

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

### CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

1. **TÍTULO:** EFECTOS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAUDALES EN LA CUENCA MEDIA ALTA DEL RÍO MIRA PARA EL PERÍODO 2000-2014
2. **AUTOR:** Richard Fernando Endara Pabón
3. **DIRECTOR:** Ing. Darío Paul Arias Muñoz, MSc.
4. **COMITÉ ASESOR:** Dra. Patricia Marlene Aguirre Mejía, PhD  
Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez, MSc.  
Dr. Jhonn James Rodríguez Echeverry, PhD.
5. **AÑO:** 2018
6. **LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN:** La Cuenca del río Mira es una cuenca Binacional ubicada en el extremo norte del país. Sin embargo, el presente estudio se limita a la cuenca media alta hasta la estación hidrométrica en Lita (H0011), se encuentra principalmente en las provincias de Carchi e Imbabura (Ver Figura 4), en la parte media – alta del río Mira.
7. **BENEFICIARIOS:** Los pobladores de la cuenca del río Mira

## HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR



**APELLIDOS:** Endara Pabón

**NOMBRES:** Richard Fernando

**C. CIUDADANIA:** 1003643978

**TELÉFONO CONVENCIONAL:** (062) 580 - 303

**TELÉFONO CELULAR:** 0939303584

**CORREO ELECTRÓNICO:** endara\_fernando@yahoo.com

**DIRECCIÓN:** Imbabura – Ibarra – Panamericana Norte Km 124

**AÑO:** 2018

## REGISTRO BIBIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA – UTN

**Fecha:** 28 de junio del 2018

Richard Fernando Endara Pabón: **EFFECTOS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAUDALES EN LA CUENCA MEDIA ALTA DEL RÍO MIRA PARA EL PERÍODO 2000-2014** / Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 28 de junio del 2018. 132 páginas.

**DIRECTOR:** Ing. Darío Paul Arias Muñoz, MSc.

El objetivo principal de la presente investigación fue: “Evaluar los efectos de la deforestación en el la producción de caudales de la cuenca media – alta del río Mira para el período 2000 – 2014.” Entre los objetivos específicos se encuentra: Establecer la tasa de deforestación en la cuenca para el período 2000 – 2014; determinar la producción de caudales en la cuenca media-alta del río Mira para el período 2000-2014 y analizar la variabilidad hídrica de la cuenca ante la pérdida de cobertura vegetal de bosque.

**Fecha:** 28 de junio del 2018

.....  
Ing. Darío Paul Arias Muñoz, MSc.

**Director de trabajo de titulación**

.....  
Richard Fernando Endara Pabón

**Autor**

# **EFFECTOS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAUDALES EN LA CUENCA MEDIA ALTA DEL RÍO MIRA PARA EL PERÍODO 2000- 2014**

Richard Fernando Endara Pabón <sup>1</sup>, Ing. Darío Paul Arias Muñoz, MSc.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Autor del trabajo de titulación.

<sup>2</sup> Docente - FICAYA Director del trabajo de titulación

## **RESUMEN**

Los bosques son los ecosistemas terrestres más extensos, estas formaciones ofrecen bienes y servicios como la protección de cuencas hidrográficas, calidad en el agua, regulación hídrica, control de la erosión, entre otros. En el transcurso de los años, el bosque se ha degradado por la deforestación y el cambio de uso de suelo. Estos acontecimientos han alterado la cantidad, la calidad y la temporalidad de los bienes y servicios ecosistémicos.

Debido a lo mencionado, el presente estudio se enfatiza en evaluar los efectos de la deforestación en la producción de caudales de la cuenca media – alta del río Mira para el período 2000 – 2014. La evaluación se llevó a cabo mediante la determinación de la tasa de cambio del bosque, la simulación de la producción de caudales y el análisis de la variabilidad hídrica de la cuenca ante la pérdida de bosque. Basado en los objetivos del estudio, se determinó la cobertura y uso de suelo para los años 2000, 2007, 2014 y 2017 a partir de la clasificación supervisada de imágenes satelitales. Seguidamente se realizó el cálculo de diferentes variables meteorológicas, climáticas y edafológicas para determinar los caudales en el modelo hidrológico SWAT. Finalmente, se procedió al análisis de la relación entre el bosque y la producción de caudales.

Los resultados muestran un cambio constante en la cobertura forestal. Las tasas de cambio revelan la deforestación y la reforestación en la cuenca. Por otra parte, los caudales simulados presentan una estrecha relación con los aforados teniendo un  $R^2$  igual o superior a 0.80 y un NSE mayor a 0.70. Esto permite concluir que el modelo tiene una efectividad considerable para predecir caudales. Además, debido a la estrecha relación del bosque y el caudal ( $R^2 > 0.90$ ) se puede concluir que el bosque es un ecosistema esencial en la cuenca para el mantenimiento del caudal, la regulación hídrica y a la producción de agua, principalmente en bosques nublados.

**Palabras clave:** Deforestación, tasa de cambio, caudales, SWAT.

## ABSTRACT

Forests are the most extensive terrestrial ecosystems; these formations offer goods and ecosystem services such as watershed protection, water quality, water regulation, and erosion control, among others. Over the years, the forest has been degraded by deforestation and changes in land use. These situations have altered the quantity, quality and timing of ecosystem goods and services.

Due to what was mentioned, this study emphasized in evaluating the deforestation effects in the production of streamflows of the upper - middle river basin of the Mira River from 2000 to 2014. The evaluation was carried out by determining the change rate of the forest, the simulation of the production of streamflows and the analysis of the water variability in the river basin facing the loss of forest. Based on the objectives of the study, the coverage and land use for the years 2000, 2007, 2014 and 2017 was determined from the supervised classification of satellite images. Next, the calculation of different meteorological, climatic and soil variables was performed to determine streamflow rates in the hydrological model SWAT. Finally, we proceeded with the analysis of the relation between the forest and streamflow production.

The results show a constant change in forest cover. Exchange rates reveal deforestation and reforestation in the basin. On the other hand, the simulated streamflows have a close relation with the already graduated ones, having a  $R^2$  equal to or greater than 0.80 and an NSE greater than 0.70. This allows us to conclude that the model has considerable effectiveness in predicting streamflows. In addition, due to the close relation between the forest and the streamflow ( $R^2 > 0.90$ ), it can be concluded that the forest is an essential ecosystem in the basin for the maintenance of water streamflow, water regulation and water production, mainly in cloud forests

**Key words:** Deforestation, exchange rates, flows, SWAT

## INTRODUCCIÓN

Los bosques son los ecosistemas terrestres más extensos, ocupan el 30% de la superficie emergida del planeta (FAO, 2007a), estas formaciones ofrecen servicios como la protección del suelo, la fijación de CO<sub>2</sub>, la protección de cuencas hidrográficas, la calidad en el agua, la regulación hídrica, el control de la erosión, entre otros. Adicionalmente proporciona bienes a modo de fuentes energéticas y de construcción como leña y madera, fuentes de alimento y hábitat... Cada uno de los servicios y bienes del bosque son de importancia para el bienestar humano (MEA, 2005, De Bièvre *et al.*, 2006; Ruiz, *et al.*, 2007 y FAO, 2011).

Sin embargos, la degradación de los bosques y deforestación ha incrementado. En las regiones tropicales y subtropicales de América latina tiene mayor incidencia. El cambio de uso de suelo para actividades agrícolas y pecuarias ha generado el 70 % de la pérdida de sus bosques. Esto con el fin de cubrir una demanda mundial de alimentos (FAO, 2016). En Ecuador, MAE (2012a) muestra que la deforestación en las provincias de Carchi e Imbabura, donde se encuentra la cuenca media alta del río Mira, alcanza valores de 92 y 1.240 ha al año respectivamente.

Por lo señalado, los ecosistemas y de los sistemas socioeconómicos proyectan vulnerabilidad por las alteraciones climáticas, la disminución o aumento de los bienes y servicios ecosistémicos (MEA, 2005; Quétier *et al.*, 2009; IPCC, 2007), y alteración del balance hídrico por la rápida conversión y degradación de los bosques (Huber *et al.*, 2008). Además, ha generado significativas modificaciones en los patrones hidrológicos en pequeñas y grandes cuencas hidrográficas (Iroumé *et al.*, 2006; Little *et al.*, 2009). Esto repercute en impactos negativos en el rendimiento de los cultivos y la seguridad alimentaria (IPCC, 2014).

Ante la problemática, la investigación permitió evaluar los efectos de la deforestación en la producción de caudales de la cuenca media – alta del río Mira a través del establecimiento de tasa de deforestación en la cuenca, la determinación la producción de caudales en la cuenca y el análisis la variabilidad hídrica de la cuenca ante la pérdida de cobertura vegetal de bosque en el periodo 2000 – 2014.

Si bien, se sabe que los bosques producen mayor cantidad de agua a largo plazo que plantaciones de rápido crecimiento (Lara *et al.*, 2009), en especial los bosque nublados,

montano altos, Montanos bajos y piemontanos (MECN, 2009). Es necesario dar a conocer la importancia de los bosques y ecosistemas forestales en la mantención de los caudales, la provisión y la regulación de la calidad del agua, que constituyen recursos prioritarios para el desarrollo nacional, tanto para las actividades productivas como para la disponibilidad para la población (Little *et al.*, 2010). Además, entender que como servicios ecosistémicos, se generan en el área de una cuenca y pueden desaparecer como consecuencia del mal manejo de los recursos naturales.

## METODOLOGÍA

La presente investigación se llevó a cabo en la cuenca media-alta del río Mira. La metodología se separó en tres etapas. Para iniciar se caracterizó la cobertura del área de estudio con la finalidad de obtener las variables requeridas por el modelo hidrológico SWAT. A continuación, se simuló los caudales en tres periodos diferentes (1998 – 2002, 2005 – 2009 y 2011 – 2017). Finalmente, a partir de la información obtenida en las etapas anteriores, se analizó la variabilidad hídrica frente a la variación del bosque.

### Etapa 1: Establecimiento de la tasa de deforestación en la cuenca para el periodo 2000 – 2014

- a) Para el presente estudio se realizó la delimitación física de la cuenca media – alta del río Mira (figura 1).

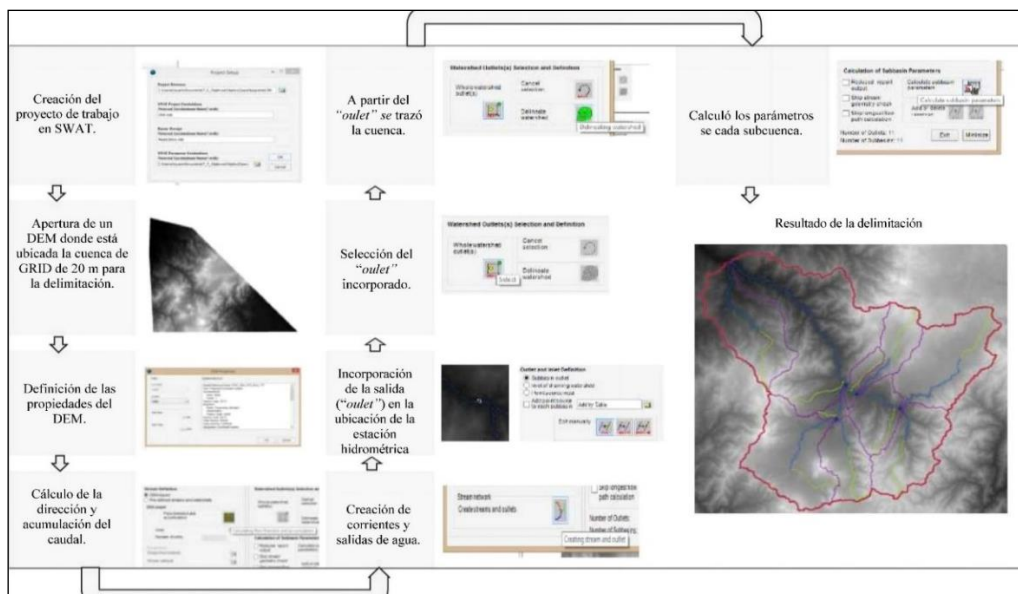


Figura 1. Flujo de trabajo del proceso de delimitación del área de estudio.

- a) Chuvieco (1996 y 2002) propone comparar las imágenes disponibles en donde se presentan los cambios que se producen en los periodos de tiempo a estudiar, lo que permitirá clasificar superficies. A partir de esto se seleccionó imágenes satelitales correspondientes a los años 2000, 2007, 2014 y 2017 con los porcentajes más bajos de nubosidad disponibles.
- b) Considerando las características de la cuenca se georreferenciaron polígonos de entrenamiento para las coberturas de páramo, bosque, vegetación arbustiva – matorral, pastos, cultivos, zona urbana, cuerpos de agua y área sin vegetación de superficie.
- c) De acuerdo a la metodología aplicada en el estudio de Lozano y Villarroel (2009), en estas imágenes se puede diferenciar los tipos de cobertura vegetal: bosque, vegetación arbustiva, pastos, páramo, cultivos, áreas pobladas, áreas no vegetadas y cuerpos de agua. Las imágenes tienen una temporalidad de los años 2000, 2007, 2014 y 2017 con diferentes niveles de cobertura espacial y grado de nubosidad. El flujograma de los procesos adicionales se describe en la (Figura 2).

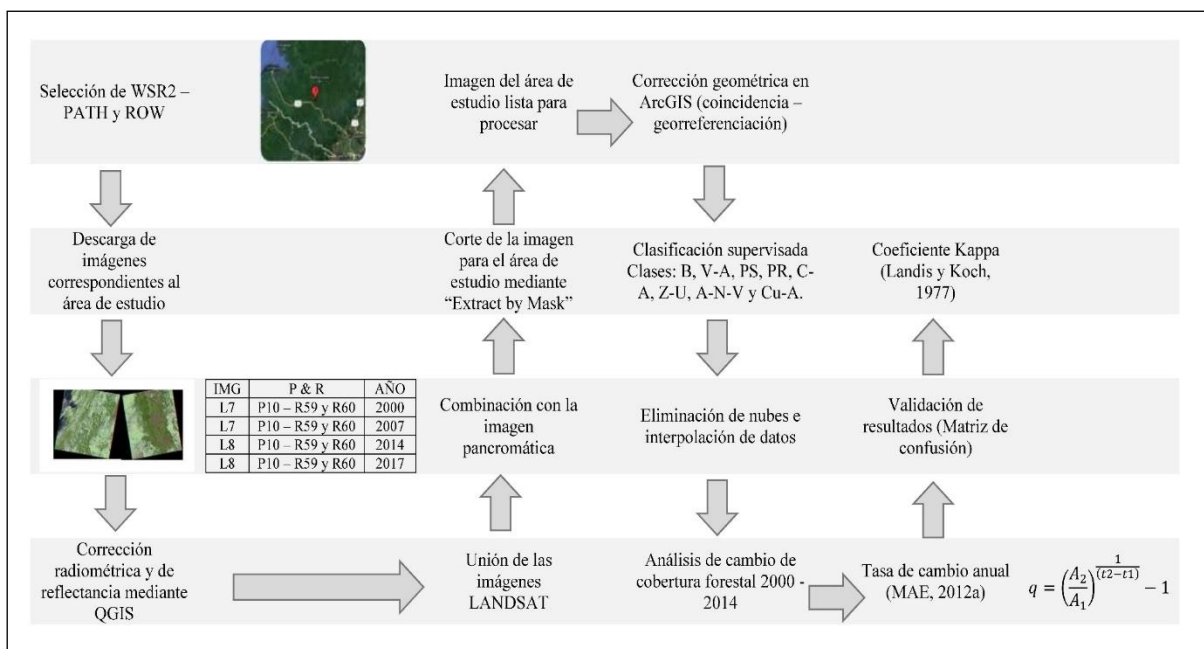


Figura 2. Flujograma del proceso de clasificación de las imágenes LANDSAT.

- d) Para determinar la tasa de cambio del bosque se usó el área del ecosistema del año 2000, 2007, 2014 y 2017.
- e) Se realizó la validación mediante una verificación en campo de 400 puntos de uso actual del suelo para realizar la matriz de confusión. Luego de tabular los puntos



de verificación, se realizó el análisis de los datos mediante una “matriz de confusión” validada por Landis y Koch (1977) que formulan el grado de aceptación del coeficiente Kappa (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Valores para Kappa.*

Estadística Kappa	Fuerza de acuerdo
< - 0.00	Pobre
0.00 - 0.20	Escaso
0.21 - 0.40	Razonable
0.41 - 0.60	Moderado
0.61 - 0.80	Sustancial
0.81 - 1.00	Casi perfecta

**Fuente:** The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data Landis y Koch (1977).

## **Etapa 2: Determinación la producción de caudales en la cuenca media-alta del río Mira para el periodo 2000-2014**

La producción del caudal del área de estudio se determinó mediante la herramienta SWAT. Los pasos metodológicos que siguió esta etapa son:

### *a) Ingresos de variables climáticas.*

Se obtuvo datos climáticos del INAMHI (2017) de estaciones meteorológicas completas (tabla 2).

**Tabla 2.**

*Estaciones para el proceso de simulación.*

Código	Nombre	Tipo* *	Altitud (msnm)	Longitud	Latitud	Distancia respecto a la cuenca (Punto en Ibarra)
M0001	Inguincho	CP	3140	-78.400	0.258	En la cuenca
M0003	Izobamba	AP	3058	-78.550	-0.366	93.48 Km
M0025	La Concordia	CP	379	-79.371	0.026	144.46 Km
M0103	San Gabriel	CP	2860	-77.819	0.604	En la cuenca
M0105	Otavaló	CP	2550	-78.250	0.243	En la cuenca

\*\* : CP: *Climatológica Principal*; AP: *Agrometeorológica*.

A partir del área de estudio, las variables climatológicas fueron ingresadas manualmente, junto con la ubicación geográfica de cada estación meteorológica. Las variables requeridas se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3***Parámetros climáticos de SWAT.*

<b>VARIABLES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
WLATITUDE	Latitud de la Estación a emplear en grados
WLONGITUD	Longitud de la estación en grados
WELEV	Elevación de la estación climática
RAIN_YRS	Número de días máximo para la media hora de lluvia mensual usada para los valores de RAIN_HHMX(1)-RAIN_HHMX(12)
TMPMX(mon)	Promedio mensual de la temperatura (T)máxima (°C)
TMPMN(mon)	Promedio mensual de la T mínima (°C)
TMPSTDMX(mon)	Desviación estándar mensual de la T. máxima diaria (°C)
TMPSTDMN(mon)	Desviación estándar mensual de la T mínima diaria (°C)
PCPMM(mon)	Promedio mensual de la precipitación diaria (mmH <sub>2</sub> O)
PCPSTD(mon)	Desviación estándar de la precipitación diaria (°C)
PCPSKW(mon)	Coefficiente de asimetría mensual de la precipitación diaria
PR_W(1.mon)	Probabilidad mensual de ocurrencia un día húmedo luego de un día seco (días)
PR_W(2.mon)	Probabilidad mensual de ocurrencia un día húmedo luego de un día húmedo (días)
PCPD(mon)	Promedio mensual del número de días de lluvia
RAINHHMX(mon)	Máxima lluvia de media hora por mes (lluvia máxima para 24 horas)
SOLRAV(mon)	Promedio mensual de la radiación solar diaria (MJ/m <sup>2</sup> /día).
DEWPT(mon)	Promedio mensual de la temperatura del punto de rocío (°C), o la humedad relativa en fracción. Estos valores fueron tomados del registro histórico para cada estación
WNAV(mon)	Promedio mensual de la velocidad del viento (m/s)

En la cuenca existe poca información, además, tiene vacíos que deben ser suplidos a partir de la interpolación de datos. Para la interpolación, las variables meteorológicas pueden ser agrupadas por su relación con la gradiente altitudinal (Arias, 2015).

***b) Ingresos y clasificación de variables edafológicas.***

Consecutivamente se ingresó los datos de tipo de suelo y sus características según el requerimiento del modelo según el mapa e textura del MAG y los parámetros del Sistema Nacional de información (SNI, 2014)

Los parámetros edáficos para el modelo se describen en la tabla 4.

**Tabla 4***Parámetros edafológicos para la modelación en SWAT.*

<b>SWAT</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
SNAM	Corresponde al nombre del suelo.
HYDGRP	Grupo hidrológico de cada grupo taxonómico.
SOL_ZMX	Es la profundidad máxima de enraizamiento en el suelo (mm).
SOL_Z	Es la profundidad desde la superficie del suelo hasta la parte inferior de cada capa (mm).
SOL_BD	La densidad aparente del suelo (Mg/m <sup>3</sup> o g/cm <sup>3</sup> ), expresa la relación de la masa de partículas sólidas respecto al volumen total de suelo, $\rho_b = M_s/V_t$ .
SOL_AWC	El agua disponible por las plantas, también llamada capacidad de agua disponible AWC.
SOL_K	La conductividad hidráulica saturada (mm/hr), relaciona la proporción del flujo de agua (densidad del fluido y el gradiente hidráulico). Es una medida de la facilidad del movimiento de agua a través del suelo.
SOL_CBN	Es el contenido de carbono orgánico (% del peso del suelo) en el suelo.
CLAY	Es el contenido de arcilla (% del peso del suelo).
SILT	Es el contenido de limo (% del peso del suelo).
SAND	Es el contenido de arena (% del peso del suelo).
ROCK	Es el contenido de fragmento de roca (% del peso total).
SOL_ALB	El albedo es la relación entre cantidad de radiación solar reflejada por un cuerpo por la cantidad incidente sobre éste.
USLE_K	Es el factor K de erodabilidad del suelo de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo.

### c) Clasificación del uso de suelo

Para los años 2000, 2007, 2014 y 2017 se usó las coberturas y uso de suelo mostrados en la tabla 5. Esta clasificación se ingresó al modelo SWAT y se generó un “*raster*” de coberturas para los años mencionados a partir de las coberturas para el establecimiento de la tasa de cambio.

**Tabla 5.***Cobertura y uso para la simulación de los años 2000, 2007, 2014 y 2017*

Valor del “ <i>Raster</i> ”	Cobertura vegetal <b>Clasificación supervisada</b>	<b>Código SWAT</b>
<b>1</b>	Bosque nativo	FRSE
<b>2</b>	Vegetación arbustiva	RGNE
<b>3</b>	Pastos	PAST
<b>4</b>	Páramo	RGNB
<b>5</b>	Cultivos	AGRC
<b>6</b>	Zona urbana	URBN
<b>7</b>	Área sin vegetación	BARR
<b>8</b>	Cuerpos de agua	WATR
<b>10</b>	Frutales	ORAN
<b>11</b>	Cereales	CORN
<b>12</b>	Papa	POTA
<b>14</b>	Infraestructura agrícola	AGRL
<b>19</b>	Caña de azúcar	SUGC

#### *d) Ingreso de parámetros de relieve*

Se ingresaron 5 rangos de pendientes (Tabla 6) al modelo para su reclasificación.

**Tabla 6.**

*Rango de pendientes para la Cuenca.*

<b>Numero de pendientes</b>	<b>Rango de la pendiente (%)</b>
1	0 – 12 %
2	12 – 25 %
3	25 – 50 %
4	50 – 75 %
5	> 75 %

#### *e) Cálculo del caudal de tres periodos diferentes*

Para realizar el cálculo de caudales se procedió a crear el HRU de cada simulación de los periodos de 1998 – 2002, de 2005 – 2009, de 2011 – 2015 y finalmente el 2017. Estas simulaciones generaron 2663 unidades de respuesta hidrológica (HRU) diferente como resultado del ingreso de todas las variables anteriores.

#### *f) Ajuste de sensibilidad del modelo (Calibración del modelo)*

Con la finalidad de calibrar el modelo, se recopilamos los caudales medios diarios observados en la estación. La calibración se realizó luego de la simulación con el objetivo de mejorar la relación entre los datos tomados en campo y los simulados. Los resultados de la simulación mostraron valores de caudal mensual inferiores a los valores reales. Por esta razón fue necesario calibrar los datos de mayor sensibilidad del modelo.

#### *g) Validación del modelo*

Después de obtener los resultados de la simulación del modelo se procede a la validación de datos. La validación de datos se realizó con el fin de evaluar la precisión y eficiencia del modelo en el proceso de simulación. Para este proceso es necesario comparar los datos simulados con los datos observados. Los resultados se validaron mediante el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (Nash y Sutcliffe, 1970), este coeficiente informa la efectividad del modelo en la predicción de caudales (tabla 7).

**Tabla 7.***Valores referenciales de NSE*

Valor de coeficiente NSE	Fuerza de acuerdo
NSE > 1	Simulación perfecta
NSE > 0.75	Simulación buena
NSE > 0.36 y < 0.75	Simulación satisfactoria
NSE < 0.36	Simulación insatisfactoria

Fuente: Van Liew *et al.*, (2007).

### **Etapa 3: Análisis la variabilidad hídrica de la cuenca ante la pérdida de cobertura vegetal de bosque**

Como se menciona en Ortiz *et al.*, (2010), luego de la simulación se puede analizar y determinar la relación entre caudal y bosque mediante una correlación lineal de Pearson. Adicionalmente Oñate y Aguilar (2003) afirman una relación entre la cobertura y uso de suelo con la producción de caudal. Pearson mide la relación entre dos variables Paramétricas y se obtuvo como resultado un  $R^2$  de determinación. Este análisis se aplicó en el proceso de aceptación las hipótesis nula o alternativa, planteadas en el presente estudio.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Análisis de la tasa de deforestación en la cuenca del Río Mira**

En la clasificación supervisada se obtuvo la cobertura vegetal y uso de suelo de la cuenca media – alta del río Mira y su distribución espacial para los años 2000, 2007, 2014 y 2017 con una confiabilidad Kappa de 0.83.

Para el cálculo de la tasa de deforestación se usó las áreas presentadas en la tabla 8. Las áreas son el producto de la clasificación supervisada y el cálculo mediante ArcGIS.

**Tabla 8.***Cobertura de bosque en la cuenca del río Mira*

Uso	Superficie del año 2000 (ha)	Superficie del año 2007 (ha)	Superficie del año 2014 (ha)	Superficie del año 2017 (ha)
Bosque	132322.75	124503.13	127633.52	121015.05
Vegetación Arbustiva	51855.72	45202.34	39397.33	33340.54
Pastos	83672.75	86949.25	79099.32	76434.13
Páramo	62817.65	64045.50	66119.28	48846.68
Cultivos	143682.54	152889.75	144354.27	201576.68
Zona urbana	3081.01	3969.29	4165.34	4392.09
Área sin vegetación	25266.74	25139.93	41930.08	17093.99
Cuerpos de Agua	1584.75	1584.71	1584.77	1584.76
Hectáreas (ha)	504283.91	504283.91	504283.91	504283.91
Km <sup>2</sup>	5042.84	5042.84	5042.84	5042.84

De acuerdo al cálculo de la tasa de cambio se obtuvo un valor referente para cada periodo de evaluación (tabla 9). Según la tasa de cambio del bosque, existió una disminución de la cobertura en el periodo 2000 – 2007 que representa la deforestación existente en la cuenca. En el espacio de tiempo 2007 – 2014 estuvo presente un incremento, teniendo así reforestación. Finalmente del espacio de tiempo 2014 – 2017 se determinó deforestación en la cuenca como interpretación de una tasa de cambio negativa.

**Tabla 9.**  
*Tasa de cambio*

<b>Nro.</b>	<b>Periodo</b>	<b>Tasa de cambio del Bosque</b>	<b>Actividad en el periodo</b>
1	2000 – 2007	-0.009	Deforestación
2	2007 – 2014	0.004	Reforestación
3	2014 – 2017	-0.018	Deforestación
*4	2000 – 2014	-0.003	Deforestación

Nota\*: Periodo de análisis según el objetivo 1.

El presente estudio, en el período de análisis 2000 – 2014 se evidenció que la cuenca experimenta una deforestación de 0.3 % anual. La tasa de cambio (-0.003) representa una pérdida de 334.945 hectáreas por año. Esto se debe a que en el período 2000 – 2007 la cuenca sufrió una pérdida que no pudo ser recuperada con reforestación. Este acontecimiento es afirmado por este estudio y MAE (2012a).

MAE (2012a) presenta una tasa de cambio de significativa pérdida de bosque en la cuenca para los años 2000 – 2008. Este acontecimiento se imputa al aprovechamiento forestal y tiene un impacto de 1332 hectáreas de pérdida al año. En la presente investigación se analizó el periodo 2000 – 2007. En acuerdo con lo mencionado se evidencia en la cuenca un aproximado de 1117 hectáreas deforestadas al año. Este valor corresponde a una tasa de cambio negativa de -0.009, este valor representa una pérdida de 0.9 % anual en la cuenca.

A diferencia del periodo anterior, para los años 2007 – 2014 el área de estudio concurre en un aumento considerable de bosque. Este acontecimiento es de 3130. 39 hectáreas y se atribuye a una tasa de cambio anual positiva de 0.004, la tasa figura una crecida de 0.4 %. El acontecimiento se carga en Socio Bosque (Programa de protección de bosques) iniciado en el 2008 (MAE, 2013) y al Proyecto Establecimiento de 120.000 hectáreas de

plantaciones forestales con fines comerciales a nivel nacional iniciado en el 2012 y el programa incentivos forestales con fines comerciales (MAGAP, 2014 y 2016).

Hasta la actualidad el programa socio bosque conserva 41381.13 ha en Imbabura y Carchi (Socio Bosque, 2018). Estas hectáreas conservadas no permiten el decremento de la cobertura forestal en la cuenca debido a los incentivos entregados por la conservación de los ecosistemas forestales. Este incentivo permite manejar y mejorar las condiciones del bosque nativo dentro del programa.

Adicionalmente, el proyecto del MAG ha establecido 2652 hectáreas en Imbabura y Carchi (MAGAP, 2016 y MAGAP, 2017). Estas hectáreas de plantación forestal justifican el incremento del bosque en la cuenca para el segundo periodo de análisis.

Cabe mencionar que la simulación tiene una representación casi perfecta de 0.83 con lo existente en la superficie para los años 2000, 2007 y 2017. Este acontecimiento del estudio coincide con Landis y Koch (1977) que describen que un valor Kappa mayor a 0.81 corresponde a una clasificación casi perfecta.

## **4.2 Producción de caudales en la cuenca media-alta del río Mira**

A continuación se muestran los caudales de la cuenca determinados mediante el modelo hidrológico SWAT. Estos caudales simulados se sometieron a un análisis de sensibilidad, validación y calibración de datos para obtener una relación adecuada con lo observado en campo.

### **4.2.1 Resultados de la simulación para la cuenca del río Mira**

Una vez realizada la simulación del caudal para la cuenca media – alta del río Mira en los años 2000, 2007, 2014 y 2017 se obtuvieron datos mensuales.

**Tabla 10.**  
*Caudales simulados.*

Meses	Caudal simulado (año 2000)	Caudal simulado (año 2007)	Caudal simulado (año 2014)	Caudal simulado (año 2017)
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Enero	206.37	109.93	202.20	203.33
Febrero	191.42	81.95	158.93	184.67
Marzo	195.36	153.21	240.38	158.00
Abril	189.83	240.38	156.58	131.84
Mayo	343.53	178.62	95.68	135.11
Junio	150.99	106.76	69.94	101.66
Julio	80.52	43.21	90.22	61.70
Agosto	26.73	10.55	55.28	32.75
Septiembre	22.36	8.44	22.20	24.51
Octubre	20.45	66.30	90.71	55.02
Noviembre	55.91	173.59	159.72	101.96
Diciembre	85.12	234.53	140.04	115.69
<b>Promedio</b>	<b>130.72</b>	<b>117.29</b>	<b>123.49</b>	<b>108.85</b>

Los caudales mensuales (tabla 10) fueron usados para el análisis de sensibilidad, la validación y la calibración del caudal mensual para el año 2000, 2007 y 2014. Se realizaron regresiones lineales para determinar la relación de los datos. Finalmente se aplicó el índice de eficiencia Nash-Sutcliffe. Se simuló el año 2017 con el fin de conocer la proyección de los caudales para este año. Se debe esclarecer que el año 2017 por su parte no tiene caudales para su calibración. Los caudales de este año aún no están disponibles para el público por parte del INAMHI.

#### 4.2.2 Análisis de sensibilidad

Los caudales simulados para los años 2000, 2007 y 2014 fueron transformados de unidades, de mm a m<sup>3</sup>/s. Después se comparó en una correlación lineal los caudales aforados y simulados y se evaluó el grado de relación y asociación con la aplicación de regresión lineal (tabla 11).



**Tabla 11.***Comparación de caudales aforados vs simulados.*

Meses	Caudal aforado (año 2000)	Caudal simulado (año 2000)	Caudal aforado (año 2007)	Caudal simulado (año 2007)	Caudal aforado (año 2014)	Caudal simulado (año 2014)
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Enero	305.85	206.37	130.13	109.93	185.86	202.20
Febrero	274.07	191.42	97.20	81.95	137.21	158.93
Marzo	283.66	195.36	131.93	153.21	234.67	240.38
Abril	247.10	189.83	196.06	240.38	127.07	156.58
Mayo	264.34	343.53	176.59	178.62	200.84	95.68
Junio	189.72	150.99	168.09	106.76	147.79	69.94
Julio	126.18	80.52	81.67	43.21	101.02	90.22
Agosto	99.80	26.73	86.52	10.55	72.48	55.28
Septiembre	82.20	22.36	64.27	8.44	56.10	22.20
Octubre	84.92	20.45	117.60	66.30	105.83	90.71
Noviembre	67.66	55.91	134.03	173.59	163.04	159.72
Diciembre	115.75	85.12	201.76	234.53	174.28	140.04
<b>Promedio</b>	<b>178.44</b>	<b>130.72</b>	<b>132.15</b>	<b>117.29</b>	<b>142.18</b>	<b>123.49</b>

Las regresiones mostraron una relación ( $R^2$  de determinación) de 0.77 para el año 2000, 0.83 para el año 2007 y 0.68 para el año 2014 (figura 3). Para mejorar la relación de los datos simulados versus los datos aforados se procedió a calibrar los parámetros, factor de compensación de evaporación solar (ESCO), factor alfa del flujo base (ALPHA\_BF), curva número promedio (CN2) y valor para el canal principal (CH\_N2) (Pereira *et al.*, 2014).

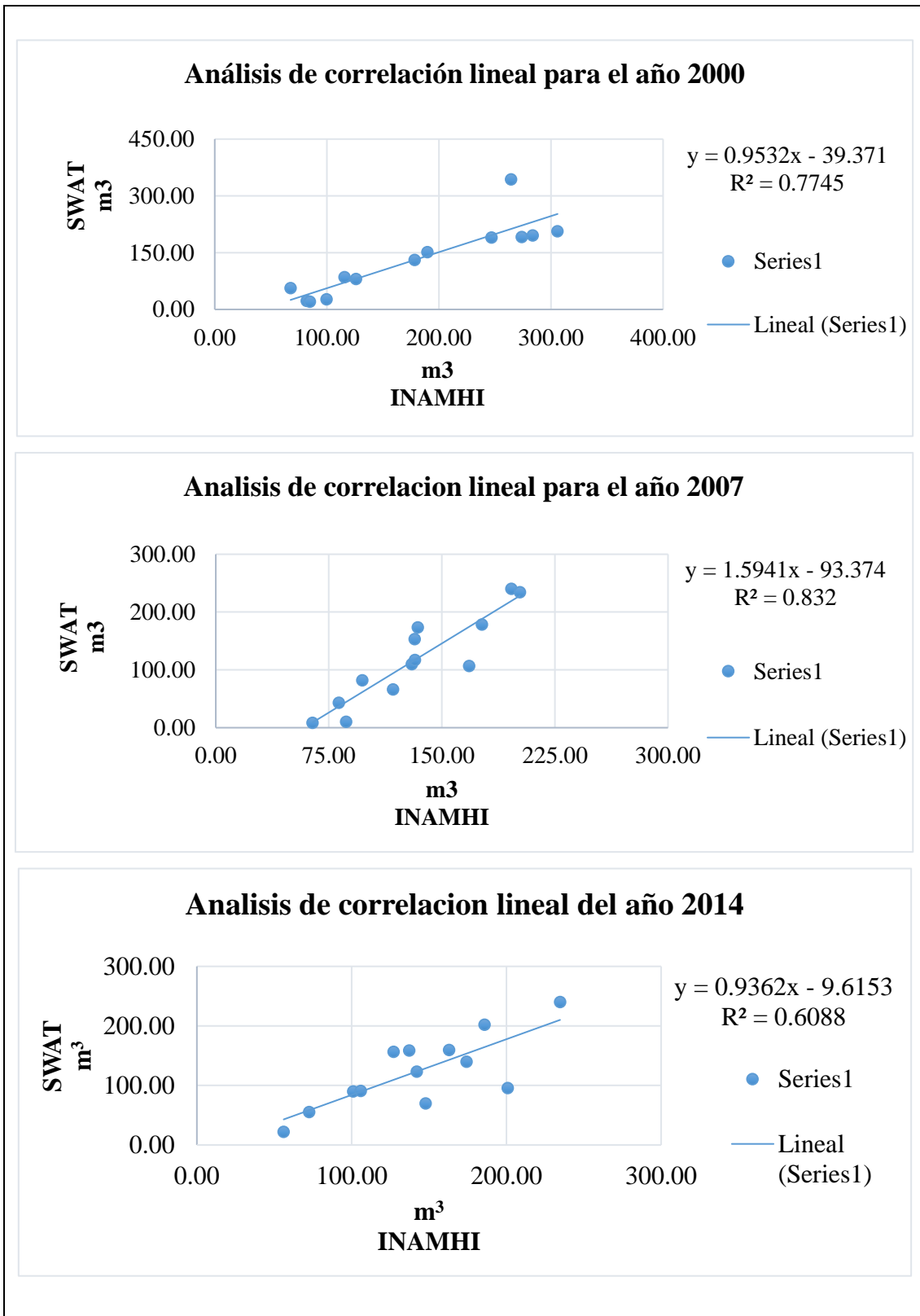


Figura 3. Correlación lineal de los caudales aforados y simulados para los años 2000, 2007 y 2014.

### 4.2.3 Validación y calibración de datos

La calibración de los parámetros sensibles (tabla 12) se realizó con valores propuestos por Pereira *et al.*, (2014) ya que utiliza una clasificación similar de cobertura y uso de suelo al presente estudio para la simulación de caudales con el modelo hidrológico SWAT.

**Tabla 12.**

*Parámetros sensibles para la calibración.*

<b>Parámetro</b>	<b>Simulación (año 2000)</b>	<b>Calibrado (año 2000)</b>	<b>Simulación (año 2006)</b>	<b>Calibrado (año 2006)</b>	<b>Simulación (año 2015)</b>	<b>Calibrado (año 2015)</b>
CN2.mgt	70	35	70	35	83	70
ALPHA_BF.gw	0.048	0.004	0.048	0.004	0.048	0.004
ESCO.hru	0.95	0.9	0.95	0.9	0.95	0.9
CH_N2.rte	0.014	0.011	0.014	0.011	0.014	0.011

El cambio relativo en los valores mencionados permitió tener valores más cercanos a los datos aforados (tabla 13) y como resultado de la similitud una mayor relación.

**Tabla 13.**

*Valores aforados y calibrados.*

<b>Meses</b>	<b>Caudal aforado (año 2000)</b>	<b>Caudal calibrado (año 2000)</b>	<b>Caudal aforado (año 2007)</b>	<b>Caudal calibrado (año 2007)</b>	<b>Caudal aforado (año 2014)</b>	<b>Caudal calibrado (año 2014)</b>	<b>Caudal simulado (año 2017)</b>
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Enero	305.85	231.51	130.13	123.86	185.86	185.99	203.33
Febrero	274.07	195.72	97.20	95.51	137.21	128.33	184.67
Marzo	283.66	200.62	131.93	133.85	234.67	188.24	158.00
Abril	247.10	195.55	196.06	181.69	127.07	119.99	131.84
Mayo	264.34	267.64	176.59	141.86	200.84	159.46	135.11
Junio	189.72	204.49	168.09	112.02	147.79	93.16	101.66
Julio	126.18	140.77	81.67	101.76	101.02	96.34	61.70
Agosto	99.80	81.42	86.52	87.47	72.48	70.37	32.75
Septiembre	82.20	53.86	64.27	76.98	56.10	42.91	24.51
Octubre	84.92	35.60	117.60	105.10	105.83	72.02	55.02
Noviembre	67.66	53.43	134.03	139.64	163.04	156.35	101.96
Diciembre	115.75	81.15	201.76	168.29	174.28	158.14	115.69
<b>Promedio</b>	<b>178.44</b>	<b>145.15</b>	<b>132.15</b>	<b>122.34</b>	<b>142.18</b>	<b>122.61</b>	<b>108.85</b>

Al proceder al análisis de la correlación lineal se puede evidenciar que los caudales simulados sometidos a la calibración versus los aforados muestran una relación igual o mayor a 0.80 en los tres años (figura 4).

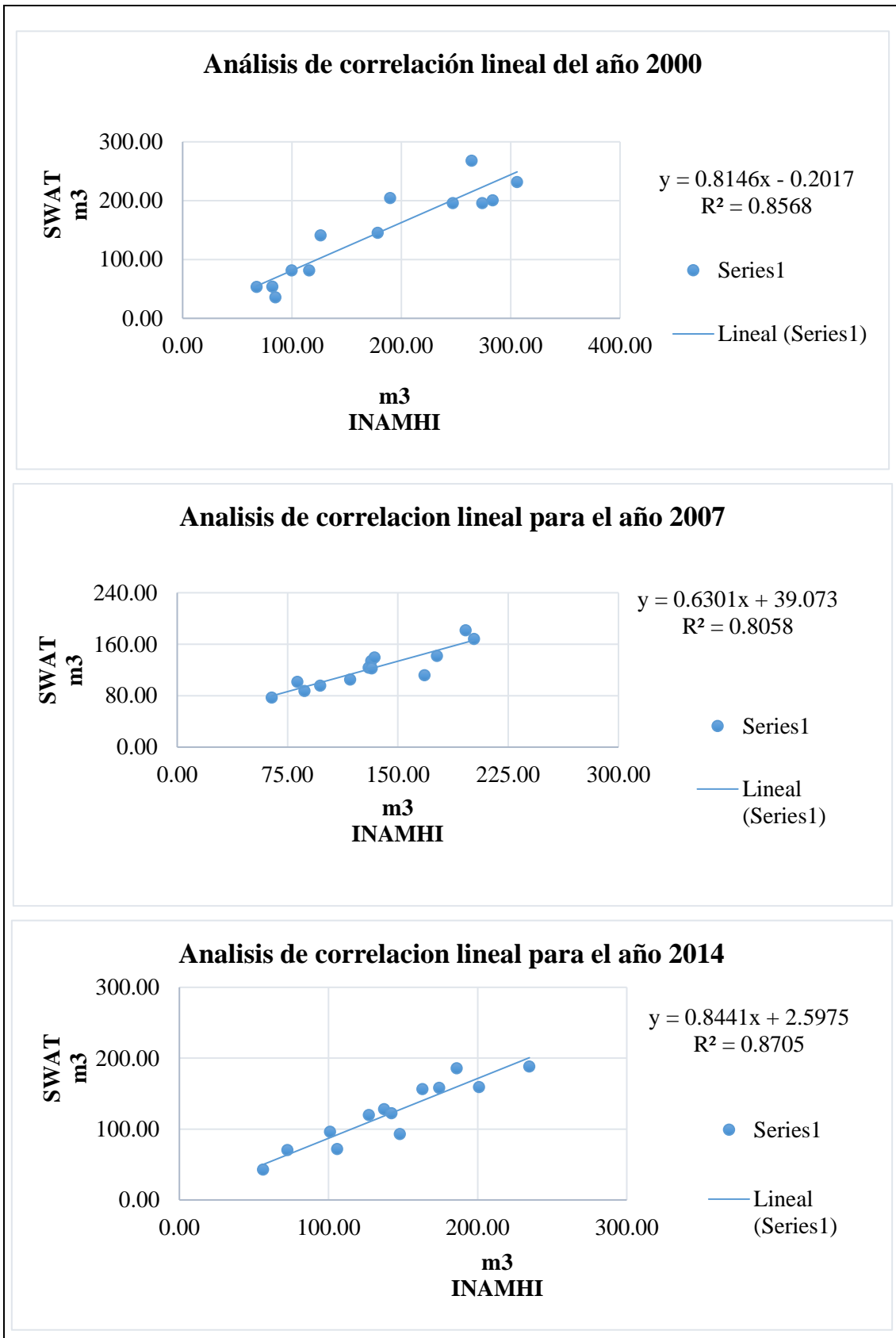


Figura 4. Correlación lineal de datos calibrados para los años 2000, 2007 y 2014.

Oñate y Aguilar (2003) concluyen que el modelo se asemeja a los datos aforados. Sin embargo, la carencia de una red de estaciones meteorológicas impide conocer los parámetros de clima en algunas zonas de la cuenca. Este acontecimiento permite inferir que al tener mayor cantidad y distribución de datos climáticos en la cuenca las simulaciones tendrían una alta similitud con los datos de campo. En similitud a lo mencionado, la presente investigación generó resultados que muestran una alta relación con los aforados.

El coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (Nash y Sutcliffe, 1970) informa la efectividad del modelo en la predicción de caudales. La presente investigación se sometió al coeficiente de eficiencia sugerido por los autores con el fin de conocer la efectividad de SWAT en la cuenca del río Mira. No obstante, para NSE (Nash-Sutcliffe), no existen criterios globalmente aceptados sobre rangos utilizados en la interpretación de los valores del coeficiente (Ritter *et al.* 2011). Debido a lo citado se puede considerar criterios de diferentes autores. Al aplicar la fórmula de NSE se percibió 0.71 de eficiencia para el año 2000. El año 2007 tuvo mayor éxito con un NSE de 0.72. Finalmente en el año 2014 se obtuvo 0.72. Los resultados representan valores de una simulación satisfactoria según (Van Liew *et al.*, 2007)

Maldonado de León *et al.* (2001) y Benavides *et al.*, (2005a) afirman que el modelo SWAT es versátil y eficiente con un uso mundial para el apoyo en toma de decisiones sobre el manejo del agua. Además, el modelo se ha ajustado a la realidad en la mayoría de los casos, siendo una buena alternativa para figurar ciclos hidrológicos y prever la cantidad de agua superficial (Benavides *et al.*, 2005b). El presente estudio no es la excepción, los valores de relación entre simulados y aforados y el coeficiente NSE obtenidos en la investigación demuestran la eficiencia y versatilidad del modelo SWAT.

#### **4.3 Análisis la variabilidad hídrica de la cuenca ante la pérdida de bosque**

En análisis de correlación lineal se determinó una relación proporcional entre las variables de la tabla 14 (figura 5).

**Tabla 14.**

*Variables para el análisis de relación.*

Tasas de cambio		
Período	Tasa de cambio del bosque	Tasa de cambio de caudal
2000/2007	-0.009	-0.024
2007/2014	0.004	0.000
2014/2017	-0.018	-0.039

Hectáreas de bosque vs. Caudal m <sup>3</sup> /s		
Año	Superficie (ha)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
2000	132322.75	145.15
2007	124503.13	122.34
2014	127633.52	122.61
2017	121015.05	108.85

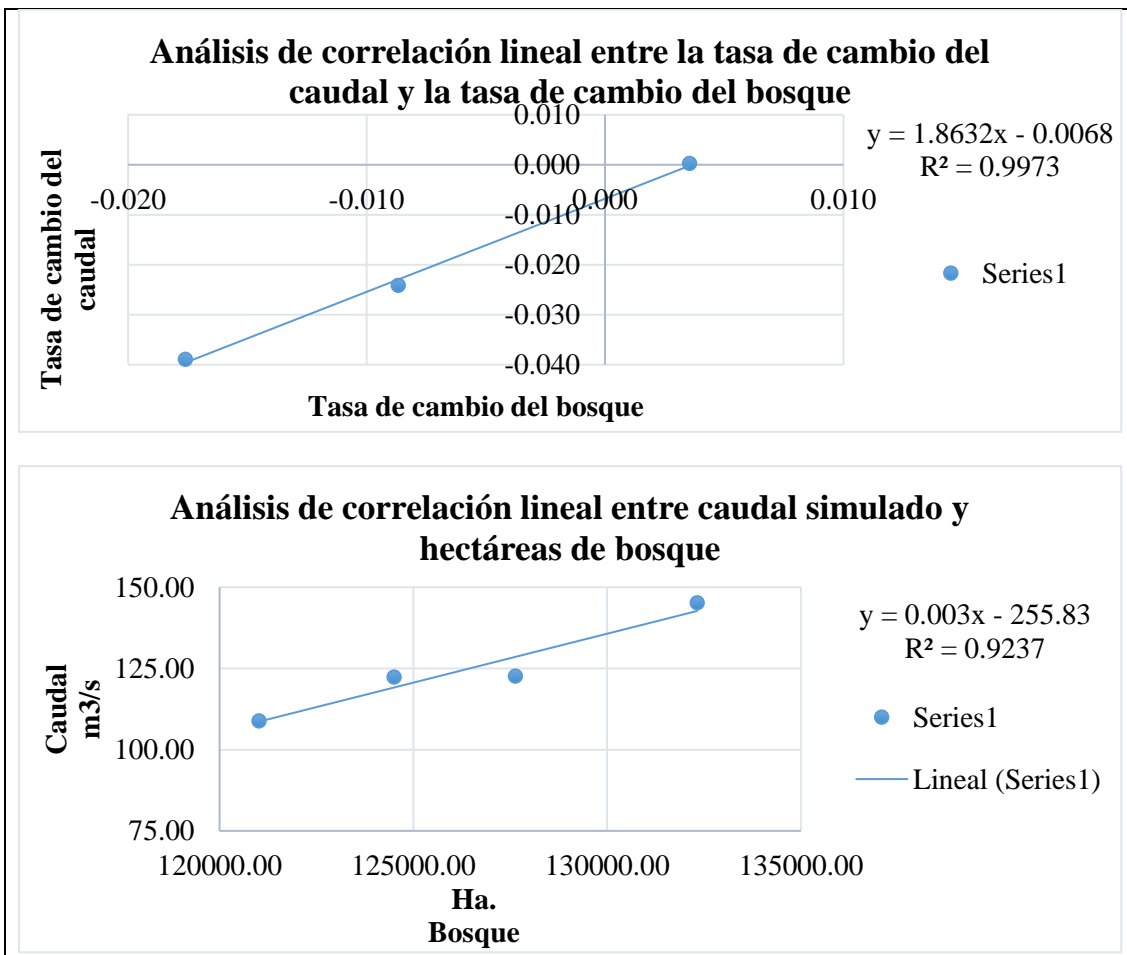


Figura 5. Correlación lineal entre el bosque y el caudal de la cuenca del río Mira.

Los valores del área boscosa muestran que el incremento y decremento de este ecosistema se relaciona con el aumento y la disminución de la producción de caudal.

Ortiz *et al.*, (2010) señala que la correlación entre escurrimiento y bosque cerrado fue negativa. Esta aseveración concuerda con Likens *et al.*, (1978) donde afirman que la deforestación produce un aumento en el caudal. Este acontecimiento se debe a la crecida de escorrentía (Meneses *et al.*, 1995) por disminución de pérdidas por intercepción (Myers, 1997), transpiración (Likens *et al.*, 1978) y disminución de la infiltración (Oyarzún *et al.*, 2011). Esta investigación difiere de lo mencionado debido que en el estudio se pudo observar una correlación positiva entre el caudal y el bosque ( $R^2 > 0.90$ ). Esta relación permite asegurar que en la cuenca del río Mira cuando aumenta el bosque se produce un incremento en el caudal. Por lo contrario, si el caudal disminuye se debe a la deforestación de ecosistemas forestales.

## CONCLUSIONES

La tasa de cambio de -0.003 muestra una disminución del 0.3% anual en la cobertura de bosque del período 2000 – 2014. Esta disminución se debe principalmente a la tala indiscriminada del tiempo 2000 – 2007.

A pesar de la pérdida de bosque se han implementado estrategias y políticas nacionales de estado como socio bosque y reforestación con fines comerciales con incentivos forestales. Estas políticas de estado han provisto una iniciativa de conservación de bosques nativos y disminución de la degradación de los ecosistemas naturales.

Los datos obtenidos de los diferentes usos de suelo al ser validados en campo y aplicados a una matriz de confusión mostraron un Kappa de 0.83 dando una interpretación casi perfecta respecto a lo existente en la superficie analizada.

La eficiencia NSE es superior a para las simulaciones de los años 2000, 2007 y 2014; es un NSE que proyecta datos aceptables para la simulación. Esto permite afinar que el modelo tiene una efectividad considerable para predecir caudales.

A pesar de tener un NSE inferior a 0.75, el modelo se asemeja a los datos aforados. Debido a lo mencionado se puede concluir que el modelo tiene alta eficiencia y versatilidad.

El bosque es un ecosistema esencial en la cuenca para el mantenimiento del caudal. La deforestación en la cuenca afecta la producción de caudales teniendo una relación directamente proporcional a la extensión de bosque. Esto se debe a la gran cantidad de bosques de transición de paramos a partes bajas que aportan a la regulación hídrica y a la producción de agua, principalmente el bosque nublado.

## **RECOMENDACIONES**

Luego de la clasificación es necesario aplicar una matriz de confusión con la mayor cantidad de puntos posibles para conocer la confiabilidad de la clasificación supervisada. En adición a este proceso se recomienda realizar una observación detallada de la imagen ya que las coberturas naturales no están dispuestas en formas totalmente uniformes.

La simulación tiene datos aceptables, sin embargo, es necesario generar una red de estaciones meteorológicas completas en diferentes zonas climáticas de la cuenca o en su defecto una estación por Subcuenca.

Se debe continuar con la investigación en modelamiento hidrológico ya que a pesar de las limitaciones es posible lograr resultados positivos y de gran importancia.

A pesar del éxito inmediato en la simulación se debe realizar el análisis de la sensibilidad, la calibración y la validación del modelo aplicado. Esta recomendación se debe a que estas actividades permiten conocer la cercanía a la realidad.

Conservar los diferentes ecosistemas forestales en la cuenca del río mira ayuda a incrementar y preservar el caudal debido que la cuenca cuenta con gran cantidad de precipitación horizontal.

Finalmente, se recomienda realizar investigaciones en las subcuencas y microcuencas de la cuenca del río Mira. Esto permitirá tener un conocimiento más amplio de la relación de los ecosistemas naturales con la producción de recurso hídrico de calidad para el consumo de los pobladores inmersos en el área estudiada.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Arias, P. (2015). Vulnerabilidad al cambio climático e inseguridad hídrica: el caso de la cuenca del pichaví (Cotacachi-Ecuador) (Tesis de Maestría). Universität Heidelberg - Heidelberg Center Lateinamerika.



- Baumer, O. (1990). Prediction of soil hydraulic parameters. In: WEPP Data Files for Indiana. SCS National Soil Survey Lab. Lincoln, Nebraska, United States.
- Benavidez, J., González, M., López, C. y Valdez, J. (2008). Oferta hídrica de la cuenca forestal Tapalpa, Jalisco, orientada hacia los servicios ambientales. *Madera bosques vol.14 (2)*, pp. 5 – 28 .
- Benavides, J., Flores, J., González, M., Moreno, D., Valdez, J. y Ruiz, J. (2005a). Modelaje hidrológico aplicando el modelo SWAT en la cuenca forestal Tapalpa, Jalisco. In: Almanza *et al.* (eds.) (2005). Memorias del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales, Chihuahua, Chihuahua. Universidad Autónoma Chihuahua, Delicias, Chihuahua, 280-292p.
- Benavides, J., Flores, J., Baker, M., Medina, A. y Talavera, E. (2005b). Producción de agua en la cuenca forestal El Carrizal, Tapalpa, Jalisco, un análisis para los servicios ambientales. In: Benavides, J. *et al.* (eds.). Contribución al estudio de los servicios ambientales. Libro Técnico No. 1. SAGARPA - INIFAP - CIRPAC. Guadalajara, Jalisco. 93-111p.
- Baquero, F., Sierra, R., Ordoñez, L., Tipán, M., Espinoza, L., Ribera, M. y Soria, P. (2004). *La Vegetación de los Andes del Ecuador. Memoria explicativa de los mapas de vegetación potencial y remanente de los Andes del Ecuador a escala 1:250.000 y del modelamiento predictivo con especies indicadoras*. EcoCiencia / CESLA / EcoPar / MAG / SIGAGRO / CDC-JATUN SACHA / División Geográfica - IGM. Quito.
- Chávez, E. (1994). *Maderables Como Alternativa Para la Sustitución de Sombra en Cacaotales Establecidos Manejo Y Crecimiento*. CATIE.
- Chuvieco, E. (1996) Fundamentos de teledetección espacial. Tercera edición. Ediciones RIALP S.A., Madrid.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección ambiental.

- De Bièvre, B., Íñiguez, V. y Buytaert, W. (2006). *Hidrología del páramo: Importancia, propiedades y vulnerabilidad*. En Ortiz, D. y Mena, P. (Ed.). Páramo. Quito, Ecuador: Editorial Abya Yala.
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS). (2017). Estudios de impacto ambiental. Expost de los sistemas de agua. Potable: centro occidente-el placer. Noroccidente y Pita Puengas. EPMAPS. Quito.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). *El estado de los bosques del mundo 2016*. Roma, Italia: FAO.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2011). Servicios Ambientales. *Unasylva* 237, vol. (62), 33-56.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2008). *Forest and water*. Roma, Italia: FAO
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2007a). *Situación de los bosques del mundo*. Roma, Italia: FAO
- Hospital, J., Martínez, A. y Rivas, J. (2006). *Determinación de números de curva: programa de apoyo a MODIPÉ (NumCur)*. Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología. Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
- Huber, A., Iroumé, A. y Bathurst, J. (2008). Effect of *Pinus radiata* plantation on water balance in Chile. *Hydrological Process* 22: 142-148
- INAMHI. (2017). Datos Analógicos hidrológicos y meteorológicos.
- INERHI-PREDESUR-CONADE. (1994). *Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja*. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos Washington D.C.
- Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2013). “*Generación de geo información para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000*”. Memoria técnica. Cantón Antonio Ante.

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014) *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas*. Ginebra, Suiza: OMM.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Ginebra, Suiza: OMM.
- Iroumé, A., Mayen, O. y Huber, A. (2006). Runoff and peakflow responses to timber harvest and forest age in southern Chile. *Hydrological Processes* 20: 37–50.
- Josse, C., Navarro, G., Comer, P., Evans, R., Faber-Langendoen, D., Fellows, M., Kittel, G., Menard, S., Pyne, M., Reid, M., Schuld, K., Snow, K. Y Teague, J. (2003). *Ecological Systems of Latin America and the Caribbean: A Working Classification of Terrestrial Systems*. Nature Serve. Arlington.
- Landis, R. y Koch, G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics, Vol. 33, No. 1. 159-174*.
- Lara, A., Little, C., Urrutia, R., Macphee, J., Alvarez, C., Oyarzún, C., Soto, D., Donoso, P., Nahuelhual, L., Pino, M. y Arismendi, I. (2009). Assessment of ecosystem services as an opportunity for the conservation and Management of native forest in Chile. *Forest Ecology and Management, 258: 415-424*
- Likens, G., Bormann, F., Pierce, R. y Reiners, W. (1978). Recovery of a deforested Ecosystem. *Science, New Series, 199: 492-496*.
- Little, C., Lara, A., McPhee, J. y Urrutia, R. (2009). Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large-scale watersheds in South-Central Chile. *Journal of Hydrology* 374: 162–170
- Little, C. y Lara, A. (2010). RE para aumentar la provisión de agua como un servicio ecosistémico en cuencas forestales del centro-sur de Chile. *Bosque (Chile)* 31(3): 175-178
- Lozano, P., y Villarroel, V. (2009). Análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal Reserva de Biosfera Sumaco. Cooperación Técnica entre Ecuador y la República Federal de Alemania.

- Maldonado de León, O., Palacios O., Oropeza, J., Springall, R. y Fernández, D. (2001). Empleo del modelo SWRRB para generar alternativas de manejo en la cuenca Itzapa, Guatemala. *Agrociencia* 35: 335-345p.
- Martinez, J., Etxaleku, N., Gómez, N. y Pavón, F. (2005) Descripción, caracterización y cartografía de los suelos de rioja baja: Termino municipal de Aldeanueva de Ebro. *Zubía Monográfico* 16 – 17.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2012a). *Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental*. Quito-Ecuador.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2012b). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2013). *Proyecto Socio Bosque*. Quito – Ecuador.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2016). Ficha informativa del proyecto 2016: Establecimiento de 120.000 hectáreas de plantaciones forestales con fines comerciales a nivel nacional. Subsecretaria de producción forestal.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2017). Ficha informativa del proyecto 2017: Establecimiento de 120.000 hectáreas de plantaciones forestales con fines comerciales a nivel nacional. Subsecretaria de producción forestal.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2014). Programa de Incentivos para la Reforestación con Fines Comerciales. Guayaquil – Ecuador.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington D. C., USA: Island Press.
- Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN). (2009). *Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)*. Publicación Miscelánea No. 6. Serie de

Publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN) - Fondo Ambiental del MDMQ. 1 - 51 pp. Imprenta Nuevo Arte. Quito - Ecuador.

Myers, N. (1997). The world's forests and their ecosystem services. 215-235 pp. En: G.C. Daily, ed. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press. Washington, D.C. 416 p.

Nash, J. y Sutcliffe, J. (1970). River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles, *J. Hydrol.*, 10, 282–290.

Oñate, F. y Aguilar, G. (2003). Aplicación del modelo SWAT para la estimación de caudales y sedimentos en la cuenca alta del río Catamayo. 3er Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográfica. Arequipa-Perú (8-13, junio). [On line]: [http://www.academia.edu/15039973/APLICACION\\_DEL\\_MODELO\\_SWAT\\_PARA\\_LA\\_ESTIMACION\\_DE\\_CAUDALES\\_Y\\_SEDIMENTOS\\_EN\\_LA\\_CUENCA\\_ALTA\\_DEL\\_RIO\\_CATAMAYO](http://www.academia.edu/15039973/APLICACION_DEL_MODELO_SWAT_PARA_LA_ESTIMACION_DE_CAUDALES_Y_SEDIMENTOS_EN_LA_CUENCA_ALTA_DEL_RIO_CATAMAYO).

Ortiz, A., Mendoza, M. E., y Bravo, M. (2010). *Implementación del modelo hidrológico SWAT: modelación y simulación multitemporal de la variación de escorrentía en la Cuenca del lago de Cuitzeo*. Instituto Nacional de Ecología: Distrito Federal, México.

Oyarzún, C., Frêne, C., Lacrampe, G., Huber, A. y Hervé, P. (2011). Propiedades hidrológicas del suelo y exportación de sedimentos en dos microcuencas. *Bosque* 32: 10-19

Pereira, D., Martinez, M., De Almeida, A., Pruski, F., Da Silva, D. y Zonta, J. (2014). Hydrological simulation using swat model in headwater basin in southeast Brazil. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.34, n.4, p.789-799.

Quétier, F., Lavorel, S., Daigney, S. y De Chazal, J. (2009). Assessing ecological and social uncertainty in the evaluation of land-use impacts on ecosystem services. *Journal of Land Use Science*, Vol. 4 (3):173–199

- Ritter, A., Muñoz, R. y Regalado, C. (2011). Capacidad de predicción de modelos aplicados a la ZNS: herramienta informática para la adecuada evaluación de la bondad-de-ajuste con significación estadística. *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo. Vol X*, pp. 259 – 264.
- Ruiz, M., García, C. y Sayer, J. (2007). Los servicios ambientales de los bosques. *Ecosistemas 16, vol. (3)*, 81-90.
- Saxton, K. y Rawls, W. (2009). *Introducción al programa “Soil Water Characteristics”Hydraulic Properties Calculator*. Tutorial creado para la Maestría de Cuencas Hidrográficas de la Escuela de Bosques. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires. Argentina.
- Sistema Nacional de Información (SNI). (2014). Mapas de suelos.
- Sistema Nacional de Información (SNI). (2014). Criterios de clasificación de suelos.
- Socio Bosque. (2018). Resultados de Socio Bosque. Revisado el 15 de marzo del 2018 en: <http://sociobosque.ambiente.gob.ec/node/44>
- Valdivieso, J. (2005). Propuesta para la gestión integral del suelo no urbanizable del distrito metropolitano de Quito. Flacso. Quito, Ecuador.
- Valencia, R., Cerón, C., Palacios W. y Sierra, R. (1999). *Las Formaciones Naturales de la Sierra del Ecuador*. En: Sierra, R. (Ed.). Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/ GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador. pp. 79-108.
- Van Liew, M., Veith, T., Bosch, D. y Arnold, J. (2007). Suitability of SWAT for the Conservation effects assessment project: A comparison on USDA - ARS watersheds. *Journal of Hydrologic Engineering*, Reston, v.12, n.2, p.173 – 189.
- Wischmeier, W, Johnson, C. y Cross, B. (1971). Soil credibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation 26:189-193*.