos de las cuencas de estudio (Seibert, *HBV light User's Manual* version 2, 2005).

## Conclusiones

Al observar los resultados obtenidos con la modelación, para la cuenca del Río Mira podemos concluir que:

- El modelo meteorológico empleado, *HBV-light*, no es adecuado y no proporciona resultados confiables con los datos utilizados para la cuenca del Río Mira y Portoviejo.
- No es posible realizar ningún tipo de inferencia acerca del comportamiento hídrico de las cuencas a partir de los datos simulados obtenidos.
- El modelo cuenta con la herramienta de simulación de datos para predicciones meteorológicas, sin embargo por el valor de eficiencia obtenido con la modelación no es confiable realizar otro tipo de cálculos con el mismo.
- Los Datos Meteorológicos utilizados no son confiables para ser procesados con un modelo matemático.

## Recomendaciones

- Implementar el modelo *HBV-light* con datos de cuencas que cuenten con series completas de datos verificados de estaciones meteorológicas automatizadas para determinar la confiabilidad de los datos y el modelo con nuevos datos.
- A las instituciones pertinentes, capacitar al personal encargado de la toma de datos meteorológicos diarios en las diferentes estaciones convencionales.
- Que entidades tanto públicas como privadas se dediquen a realizar investigaciones en torno a temas de modelación hidrológica y climatológica.
- Las universidades nacionales deben dar más oportunidades para el desarrollo de profesionales científicos e investigadores, e incentivar al desarrollo de estudios relacionados a la climatología e hidrología ya que son variables que intervienen en parte de los procesos ambientales.



## **Bibliografía**

Akhtar, M., Ahmad, N., & Booij, M. (2009). Use of regional climate model simulations as input for hydrological models for the Hindukush-Karakorum-Himalaya region, 1070-1088.

Haggstrom, M., Lindstrom, G., Cobos, C., Martínez, R., Martínez, R., Merlos, L., Alonzo, D., Castillo, G, Sirias, C., Miranda, D., Granados, J., Alfaro, R., Robles, E., Rodríguez, M., Moscote, R., (1990). Application of the HBV Model For flood Forecasting in Six Central American Rivers. SMHI Hydrology.

<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Mayo2006/pdf/eng/doc8943/doc8943-1.pdf>

Barros, J., & Troncoso, A. (2010). Atlas Climatológico del Ecuador. Quito: Escuela Politécnica Nacional. En: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1720/1/CD-2755.pdf>

Bergström. (1992). The HBV Model - its structure and applications. suecia: SMHI RH, 1-17. En [http://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.83589!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/RH\\_4.pdf](http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.83589!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/RH_4.pdf)

Cabrera, J. (2014). Evaluación de los recursos hídricos en una cuenca de alta montaña (cuenca del río Bérchules, Sierra Nevada, Granada) utilizando modelos hidrológicos agregados y semidistribuidos. Málaga: Universidad de Málaga, 111-122 En: [http://www.cehiuma.uma.es/TFM\\_Sobresaliente4.pdf](http://www.cehiuma.uma.es/TFM_Sobresaliente4.pdf)

Chong, Yu. (2014) Professor in the Department of Geosciences and Hydrology, University of Oslo, Norway. Comunicación personal.

CISPDR. (2014). Planificación Hídrica Nacional del Ecuador. Documento interno de SENAGUA. Guayaquil. Documento no publicado.

Coello, S. (2006). Caracterización Hidrogeológica de las cuencas Portoviejo - Chone. Quito: Publicado por: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. En: [http://issuu.com/inamhi/docs/caract.\\_hidrogeologica-manabi/16](http://issuu.com/inamhi/docs/caract._hidrogeologica-manabi/16)

Cooperación autónoma Regional del Valle. (2005). Proyecto Piloto en la Zona Hidrográfica del Alto Cauca, Propuesta para enfrentar el cambio climático. Cauca: CVC.

Gao, S., Wang, j., & Yin, A. (2002). A macro-scale and semi-distributed monthly water balance model to predict climate change impacts in China. *Journal of Hydrology*, 1 -15.

Grillakis, M., Tsanis, I., & Koutroulis, A. (2010). Application of the HBV hydrological model in a flash flood case in Slovenia. *Greece: Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 2713-2725. doi:10.5194. En: file:///C:/Users/User/Downloads/nhess-10-2713-2010.pdf

Harlin, J. (1991). Development of a process oriented calibration scheme for the HBV hydrological model. *Nordic Hydrol*, 15 - 36.

IGM. (s.f.). Cartografía Base del Ecuador. IGM.

INAMHI. (2003 - 2013). Anuarios Hidrológicos 2003 - 2013. Quito: INAMHI. En: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>

INAMHI. (2003 - 2013). Anuarios Meteorológicos 2003-2013. Quito: INHAMI. En: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>

INAMHI. (25 de Febrero de 2015). Estaciones hidrológicas y Meteorológicas del Ecuador. (K. Villamarín, Entrevistador)

INHERI. (1990). Diagnóstico Socio-Agro-Económico del Sistema de Riego Ambuquí. Ibarra: Dirección de Estudios y Diseños.

INAHMI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2000). Análisis del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos en el Ecuador. Quito.

Liden, R., Harlin, J., & Karisson, M. (2001). Hydrological modelling of fine sediments in the Odzi River Zimbabwe. *Water S.A. Vol. 27* 303-314 En: [http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Water%20SA%20Journals/Manuscripts/2001/03/WaterSA\\_2001\\_03\\_1312.pdf](http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Water%20SA%20Journals/Manuscripts/2001/03/WaterSA_2001_03_1312.pdf)

Lindstrom, G. (1997). A simple automatic calibration routine for the HBV Model. *Nordic hydrology*, 153 - 288.

Lloré, I., & Rodríguez, S. (2005). Evaluación del Impactos Ambientales y Propuesta del Plan de Manejo Ambiental y Propuesta del Plan de Manejo Ambiental del Proyecto de Riego Ambuquí. 2005: Universidad Técnica del Norte. En:

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/156/1/03%20REC%2068%20TESIS.pdf>

Ministerio de Obras Públicas. (1989). Plan Nacional de Recursos Hidráulicos de la República del Ecuador. Quito: MOP.

Nave, R., Pedrani, A., Vich, A., & Mariani, A. (s.f.). Ajuste del Modelo de Horton Mediante Datos De infiltración Obtenidos en el Piedemonte Mendocino. Mendoza: INIGEA, 133-140. En: [file:///C:/Users/User/Downloads/3\\_12.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/3_12.pdf)

Paredes, J., Solera, A., & Álvarez, J. (2014). Herramienta EvalHid para la Evaluación de los Recursos Hídricos. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. En:

[http://www.upv.es/aquatool/docs/Manual\\_Tecnico\\_EvalHid.pdf](http://www.upv.es/aquatool/docs/Manual_Tecnico_EvalHid.pdf)

Ponce, M. (1989). Engineering Hydrology. En M. Ponce, Engineering Hydrology (págs. 1 - 61). Prentice Hall.

Pourrut, P. (1983). Los Climas del Ecuador, Fundamentos Explicativos. Quito: ORSTOM.

Seibert, J. (1997). Estimation of Parameter Uncertainty in HBV Model. Sweden: Uppsala University. Nordic Hydrology, 28 247-262. En:

[file:///C:/Users/User/Downloads/09e4150577c1ae9882000000%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/09e4150577c1ae9882000000%20(2).pdf)

Seibert, J. (1999). Conceptual runoff models - fiction or representation of reality? Uppsala: Uppsala University - Department of earth Sciences, Hydrology. En:

[http://www.seibert-space.com/hydro/pdf/Seibert\\_phd\\_thesis.pdf](http://www.seibert-space.com/hydro/pdf/Seibert_phd_thesis.pdf)

Seibert, J. (2005). HBV light User's Manual version 2. Estocolmo: Stockholm University, Department of Physical Geography and Quaternary Geology.

Seibert, J. (2012). Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package. Published by: Hydrol. Earth System Sciences. doi:10.5194. En:

<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/3315/2012/hess-16-3315-2012.pdf>

Senagua (2012) Proyecto Plan Nacional del Agua

UICN. (2009). Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Ecuador Escala  
1:250 000. Quito.