



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO PITA:  
PERSPECTIVA CON EL MODELO DE PLANIFICACIÓN HÍDRICA

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en  
Prevención y Remediación

Profesor Guía  
MSc. Santiago Daniel Piedra Burgos

Autora  
Sthefani Dayana Tufiño Hinojosa

Año  
2019

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

“Declaro haber dirigido el trabajo, Comportamiento hidrológico de la cuenca del Río Pita: Perspectiva con el Modelo de Planificación Hídrica, tomando en cuenta parámetros hidrológicos y meteorológicos, utilizando la herramienta WEAP, a través de reuniones periódicas con la estudiante Sthefani Dayana Tufiño Hinojosa, en el semestre 201920, orientado a sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulen los Trabajo de Titulación”

---

Santiago Daniel Piedra Burgos  
Máster en Hidrociencias e Ingeniería  
C.I: 1715384150

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR**

“Declaro haber revisado este trabajo, Comportamiento hidrológico de la cuenca del Río Pita: Perspectiva con el Modelo de Planificación Hídrica, tomando en cuenta parámetros hidrológicos y meteorológicos, utilizando la herramienta WEAP, a través de reuniones periódicas con la estudiante Sthefani Dayana Tufiño Hinojosa, en el semestre 201920, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulen los Trabajo de Titulación”

---

Miguel Ángel Gualoto Oñate  
Máster de Ciencias en Biología  
C.I: 1707429351

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

---

Sthefani Dayana Tufiño Hinojosa

C.I: 1722903182



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme culminar una etapa más en mi vida, a mi hijo por ser mi motor fundamental, a mis padres por su confianza, a mis hermanos por su apoyo incondicional pero especialmente a mis ángeles del cielo por guiarme en cada paso.

A mi Universidad, a los docentes que me formaron en el transcurso de la carrera, a mi profesor guía y profesor corrector por su ayuda para la culminación de este trabajo de titulación.

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación pretende estudiar el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Pita con la aplicación del software de Planificación y Evaluación hídrica (WEAP) a través de la generación de modelo y la calibración del mismo, utilizando el método MABIA y considerando variables meteorológicas e hidrológicas.

Para una calibración más detallada de la cuenca del río Pita, se consideró las unidades hidrográficas que conforman la cuenca alta del Guayllabamba, obteniendo así 6 unidades hidrográficas para la realización del estudio, empezado por la parte alta donde se encuentra la unidad hidrográfica 15246 y terminando en la unidad 15249.

La calibración de cada uno de los parámetros que no pueden ser medidos físicamente fueron obtenidos en la simulación del modelo y se alcanzaron los resultados esperados, con un error cuadrático medio de 1.31 para la unidad hidrográfica 15248.

La modificación del uso y cobertura de suelo provocan la alteración de la calidad y cantidad del recurso hídrico. De acuerdo a la simulación realizada, los caudales máximos se presentaron en el mes de abril mientras que los caudales mínimos fueron en los meses de agosto, septiembre y octubre, dicho comportamiento también se dio en el acuífero y los afluentes de aguas subterráneas de la cuenca.

## **ABSTRACT**

The present study pretends studied the hydrological behavior of the Pita river basin with the application of the Water Planning and Evaluation (WEAP) software, through to the modeling generation and the calibration, using the MABIA method and considering meteorological and hydrological variables.

For a more detailed calibration of the Pita river basin, it considered the hydrographic units that make up the upper Guayllabamba basin, thus obtaining 6 hydrographic units for carrying out the study, starting at the high part where the 15246 hydrographic unit is located and ending at the unit 15249.

The calibration to each of parameters that can't be physically measured were obtained in the simulation of the model and the expected results were achieved, with an average square error of 1.31 for the hydrographic unit 15248.

The modification of the use and cover of soils causes the alteration of the quality and quantity of water resources. According to the simulation carried out, the highest streamflow was in the month of April, while the lowest streamflow was August, September and October, this behavior also occurs in the aquifer and the affluent to the groundwater of the basin.

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Alcance .....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Problemática .....	4
1.5 OBJETIVOS .....	7
1.5.1 Objetivo General .....	7
1.5.2 Objetivos específicos.....	7
2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1 Cuenca hidrográfica .....	7
2.2. Ciclo hidrológico.....	8
2.2.1 Etapas del ciclo hidrológico .....	8
2.2.2 El ciclo hidrológico y el humano.....	9
2.2.3 El ciclo hidrológico y el suelo .....	10
2.3 Modelo de planificación hídrica - WEAP .....	11
2.3.1 Método MABIA (Doble KC, diario, FAO 56) .....	11
2.3.1.1 Uso del suelo .....	12
2.3.1.2 Clima.....	14
2.4 SIG (Sistemas de información geográfica) .....	16
2.5 Error del modelo.....	16
3. METODOLOGÍA .....	17
3.1 Recopilación de datos.....	17
3.2 Tratamiento de datos .....	17
3.3 Delimitación de las cuencas (ArcMap) .....	18
3.4 Cálculo de Evapotranspiración .....	19
3.5 Aplicación del modelo (WEAP).....	19
3.6 Corridas y calibración del modelo.....	19

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	21
4.1 Ubicación geográfica .....	21
4.2 División hidrográfica.....	21
4.3 Delimitación de cuencas aledañas .....	21
4.4 Características generales de la Unidad hidrográfica 1524 - Cuenca alta del Guayllabamba.....	23
4.4.1 Textura del área de estudio .....	23
4.4.2 Uso de suelo del área de estudio.....	24
4.4.3 Climatología.....	25
4.4.3.1 Humedad relativa.....	25
4.4.3.2 Precipitación .....	26
5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO (WEAP) .....	26
5.1 Periodo modelado.....	26
5.2 Ingreso de datos .....	26
5.2.1 Variables climáticas .....	26
5.2.2 Red hidrográfica.....	27
5.3 Características de la cuenca .....	28
5.3.1 Uso de suelo en cuencas modeladas .....	28
5.3.2 Aguas subterráneas.....	33
5.3.2.1 Recarga inicial y capacidad de almacenamiento .....	33
5.3.2.2 Afluente de aguas subterráneas (mensual) .....	33
5.3.2.3 Afluente de aguas subterráneas (Anual).....	39
5.4 Calibración y análisis del modelamiento .....	43
5.4.1 Aguas subterráneas.....	43
5.4.2 Tasa máxima de infiltración .....	44
6. RESULTADOS .....	44
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	54
8.1 Conclusiones.....	54
8.2 Recomendaciones .....	55

REFERENCIAS .....	57
ANEXOS .....	64

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

WEAP (Water Evaluation and Planning System) fue creado por Jack Sieber en 1978 con el respaldo de Stockholm Environment Institute (SEI). Es una herramienta de última generación de enfoque integrado de hidrología de cuencas y planteamiento de recursos que funciona bajo el modelo de balance oferta-demanda que permite conocer la capacidad de manejo de escenarios como cambio climático, ejecución de obras, mejoras tecnológicas, etc (Geler, Mármol, Batista & Ribot, 2016).

Uno de los primeros estudios registrados por Stockholm Environment Institute - Boston Center a través de WEAP fue la simulación de la oferta y demanda de agua en la región del mar de Aral, debido a que las vertientes de los ríos Amu Daria y Sir Daria, habían perdido notablemente su cauce a consecuencia del uso del agua para actividades de riego en plantaciones de algodón, en dicho estudio realizaron la simulación de escenarios y evaluaron las estrategias para una buena gestión dado que WEAP maneja la oferta y demanda del agua de manera integral ( Raskin, Hansen & Zhu, 1989).

En el Municipio de Cuba, también emplearon el modelo de planificación, esto en la zona occidental de la República con el propósito de modelar el comportamiento temporal y espacial del agua que es empleada por el sector agrícola, tomando en cuenta cuatro diferentes escenarios de la variable de precipitación como fueron: año seco, año medio, año medio seco y año húmedo, cuyas unidades son mm/año y ubicando el alto porcentaje de demanda por parte de empresas arroceras, además del comportamiento que tienen las series de años anteriores (Hervis, López, Vargas & Rolón, 2018).

En Sudáfrica, en la cuenca del río Olifants, también utilizaron el modelo WEAP, debido a que en esta región el recurso hídrico se encuentra distribuido de manera en que se ocasionan pérdidas innecesarias en su utilización, en las diversas actividades que se practican día a día, es por ello que a través de la aplicación de WEAP evaluaron las ventajas y desventajas que posee la subcuenca de Steelpoort del río Olifants, analizaron los escenarios de comportamiento y las simulaciones para los diferentes tipos de clima. (Levite, Sally & Cour, 2003).

En la actualidad este software es utilizado por países como Rusia, India, Egipto, Estados Unidos, Ecuador, etc. Empezando por los responsables de planificación hidrológica, economistas, agrónomos, hasta los empleados públicos encargados de la planificación del recurso agua quienes haciendo uso del esquema de WEAP ayudan a comunidades en la delimitación física de zonas de estudio y a la correcta administración del recurso para un desarrollo sostenible. Después de que el sistema está diseñado, se pueden llevar a cabo la adquisición de los suministros para el recurso, implementar demandas y conocer el balance de agua en la zona de interés (Centro de Cambio Global - Universidad Católica de Chile & SEI, 2009).

EL SEI es una organización internacional sin fines de lucro que realiza investigaciones para la planificación de políticas acerca del ambiente y su desarrollo sostenible, relacionando la ciencia y la toma de decisiones con respecto al agua, el clima, el aire, la tierra y su uso incluyendo perspectivas sobre la economía, la gobernabilidad, la salud humana, etc (SEI, 2018).

La modelación hidrológica se ha hecho visible en los últimos 15 años con la llegada de la tecnología digital y la alta disponibilidad de información hidrometeorológica distribuida espacialmente (Vásquez, 2003; Rankinen, Karvonen & Butterfield, 2006).

La cuenca del Río Pita forma parte de una de las principales fuentes de captación del recurso hídrico de la cuenca del río Guayllabamba, porque contribuye



aproximadamente con el 40% de la demanda del líquido vital en el Distrito Metropolitano de Quito.

## **1.2 Alcance**

El presente trabajo de titulación está enfocado esencialmente en el estudio de la cuenca del río Pita, que tiene una extensión de 592.44 km<sup>2</sup> y las unidades hidrográficas que forman la cuenca alta del Guayllabamba. Los habitantes de estas zonas, realizan diferentes actividades productivas, que alteran las características físicas de la cuenca hidrográfica. El Río Pita es considerado una fuente primordial del recurso de agua para el DMQ donde es empleado para el consumo de los pobladores y para fines de uso agrícolas, ganaderos, etc.

Por esta razón, que se realizó la simulación del caudal a lo largo de la cuenca del río Pita, desde el nacimiento en los páramos occidentales del Sincholagua y Cotopaxi hasta la estación hidrológica del INAMHI H0148 GUAYLLABAMBA DJ PISQUE, utilizando el modelo WEAP, el mismo que ayuda a la planificación y evaluación del agua. Es importante mencionar que el área de estudio modelada, dependió de la calidad y cantidad de información que se adquirió, además que desde el punto de vista de administración política abarca los cantones Cayambe, Quito, Rumiñahui, Mejía y Pedro Moncayo.

## **1.3 Justificación**

En la actualidad, la distribución de agua no es la más óptima y se estima que para el año 2050 a nivel mundial, el 25% de la población se verá afectada por la limitación del recurso hídrico y la alteración de la calidad que generarán efectos en los medios de subsistencia, seguridad alimentaria, la generación de plazas de trabajo y la educación para las familias pobres en el mundo (Naciones Unidas, s.f.).

La GIRH (Gestión integrada de recursos hídricos) tiene como objetivo la gestión integral de los recursos hídricos, es así que, se entiende como un sistema que impulsa la administración y el desarrollo de la tierra, agua y recursos vinculados para aportar al límite la asistencia social y el resultado económico de manera equitativa sin causar daños a la sostenibilidad de los ecosistemas. La GIRH fomenta en sí una modificación de perspectiva en la gestión del recurso hídrico, esta promueve migrar de la desintegración a la fusión, de la explotación de los recursos a la conservación y a un manejo sin desperdicios, de la administración de la oferta a la de la demanda, del centralismo a la descentralización, de la utilización de infraestructuras a la gestión eficaz, del ensanchamiento de la cobertura de subsidios para el desarrollo del sector, al uso diverso para la reasignación del recurso y generación de ingresos (Martínez & Villarejo, 2018).

El estudio de la cuenca del río Pita, tiene como enfoque conocer el comportamiento hídrico y la influencia de los diferentes factores climáticos, a través de la simulación hidrológica aplicando el modelo WEAP, con el fin de conocer, el uso y manejo del agua es el adecuado, para esto se utilizó datos hidrometeorológicos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Además, se realizó el análisis de resultados de la modelación hídrica, mismos que contribuyeron en la toma de decisiones acerca de un mejor manejo y destino del recurso, para que la zona de estudio no se vea limitada de agua en los próximos años (SG-CAN, MAE, PRAA & FONAG, 2011).

La cuenca del río Pita, se tomó como área de estudio, debido a que, a más de ser una importante fuente de agua para Quito, su población crece anualmente a una tasa del 1.31% según las estadísticas del año 2017 de la CIA (Agencia Central de Inteligencia), y se estima que para el 2025 a nivel local, el abastecimiento de agua disminuirá como resultado de la pérdida de caudales y la calidad de páramos (MAE, SG-CAN & PRAA, 2012).

#### **1.4 Problemática**

El agua es un recurso natural fundamental para la reproducción y sostenimiento de la vida en el planeta, sin embargo, el abastecimiento de agua de calidad para las poblaciones es uno de los más grandes y serios problemas que enfrenta el mundo entero. La industrialización, el crecimiento demográfico y la urbanización están provocando el agotamiento y la contaminación de aguas de manera irreversible. Por otra parte, el deshielo de los nevados, como resultado del cambio climático mundial, está causando la reducción de agua para el riego y consumo en nuestro país. Por lo tanto, es indispensable aportar en la generación de políticas de manejo del recurso hídrico por medio de la planificación estratégica frente a los nuevos desafíos que enfrenta la sociedad (Martínez & Villarejo, 2018). Es importante recalcar que mientras la población incrementa, la economía crece y por ende es mayor la demanda de agua, ejerciendo mayor presión sobre los recursos hídricos.

Los páramos son ecosistemas que están conformados por vegetación, suelo y características climatológicas únicas, y son considerados la más grande fuente hídrica en el Ecuador. Estos ecosistemas se encuentran en las cimas de algunas regiones tropicales de Asia, Oceanía, África, Centro y Sudamérica. En América latina se distribuyen en países como Colombia, Venezuela, Ecuador y las montañas de Costa Rica en un rango de 3200-3300 y 4700-4800 m.s.n.m (Sánchez & Santiesteban, 2004). Los ecosistemas alto andinos, ofrecen servicios ambientales que mantienen el estilo de vida de miles de personas. Los principales servicios ambientales son la regulación de caudales y la generación de agua en condiciones óptimas (Buytaert, 2004), no obstante, pese a su importancia, la relación entre la hidrología y los ecosistemas acuáticos de las cuencas de los Andes se tiene muy poca información con respecto a la realidad, en consecuencia, esto influye en la sostenibilidad de los recursos hídricos, ya que no se dispone de una valoración real con respecto a la salud de ecosistemas incorporando el nivel de daños antropogénicos. (Buytaert y col., 2006; Célleri y Feyen, 2009).

Por ello, que frente a la creciente demanda de la humanidad, es esencial emprender con estudios, que permitan entender la intercomunicación de la hidrología de páramos, con el clima, su capacidad para producir agua, que es el resultado del tipo de cobertura vegetal, además de la reacción de los ecosistemas alto andinos frente al cambio climático.

En este ámbito, la simulación está dirigida a desempeñar un papel fundamental, ya que puede constituirse en un instrumento muy beneficioso para la gestión de recursos hídricos (Vásquez, 2010). La simulación hidrológica es una técnica basada en la modelación física de sistemas mediante modelos establecidos en funciones matemáticas conceptuales y empíricas, que facilitan simular el caudal disponible producido en base a datos hidrometeorológicos de la cuenca de estudio, estos modelos simulan la correlación entre las características meteorológicas y la escorrentía de una cuenca (Ocampo & Vélez, 2014).

Los sistemas de abastecimiento de agua potable que ofrecen a más del 70% de la población del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) son: el Pita, Papallacta, El Placer y La Mica-Quito Sur; sin embargo, la principal debilidad de este sistema consiste en la necesidad de fuentes de abastecimiento cada vez más lejanas y extra-distritales. Actualmente, las fuentes del recurso hídrico del DMQ se originan en las cuencas de los páramos de los volcanes Cotopaxi y Antisana (GADS, 2014). El río Pita aporta con el 38% de agua potable para el sur y centro de Quito con un caudal de 1.6 m<sup>3</sup>/s por medio del Sistema Pita-Puengasí y es el segundo sistema más importante de producción de agua para el DMQ después del sistema de Papallacta, por ende, se requieren producir investigaciones que aporten a un conocimiento mucho más profundo del funcionamiento del sistema hidrológico y la disponibilidad del recurso agua.

La cuenca del río Pita pertenece a la cuenca del río Esmeraldas y a la cuenca alta del río Guayllabamba, conforma una fuente y reserva de agua fundamental tanto para los ecosistemas, flora y fauna desde la parte alta hasta la parte más baja; así también como para las poblaciones de su alrededor. Las actividades

antrópicas como la degradación del suelo, la expansión de la frontera agrícola, la quema de páramos, la deforestación, la pesca y caza, provocan fuertes efectos sobre la calidad y disponibilidad del agua, aumentando la presión sobre el recurso hídrico y sobre los recursos naturales en general, lo que produce, problemas ambientales y posibles conflictos de quienes habitan cerca de la cuenca y de las autoridades e instituciones competentes (FONAG – FFLA, 2012). El área de drenaje del río Pita, es la cuenca del río Pita, desde donde inicia hasta su unión con el río San Pedro. La mayor parte del caudal del río Pita proviene de las quebradas Hualpaloma y Mudadero que en su confluencia forman el río Pita. (MAE, SG-CAN & PRAA, 2012).

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

Determinar el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Pita.

### **1.5.2 Objetivos específicos.**

Determinar la influencia de procesos climáticos en la variación de caudales en los diferentes puntos de la cuenca del Río Pita con la aplicación del modelo WEAP.

Calibrar el modelo y analizar la variación estadística entre los datos proporcionados por el INAMHI y los resultados simulados.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Cuenca hidrográfica**

La cuenca hidrográfica es un espacio de terreno acotado por la zona más alta de las montañas, colinas y laderas donde se desarrolla su sistema de drenaje externo, que consolida las aguas en un cauce principal; mismo que desemboca

en el mar, lagos y ríos. En las cuencas hidrográficas se pueden encontrar recursos naturales como son agua, suelo y vegetación, en donde habita el ser humano para realizar sus actividades del diario vivir (Faustino & Jiménez, 2000).

## 2.2. Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es un proceso en donde las masas de agua varían de su condición y posición perteneciente en el planeta. Es un proceso constante en el que una molécula de agua detalla un ciclo cerrado atravesando por diferentes estados de agregación de la materia diversos (Campos, 1998).

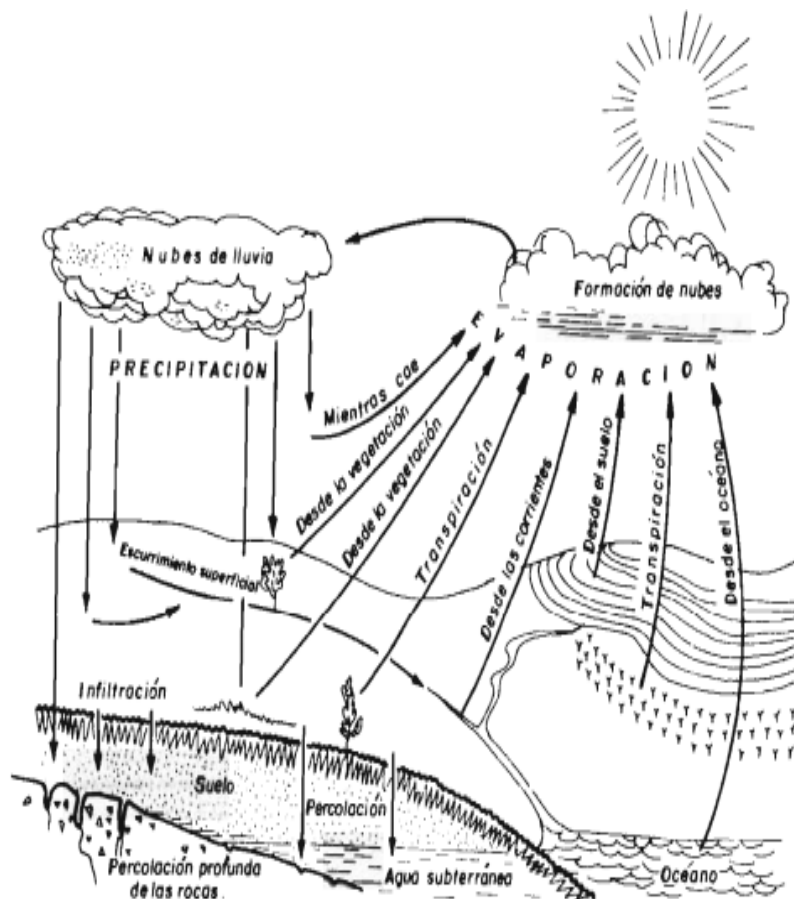


Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico  
Tomado de: Campos, 1998.

### 2.2.1 Etapas del ciclo hidrológico

Precipitación: se conoce como precipitación a la caída del agua que llega a la superficie de la tierra de forma líquida (lluvia, llovizna, etc.) como sólida (granizo, nieve, etc.) y las precipitaciones ocultas (helada blanca, rocío, etc.), estas son el resultado del cambio de temperatura o presión. La precipitación forma la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001).

Evaporación: Se denomina evaporación al proceso en el cual cambia el estado de agua de líquido a un estado gaseoso, esto puede ocurrir solamente cuando el agua se encuentra disponible, además se necesita que la humedad de la atmósfera sea menor que la de la superficie de evaporación (GWP, 2011).

Condensación: Se define condensación al cambio de estado de la materia de vapor a líquido a causa del enfriamiento (GWP, 2011).

Intercepción: Se define a una parte de la precipitación que es impedida el paso por objetos superficiales como es la cubierta vegetal, es decir parte del agua interceptada no alcanza al suelo debido a que se adhiere y humedece estos objetos y se evapora (GWP, 2011).

Escorrentía superficial: Se denomina escorrentía superficial a la porción de lluvia que no se infiltra, evapora o intercepta y que puede fluir por encima de las laderas (GWP, 2011).

### **2.2.2 El ciclo hidrológico y el humano**

Conforme a las propiedades geográficas de las diferentes regiones del mundo, se presentan fenómenos naturales vinculados con el ciclo del agua como los ciclones, corrientes marinas, incendios y periodos de sequía. En cierto momento estos fenómenos se convierten en problemas para las personas afectando a la disponibilidad del recurso y a las actividades cotidianas. En la actualidad, el aumento de las actividades humanas ha cambiado de forma importante los ecosistemas y por consiguiente el ciclo hidrológico, lo que da como consecuencia

una sucesión de problemas que se presentará a continuación: la extinción de cobertura vegetal en bosques y selvas debido a la presencia de incendios y la práctica de tala desmedida, ha causado alteraciones en el ciclo del agua ya que al no tener la presencia de plantas el líquido vital se pierde por el escurrimiento; lo que ocasiona la erosión y reducción en la filtración del mismo hacia el suelo. Por otro lado, la evapotranspiración no ocurre sin vegetación por lo que se reduce la humedad en la atmósfera y así la presencia de lluvias es poco probable. También el transporte y las actividades industriales provocan excesivas cantidades de gases que producen el efecto invernadero. Se ha determinado que la acumulación de gases se encuentra relacionada con el aumento de la temperatura en el planeta que altera la circulación del recurso en los ecosistemas. Como consecuencias se tiene que en un futuro aumentará la temperatura en los mares, océanos y otros cuerpos superficiales de agua lo que conllevará al aumento de la degradación de materiales orgánicos y la disminución de la solubilidad del oxígeno (González, s.f.).

Otro de los problemas como la lluvia ácida es a causa de la combustión de diésel, gasolina y otras sustancias con el vapor de agua, sus efectos se pueden visualizar en la degradación de edificios construidos de granito y mármol y por otra parte causa efectos negativos en los animales y plantas debido a que sus condiciones iniciales físico químicas son alteradas y esto causa su muerte en ocasiones. Cabe recalcar que un alto porcentaje de las actividades humanas que tienen el propósito de generar beneficios originan alteraciones y cambios en el ambiente, es por ello que es importante buscar opciones para conseguir un mejor y adecuado aprovechamiento del agua sin afectar su ciclo originario (González, s.f.).

### **2.2.3 El ciclo hidrológico y el suelo**

El suelo filtra y almacena el recurso agua con el fin de brindar una mejor salud alimentaria y la resiliencia a las sequías e inundaciones, así mismo desempeñan un papel muy importante en el abastecimiento de agua pura. El proceso de



infiltración del agua por medio del suelo retiene contaminantes y no permite que estos se filtren en el agua freática. También, el suelo guarda el agua con el propósito que los cultivos puedan absorberla para de esta manera maximizar la eficacia y rendimiento además de reducir al mínimo la zona de evaporación (FAO, 2015).

El balance entre el agua de escorrentía y el agua infiltrada es un parámetro fundamental del ciclo hidrológico debido a que esta relación define la cantidad de agua lluvia que regresa a la atmósfera por medio de la evapotranspiración y la que pasa a ser parte de las aguas superficiales (Artieda, 20018).

### **2.3 Modelo de planificación hídrica - WEAP**

WEAP que sus siglas traducidas al español quieren decir Sistema de Evaluación y Planificación del agua tiene la habilidad de simular procesos como recarga de aguas subterráneas, flujo base, lluvia, escorrentía entre otros, también puede realizar análisis sectoriales de derechos del recurso, producción hidroeléctrica, operaciones de embalses, seguimiento de contaminantes, calidad del agua, evaluación de vulnerabilidad, protección y preservación de ecosistemas, además de contar con un análisis financiero que realiza comparaciones de costo-beneficio en diversos proyectos y tiene una múltiple audiencia que depende de la clase de interacción (Geler, Mármol, Batista & Ribot, 2016).

#### **2.3.1 Método MABIA (Doble KC, diario, FAO 56)**

El Método MABIA es la simulación diaria de evaporación, transpiración, rendimiento y crecimiento de cultivos, etc. Permite estimar la capacidad de agua en el suelo, la evapotranspiración de referencia y la necesidad de riego. Este método fue desarrollado por el Dr. Ali Sahli y Mohamed Jabloun en el Instituto Nacional Agronómico de Túnez, los algoritmos que utiliza para el cálculo de variables son de la combinación entre MABIA Y WEAP (SEI, 2017).

### **2.3.1.1 Uso del suelo**

#### **2.1.1.1.1 Área**

Es la superficie plana de tierra para la subcuenca, también se puede utilizar la delineación de cuencas automáticas y de esta manera se calcula el área de captación (SEI, 2017).

#### **2.1.1.1.2 Cultivos**

Las ramas de captación simbolizan en donde se plantan los cultivos cada año, puede ser uno o varios. Para cada rama se debe especificar qué cultivo se siembra y cuando es su fecha de plantación, esto se debe realizar por medio de la Biblioteca de cultivos del programa.

#### **2.1.1.1.3 Espesor de la capa**

Es la profundidad de la capa superficial sometida a secado por evaporación (SEI, 2017).

#### **2.1.1.1.4 Espesor total del suelo**

Es la profundidad combinada del balde uno y dos, siendo la profundidad del balde uno la profundidad de enraizamiento de los cultivos, mientras la profundidad del balde dos es el espesor total del suelo. Solo se ocupa si se usan los dos baldes para el cálculo del balance de agua MABIA (SEI, 2017).

#### **2.1.1.1.5 Capacidad de agua de suelo**

La capacidad de agua disponible, es la capacidad del campo menos el punto de marchitez (SEI, 2017).

#### **2.1.1.1.6 Tasa máxima de infiltración**

Es la cantidad de agua que puede infiltrarse en el suelo en el período de 24 horas y variará de acuerdo a la intensidad de la lluvia, la pendiente y tipo de suelo. (SEI, 2017).

#### **2.1.1.1.7 Tasa máxima de percolación**

Es la cantidad de agua que puede filtrarse del suelo al agua subterránea (GW) en el período de 24 horas, esto limitará la recarga directa a las aguas subterráneas de una precipitación ineficaz o un riego ineficiente (SEI, 2017).

#### **2.1.1.1.8 Precipitación efectiva**

Es el porcentaje de precipitación disponible para la evapotranspiración. El resto es recarga directa al agua subterránea o escorrentía directa, excepto que se encuentre limitado por la tasa máxima de Percolación (SEI, 2017).

#### **2.1.1.1.9 Fracción cubierta**

Es la fracción efectiva de la superficie del suelo cubierta por la vegetación (SEI, 2017).

#### **2.1.1.1.10 Recarga directa al agua subterránea**

Es la precipitación no disponible para la evapotranspiración (100% - Precipitación efectiva), el porcentaje que va directamente a la recarga de agua subterránea excepto que se encuentre limitado por la tasa máxima de percolación máxima, lo demás va directamente a la escorrentía superficial (SEI, 2017).

#### **2.1.1.1.11 Agotamiento inicial del almacenamiento Balde 1**

Es el valor inicial del agotamiento de la humedad en el suelo. La capacidad de campo corresponde al agotamiento cero. La capacidad de agua disponible es el agotamiento máximo (SEI, 2017).

#### **2.1.1.1.12 Agotamiento inicial del almacenamiento Balde 2**

Es el valor inicial del agotamiento de la humedad del suelo para el menor de dos baldes. La capacidad de campo corresponde al agotamiento cero. La capacidad de agua disponible es el agotamiento máximo. Sólo se emplea si se utiliza dos cubos para el cálculo del balance de agua Mabilia (SEI, 2017).

### **2.3.1.2 Clima**

#### **2.3.1.2.1 Precipitación**

Son las lluvias que se producen en una zona durante todo el año (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.2 Evapotranspiración de referencia**

Es la transpiración de las plantas, la evaporación del suelo y agua; y se denota como  $E_{to}$  (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.3 Temperatura mínima**

Es la temperatura mínima diaria (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.4 Temperatura máxima**

Es la temperatura máxima diaria (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.5 Latitud**

Es la distancia que existe desde un punto de superficie (estación de medición del clima) hasta el paralelo de cada país (SEI, 2017)

#### **2.3.1.2.6 Humedad mínima**

Es la humedad relativa mínima diaria, se emplea para calcular  $K_{cb}$  (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.7 Humedad máxima**

Es la humedad relativa máxima diaria (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.8 Humedad promedio**

Es la humedad relativa media diaria (SEI, 2017)

#### **2.3.1.2.9 Viento**

Es la velocidad media diaria del viento (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.10 Altura de mediación de velocidad del viento**

En esta variable se puede realizar un ajuste si se conoce la altura, para el cálculo de la evapotranspiración, se requiere una velocidad del viento medida a 2 m sobre la superficie. (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.11 Altitud**

Es la distancia vertical que existe entre el punto de una superficie (estación de medición del clima) con respecto al nivel del mar (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.12 Radiación solar**

Es la radiación solar diaria (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.13 Horas de brillo solar**

Es el número de horas sin nubes en el día (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.14 Fracción de Nubosidad**

Es la fracción de horas sin nubes en el día (SEI, 2017).

#### **2.3.1.2.15 Krs**

Es el coeficiente de ajuste para la fórmula de radiación de Hargreaves, es recomendable utilizar 0.19 para zonas costeras y 0.162 para zonas del interior (SEI, 2017).

### **2.4 SIG (Sistemas de información geográfica)**

Los sistemas de información geográfica son un conjunto de software, hardware y datos geográficos elaborados para almacenar, capturar, manipular, desplegar y analizar en todo su aspecto la información geográficamente referenciada con el propósito de solucionar problemas complejos en relación con los procesos de gestión y planificación. Un SIG funciona como una base de datos con información exclusivamente geográfica que está relacionada por un identificador común con objetos gráficos de un mapa digital. Los SIG simbolizan objetos incorporando los árboles, coberturas y usos de suelo, ríos, aguas, lagos, carreteras y elevaciones a través de datos digitales guardados en formato vectorial o de tipo ráster (Santovenia, Tarragó & Cañedo, 2009).

### **2.5 Error del modelo**

Permite observar la diferencia que existe entre las variables observadas (en este caso datos tomados por el INAMHI) y las variables medidas (Li, Ma, & Li, 2000).

### **3. METODOLOGÍA**

Como desarrollo de metodología para este estudio se dividirá en varias fases las mismas que serán:

#### **3.1 Recopilación de datos**

Para el cumplimiento de esta fase, se solicitó la información a una Institución del Estado como lo es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de las estaciones Meteorológicas e Hidrológicas que están dentro del área de estudio, con el fin de obtener un rango de datos mínimo de 10 años, se requirió estos datos y el rango de 10 años para que la calibración del modelo sea veraz y confiable. Las variables que se emplearon fueron precipitación, humedad relativa, humedad máxima, humedad mínima, temperatura máxima, temperatura mínima, caudales medios, latitud, altitud y la evapotranspiración de referencia de las estaciones correspondientes. Es importante mencionar que se tomó estaciones que se encuentren dentro de las unidades hidrográficas y en caso de no tener datos disponibles para todas, se tomaron los datos de las estaciones más cercanas a las mismas.

#### **3.2 Tratamiento de datos**

Después de la recopilación de datos, se realizó el tratamiento de los mismos, es decir se colocó en formato de archivo de valores separados por coma (.csv), que es compatible para la lectura de datos de WEAP, esto se realizó tanto con los datos meteorológicos como con los hidrológicos. Seguidamente se ingresaron los datos en columnas de manera cronológica, antecediendo el año, mes y tipo de variable a la que corresponden (Calispa, 2010).

Además, se realizó un tratamiento a las series de datos que no fueron continuos y se modelaron con el objetivo de evitar dificultades por la ausencia de los mismos, esto se hizo por el método de curva de doble masa teniendo como punto

de referencia las estaciones que dispongan datos de períodos completos y que se encuentren cerca de la estación a estudiar. (Lema Changoluisa & Plaza Quezada, 2009). Dicho método es el más utilizado en hidrología, constata la homogeneidad de datos y también verifica que no existan anomalías en los períodos de datos que se empleen (Monsalve, 2009).

### **3.3 Delimitación de las cuencas (ArcMap)**

Para esta fase se utilizó una imagen con formato TIFF que fue descargada de la página de la EARTHDATA - NASA, después se necesitó el programa ArcMap que permitió a través la imagen delimitar las cuencas y administrar datos geográficos etc.

Para la delimitación de las cuencas, se configuró en el sistema de georreferencia correcto, en este caso WGS 84 / UTM ZONE 17 S, para cada una de las delimitaciones de las cuencas el punto de salida fue tomado de la ubicación geográfica de las estaciones del INAMHI. Seguidamente con las herramientas que ofrece el programa se delimitó las cuencas.

La primera herramienta que se empleó fue “relleno”, que utiliza los equivalentes de varias herramientas como son dirección del flujo, flujo focalizado, cuenca hidrográfica y relleno zonal, para ubicar y rellenar sumideros. Luego se utilizó “dirección del flujo” esta herramienta tomó una superficie como entrada y proporcionó como salida un ráster que muestra la dirección del flujo que sale de cada celda. Posteriormente se usó la herramienta “cuenca”, que permitió crear un ráster que delineó todas las cuencas de drenaje y una vez corrida esta herramienta se abrió el “catálogo”, herramienta que ayudó a crear el punto de salida y permitió observar donde nace las cuencas de estudio. Después de crear el punto de salida se empleó la herramienta de “cuenca”, que permitió definir el área de la cuenca de estudio; es decir la cuenca río Pita y las cuencas cercanas, y finalmente se convirtió la imagen a polígono y se exportó a WEAP (ArcGIS Desktop, 2018).



### 3.4 Cálculo de Evapotranspiración

Fue calculada empleando la ecuación de Hargreaves & Samani de 1985

$$ET_0 = 0.0023 (t_{med} + 17.78) R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$ET_0$  es la evapotranspiración potencial diaria en mm/día

$t_{med}$  es la temperatura media en °C

$R_0$  es la radiación solar extraterrestre en mm/día (tabulada)

$t_{max}$  es la temperatura diaria máxima

$t_{min}$  es la temperatura diaria mínima

### 3.5 Aplicación del modelo (WEAP)

En el desarrollo del modelo se construyó el esquema, para lo cual se realizó la entrada de datos y las corridas iniciales del modelo, para observar su comportamiento preliminar y para eliminar posibles inconsistencias y errores (Centro de Cambio Global- UC & SEI, 2009).

### 3.6 Corridas y calibración del modelo

La calibración del modelo se evaluó por el coeficiente de determinación que fue interpretado por la proporción de la varianza representada por los valores obtenidos con relación a los valores observados. Este coeficiente variará en un rango entre 0 y 1, es decir entre más cercano sea a uno hay una mejor correlación de los datos históricos con la simulación. La calibración se realizó manualmente, con el fin de que los datos calculados con el modelo sigan el comportamiento de los datos de caudales proporcionados por el INAMHI, esto con el propósito de conseguir un conjunto de parámetros hidrológicos y operaciones que faciliten obtener una representación de los caudales simulados

y observados de hace 9 años atrás de la forma más cercana posible. Para esto, fue necesario realizar comparaciones de las series de datos de caudales brindadas por el INAMHI y las simuladas en el modelo, ya que de esta manera se pudo relacionar los datos. Finalmente, en base a estas comparaciones se realizó medidas estadísticas con el fin de evaluar la exactitud del modelo y así ajustar los parámetros hasta conseguir la más viable respuesta de dichas medidas estadísticas (Lema & Plaza, 2009).

La variabilidad que exista entre los datos del INAMHI y la simulación fue desarrollada por la metodología de RMSD de WEAP, en este criterio se utiliza los valores logarítmicos del caudal histórico y del caudal simulado, como resultado la influencia de caudales bajos incrementa los errores y hace más sensible a la medida del criterio estadístico (Molnar, 2011). A continuación, se presenta la ecuación del coeficiente:

$$RMSD = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{abs(L_{obs(i)} - L_{mod(i)})}{L_{obs(i)}}}{\sum_{i=1}^N \frac{abs(L_{obs(i)} - L_{mod(i)})}{L_{obs(i)}}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

*L<sub>obs</sub>* son los valores observados

*L<sub>mod</sub>* son los valores modificados

La relación entre los datos de caudal modelado y observado se hizo con el coeficiente de correlación de Pearson que analiza dos valores y estos deben variar de -1 a +1 siendo 1 una correlación perfecta (Akoglu, 2018).

La fórmula del coeficiente de correlación es:

$$R^2 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \left( \frac{L_{obs(i)} - L_{obs(i)}}{L_{obs(i)}} \right) * \left( \frac{L_{mod(i)} - L_{mod(i)}}{L_{mod(i)}} \right) \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{L_{obs(i)} - L_{obs(i)}}{L_{obs(i)}} \right)^2 * \sum_{i=1}^n \left( \frac{L_{mod(i)} - L_{mod(i)}}{L_{mod(i)}} \right)^2} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$L_{obs}$  son los valores observados

$L_{mod}$  son los valores modelados

## 4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 4.1 Ubicación geográfica

La cuenca del río Pita es parte de la cuenca alta del Guayllabamba, se encuentra en la Cordillera Oriental de los Andes Ecuatorianos, aproximadamente a 40 Km al sur este de Quito (Pichincha); sus coordenadas UTM son en la zona 17 sur, al norte 9955340.48, al sur 9924740.48, al este 808078.518 y al oeste 777631.518. Su ubicación política administrativa está compartida por los cantones Mejía y Quito de las parroquias Machachi y Pintag respectivamente (FONAG – FFLA, 2012).

### 4.2 División hidrográfica

Las cuencas, microcuencas y subcuencas del Ecuador se encuentran divididas en 5 niveles (SENAGUA, 2009). En la zona de estudio se encuentra la presencia de afluentes hídricos como el Machángara, Pisque, San Pedro, Coyago, Guambi, Santiago, Chiche y Pita. (SENAGUA, SG-CAN & UICN, 2009)

### 4.3 Delimitación de cuencas aledañas

La delimitación de la cuenca del río Pita es parte de la Unidad Hidrográfica 152 Cuenca del Río Esmeraldas y de acuerdo a la decodificación del SENAGUA, SG-CAN y UICN se divide en subcuencas que se presentan en la Tabla 1 a continuación:

Tabla 1.

*División hidrográfica por niveles:*

<b>Niveles y unidades hidrográficas</b>	<b>Cuencas</b>
Nivel 3: 152	Cuenca del río Esmeraldas
Nivel 4: 1524	Cuenca del río Guayllabamba
Nivel 5: <div data-bbox="240 808 740 898" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">15246</div> <div data-bbox="240 949 740 1039" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">15247</div> <div data-bbox="240 1090 740 1180" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">15248</div> <div data-bbox="240 1232 740 1321" style="border: 1px solid black; padding: 5px;">15249</div>	<div data-bbox="791 808 1329 898" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Cuenca río Pisque</div> <div data-bbox="791 949 1329 1039" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Cuenca Guayllabamba alto</div> <div data-bbox="791 1090 1329 1180" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">Cuenca río Pita</div> <div data-bbox="791 1232 1329 1321" style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Cuenca río San Pedro</div>

Adaptado de: SENAGUA &amp; IGM, 2014

Es importante mencionar que en el presente trabajo de las 4 unidades hidrográficas de nivel 5 se delimitaron 6 para un mejor estudio, es decir de la unidad hidrográfica 15247 del Guayllabamba alto se la dividió en tres unidades hidrográficas y se les dio el nombre que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.

*División de la unidad hidrográfica 15247 (Cuenca Guayllabamba alto) de nivel 5 a subunidades hidrográficas:*

<b>Subunidades hidrográficas</b>	<b>Cuencas</b>
15247_1	Cuenca Unión del río Santiago, Coyago y Guambi
15247_2	Cuenca del río Chiche
15247_3	Cuenca de río Machángara

#### **4.4 Características generales de la Unidad hidrográfica 1524 - Cuenca alta del Guayllabamba**

La cuenca del río Guayllabamba se encuentra localizada en la provincia de Pichincha, al norte de la región Sierra del Ecuador y está conformada por los cantones Pedro Moncayo, Cayambe, Distrito Metropolitano de Quito, Rumiñahui y Mejía, tiene como subcuencas a la cuenca alta del río Guayllabamba, que está constituida por la microcuenca del Pita, Pisque, San pedro y Guayllabamba alto (IGM, 2014).

##### **4.4.1 Textura del área de estudio**

La clase textural que predomina en cada unidad hidrográfica de interés de acuerdo al USDA, se ve, en el cuadro 4 del documento de textura de la FAO del año 2018 es:

Tabla 3.

*Clasificación según el tamaño y textura del área de estudio:*

<b>Unidades hidrográficas</b>	<b>Tamaño y textura</b>	<b>Porosidad</b>
15246	Textura mediana - franco arenoso	0.23-0.52
15247_1	Textura mediana - franco arenoso	0.23-0.52
15247_2	Textura mediana - franco arenoso	0.23-0.52
15247_3	Moderadamente gruesa - franco arenoso	0.50-0.70
15248	Textura mediana - franco arenoso	0.23-0.52
15249	Moderadamente gruesa - franco arenoso	0.50-0.70

Adaptado de: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2014.

#### **4.4.2 Uso de suelo del área de estudio**

Las unidades hidrográficas que conforman la zona de estudio de la cuenca alta del río Guayllabamba tiene una totalidad de 3857.70 km<sup>2</sup>, área que se divide en diferentes usos de suelo como se muestra a continuación en la tabla 4:

Tabla 4.

*Uso de suelo de la zona estudiada de cuenca alta del Guayllabamba*

<b>Uso de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje de uso</b>
Área poblada	429.18	11.13
Bosque nativo	33.57	0.87
Cuerpo de agua	6.37	0.17
Cultivos	212.40	5.51
Infraestructura antrópica	37.91	0.98
Mosaico agropecuario	182.98	4.74
Páramo	1218.68	31.59
Pastizales	929.42	24.09
Patrimonio natural	10.59	0.27
Plantaciones forestales	226.68	5.88
Sin cobertura	92.01	2.38
Vegetación arbustiva	336.56	8.72
Vegetación herbácea	141.35	3.66
<b>TOTAL</b>	<b>3857.70</b>	<b>100</b>

Adaptado de: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2014.

#### **4.4.3 Climatología**

##### **4.4.3.1 Humedad relativa**

La zona de estudio de la cuenca alta del Guayllabamba tiene una humedad máxima de 97.82%, una media de 77.04% y mínima de 40.18% (FONAG, 2009).

#### **4.4.3.2 Precipitación**

De acuerdo al Plan de manejo integrado de los recursos hídricos en la cuenca alta del río Guayllabamba, la zona de interés posee una precipitación máxima de 83.77 mm/mes.

#### **4.4.3.3 Temperatura**

La temperatura que posee la zona de estudio en cuanto a temperatura máxima es de 22.10 °C y una mínima de 9.29 °C (FONAG, 2009)

### **5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO (WEAP)**

El modelo WEAP es un modelo de tipo conceptual basado principalmente en las observaciones realizadas en la cuenca y compuesto a través de ecuaciones, ya que algunas variables que requiere el modelo como a la entrada de datos son inviábiles de ser tomados físicamente y deben ser validados a través de calibraciones

#### **5.1 Periodo modelado**

De acuerdo a la disponibilidad que se tuvo de los datos hidrológicos y meteorológicos, el periodo de modelación es de 9 años, para esta investigación se tomó desde el año 2004 hasta el 2013

#### **5.2 Ingreso de datos**

##### **5.2.1 Variables climáticas**



Las variables climáticas ingresadas en el modelo fueron series de datos de precipitación, humedad relativa, humedad máxima, humedad mínima, temperatura máxima, temperatura mínima y caudales medios, estas series de datos proporcionados por el INAMHI, además de la latitud, altitud que se transformó las coordenadas de las estaciones y la evapotranspiración de referencia, que se calculó con la fórmula de Hargreaves. En la Tabla 5 se indica que estaciones tanto meteorológicas como hidrológicas fueron tomadas para cada unidad hidrográfica.

Tabla 5

*Estaciones meteorológicas e hidrológicas empleadas en al área de estudio en WEAP.*

<b>Unidad hidrológica</b>	<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Elevación (m.s.n.m)</b>
15246	M0009	LA VICTORIA INERHI	0G 3' 36" S	78G 12' 2" W	2262
15247_1	M0009	LA VICTORIA INERHI	0G 3' 36" S	78G 12' 2" W	2262
15247_2	M0002	LA TOLA	0G 13' 46" S	78G 22' 0" W	2480
15247_3	M0024	QUITO INAMHI- INNAQUITO	0G 10' 0" S	78G 29' 0" W	2789
15248	M0002	LA TOLA	0G 13' 46" S	78G 22' 0" W	2480
15249	M0003	IZOBAMBA	0G 22' 0" S	78G 33' 0" W	3058
	H0148	GUAYLLABAMBA DJ PISQUE	0G 0' 48" N	78G 24' 18" W	1690

Adaptado de: INAMHI, 2015.

### 5.2.2 Red hidrográfica

El río que fue generado en ArcMap, se ingresó a WEAP, para utilizarlo como referencia al río que se dibujó en el área de estudio; de esta manera el perfil del río fue mucho más preciso.

### 5.3 Características de la cuenca

#### 5.3.1 Uso de suelo en cuencas modeladas

La cobertura y uso de suelo de las unidades hidrográficas fueron ingresadas con su respectiva área y porcentaje al programa (ver Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11)

Tabla 6

*Uso y cobertura de la unidad hidrográfica 15246 - Pisque 1135.09 km<sup>2</sup>.*

<b>Uso y cobertura de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Área poblada	26.84	2.36
Bosque nativo	12.02	1.06
Cuerpo de agua	1.51	0.13
Cultivos	110.52	9.74
Infraestructura antrópica	6.39	0.56
Mosaico agropecuario	80.27	7.07
Páramo	416.97	36.73
Pastizales	243.00	21.41
Patrimonio natural	0	0
Plantaciones forestales	80.98	7.13

Sin cobertura	13.36	1.18
Vegetación arbustiva	88.54	7.80
Vegetación herbácea	54.71	4.82

Tabla 7

*Uso y cobertura de suelo de la unidad hidrográfica 15247\_1 - Coyago, Santiago y Guambi 453.75 km<sup>2</sup>.*

<b>Uso y cobertura de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Área poblada	16.42	3.62
Bosque nativo	1.47	0.32
Cuerpo de agua	1.53	0.34
Cultivos	37.42	8.25
Infraestructura antrópica	10.01	2.21
Mosaico agropecuario	33.66	7.42
Páramo	142.46	31.40
Pastizales	111.69	24.61
Patrimonio natural	0	0
Plantaciones forestales	18.44	4.06
Sin cobertura	0.84	0.19
Vegetación arbustiva	75.70	16.68
Vegetación herbácea	4.10	0.98

Tabla 8.

*Uso y cobertura de suelo de la unidad hidrográfica 15247\_2 - Chiche 400 km<sup>2</sup>.*

<b>Uso y cobertura de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Área poblada	16.44	4.10
Bosque nativo	0	0
Cuerpo de agua	0.32	0.08
Cultivos	9.69	2.42
Infraestructura antrópica	3.57	0.89
Mosaico agropecuario	21.09	5.26
Páramo	139.57	34.82
Pastizales	113.18	28.26
Patrimonio natural	10.59	2.64
Plantaciones forestales	27.84	6.95
Sin cobertura	4.70	1.17
Vegetación arbustiva	50.65	12.63
Vegetación herbácea	3.12	0.78

Tabla 9.

*Uso y cobertura de suelo de la unidad hidrográfica 15247\_3 - Machángara 225.60 km<sup>2</sup>.*

<b>Uso y cobertura de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
---------------------------------	------------------------------	-----------------------

Área poblada	143.80	63.74
Bosque nativo	0.09	0.04
Cuerpo de agua	0.42	0.19
Cultivos	0.41	0.18
Infraestructura antrópica	0.98	0.43
Mosaico agropecuario	2.59	1.15
Páramo	18.75	8.31
Pastizales	24.84	11.01
Patrimonio natural	0	0
Plantaciones forestales	19.82	8.78
Sin cobertura	0	0
Vegetación arbustiva	13.61	6.03
Vegetación herbácea	0.29	0.13

Tabla 10.

*Uso y cobertura de suelo de la unidad hidrográfica 15248 - Pita 592.44 km<sup>2</sup>.*

<b>Uso y cobertura de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Área poblada	8.51	1.44
Bosque nativo	0.02	0
Cuerpo de agua	1.03	0.17
Cultivos	2.36	0.40

Infraestructura antrópica	0.76	0.13
Mosaico agropecuario	3.58	0.60
Páramo	363.24	61.31
Pastizales	98.32	16.60
Patrimonio natural	0	0
Plantaciones forestales	10.37	1.75
Sin cobertura	67.57	11.41
Vegetación arbustiva	10	1.68
Vegetación herbácea	26.68	4.50

Tabla 11.

*Uso y cobertura de suelo de la unidad hidrográfica 15249 - San Pedro 1050.05 km<sup>2</sup>.*

<b>Uso y cobertura de suelo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Área poblada	217.18	20.68
Bosque nativo	19.97	1.90
Cuerpo de agua	1.55	0.15
Cultivos	51.99	4.95
Infraestructura antrópica	16.19	1.54
Mosaico agropecuario	41.81	3.98
Páramo	137.70	13.11

Pastizales	338.39	32.23
Patrimonio natural	0	0
Plantaciones forestales	69.23	6.59
Sin cobertura	5.53	0.53
Vegetación arbustiva	98.07	9.34
Vegetación herbácea	52.44	4.99

### 5.3.2 Aguas subterráneas

Las variables de aguas subterráneas como son el almacenamiento inicial, capacidad de almacenamiento del acuífero y volumen de agua son variables que pide el programa para la corrida del modelo, sin embargo, estas no se pueden medir físicamente, es por eso que fueron calibradas para así poder conocer los datos más óptimos

#### 5.3.2.1 Recarga inicial y capacidad de almacenamiento

Para la obtención de esta variable, primero se determinó la textura del suelo de cada una de las unidades hidrográficas a través de la cartografía de textura de la FAO del año 2018, esto se realizó para posteriormente determinar el coeficiente de la clase textural. Finalmente, el coeficiente se multiplicó por la altura que se estimó para el acuífero y por cada área.

#### 5.3.2.2 Afluente de aguas subterráneas (mensual)

Para los valores estimados para el afluente de aguas subterráneas mensuales se consideró la capacidad de almacenamiento y el almacenamiento inicial de río,

dichos valores también fueron calibrados (Ver Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17).

Tabla 12.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15246 – Pisque.*

<b>Mes</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
Enero	2759386
Febrero	2993345
Marzo	3876775
Abril	5061481
Mayo	5433822
Junio	4645340
Julio	3854450
Agosto	2938209
Septiembre	2450366
Octubre	2636911
Noviembre	2675759
Diciembre	3446649



Tabla 13.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15247\_1 - Unión Santiago, Coyago y Guambi.*

<b>Mes</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
Enero	1135114
Febrero	1548563
Marzo	1953818
Abril	2515524
Mayo	2484290
Junio	2049046
Julio	1690872
Agosto	1270591
Septiembre	1091572
Octubre	1152145
Diciembre	1603844

Tabla 14.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15247\_2 - Chiche*

<b>Mes</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
Enero	996589

Febrero	1305116
Marzo	1588740
Abril	2317554
Mayo	2254939
Junio	1847162
Julio	1522635
Agosto	1170319
Septiembre	823136
Octubre	973469
Noviembre	1148247
Diciembre	552774

Tabla 15.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15247\_3 – Machángara.*

<b>Mes</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
Enero	706682
Febrero	1112802
Marzo	1042905
Abril	1662960
Mayo	1476582

Junio	1199626
Julio	831355
Agosto	674184
Septiembre	471204
Octubre	596291
Noviembre	706986
Diciembre	964258

Tabla 16.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15248 – Pita.*

<b>Mes</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
Enero	1734387
Febrero	1924078
Marzo	2185956
Abril	3033765
Mayo	3065681
Junio	2597534
Julio	2121278
Agosto	1574379
Septiembre	1380196

Octubre	1462340
Noviembre	1583055
Diciembre	2109311

Tabla 17.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15249 - San Pedro.*

<b>Mes</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
Enero	2529138
Febrero	2763093
Marzo	3611802
Abril	4743713
Mayo	5045682
Junio	4341289
Julio	3584408
Agosto	2732316
Septiembre	2279523
Octubre	2452841
Noviembre	2587280
Diciembre	3404162

### 5.3.2.3 Afluente de aguas subterráneas (Anual)

Para los valores estimados para el afluente de aguas subterráneas anuales se consideró la capacidad de almacenamiento y el almacenamiento inicial de río, dichos valores también fueron calibrados (Ver Tabla 18, Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23).

Tabla 18.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15246 – Pisque.*

<b>Año</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
2004	3273694
2005	2579453
2006	3568353
2007	3553895
2008	4093911
2009	3699483
2010	3521861
2011	3762594
2012	3874161
2013	2938510

Tabla 19.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15247\_1 - Unión Santiago, Coyago y Guambi.*

<b>Año</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
2004	1488728
2005	971106
2006	2006266
2007	1880687
2008	2096684
2009	1051042
2010	1847328
2011	2123888
2012	1608713
2013	1294588

Tabla 20.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15247\_2 – Chiche.*

<b>Año</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
2004	1149932
2005	746043

2006	1707041
2007	1719478
2008	1733607
2009	791976
2010	1584923
2011	1910930
2012	1432555
2013	1043431

Tabla 21.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15247\_3 – Machángara.*

<b>Año</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
2004	790997
2005	532519
2006	1548300
2007	1586433
2008	1594386
2009	598148
2010	127299
2011	1706778

2012	1250084
2013	843627

Tabla 22.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15248 – Pita.*

<b>Año</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
2004	1952066
2005	1598492
2006	2427791
2007	2202699
2008	2623584
2009	1595088
2010	2134230
2011	2681364
2012	2069856
2013	1690283

Tabla 23.

*Afluente de agua subterránea de la unidad hidrográfica 15249 - San Pedro.*

<b>Año</b>	<b>Afluente de agua subterránea (m<sup>3</sup>)</b>
------------	---



2004	2650907
2005	2178710
2006	2928572
2007	2995132
2008	3132150
2009	2386263
2010	2900676
2011	3120768
2012	3391404
2013	2395884

#### **5.4 Calibración y análisis del modelamiento**

Después de haber ingresado todas las series de datos que requirió WEAP, se generó el modelo. Es importante calibrar cada una de las variables que no pueden ser medidas físicamente, es por eso que se ajustó los parámetros en relación a las condiciones físicas o a través de operaciones matemáticas, de tal modo que exista una relación entre los valores observados y los valores simulados (Buyeart, Céleri, De Bièvre, y Desckers, 2003).

##### **5.4.1 Aguas subterráneas**

Para la calibración de la variable de aguas subterráneas, tanto de capacidad de almacenamiento, como almacenamiento inicial; se fue variando la altura del acuífero y el valor de porosidad de acuerdo al rango en que se encuentra cada tipo de suelo.

#### 5.4.2 Tasa máxima de infiltración

Los valores de tasa máxima de infiltración se calibraron una por una de las unidades hidrográficas empezando con el valor predeterminado en este caso 0 mm/día y subiendo de 0.5 en 0.5 hasta que la variable de infiltración dé el menor resultado posible.

### 6. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación en el modelo WEAP de las calibraciones realizadas de los caudales medios de la estación hidrológica H0148

En la primera calibración que se realizó, se ingresó únicamente los diferentes tipos de uso de suelo que hay en cada una de las unidades hidrográficas con sus respectivas áreas y porcentajes, además también se hizo la conexión con la opción de asistente de lectura de archivos de las variables climatológicas como temperatura, evapotranspiración de referencia, precipitación, humedad relativa, altitud y latitud, dando así un error de 11.16 como se muestra en la tabla 24. Con respecto a los afluentes de aguas subterráneas se hizo la calibración mensual.

Tabla 24.

*Resultados de la primera calibración.*

	<b>H0148</b>
<b>Total</b>	
<i>rME</i>	2.161
<i>rMAE</i>	2.161

<b>Anual</b>	
<i>rMAE</i>	2.161
<i>R2</i>	0.934
<b>Temporal</b>	
<i>rMAE</i>	2.161
<i>R2</i>	0.647
<b>Mensual</b>	
<i>rMAE</i>	0.024
<i>R2</i>	0.913
	<b>11.16</b>

A pesar que el RMSE total de la tabla 24 fue cercano a 0 se realizó varias calibraciones, pero en estas ya se colocó más variables como la tasa máxima de infiltración, los diferentes tipos de cultivos que predominan en cada unidad hidrográfica y los afluentes de aguas subterráneas se realizó anualmente dando así un error de 1.78 como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25.

*Calibración de tasa máxima de infiltración y afluentes de agua subterránea anual.*

	<b>H0148</b>
<b>Total</b>	
<i>rME</i>	0.000
<i>rMAE</i>	0.000

<b>Anual</b>	
<i>rMAE</i>	0.002
<i>R2</i>	0.000
<b>Temporal</b>	
<i>rMAE</i>	1.163
<i>R2</i>	0.889
<b>Mensual</b>	
<i>rMAE</i>	0.002
<i>R2</i>	0.724
	<b>1.78</b>

A pesar que en la tabla 25 se puede observar que tanto el rME total y el rMAE total fue de 0.000, el error que da no es el más óptimo es por eso que la mejor calibración que se obtuvo fue de 1.31 de error, dicha calibración fue de afluentes de agua subterránea mensualmente. Los resultados más óptimos se muestran en la tabla 26.

Tabla 26.

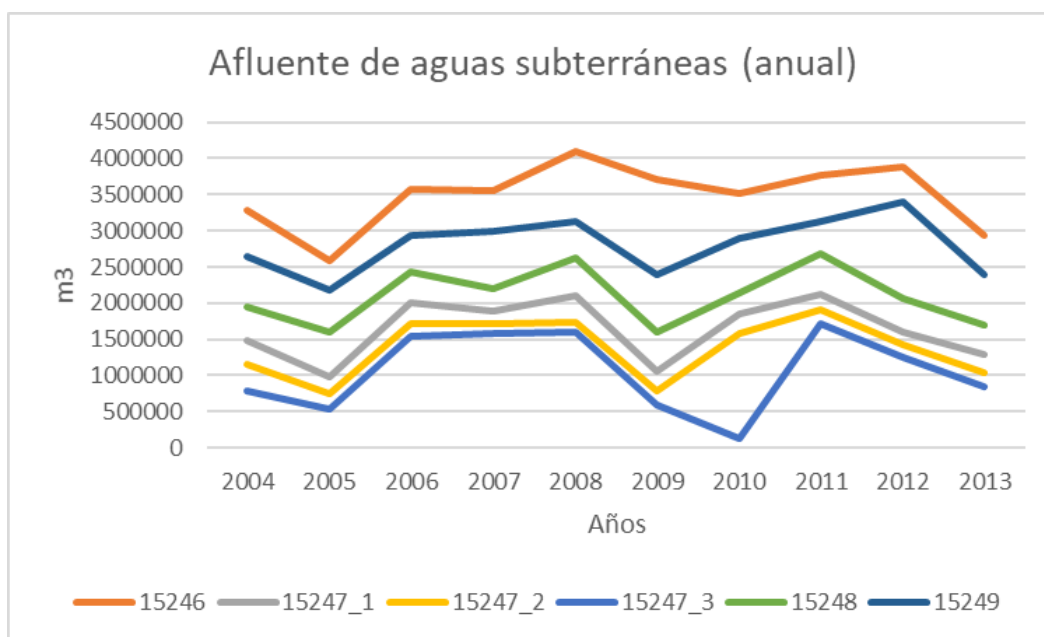
*Calibración de tasa máxima de infiltración y afluentes de agua subterránea anual.*

	<b>H0148</b>
<b>Total</b>	
<i>rME</i>	-0.001
<i>rMAE</i>	0.001

<b>Anual</b>	
<i>rMAE</i>	<i>0.129</i>
<i>R2</i>	<i>0.614</i>
<b>Temporal</b>	
<i>rMAE</i>	<i>0.009</i>
<i>R2</i>	<i>0.003</i>
<b>Mensual</b>	
<i>rMAE</i>	<i>0.001</i>
<i>R2</i>	<i>0.556</i>
	<b>1.31</b>

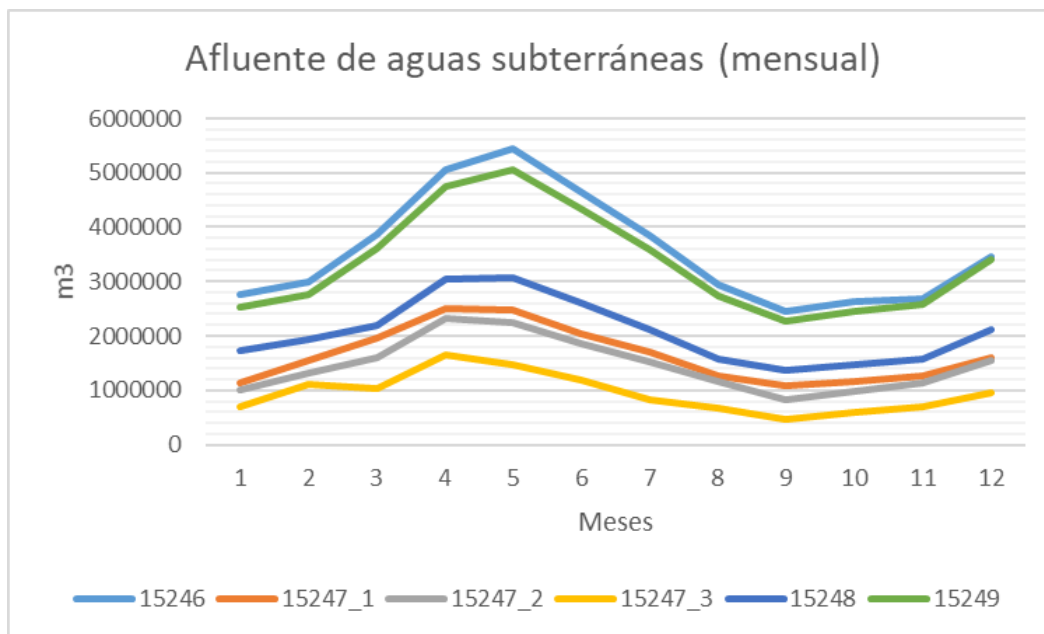
En cuanto a la capacidad de almacenamiento de aguas subterráneas, el acuífero posee una capacidad teórica para la unidad hidrográfica 15246 de 1566424200 m<sup>3</sup>, para la 15247\_1 de 626175000 m<sup>3</sup>, para la 15247\_2 de 553062600 m<sup>3</sup>, para la 15247\_3 de 676770000 m<sup>3</sup>, para la 15248 de 817567200 m<sup>3</sup> y finalmente para la 15249 de 3150150000 m<sup>3</sup>.

El acuífero con la más alta capacidad de almacenamiento de agua de la unidad hidrográfica 15248 en el año 2008 tiene un volumen de 4093911.92 m<sup>3</sup>.



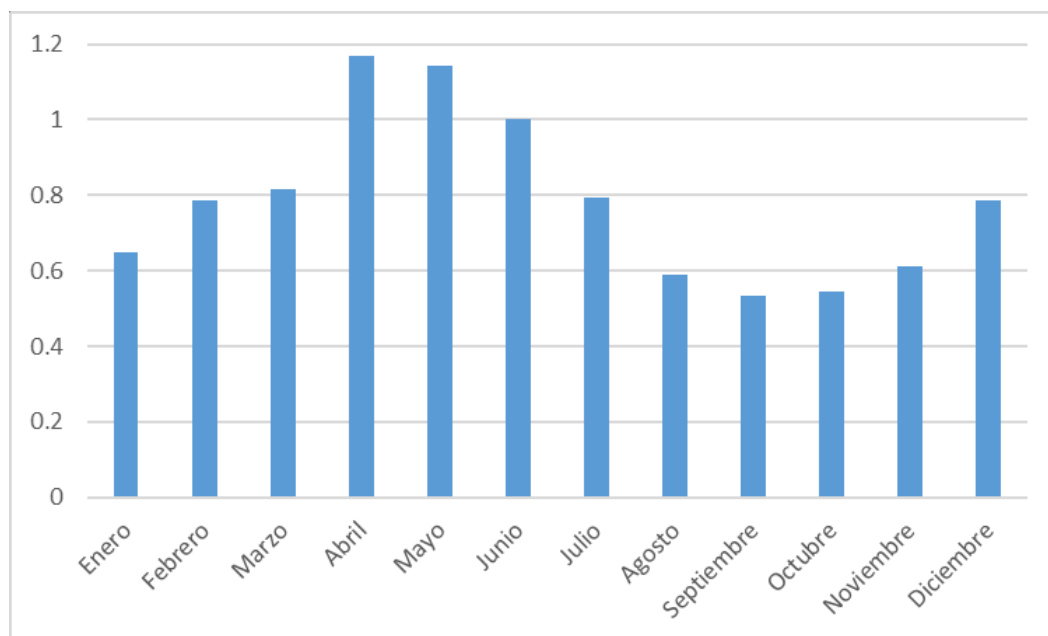
*Figura 2.* Almacenamiento anual de aguas subterráneas de las unidades hidrográficas de estudio.

Mientras que, para la calibración mensual, la capacidad máxima de almacenamiento de agua es en mayo con 5433822.26 m<sup>3</sup> en la unidad hidrográfica 15246



*Figura 3.* Almacenamiento mensual de aguas subterráneas de las unidades hidrográficas de estudio.

El caudal mínimo fue de  $0.53 \text{ m}^3/\text{s}$  en el mes de septiembre y el caudal máximo fue en el mes de abril  $1.17 \text{ m}^3/\text{s}$  de la unidad hidrográfica 15248. La media y la mediana fue de  $0.79 \text{ m}^3/\text{s}$  (Ver figura 4).



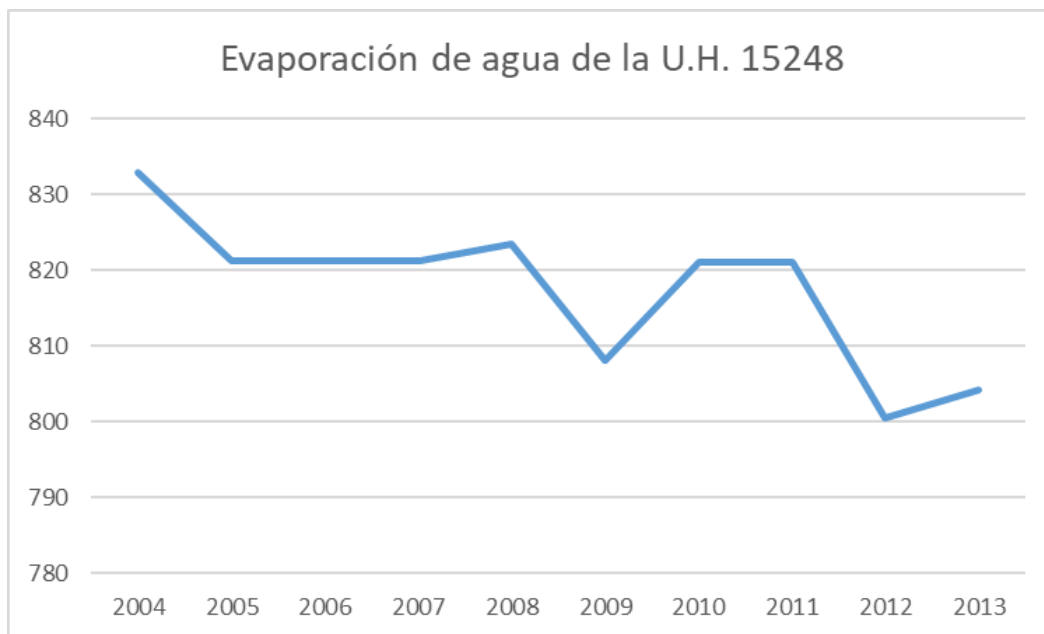
*Figura 4.* Caudal mensual modelado del acuífero a la unidad hidrográfica 15248.

En la simulación del modelo donde se obvió la presencia de bosques naturales y también donde no se tomó en cuenta las fracciones de uso de suelo para la unidad hidrográfica se obtuvo el mismo caudal mínimo, máximo en los mismos meses como se muestra en la figura 4.

También se realizó una simulación de la unidad hidrográfica 15248, en donde se asumió que dicha cuenca no ha presentado modificaciones en su uso y cobertura de suelo, es decir que toda su cobertura es de bosques naturales. En dicha calibración el error subió a 2.22 m<sup>3</sup>/s sin embargo el volumen de caudales se mantiene.

Con respecto a la evaporación mínima anual del modelo ejecutado para la cuenca del río Pita se obtuvo 800.45 mm/año en el año 2012 y máxima en el año 2004 de 832.88 mm/año. 15248. La media fue de 817.48 mm/año y la mediana fue de 821.14 mm/año, como se muestra en la figura 5.





*Figura 5.* Evaporación anual de la Unidad hidrográfica 15248 (mm/año).

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este análisis se realizó con el objetivo de identificar qué tan cercanos son los valores simulados con los valores históricos proporcionados por el INAMHI, para esto se necesitó los datos de caudales medios de la zona de estudio; es importante mencionar que para el presente trabajo de titulación la única fuente que se tuvo para realizar dicha comparación fue la de la estación hidrológica H0148

En cuanto a los resultados más significativos que se obtuvieron en las calibraciones realizadas, fue el de la calibración de la variable de afluentes de aguas subterráneas mensual y la tasa máxima de infiltración en todas las unidades hidrográficas. En la calibración mensual de afluentes de aguas subterráneas, el coeficiente de correlación dio resultados aceptables de 0.5 mensual y 0.6 tanto mensual como anual (Ver tabla 26), como lo indica Pearson donde cero significa que no existe correlación y cercano a uno correlación perfecta (Akoglu, 2018).

Para la calibración de afluentes aguas subterráneas mensuales se puede observar que en el mes de abril se presentan los valores más altos de caudales esto debido a la variable climática de precipitación, ya que en dicho mes se dieron las más altas precipitaciones en la zona de estudio, mientras que en los meses de agosto, septiembre y octubre los valores son los más bajos, estos desgastes de caudal también pueden verse afectados por la precipitación ya que los valores de precipitación en dicho mes también son los más bajos. Es importante mencionar que el conjunto de las altas temperaturas, precipitaciones menores y evaporaciones mayores afectan o se ven influenciadas en la generación de los caudales así lo menciona Christian Orellana en el trabajo de investigación de su autoría titulado “ESCENARIOS HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA: MODELACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS”. El agua proveniente del mes con caudales bajos será abastecida por los meses que posean mayores cantidades de caudales hasta que las condiciones climáticas sean las más óptimas, pero sobre todo se dé la presencia de lluvias (Simonovic, 1992).

El déficit de disponibilidad de información del recurso hídrico y su consumo neto produce posibles conflictos ya sean estos de percepción o reales, como lo indica Byron López en su proyecto de manejo integrado de recursos hídricos titulado “ANÁLISIS DEL MARCO INSTITUCIONAL, LEGAL, Y DE POLÍTICAS Y LINEAMIENTOS PARA LA GIRH EN LA HOYA DE QUITO”, en la provincia del Carchi, la cuenca del río El Ángel tiene un área de 300.34 km<sup>2</sup> aproximadamente y aporta con un caudal de 4.85 m<sup>3</sup>/s mientras que la cuenca del río Pita posee un área de 592.44 km<sup>2</sup> y contribuye con un caudal de 0.79 m<sup>3</sup>/s , es decir que a pesar que actualmente los habitantes que se ven beneficiados por el aporte el río pita no tiene un consumo limitado de agua, en un futuro si se verá afectado ya que como se mencionó anteriormente la cuenca del río El Ángel a pesar de tener un área más pequeña abastece dos veces más a la zona

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1 Conclusiones

En el presente trabajo de titulación se realizó el estudio del comportamiento hidrológico de la cuenca del río Pita y las unidades hidrográficas que conforman la zona de estudio de la cuenca alta del Guayllabamba, se puede concluir que en la modelación hidrológica realizada se alcanzaron los resultados deseados con respecto a los objetivos propuestos ya que tanto en los coeficientes de correlación como en el RSME los valores resultantes de la calibración se encontraron dentro del rango aceptable.

Por otra parte, en la calibración donde se obvió la presencia de bosques, se obtuvo un menor error no significativo, mismo que fue de 1.30, esto es a causa de una menor evaporación de agua en dicha fracción de uso de suelo, mientras que en la calibración del modelo en donde no se tomó en cuenta las fracciones de uso de suelo se obtuvieron los mismos caudales; pero el error fue de 2.26, por lo tanto; se concluye que la transpiración de cada fracción existente en las unidades hidrográficas, no se da por ausencia de los cultivos.

La modelación hidrológica realizada con el modelo de Planificación Hídrica – WEAP, permitió identificar y observar cuanta influencia tienen las variables climáticas sobre la presencia de caudales, principalmente la precipitación ya que como se mencionó anteriormente en los meses de agosto, septiembre y octubre se dieron los caudales más bajos, que fueron  $0.59 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0.53 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente, mientras que para el mes de abril se dio el máximo caudal de  $1.17 \text{ m}^3/\text{s}$ , seguidamente por el mes de mayo con un caudal de  $1.14 \text{ m}^3/\text{s}$  para el periodo simulado de la cuenca del río Pita.

De acuerdo a la simulación realizada, el río Pita contribuye con un caudal de  $0.79 \text{ m}^3/\text{s}$  hasta donde termina la unidad hidrográfica 15248, mientras que hasta

donde se encuentra el medidor de caudal; tiene un caudal de 4.95 m<sup>3</sup>/s. Por otra parte, en la unidad hidrográfica 15248 se evapora aproximadamente 2.24 mm/día.

También se puede concluir que en la zona de estudio existe alta presencia de urbanismo y actividades realizadas por el hombre, por lo tanto, se produce el cambio en el uso y cobertura de suelo de las unidades hidrográficas, lo que ocasionan modificaciones en sus propiedades iniciales dando como consecuencia la reducción de los caudales, alteración de la calidad de agua y disminución en la capacidad de almacenamiento de aguas subterráneas.

Finalmente, es de suma importancia considerar que el uso innecesario del recurso hídrico y el cambio de uso de suelo puede conllevar a un deficiente abastecimiento de agua para la ciudad es por ello que se debe hacer conciencia y cambiar las malas costumbres que se tienen por acciones que contribuirán a un abastecimiento digno para los cantones que son abastecidos por la cuenca el río Pita y en general la cuenca alta del Guayllabamba.

## **8.2 Recomendaciones**

Después de haber realizado el presente estudio, se evidencia la importancia de generar modelos hidrológicos, razón por la que se recomienda crear modelos hidrológicos para otras zonas del país, con el fin conservar los recursos hídricos existentes.

Para la creación de los modelos hidrológicos eficientes es importante considerar el rango de datos que se tienen de las diferentes variables que requiere el programa, pero aún más la calidad de los datos que vayan a ser ingresados, es decir que los datos tengan homogeneidad.

En caso de no poseer información de datos hidrológicos o meteorológicos para la zona de estudio se recomienda emplear los datos que se encuentren más

cerca de la misma, ya que al estar cerca de dicha zona o zonas el comportamiento de las variables climatológicas o hídricas serán similares.

Para cada una de las variables se recomienda estimar un rango posible y aceptable de calibración ya que al realizar las calibraciones manuales conlleva mucho tiempo y aún más si son valores muy extensos.

## REFERENCIAS

- Anaguano, N., Cobeña, M., Ramos, R. & Torres, A. (1991). Los sistemas y paisajes agrícolas predominantes en Cayambe y sus posibles influencias en la calidad de vida y el impacto ambiental. XIX Curso Internacional de Geografía Aplicada. Ecuador: CEPEIGE. p 79
- ArcGIS Desktop. (2018). Un paseo introductorio por las referencias de las herramientas de geoprocésamiento. Recuperado el 17 de noviembre de 2018 de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/main/a-quick-tour-of-geoprocessing-tool-references.htm>
- Artieda, O. (2008). Papel del suelo en el ciclo hidrológico. Recuperado el 28 de Abril de 2019 de [https://www.researchgate.net/publication/239541286\\_Papel\\_del\\_suelo\\_en\\_el\\_ciclo\\_hidrologico](https://www.researchgate.net/publication/239541286_Papel_del_suelo_en_el_ciclo_hidrologico)
- Buytaert, W. (2004). *The properties of the soils of the south Ecuadorian paramo and the impact of land use changes on their hydrology*. Tesis Ph.D., K.U.Leuven, Bélgica, 228 págs.
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B. & Desckers, J. (2003). Modelando el comportamiento hidrológico de microcuencas de páramo en el Sur del Ecuador con TOP MODEL. Recuperado el 07 de mayo de 2019 de <http://paramo.cc.ic.ac.uk/pubs/ES/topmodel.pdf>
- Buytaert, W., Iñegues, V., Céleri, R. & De Bièvre, B. (2006). *The impact of pine plantations on water yield: a case study from the Ecuadorian Andes*. 3rd Internacional Symposium on Integrated Water Management, Bochum, Germany.

- Calispa, M. (2010). Modelación hidrológica de glaciares y páramos en relación con la oferta de agua de Quito. Pruebas de simulación en las cuencas del sistema La Mica del volcán Antisana Pouget, Jean Christophe. Recuperado el 05 de mayo de 2019 de [https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=10366&shelfbrowse\\_itemnumber=10746](https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=10366&shelfbrowse_itemnumber=10746)
- Campos, D. (1998). Procesos del ciclo hidrológico. (3ra reimpresión). San Luis Potosí, SLP, México.
- Céleri, R. & Feyen, J. (2009). *The hydrology of tropical Andean ecosystems*. Mt. Res. Dev., 29, 350-355.
- Centro de Cambio Global - Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute. (2009). Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP. Desarrollada con contribuciones del Proyecto de Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva gobernabilidad del agua en Ecuador, Ministerio del Ambiente de Ecuador, y el Programa para el Manejo del Agua y del Suelo de la Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Faustino, J. & Jiménez, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas. Turrialba, Costa Rica.
- Fundación Futuro Latinoamericano. (2015). Los suelos en el ciclo del agua. Recuperado el 28 de abril de 2019 de <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/326296/>
- Fondo para la protección del agua & Fundación Futuro Latinoamericano. (2012). *Análisis de Gobernanza de la Microcuenca del Río Pita*. Quito, Ecuador.

Fondo para la protección del agua. (2009). Plan de manejo integrado de los recursos hídricos en la cuenca alta del río Guayllabamba. Recuperado el 25 de mayo de 2019 [http://infoagua-guayllabamba.ec/images/PDF/agua\\_cuenca/02PlanManejoIntegradoCG.pdf](http://infoagua-guayllabamba.ec/images/PDF/agua_cuenca/02PlanManejoIntegradoCG.pdf)

Geler, T., Mármol, E., Batista, J. & Ribot, M. (2016). Gestión de los recursos hídricos utilizando el modelo WEAP (*Water Evaluation and Planning System*). Recuperado el 25 de octubre de 2018 de [https://www.researchgate.net/publication/308036325\\_GESTION\\_DE\\_LOS\\_RECURSOS\\_HIDRICOS\\_UTILIZANDO\\_EL\\_MODELO\\_WEAP\\_WATER\\_EVALUATION\\_AND\\_PLANNING\\_SYSTEM](https://www.researchgate.net/publication/308036325_GESTION_DE_LOS_RECURSOS_HIDRICOS_UTILIZANDO_EL_MODELO_WEAP_WATER_EVALUATION_AND_PLANNING_SYSTEM)

González, J. (s.f.). La actividad humana en el ciclo hidrológico del agua. Recuperado el 28 de abril de 2019 de <https://libros-revistas-derecho.vlex.es/vid/actividad-humana-ciclo-hidrologico-670780997>

Global Water Partnership. (2011). Ciclo hidrológico “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico. Recuperado el 28 de abril de 2019 de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf)

Hervis, G., López, T., Vargas, R. & Rolón, J. (2018). Aplicación del modelo WEAP para la planeación hidrológica de la cuenca San Diego, municipio Los Palacios, provincia Pinar del Río, Cuba. Recuperado el 29 de abril de 2019 de [https://www.researchgate.net/publication/320776369\\_Aplicacion\\_del\\_modelo\\_WEAP\\_para\\_la\\_planeacion\\_hidrologica\\_de\\_la\\_cuenca\\_San\\_Diego\\_municipio\\_Los\\_Palacios\\_provincia\\_Pinar\\_del\\_Rio\\_Cuba](https://www.researchgate.net/publication/320776369_Aplicacion_del_modelo_WEAP_para_la_planeacion_hidrologica_de_la_cuenca_San_Diego_municipio_Los_Palacios_provincia_Pinar_del_Rio_Cuba).



Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Rumiñahui. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial Cantón Rumiñahui 2012 – 2025. Recuperado 24 de abril de 2019 de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/PDYOT%20-%20PARTE%201.pdf>

Instituto Geográfico Militar. (2014). GEOPORTAL Instituto Geográfico Militar. Recuperado el 24 de mayo de 2019 de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>

Lema, M & Plaza, V. (2009). Modelación hidrológica de la cuenca (alta y media) del río Pastaza aplicando el modelo de simulación WEAP (*Water Evaluation and Planning System*). Recuperado el 27 de noviembre de 2018 de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1780>

Levite, H., Sally, H. & Cour, J. (2003). *Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa: application of the WEAP model*. Recuperado el 28 de abril de 2019 de <https://www.weap21.org/downloads/Olifants.pdf>

Li, M., Ma, Y. & Li, R. (2000). *Semiparametric Regression for Measurement Error Model with Heteroscedastic Error*. Pennsylvania: Penn State University.

Martínez, Y. & Villarejo, V. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. Recuperado el 26 de octubre de 2018 de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382018000100005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382018000100005)

Ministerio del Ambiente, Secretaría General de la Comunidad Andina y Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales. (2012). Estudio de vulnerabilidad y adaptación

al cambio climático del sistema de agua potable Pita – Puengasí y sus cuencas abastecedoras. Recuperado el 26 de octubre de 2018 de <https://drive.google.com/drive/folders/1F2U3axzPTzwijbZIR9ClafQzJwaNZUAn?ogsrc=32https://drive.google.com/drive/folders/1F2U3axzPTzwijbZIR9ClafQzJwaNZUAn?ogsrc=32>

Molnar, P. (2011). *Calibration. Watershed Modelling, SS 2011*. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland.

Monsalve, G. (2009). Hidrología en la Ingeniería. 2ª edición, séptima reimpresión. Impreso en Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. p. 382.

Musy, A. (2001). *Cours "Hydrologie générale"*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement. Capítulo 1, 2, 3, 4 y 5.

Naciones Unidas (s.f.). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. Recuperado el 27 de abril de 2019 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Ocampo, O. & Vélez, J. (2014). Análisis comparativo de modelos hidrológicos de simulación continua en cuencas de alta montaña: caso del Río Chinchiná. Recuperado el 21 de Octubre de 2018 de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v13n24/v13n24a04.pdf>

Rankinen, K., Karvonen, T. & Butterfield, D. (2006). *An application of the GLUE methodology for estimating the parameters of the INCA-N model*. Sci. Total Environ., 365(1-3), 123-139.

- Raskin, P., Hansen, E. & Zhu, Z. (1989). *Simulation of Water Supply and Demand in the Aral Sea Region*. Recuperado el 28 de abril de 2019 de <https://www.weap21.org/downloads/aralsea.pdf>
- Real, B. (2007). Análisis del marco institucional, legal, y de políticas y lineamientos para la GIRH en la Hoya de Quito, Proyecto Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en la Hoya de Quito. UICN-SUR y FFLA, Ecuador
- Santovenia, J., Tarragó, C. & Cañedo, R. (2009). Sistemas de información geográfica para la gestión de la información. Recuperado el 29 de abril de 2019 de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-94352009001100007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352009001100007)
- Secretaría General de la Comunidad Andina, Ministerio del Ambiente, Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales & Fondo para la Protección del Agua. (2011). Diseño de la Red de Monitoreo Hidrológico en las Microcuencas de los ríos Pita, San Pedro, Papallacta y Antisana. Quito, EC. 153p
- Secretaría nacional del agua del Ecuador, Secretaría general de la comunidad andina & Unión internacional para la conservación de la Naturaleza. (2009). Delimitación y codificación de las unidades hidrográficas del Ecuador. Escala 1:250 000 Nivel: 5 Metodología PFAFSTETTER. Recuperado el 05 de mayo de 2019 de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/PORTAL/IG/7\\_delimitacion\\_codificacion\\_metodologia\\_pfafstetter.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/PORTAL/IG/7_delimitacion_codificacion_metodologia_pfafstetter.pdf)
- Simonovic, S. (1992). Análisis del sistema de yacimientos: cerrar la brecha entre la teoría y la práctica. Diario de planificación y gestión de recursos

hídricos, ASCE, 118, 262-280.  
[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1992\)118:3\(262\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1992)118:3(262))

Stockholm Environment Institute. (2017). *WEAP Water Evaluation and Planning System Tutorial - Tutorial*. Recuperado el 29 de Abril de 2019 de [https://www.weap21.org/downloads/WEAP\\_Tutorial\\_Spanish.pdf](https://www.weap21.org/downloads/WEAP_Tutorial_Spanish.pdf)

Stockholm Environment Institute. (2018). *About-Stockholm Environment Institute*. Recuperado el 25 de octubre de 2018 de <https://www.sei.org/about-sei/>

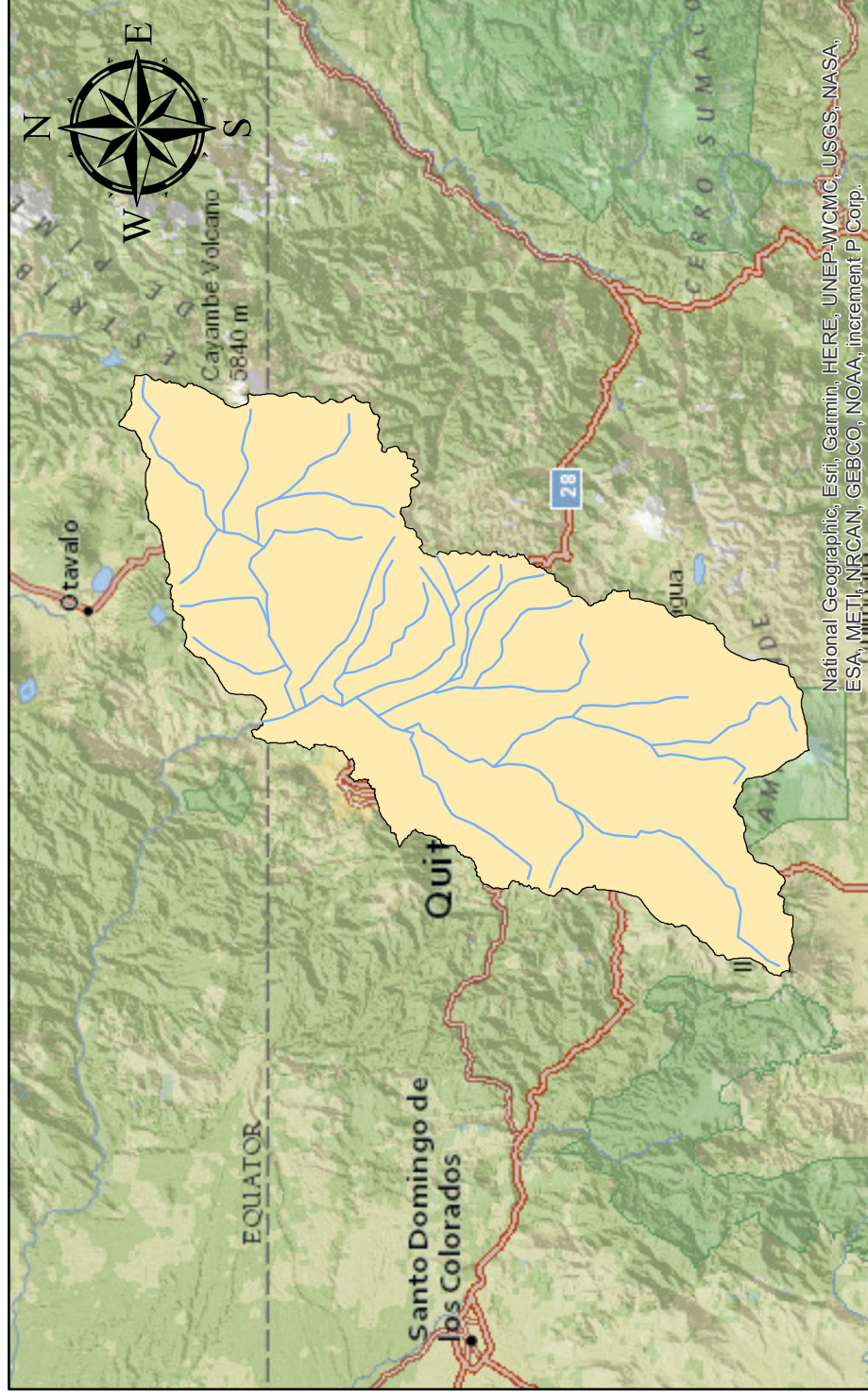
Vázquez, R., (2003). *Assessment of the performance of physically based distributed codes simulating medium size hydrological systems*. Tesis Ph.D. ISBN 90-5682-416-3, K.U.Leuven, Bélgica, 335 págs.

Vásquez, R. (2010). Modelación hidrológica de una cuenca Altoandina ubicada en el Austro Ecuatoriano. Recuperado el 25 de Octubre de 2018 de [https://www.researchgate.net/publication/243458876\\_Modelacion\\_hidrologica\\_de\\_una\\_microcuenca\\_Altoandina\\_ubicada\\_en\\_el\\_Austro\\_Ecuatoriano?enrichId=rgreq-054da87849db71d6465d3218b0f3dc48-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI0MzQ1ODg3NjtBUzoxMDE5NzIxNzA1MTAzNDFAMTQwMTMyMzQ2ODQ1Nw%3D%3D&el=1\\_x\\_2&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/243458876_Modelacion_hidrologica_de_una_microcuenca_Altoandina_ubicada_en_el_Austro_Ecuatoriano?enrichId=rgreq-054da87849db71d6465d3218b0f3dc48-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI0MzQ1ODg3NjtBUzoxMDE5NzIxNzA1MTAzNDFAMTQwMTMyMzQ2ODQ1Nw%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf)

## **ANEXOS**

# Anexo 1, RED HIDROGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

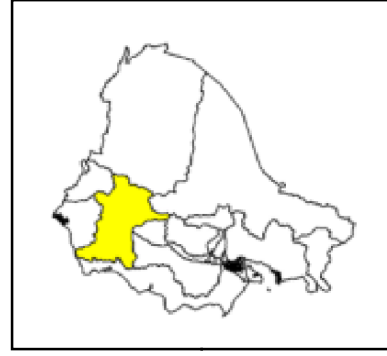
ECUADOR  
ESCALA: 1:1 000 000



## LEYENDA

— Red hidrográfica de la cuenca alta del Guayllabamba

■ Cuenca alta del Guayllabamba



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Ingenierías  
y Ciencias Aplicadas

NOMBRE

Sthefani Tufiño

Mayo 2019

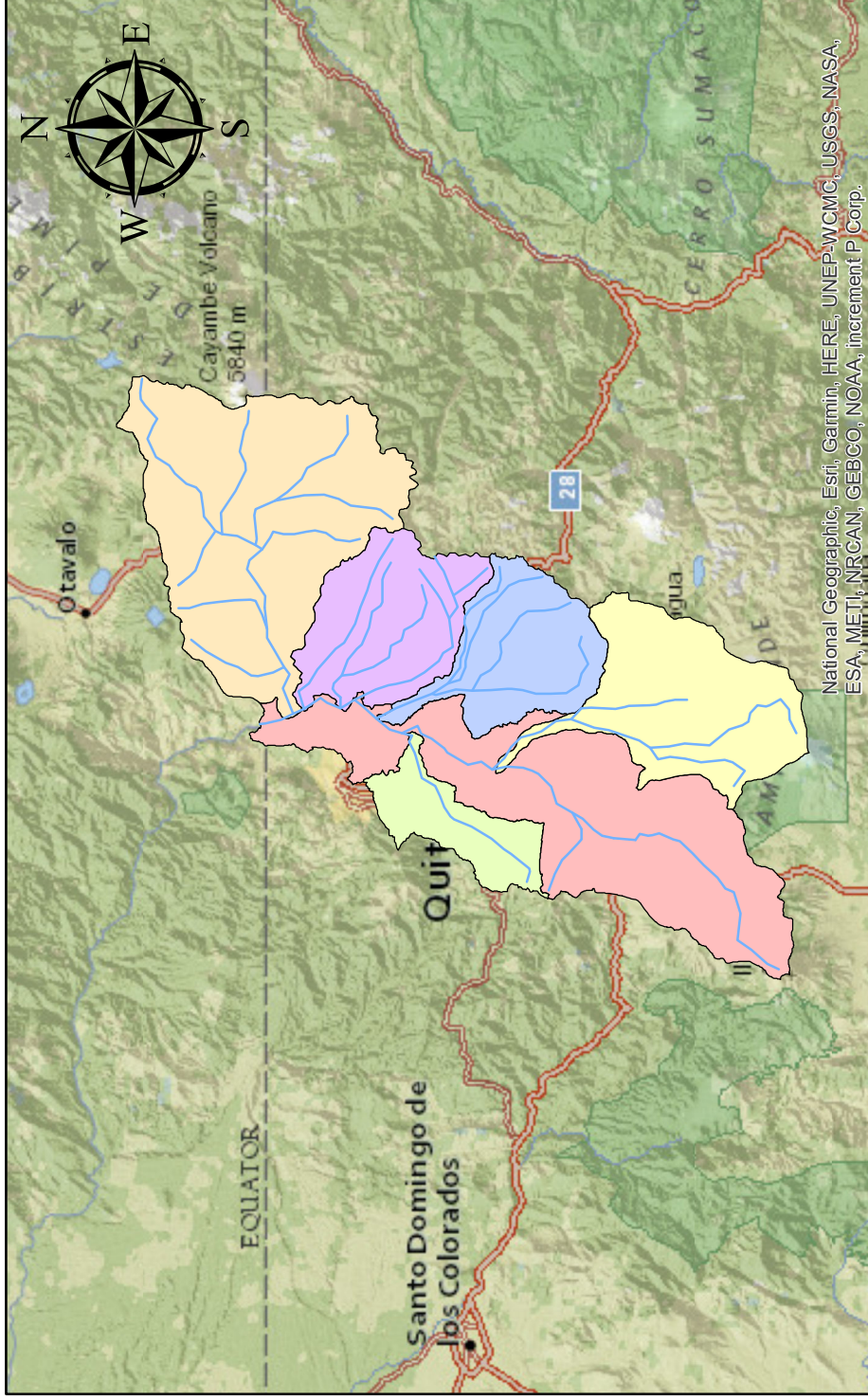
Lámina 1



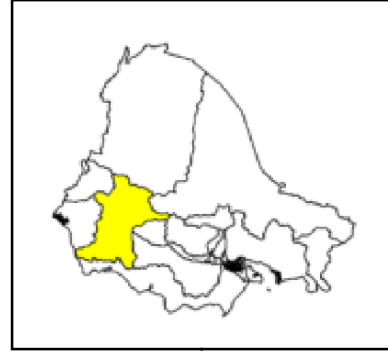
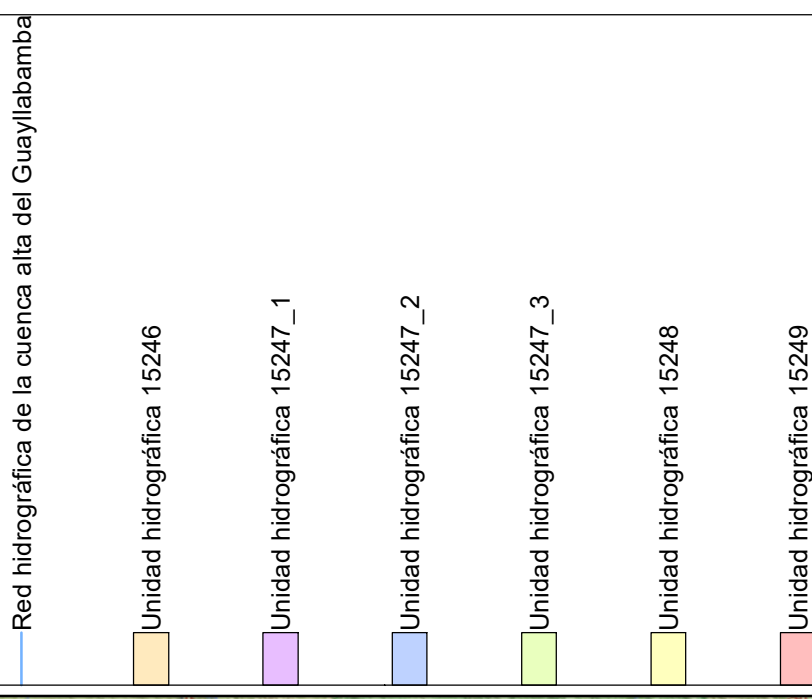
# Anexo 2, DELIMITACION HIDROGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

ECUADOR

ESCALA: 1:1 000 000



## LEYENDA



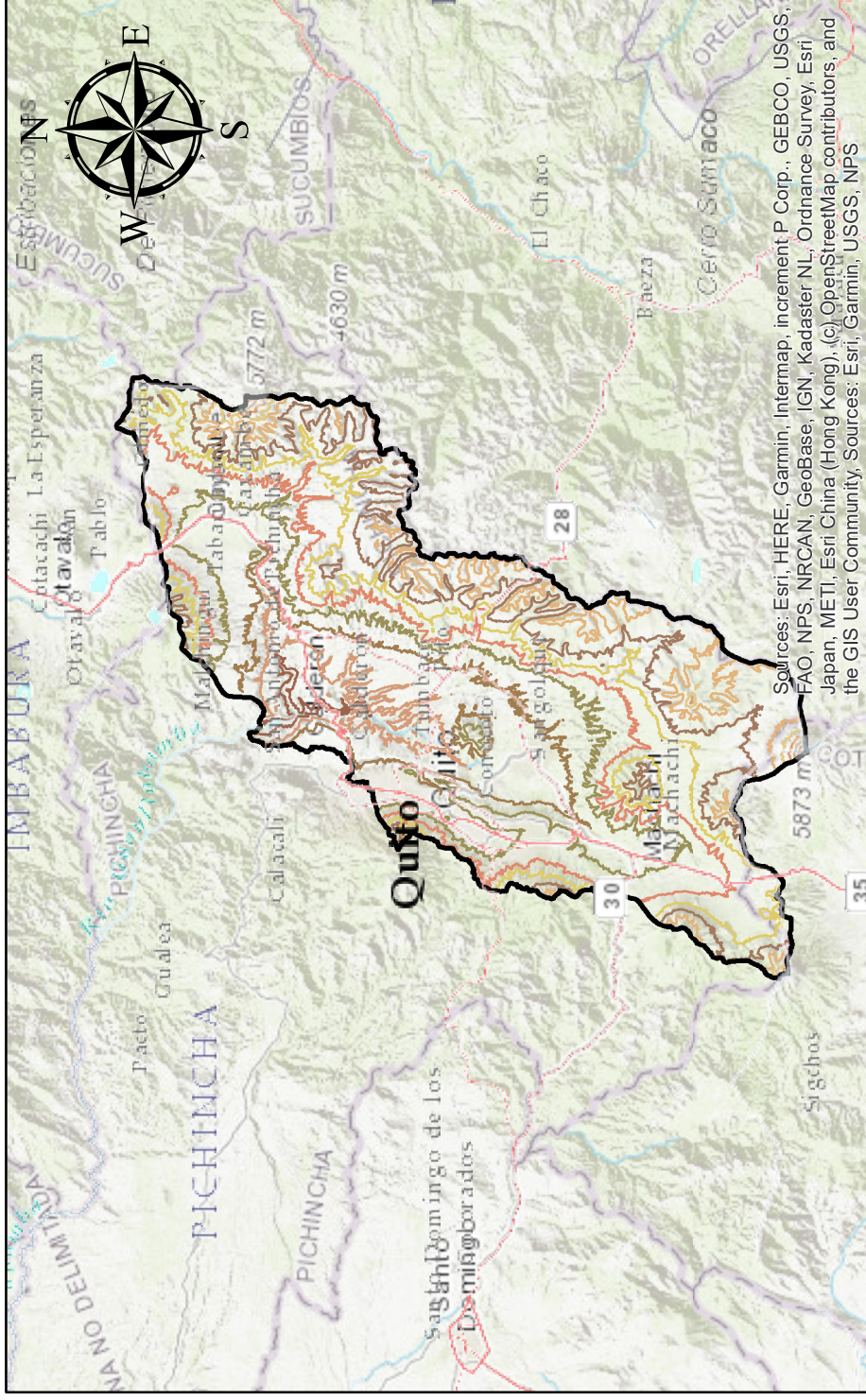
<b>UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS</b>	
Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas	
<b>NOMBRE</b> Sthefani Tufiño	
Mayo 2019	Lámina 2



# Anexo 3, TOPOGRAFÍA DE LA CUENCA ALTA DEL GUAYLLABAMBA

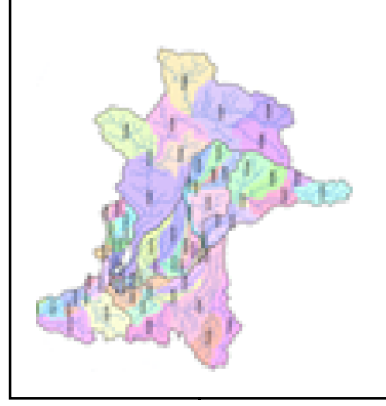
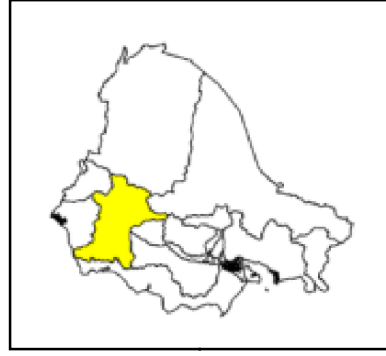
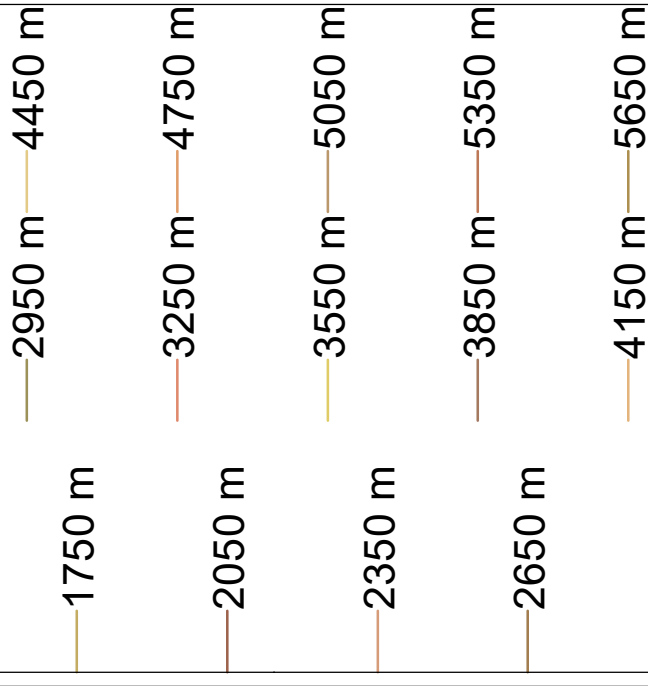
ECUADOR

ESCALA: 1:1 000 000



## LEYENDA

### ELEVACIÓN



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Ingenierías  
y Ciencias Aplicadas

NOMBRE

Sthefani Tufiño

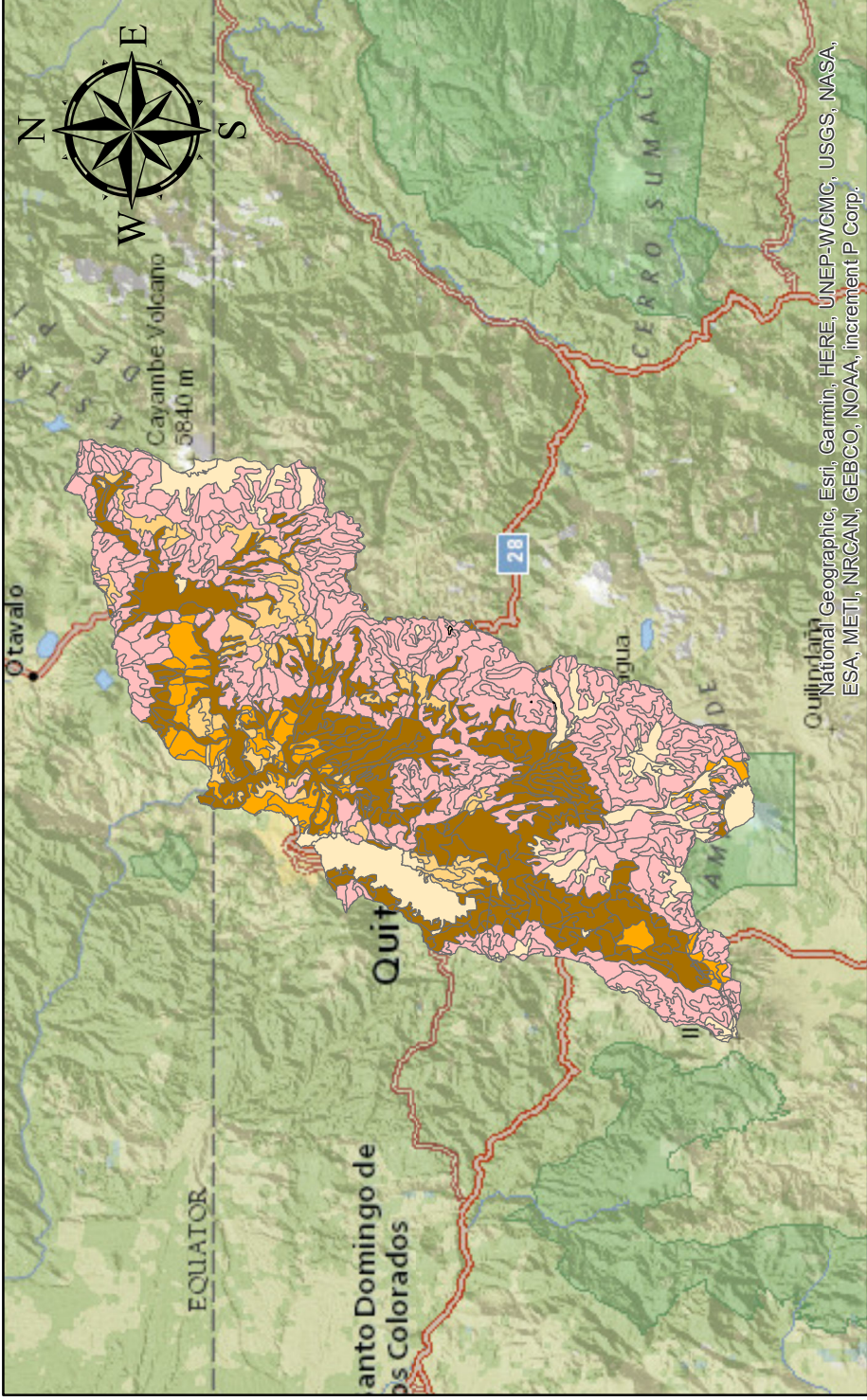
Mayo 2019

Lámina 3



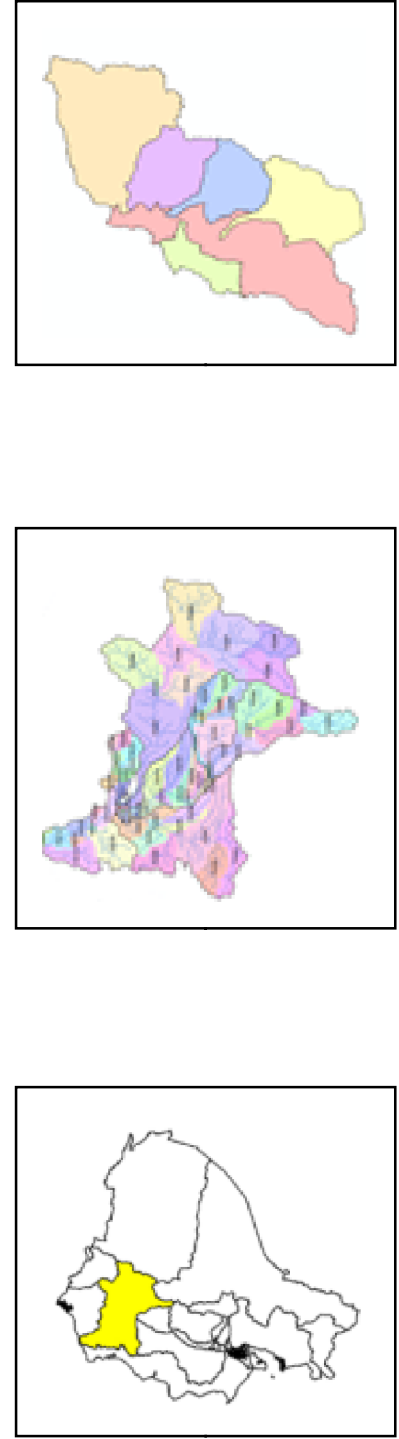
# Anexo 4, DISTRIBUCIÓN TEXTURAL DE LA CUENCA ALTA DEL GUAYLLABAMBA

ECUADOR  
ESCALA: 1:1 000 000



## LEYENDA

- FINA
- GRUESA
- MEDIA
- MODERADAMENTE GRUESA
- NO APLICABLE



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	
Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas	
NOMBRE	
Sthefani Tufiño	
Mayo 2019	Lámina 4

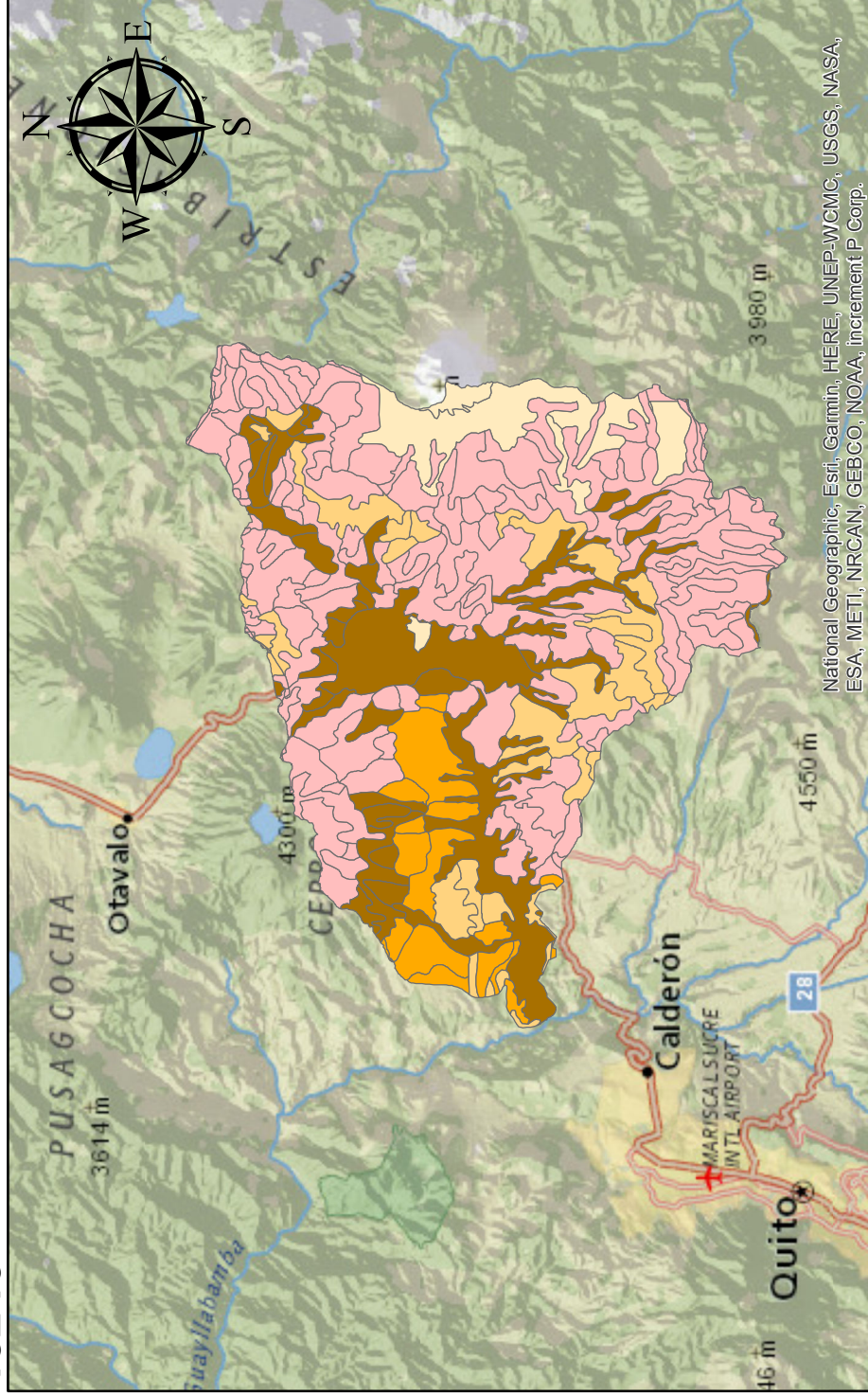


# Anexo 4.1, DISTRIBUCIÓN TEXTUTAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA

15246

ECUADOR

ESCALA: 1:500 000



National Geographic, Esri, Garmin, HERE, UNEP-WCMC, USGS, NASA, ESA, METI, NRCAN, GEBCO, NOAA, increment P Corp.

## LEYENDA

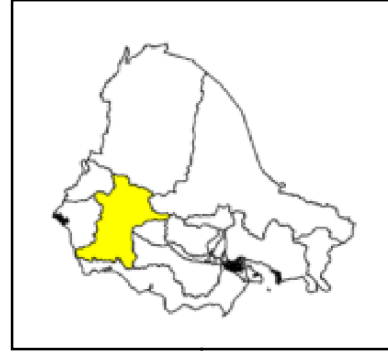
FINA

GRUESA

MEDIA

MODERADAMENTE GRUESA

NO APLICABLE



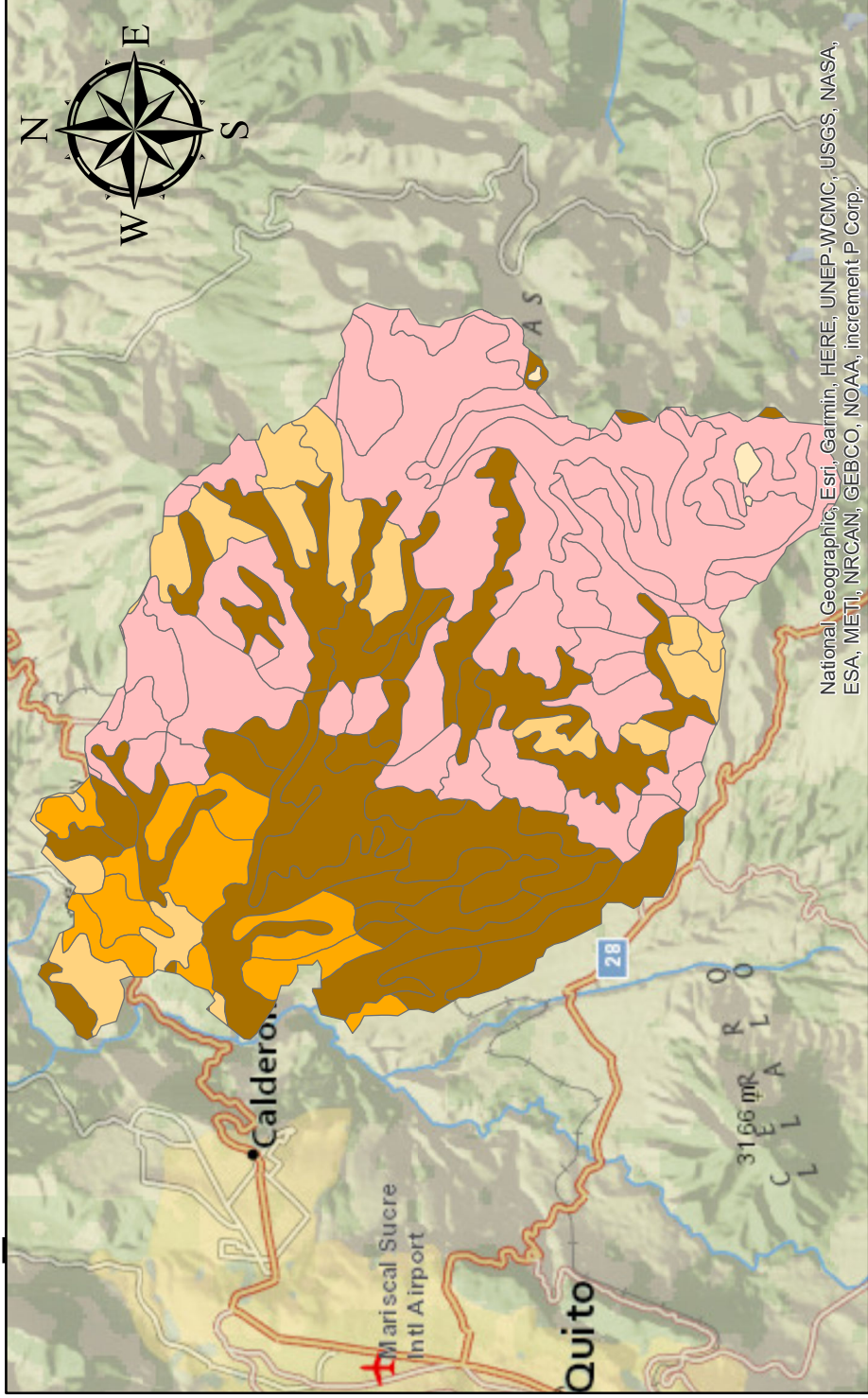
UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	
Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas	
NOMBRE	
Sthefani Tufiño	
Mayo 2019	Lámina 4.1

# Anexo 4.2, DISTRIBUCIÓN TEXTUTAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA

ECUADOR

15247\_1

ESCALA: 1:250 000



## LEYENDA

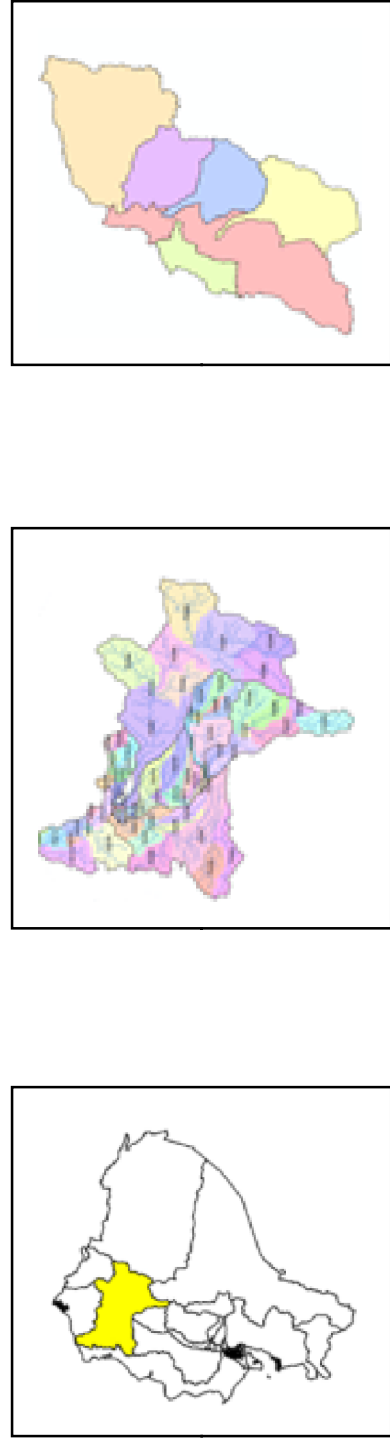
FINA

GRUESA

MEDIA

MODERADAMENTE GRUESA

NO APLICABLE



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Ingenierías  
y Ciencias Aplicadas

NOMBRE

Sthefani Tufiño

Mayo 2019

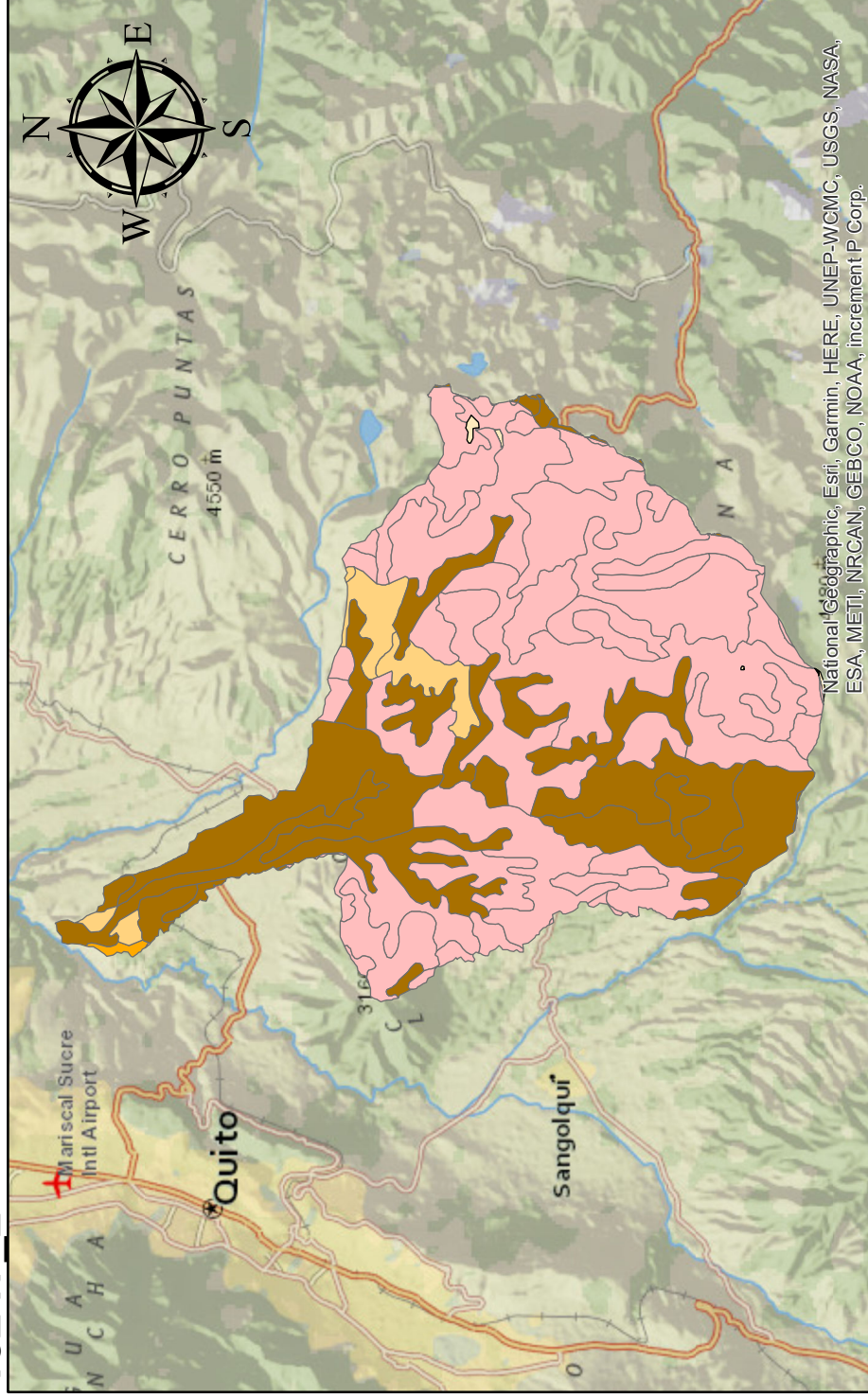
Lámina 4.2



# Anexo 4.3, DISTRIBUCIÓN TEXTUTAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA 15247\_2

ECUADOR

ESCALA: 1:300 000



## LEYENDA

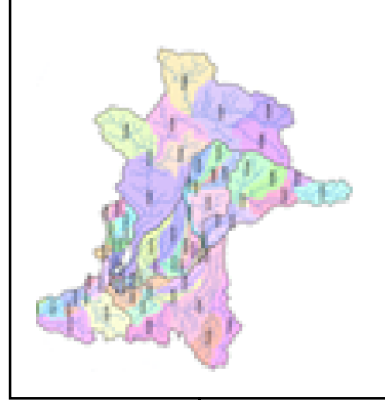
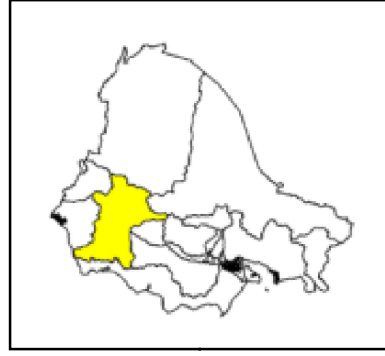
FINA

GRUESA

MEDIA

MODERADAMENTE GRUESA

NO APLICABLE



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Ingenierías  
y Ciencias Aplicadas

NOMBRE

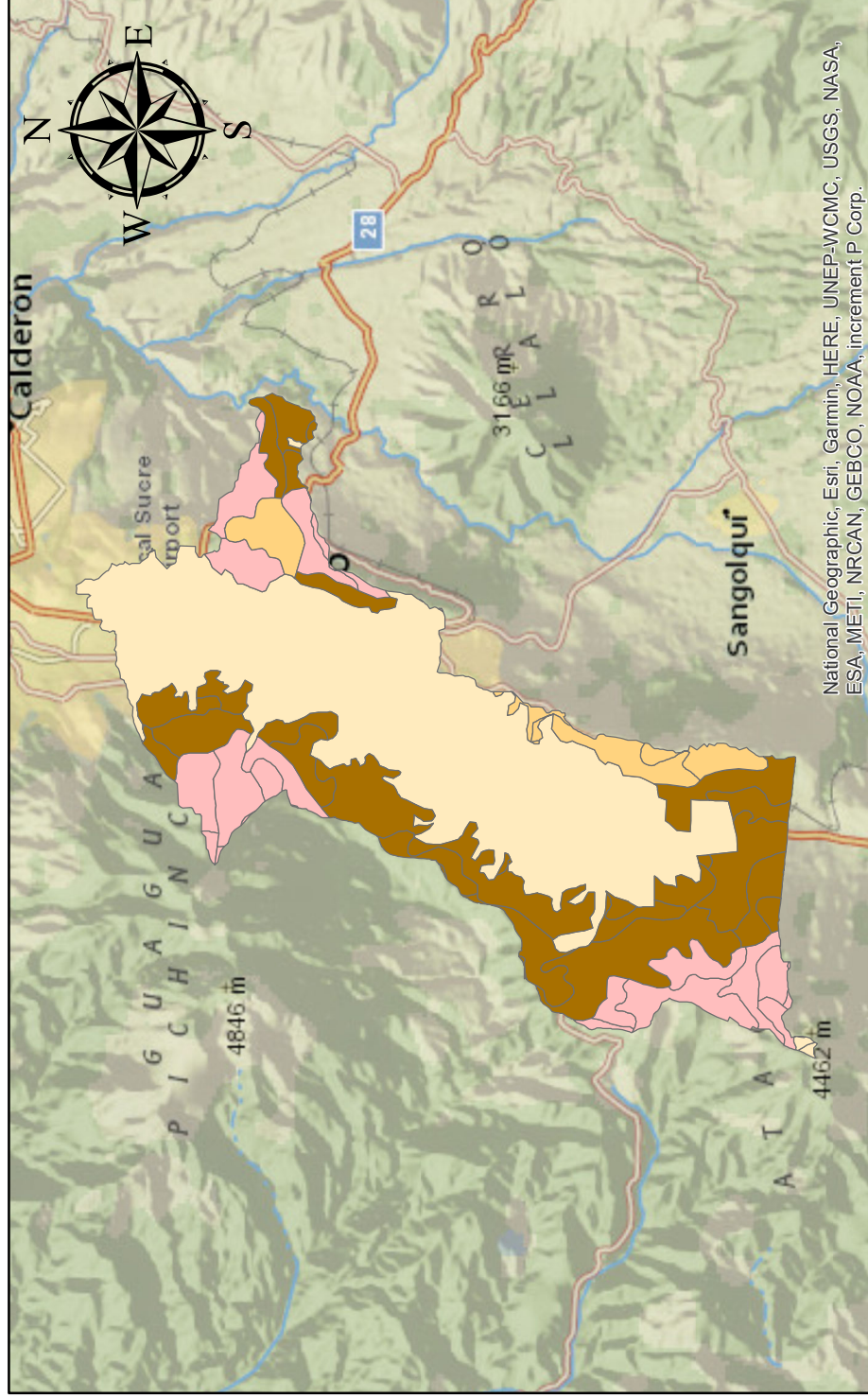
Sthefani Tufiño

Mayo 2019

Lámina 4.3

# Anexo 4.4, DISTRIBUCIÓN TEXTURAL DE LA UNIDAD HIROGRÁFICA 15247\_3 ECUADOR

ESCALA: 1:250 000



## LEYENDA

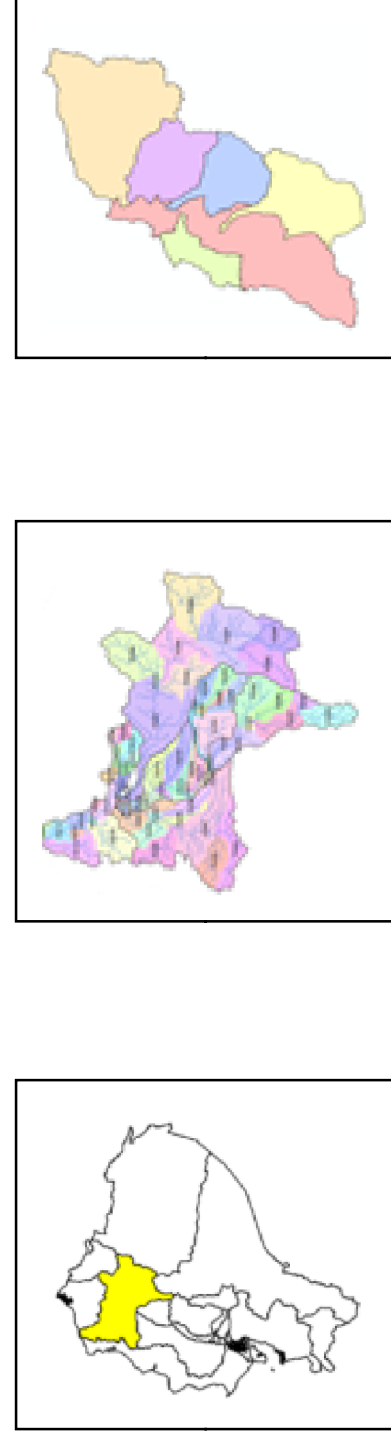
FINA

GRUESA

MEDIA

MODERADAMENTE GRUESA

NO APLICABLE



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Ingenierías  
y Ciencias Aplicadas

NOMBRE

Sthefani Tufiño

Mayo 2019

Lámina 4.4

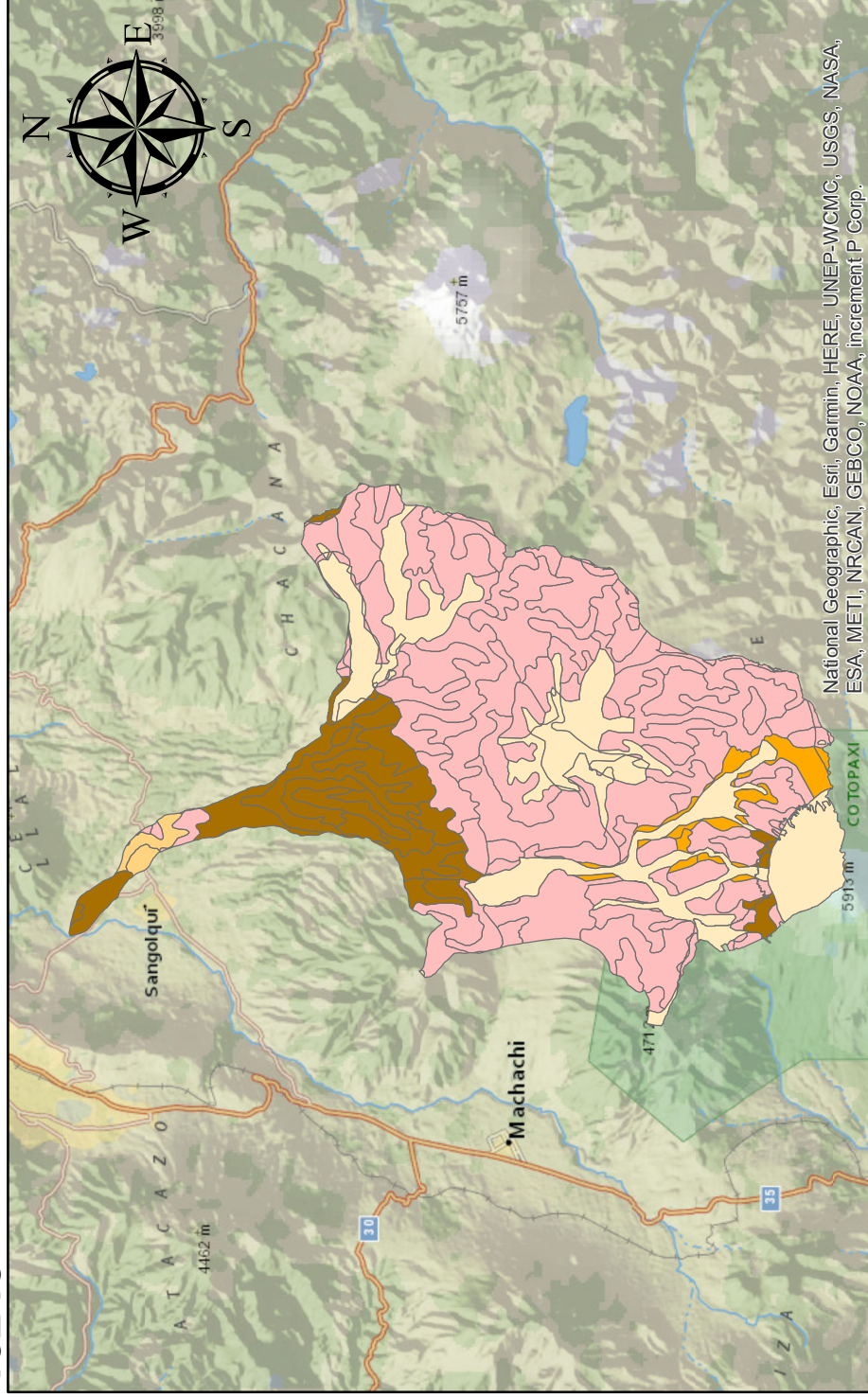


# Anexo 4.5, DISTRIBUCIÓN TEXTUTAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA

15248

ECUADOR

ESCALA: 1:400 000



## LEYENDA

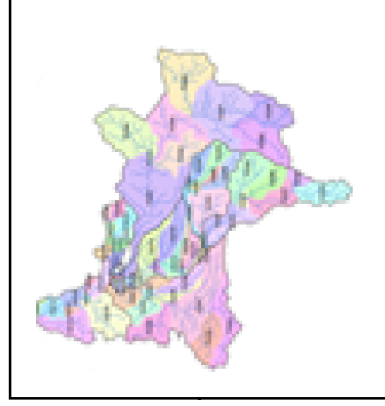
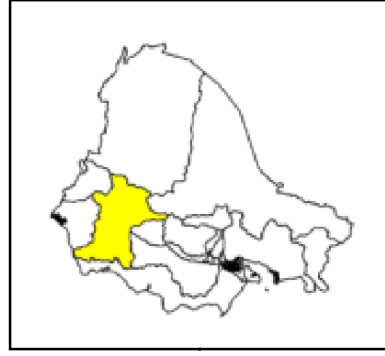
FINA

GRUESA

MEDIA

MODERADAMENTE GRUESA

NO APLICABLE



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Ingenierías  
y Ciencias Aplicadas

NOMBRE

Sthefani Tufiño

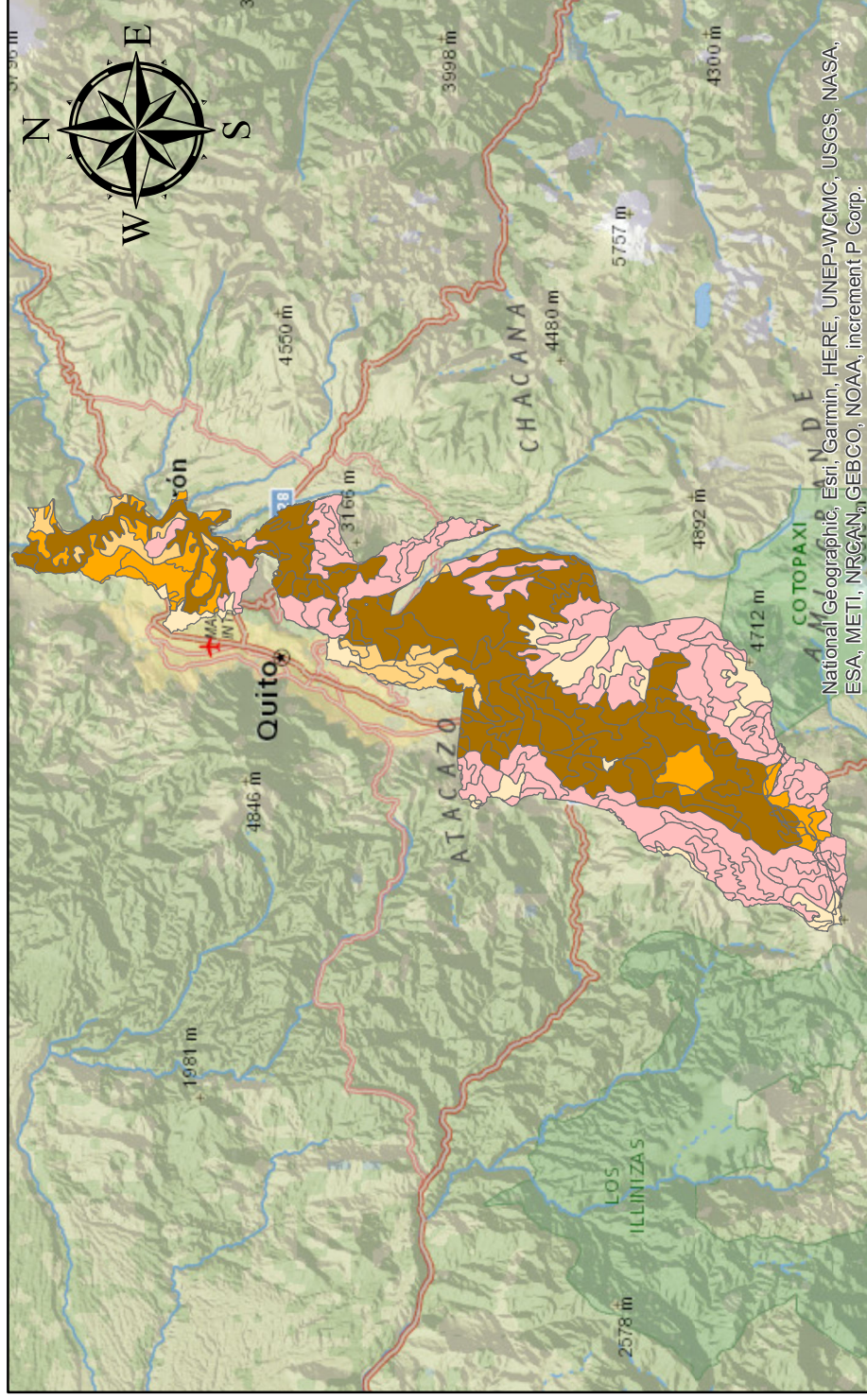
Mayo 2019

Lámina 4.5



# Anexo 4.6, DISTRIBUCIÓN TEXTURAL DE LA UNIDAD HIROGRÁFICA 15249 ECUADOR

ESCALA: 1:650 000



## LEYENDA

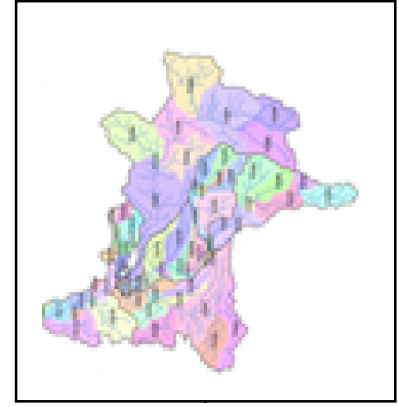
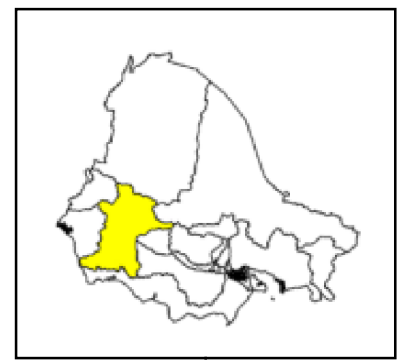
FINA

GRUESA

MEDIA

MODERADAMENTE GRUESA

NO APLICABLE



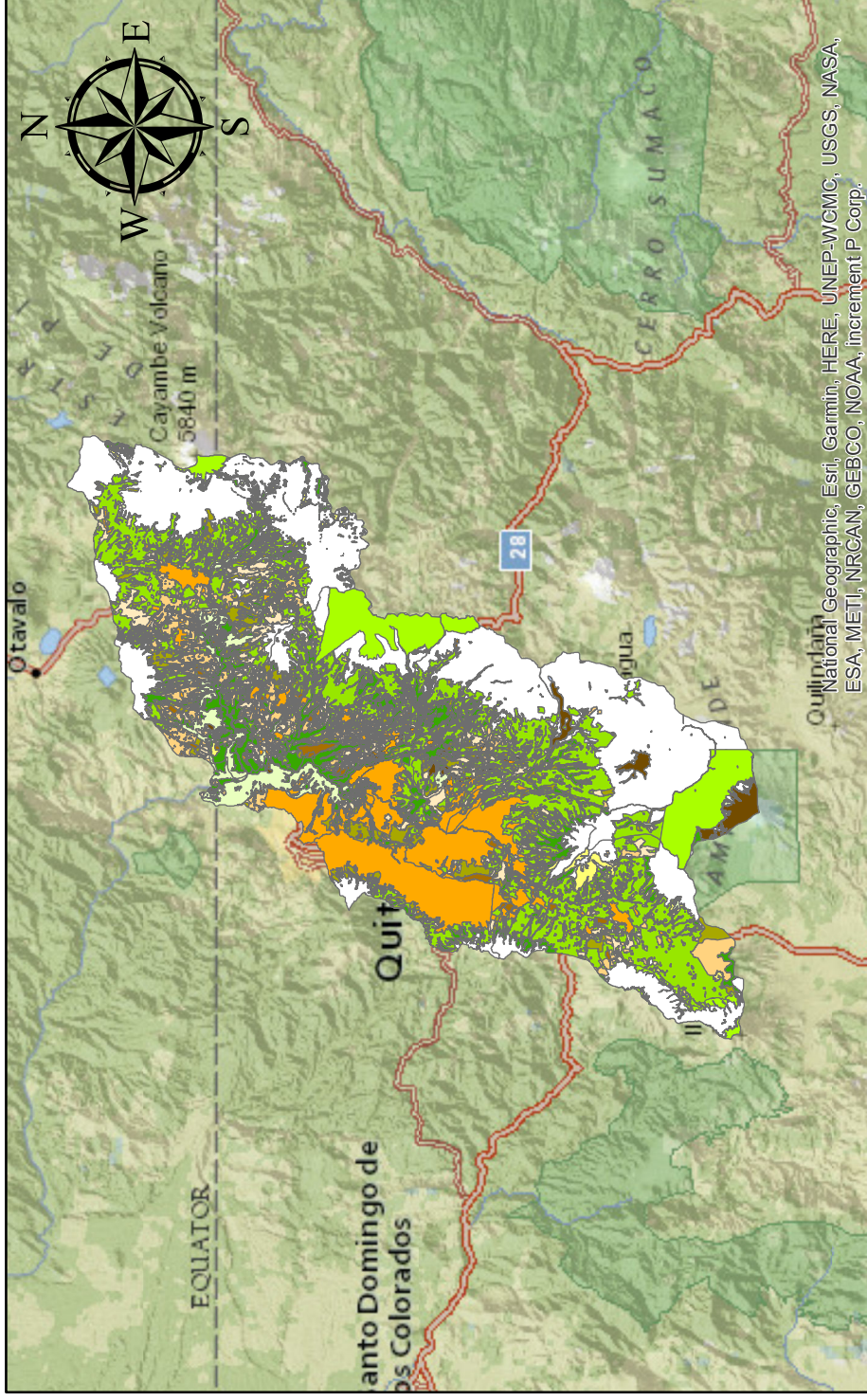
UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	
Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas	
NOMBRE Sthefani Tufiño	
Mayo 2019	Lámina 4.6



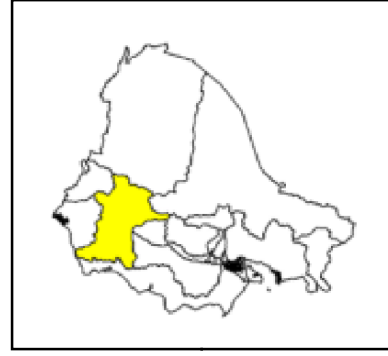
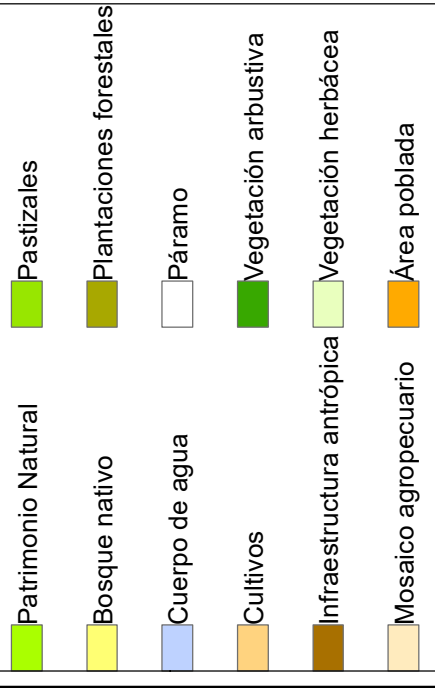
# Anexo 5, USO DE SUELO DE LA CUENCA ALTA DEL GUAYLLABAMBA

ECUADOR

ESCALA: 1:1 000 000



## LEYENDA



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Ingenierías  
y Ciencias Aplicadas

NOMBRE

Sthefani Tufiño

Mayo 2019

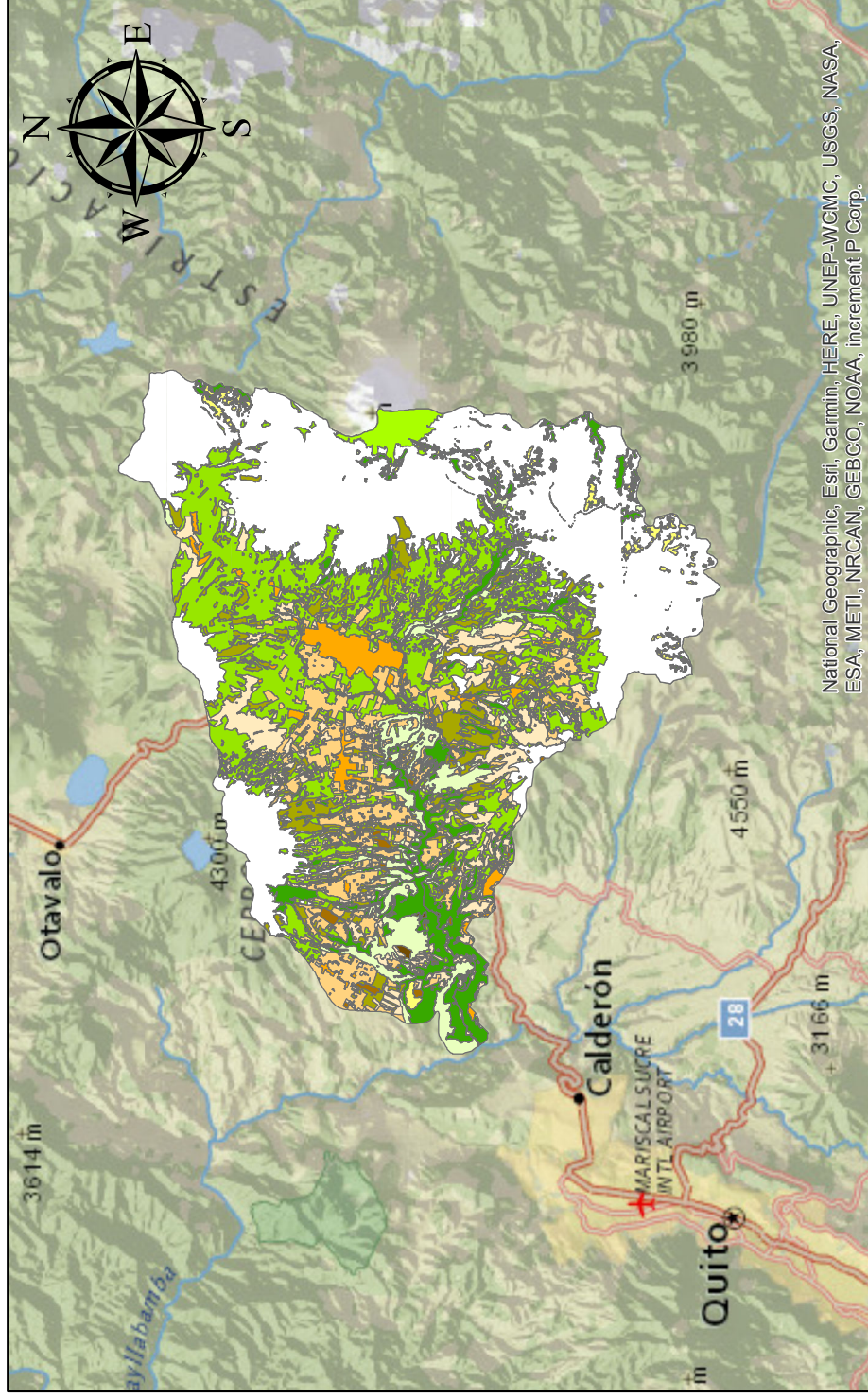
Lámina 5



# Anexo 5.1, USO DE SUELO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA 15246

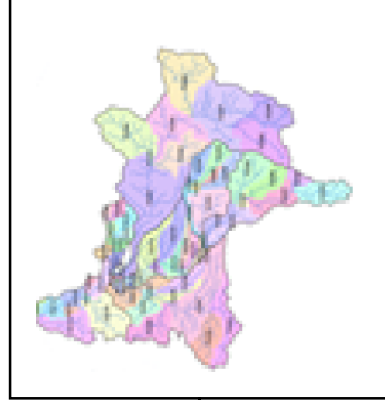
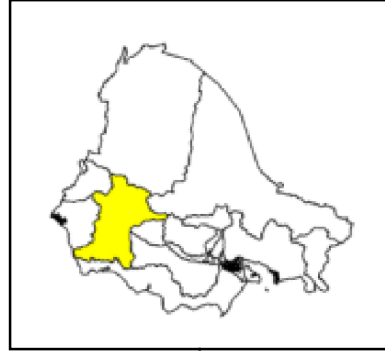
ECUADOR

ESCALA: 1:500 000



## LEYENDA

	Bosque nativo		Plantaciones forestales
	Cuerpo de agua		Páramo
	Cultivos		Sin cobertura
	Infraestructura antrópica		Vegetación arbustiva
	Mosaico agropecuario		Vegetación herbácea
	Pastizales		Área poblada
	Patrimonio natural		

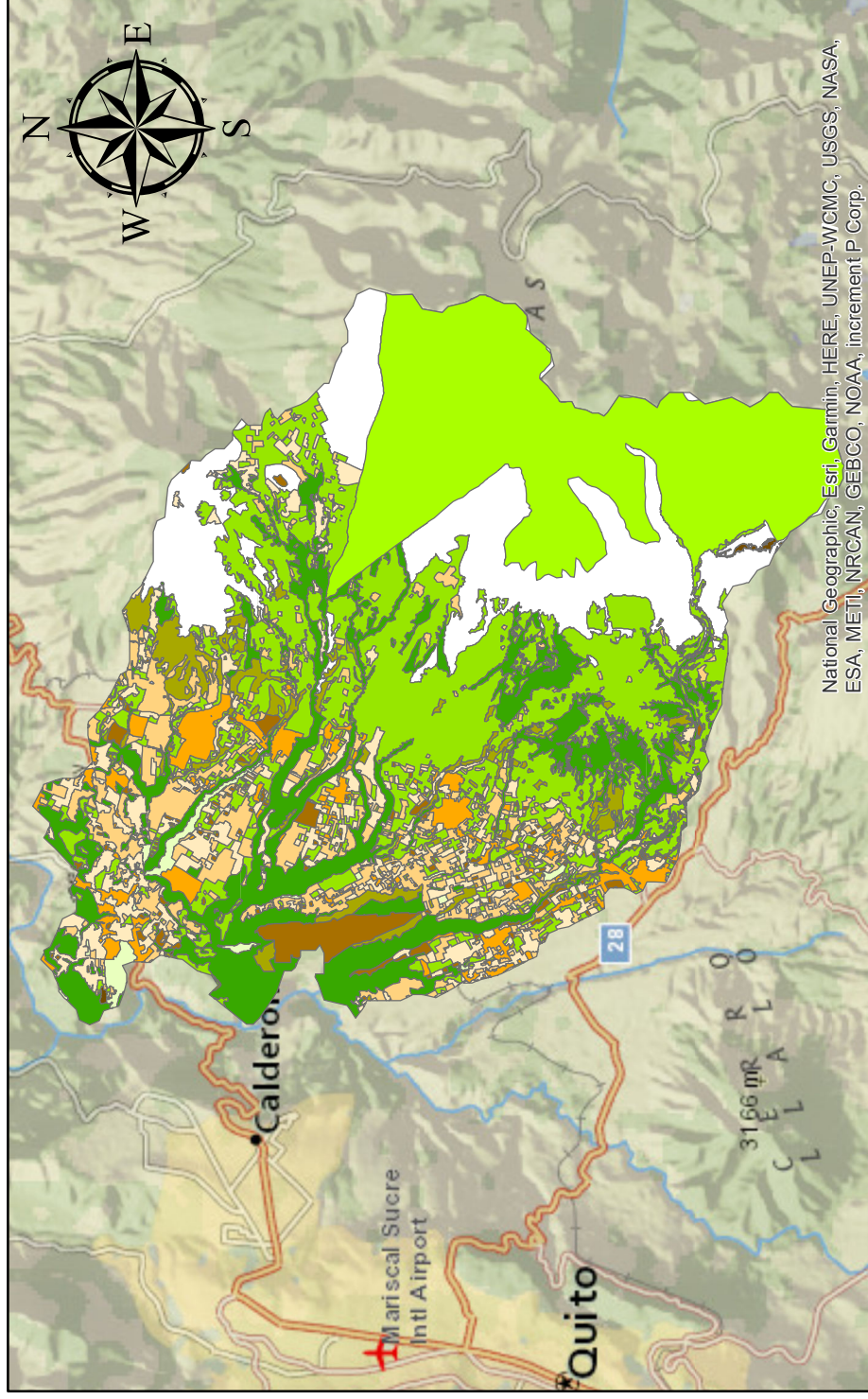


UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	
Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas	
NOMBRE Sthefani Tufiño	
Mayo 2019	Lámina 5.1

# Anexo 5.2, USO DE SUELO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA 15247\_1

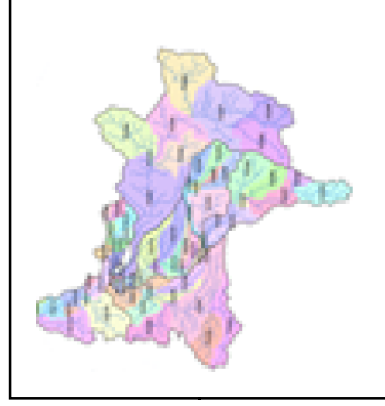
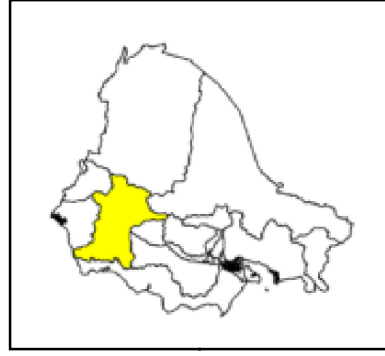
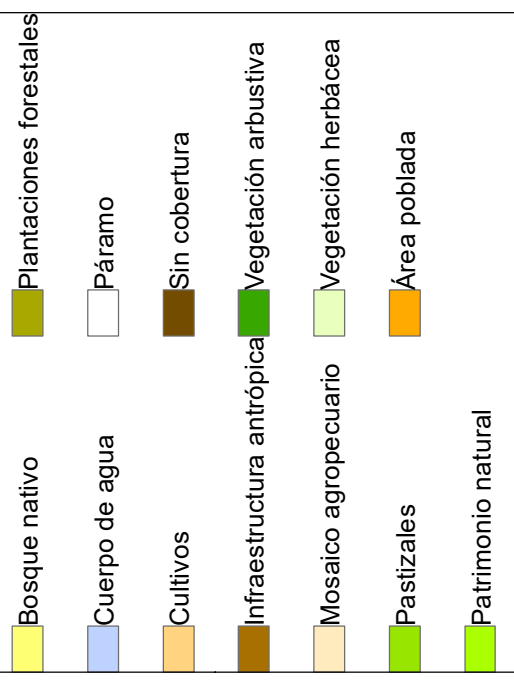
ECUADOR

ESCALA: 1:250 000



National Geographic, Esri, Garmin, HERE, UNEP-WCMC, USGS, NASA, ESA, METI, NRCAN, GEBCO, NOAA, increment P Corp.

## LEYENDA



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Ingenierías  
y Ciencias Aplicadas

NOMBRE

Sthefani Tufiño

Mayo 2019

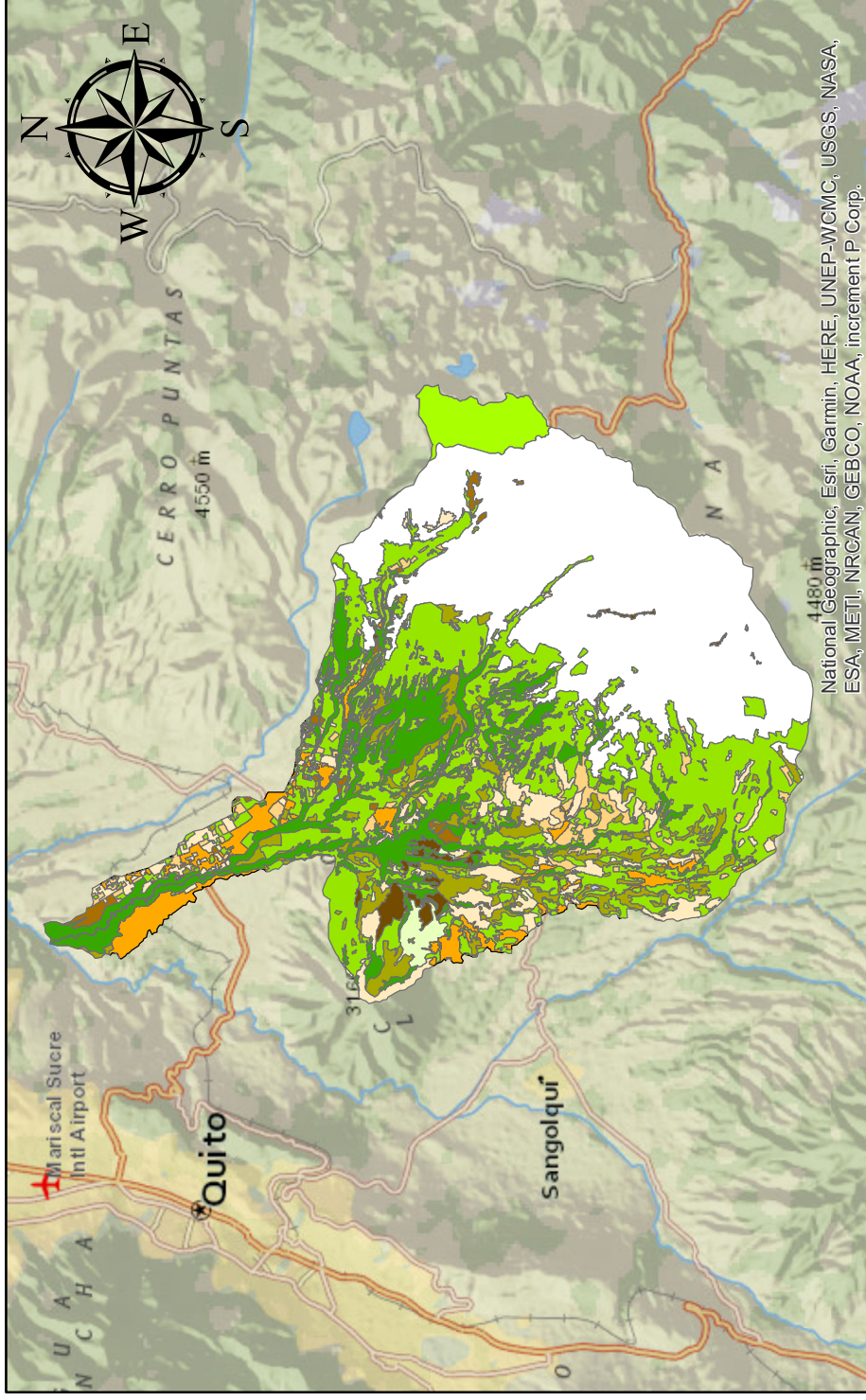
Lámina 5.2



# Anexo 5.3, USO DE SUELO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA 15247\_2

ECUADOR

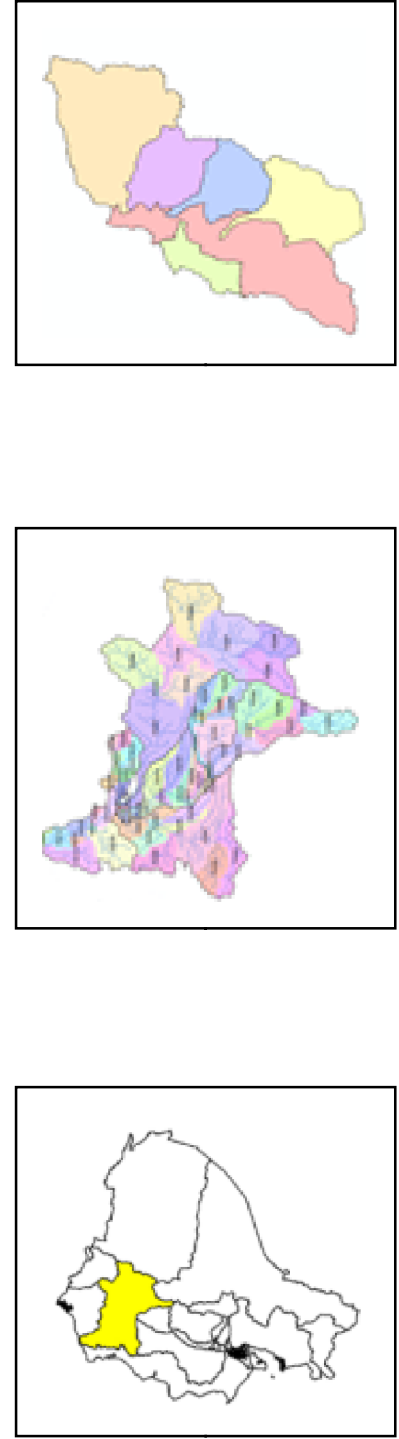
ESCALA: 1:300 000



4180 m  
National Geographic, Esri, Garmin, HERE, UNEP-WGMC, USGS, NASA, ESA, METI, NRCAN, GEBCO, NOAA, increment P Corp.

## LEYENDA

- Cuerpo de agua
- Plantaciones forestales
- Cultivos
- Páramo
- Infraestructura antrópica
- Sin cobertura
- Mosaico agropecuario
- Vegetación arbustiva
- Pastizales
- Vegetación herbácea
- Patrimonio Natural
- Área poblada

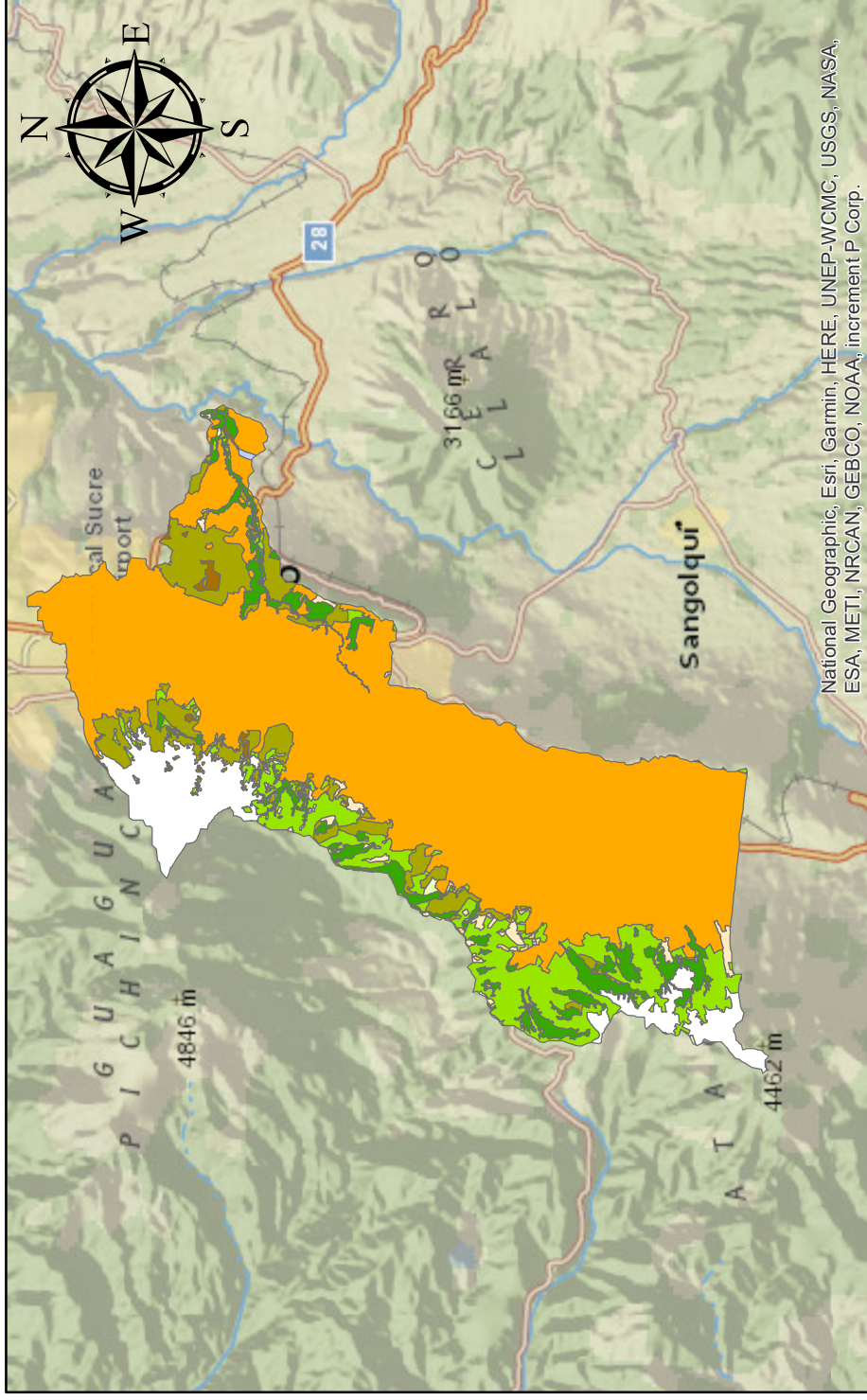


<b>UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS</b>	
Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas	
<b>NOMBRE</b> Sthefani Tufiño	
Mayo 2019	Lámina 5.3

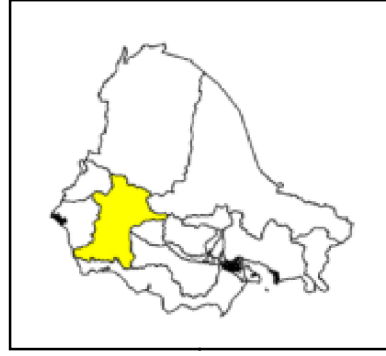
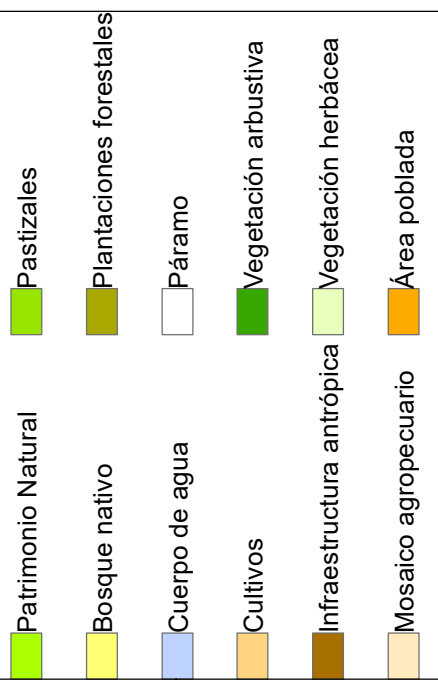
# Anexo 5.4, USO DE SUELO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA 15247\_3

ECUADOR

ESCALA: 1:250 000



## LEYENDA



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Ingenierías  
y Ciencias Aplicadas

NOMBRE

Sthefani Tufiño

Mayo 2019

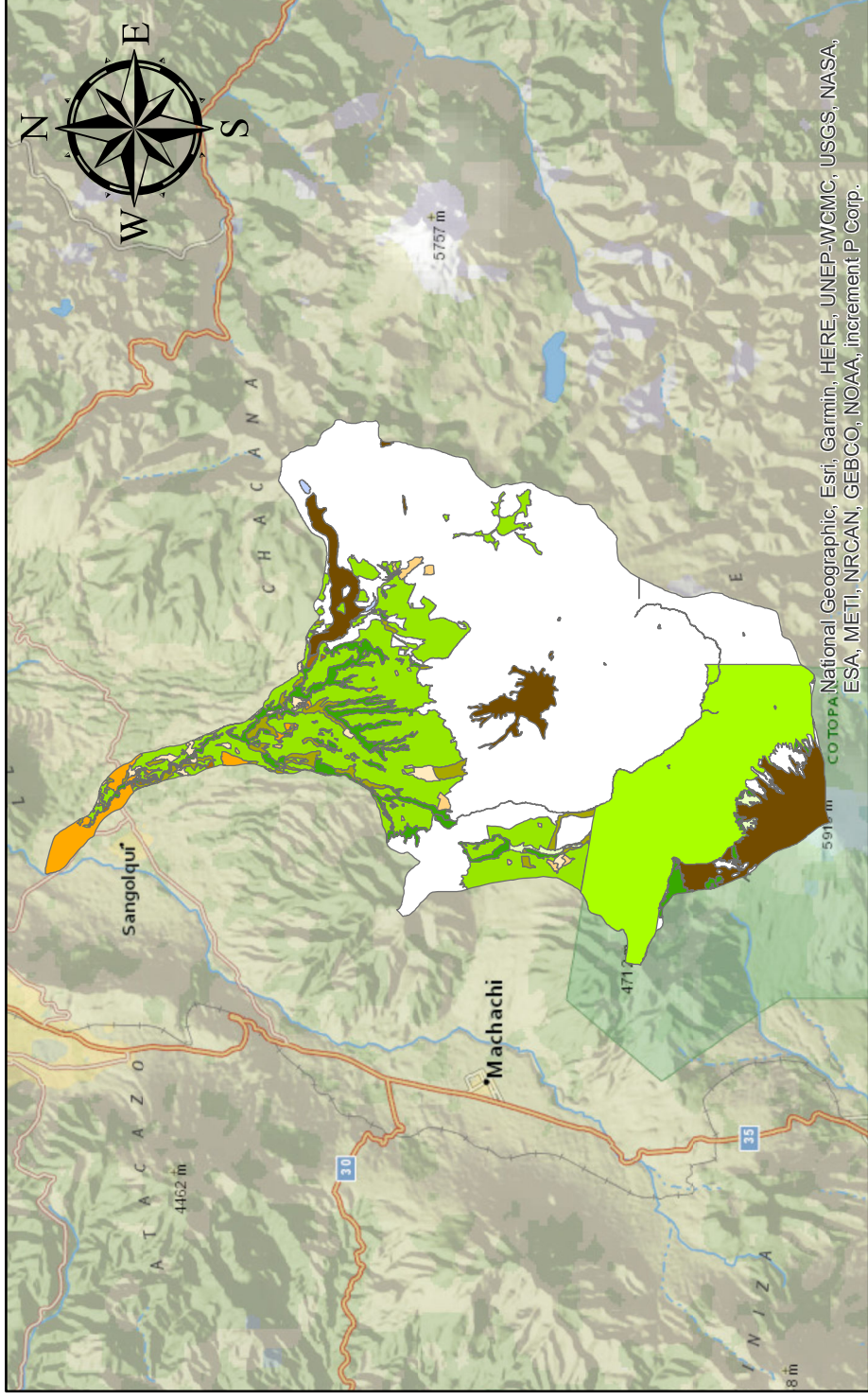
Lámina 5.4
















# Anexo 5.5, USO DE SUELO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA 15248

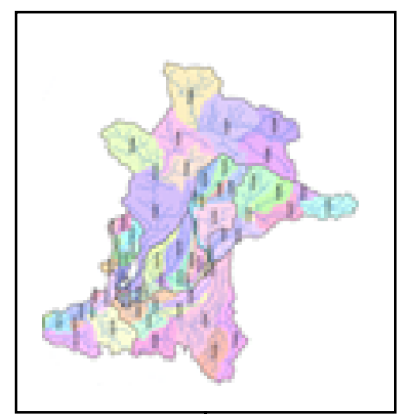
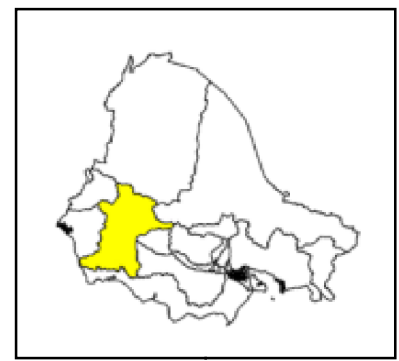
ECUADOR

ESCALA: 1:400 000



## LEYENDA

	Bosque nativo		Plantaciones forestales
	Cuerpo de agua		Páramo
	Cultivos		Sin cobertura
	Infraestructura antrópica		Vegetación arbustiva
	Mosaico agropecuario		Vegetación herbácea
	Pastizales		Área poblada
	Patrimonio natural		



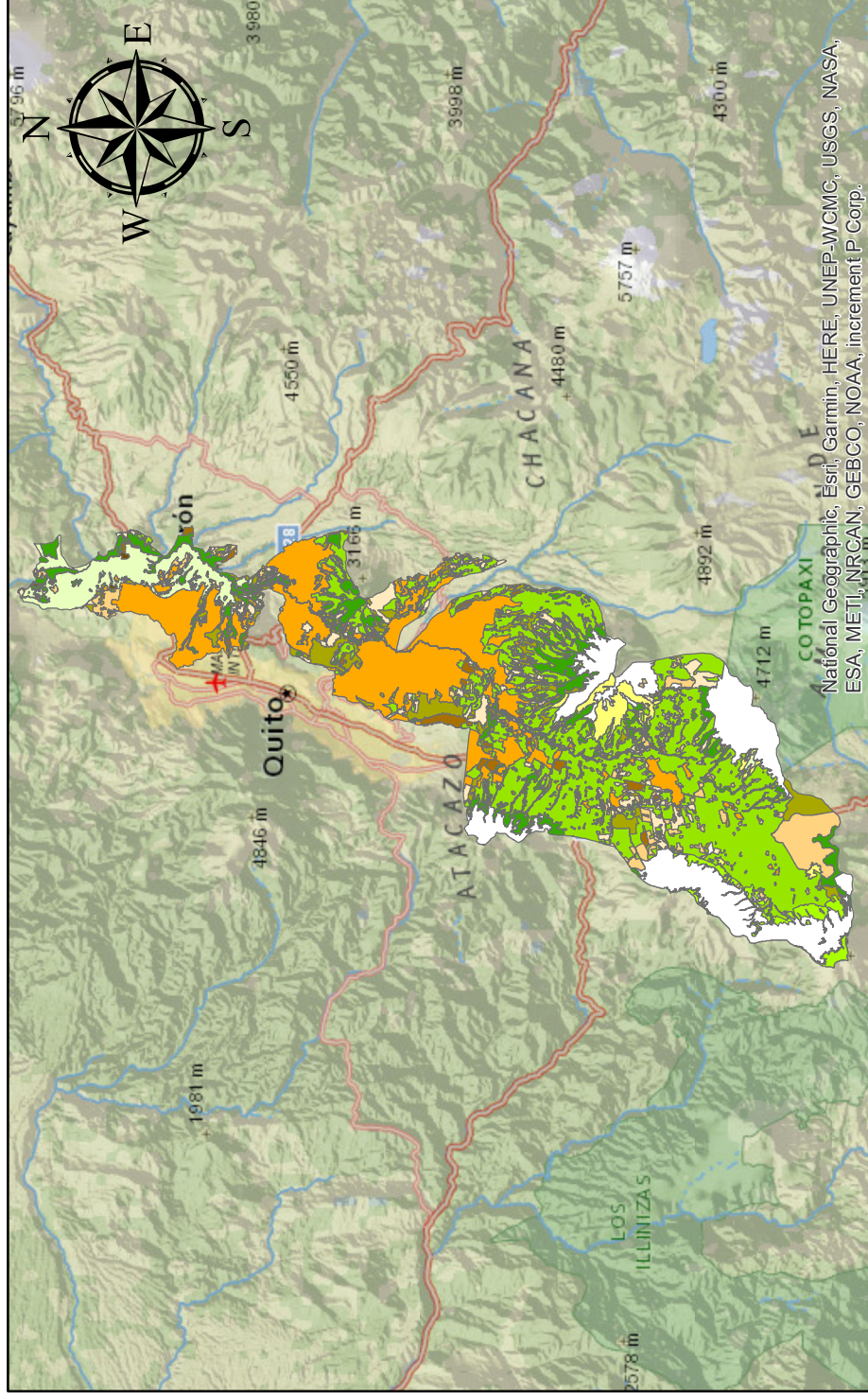
UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	
Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas	
NOMBRE	
Mayo 2019	Sthefani Tufiño
	Lámina 5.5



# Anexo 5.6, USO DE SUELO DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA 15249

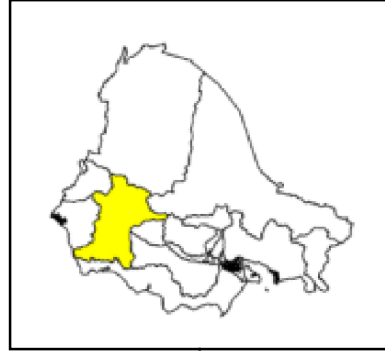
ECUADOR

ESCALA: 1:650 000



## LEYENDA

	Bosque Nativo		Plantaciones forestales
	Cuerpo de agua		Páramo
	Cultivos		Sin cobertura
	Infraestructura antrópica		Vegetación arbustiva
	Mosaico agropecuario		Vegetación herbácea
	Pastizales		Área poblada
	Patrimonio natural		

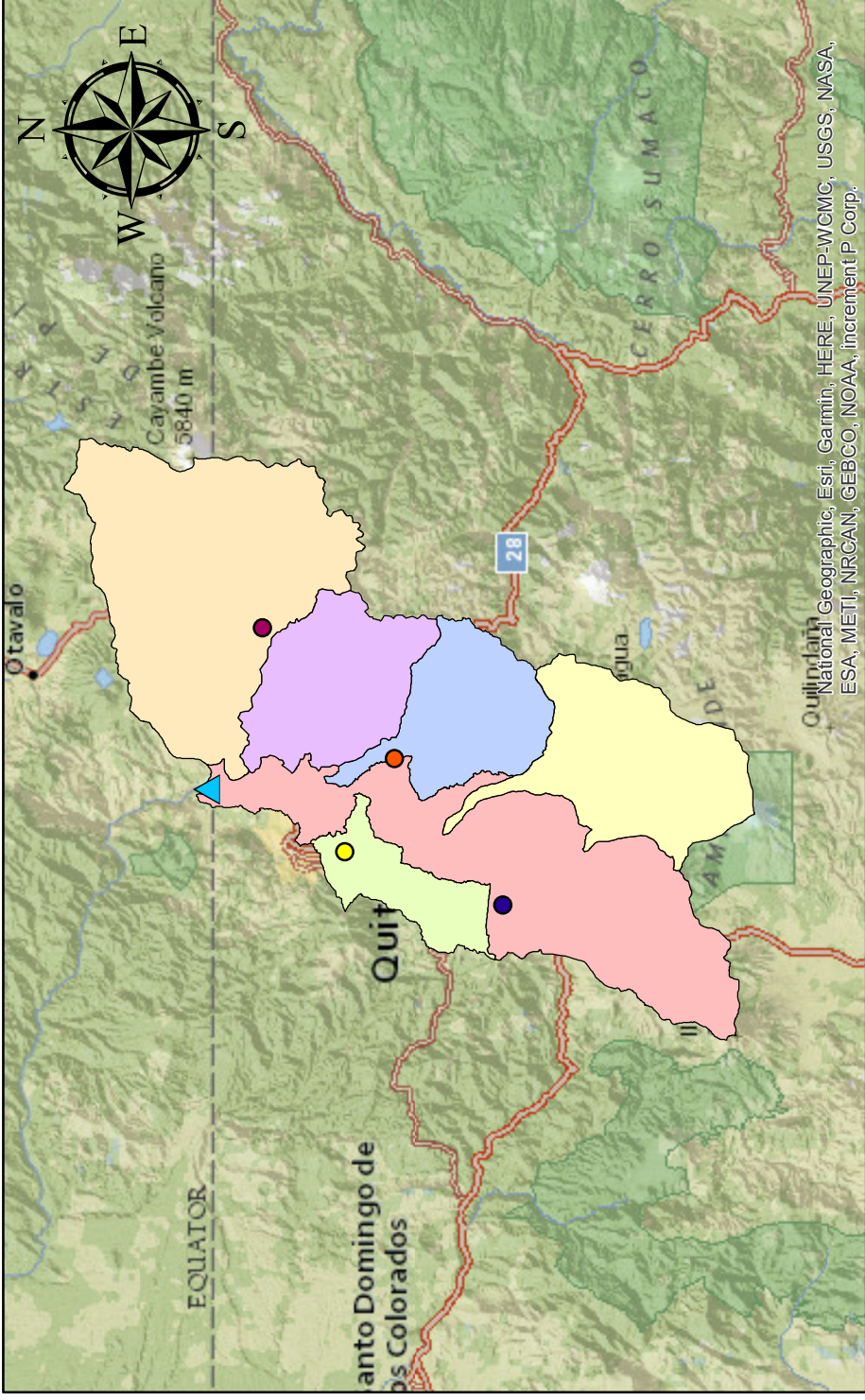


UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	
Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas	
NOMBRE Sthefani Tufiño	
Mayo 2019	Lámina 5.6



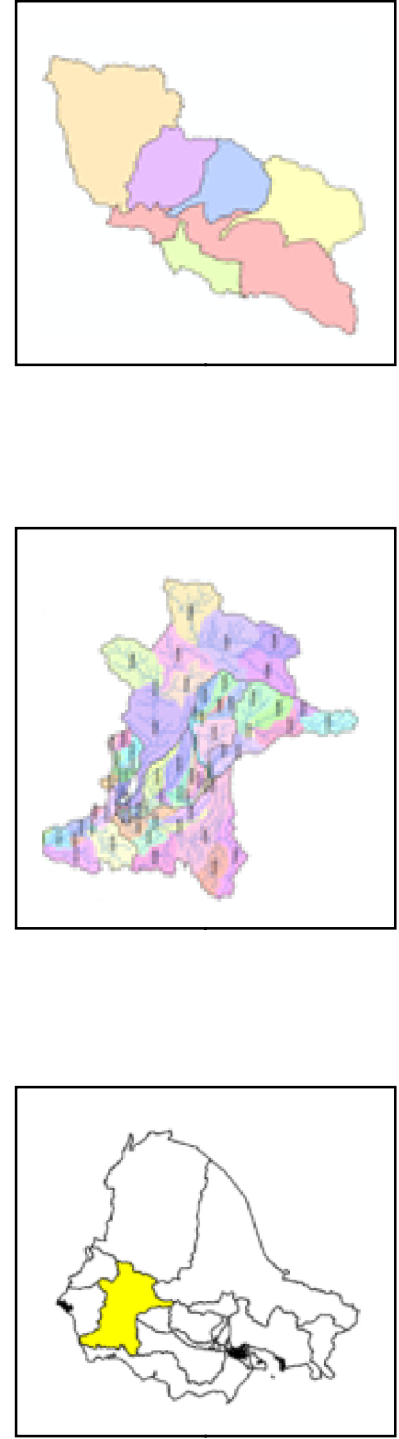
# Anexo 6, ESTACIONES METEOROLÓGICAS E HIDROLÓGICAS CONSIDERADAS EN LA GENERACIÓN DEL MODELO

ECUADOR  
ESCALA: 1:1 000 000



## LEYENDA

- M002 LA TOLA
- M003 IZOBAMBA
- M009 LA VICTORIA INERHI
- M024 QUITO INAMHI-INNAQUITO
- ▲ H0148 GUAYLLABAMBA DJ PSIQUE



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	
Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas	
NOMBRE Sthefani Tufiño	
Mayo 2019	Lámina 6

# Anexo 7, MODELO WEAP

ECUADOR

ESCALA: 1:1 000 000

## LEYENDA

Cuenca hidrográfica

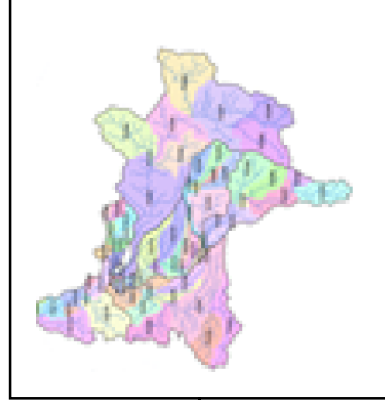
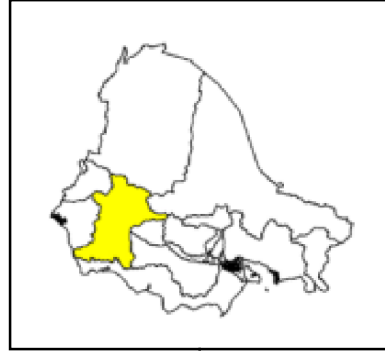
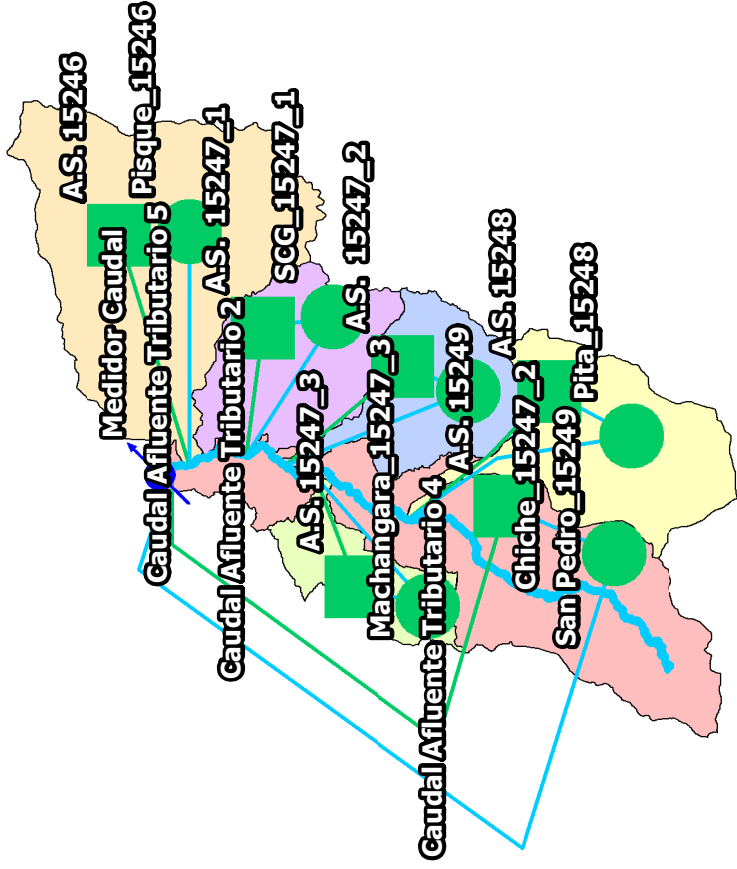
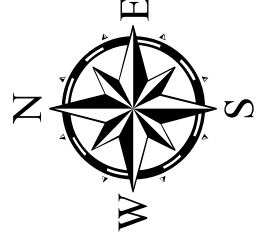
Medidor de caudal

Aguas subterráneas

Río

Conducción

Escorrentía/Infiltración



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS

Facultad de Ingenierías  
y Ciencias Aplicadas

NOMBRE

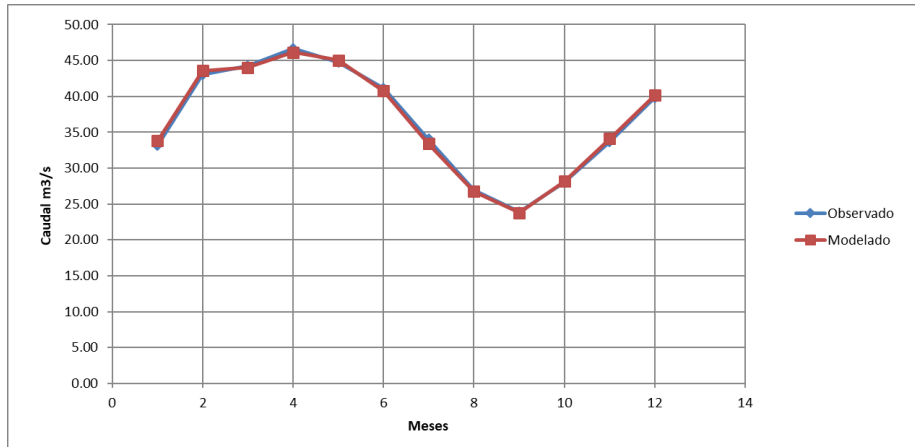
Sthefani Tufiño

Mayo 2019

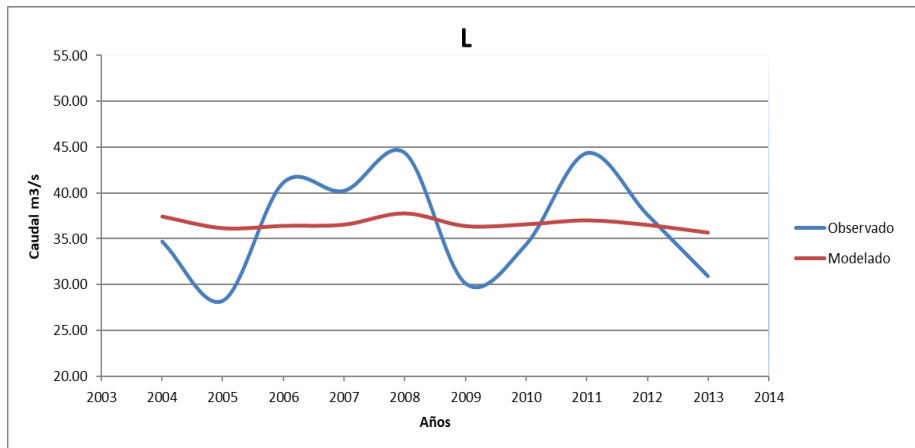
Lámina 7



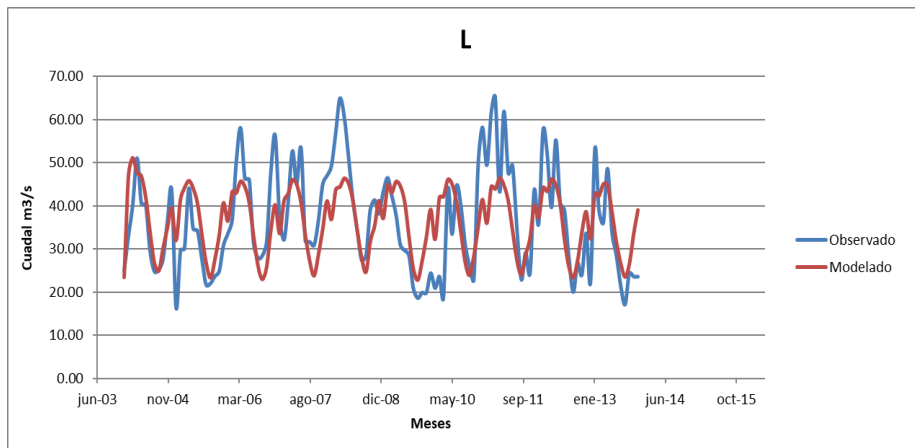
**Anexo 8, Caudales temporales observados vs modelados en m<sup>3</sup>/s. Error 1.31**



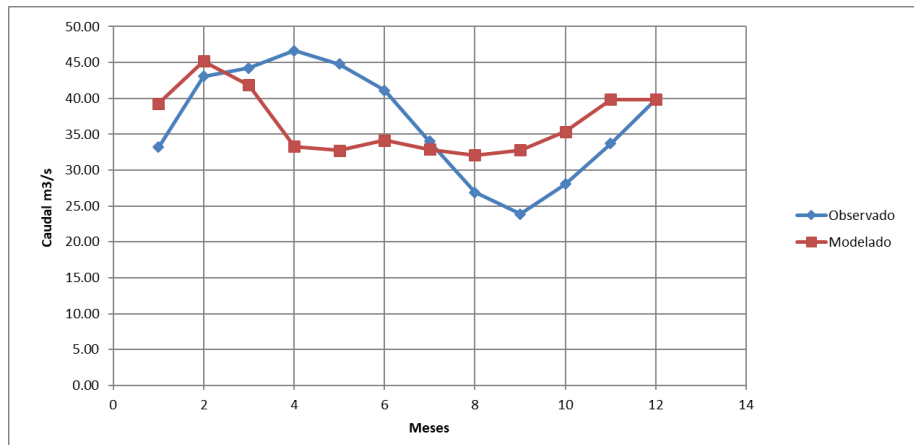
**Anexo 9, Caudales anuales observados vs modelados en m<sup>3</sup>/s. Error 1.31**



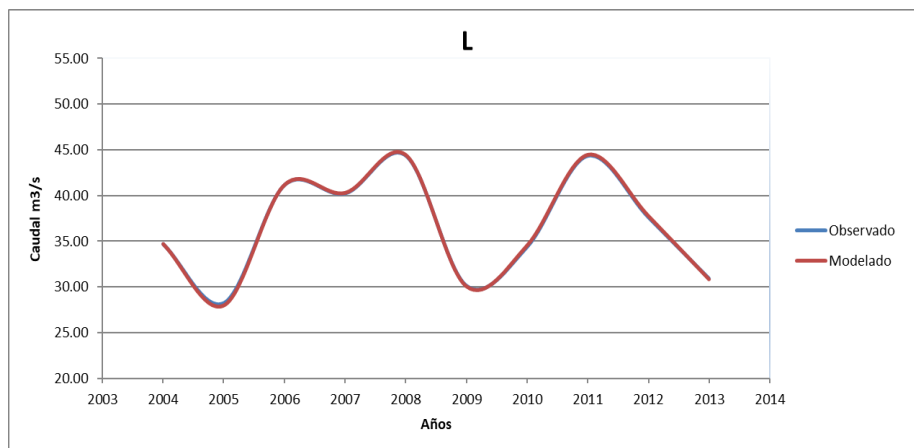
**Anexo 10, Caudales mensuales observados vs modelados en m<sup>3</sup>/s. Error 1.31**



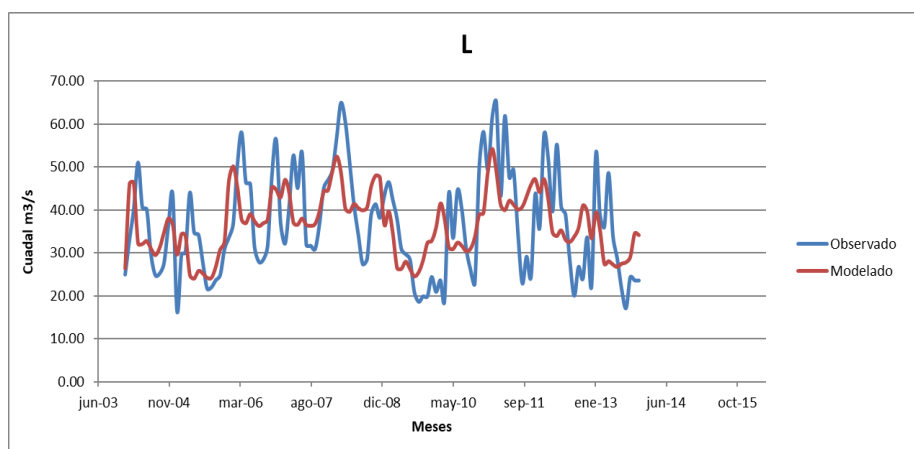
**Anexo 11, Caudales temporales observados vs modelados en m<sup>3</sup>/s. Error 1.78**



**Anexo 12, Caudales anuales observados vs modelados en m<sup>3</sup>/s. Error 1.78**



**Anexo 13, Caudales mensuales observados vs modelados en m<sup>3</sup>/s. Error 1.78**



Anexo 14. Tabla de radiación solar extraterrestre en mm/día

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

