



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad Educativa al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Caracterización Hidrológica e Hidrogeológica de la
Microcuenca del río Tabacay**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR: KARLA SOLEDAD JARAMILLO NEIRA.

DIRECTOR: ING. JORGE RODRIGO CASTILLO GUEVARA MSC.

MATRIZ CUENCA

2018

DECLARACIÓN

Yo, Karla Soledad Jaramillo Neira, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. Eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normativa institucional vigente.

KARLA SOLEDAD JARAMILLO NEIRA

0105253942

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Karla Soledad Jaramillo Neira, bajo mi supervisión.

ING. JORGE RODRIGO CASTILLO GUEVARA

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis directores de tesis Ingeniero Jorge Castillo e Ingeniero Carlos Matovelle por la guía brindada para el desarrollo del trabajo de investigación.

Agradezco a las entidades públicas EMAPAL, SENAGUA y Municipio de Azogues por la ayuda inmediata en la entrega de información.

Un agradecimiento especial a mi amigo y compañero Néstor Cedillo, un apoyo especial en el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

Este trabajo dedico a mi padre German Jaramillo y a mis dos mamás Eulalia Neira y Martha Vera, por su ejemplo de constancia, de esfuerzo y de dedicación, para ellos mi amor más grande, sin ellos ningún logro sería posible, por su esfuerzo, entrega y su incondicional cariño, los responsables de cada meta lograda y mi motivación para cada día ser mejor. El apoyo de mis hermanos María José y Mateo por su soporte en cada obstáculo y el más grande de los agradecimientos para mi abuelita Blanca Orquera la persona que ha puesto en mi toda su confianza e hizo posible la culminación de esta meta y me ha apoyado en todos los caminos, ella mi abuelita consentida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDROGEOLOGICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY.....	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
2. OBJETIVOS.....	- 2 -
2.1. General	- 2 -
2.2. Específicos.....	- 2 -
3. MODELOS HIDROLÓGICOS	- 3 -
3.1. Programa EvalHid. Modelo Témez	- 4 -
3.2. Variables	- 6 -
3.2.1. Precipitación.	- 6 -
3.2.2. Temperatura.	- 8 -
3.2.3. Evapotranspiración.	- 8 -
3.2.4. Litología.	- 9 -
3.2.5. Edafología.....	- 10 -
3.3. Coeficientes.....	- 12 -
3.3.1. Infiltración.	- 12 -
3.3.2. Humedad Máxima.....	- 14 -
3.4. Balance hídrico.....	- 15 -
4. MARCO LEGAL.....	- 16 -
4.1. Constitución de la República del Ecuador	- 16 -
4.2. Ordenanza EMAPAL EP.....	- 17 -
5. METODOLOGÍA	- 19 -

5.1. Desarrollo del Modelos	19 -
6. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA.....	22 -
6.1. Ubicación.	22 -
6.2. Densidad poblacional, agua potable y alcantarillado.	25 -
7. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA	27 -
7.1. Características morfométricas	27 -
7.1.1 Forma.	27 -
7.1.2. Relieve.....	28 -
7.1.3. Drenaje.	31 -
7.2. Parámetros Meteorológicos.....	33 -
7.2.1. Precipitación	33 -
7.2.2. Temperatura y Humedad Relativa	37 -
7.2.3. Evapotranspiración	40 -
8. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA.....	42 -
8.1. Geología Regional.....	42 -
8.2. Edades geológicas.	42 -
8.3. Litología.....	44 -
8.4. Edafología.....	46 -
8.4.1. Textura del suelo.	46 -
8.4.2. Profundidad efectiva.	48 -
8.4.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).	49 -
8.4.4. Uso de suelo.....	50 -
9. BALANCE HÍDRICO	55 -
10. CONCLUSIONES	64 -
11. RECOMENDACIONES	66 -
Bibliografía.....	67 -
Anexos	71 -
Anexo 1: Datos de precipitación mensual por estaciones corregidos	71 -
Anexo 2: Temperatura de estación meteorológica de Nudpud	73 -
Anexo 3: Mapa de edades geológicas.....	75 -
Anexo 4: Mapa de tipos de suelos. Taxonomía, según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB).	76 -
Anexo 5: Valores de infiltración, se considerando los diferentes coeficientes de infiltración y usos de suelo.	77 -
Anexo 6: Resultados de aportación considerando los diferentes coeficientes de infiltración y valores de humedad.....	85 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de flujos del modelo Témez.	- 5 -
Figura 2: Disposición de estaciones con datos completos (A, B, C) y estación con datos incompletos (x). Ecuación aplicada, Pi (precipitación de estaciones A, B, C) y n (número de estaciones)	- 7 -
Figura 3: Representación porcentual de un suelo ideal.....	- 11 -
Figura 4: Triángulo de texturas.	- 11 -
Figura 5: Diagrama de flujo del desarrollo del estudio.....	- 20 -
Figura 6: Esquema del modelo Témez.....	- 21 -
Figura 7: Quebradas de la microcuenca del río Tabacay. Ubicación de la microcuenca dentro de la subcuenca del río Burgay y la cuenca del río Paute.....	- 23 -
Figura 8: Ubicación de la microcuenca del río Tabacay dentro de la provincia del Cañar y sus cantones.....	- 24 -
Figura 9: Ubicación de la microcuenca del río Tabacay dentro del cantón Azogues y sus parroquias.....	- 24 -
Figura 10: Curva hipsométrica de la microcuenca del río Tabacay.	- 29 -
Figura 11: Mapa de pendientes de la microcuenca del río Tabacay.....	- 31 -
Figura 12: Jerarquización de la Red de Drenaje de la microcuenca del río Tabacay.....	- 32 -
Figura 13: Estaciones pluviométricas en la microcuenca del río Tabacay y en sus alrededores. Precipitación media mensual periodo 2013-2016.....	- 34 -
Figura 14: Mapa de isoyetas de la microcuenca del río Tabacay periodo 2013 – 2016. Estaciones pluviométricas.	- 36 -
Figura 15: Temperatura media, máxima y mínima periodo 2013 – 2016.....	- 39 -
Figura 16: Humedad relativa media periodo 2013 – 2016.....	- 39 -
Figura 17: Columna estratigráfica de la Unidad Tectónica Cocha Huma – Azogues.	- 43 -
Figura 18: Mapa litológico de la microcuenca del río Tabacay	- 45 -
Figura 19: Mapa de texturas superficiales, según el sistema internacional USDA.....	- 48 -
Figura 20: Uso de suelo y cobertura vegetal de la microcuenca del río Tabacay	- 51 -
Figura 21: Litología modificada de la microcuenca del río Tabacay	- 56 -
Figura 22: Uso de suelo de la microcuenca del río Tabacay	- 57 -
Figura 23: Dinámica de la microcuenca del río Tabacay relación precipitación-aportación, periodo 2013-2016.	- 61 -
Figura 24: Datos simulados como aportación final y datos de caudal abastecidos por EMAPAL en el periodo 2013-2016 (Hm3).....	- 63 -

Figura 25: Mapa de edades geológicas de la microcuenca del Río Tabacay	75 -
Figura 26: Mapa tipo de suelo.....	76 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Textura de suelos y el porcentaje de composición de arena, arcilla y limo.	12 -
Tabla 2: Valores aproximados de I_{max} según la litología	13 -
Tabla 3: Valores aproximados de H_{max} según los usos de suelo	14 -
Tabla 4: Detalle de datos usados durante la investigación.	21 -
Tabla 5: Superficie de las quebradas de la microcuenca del río Tabacay.	22 -
Tabla 6: Cálculo de áreas parciales para determinar la curva hipsométrica.	28 -
Tabla 7: Clasificación de pendientes	30 -
Tabla 8: Estaciones pluviométricas	35 -
Tabla 9: Precipitación media anual (mm)	37 -
Tabla 10: Temperatura máxima mensual (°C) de la estación meteorológica de Nudpud.	38 -
Tabla 11: Temperatura promedio anual de estación meteorológica de Nudpud	38 -
Tabla 12: Evapotranspiración potencial media (mm)	40 -
Tabla 13: Evapotranspiración real media (mm)	41 -
Tabla 14: Edades geológicas	42 -
Tabla 15: Litología de la microcuenca del río Tabacay con su valor de coeficiente de infiltración.	44 -
Tabla 16: Textura superficial de suelos.	46 -
Tabla 17: Composición porcentual del suelo. M.O (Índice de materia orgánica, considerando a 1 como valor mínimo y 4 como abundante).	47 -
Tabla 18: Textura de suelo a profundidad	47 -
Tabla 19: Profundidad efectiva de los suelos de la microcuenca del río Tabacay	49 -
Tabla 20: Capacidad de intercambio catiónico de la microcuenca del río Tabacay	49 -
Tabla 21: Uso de suelo de la microcuenca del río Tabacay.....	50 -
Tabla 22: Ecosistemas de la microcuenca del río Tabacay.	52 -
Tabla 23: Litología modificada con su coeficiente de infiltración.....	55 -
Tabla 24: Capacidad retención de agua o humedad máxima modificada	57 -
Tabla 25: Superficie de control de los parámetros de I_{max} y H_{max}	58 -
Tabla 26: Infiltración de la microcuenca del río Tabacay en mm.	59 -
Tabla 27: Infiltración según el uso de suelo.....	59 -
Tabla 28: Aportación final de la microcuenca del río Tabacay en Hm^3	60 -
Tabla 29: Precipitación mensual (mm) de la estación meteorológica de Nudpud	62 -
Tabla 30: Datos de precipitación mensual (mm) corregidos por el programa TRASERO..	71 -

Tabla 31: Temperatura mínima, media y máxima de la microcuenca del río Tabacay. Estacion meteorológica de Nudpud	- 73 -
Tabla 32: Infiltración (mm) del 88,19% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 25.	- 77 -
Tabla 33: Infiltración (mm) del 3,12% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 150.	- 79 -
Tabla 34: Infiltración (mm) del 1,13% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 300.	- 81 -
Tabla 35: Infiltración (mm) del 7,57% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 450.	- 83 -
Tabla 36: Aportación final (Hm ³) del 88,19% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 25.	- 85 -
Tabla 37: Aportación final (Hm ³) del 3,12% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 150.	- 87 -
Tabla 38: Aportación final (Hm ³) del 1,13% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 300.	- 89 -
Tabla 39: Aportación final (Hm ³) del 7,57% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 450.	- 91 -

RESUMEN

Los modelos hidrológicos son representaciones simplificadas de la realidad y ayudan a describir los recursos hídricos para gestionar y crear políticas que ayuden a su conservación. La microcuenca del río Tabacay es la única fuente de agua potable para la ciudad de Azogues y sus zonas aledañas siendo necesario el estudio de los recursos naturales para optimizar su uso. EvalHid es un programa que ayuda a la gestión de recursos hídricos, en la microcuenca del río Tabacay se utilizó el módulo de Témez, (modelo de precipitación-escorrentía), que requiere pocos parámetros y es sencillo en su uso. Las principales variables requeridas para la modelación fueron datos de precipitación, temperatura, evapotranspiración, infiltración y humedad. Al no tener datos meteorológicos confiables se requirió metodologías de llenado de datos. Los coeficientes de humedad e infiltración fueron relacionados ya que EvaHid modela por superficies totales con un punto de desagüe común. Los productos finales se asemejan a la dinámica de los ecosistemas, pero no representan la realidad de la microcuenca ya que en el entorno intervienen variables más complejas.

Palabras clave: Modelos hidrológicos, Microcuenca, Módulo de Témez, EvalHid, Precipitación-escorrentía.

ABSTRACT

Hydrological models are simplified representations of reality and help describe water resources to manage and create policies that help their conservation. The Tabacay river microbasin is the only source of drinking water for the city of Azogues and its surrounding areas. It is necessary to study natural resources to optimize their use. EvalHid is a program that helps the management of water resources, in the microbasin of the Tabacay River the precipitation module was used, which requires few parameters and is simple in its use. The main variables required for the modeling were data on precipitation, temperature, evapotranspiration, infiltration and humidity. Not having reliable meteorological data requires data filling methodologies. The moisture coefficients and the infiltration were similar to those of EvaHid modeled by total surface area with a common drainage point. The final products resemble the dynamics of the ecosystems, but do not represent the reality of the micro-basin since more complex variables intervene in the environment.

Key words: Hydrological models, Microbasin, Tecombe module, EvalHid, Precipitationrunoff

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY

1. INTRODUCCIÓN

La microcuenca del río Tabacay abastece de agua potable a la ciudad de Azogues y a comunidades aledañas; pese a ser considerada como única fuente potencial del recurso hídrico, el crecimiento poblacional desordenado y el aprovechamiento irracional de los recursos naturales han provocado que la microcuenca se enfrente a diversas amenazas de degradación.

La caracterización hidrológica reúne sistemáticamente los parámetros físicos de los recursos hídricos en una microcuenca, estableciendo distintos tipos de indicadores. Las variables geológicas determinan las características esenciales de la geología de la microcuenca y la influencia directa con el paisaje, pues, al revisar la historia geológica se puede notar cambios ecosistémicos y el cómo influye en el uso actual del suelo.

La caracterización hidrogeológica conjuga la geología y la hidrología para determinar las propiedades físicas y geomorfológicas de las aguas subterráneas, la dinámica de un ecosistema cuando determinados indicadores se relacionan. La caracterización de la microcuenca del río Tabacay determinará lineamientos para la conservación y el uso racional de recursos naturales considerando la protección del ambiente como una de las principales prioridades del desarrollo.

Se han realizado diversos estudios dentro de la microcuenca del río Tabacay, que abarca la calidad, la gestión y el manejo de los recursos naturales, mismos que han ayudado a generar políticas ambientales para la conservación y cuidado del ecosistema. Para ampliar los estudios antes mencionados se vio la necesidad de estudiar la caracterización hidrológica e hidrogeológica como herramienta para la determinación del estado actual de los recursos hídricos y para realizar una correcta gestión del territorio con sus recursos naturales con el fin de integrar nuevos parámetros; así, la legislación tendrá un sustento sólido y estará sujeta a la realidad de la microcuenca.

El desarrollo de la caracterización hidrológica e hidrogeológica de la microcuenca del río Tabacay generará una herramienta para la planificación del territorio y sus recursos hídricos, el análisis de los componentes hidrológicos y la descripción de la geología de la zona, determinará fuentes hídricas superficiales y subterráneas, contribuyendo a una correcta

gestión de los recursos hídricos y la planeación del territorio con políticas de manejo sustentable a largo plazo.

La caracterización hidrológica se realizará determinando parámetros físicos y morfométricos, según el uso actual de suelo y los datos meteorológicos de la microcuenca. La caracterización hidrogeológica conjugará información geológica de mapas ya generados, con características hidrológicas y meteorológicas de la microcuenca. El resultado de la investigación será determinado mediante el uso de un modelo de precipitación – escorrentía, este reflejará los resultados a partir de los datos disponibles en la microcuenca, los productos finales serán mapas de caracterización hidrológica e hidrogeológica, indicadores de parámetros hidrológicos actualizados y una descripción del estado actual de la microcuenca del río Tabacay.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Realizar la caracterización hidrológica e hidrogeológica de la microcuenca del río Tabacay como un instrumento en el desarrollo y la planificación del territorio enfatizando a los recursos hídricos.

2.2. Específicos

Analizar la hidrología de la microcuenca y sus diferentes componentes hidrológicos, identificando el balance de la cuenca hidrográfica.

Describir la geología de la zona y caracterizar el tipo de roca mediante mapas para determinar y conocer la posible disponibilidad de recurso hídrico subterráneo.

Determinar posibles flujos de agua subterránea mediante información hidrológica y geológica disponible dentro de la microcuenca para la ordenación del territorio enfocado en la gestión del recurso hídrico.

3. MODELOS HIDROLÓGICOS

Los problemas relacionados con el recurso hídrico tienden a aumentar hacia el futuro, en general se relacionan con problemáticas de tipo social y económico e involucra directamente a entidades gubernamentales. Dentro de la microcuenca del río Tabacay los factores más influyentes son el crecimiento poblacional, las actividades antropogénicas predominando labores agropecuarias y la alteración del ecosistema en zonas vulnerables, cambiado el uso de las fuentes hídricas y suponiendo la modificación de la hidrología de la zona y su dinámica con el entorno (Orozco, Poch, Batalla, & Balasch, 2006).

La concientización de uso y el cuidado de los recursos naturales ha propuesto una serie de medidas para la conservación, que abarca desde el cambio de normativas y leyes, instauración de zonas estratégicas de protección y la compensación por servicios ambientales. La microcuenca del río Tabacay es la principal fuente de abastecimiento de agua de la ciudad de azogues y sectores rurales, por lo cual es de vital importancia precautelar la calidad y la disponibilidad de los recursos hídricos tanto en su uso y cantidad. Según el plan de manejo ambiental de la microcuenca la alteración de la regulación hídrica es por el avance de la frontera agrícola y la deforestación.

Conceptualmente, los modelos son una representación simplificada de la realidad, permiten tener una idea de lo que ocurre bajo ciertas circunstancias (Rientjes & Boekelman, 2001). El desarrollo de modelos hidrológicos e hidrogeológicos son herramientas utilizadas para la optimización de la gestión del recurso hídrico, están destinados a analizar y evaluar la dinámica de los procesos del entorno como un todo, los resultados obtenidos de los modelos se asemejarán a la realidad de la zona de estudio considerando la escala del mismo, es decir, el grado de precisión de un estudio a macro escala será menor que el grado de precisión de un estudio a menor escala ya que muchas veces los modelos macro simplifican procesos que pueden ser importantes a la hora de gestionar los recursos hídricos y proponer soluciones sostenibles. El trabajar con modelos de mayor precisión y con un mayor número de variables no implica que el resultado sea un modelo exacto o ideal, sino que mejora el conocimiento del entorno y permite más claridad para escenarios futuros. Mamillapalli citado por Gómez (2016), sugiere separar a la cuenca de estudio en clases o variables para mejores resultados en su simulación siendo necesarios un mayor número de datos y tiempo.

3.1. Programa EvalHid. Modelo Témez

El programa EvalHid es un sistema informático, módulo de AQUATOOL¹, que es usado para el desarrollo de modelos Precipitación-Escorrentía (MPE) como herramienta para la evaluación, gestión y planificación de los recursos hídricos, permite la simulación de series históricas para la obtención de aportaciones con evolución temporal y espacial según el transporte hídrico considerando las distintas fases del ciclo hidrológico. EvalHid dentro de su módulo dispone distintos MPE que son: Témez, HBV² y Sacramento³; el uso de los modelos disponibles en EvalHid depende del nivel de complejidad de la cuenca de estudio y de los datos o variables disponibles ya que los datos son procesados de manera global. EvalHid es muy utilizado en España para la evaluación de los recursos hídricos con buenos resultados para gestionar y conservar de manera sostenible (Témez, 1977; Paredes, Solera, Andreu, & Lerma, 2014). También es utilizado en Chile y Argentina como parte de los cálculos de obras hidráulicas para establecer la cantidad de agua en un determinado tiempo.

El presente estudio utiliza el modelo Témez, modelo hidrológico de simulación continua de flujos en régimen natural en cualquier punto de la red hidrográfica que considera procesos de transporte de agua de las distintas fases del ciclo hidrológico, el reparto y la transferencia desde el instante de la precipitación hasta la escorrentía y la infiltración. El Modelo Témez destaca por el uso de pocos parámetros durante su desarrollo, siendo adecuado para cuencas pequeñas, que presenten homogeneidad climática, edafológica y geológica, y de ser el caso, que exista escases de datos (Olmos, 2012). Todos los procesos están gobernados por el principio de continuidad y de balance de masas, y regulado por leyes físicas específicas de reparto y transferencia entre las distintas fases del balance generando una valoración a nivel global sin considerar la distribución espacial de variables y parámetros. (Paredes, Solera, Andreu, & Lerma, 2014)

La simulación es el producto de un balance de masas, es decir, la suma de series temporales o aportaciones en un punto de desagüe común. Témez simula de manera continua flujos de régimen natural en cualquier punto de la red hidrográfica desde el instante que existe precipitación hasta la desembocadura en los ríos; los datos de entrada para simular la

¹ AQUATOOL es un entorno de desarrollo de sistemas de soporte a la decisión (SSD) para planificación y gestión de cuencas o de sistemas de recursos hídricos, proporciona recursos para ayudar al análisis de diversos problemas relacionados con la gestión del agua.

² El modelo hidrológico HBV es un modelo empleado en previsiones hidrológicas y estudios de balance hídrico, requiere pocos parámetros, pero puede variar según el uso que se quiera dar al modelo. La estructura base del modelo se compone de las variables de precipitación, evapotranspiración, humedad de suelo (capacidad de campo, infiltración, punto de marchitez), escorrentía (directa y subterránea), percolación y descarga final (lenta y rápida).

³ El modelo hidrológico Sacramento es ideal para parametrizar las características de humedad del suelo en distintos niveles de forma lógica, es decir, divide el terreno en procesos físicos que representan el ciclo hidrológico, requiere un alto número de parámetros y durante su calibración puede perder su fiabilidad física y desviarse de la realidad (Paredes, Solera, Andreu, & Lerma, 2014).

microcuenca de estudio son: precipitación, temperatura, evapotranspiración, infiltración máxima del suelo, humedad máxima del suelo y superficie de la cuenca, el periodo señalado para la simulación puede variar en días o meses.

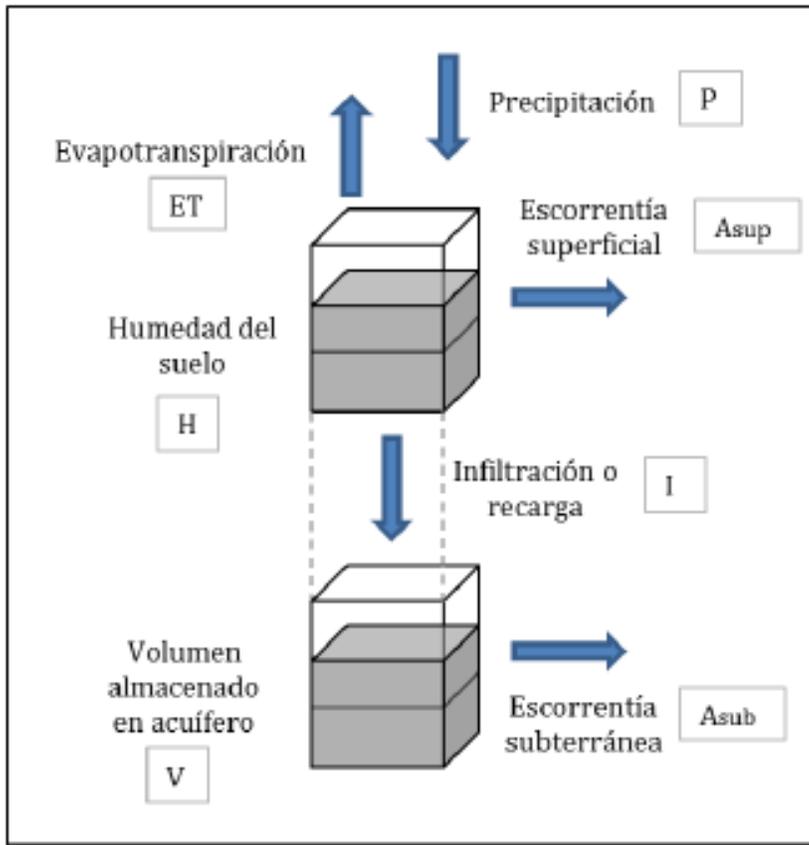


Figura 1: Esquema de flujos del modelo Témez.
Fuente: (Paredes, Solera, Andreu, & Lerma, 2014). Manual EvalHid

El desarrollo del modelo Témez inicia con la precipitación, como se puede apreciar en la figura 1 el agua precipitada que llega a la superficie, se descompone en diferentes flujos, una parte se almacena en el suelo y otra parte llamada Excedente se descompone en flujos, una se infiltra desde la superficie del suelo y otra se escurre hasta llegar a un cauce. El flujo correspondiente a la cantidad de agua que se infiltra, una parte queda almacenada en la superficie del suelo, también llamada humedad de suelo; su límite máximo depende de la textura del suelo; y otra parte sirve como recarga de aguas subterráneas (Témez, 1977). El punto de desagüe considerado dentro de la cuenca de estudio será el punto donde se interceptará la suma total de la escorrentía superficial y será considerado como Aportación Total saliente, por lo que el modelo Témez se puede resumir en una fórmula base como se aprecia en la ecuación (1), considerando que cada proceso, escorrentía e infiltración, son más complejos en su desarrollo.

$$Aportacion\ Total\ saliente = Excedente - Infiltración \quad (1)$$

La ecuación (2) y (3) representa el cálculo de T_t o excedente, donde, P es la precipitación; H_{max} y $H_{(i-1)}$ es la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo; ETP es la evapotranspiración; C es el coeficiente de inicio de excedente, toma valores alrededor de 0,30 que define el inicio de la escorrentía.

$$T_t = 0 \quad (2) \quad si \quad P_t \leq P_0$$

$$T_t = \frac{(P_t - P_0)^2}{P_t - \delta_t - 2P_0} \quad (3) \quad si \quad P_t > P_0$$

$$\delta = H_{max} - H_{t-1} + ETP_t$$

$$P_0 = C (H_{max} - H_{i-1})$$

El modelo Témez considera como coeficientes a la infiltración y la humedad de suelo, el coeficiente de humedad máxima está determinado por el uso de suelo y su cobertura vegetal, regula el almacenamiento de agua en el suelo; mientras que el coeficiente de infiltración máxima dependerá de la litología del terreno, es decir, el tipo de suelo que regula el drenaje subterráneo.

Para el desarrollo de modelos hidrológicos e hidrogeológicos partimos de datos recopilados en campo o de la base de registros históricos, el procesamiento de datos es necesario si existiese un déficit o carencia de datos, en algunos casos es inevitable recurrir a cálculos matemáticos o estadísticos. Es importante valorar los registros históricos o la poca confiabilidad de la recopilación de información en el campo, los registros deben ser valores coherentes ya que de esto dependerá el nivel de confiabilidad y precisión del modelo. Las variables para el desarrollo de un modelo consideran: Precipitación, Temperatura, Evapotranspiración, Litología y Edafología.

3.2. Variables

3.2.1. Precipitación.

Para el desarrollo de Modelos Precipitación-Escorrentía es fundamental los datos o registros históricos de precipitación, el modelo estima a una escala temporal mensual durante todo el periodo de simulación. Los datos de precipitaciones se obtienen a partir de los datos registrados en pluviómetros o estaciones meteorológicas que son una forma de representar la medición directa de la lluvia (Scofield & Kuligowski, 2003). Los inconvenientes más comunes de la inconsistencia de datos es el disponer de series cortas o incompletas, es decir,

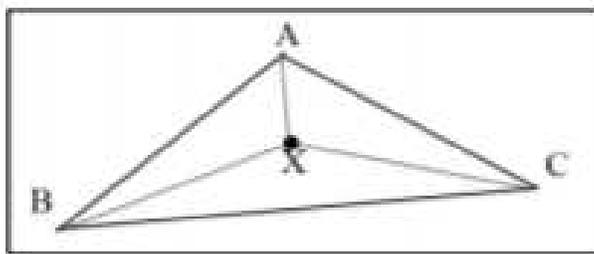
que por periodos zonas quedan sin información registrada con vacíos del ciclo hidrológico en la base de datos. Las causas son el monitoreo efímero o la ubicación de pluviómetros en zonas lejanas y distantes lo que complica el monitoreo continuo.

En esos casos se recurre a métodos matemáticos y estadísticos, UNESCO-ROSTLAC en su metodología establece relaciones de patrones de acuerdo las estaciones con carencia de información pluviométrica y los datos completos; los métodos encontrados son: Regresión Lineal (RL), por Razón de Distancias (RD), Promedios vecinales (PV), Razones promedio (RP) y Correlación con estaciones vecinas (CEV). Es importante considerar que la calidad de los resultados depende de la calidad de la información pluviométrica disponible. De los métodos citados, en la presente investigación, según los datos recopilados de la microcuenca del río Tabacay, destaca el método de Promedios vecinales (PV).

Debemos tener en cuenta que, del total de agua de precipitación, sólo queda a disposición de las raíces, aproximadamente, entre un 30-35% del total, mientras que la parte retenida se evapora desde la cubierta de la vegetación y al discurrir por el suelo, alimentando corrientes de agua o capas freáticas (MOPT, 2008).

3.2.1.1. Método por promedios vecinales. -

Es usado para completar series temporales menores de un año, se debe tener presente que la estación con datos faltantes debe estar ubicada en el centro de al menos 3 estaciones con datos completos, es un método óptimo en zonas montañosas y planas. (Luna & Lavado, 2015).



$$PX = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n}$$

Figura 2: Disposición de estaciones con datos completos (A, B, C) y estación con datos incompletos (x). Ecuación aplicada, P_i (precipitación de estaciones A, B, C) y n (número de estaciones)
Fuente: (Luna & Lavado, 2015)

3.2.1.2. Tratamiento y Gestión de Series Temporales Hidrológicas (TRASERO). -

Completado de series. Esta opción permite al usuario completar los valores ausentes de una serie cronológica mediante otra que contiene todos los valores. Normalmente para el completado se utilizan series simuladas mediante otros procesos o de acuerdo las semejanzas ambientales; para completar series es importante considerar la altura de las estaciones pluviométricas, ya que se considera que a medida que la altura aumenta la precipitación será mayor (azarbe Ingeniería, 2008).

3.2.2. Temperatura.

La temperatura al igual que la precipitación son parámetros necesarios al momento de evaluar los recursos hídricos de un sector, dentro de la microcuenca del río Tabacay para medir los parámetros climáticos dispone de una estación en la parte alta.

La estimación de la temperatura en cada superficie de control se realiza en función de la altura empleando un gradiente térmico que, según Marco citado por Gómez (2016) se encuentra entre 6 °C por cada mil metros de elevación para el Ecuador, dada la estabilidad del incremento de la temperatura con la altura

3.2.3. Evapotranspiración.

La evapotranspiración es el proceso mediante el cual el agua pasa de un estado líquido o sólido a un estado gaseoso a través de la transferencia de energía calorífica. Para el planeamiento de recursos hídricos este proceso debe ser considerado detalladamente, sin embargo, puede ser despreciado debido al corto lapso de tiempo en el cual puede desarrollarse. El programa TRASERO calcula la evapotranspiración a partir de la precipitación y la temperatura, para su estimación el software se basa en la fórmula de Thornthwaite:

$$e_i = 16 \left(\frac{10t_i}{I} \right)^a \quad (4)$$

Donde, e_i es la evapotranspiración mensual sin ajustar (mm); t_i es la temperatura media mensual (°C); I es el índice de calor mensual.

$$I = \left(\frac{t_i}{5} \right)^{1515} \quad (5)$$

$$a = 0.000000675 \cdot I^3 - 0.0000771 \cdot I^2 + 0.01792 \cdot I + 0.49239 \quad (6)$$

El factor de corrección para evapotranspiración potencial mensual es:

$$k_i = \left(\frac{D_i}{30} \right) \left(\frac{N_i}{12} \right) \quad (7)$$

Donde, D_i es el número de días del mes y N_i son las horas de sol de acuerdo a la latitud.

3.2.4. Litología.

La geología del sector es de relieve irregular, ha sido estudiada desde 1973, con la publicación del mapa geológico de Azogues por Bristow y Guevara (1974), recibiendo modificaciones y proponiendo distintos modelos de evolución de la zona, tras el transcurso del tiempo la erosión producida en la microcuenca en la secuencia sedimentaria ha desencadenado lomas con facetas triangulares, depósitos volcánicos que señalan distintas formaciones y edades geológicas. Es importante señalar que a cada asociación o consolidación litológica se considera como una unidad cartográfica.

La litología es considerada como una unidad de respuesta hidrológica y geológica basada en la composición del suelo y su distribución. Las características litológicas dependerán básicamente del acomodamiento de las partículas orgánicas y minerales que lo componen. De esta forma, la distribución variará en la misma proporción en que varía la mezcla de los sólidos del suelo y la composición mineral (Molina, 2017).

La microcuenca del río Tabacay litológicamente dispone de aglomerado, arcillita, bentonita, conglomerados, dacitas, depósitos aluviales, depósitos coluviales, rocas volcánicas, travertino, toba.

- **Aglomerado**

Rocas Piroclásticas constituidas por casi en su totalidad de lava en fragmentos mayores a 2 cm de diámetro (Abramson, 1996).

- **Argilita o arcillita**

Roca sedimentaria arcillosa, es formada a partir de la diagénesis de las arcillas, sus granos son finos. El producto de la meteorización de la argilita es la lutita. (Varnes, 1978)

- **Bentonita (montmorillonita)**

Son arcillas de grano fino, también se las conoce como arcillas activadas, al mezclarse con agua tiende a dilatarse.

- **Conglomerado de base**

El conglomerado es una variedad de roca sedimentaria de grano grueso redondeado. Se compone de guijarros de materiales resistentes cementados por otros materiales más finos, la porosidad de estas rocas es muy alta y son bastante estables debido a su cementación y a que los materiales gruesos tienen un efecto de refuerzo sobre la masa de roca. (Attewell & Farmer, 1976)

- **Dacita**

Roca ígnea volcánica, tiene un contenido considerable de hierro. Está compuesta por fenocristales principalmente de cuarzo y Plagioclasa sódica.

- **Depósito Aluvial**

Sedimentos detríticos compuestos por arena, grava y sedimentos o barro transportada y sedimentada por el agua. Su formación es la más reciente en años geológicos, generalmente presentan un nivel freático alto.

- **Depósito Coluvial**

Es una acumulación de diversos materiales de distinto tamaño, son el producto de la desintegración de las rocas por gravedad; son inestables y de baja resistencia.

- **Meta - volcánicas de san francisco**

Las rocas Volcánicas o Piroclásticas también conocidas como rocas Ígneas extrusivas son producto de la cristalización de los materiales expulsados por los volcanes. Las propiedades ingenieriles de las rocas volcánicas dependen del grado de solidificación y de acuerdo a ésta presentan una variedad de resistencias y permeabilidades. El principal problema de las rocas volcánicas es su fácil desintegración al secarse y humedecerse y la presencia de arcillas activas como la Montmorillonita como subproducto del proceso de meteorización. (Bates & Jackson, 1980)

- **Toba**

Las Tobas volcánicas son rocas formadas por material suelto arrojado por un volcán en erupción. Son materiales muy porosos y ricos en vidrio. En ocasiones, las tobas presentan depósitos de materiales arcillosos, expansivos o arcillas inestables.

- **Travertino**

Es una Roca sedimentaria formada por depósitos de carbonato de calcio, piedra caliza, tiene una porosidad media. También es conocida como toba calcárea.

3.2.5. Edafología.

La edafología considera la composición del suelo en la superficie que se desarrolla la vegetación, es decir, material no consolidado en la superficie terrestre con propiedades físicas, químicas y morfométricas. El suelo es la consecuencia del paisaje y el perfil que es la evolución de variables climáticas, el relieve y organismos. El suelo es un recurso natural básico, por ejemplo, el exceso de agua en el suelo es perjudicial para el desarrollo de cultivos y la cantidad de sal limita el crecimiento de las plantas.

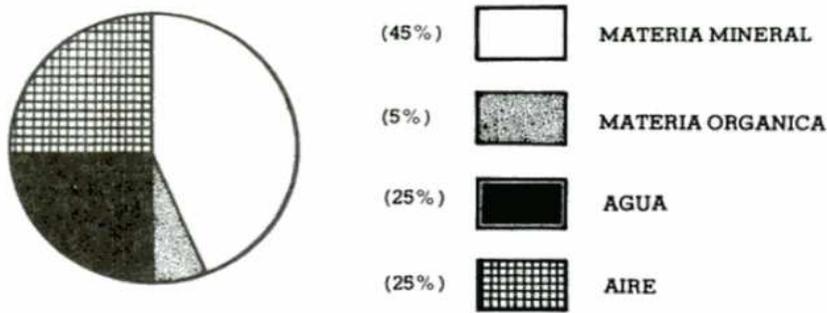


Figura 3: Representación porcentual de un suelo ideal.
Fuente: (Nuñez, 1981)

La composición del suelo es la fracción volumétrica de materia mineral, materia orgánica, aire y agua. Un suelo ideal presenta valores como se muestra en la figura 3, pero estos valores varían según la zona, la vegetación y la cantidad de agua.

Dentro del porcentaje de materia mineral, la textura de suelo dependerá de la cantidad en fracciones porcentuales de limo, arcilla y arena, es decir la constitución de los suelos. En la figura 4 y la tabla 1 muestra el porcentaje de arena, arcilla y limo según la FAO para cada textura de suelo.

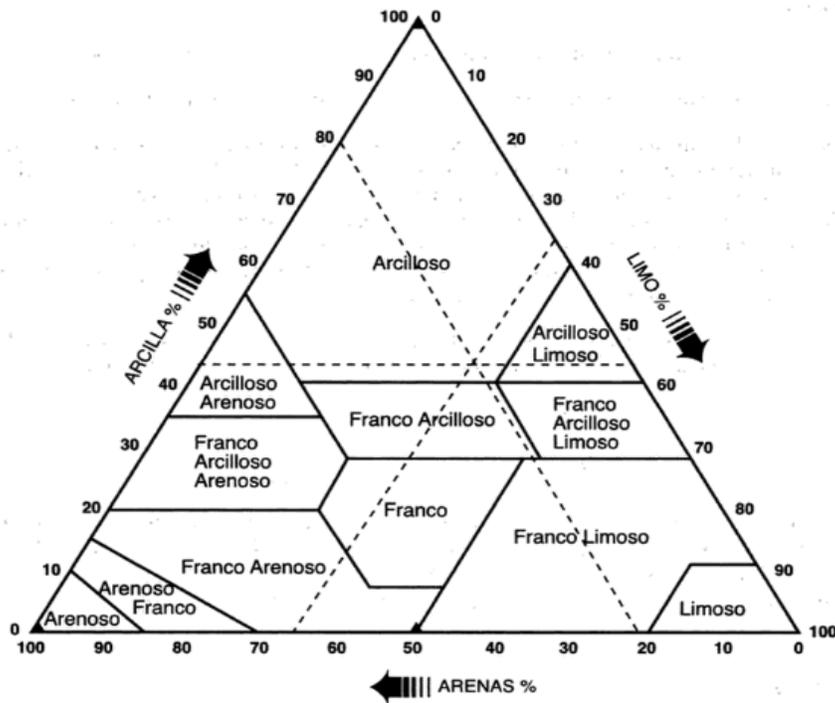


Figura 4: Triángulo de texturas.
Fuente: Departamento de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USDA)

Tabla 1: Textura de suelos y el porcentaje de composición de arena, arcilla y limo.

<i>Clase textural</i>	<i>Arena %</i>	<i>Limo %</i>	<i>Arcilla %</i>	<i>Tipo de textura</i>
<i>Arena</i>	86-100	0-14	0-10	Textura gruesa
<i>Areno francoso</i>	70-86	0-30	0-15	
<i>Franco arenoso</i>	52-70	0-50	0-20	Textura moderadamente gruesa
<i>Franco</i>	23-52	28-50	0-27	Textura media
<i>Franco limoso</i>	20-50	74-88	0-27	
<i>Limoso</i>	0-20	88-100	0-12	
<i>Franco arcilloso</i>	20-45	15-52	27-40	Textura moderadamente fina
<i>Franco arcillo-arenoso</i>	45-80	0-28	20-35	
<i>Franco arcillo limoso</i>	0-20	40-73	27-40	
<i>Arcillo-arenoso</i>	45-65	0-20	35-55	Textura fina
<i>Arcillo-limoso</i>	0-20	40-60	40-60	
<i>Arcilloso</i>	0-45	0-40	40-100	
<i>Arcilla pesada</i>	0-40	0-40	60-100	Textura muy fina

Fuente: FAO

3.3. Coeficientes

Los coeficientes para el desarrollo del modelo Témez son atributos representativos, al tratarse de modelos distribuidos sus parámetros no son escalares, es decir, los parámetros físicos representan porcentajes de territorio facilitando la fiabilidad. (Estrela, Cabezas, & Estrada, 1999)

3.3.1. Infiltración.

Del total de la precipitación que llega a la superficie solo una porción se infiltra, la otra porción se escurre o se evapora. La infiltración en una zona determinada dependerá de la precipitación, la textura de suelo, la cobertura vegetal, la pendiente y la litología, por ejemplo, la velocidad de infiltración en suelos forestales será mayor a la que presentan suelos urbanos; aplicado hacia la recarga de acuíferos, según Schosinsky y Losilla (1999), los datos de

infiltración están asociados a la geología del lugar y entre menor sea la pendiente y mayor la cobertura vegetal, la velocidad de escurrimiento se retrasa y se genera una mayor infiltración.

La capacidad de infiltración máxima es un parámetro que limita la cantidad de agua que es capaz de atravesar el suelo durante un intervalo de cálculo, interviene en la distribución del agua de precipitación en escorrentía e infiltración al acuífero, se basa en propiedades hidrodinámicas y la litología de una zona determinada (Estrela, Cabezas, & Estrada, 1999). En el "Libro Blanco" de los recursos hídricos de España se establecen valores de coeficientes procedentes del análisis de flujos base en los ríos que se reflejan en la tabla 2 (Murillo, 2004). Se debe tener presente que el Modelo Témez asume que la recarga de acuíferos coincide con el valor de la infiltración.

Tabla 2: Valores aproximados de I_{max} según la litología

Litología	I_{max} (mm)
Material aluvial de origen indiferenciado	400
Calizas y dolomías	1000
Margas	85
Margas yesíferas	75
Yesos	64
Materiales arenosos	450
Materiales gravo-arenosos	500
Calcarenitas (Macigno)	250
Arcosas	150
Rañas	95
Granitos	65
Rocas metamórficas	20
Gneiss	55
Pizarras	40
Rocas volcánicas	275

Fuente: (Paredes, Solera, Andreu, & Lerma, 2014). Manual Técnico de EvalHid

3.3.2. Humedad Máxima.

La humedad inicial del suelo y su evolución a lo largo del aguacero influyen en la tasa de infiltración, considerando que la cobertura vegetal y el uso de suelo intercepta aproximadamente el 12% de la precipitación total (Butler, 1957), en una simulación con evolución temporal este valor es en general despreciable ya que se reduce a medida que transcurre el tiempo, pero se la debe considerar en el cálculo de la capacidad máxima de almacenamiento (H_{max}).

Los valores de humedad máxima del suelo son válidos para una profundidad no mayor a 30 cm, es decir el punto en el que se puede alcanzar la humedad máxima dependiendo el uso de suelo y la cobertura vegetal. Varios autores han relacionado el uso de suelo y la capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo de forma directa, este coeficiente regula el volumen de agua que termina convirtiéndose en escorrentía. La tabla 3 muestra los valores de la capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo clasificado por CORINE⁴ Land Cover.

Tabla 3: Valores aproximados de H_{max} según los usos de suelo

Uso del suelo	H_{max} (mm)
Superficies artificiales	40
Espacios con poca vegetación	100
Tierras de labor en secano	155
Tierras de labor en regadío	215
Praderas y pastizales naturales	150
Sistemas agrícolas heterogéneos	195
Cultivos permanentes	210
Vegetación arbustiva	135
Bosque mixto	220
Bosques de frondosas y coníferas	230
Zonas húmedas, superficies de agua y artificiales	300

Fuente: (Paredes, Solera, Andreu, & Lerma, 2014). Manual Técnico de EvalHid

⁴ CORINE (Coordinación de información sobre el medio ambiente) es un proyecto promovido por la Comunidad Europea que trabaja con diversos temas ambientales, dentro de este se encuentra CORINE Land Cover (CLC), que permite caracterizar, describir e interpretar las coberturas de la tierra a partir de imágenes satelitales.

3.4. Balance hídrico.

El balance hídrico determina la cantidad de recurso hídrico en un sistema, es decir, es la cuantificación de los parámetros que intervienen en el ciclo hidrológico y de los diversos componentes relacionados con el entorno, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en determinadas zonas (Hernando, Ruiz, & Solís, 2012)

El balance hídrico de humedad está expreso por flujos de entrada y flujos de salida, ecuación de conservación de masa, que dependerá del volumen de control y de las condiciones de frontera existentes.

$$\Delta S = I - O \quad (8)$$

Donde, ΔS es el cambio de almacenamiento en el sistema, I las entradas del sistema y O las salidas del mismo. En general, el modelo de balance hídrico considera como variable principal de entrada la precipitación que se reparte en distintos flujos intermedios, mientras que a la evapotranspiración e infiltración se las considera como variables de salida. El resultado final es el aporte total de agua o un volumen de salida calculado en un punto de desagüe (Maxim, 2015).

El programa EvalHid con su módulo Témez realiza un balance de humedad, los componentes para modelar un sistema son datos climatológicos, cobertura vegetal, uso de suelo y la geología. Los datos climáticos requeridos para realizar la modelación incluyen precipitación, temperatura y humedad, parámetros obtenidos en estaciones meteorológicas; de la cobertura vegetal y del uso del suelo dependerá la humedad del suelo y de la geología la infiltración del agua en la litología de la zona.

4. MARCO LEGAL

Un componente importante para establecer la protección de los recursos naturales es la normativa, en la cual se acentúan las bases legales para tomar acción de los problemas presentes en el ecosistema. El presente estudio está sustentado bajo el marco legal en referencia al recurso hídrico:

4.1. Constitución de la República del Ecuador

Art. 3.- Son deberes primordiales del Estado:

1. Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales, en particular la educación, la salud, la alimentación, la seguridad social y el agua para sus habitantes.

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Art. 66.- Se reconoce y garantizará a las personas:

27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico.

Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

4.2. Ordenanza EMAPAL EP

La EMAPAL EP fue creada según ordenanza debidamente legalizada el 30 de marzo de 1974, siendo reformada por última vez el 25 de septiembre del 2001.

En la que se considera que: "Al ser la EMAPAL EP una empresa municipal de servicios domiciliarios de agua potable, alcantarillado y actividades de saneamiento, es necesario, la planificación, organización y ejecución de actividades que coadyuven a la conservación, recuperación y manejo de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos regulando toda actividad que pueda afectar las fuentes y zonas de recarga de agua y el medio ambiente"

La EMAPAL EP, orientará su acción con criterios de eficiencia, racionalidad y rentabilidad social, preservando el ambiente, promoviendo el desarrollo sustentable, integral y descentralizado de las actividades económicas de acuerdo a la constitución.

Art. 3.- OBJETIVOS Y FINES. - A EMAPAL EP, le corresponde la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado y la gestión ambiental, basada en los principios de eficacia, eficiencia y efectividad, buscando siempre los mecanismos de prevención y control de las actividades antrópicas que deterioren el medio ambiente, en el marco de la ley y las políticas y estrategias dictadas por el I. Municipio de Azogues.

También le compete la administración y gestión de aquellas áreas y sistemas naturales o artificiales que por su importancia para la preservación de los recursos hídricos o de cualquier otra naturaleza propia de la empresa, le encargare la Municipalidad u otras instituciones del Estado.

Art.4.- ATRIBUCIONES. - EMAPAL EP, para el cumplimiento de sus fines, ejercerá las siguientes atribuciones:

- d) Controlar toda actividad que pueda afectar la calidad y la cantidad del agua en especial en las fuentes de recarga y en los cursos de utilización actual y potencial.

g) Suscribir acuerdos, convenios o contratos con personas naturales y jurídicas, organismos e instituciones nacionales e internacionales o participar con éstos en el cumplimiento de planes y programas de investigación y otros;

j) Preservar, conservar y mantener el entorno ecológico de las fuentes hídricas, ejecutando y coordinando políticas ambientales y programas de acción, dirigidos a proteger, cuidar y recuperar los recursos hídricos y las fuentes de agua, los bosques y vegetación naturales del cantón.

La normativa nacional para los recursos hídricos se deriva de los artículos de la Constitución de la República del Ecuador y son base fundamental para la conservación y protección de los recursos naturales en la microcuenca del río Tabacay, el presente estudio como normativa adicional se fundamentó en:

- Ley de Aguas
- Ley de conservación de áreas naturales
- Ley de gestión ambiental

5. METODOLOGÍA

El desarrollo del modelo examina la relación de las condiciones físicas de la microcuenca, considerando como base la delimitación del problema y los registros históricos de las variables hidrológicas y geológicas. La metodología utilizada en la investigación se desarrolla en distintas etapas:

- **Recopilación Bibliográfica:** Análisis de la relación entre los datos recolectados e información suministrada por organismos estatales de proyectos similares en el sector (Secretaría de Gestión de riesgos, EMAPAL, PROMAS, entre otros).
- **Campo y Fotointerpretación:** Realización de visitas in situ e interpretación de fotografías del área, los análisis determinarán las zonas vulnerables, los mapas servirán como indicador de la validación de datos.
- **Análisis de información y diseño de productos finales** según los datos obtenidos y la información recopilada corroborada en el campo. El producto final reflejará el estado hidrológico actual de la microcuenca contemplando variables geológicas e hidrológicas de la zona (Caracterización hidrológica y geológica).
- **Digitalización de mapas temáticos:** el análisis de la información recopilada permite realizar modificaciones de los mapas existentes utilizando Sistemas de Información Geográfica (programa ArcGis). Los mapas finales son el producto del estudio.

5.1. Desarrollo del Modelos

En esta etapa se construye el esquema como se explica en la figura 5, se visualiza el problema de los recursos hídricos y el análisis de la microcuenca in-situ- El modelo a desarrollar dependerá de las características de la cuenca; en el caso de la microcuenca del río Tabacay el modelo a usar es Témez por la cantidad de datos necesarios para el desarrollo del modelo; la recopilación de datos de las entidades públicas requiere un análisis y ajuste de los mismos ya que en general los datos recolectados presentan vacíos, considerando la información disponible de datos climatológicos e hidrológicos para la microcuenca se debe considerar el período de simulación; el paso de tiempo del modelo se determina dependiendo de la precisión necesaria (Universidad Católica de Chile, 2009). El desarrollo del modelo Témez inicia con los datos de entrada que son precipitación, temperatura y evapotranspiración; inicialmente se observa el comportamiento del modelo con los datos de salida comparando con la realidad de la microcuenca para evitar posibles inconsistencias y errores. Los procedimientos usados se basan en estudios posteriores y la guía de uso del

programa EvalHid, es importante analizar la calidad de datos disponibles para obtener resultados fiables.

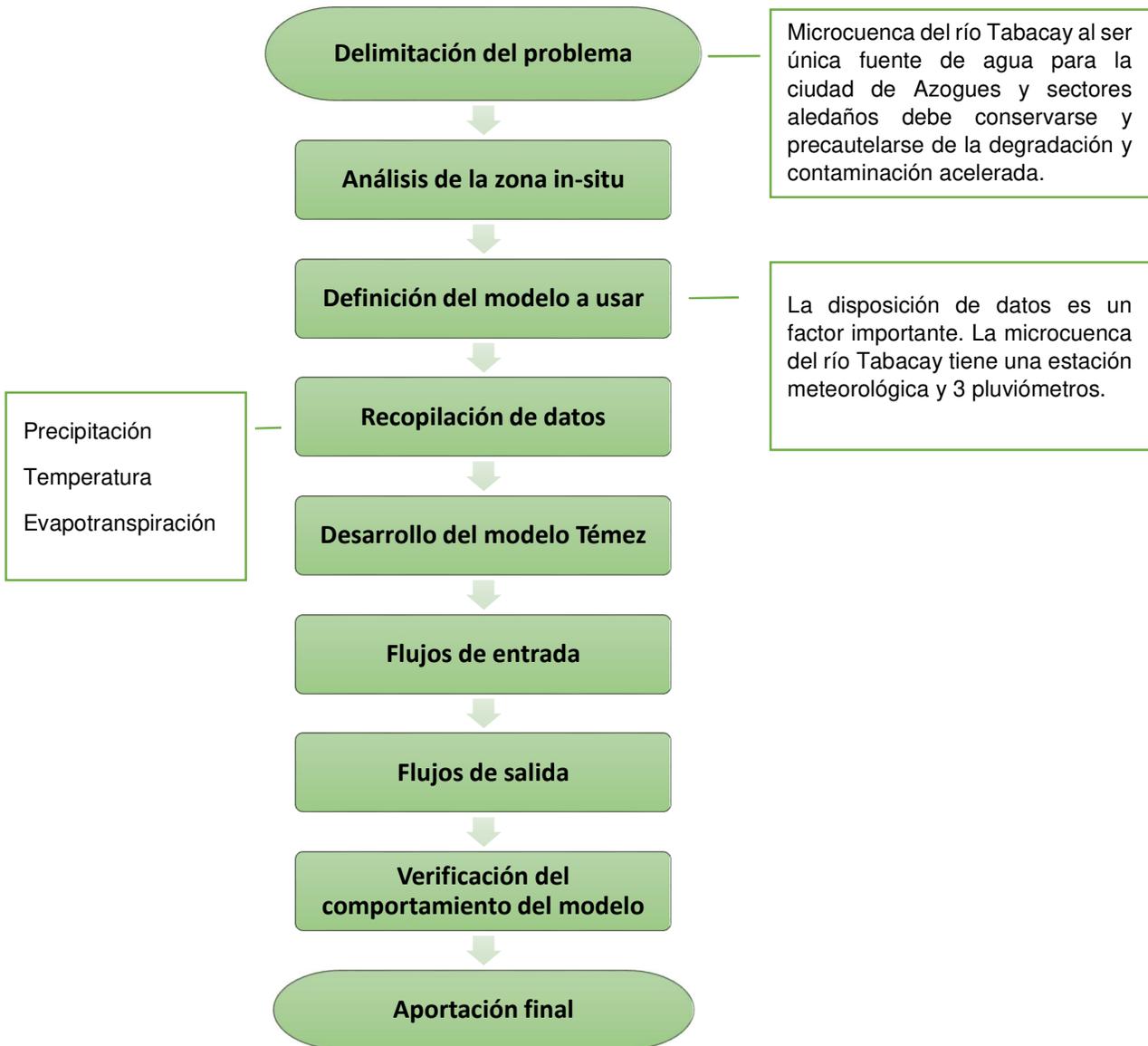


Figura 5: Diagrama de flujo del desarrollo del estudio.
Elaboración: Propia

El modelo Témez sintetizado se reduce a la entrada y salida de flujos, como explica la figura 6, el flujo de entrada es la precipitación que se conjuga con las propiedades físicas del entorno, generando como flujo de salida o producto final la aportación de la microcuenca como volumen de escorrentía.



Figura 6: Esquema del modelo Témez.
Fuente: (Paredes, Solera, Andreu, & Lerma, 2014). Manual Técnico de EvalHid.

Los datos fueron recopilados en distintos formatos, en la tabla 4 se detalla los datos recopilados, el formato y en qué aspecto de la investigación fue utilizado.

Tabla 4: Detalle de datos usados durante la investigación.

Datos necesarios para la investigación	Formato	Uso
DEM (Modelo de Elevación Digital)		
Uso de suelo	GIS	Delimitación de la microcuenca.
Cobertura de vegetación		
Tipo de suelo		
Geología	GIS, tablas	
Precipitación (series de datos históricas, promedio mensual)	Tablas o texto	Condiciones meteorológicas. Aportación final en el punto de desagüe.
Temperatura (series de datos históricas, promedio mensual)		
Humedad Relativa (promedio mensual)		
Evaporación		

Elaboración: Propia

6. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA.

6.1. Ubicación.

El área de estudio está limitada a la microcuenca del río Tabacay, perteneciente a la subcuenca del río Burgay, cuenca del río Paute que forma parte de la cuenca del Santiago Namangoza. Se encuentra entre las coordenadas planas UTM 737700 - 748230 Este y 9698000 – 9709300 Norte. Su altitud va desde los 2490 hasta los 3730 msnm. Tiene un área total de 67,72 km² y un perímetro de 44,06 km, se alimenta de las quebradas Llaucay, Nudpud, Cóndor Yacu, Rosario, Mapayacu y Rubís. Como límite fisiográfico se considera el “Divortium aquarum” o parteaguas de la microcuenca del río Tabacay y se considera específicamente la hidrología del lugar.

Tabla 5: Superficie de las quebradas de la microcuenca del río Tabacay.

Quebradas	Área (km²)	Perímetro (km)
Llaucay	17,53	23,17
Nudpud	13,75	19,75
Condoryacu	10,67	19,45
Mapayacu	4,28	10,94
Tabacay	21,49	21,60
Tabacay Total	67,72	44,06

Fuente: EMAPAL, PMA Microcuenca del Tabacay

Elaboración: Propia

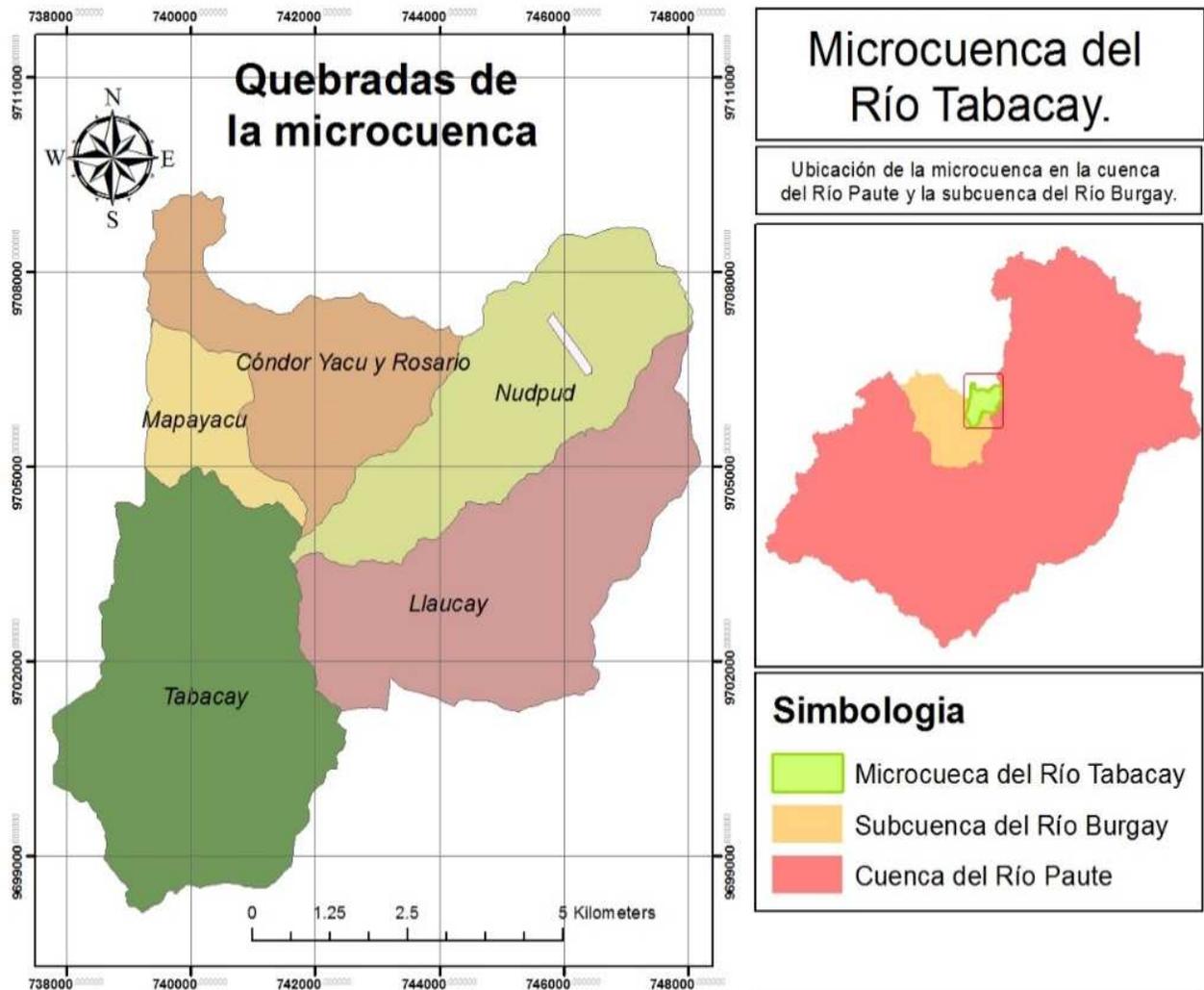


Figura 7: Quebradas de la microcuena del río Tabacay. Ubicación de la microcuena dentro de la subcuena del río Burgay y la cuenca del río Paute.

Fuente: SIGTIERRAS

Elaboración: Propia

La microcuena del río Tabacay comprende aproximadamente el 1,1% de la cuenca del río Paute. Administrativamente ocupa el 11% de la superficie del cantón Azogues, dividida en las parroquias Guapán y Bayas. EMAPAL, entidad adscrita a la Municipalidad de Azogues, está encargada del manejo y distribución de los recursos hídricos en la microcuena.

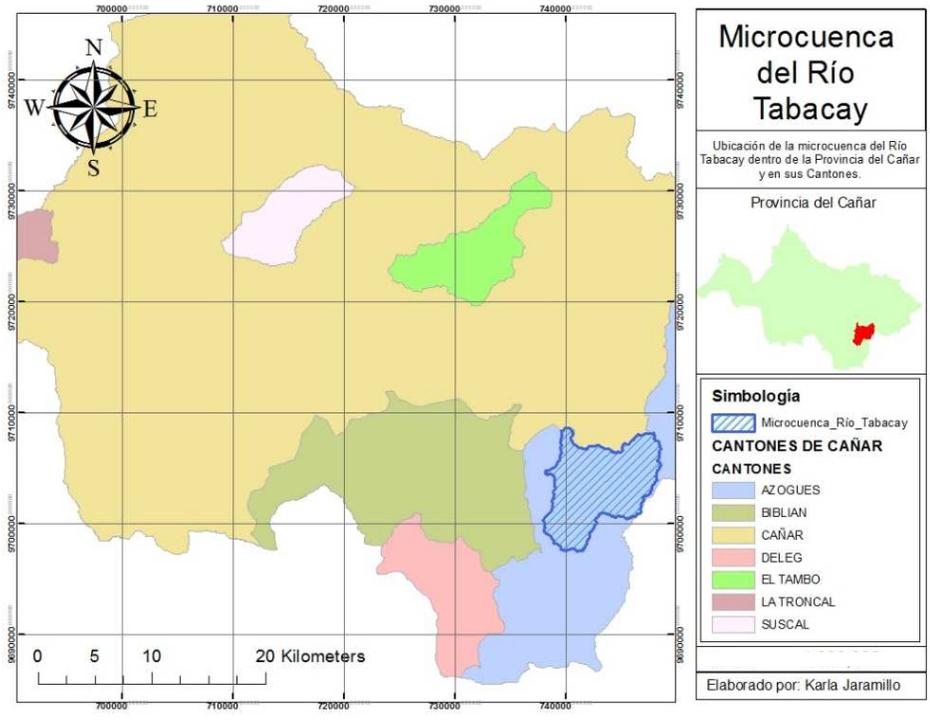


Figura 8: Ubicación de la microcuenca del río Tabacay dentro de la provincia del Cañar y sus cantones.

Fuente: SIGTIERRAS

Elaboración: Propia

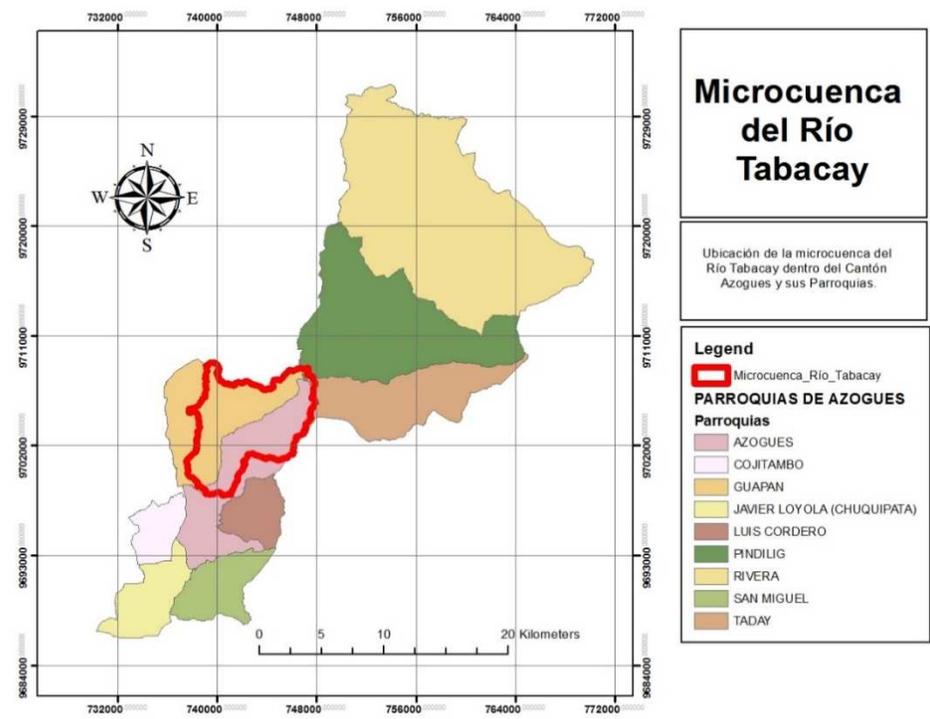


Figura 9: Ubicación de la microcuenca del río Tabacay dentro del cantón Azogues y sus parroquias

Fuente: Municipio de Azogues

Elaboración: Propia

6.2. Densidad poblacional, agua potable y alcantarillado.

Según el censo poblacional realizado en el año 2010, la densidad poblacional de la microcuenca del río Tabacay es de 1,55 habitante/hectárea. La densidad poblacional afecta al manejo y uso del suelo, a mayor crecimiento poblacional existe mayor demanda de tierras. Cuando se agotan los sectores de expansión se tiende a buscar sectores no aptos para actividades agrícolas, generalmente se ocupan las zonas altas de las cuencas.

El incremento de la densidad poblacional está relacionado con la erosión del suelo, el sector rural tiene mayor impacto en el uso de suelo por factores socioeconómicos (comercio agropecuario, uso de tierras, población rural) ya que no solo dificulta la conservación de los recursos naturales, sino que también evita un mayor aprovechamiento económico de la producción (Núñez S., 2001).

La microcuenca del río Tabacay tiene 10544 habitantes (INEC,2010), al no disponer de datos de la población actual se procedió a calcular la población futura a partir de métodos estadísticos recomendados en la "Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural." generado por la secretaria del agua, donde señala que para una microcuenca el cálculo debe ser a partir del método aritmético. La tasa de crecimiento se calculó para el año 2017 y para el año 2037 (SENAGUA). La población el año 2017 es 11282 habitantes y para el año 2037 es 12652 habitantes con una tasa de crecimiento de 1% usado en la región geográfica sierra.

La dotación de agua potable según la norma CO-10.7-60 del MIDUVI es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades diarias de una persona. Según la clasificación de dotación de agua para zonas rurales, la microcuenca del río Tabacay se ubica en la categoría IIa y IIb. El nivel IIa, correspondiente a sistemas AP (Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa) y EE (Letrinas con o sin arrastre de agua), para climas fríos es 60 l/hab*día. El nivel IIb, correspondiente a sistemas AP (Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa) y ERL (Sistema de alcantarillado sanitario), para climas fríos es 75 l/hab*día.

En la microcuenca del río Tabacay se encuentran 21 comunidades y 3 comunas. El 76% de viviendas cuentan con algún tipo de sistemas de eliminación de excretas como servicio higiénico, pozo séptico y otros; 24% de los hogares de la microcuenca realizan sus necesidades de evacuación en campo abierto; 18% tiene en sus viviendas acceso a la red pública de desalojo de excretas.

Se determinó que estas redes de alcantarillado son el principal factor de contaminación de ríos y quebradas de la microcuenca, especialmente en la parte media y baja de la misma puesto que desembocan en quebradas que son a su vez afluentes del río Tabacay.

7. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

7.1. Características morfométricas

“Las características morfométricas corresponden a la aplicación de procedimientos que a través del estudio de la morfología y geomorfología caracterizan de manera cuantitativa los rasgos propios de la superficie terrestre en valores numéricos los cuales permiten comparar en forma exacta una parte de la superficie terrestre con otra” (Gómez, 2016). Los parámetros morfométricos de la microcuenca se determinaron mediante fórmulas empíricas a partir de datos de campo y software: ArcGis y EvalHid. ArcGIS es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica, permite crear datos geográficos mediante digitalización inteligente (esri, 2009).

7.1.1 Forma.

El área y el perímetro son variables que consideran las medidas para determinar el tamaño de la microcuenca. La superficie da con precisión el tamaño de la microcuenca, mientras que el perímetro está regido por la forma de la microcuenca; cuantificablemente no existe una correlación entre área y perímetro de una microcuenca.

La superficie total de la microcuenca del Río Tabacay es de 67,72 km² y su perímetro es de 44,06 km. La forma de la microcuenca influye sobre los escurrimientos y la distribución de las precipitaciones. La medida calculada no coincidirá con la medida real, ya que se tratará del área de la proyección en el plano horizontal de la superficie de la cuenca. Cuanto mayor sea el relieve, entendiéndose por relieve las diferencias de nivel, mayor será el error cometido en la medida de la superficie (Montserrat, 1985).

Según el coeficiente de Gravelius o Índice de compacidad (Cg) de la microcuenca del río Tabacay, que es de 1,49 clasifica a la microcuenca como Ovalada, la forma de la microcuenca influye en la esorrentía, en el caso de la microcuenca del río Tabacay el tiempo de concentración de esorrentía medio (Pulido Bosch, 2014). Donde, P es el perímetro en km; A es la superficie de la microcuenca en km².

$$Cg = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (9)$$

El coeficiente de elongación (kc) calculado para la microcuenca es 0,82 siendo un valor determinado para regiones de relieves y pendientes pronunciadas (Campos, 1998). Donde A es el área en km²; L es la longitud máxima de la microcuenca.

$$kc = 1,128 \frac{\sqrt{A}}{L} \quad (10)$$

7.1.2. Relieve.

El relieve y el grado de pendiente de la microcuenca influyen directamente sobre la escorrentía, la duración de concentración de escorrentía, la infiltración y los afluentes. La erosión de las diferentes estructuras regionales ha formado la morfología de la zona.

La curva hipsométrica permite caracterizar el relieve de la microcuenca en función de su superficie (Ochoa Rubio, 2011). El análisis hipsométrico, relacionado con el ciclo de erosión y la etapa evolutiva de la microcuenca determinó que la microcuenca del río Tabacay pertenece a una cuenca de pie de montaña y es geológicamente madura, es decir se encuentra en una etapa de equilibrio.

Tabla 6: Cálculo de áreas parciales para determinar la curva hipsométrica.

Rango de elevación (m.s.n.m)		Cota Media del intervalo	Área (Km ²)	Área Acumulada (Km ²)	Porcentaje (%)	Acumulado (%)
MIN	MAX					
3620	3720	3670	1,36	1,4	2,0	2,0
3520	3620	3570	2,32	3,7	3,4	5,4
3420	3520	3470	5,32	9,0	7,9	13,3
3320	3420	3370	6,35	15,4	9,4	22,7
3220	3320	3270	7,19	22,5	10,6	33,3
3120	3220	3170	7,21	29,8	10,7	43,9
3020	3120	3070	12,06	41,8	17,8	61,8
2920	3020	2970	9,04	50,9	13,3	75,1
2820	2920	2870	5,72	56,6	8,5	83,6
2720	2820	2770	3,94	60,5	5,8	89,4
2620	2720	2670	3,45	64,0	5,1	94,5
2520	2620	2570	3,75	67,7	5,5	100,0
Total			67,72		100,0	

Fuente: SENAGUA
Elaboración: Propia

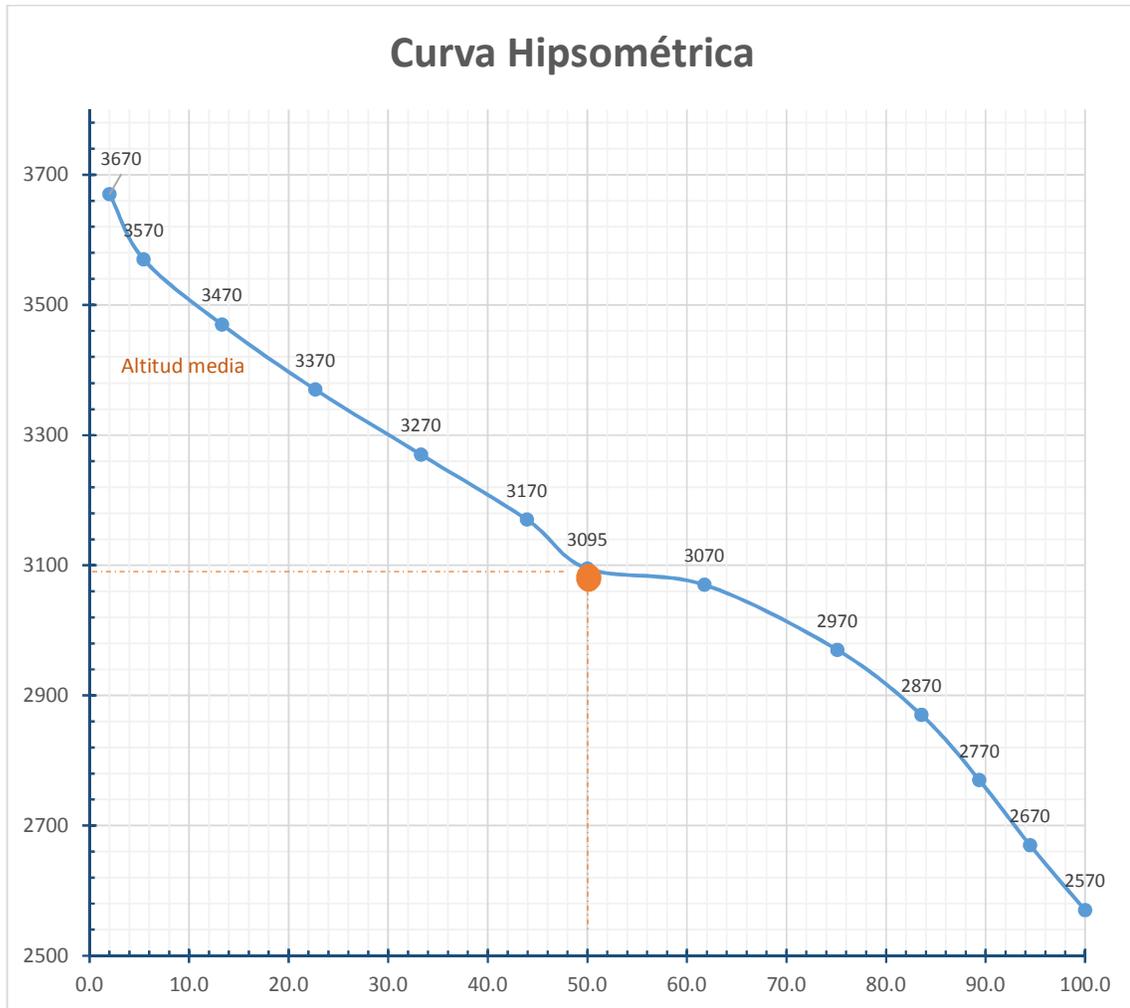


Figura 10: Curva hipsométrica de la microcuenca del río Tabacay.
Elaboración: Propia

La altura media o Elevación media de la microcuenca del río Tabacay es 3095 m. Donde, V es el volumen de la cuenca (superficie comprendida entre la curva hipsométrica y los ejes coordenados); A es la superficie de la microcuenca (Ochoa Rubio, 2011)

$$H = \frac{V}{A} \quad (11)$$

El coeficiente de masividad relaciona la altura media de la microcuenca y el área total de la misma para representar según sus valores cuencas montañosas o planas (Fuentes Junco, 2004). La microcuenca del río Tabacay tiene un coeficiente de masividad de 45,70 que, de acuerdo a los rangos de masividad, representa a una microcuenca montañosa.

La pendiente media de la microcuenca del río Tabacay es 17,8485 en grados y 33,6062 % en porcentaje. La microcuenca del río Tabacay presenta zonas con fuertes pendientes, según Sherman, (1932), Horton, (1945), Strahler, (1964) citados por González de Matauco, (2004), las pendientes influyen en el caudal y la escorrentía de las cuencas, a mayores pendientes la escorrentía es más veloz y los hidrogramas tienden a responder más rápidamente a la precipitación, incrementando los caudales punta.

Tabla 7: Clasificación de pendientes

Clase de pendiente	Rango %	Descripción	Área (Km²)	Área (%)
1	< 5	Ligeramente inclinado.	9,448087	13,9546518
2	5 - 10	Inclinado.	2,203784	3,25494868
3	10 - 15	Fuertemente inclinado.	3,037657	4,48656386
4	15 - 30	Moderadamente escarpado.	15,781175	23,308507
5	30 - 60	Escarpado.	29,093109	42,9699902
6	>60	Muy escarpado	8,141833	12,0253385
			67,705645	100%

Fuente: FAO

Elaboración: Propia

Para determinar el mapa de pendientes se utilizó el programa ArcGis con los datos topográficos de SENAGUA, el grado de pendiente fue calculado mediante MDT (Modelos Digitales de Terreno) y las curvas de nivel de la microcuenca. La clasificación de pendientes se determinó según la Guía para la descripción de suelos de la FAO con normas y reglas validados internacionalmente. (FAO, 2009)

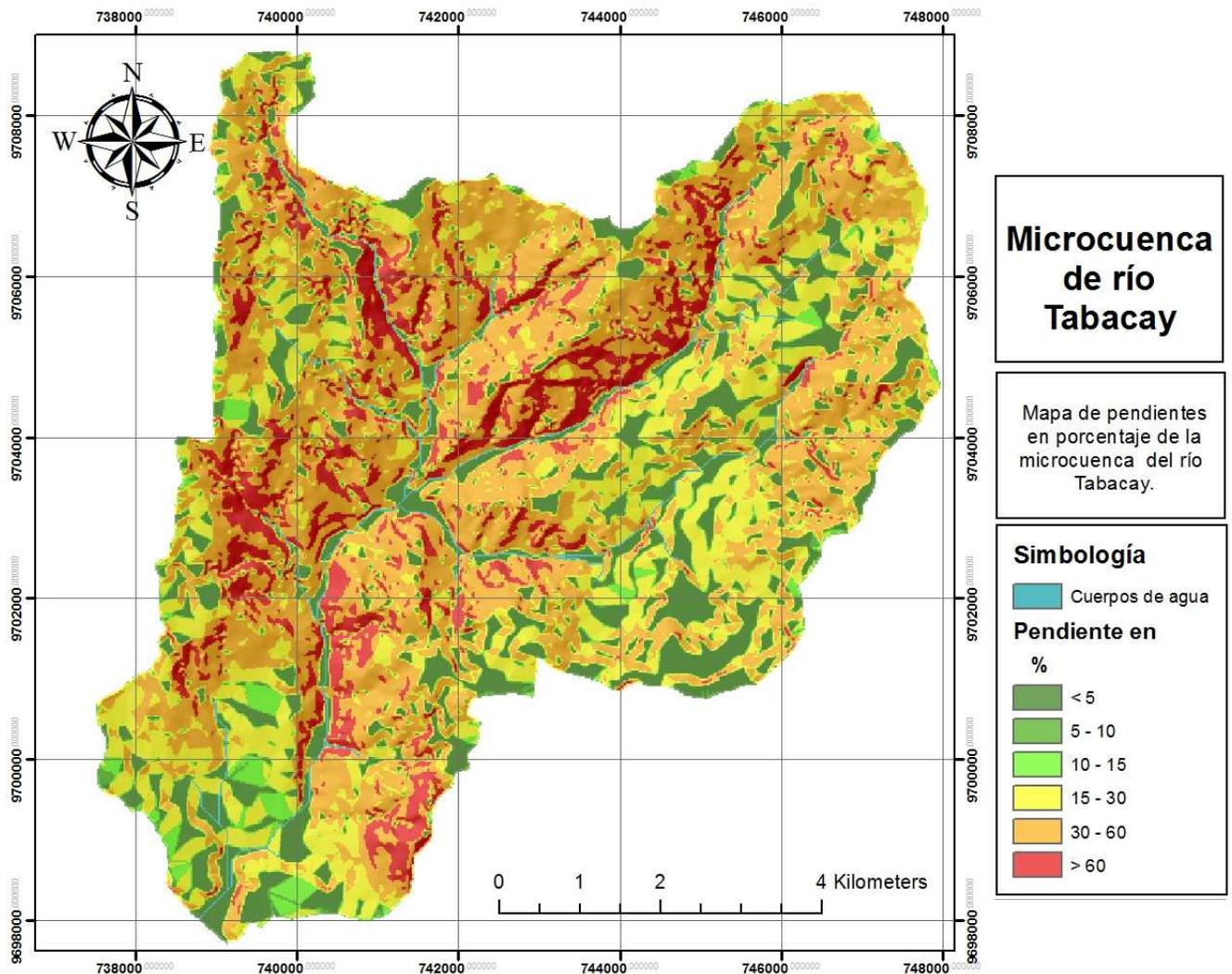


Figura 11: Mapa de pendientes de la microcuenca del río Tabacay
Fuente: SIGTIERRAS
Elaboración: Propia

7.1.3. Drenaje.

La red de drenaje de una cuenca está constituida por el orden de cauces permanentes o estacionales. La morfología de la red depende de la geomorfología de la cuenca, el estudio de la red de drenaje determina los procesos erosivos relacionando parámetros y elementos del medio. “La escorrentía superficial provoca un efecto erosivo que se traduce en un vaciado de material a través de los canales en que se jerarquiza la red fluvial; dicha jerarquización dependerá, entre otros factores, de la litología presente en la zona y del espacio que tenga para desarrollarse” (Montserrat, 1985).

La jerarquización de los cauces, según Horton y Strahler, clasifica la red asignando un número dependiendo la posición y la bifurcación de los cauces en la red desde las nacientes concluyendo en el cauce principal; la denominación numérica dependerá del criterio del autor. El método utilizado para la jerarquización de los cauces es el método Strahler con ayuda del programa ArcGis, los cauces pueden ser susceptibles a adición o remoción dependiendo a las confluencias y orden de cauces. El patrón de drenaje varía entre dendrítico, subdendrítico y subparalelo.

Microcuenca del Río Tabacay

Jerarquización de la Red de Drenaje.

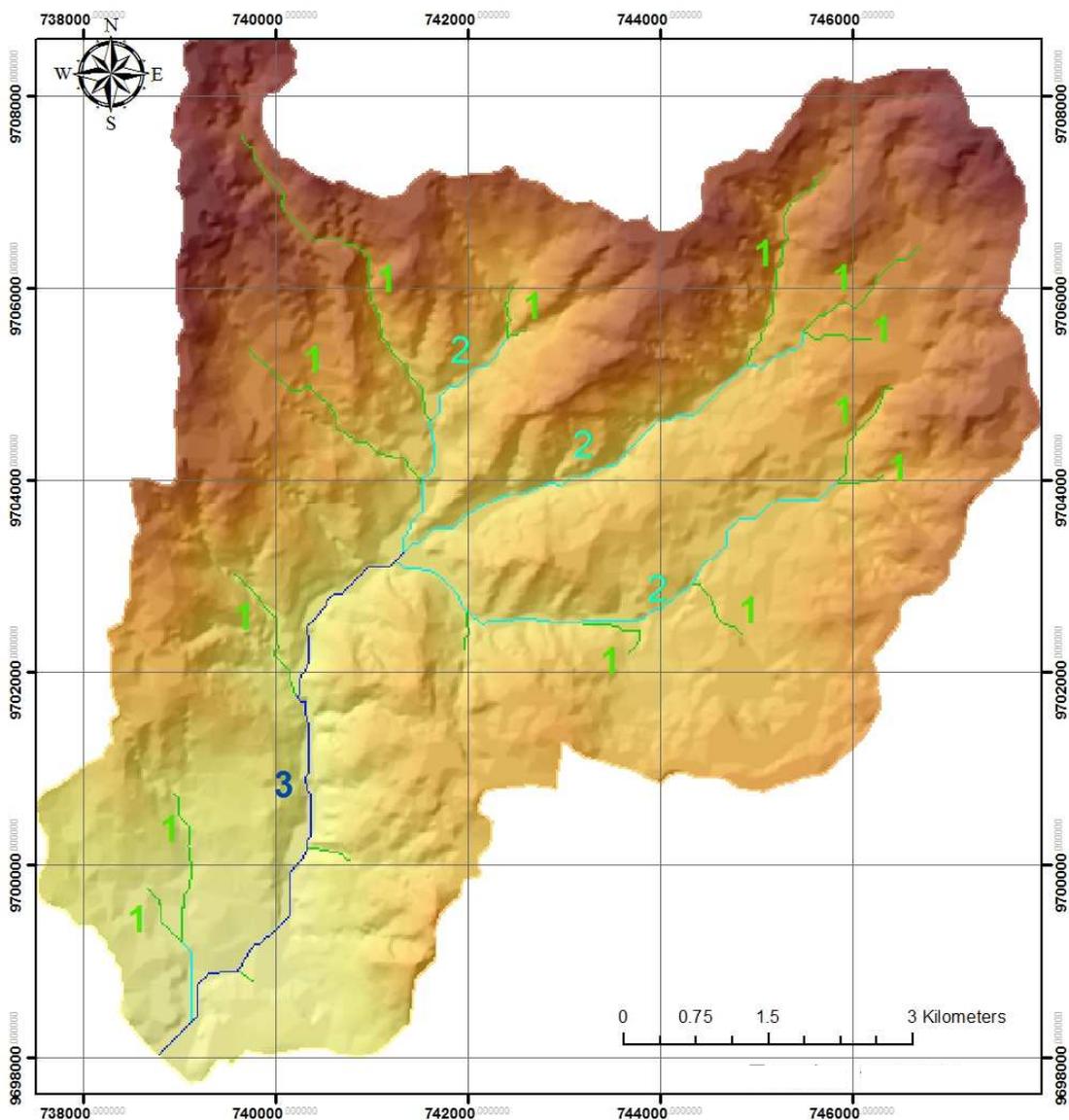


Figura 12: Jerarquización de la Red de Drenaje de la microcuenca del río Tabacay.
Fuente: Elaboración propia

La densidad de drenaje determina la capacidad de drenaje frente a eventos de precipitación. Según (Horton, 1932) la variable se define como la longitud de todos los cauces divididos para el área total de la cuenca. La densidad de drenaje de microcuenca del río Tabacay es de 0,62 km/km² que señala un drenaje pobre y una magnitud de escorrentía menor. La baja densidad de drenaje apunta al resguardo de las pocas redes hídricas de la microcuenca sugiriendo protección.

$$D = \frac{\sum Lc}{A} \quad (12)$$

La pendiente media del cauce principal de la microcuenca del río Tabacay es 7,90% que representa el desnivel promedio entre los extremos de la red de drenaje. Se considera que la longitud del eje del río principal de la microcuenca es de 15,19 Km.

El tiempo de concentración de la microcuenca se determinó según la formulación de Témez para la Dirección General de Carreteras de España usada para cuencas con una superficie de hasta 3000 Km². El tiempo de concentración de la microcuenca del río Tabacay es 3,84 horas. El tiempo de concentración dependerá del tamaño y de la pendiente de la cuenca.

7.2. Parámetros Meteorológicos

La microcuenca del río Tabacay tiene una superficie de 67,72 Km² está ubicada al sur del Ecuador en la región interandina. Al ser una zona de baja presión ocurren mayores eventos de precipitación, la altitud va desde los 2520 msnm hasta los 3720 msnm que se considera como tierra fría. La microcuenca se asienta sobre la cordillera de los andes y tiene una temperatura media anual de 9,56 °C, una humedad atmosférica de 86% aproximadamente. La precipitación promedio anual es de 939,89 mm/año. El sistema montañoso fuerza al viento a elevarse, lo que provoca el enfriamiento y que se condense en nubes o lluvia. La velocidad del viento es de 86 Km/h máxima, con una media de 6,5 km/h. Es influenciado por el ZITC (Zona de convergencia intertropical) pero por acción del sistema montañoso se modifica.

7.2.1. Precipitación

Para el presente estudio se obtuvieron datos de estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la microcuenca del río Tabacay y a sus alrededores. Las estaciones consideradas son: Queseras, Surampalti, San Cristóbal, Condoryacu, Llaucay, Guapán y Nudpu.

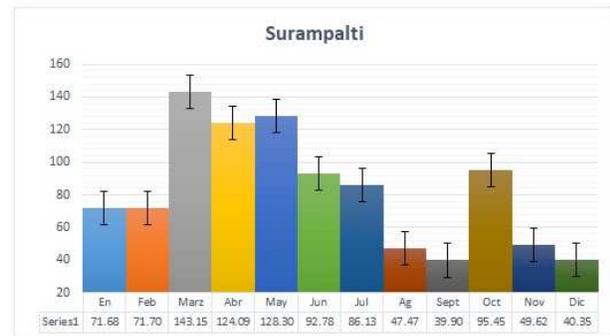
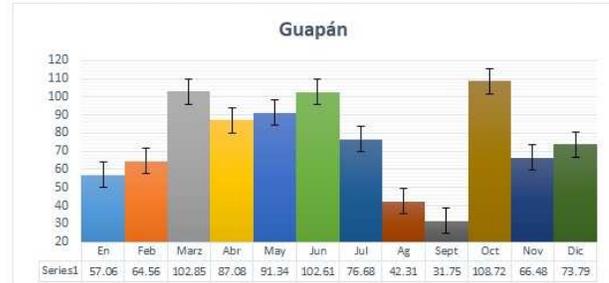
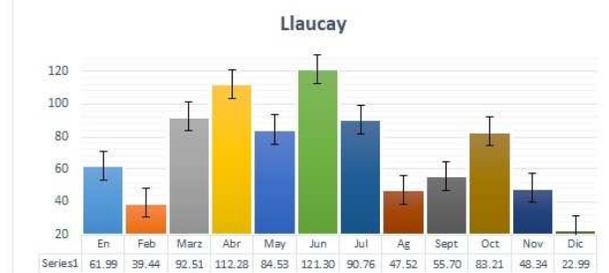
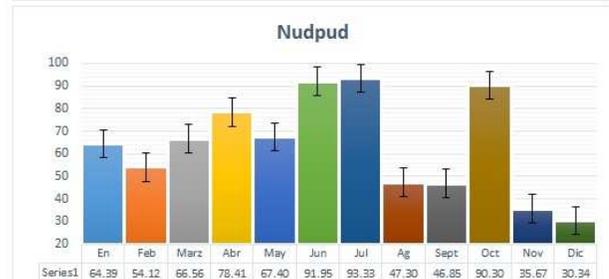
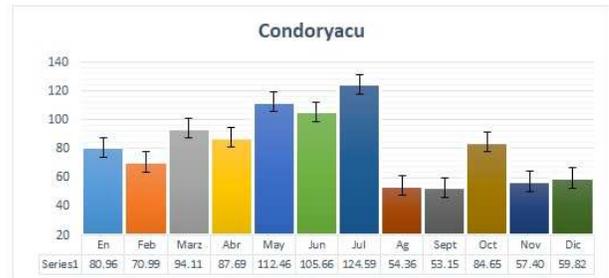
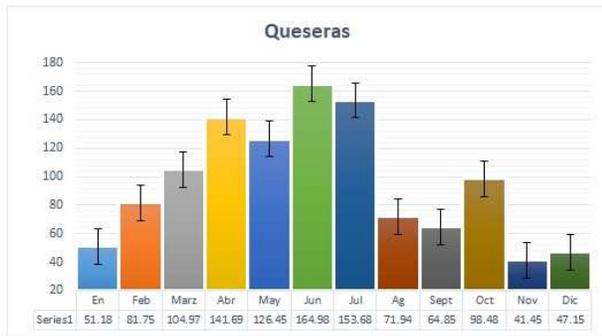


Figura 13: Estaciones pluviométricas en la microcuenca del río Tabacay y en sus alrededores.
 Precipitación media mensual periodo 2013-2016
 Fuente: SENAGUA
 Elaboración: Propia

La tabla 8 y la figura 13 muestra la ubicación de las estaciones pluviométricas dentro de la microcuenca del río Tabacay. Los datos son abastecidos por EMAPAL para los pluviómetros y la estación meteorológica dentro de la microcuenca; y, SENAGUA para las estaciones más cercanas alrededor de la microcuenca. Se debe considerar que, Nudpud es la única estación meteorológica; y los datos de salida de las estaciones Condoryacu, Guapán, Llaucay y Nudpud son mensuales y los datos de salida de las estaciones Surampalti, San Cristóbal y Queseras son registrados diariamente.

Tabla 8: Estaciones pluviométricas

Nombre	Altitud m.s.n.m	Coordenadas UTM	
		X	Y
Nudpud	3230	746459	9705417
Queseras	3348	748010,78	9712776,77
Surampalti	3287	724894,69	9697625,95
San Cristóbal	2919	741049	9687495
Condoryacu	2899	741649	9704709
Llaucay	2980	7444400	9702114
Guapán	2626	739279	9699879

Fuente: SENAGUA
Elaboración: Propia

Los datos abastecidos por EMAPAL y SENAGUA presentan incongruencias, son base de datos en serie con vacíos, dificultando el análisis de los registros de datos históricos. De acuerdo a los datos disponibles se evaluaron distintos métodos estadísticos para completar datos faltantes. Para estaciones en regiones montañosas se recomienda el método por promedios vecinales.

La evaluación de parámetros y variables determinó el uso del programa Tratamiento y Gestión de Series Temporales Hidrológicos (TRASERO), desarrollado por la Diputación Provincial de Alicante, que, mediante herramientas estadísticas y matemáticas, ejecuta un análisis hidrológico considerando variables básicas como es la altitud, el número de pluviómetros y el registro de datos incompleto. En el anexo 1 se presentan los datos corregidos usados para el desarrollo del modelo.

La microcuenca del río Tabacay presenta un máximo en las precipitaciones en junio y julio, y un mínimo de noviembre hasta febrero. Dependiendo las condiciones de humedad, y la superficie que cubra la precipitación se puede producir escurrimiento de una magnitud comparable. Para cuencas pequeñas la altura de lluvia implica asumir una intensidad de lluvia constante durante una cierta duración.

Mapa de Isoyetas media anual 2013 - 2016

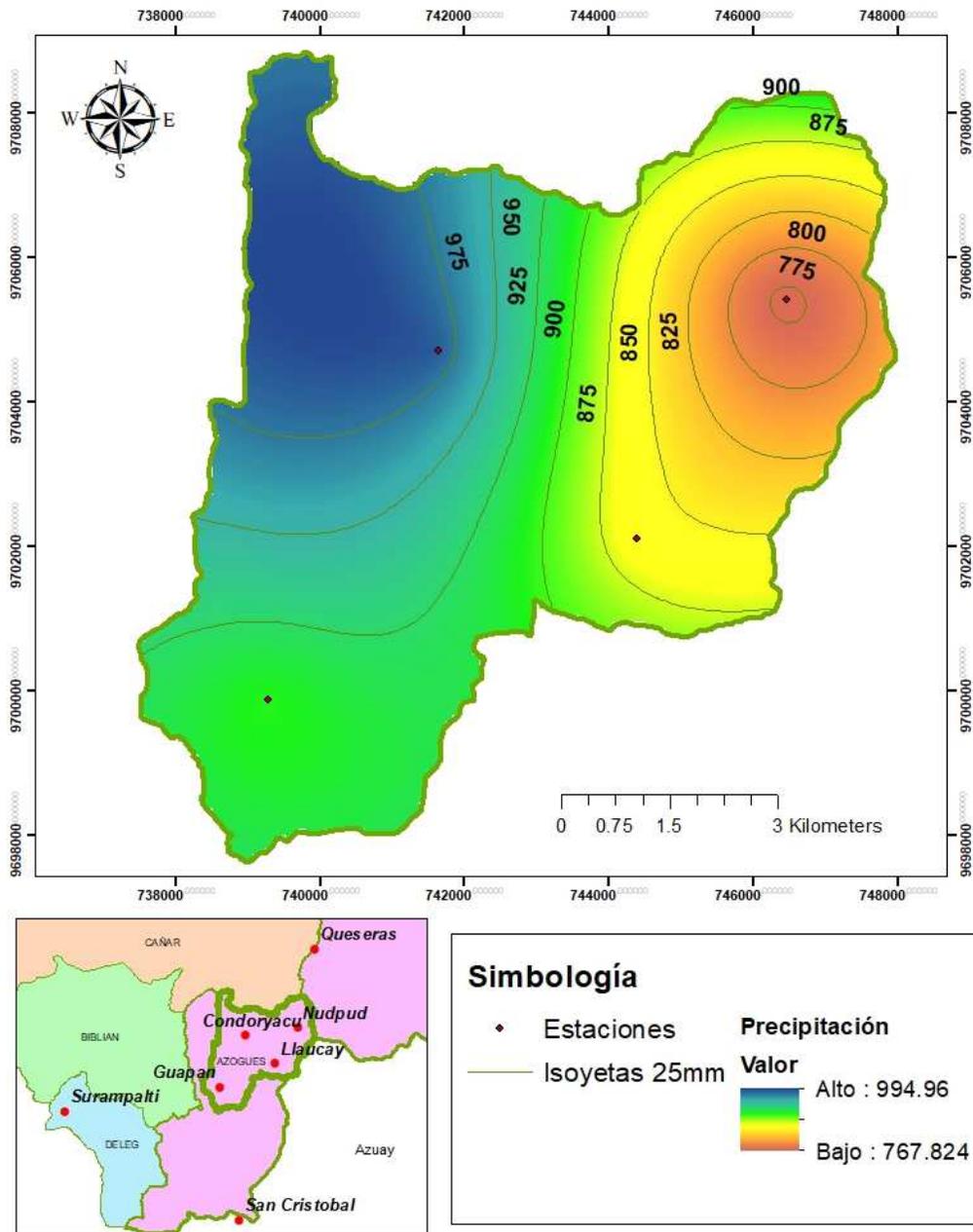


Figura 14: Mapa de isoyetas de la microcuenca del río Tabacay periodo 2013 – 2016. Estaciones pluviométricas.

Fuente: SENAGUA

Elaboración: Propia

Las estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la microcuenca son Guapán, Condoryacu, Nudpud y Llaucay. La precipitación media anual calculada para las estaciones dentro de la microcuenca es 879,56 mm y la precipitación media mensual es de 73,30 mm. La precipitación mensual máxima registrada es de 167,64 mm en abril del 2016 en la estación Llaucay. La estación meteorológica de Nudpud en el año 2016 registra precipitaciones bajas a comparación de años anteriores.

Las precipitaciones consideradas pueden crecer y decrecer, se debe tener en cuenta que no se considera la precipitación mínima de cero, en los casos de este valor se lo consideró como vacío y se procedió al cálculo de los datos en el programa TRASERO.

Tabla 9: Precipitación media anual (mm)

	2013	2014	2015	2016	Promedio
Condoryacu	985,77	993,65	1024,13	939,80	985,84
Guapán	853,43	988,57	1024,14	754,76	905,23
Llaucay	976,91	834,65	899,18	731,42	860,54
Nudpud	976,91	915,17	840,88	333,55	766,63
Queseras	1247,82	1156,96	1101,33	1088,06	1148,54
San Cristóbal	927,43	953,93	864,68	941,47	921,88
Surampalti	1054,92	1179,89	856,93	870,66	990,60
					939,89

Fuente: SENAGUA
Elaboración: Propia

7.2.2. Temperatura y Humedad Relativa

Los datos de temperatura y la humedad relativa se obtuvieron de la única estación meteorológica existente en la microcuenca del río Tabacay Nudpud. De las temperaturas registradas en el 2016, la máxima es en el mes de junio con 9,60 °C y la temperatura mínima es en septiembre 23,30 °C.

Tabla 10: Temperatura máxima mensual (°C) de la estación meteorológica de Nudpud.

	2013	2014	2015	2016	Promedio
Enero	16,49	17,70	18,00	19,40	17,90
Febrero	17,27	17,70	19,20	17,60	17,94
Marzo	16,24	17,40	16,40	17,20	16,81
Abril	16,01	16,20	15,90	17,60	16,43
Mayo	15,80	16,50	15,20	16,30	15,95
Junio	15,70	14,10	15,30	9,60	13,68
Julio	13,20	14,60	15,10	19,08	15,49
Agosto	16,30	13,10	14,20	22,90	16,63
Septiembre	15,40	16,10	15,20	23,30	17,50
Octubre	16,80	17,80	17,80	18,60	17,75
Noviembre	18,30	17,20	17,20	20,60	18,33
Diciembre	17,40	17,30	17,30	19,70	17,93
					16,86

Fuente: EMAPAL
 Elaboración: Propia

Tabla 11: Temperatura promedio anual de estación meteorológica de Nudpud

Años	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C	Temperatura Media °C
2013	16,24	3,64	9,36
2014	16,31	3,43	9,27
2015	16,40	3,53	9,27
2016	18,49	3,60	10,33

Fuente: EMAPAL
 Elaboración: Propia

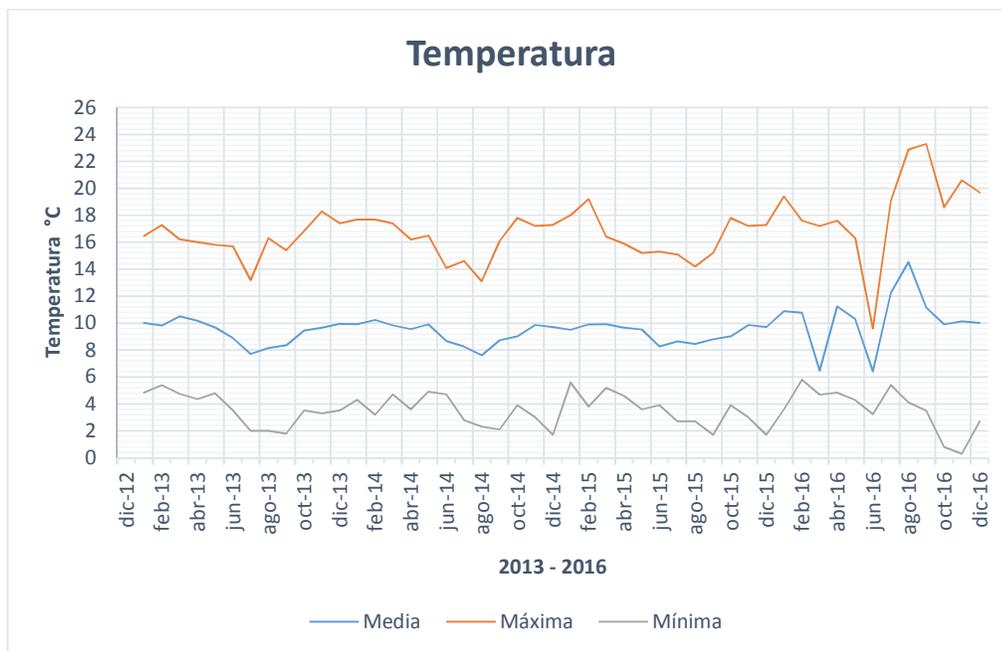


Figura 15: Temperatura media, máxima y mínima periodo 2013 – 2016
Elaboración: Propia

Los datos de humedad relativa de la estación meteorológica de Nudpud no reflejan la realidad de la microcuenca en su totalidad.

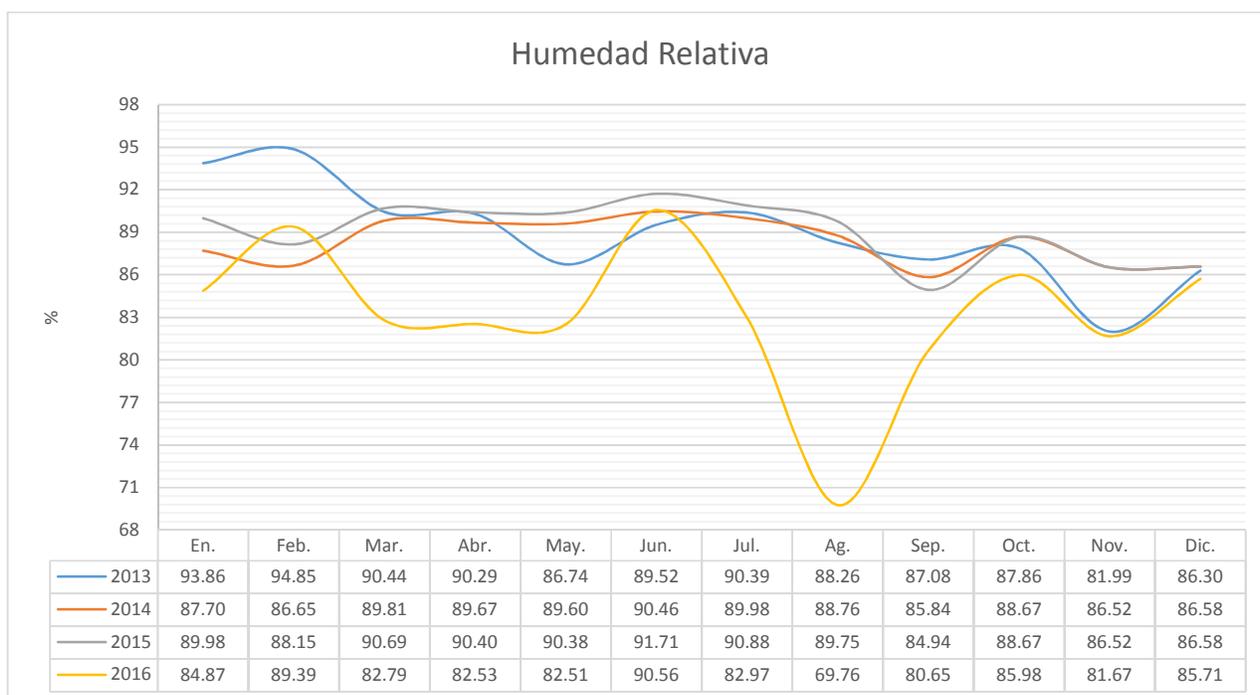


Figura 16: Humedad relativa media periodo 2013 – 2016
Elaboración: Propia

7.2.3. Evapotranspiración

De acuerdo a la definición de Thornthwait (1948) la evapotranspiración potencial es la cantidad de agua que puede volver a la atmósfera por evaporación y transpiración en condiciones óptimas de humedad de suelo y desarrollo vegetal. El cálculo de la evapotranspiración potencial y real se realizó a partir de los valores de la estación meteorológica de Nudpud, considerando la precipitación y la temperatura máxima de la microcuenca, y el proceso de datos en el programa TRASERO.

Tabla 12: Evapotranspiración potencial media (mm)

	2013	2014	2015	2016
<i>Enero</i>	52,99	59,24	60,65	62,72
<i>Febrero</i>	56,27	58,35	66,44	51,18
<i>Marzo</i>	62,00	69,10	62,41	59,62
<i>Abril</i>	64,77	65,73	63,41	66,64
<i>Mayo</i>	70,68	75,51	65,65	64,05
<i>Junio</i>	70,35	58,72	66,74	23,14
<i>Julio</i>	53,97	63,25	66,44	88,87
<i>Agosto</i>	71,37	49,69	56,33	118,66
<i>Septiembre</i>	57,38	61,41	55,57	108,21
<i>Octubre</i>	61,71	67,55	67,27	65,32
<i>Noviembre</i>	62,28	56,07	55,82	69,88
<i>Diciembre</i>	56,36	55,61	55,37	62,97
<i>Etp. media anual</i>	740,13	740,23	742,10	841,26

Elaboración: Propia

La evapotranspiración real (Etr) es la cantidad de agua que vuelve a la atmósfera en condiciones reales del ambiente, es decir la evapotranspiración que efectivamente se da en el ambiente. El límite superior de Etr viene determinado por la ETP y la cobertura vegetal.

Tabla 13: Evapotranspiración real media (mm)

	2013	2014	2015	2016
Enero	52,99	59,24	60,65	18,4
Febrero	56,27	58,35	66,44	51,18
Marzo	62	69,1	42,2	58,4
Abril	64,77	65,73	63,41	21,4
Mayo	70,68	75,51	65,65	38,4
Junio	70,35	58,72	66,74	0,4
Julio	53,97	63,25	66,44	9,92
Agosto	71,37	49,69	56,33	6,6
Septiembre	57,38	61,41	55,57	51,6
Octubre	61,71	67,55	67,27	37,8
Noviembre	62,28	53,6	53,6	37,69
Diciembre	46,4	44,37	39,65	1,94
<i>Etr. media anual</i>	730,17	726,52	703,95	333,73

Elaboración: Propia

8. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

La microcuenca del río Tabacay presenta una geología variada, a pesar de la de la degradación por actividades antrópicas y el aumento de la erosión por las pendientes pronunciadas. En la parte baja de la microcuenca predomina la caliza que es explotada para la elaboración de cemento y en la parte alta el suelo es de origen volcánico por lo cual existe predominancia de Andisoles en la superficie debido a la acumulación de ceniza volcánica.

8.1. Geología Regional

A nivel continental, el Ecuador está dividido por tres regiones fisiográficas, cada una con diferentes características geológicas y morfológicas, y son: Costa, Sierra o Andina y Oriente o Amazónica. La microcuenca del río Tabacay está ubicada en la región interandina, que está constituida por la cordillera oriental y la cordillera occidental unida por nudos; cada cordillera está compuesta por terrenos mayores y divisiones de unidades lito-tectónicas.

La microcuenca del río Tabacay está formada por rocas volcánicas del Grupo Saraguro y rocas metamórficas del Terreno Alao. Según Verdezoto (2006), las divisiones posiblemente constituirían las rocas más antiguas que conforman el basamento de la microcuenca las cuales estarían presentes a profundidad. (Aspden & Litherland)

8.2. Edades geológicas.

Según Sigal (1998), la microcuenca del río Tabacay está constituida por las siguientes formaciones geológicas (Sigal, 1998). El mapa de ubicación de las edades geológicas en la microcuenca se encuentra en el anexo 3:

Tabla 14: Edades geológicas

Edad	Formación	Área (Km²)
Cuaternaria	F. TARQUI	33,46
Terciario	F. GUAPÁN	1,98
Terciario	F. AZOGUES	3,01
Terciario	F. LOYOLA	1,65
Cretáceo-Paleoceno	F. YUNGUILLA	27,23
Jurásico	U. PAUTE	0,39
		67,72

Fuente: Secretaria de Gestión de Riesgos
Elaboración: Propia

- Formación Azogues: donde predominan areniscas tobáceas gruesas, de color café y depósitos de limolita y arcilla de menos de 1m. El espesor máximo se estima en 280m.
- Formación Loyola: son depósitos superiores de aproximadamente 250m de espesor, constan de lutitas grises oscuras de color amarillo, meteorizadas y rojizas, con una flora variada. Abunda el yeso y calizas cristalinas (2m x 50 cm de espesor).
- Formación Guapán: con litología similar que la formación Loyola, se encuentran depósitos de bentonita de más de 10m de espesor, tobas y areniscas tobáceas.
- Formación Biblián: El depósito basal es de guijarro grueso, formada por arcillas limosas, arenosas finas café-rojizas y areniscas tobáceas gruesas. Además de aglomerados volcánicos.
- Formación Tarqui: formada por rocas piro clásticas acidas, se ha alterado el caolín.
- Formación Yunguilla: predomina las argilitas negras, pasando a arcillas café-oscuros o negras, depósitos de caliza, areniscas y capas guijarrosas fosilíferas.

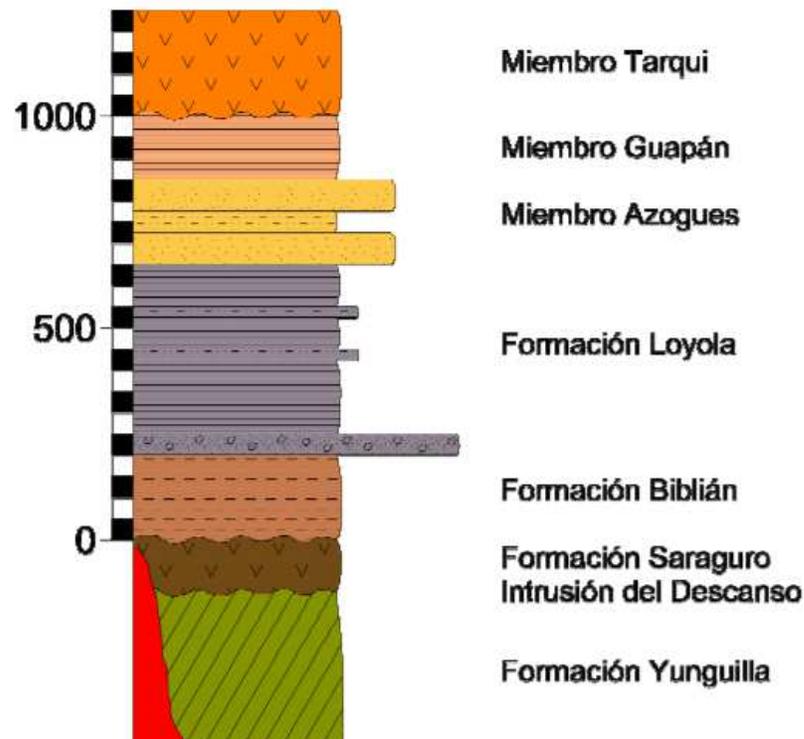


Figura 17: Columna estratigráfica de la Unidad Tectónica Cocha Huma – Azogues.
Fuente: (Verdezoto P. A., 2006).

8.3. Litología

En la microcuenca del río Tabacay la litología en su mayoría es de orden arcilloso, la litología depende de los periodos geológicos para la formación de las rocas y el suelo.

La infiltración de la microcuenca está en función con la litología del lugar, es decir, los diferentes tipos de rocas; los valores del coeficiente de infiltración máxima se establecieron conforme a Estrela (1999) según la regionalización de la litología. Una mayor infiltración significa menor flujo superficial y por lo tanto menor erosión, la relación entre la recarga y la precipitación sin considerar el tipo de suelo de la microcuenca depende de la cantidad de precipitación acumulada en un área determinada (Kumar, 1997).

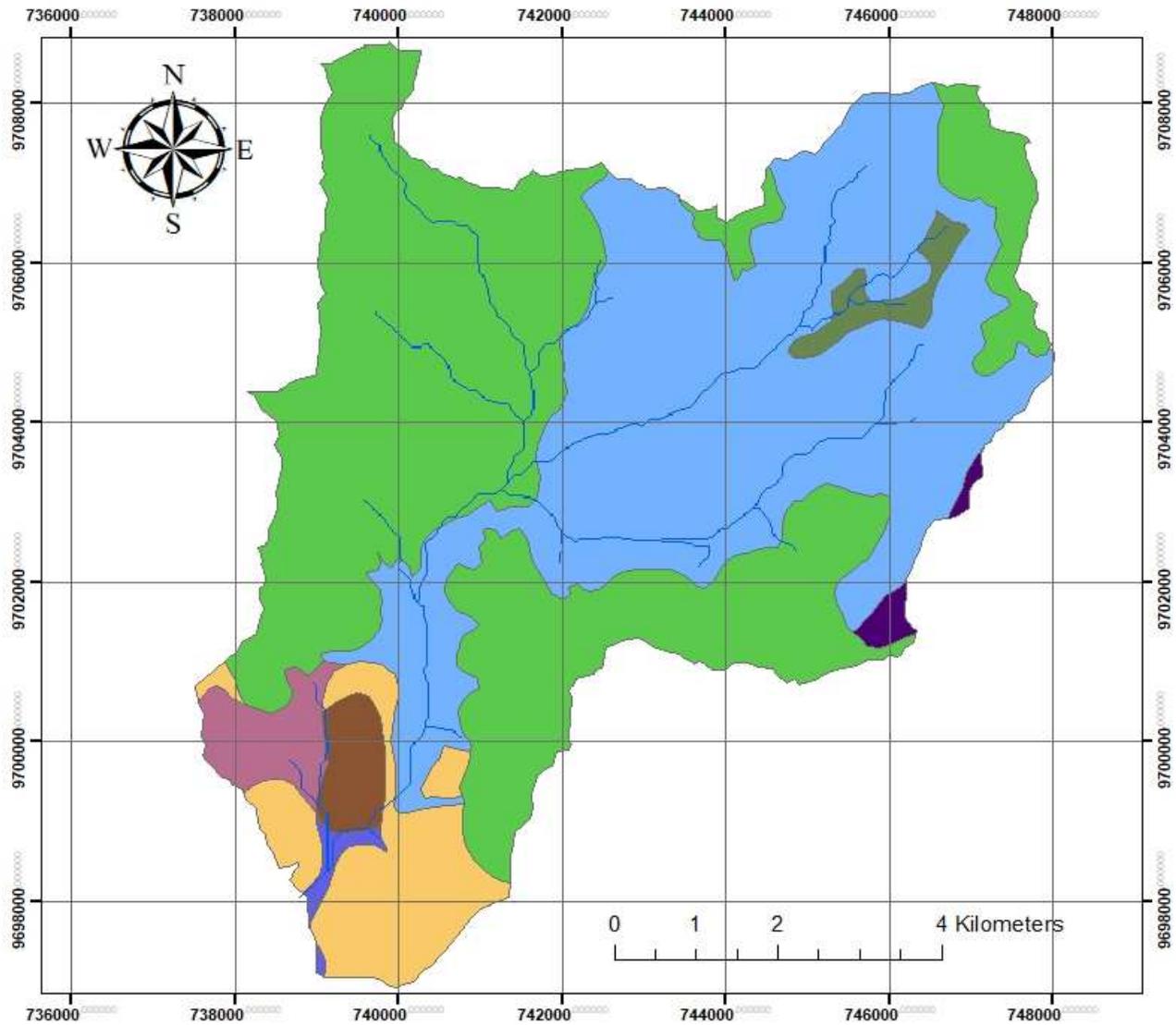
Tabla 15: Litología de la microcuenca del río Tabacay con su valor de coeficiente de infiltración.

Litología	Área (Km²)	I_{max} (mm)
Localmente conglomerado de base	1,6817	450
Aglomerado, Lava, Dacita	31,0337	275
Argilita, areniscas tobáceas, toba	27,2457	255
Bentonita, localmente conglomerado de base	5,0542	725
Deposito aluvial	0,2927	400
Deposito coluvial	0,9139	210
Meta - volcánicas de san francisco	0,3566	275
Travertino	1,1415	508
Total	67,72	

Fuente: (Estrela, Cabezas, & Estrada, 1999)

Elaboración: Propia

El mayor porcentaje del área total de la microcuenca tiene un coeficiente de infiltración bajo, la mayor parte del área de la microcuenca tiene valores de coeficiente entre 210 a 275 que representa un 87,94% del área total de la microcuenca.



Microcuenca del río Tabacay

Mapa Litológico

Fuente: Secretaría de Gestión de Riesgos

Simbología	
	Cuerpos de agua
Litológia	
	LOCALMENTE CON GLOMERADO DE BASE
	AGLOMERADO, LAVA, DACITA
	ARGILITA, ARENISCA TOBACEO, TOBA
	BENTONITA LOCALMENTE CON GLOMERADO DE BASE
	DEPOSITO ALUVIAL
	DEPOSITO COLUVIAL
	META - VOLCANICAS DE SAN FRANCISCO
	TRAVERTINO

Figura 18: Mapa litológico de la microcuenca del río Tabacay

Fuente: SIGTIERRAS

Elaboración: Propia

8.4. Edafología

8.4.1. Textura del suelo.

La textura de suelos es el porcentaje de fracciones granulométricas de arcilla, arena y limo. La microcuenca del río Tabacay, según el triángulo de texturas del sistema del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA), presenta 9 clases de texturas a nivel superficial y 10 clases de texturas a profundidad. A nivel superficial, como se puede apreciar en la tabla 16 y 17, la microcuenca tiene mayor porcentaje de suelo Franco arenoso, representando el 54,43% del área total, con una composición de 40% de arena, 10% de arcilla y 50% de limo. El comportamiento del suelo referente al agua dependerá del porcentaje de arcilla presente en proporción a otros minerales, se considera que en suelos arcillosos la permeabilidad es baja. Los suelos franco arenosos tienen valores de infiltración lenta por ser de texturas gruesas, los problemas de compactación influyen directamente en la microcuenca.

En la tabla 17, el apartado de M.O hace referencia a la materia orgánica de cada clase textural, el valor está determinado por valores del 1 al 4, considerando a 1 como valor mínimo de materia orgánica y 4 como abundante en materia orgánica.

Tabla 16: Textura superficial de suelos.

Textura del suelo	Área (Km²)	Área (%)
Arcilla Pesada	1,14	1,68
Arcillo Limoso	2,07	3,06
Arcilloso	1,84	2,72
Areno Francoso	0,27	0,39
Franco	14,95	22,08
Franco Arcillo Arenoso	5,62	8,29
Franco Arcillo Limoso	3,19	4,71
Franco Arcilloso	1,24	1,83
Franco Arenoso	36,86	54,43
No aplica	0,55	0,82
	67,72	100

Fuente: MAGAP

Elaboración: Propia

Tabla 17: Composición porcentual del suelo. M.O (Índice de materia orgánica, considerando a 1 como valor mínimo y 4 como abundante).

Textura del suelo	% limo	% arcilla	% arena	M.O
Arcilla Pesada	20	60	20	4
Arcillo Limoso	40	40	20	3
Arcilloso	20	60	20	3
Areno Francoso	25	5	70	1
Franco	40	20	40	1
Franco Arcillo Arenoso	35	30	35	4
Franco Arcillo Limoso	40	40	20	3
Franco Arcilloso	30	40	30	4
Franco Arenoso	50	10	40	1

Fuente: MAGAP

Elaboración: Propia

La textura de suelo de la microcuenca del río Tabacay a profundidad es considerada después de 30 cm desde la superficie, como se aprecia en la tabla 18, el mayor porcentaje se considera al suelo Franco arenoso.

Tabla 18: Textura de suelo a profundidad

Textura del suelo	Área (Km²)	Área (%)
ARCILLA PESADA	1,84	2,71
ARCILLO-ARENOSO	1,30	1,91
ARCILLO-LIMOSO	3,18	4,70
ARCILLOSO	7,81	11,53
ARENO FRANCOSO	0,26	0,39
DESCONOCIDA	1,03	1,52
FRANCO	4,09	6,04
FRANCO ARCILLO-ARENOSO	13,07	19,29
FRANCO ARCILLOSO	9,66	14,26
FRANCO ARENOSO	24,46	36,12
FRANCO LIMOSO	0,49	0,72
NO APLICABLE	0,55	0,81
	67,72	100

Fuente: MAGAP

Elaboración: Propia

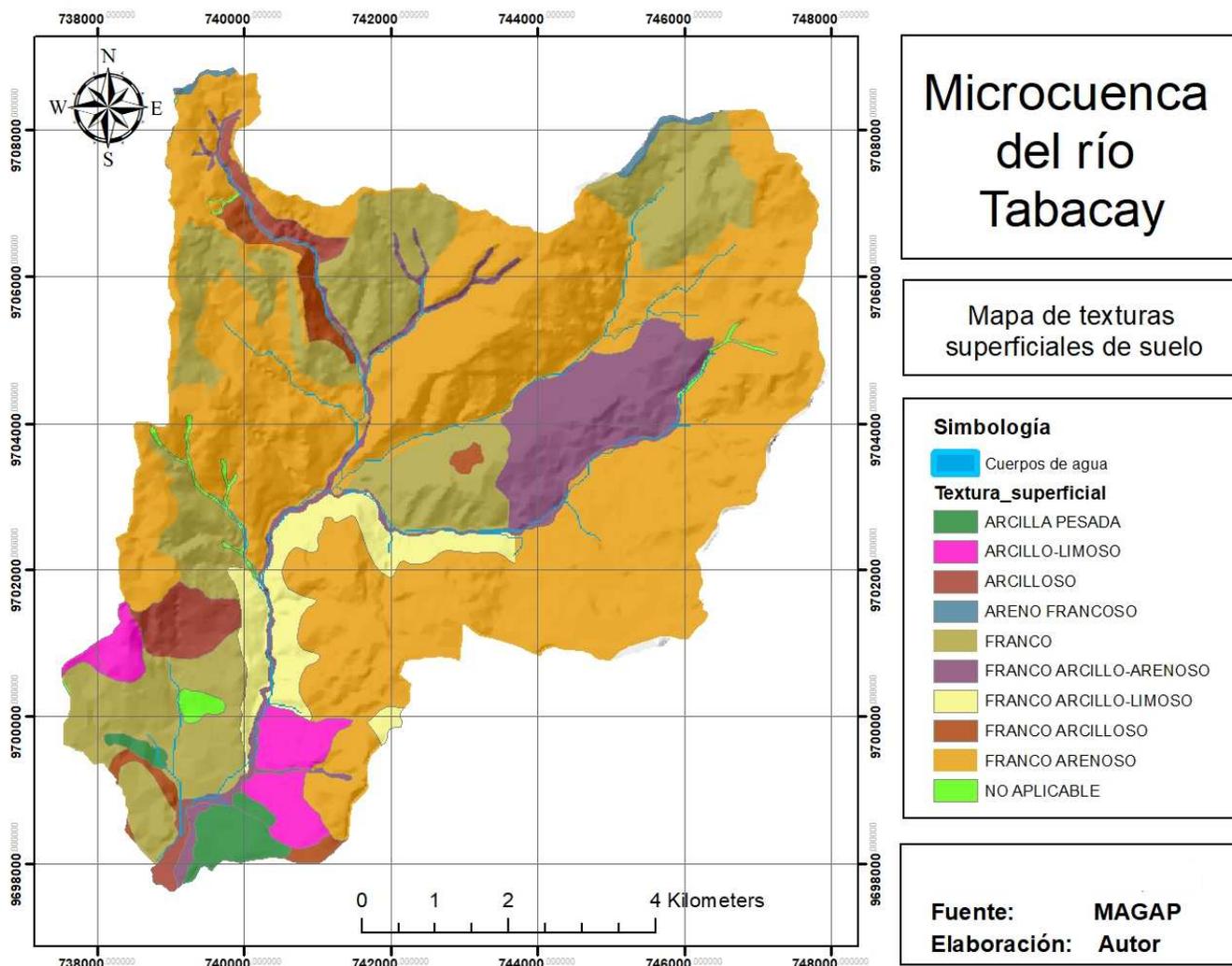


Figura 19: Mapa de texturas superficiales, según el sistema internacional USDA.
Fuente: FAO, SIGTIERRAS
Elaboración: Propia

8.4.2. Profundidad efectiva.

La profundidad efectiva de un suelo es el espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayor obstáculo para conseguir agua y nutrientes, es una característica física importante, ya que determina el volumen de agua que puede almacenar el suelo y está en base a la pedregosidad (Rosas & Arribillaga, 2013). En un suelo profundo las plantas resisten mejor la sequía, ya que a mayor profundidad mayor es la capacidad de retención de humedad. La Profundidad Efectiva de la microcuenca del río Tabacay es en su mayoría profunda con un 45% del área total y un 35% de suelos moderadamente profundos, mientras que en las partes altas predomina el suelo poco profundo.

Tabla 19: Profundidad efectiva de los suelos de la microcuenca del río Tabacay

Profundidad efectiva	Afloramientos rocosos		Área (Km²)	Área (%)
Superficial	11 - 20 cm	4	4,27	6,31
Poco profundo	21 - 50 cm	3	8,36	12,34
Moderadamente profundo	51 - 100 cm	2	23,94	35,36
Profundo	> 100 cm	1	30,56	45,12
No aplica	-	-	0,59	0,87
			67,72	100

Fuente: MAGAP
Elaboración: Propia

8.4.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

La capacidad de intercambio catiónico determina el comportamiento y la inestabilidad del suelo según el agua. Las arcillas y los suelos que tienen una elevada cantidad de materia orgánica, presentan alto de CIC.

La capacidad de intercambio catiónico en los suelos de la microcuenca del río Tabacay es media y baja, es decir son suelos con baja cantidad de materia orgánica y baja disponibilidad de nutrientes.

Tabla 20: Capacidad de intercambio catiónico de la microcuenca del río Tabacay

	CIC	Textura de suelo	Área (Km²)	Área (%)
MUY BAJO	< 5 cmol/kg de suelo seco	Arena	0,560149	0,83
BAJO	5 - 10 cmol/kg de suelo seco	Franco arenoso	22,689908	33,51
MEDIO	11 - 20 cmol/kg de suelo seco	Franco	24,585162	36,30
ALTO	21 - 30 cmol/kg de suelo seco	Franco arcilloso	16,796466	24,80
MUY ALTO	> 30 cmol/kg de suelo seco	arcilloso	2,509311	3,71
NO APLICABLE	No es aplicable	-	0,579004	0,85
			67,72	100

Fuente: MAGAP
Elaboración: Propia

8.4.4. Uso de suelo.

El nivel de interferencia antropogénica en el tipo de paisaje influye al momento de identificar la calidad, es decir, la influencia que ejerce para determinar unidades o clases. En la microcuenca del Río Tabacay las actividades agrícolas suponen un factor importante dentro la economía de la zona y sus comunidades aledañas. Según el Plan de Manejo del río Tabacay, el 57% son actividades agrícolas, 16% de actividades pecuarias y 5% en actividades agropecuarias.

La práctica de la agricultura genera alteraciones propias por no existir medidas de protección anti-erosivas, la carga animal del sobre pastoreo produce reptaciones y movimientos de masa. Estudios realizados por la Unidad para el Manejo de la Cuenca del río Paute (UMACPA) estimó la erosión del suelo a lo largo de la cuenca del río Paute, siendo la tasa de erosión para subcuenca del río Burgay de 257880 ha/año.

Tabla 21: Uso de suelo de la microcuenca del río Tabacay

Uso de suelo	Área (Km ²)	Área (%)
Área poblada	2,57	3,80
Área sin cobertura vegetal	0,23	0,34
Bosque nativo	2,64	3,90
Cultivo	4,32	6,38
Misceláneo agropecuario	0,97	1,43
Paramo	4,27	6,31
Pastizal	39,56	58,42
Plantación forestal	12,13	17,91
Vegetación arbustiva	1,03	1,52
	67,72	100,00

Fuente: MAGAP

Elaboración: Propia

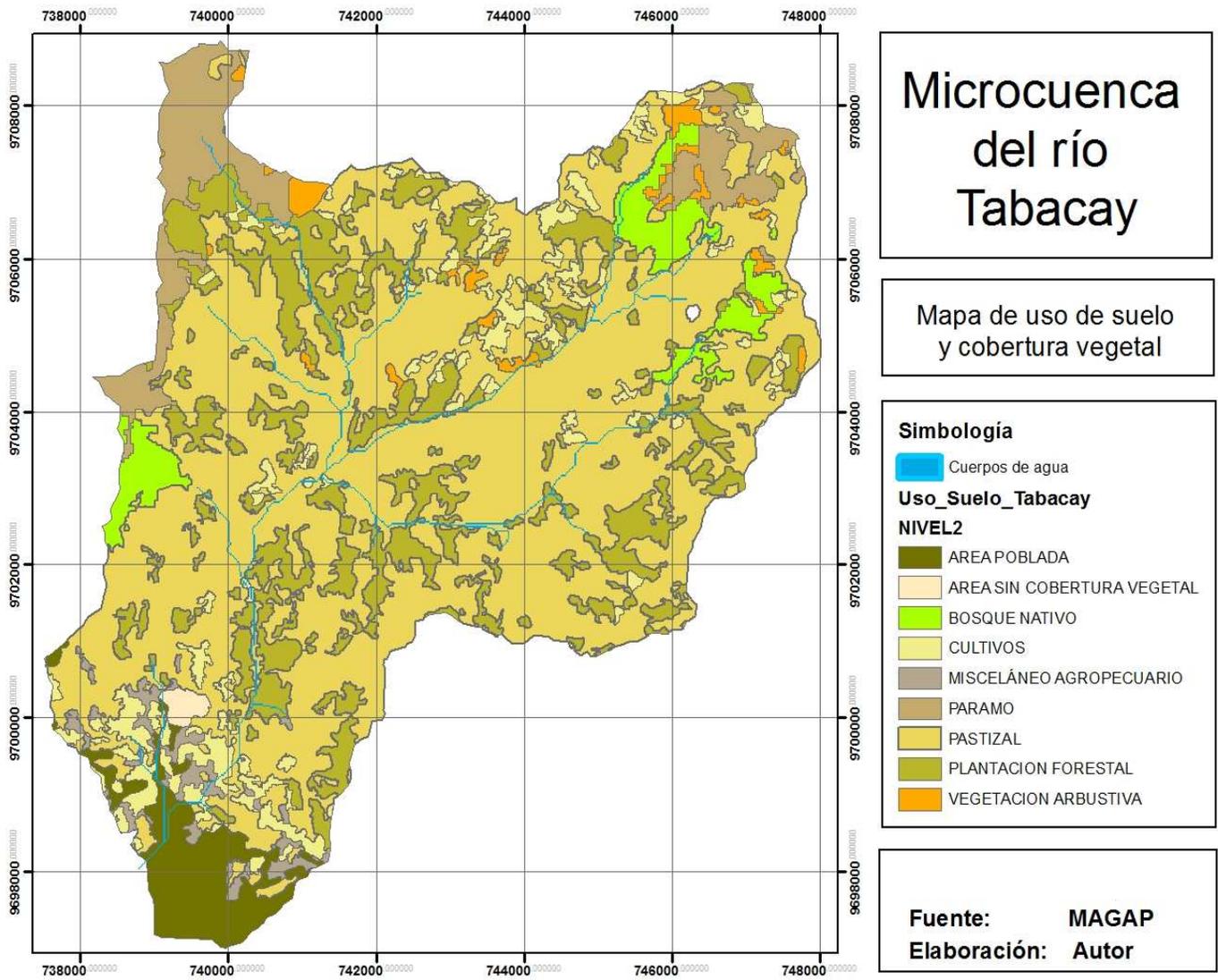


Figura 20: Uso de suelo y cobertura vegetal de la microcuenca del río Tabacay
Fuente: EMAPAL, SIGTIERRAS
Elaboración: Propia

8.4.4.1. Cubierta vegetal.

La microcuenca del río Tabacay clasifica su vegetación según el Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental emitido por el Ministerio del Ambiente del Ecuador. El Plan de Manejo del río Tabacay clasifica los pisos altitudinales según la “Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental” (Sierra, 1999). La vegetación nativa se ha ido modificando a medida del desarrollo poblacional; el páramo y los matorrales han sido cambiados por pastizales y cultivos. La economía de la zona ha jugado un rol fundamental para el crecimiento de la frontera agrícola.

El Plan de Manejo de la microcuenca del río Tabacay establece zonas de alta biodiversidad en el ecosistema, considerando un 80,82% de especies nativas y un 14,18% de especies endémicas. La flora característica dentro de la microcuenca es: *Brachyotum jamesonii*, *Fuchsia vulcanica*, *Gynoxys miniphylla*, *Ribes lehmannii*, *Halenia serpyllifolia*, *Gentianella hyssopofila*, *Gentianella crassulifolia*, *Arcytophyllum vernicosum*, *Huperzia compacta*, *Werneria graminifolia*.

La cobertura vegetal del Tabacay está formada por pocas zonas de bosque nativo que, en la parte alta, éste constituye el 9,1% de la cobertura vegetal de la microcuenca, mientras que el pasto representa el 70,4% de la cobertura; el porcentaje restante lo constituye matorrales, cultivos, etc.

Según la clasificación ecológica de Holdridge, los pisos zoogeográficos de la microcuenca son Templado y Alto andino. La biotemperatura, la precipitación y la altitud son necesarios para determinar los pisos zoogeográficos, ya que intervienen en los procesos fisiológicos de la vegetación y determina la evaporación directa del suelo y la vegetación (Holdridge, 2000).

Tabla 22: Ecosistemas de la microcuenca del río Tabacay.

Altitud (m.s.n.m)	Ecosistema
1660-2200	Matorral húmedo montano bajo
2200-3000	Bosque siempreverde montano
3000-3400	Bosque siempreverde montano alto
2900-3300	Bosque siempreverde montano alto superior de páramo
3350-4100	Herbazal montano alto y montano alto superior de páramo

Fuente: MAE

Elaboración: Propia

Los ecosistemas representativos de la microcuenca del río Tabacay, de acuerdo al Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2012), como se describe en la tabla 22 son:

Matorral húmedo montano bajo.

La vegetación generalmente es de baja cobertura y se asientan en una topografía accidentada, fuertes pendientes y barrancos (Homeier, 2008). Se puede apreciar áreas alteradas que han sido cubiertas por gramíneas, en su mayoría el bosque nativo ha sido remplazado por *Eucalyptus globulus*.

Bosque siempreverde montano.

Se caracteriza por estar cubierta de arbustos; predomina las epifitas, aumentan en diversidad; los árboles tienden a crecer irregularmente con troncos ramificados desde la base. En algunos lugares se puede encontrar fuera del rango altitudinal. (Sierra, 1999).

Bosque siempreverde montano alto.

En sus límites superiores se conoce como bosque de ceja de montaña (Sierra et al. 1999), ya que están distribuidos en franjas que limitan con el páramo. Está presente como fragmentos o parches relegados a las quebradas o en laderas montañosas con topografía accidentada, con pendientes. Se caracteriza por abundantes epifitas y musgos.

Bosque siempreverde montano alto superior de páramo.

Este tipo de ecosistema ocurre en formas de parches aislados herbáceos o arbustivos (MAE, 2012). Debido a la alta humedad ambiental los troncos de los árboles están generalmente cubiertos por muchas especies de briofitas, líquenes y hemiepifitas. El piso al igual que los troncos del estrato arbóreo suelen estar cubiertos por briofitas. Se aprecia vegetación reducida a remanentes por acción antrópica generalmente quema para labores agrícolas.

Montano alto superior de páramo.

Se encuentra en laderas montañosas, planicies y crestas con suelos medianamente a bien drenados. Los suelos se caracterizan por tener condiciones anaeróbicas que inhiben la descomposición de materia orgánica, y por lo tanto promueven la formación de suelo con porcentajes de carbono orgánico de hasta el 50%. La mayoría de zonas han sido alteradas por ganadería, el aporte de nutrientes por parte de desechos de ganados altera el ecosistema frágil, así como el drenaje de los afluentes. Mayor parte de la vegetación baja y también los árboles son cubiertos por briofitas (MAE, 2012).

8.4.4.2. Terrenos con potencial agrícola

La descripción del uso de tierra de la microcuenca del río Tabacay propuesta por el Plan de Manejo (EMAPAL, 2005), se realiza en 3 zonas: alta, media y baja.

El Tipo de uso de tierra en la parte baja de la microcuenca del río Tabacay.

- Cultivos anuales: maíz, fréjol, haba, zambo, arveja, papa.
- Cultivos perennes: achira, sauce, carrizo,
- Cultivos forestales, aliso, retama, nogal, ciprés, eucalipto, acacia.

- Frutales: manzana, pera, tomate de árbol, membrillo, reina claudia, capulí, durazno, aguacate, higo, granadilla, mandarina, sacsuma.
- Hortalizas: nabo, col, zanahoria, lechuga, remolacha, culantro, cebolla, coliflor.
- Pasto natural: kikuyo.
- Pasto artificial: alfalfa, avena, cebada, ray grass.
- Medicinales: alelí, ataco, toronjil, manzanilla, ruda, floripondio, paico, diente de león.

El Tipo de uso de tierra en la parte media de la microcuenca del río Tabacay.

- Cultivos anuales: maíz, fréjol, haba, papa.
- Cultivos perennes: eucalipto, aliso, pino, ciprés.
- Frutales: manzana, pera, reina Claudia, capulí, durazno, sacsuma.
- Hortalizas: nabo, col, zanahoria, cebolla, coliflor.
- Pasto natural: kikuyo.
- Pasto artificial: alfalfa, avena, cebada, ray grass.

El Tipo de uso de tierra en la parte alta de la microcuenca del río Tabacay.

- Cultivos anuales: haba, papa.
- Pasto natural: kikuyo, Pajonal.
- Pasto artificial: alfalfa, avena, cebada, ray grass, trébol.
- Chaparro: osmán, zarar, yobar, llugllug, galoay, halo, llipi, llashipa, chuquiragua, chilca, gañal, turpuc, chlulchul, sigsal, hishpingo, shiñán, laurel, chachaco, lamay, suro, cascarilla, tablapanga.
- Cultivos forestales: quínoa, aliso, pino, ciprés, eucalipto.
- Frutales: gullán, mora.
- Hortalizas: nabo, col, zanahoria, cebolla, coliflor.

9. BALANCE HÍDRICO

El estudio se realizó en la microcuenca del río Tabacay. En el desarrollo de la investigación en la fase de campo se analizó los usos de suelo, la litología de la zona y el estado actual de los recursos hídricos para determinar el mejor modelo hidrológico con el objetivo de conocer el comportamiento de los recursos hídricos y el aporte real de agua tanto de precipitación y de caudales en la desembocadura final de la microcuenca para conocer la respuesta hidrológica frente a variables físicas externas como el tipo de suelo, la geología, la infiltración y la cobertura vegetal, confirmando que existen varias entradas en la microcuenca que se distribuyen en toda la superficie y que los parámetros hidrológicos permiten obtener una representaciones de los caudales que se asemejan a los datos.

El balance hídrico ayuda a conocer el volumen de agua que transcurre en un punto de interés hidrológico en un tiempo determinado. Para realizar la simulación de balance hídrico de la microcuenca del río Tabacay utilizando la metodología de Témez se requiere datos de precipitación, temperatura, evapotranspiración, el coeficiente de infiltración y la capacidad de retención de agua o humedad máxima del suelo y como punto de desagüe o drenaje se consideró a la confluencia del río Tabacay, su desembocadura. Es importante emplear un método que satisfaga las necesidades de información, que describa de mejor manera el sistema hidrológico e hidrogeológico de la microcuenca y que tenga un elevado nivel de confiabilidad.

Los datos del uso de suelos y de litología de la microcuenca del río Tabacay fueron modificados, se considera 4 tipos de uso de suelo, tabla 24: paramo, bosque, agropecuario y antropogénico; y en la litología se considera 4 coeficientes de infiltración, tabla 23: 25, 150, 300, 450.

Tabla 23: Litología modificada con su coeficiente de infiltración

Litología	Área (Km ²)	Área (%)	I _{max}
Argilita, areniscas tobáceas, toba, aglomerado, Lava, Dacita, Meta - volcánicas de san francisco, Deposito coluvial	59,72	88,19	25
Localmente conglomerado de base Deposito aluvial	2,11	3,12	150
Travertino	0,77	1,13	300
Bentonita, localmente conglomerado de base	5,12	7,57	450
	67,72	100	

Fuente: (Estrela, Cabezas, & Estrada, 1999)

Elaboración: Propia

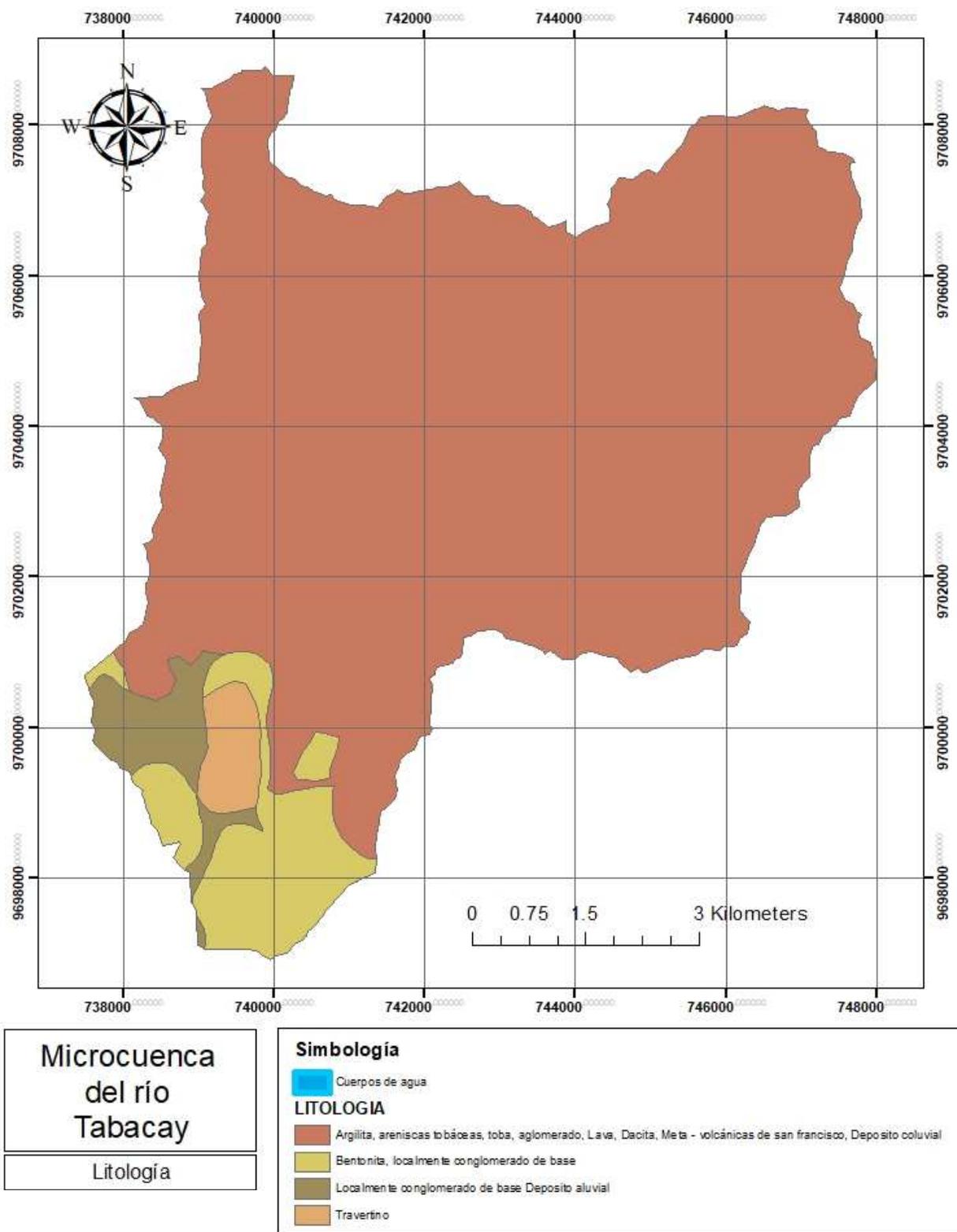


Figura 21: Litología modificada de la microcuenca del río Tabacay
Fuente: SIGTIERRAS
Elaboración: Propia

Tabla 24: Capacidad retención de agua o humedad máxima modificada

Parámetros	H_{max}		Área (Km ²)	Área(%)
bosque	400	vegetación arbustiva	15,26	22,54
agropecuario	300	sistemas agrícolas heterogéneos	44,68	65,98
antropogénica	100	superficies artificiales	1,85	2,73
páramo	500	zonas húmedas, superficies de agua y artificiales	5,27	7,78
no considerado			0,66	0,97
			67,72	100

Fuente: (Estrela, Cabezas, & Estrada, 1999)

Elaboración: Propia

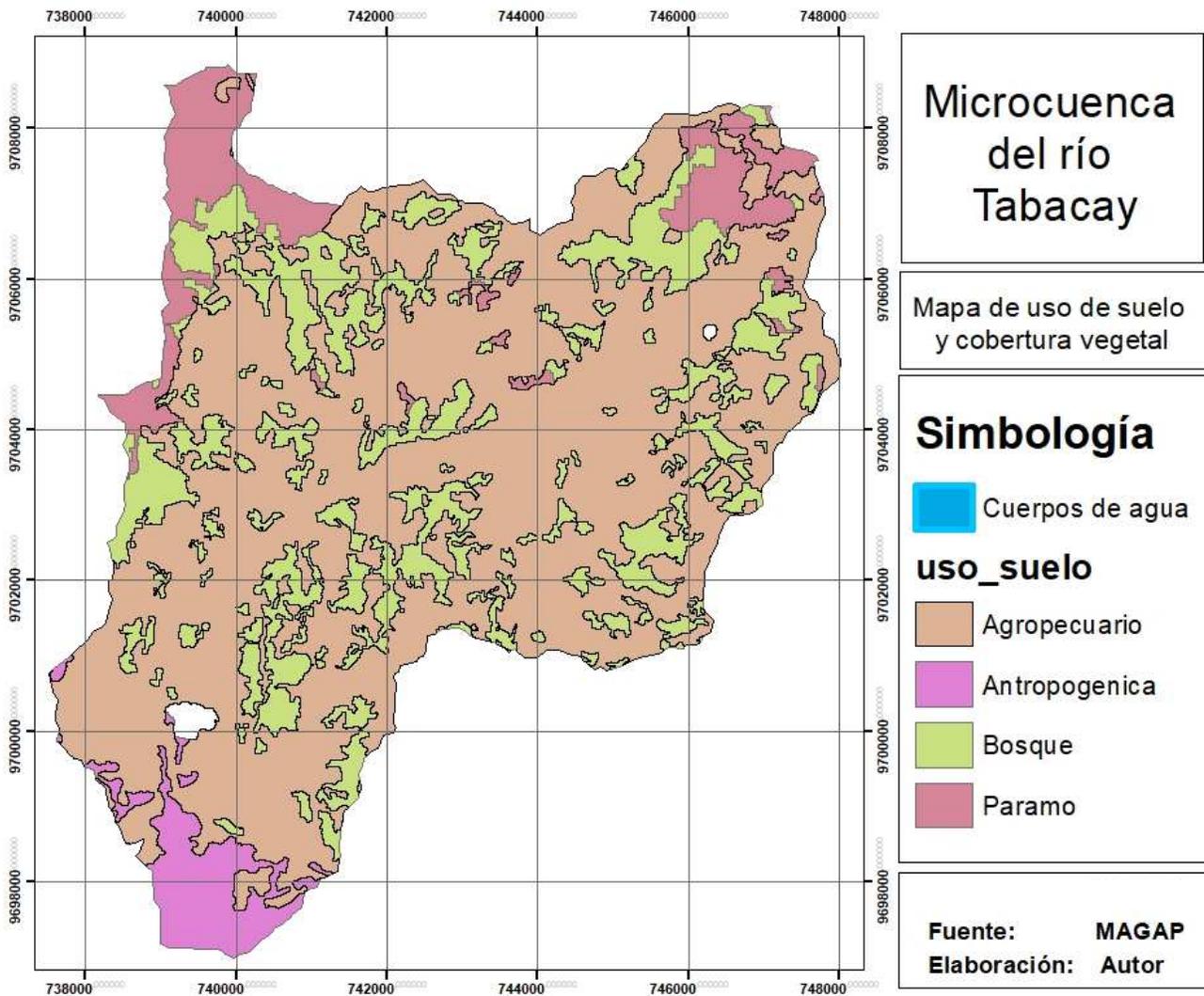


Figura 22: Uso de suelo de la microcuenca del río Tabacay

Fuente: SIGTIERRAS

Elaboración: Propia

El programa EvalHid simula superficies totales, en el caso de la microcuenca del río Tabacay tenemos distintos usos de suelo y tipos de litología, considerando como punto de desagüe al punto de la confluencia del río Tabacay en su desembocadura, se asignó para cada valor de coeficiente de infiltración (I_{max}) y de capacidad de retención de agua (H_{max}) un porcentaje de superficie de control, tabla 25.

Tabla 25: Superficie de control de los parámetros de I_{max} y H_{max}

I_{max}	Uso suelo	H_{max}	Área (Km ²)	Área (%)
25	Bosque	400	14,81109	21,8710721
	Agropecuario	300	39,547094	58,3979533
	Paramo	500	5,361605	7,91731394
150	Antropogénica	100	0,345516	0,51021264
	Bosque	400	0,034548	0,05101595
	Agropecuario	300	1,730853	2,55589634
	Paramo	500	0,00004	5,91E-05
300	Antropogénica	100	0,121983	0,18012847
	Bosque	400	0,007682	0,01134377
	Agropecuario	300	0,636476	0,93986415
450	Antropogénica	100	2,193899	3,23966184
	Bosque	400	0,046474	0,0686267
	Agropecuario	300	2,88274	4,25685174
			67.72	100

Elaboración: Propia

La simulación de variables es mensual y es calculada desde el año 2013 hasta el año 2016, periodo del cual se tiene los datos meteorológicos más fiables. Los resultados de la modelación de la microcuenca son datos de infiltración calculados con base en los coeficientes y la aportación final en el punto de desagüe.

La infiltración de la microcuenca del río Tabacay tiene un promedio de 0,34124143783 mm/mes, podemos decir que se considera a la infiltración despreciable por los valores mínimos calculados; la tabla 26 representa la infiltración total mensual en la microcuenca, se consideró el porcentaje de área que ocupa cada coeficiente de infiltración. El anexo 5 describe a la infiltración según el porcentaje de área de la microcuenca, cada coeficiente de infiltración y el uso de suelo.

Tabla 26: Infiltración de la microcuenca del río Tabacay en mm.

	2013	2014	2015	2016
Enero	0,0199012	0,4502432	0,8732716	0,0000000
Febrero	0,0204001	0,2451827	0,0514148	0,0101218
Marzo	0,0342136	0,7483988	0,0036262	0,0147521
Abril	0,1802690	0,9014043	0,5046901	0,0000000
Mayo	0,0240410	1,1654255	0,0973925	0,0014953
Junio	1,0590759	0,9338896	0,8836901	0,0000000
Julio	1,1384783	0,9930076	1,3148792	0,0000000
Agosto	0,3351704	0,4279052	0,3978609	0,0000000
Septiembre	0,2072907	0,1067263	0,0214384	0,0070124
Octubre	0,8821567	1,1117607	1,0478671	0,0012835
Noviembre	0,1169660	0,0013210	0,0002035	0,0012101
Diciembre	0,0020877	0,0393124	0,0027514	0,0000000

Elaboración: Propia

Tabla 27: Infiltración según el uso de suelo

Imax	Uso de suelo	Hmax	Infiltración (mm)
25	Bosque	400	0,731330205
	Agropecuario	300	2,470632952
	Paramo	500	0,183874772
150	Antropogénica	100	0,056871413
	Bosque	400	0,002595092
	Agropecuario	300	0,173171605
	Paramo	500	1,98853E-06
300	Antropogénica	100	0,021934743
	Bosque	400	0,000611348
	Agropecuario	300	0,068085127
450	Antropogénica	100	0,407507291
	Bosque	400	0,003774336
	Agropecuario	300	0,315747819

Elaboración: Propia

Como resultado de la simulación se estima que la microcuenca del río Tabacay, considerando el uso de suelo y la vegetación, la litología y las variables meteorológicas, en el periodo 2013-2016, tiene una aportación final promedio de 0,539826243 Hm³/mes, calculado para el punto de desagüe de la confluencia del río Tabacay en su desembocadura. El anexo 6 detalla las aportaciones finales para cada uso de suelo con diferentes coeficientes de infiltración.

Tabla 28: Aportación final de la microcuenca del río Tabacay en Hm³

	2013	2014	2015	2016
Enero	0,490854267	0,430429587	0,878661147	0,288553657
Febrero	0,393748554	0,350372126	0,424487966	0,230323369
Marzo	0,318589479	0,667761645	0,341228037	0,185381584
Abril	0,284865259	0,922057589	0,437147196	0,148420084
Mayo	0,234775087	1,472786289	0,310010549	0,118069202
Junio	0,953391006	1,150428111	0,78417732	0,0939383
Julio	1,248037795	1,291932642	1,755078989	0,074631394
Agosto	0,526641587	0,73976144	0,596081288	0,059299672
Septiembre	0,443825142	0,568001784	0,452203658	0,047830646
Octubre	0,908230632	1,416835911	1,183366289	0,038692486
Noviembre	0,441748856	0,542607458	0,456357303	0,030969246
Diciembre	0,355865975	0,435614062	0,362880155	0,024707828

Elaboración: Propia

El aporte final de la microcuenca del río Tabacay es representado por medida de caudales, para determinar el caudal en Hm³ se multiplica la aportación de escorrentía por la superficie de la microcuenca y por el coeficiente de corrección 0,001 correspondiente al modelo Témez para superficies en Km².

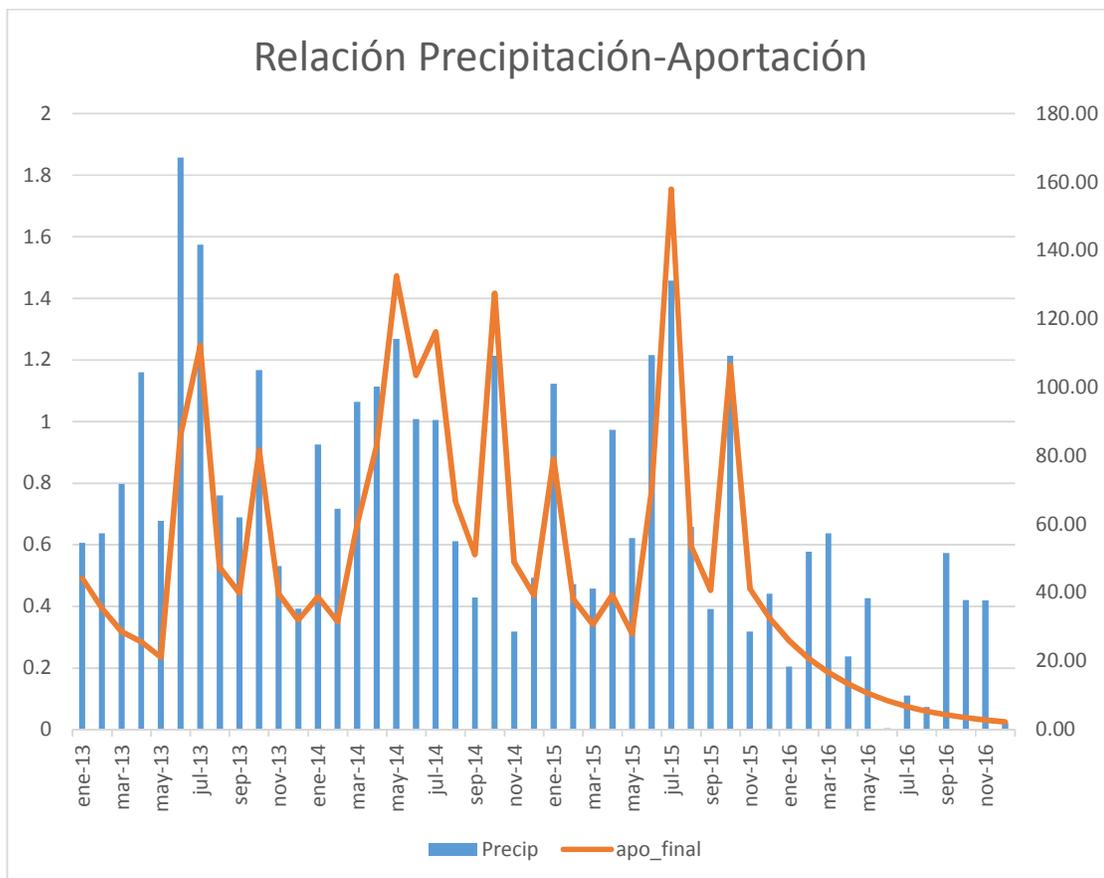


Figura 23: Dinámica de la microcuenca del río Tabacay relación precipitación-aportación, periodo 2013-2016.

Elaboración: Propia

El modelo simula la escala temporal y depende de las variables y los coeficientes del entorno, se pudo observar que a medida que los resultados se acercan al periodo final de simulación los resultados de infiltración y aportación final decrecen, es decir, el modelo se limita a los datos de precipitación, temperatura y evapotranspiración de la estación meteorológica Nudpud, considerados como parámetros que reflejan la dinámica total de la microcuenca del río Tabacay. La precipitación de la estación Nudpud es variable para el año 2016, presenta valores bajos a comparación con años anteriores, generando una simulación tendiente a decrecer; como se observa en la tabla 28 y en la figura 23, la precipitación en el mes de junio del 2016 es de 0,40 mm, el registro más bajo del año y del periodo 2013-2016.

Tabla 29: Precipitación mensual (mm) de la estación meteorológica de Nudpud

	2013	2014	2015	2016
Enero	54,60	83,40	101,14	18,40
Febrero	57,41	64,60	42,48	52,00
Marzo	71,86	95,80	41,20	57,40
Abril	104,44	100,20	87,60	21,40
Mayo	61,00	114,20	56,00	38,40
Junio	167,20	90,80	109,40	0,40
Julio	141,80	90,40	131,20	9,92
Agosto	68,40	55,00	59,20	6,60
Septiembre	62,00	38,60	35,20	51,60
Octubre	105,00	109,20	109,20	37,80
Noviembre	47,80	28,60	28,60	37,69
Diciembre	35,40	44,37	39,65	1,94

Elaboración: Propia

El resultado de la simulación, la aportación final en caudal, fue comparada con los datos de caudal registrados por EMAPAL. El error obtenido en el análisis de datos tanto de variables observadas (medición de campo, información abastecida por EMAPAL) frente a las simuladas se estimó a partir del error medio cuadrado (EMC), que determina el grado de error entre dos series diferentes. El error obtenido es de 19,92%, considerado como bueno tras las limitaciones para el desarrollo de la simulación. El error medido dentro del modelo en su mayoría es en el año 2016, las variables observadas presentan precipitaciones bajas con caudales altos, mientras que el modelo tiende a decrecer a medida que las precipitaciones bajan, tendiendo los caudales a 0.

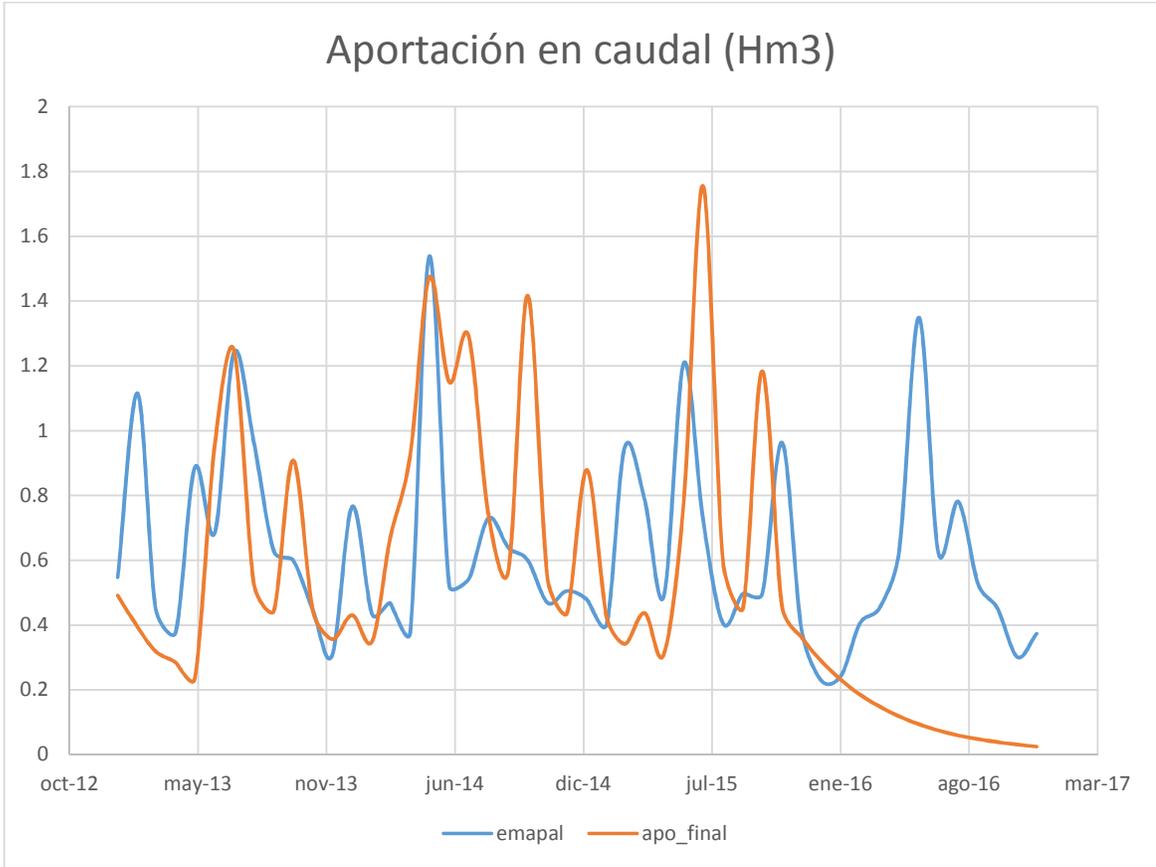


Figura 24: Datos simulados como aportación final y datos de caudal abastecidos por EMAPAL en el periodo 2013-2016 (Hm3)
Elaboración: Propia

10. CONCLUSIONES

El estudio se realizó en la microcuenca del río Tabacay; el programa utilizado para la simulación de datos fue EvalHid, el mismo modela variables físicas y permite la selección de distintos métodos para el cálculo de variables; el funcionamiento del programa es sencillo, ya que estima los resultados a partir de la superficie y un punto de drenaje común.

El módulo de Témez seleccionado para el desarrollo del modelo fue el más apropiado, el uso de pocas variables y datos permitió analizar de mejor manera la dinámica de la microcuenca y obtener un porcentaje de error medio-bajo al momento de comparar datos simulados frente a datos observados.

El programa EvalHid modela superficies totales por lo que fue necesario determinar los diferentes usos de suelo y la litología de la zona, estos parámetros tuvieron que ser modificados, en la microcuenca se determinó nueve usos de suelo y ocho tipos de roca, mismos que fueron simplificados a cuatro, asumiendo que es una de las razones por lo que el error calculado es de 19,92%, se concluye que el porcentaje de error para los datos simulados es bajo.

En los parámetros del modelo simulado, la capacidad de humedad máxima regula el volumen de caudal, mientras mayor es el valor del coeficiente el caudal tiende a decrecer, mientras que si el valor es bajo el caudal aumenta; el coeficiente de infiltración máxima estabiliza el caudal; los valores altos mantienen al caudal en un rango casi constante, al contrario de los valores bajos que presentan picos entre valores altos y bajos, es decir, cantidades inestables.

En la microcuenca del río Tabacay la incapacidad de disponer información fue un factor limitante para el desarrollo del modelo, los datos meteorológicos disponibles son solo de una estación meteorológica que está ubicada en la parte alta, "Nudpud", estos datos no representan la realidad de la dinámica de la microcuenca del río Tabacay, pero al momento de interactuar, los datos meteorológicos con los coeficientes de uso de suelo y litología, se pueden considerar a la aportación final como resultados con mínimo porcentaje de error.

Los datos meteorológicos abastecidos por EMAPAL presentan inconsistencias; en el análisis de datos, considerando la precipitación y la temperatura, se observaron valores bajos a comparación con años anteriores y presentaban vacíos, por lo que fue necesario una metodología de llenado de datos, esto influyó directamente en los resultados de aportación de caudales, al presentar valores bajos de precipitación el caudal final simulado también será bajo o tiende a decrecer. El año 2016 presenta más inconsistencias que cualquier otro año representando una limitación para la simulación del modelo

Los datos de caudales proporcionados por EMAPAL, considerados para calibrar el modelo o como datos de referencia de la simulación, tienen incongruencias, el método utilizado para la medición de caudales es el flotador, mide secciones del río y la velocidad del agua en un punto específico para determinar el caudal con un pequeño rango de exactitud, la estación de control para la medición de caudales en la microcuenca es en un punto antes de la captación de agua de cada quebrada, por ende, los resultados no representa la dinámica hidrológica de la microcuenca del río Tabacay, considerando también que en épocas de lluvia cuando los caudales son altos, los valores no son medidos ni registrados.

Los registros históricos de precipitación son incongruentes frente a los valores de caudales observados o registrados en campo, se observó que, según los registros históricos en épocas de baja precipitación o sequía los valores de caudales son altos, que según el modelo es incoherente puesto que, en la microcuenca, mientras más precipitación exista los valores de caudales también serán altos. En términos de confiabilidad, en el año 2016, los datos ingresados son inexactos generando una aportación de caudal irreales que al momento de comparar el modelo con la realidad observada de la microcuenca no es semejante.

Los valores de infiltración calculados para la microcuenca son mínimos, es decir, se concluye que pueden ser considerados como despreciables, al ser la litología poco permeable se estima que el promedio calculado de infiltración es 0,341241438 mm/mes.

El modelo final obtenido es un acercamiento a la dinámica de los recursos hídricos, considerando que no representan la realidad de la microcuenca del río Tabacay, el valor de aportación mensual promedio simulada es de 0,539826243 Hm³, y el promedio de caudal mensual observado de 0,624699078 Hm³. Se concluyó que el uso de suelo y la litología tienen relación directa y juegan un papel crucial en la cantidad del recurso hídrico y su estado final, es decir el comportamiento cambia drásticamente a partir de la precipitación hasta la desembocadura. El modelo de Témez logró representar la respuesta final hidrológica de la microcuenca con resultados racionales frente a la posible realidad de la microcuenca reflejada en los datos iniciales abastecidos por entidades gubernamentales.

A pesar de la falta de datos meteorológicos y al no existir estudios técnicos ni estudios hidrológicos que corroboren lo que ha estado sucediendo en la microcuenca con anterioridad se concluyó que los datos producto final de este estudio pueden ser considerados como confiables por reflejar en el cálculo de variables de la simulación la dinámica entre suelo, agua y factores antropogénicos que alteran los recursos hídricos en la microcuenca.

11. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de programas enfocados en los recursos hídricos en la actualidad es necesario y útil, pues, ayuda a una óptima gestión de los recursos hídricos y permite analizar de mejor manera los puntos vulnerables.

Se recomienda utilizar modelos hidrológicos como representaciones de la realidad de una microcuenca, ya que es posible incluir variables no solo hidrológicas sino físicas (litología, edafología, etc.) que admiten una mejor distribución espacial del modelo y permiten comprender de mejor manera la complejidad y las limitaciones de distintas metodologías por más sencilla que esta fuera

En un estudio futuro de caudales en la microcuenca del río Tabacay se debe considerar la totalidad de los usos de suelo y también considerar datos de precipitación de más puntos de control en la microcuenca y en sus alrededores, se asume que de esta manera el error promedio encontrado en los resultados será mínimo, es decir, aumentaría la confiabilidad del modelo.

En términos de monitoreo, se recomienda que en microcuencas montaña por lo menos exista tres puntos de monitoreo meteorológico y que los controles se realicen de forma constante. Es necesario que se realicen controles de precipitaciones, temperaturas, velocidad y dirección del viento y de densidad de la neblina.

La instrumentación de las estaciones debe incluir criterios como el tipo de cobertura vegetal y topografía (forma de la cuenca, etc.). Se recomienda considerar que los datos meteorológicos observados deben tener más del 85% de confiabilidad. El nivel de precisión de un modelo se basa en el registro de datos históricos y el periodo de simulación.

Se recomienda que las mediciones de precipitación, se realicen sobre los diferentes tipos de coberturas vegetales, con el fin de calibrar por cobertura vegetal ya que la humedad del suelo es diferente en cada uso de suelo y las pérdidas de agua son significativas. Es importante que la medición de la precipitación y de los caudales sea constante y diaria, dentro de un modelo aumenta el grado de precisión y permite calibrar de mejor manera los posibles errores.

Dado la pequeña superficie de las microcuencas se recomienda realizar mediciones más detalladas de los parámetros de uso de suelo, cobertura vegetal y litología, algunos autores recomiendan trabajar los datos en los Sistemas de Información Geográfica, con escalas 1:10.000 o 1:5.000, que permiten identificar la variabilidad espacial de dichos parámetros.

Bibliografía

- Abramson, L. (1996). *Engineering geology Principles. Slope stability and stabilization methods*. Wileyinterscience.
- Aspden, J. A., & Litherland, M. (n.d.). Geología e Historia Colisional Mesozoica de la Cordillera Real, Ecuador. *Boletín Geológico Ecuatoriano, Vol 4(Nº 1)*, pp. 33-53.
- Attewell, P., & Farmer, I. (1976). *Principles of engineering geology*. New York: John Wiley & Sons.
- azarbe Ingeniería. (2008). *Tratamiento y Gestión de Series Temporales Hidrológicas*. Manual de Usuario, Excma. Diputación Provincial de Alicante, Alicante.
- Bates, R., & Jackson, J. (1980). *Glossary of Geology*. American Geological Institute.
- Bristow, C. R. (1973). *Guide to the geology of the Cuenca Basin*. Ecuadorian geol. and geophys. Soc.
- Butler, S. (1957). *Engineering Hydrology*. United States: Prentice Hall Inc.
- Campos, A. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico* (Universidad Autónoma de San Luis de Potosí ed.). San Luis de Potosí, México: Editorial Universitaria Potosina.
- Eastman, J. R. (2012, Junio). *IDRISI Selva. Guía para SIG y procesamiento de imágenes*. (A. Ravelo, Ed.) Retrieved from www.clarklabs.org
- EMAPAL. (2005). *Plande Manejo de la microcuenca del río Tabacay*. Azogues.
- esri. (2009, Julio). *esri*. Retrieved from <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Estrela, T., Cabezas, F., & Estrada, F. (1999, Junio). La evaluación de los Recursos Hídricos en el "Libro Blanco del agua" en España. *Ingeniería del Agua, 6(2)*, 125-138. Retrieved from <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2781/2760>
- FAO, O. d. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. (Cuarta edición ed.). (R. V. Rojas, Trans.) Roma, Italia. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Fuentes Junco, J. d. (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro*. Instituto Nacional de Ecología , Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas . Retrieved from http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf
- Gómez, Á. J. (2016). *Herramientas de Modelación y Monitoreo para la Hidrología de Alta Montaña Colombiana - Cuenca de la Quebrada Calostros – PNN Chingaza*. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá D.C., Colombia: Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos - GIREH. Retrieved from http://www.bdigital.unal.edu.co/53581/1/Tesis_TETIS_Alvaro_Gomez.pdf
- Gonzaga, L. G. (2002). *Memorias: Hlidrología Forestal. Influencia de los bosques*. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ciencias Forestales, Medellín.

- González de Matauco., A. I. (2004, Julio). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A.G.E.*(38), 311-329.
- Hernando, L., Ruiz, A., & Solís, K. (2012). Disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Segundo. Región central de Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central.*(48), pp. 117–132. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/4517/451744685006.pdf>
- Holdridge, L. (2000). *Ecología basada en zonas de vida*. (IICA ed.). (H. Jiménez Saa, Trans.) San José, Costa Rica: Instituto Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Homeier, J., Werner, F. A., Gradstein, S. R., Breckle, S., & Richter, M. (2008). Potential vegetation and floristic composition of Andean forests in South Ecuador, with a focus on the RBSF. . *Ecological Studies*.
- Horton, R. E. (1932). Drainage basin characteristics. *13*, 350-361. doi:10.1029/TR013i001p00350
- Ibáñez, S. A., Moreno, H. R., & Gisbert, J. B. (n.d.). *La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE)*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, Producción Vegetal. Valencia: Universidad Politécnica de València.
- INEC. (2010). Base de Datos. Censo de Población y Vivienda. Ecuador. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Kumar, C. P. (1997, Junio). Estimation of natural ground water recharge. *The Indian Society for Hydraulics Journal of Hydraulic Engineering*, 3(1), 61-74. doi:10.1080/09715010.1997.10514603
- Luna, E., & Lavado, W. (2015, Noviembre). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 28(3), 42 - 52.
- MAE, M. d. (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Proyecto Mapa de Vegetación del Ecuador, MAE, Subsecretaría de Patrimonio Natural, Dirección Nacional Forestal, Quito.
- MAGAP, M. d. (n.d.). *MAGAP*. Retrieved 05 2017, from www.agricultura.gob.ec/
- Maxim, B. (2015). *Balances hídricos en bosques de encinar mediterráneo: Modelización con STELLA de la respuesta a factores climáticos*. Universitat d' Alacant, Facultad de Ciencias.
- MIDUVI, S. (2011). *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Quito. Retrieved from http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_rural_para_estudios_y_disenos.pdf
- Molina, W. F. (2017, Junio). *Comportamento Mecânico do Solo em Operações Agrícolas*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". doi:10.11606/9788592238407
- Montserrat, J. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, XIX, 41-68.

- MOPT. (2008). *Manual de plantaciones en el entorno de la carretera*. España: Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones.
- Municipio de Azogues. (n.d.). Información digital. Azogues, Cañar.
- Murillo, J. M. (2004). *Recarga de acuíferos. Evaluación y análisis de condicionantes técnicos y económicos. Acuífero aluvial del bajo Guadalquivir*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Geológica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid., Madrid.
- Núñez S., J. (2001). *Manejo y conservación de suelos* (Primera Edición ed.). San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Núñez, J. (1981). *Fundamentos de Edafología* (1 ed.). San José, Costa Rica: Editorial Universitaria Estatal a Distancia.
- Ochoa Rubio, T. (2011). *Hidráulica de ríos y procesos morfológicos*. (ECO Ediciones ed.). (A. A. Quintero, Ed.) Bogotá, Colombia: Editorial Kimpres Ltda. Retrieved 2017
- Olmos, P. (2012). *Modelización Distribuida del Impacto del Cambio Climático en componentes del Ciclo Hidrológico a escala mensual*. Trabajo de fin de Máster en Técnicas Avanzadas de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (TAIDA), Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.
- ONU. (1972). *Manual de instrucciones, estudios hidrológicos*. San José, Costa Rica.
- Orozco, M., Poch, R., Batalla, R., & Balasch, J. (2006, Marzo). Hydrochemical budget of a Mediterranean mountain basin in relation to land use. *Z. Geomorph. N. E.*, 50(1), 77-94. doi:10.1127/zfg/50/2006/77
- Paredes, J., Solera, A., Andreu, J., & Lerma, N. (2014). *Herramienta EvalHid para la evaluación de recursos hídricos*. Manual Técnico, Universidad Politécnica de Valencia, Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos.
- Pulido Bosch, A. (2014). *Nociones de Hidrogeología para ambientólogos*. Almería: Universidad de Almería. Retrieved 2017, from www.ual.es/editorial
- Rientjes, T. H., & Boekelman, R. H. (2001). *Hydrological models*.
- Rosas, V., & Arribillaga, D. (2013). *Potencial Productivo en Base a la Profundidad de los Suelos del Valle de Chile Chico*. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Coyhaique.
- Schosinsky, G., & Losilla, M. (1999, 8 13). Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. *Revista Geológica de América Central*, 43-55. Retrieved from <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/viewFile/8579/8102>
- Schumm, S. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*(67), 597-646.
- Scofield, R., & Kuligowski, R. (2003). Status and outlook of operational satellite precipitation. *Weather Forecast.*(18), pp 1037–1051.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (n.d.). *Mapas Geológicos*. Ecuador. Retrieved from <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/>

- SENAGUA. (n.d.). *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. (M. Muñoz, Ed.) Ecuador. Retrieved from http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_rural_para_estudios_y_disenos.pdf
- Sierra, M. (1999). *Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental*. Proyecto Inefan/Gef-Birf y Ecociencia.
- Sigal, J. (1998). *Estratigrafía micropaleontología del Ecuador, datos anteriores y nuevos*. Quito, Ecuador: Instituto Francés Petróleos & Servicios Nacionales Geología y Minería.
- SIGTIERRAS. (n.d.). *Ministerio de agricultura y ganadería*. Retrieved from <http://www.sigtierras.gob.ec/>
- Témez, J. R. (1977). *Modelo matemático de transformación "precipitación -escorrentía"*. Asociación de Investigación Industrial Eléctrica (ASINEL), Madrid.
- Thorntwait, C. W. (1948, Jan). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Stor*, 38(1), 55-94. doi:10.2307/210739
- UMACPA, U. p. (1995). *Información Socio-Económica de la Cuenca Media del río Paute*. Cuenca.
- Universidad Católica de Chile. (2009). *Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP*. Guía Metodológica, Stockholm Environment Institute, Boston. Retrieved from http://www.weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf
- USDA, U. D. (n.d.). *USDA*. (O. w. government, Producer) Retrieved from <https://www.usda.gov/>
- Varnes, D. (1978). *Slope movements types and processes*. Washigton D.C.: Springer-Verlag.
- Verdezoto, P. (2006). *Levantamiento Geológico del sector comprendido entre las latitudes 2°37'S y 2°50'S, provincias de Cañar y Azuay, con especial enfoque sobre las secuencias Miocénicas*. Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Ingeniería, Quito.
- Verdezoto, P. A. (2006). *Levantamiento Geológico del sector comprendido entre las latitudes 2°37'S y 2°50`S, Provincias de Cañar y Azuay, con especial enfoque sobre las secuencias Miocénicas*. Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Ingeniería, Quito.

Anexos

Anexo 1: Datos de precipitación mensual por estaciones corregidos

Tabla 30: Datos de precipitación mensual (mm) corregidos por el programa TRASERO.

FECHA	Surampalti	San Cristóbal	Queseras	Nudpud	Llaucay	Guapán	Condoryacu
Ene-13	54,60	50,29	54,60	54,60	54,60	30,73	50,29
Feb-13	125,80	138,90	138,90	57,41	57,41	130,81	83,57
Mar-13	91,30	84,70	108,30	71,86	71,86	65,28	97,79
Abr-13	104,44	25,91	104,44	104,44	104,44	17,53	25,91
May-13	144,00	117,30	155,90	61,00	61,00	116,33	129,29
Jun-13	137,40	75,00	137,40	167,20	167,20	82,80	121,92
Jul-13	111,20	71,50	164,30	141,80	141,80	66,80	133,86
Ago-13	62,08	45,08	106,58	68,40	68,40	33,27	53,59
Sep-13	34,10	31,90	80,90	62,00	62,00	21,08	41,15
Oct-13	79,60	119,40	93,80	105,00	105,00	123,70	119,89
Nov-13	47,80	73,15	47,80	47,80	47,80	78,99	73,15
Dic-13	62,60	94,30	54,90	35,40	35,40	86,11	55,37
Ene-14	115,77	68,82	76,67	83,40	79,50	78,74	83,82
Feb-14	58,60	38,90	43,20	64,60	23,88	56,90	56,90
Mar-14	253,20	166,60	117,97	95,80	123,95	109,47	109,47
Abr-14	95,80	67,60	130,00	100,20	98,81	93,98	93,98
May-14	204,06	101,46	112,06	114,20	131,57	133,35	133,35
Jun-14	62,40	65,10	154,40	90,80	55,88	76,45	76,45
Jul-14	71,90	69,00	159,70	90,40	42,42	92,96	92,96
Ago-14	61,99	50,49	115,39	55,00	35,56	53,59	53,59
Sep-14	38,60	31,50	38,60	38,60	39,37	31,50	31,50
Oct-14	144,60	154,50	136,00	109,20	114,30	121,67	121,67
Nov-14	28,60	55,63	28,60	28,60	44,45	55,63	55,63
Dic-14	44,37	84,33	44,37	44,37	44,96	84,33	84,33
Ene-15	97,95	58,35	55,05	101,14	101,14	106,17	106,17
Feb-15	42,48	45,72	42,48	42,48	31,75	45,72	45,72

Mar-15	41,20	143,26	41,20	41,20	131,57	143,26	143,26
Abr-15	87,60	101,60	87,60	87,60	78,23	101,60	101,60
May-15	57,30	55,50	107,70	56,00	66,80	65,28	65,28
Jun-15	60,50	107,80	157,50	109,40	115,06	157,99	157,99
Jul-15	118,70	59,10	196,90	131,20	116,58	127,76	127,76
Ago-15	59,20	66,55	59,20	59,20	52,32	66,55	66,55
Sep-15	35,30	27,40	88,30	35,20	49,53	52,58	52,58
Oct-15	119,80	75,30	126,30	109,20	78,99	65,79	65,79
Nov-15	84,40	59,00	51,70	28,60	67,56	52,32	52,32
Dic-15	52,50	65,10	87,40	39,65	9,65	39,12	39,12
Ene-16	18,40	83,57	18,40	18,40	12,70	12,60	83,57
Feb-16	59,90	53,20	102,40	52,00	44,70	24,80	97,79
Mar-16	186,90	168,70	152,40	57,40	42,67	93,40	25,91
Abr-16	208,50	151,80	244,70	21,40	167,64	135,20	129,29
May-16	107,83	76,93	130,13	38,40	78,74	50,40	121,92
Jun-16	110,80	99,30	210,60	0,40	147,07	93,20	66,29
Jul-16	42,70	36,70	93,80	9,92	62,23	19,20	143,76
Ago-16	6,60	43,69	6,60	6,60	33,78	15,83	43,69
Sep-16	51,60	87,38	51,60	51,60	71,88	21,84	87,38
Oct-16	37,80	31,24	37,80	37,80	34,54	123,70	31,24
Nov-16	37,69	48,51	37,69	37,69	33,53	78,99	48,51
Dic-16	1,94	60,45	1,94	1,94	1,94	85,60	60,45

Fuente: SENAGUA, EMAPAL

Elaboración: Propia

Anexo 2: Temperatura de estación meteorológica de Nudpud

Tabla 31: Temperatura mínima, media y máxima de la microcuenca del río Tabacay. Estacion meteorológica de Nudpud

FECHA	Temperatura Mínima °C	Temperatura Media °C	Temperatura Máxima °C
Ene-13	4,84	10,02	16,49
Feb-13	5,39	9,82	17,27
Mar-13	4,74	10,49	16,24
Abr-13	4,35	10,18	16,01
May-13	4,80	9,69	15,80
Jun-13	3,50	8,89	15,70
Jul-13	2,00	7,70	13,20
Ago-13	2,00	8,14	16,30
Sep-13	1,80	8,34	15,40
Oct-13	3,50	9,44	16,80
Nov-13	3,30	9,66	18,30
Dic-13	3,50	9,94	17,40
Ene-14	4,30	9,93	17,70
Feb-14	3,20	10,24	17,70
Mar-14	4,70	9,84	17,40
Abr-14	3,60	9,54	16,20
May-14	4,90	9,91	16,50
Jun-14	4,70	8,65	14,10
Jul-14	2,80	8,26	14,60
Ago-14	2,30	7,61	13,10
Sep-14	2,10	8,72	16,10
Oct-14	3,90	9,02	17,80
Nov-14	3,00	9,85	17,20
Dic-14	1,70	9,70	17,30
Ene-15	5,60	9,50	18,00
Feb-15	3,80	9,91	19,20
Mar-15	5,20	9,92	16,40
Abr-15	4,60	9,65	15,90

May-15	3,60	9,53	15,20
Jun-15	3,90	8,26	15,30
Jul-15	2,70	8,63	15,10
Ago-15	2,70	8,46	14,20
Sep-15	1,70	8,78	15,20
Oct-15	3,90	9,02	17,80
Nov-15	3,00	9,85	17,20
Dic-15	1,70	9,70	17,30
Ene-16	3,60	10,87	19,40
Feb-16	5,80	10,76	17,60
Mar-16	4,68	6,46	17,20
Abr-16	4,85	11,22	17,60
May-16	4,29	10,29	16,30
Jun-16	3,23	6,41	9,60
Jul-16	5,40	12,24	19,08
Ago-16	4,10	14,53	22,90
Sep-16	3,50	11,16	23,30
Oct-16	0,80	9,90	18,60
Nov-16	0,30	10,12	20,60
Dic-16	2,70	10,02	19,70

Fuente: EMAPAL

Elaboración: Propia

Anexo 3: Mapa de edades geológicas

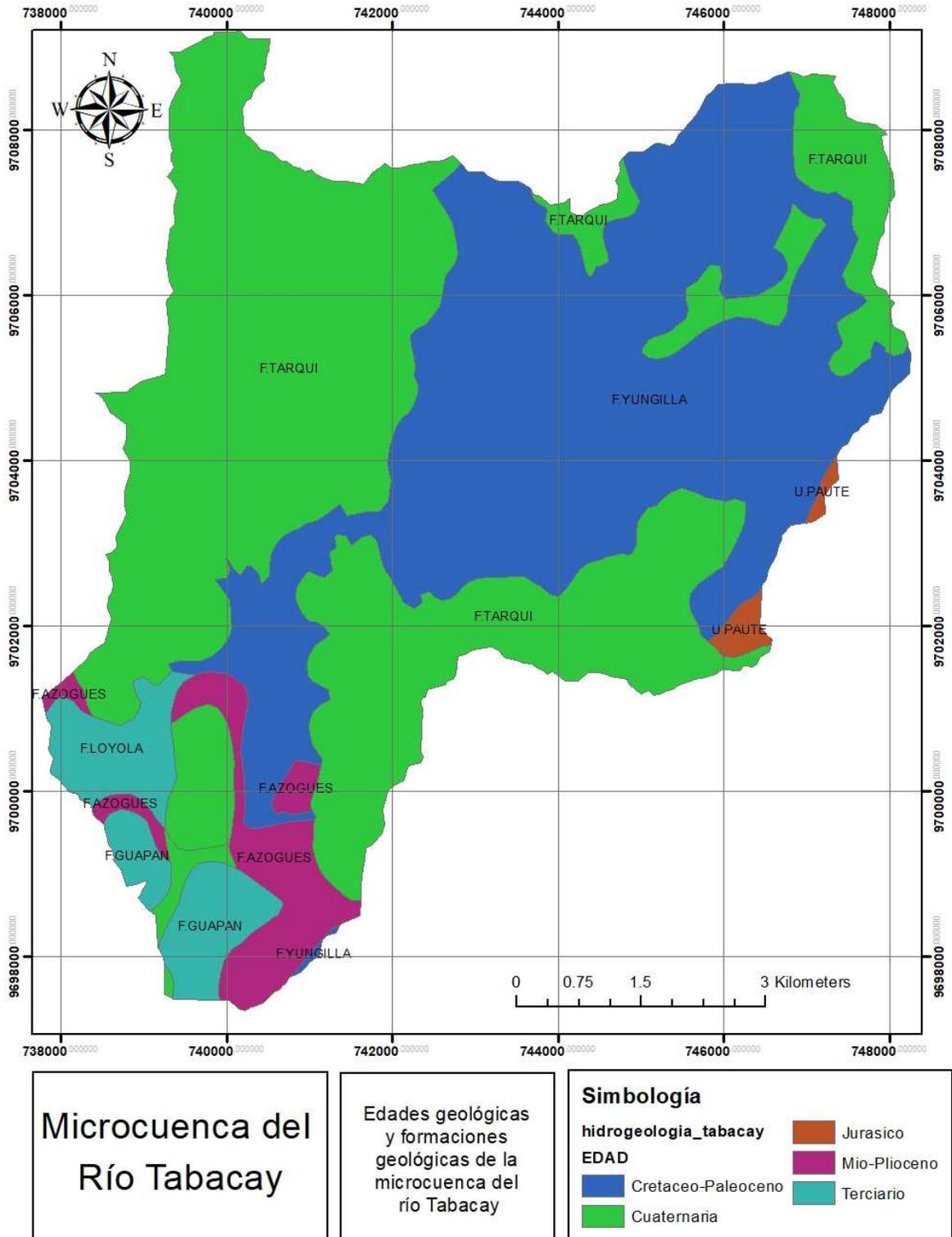


Figura 25: Mapa de edades geológicas de la microcuenca del Río Tabacay
Fuente: SIGTIERRAS
Elaboración: Propia

Anexo 4: Mapa de tipos de suelos. Taxonomía, según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB).

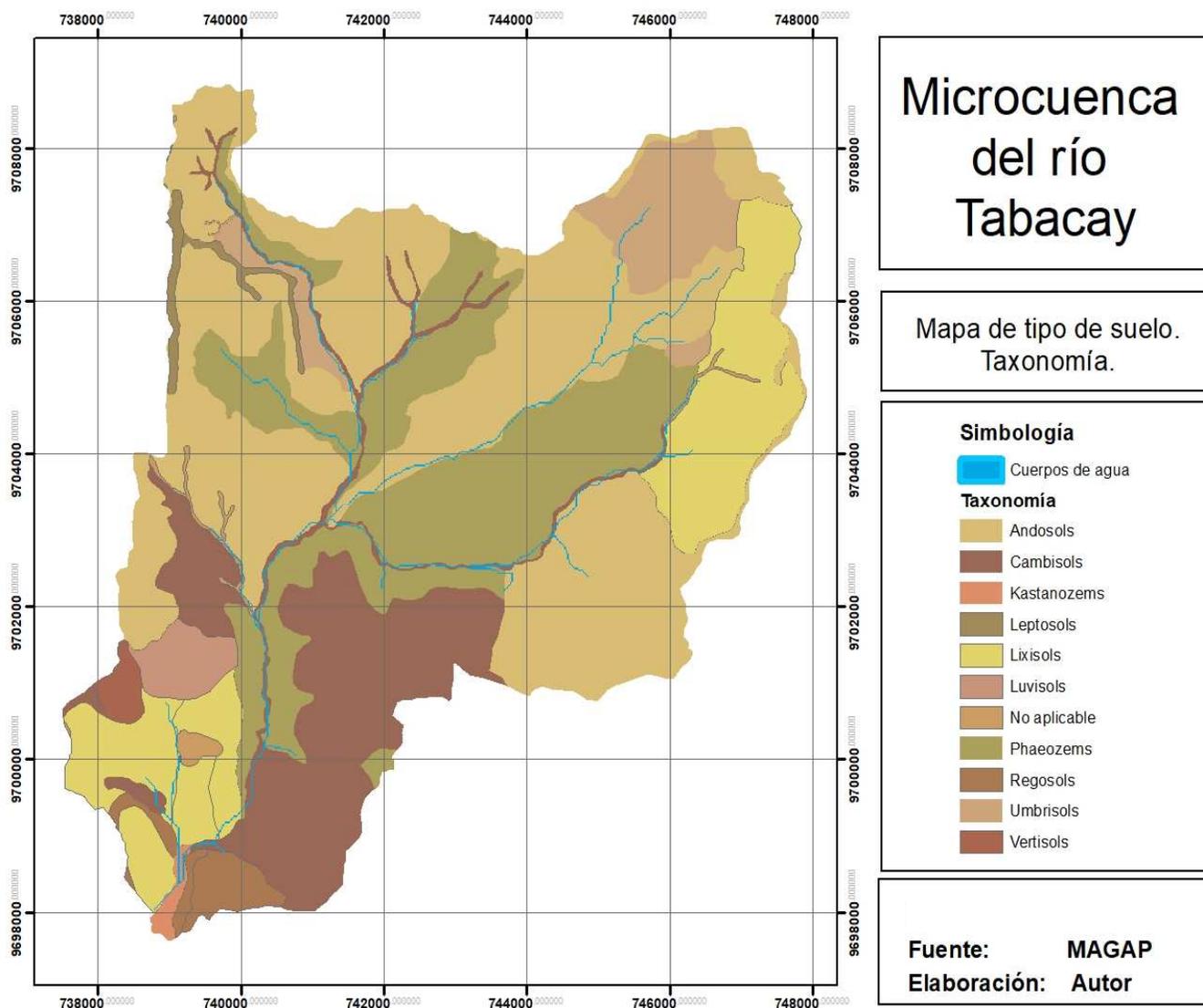


Figura 26: Mapa tipo de suelo.
Fuente: FAO
Elaboración: Propia

Anexo 5: Valores de infiltración, se considerando los diferentes coeficientes de infiltración y usos de suelo.

Tabla 32: Infiltración (mm) del 88,19% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 25.

I max	25			Promedio de infiltración
H max	400	300	500	
	Bosque	Agropecuario	Paramo	
Área %	21,87107	58,39795	7,91731	
<i>Ene-13</i>	0	0	0	0
<i>Feb-13</i>	0	0	0	0
<i>Mar-13</i>	0	0	0	0
<i>Abr-13</i>	0	1,9582686	1,143588783	0,381196261
<i>May-13</i>	0	0	0	0
<i>Jun-13</i>	1,741753808	13,0424547	7,616526605	3,19301032
<i>Jul-13</i>	2,028105106	13,8930679	8,113267304	3,480962556
<i>Ago-13</i>	0,213507637	5,0869689	2,970685723	1,061397786
<i>Sep-13</i>	0,056008644	3,2703809	1,909835511	0,655281385
<i>Oct-13</i>	1,678784804	11,627006	6,789933534	2,888856145
<i>Nov-13</i>	0,018972674	1,9252428	1,124302391	0,381091688
<i>Dic-13</i>	0	0,0007918	0,000462395	0,000154132
<i>Ene-14</i>	0,728424761	6,5835922	3,844683098	1,530098936
<i>Feb-14</i>	0,285253195	3,8109265	2,225503078	0,836918758
<i>Mar-14</i>	1,609757886	9,9836458	5,830244812	2,556005902
<i>Abr-14</i>	2,062941678	11,5083417	6,720636012	3,065197278
<i>May-14</i>	2,756295759	13,9399278	8,140632527	3,881195703
<i>Jun-14</i>	2,265834912	11,6510568	6,803978709	3,214874588
<i>Jul-14</i>	2,451258911	12,1640441	7,103552793	3,415539903
<i>Ago-14</i>	1,06047971	5,7989327	3,38645801	1,552411679
<i>Sep-14</i>	0,236297097	1,5803858	0,922912961	0,391708243
<i>Oct-14</i>	2,784131488	13,2070552	7,712649928	3,79811261
<i>Nov-14</i>	0	0,0224762	0,013125641	0,004375214
<i>Dic-14</i>	0,079243203	0,5593744	0,326663201	0,13619801

Ene-15	2,21934318	10,5462712	6,15880653	3,028999565
Feb-15	0,114481174	0,6945214	0,405586283	0,177471313
Mar-15	0,000257619	0,0191047	0,011156754	0,003804791
Abr-15	1,282126907	6,1864384	3,612753408	1,760789881
May-15	0,225401607	1,206077	0,704324283	0,325037089
Jun-15	2,237223153	10,4657932	6,111809025	3,033193769
Jul-15	3,196474181	14,7539452	8,616002028	4,31133475
Ago-15	1,051652786	4,9873705	2,912522295	1,433482048
Sep-15	0,047748028	0,2646036	0,154523087	0,070048548
Oct-15	2,670029077	12,3151052	7,191769384	3,600142529
Nov-15	0	0	0	0
Dic-15	0,00119252	0,0113299	0,00661643	0,002602983
Ene-16	0	0	0	0
Feb-16	0	0	0	0
Mar-16	0,000868325	0,0083379	0,004869163	0,001912496
Abr-16	0	0	0	0
May-16	0	0	0	0
Jun-16	0	0	0	0
Jul-16	0	0	0	0
Ago-16	0	0	0	0
Sep-16	0	0	0	0
Oct-16	0	0	0	0
Nov-16	0	0	0	0
Dic-16	0	0	0	0

Elaboración: Propia

Tabla 33: Infiltración (mm) del 3,12% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 150.

I max	150				Promedio de infiltración
H max	100	400	300	500	
	Antropogénica	Bosque	Agropecuario	Paramo	
Área %	0,51021	0,05102	2,55590	5,9067E-05	
Ene-13	0,032761534	0	0	0	0,008190384
Feb-13	0,033562113	0	0	0	0,008390528
Mar-13	0,055337702	0	0	0	0,013834425
Abr-13	0,1221004	0	0,053546603	0	0,043911751
May-13	0,039374115	0	0	0	0,009843529
Jun-13	0,238969003	0,005531029	0,58974035	1,81565E-06	0,208560549
Jul-13	0,231311569	0,006847172	0,661378114	2,57652E-06	0,224884858
Ago-13	0,083709024	0,000514774	0,156565839	0	0,060197409
Sep-13	0,054889309	0,000131769	0,09381452	0	0,0372089
Oct-13	0,142312977	0,005262314	0,485235374	1,61018E-06	0,158203069
Nov-13	0,027555844	4,43836E-05	0,052581625	0	0,020045463
Dic-13	0,003446602	0	2,02376E-05	0	0,00086671
Ene-14	0,072149718	0,001911295	0,215579341	1,29173E-07	0,072410121
Feb-14	0,041762156	0,000695617	0,111577064	0	0,038508709
Mar-14	0,100213048	0,0049756	0,382444727	1,88175E-06	0,121908814
Abr-14	0,115273042	0,007018722	0,477201039	3,71893E-06	0,14987413
May-14	0,148502221	0,011086525	0,665545145	8,1244E-06	0,206285504
Jun-14	0,108474181	0,008073152	0,486876433	5,65751E-06	0,150857356
Jul-14	0,112843553	0,009127839	0,522933043	7,28229E-06	0,161227929
Ago-14	0,041358128	0,002950533	0,183729141	1,72132E-06	0,057009881
Sep-14	0,010419791	0,000571773	0,042639239	1,19532E-07	0,01340773
Oct-14	0,124813836	0,011281014	0,603036534	1,07637E-05	0,184785537
Nov-14	0,000299056	0	0,000574898	0	0,000218488
Dic-14	0,007452324	0,000187101	0,014568676	2,00737E-08	0,00555203
Ene-15	0,109639842	0,007822832	0,415681376	7,53798E-06	0,133287897
Feb-15	0,010311967	0,000271778	0,01817194	9,2592E-08	0,007188944

Mar-15	0,004430788	6,00917E-07	0,000488606	0	0,001229999
Abr-15	0,079424567	0,003716983	0,199196099	3,45441E-06	0,070585276
May-15	0,024446385	0,000544471	0,032117276	3,45193E-07	0,014277119
Jun-15	0,124591385	0,007918464	0,410809863	8,18628E-06	0,135831975
Jul-15	0,184640196	0,01453895	0,742019266	1,58524E-05	0,235303566
Ago-15	0,049048791	0,002921286	0,15288918745	2,9225E-06	0,051215547
Sep-15	0,006145162	0,000112192	0,006823175	5,89433E-08	0,003270147
Oct-15	0,125448681	0,010501452	0,533949442	1,1578E-05	0,167477788
Nov-15	0,000343287	0	0	0	8,58217E-05
Dic-15	0,003505588	2,78215E-06	0,00028969	0	0,000949515
Ene-16	0	0	0	0	0
Feb-16	0,016866918	0	0	0	0,004216729
Mar-16	0,023641233	2,02569E-06	0,000213167	0	0,005964106
Abr-16	0	0	0	0	0
May-16	0,002518927	0	0	0	0,000629732
Jun-16	0	0	0	0	0
Jul-16	0	0	0	0	0
Ago-16	0	0	0	0	0
Sep-16	0,011730945	0	0	0	0,002932736
Oct-16	0,002162774	0	0	0	0,000540693
Nov-16	0,00203914	0	0	0	0,000509785
Dic-16	0	0	0	0	0

Elaboración: Propia

Tabla 34: Infiltración (mm) del 1,13% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 300.

I max	300			Promedio de infiltración
H max	100	400	300	
	Antropogénica	Bosque	Agropecuaria	
Área %	0,18013	0,011344	0,93986	
Ene-13	0,011819303	0	0	0,003939768
Feb-13	0,012114601	0	0	0,0040382
Mar-13	0,02026956	0	0	0,00675652
Abr-13	0,046843818	0	0,019828838	0,022224219
May-13	0,014267896	0	0	0,004755965
Jun-13	0,099975591	0,001275978	0,2349307	0,112060756
Jul-13	0,096201695	0,001593825	0,26616243	0,121319317
Ago-13	0,03126286	0,00011485	0,058773081	0,030050264
Sep-13	0,02009921	2,93251E-05	0,034925152	0,018351229
Oct-13	0,055393269	0,001211779	0,190487272	0,082364107
Nov-13	0,009906828	9,87187E-06	0,019469029	0,009795243
Dic-13	0,001219555	0	7,44184E-06	0,000408999
Ene-14	0,026732239	0,000430365	0,081566953	0,036243186
Feb-14	0,015157517	0,000155382	0,041635414	0,018982771
Mar-14	0,037858451	0,001143538	0,148016761	0,062339583
Abr-14	0,044011174	0,001635676	0,187123941	0,077590264
May-14	0,058061183	0,002657688	0,267998787	0,109572553
Jun-14	0,041217381	0,001895089	0,191175176	0,078095882
Jul-14	0,04300977	0,002158368	0,206369268	0,083845802
Ago-14	0,015006803	0,000668969	0,069220213	0,028298662
Sep-14	0,003703878	0,000127615	0,015767146	0,00653288
Oct-14	0,047977252	0,002708022	0,240679532	0,097121602
Nov-14	0,000105601	0	0,00021142	0,000105674
Dic-14	0,002643885	4,16541E-05	0,005367449	0,002684329
Ene-15	0,041694477	0,001833164	0,161617599	0,068381747
Feb-15	0,003665291	6,05393E-05	0,006698131	0,003474654

Mar-15	0,001568813	1,33618E-07	0,000179684	0,000582877
Abr-15	0,029575167	0,000847071	0,075202831	0,035208356
May-15	0,008770777	0,000121499	0,011859967	0,006917414
Jun-15	0,047884167	0,001856796	0,159616325	0,069785763
Jul-15	0,074128556	0,003572186	0,30209236	0,126597701
Ago-15	0,017889745	0,000662209	0,057364828	0,025305594
Sep-15	0,002178269	2,49651E-05	0,002511279	0,001571505
Oct-15	0,048243066	0,002507101	0,21104216	0,087264109
Nov-15	0,000121223	0	0	4,04077E-05
Dic-15	0,001240475	6,18644E-07	0,00010653	0,000449208
Ene-16	0	0	0	0
Feb-16	0,006021146	0	0	0,002007049
Mar-16	0,008477376	4,50438E-07	7,83884E-05	0,002852072
Abr-16	0	0	0	0
May-16	0,000890763	0	0	0,000296921
Jun-16	0	0	0	0
Jul-16	0	0	0	0
Ago-16	0	0	0	0
Sep-16	0,004173548	0	0	0,001391183
Oct-16	0,000764639	0	0	0,00025488
Nov-16	0,000720871	0	0	0,00024029
Dic-16	0	0	0	0

Elaboración: Propia

Tabla 35: Infiltración (mm) del 7,57% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 450.

I max	450			Promedio de infiltración
H max	100	400	300	
	Antropogénica	Bosque	Agropecuaria	
Área %	3.23966	0.06863	4.25685	
Ene-13	0,214134721	0	0	0,07137824
Feb-13	0,219525023	0	0	0,073175008
Mar-13	0,369169597	0	0	0,123056532
Abr-13	0,867568054	0	0,090020197	0,319196084
May-13	0,258890692	0	0	0,086296897
Jun-13	1,916264167	0,007817012	1,094449693	1,006176958
Jul-13	1,839365422	0,009795117	1,244672931	1,031277823
Ago-13	0,573327657	0,000695594	0,268058752	0,280694001
Sep-13	0,366028068	0,00017746	0,158839532	0,17501502
Oct-13	1,031509344	0,00741899	0,882635298	0,64052121
Nov-13	0,179272662	5,97279E-05	0,088382948	0,089238446
Dic-13	0,021950549	0	3,37058E-05	0,007328085
Ene-14	0,488847844	0,002614611	0,373031796	0,28816475
Feb-14	0,27518519	0,00094145	0,189508752	0,155211797
Mar-14	0,697175989	0,006996455	0,682340514	0,462170986
Abr-14	0,813642273	0,010056508	0,86669853	0,563465771
May-14	1,083035472	0,01650802	1,253541388	0,784361627
Jun-14	0,76064551	0,011681604	0,885896455	0,55274119
Jul-14	0,794624596	0,013339545	0,958065855	0,588676666
Ago-14	0,272423417	0,004073774	0,316100316	0,197532502
Sep-14	0,06676785	0,000773	0,07154624	0,046362363
Oct-14	0,889199934	0,01682918	1,122015575	0,676014897
Nov-14	0,001899388	0	0,000957592	0,000952326
Dic-14	0,047628695	0,000252099	0,024325792	0,024068862
Ene-15	0,769682485	0,01129291	0,746260122	0,509078506
Feb-15	0,066070674	0,000366464	0,030361352	0,032266163

Mar-15	0,028242873	8,08354E-07	0,000813846	0,009685843
Abr-15	0,541802034	0,005167419	0,343665551	0,296878335
May-15	0,158602994	0,000735913	0,053791822	0,071043576
Jun-15	0,887422209	0,011441192	0,736841625	0,545235008
Jul-15	1,397106935	0,022394304	1,418917303	0,946139514
Ago-15	0,325342363	0,004032339	0,261591977	0,196988893
Sep-15	0,039229509	0,000151069	0,011377513	0,016919364
Oct-15	0,894277579	0,015549108	0,98031478	0,630047156
Nov-15	0,002180396	0	0	0,000726799
Dic-15	0,022327374	3,74269E-06	0,000482506	0,007604541
Ene-16	0	0	0	0
Feb-16	0,108695731	0	0	0,03623191
Mar-16	0,153269503	2,72503E-06	0,000355043	0,05120909
Abr-16	0	0	0	0
May-16	0,016029429	0	0	0,005343143
Jun-16	0	0	0	0
Jul-16	0	0	0	0
Ago-16	0	0	0	0
Sep-16	0,075256198	0	0	0,025085399
Oct-16	0,013758734	0	0	0,004586245
Nov-16	0,012970828	0	0	0,004323609
Dic-16	0	0	0	0

Elaboración: Propia

Anexo 6: Resultados de aportación considerando los diferentes coeficientes de infiltración y valores de humedad.

Tabla 36: Aportación final (Hm³) del 88,19% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 25.

I max	25			Suma de aportaciones
H max	400	300	500	
	Bosque	Agropecuario	Paramo	
Área %	21,87107	58,39795	7,91731	
Ene-13	0,106864245	0,28533824	0,038684788	0,430887273
Feb-13	0,084907876	0,226712534	0,030736596	0,342357007
Mar-13	0,067461322	0,180128487	0,024420955	0,272010764
Abr-13	0,053601624	0,158165017	0,019403753	0,231170393
May-13	0,042587352	0,127944076	0,015416594	0,185948021
Jun-13	0,102013242	0,722330124	0,015760997	0,840104363
Jul-13	0,144777749	0,924965182	0,018386378	1,088129309
Ago-13	0,065985025	0,313929878	0,013666867	0,393581769
Sep-13	0,05381596	0,261628671	0,010859388	0,326304018
Oct-13	0,106026583	0,656147724	0,011581447	0,773755754
Nov-13	0,055276948	0,261984898	0,009317095	0,326578941
Dic-13	0,044039591	0,210489583	0,007402689	0,261931862
Ene-14	0,047974197	0,289005631	0,006018742	0,34299857
Feb-14	0,040039372	0,224347417	0,004887358	0,269274147
Mar-14	0,090360334	0,477689418	0,007583203	0,575632956
Abr-14	0,146275917	0,647755938	0,016323126	0,810354981
May-14	0,27303409	1,00662304	0,046073225	1,325730355
Jun-14	0,209481129	0,753175923	0,037330135	0,999987187
Jul-14	0,248221359	0,832416106	0,05110547	1,131742934
Ago-14	0,130979289	0,439199327	0,028340025	0,598518642
Sep-14	0,09973865	0,327069417	0,022677562	0,449485629
Oct-14	0,297026656	0,906377114	0,075339576	1,278743346
Nov-14	0,098387018	0,304697161	0,025562632	0,42864681
Dic-14	0,078836466	0,24509621	0,020330079	0,344262755

Ene-15	0,182498787	0,547276419	0,048274238	0,778049445
Feb-15	0,078759918	0,23653507	0,021765488	0,337060476
Mar-15	0,063200837	0,190061979	0,017370587	0,270633403
Abr-15	0,08636449	0,258463502	0,023070261	0,367898252
May-15	0,058174865	0,17261851	0,016194866	0,246988241
Jun-15	0,168964968	0,483996397	0,049796738	0,702758102
Jul-15	0,394571638	1,093746947	0,127662729	1,615981313
Ago-15	0,116459085	0,326748228	0,036809968	0,480017281
Sep-15	0,086311999	0,240844839	0,027804023	0,354960861
Oct-15	0,261709249	0,719766454	0,086589287	1,06806499
Nov-15	0,087943581	0,242269749	0,029271893	0,359485223
Dic-15	0,06988245	0,192543892	0,023257901	0,285684243
Ene-16	0,055532839	0,153025997	0,018479011	0,227037847
Feb-16	0,044122701	0,121584539	0,014682659	0,180389898
Mar-16	0,035063703	0,096636933	0,01166537	0,143366006
Abr-16	0,027863746	0,076816668	0,009268799	0,113949213
May-16	0,022140086	0,061031701	0,007363894	0,090535681
Jun-16	0,017590903	0,04849366	0,005850895	0,071935459
Jul-16	0,013975615	0,03852513	0,004649047	0,057149792
Ago-16	0,011103943	0,030612207	0,003693427	0,045409577
Sep-16	0,00882279	0,024322748	0,002934948	0,036080486
Oct-16	0,007009679	0,019323883	0,002331649	0,02866521
Nov-16	0,005570562	0,015352822	0,001852651	0,022776035
Dic-16	0,004424518	0,012199332	0,001471829	0,018095679

Elaboración: Propia

Tabla 37: Aportación final (Hm³) del 3,12% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 150.

I max	150				Suma de aportaciones
H max	100	400	300	500	
	Antropogénica	Bosque	Agropecuario	Paramo	
Área %	0,51021	0,05102	2,55590	5,9067E-05	
Ene-13	0,002834333	0,000249269	0,012488365	2,88607E-07	0,015572256
Feb-13	0,00274076	0,000198054	0,009922501	2,2931E-07	0,012861544
Mar-13	0,003016836	0,000157359	0,007883662	1,82192E-07	0,011058039
Abr-13	0,005004268	0,00012503	0,006710761	1,44761E-07	0,011840204
May-13	0,003963893	9,93383E-05	0,005643164	1,15015E-07	0,00970651
Jun-13	0,012428729	0,000149033	0,016120805	1,07366E-07	0,028698674
Jul-13	0,014105339	0,000227796	0,025151042	1,19463E-07	0,039484297
Ago-13	0,008636369	0,000193753	0,018499833	1,07703E-07	0,027330064
Sep-13	0,007550943	0,000158129	0,016221252	8,55704E-08	0,023930409
Oct-13	0,009390872	0,000191738	0,021737643	8,19023E-08	0,031320335
Nov-13	0,006916085	0,000166317	0,017105847	7,40582E-08	0,024188324
Dic-13	0,005647289	0,000132432	0,013897686	5,88425E-08	0,019677466
Ene-14	0,005551573	0,000122658	0,013506123	4,77202E-08	0,019180401
Feb-14	0,004952226	0,000112954	0,012507023	3,87539E-08	0,017572242
Mar-14	0,005844945	0,000154216	0,016192881	4,74544E-08	0,02219209
Abr-14	0,00672797	0,000236546	0,021225952	8,64032E-08	0,028190554
May-14	0,008525806	0,000405312	0,030753567	2,00013E-07	0,039684885
Jun-14	0,007838805	0,000417861	0,029672167	2,36073E-07	0,03792907
Jul-14	0,008133708	0,000485085	0,032426912	3,02021E-07	0,041046008
Ago-14	0,006617203	0,000408551	0,026730586	2,67692E-07	0,033756608
Sep-14	0,005488817	0,000342149	0,022295084	2,23067E-07	0,028126272
Oct-14	0,006995679	0,000491176	0,03006782	3,58596E-07	0,037555034
Nov-14	0,005068656	0,000359173	0,021785182	2,75376E-07	0,027213287
Dic-14	0,004089201	0,000286786	0,017424057	2,18944E-07	0,021800263
Ene-15	0,005349018	0,000347332	0,020439759	2,77355E-07	0,026136386
Feb-15	0,004067262	0,000281419	0,016386107	2,32813E-07	0,020735021

Mar-15	0,00332628	0,000225337	0,013137818	1,85583E-07	0,016689622
Abr-15	0,003881749	0,000219374	0,012653732	1,8247E-07	0,016755037
May-15	0,003345464	0,000192794	0,011030482	1,62783E-07	0,014568903
Jun-15	0,00534111	0,000277098	0,01534279	2,48578E-07	0,020961247
Jul-15	0,009107449	0,000561941	0,029808141	5,58089E-07	0,039478089
Ago-15	0,005871782	0,000387481	0,020511835	3,89582E-07	0,026771488
Sep-15	0,004855439	0,000321666	0,01701179045	3,23817E-07	0,022189219
Oct-15	0,006492558	0,000447308	0,023371883	4,61384E-07	0,03031221
Nov-15	0,004658752	0,000334318	0,017418689	3,48802E-07	0,022412107
Dic-15	0,003730777	0,00026565	0,013841968	2,77136E-07	0,017838672
Ene-16	0,002986428	0,000211084	0,010999811	2,20196E-07	0,014197543
Feb-16	0,002523104	0,000167715	0,008739632	1,74951E-07	0,011430625
Mar-16	0,002320855	0,000133269	0,006945648	1,39002E-07	0,009399912
Abr-16	0,001958859	0,000105899	0,005519969	1,10443E-07	0,007584838
May-16	0,001575537	8,41406E-05	0,004385663	8,77499E-08	0,006045428
Jun-16	0,001267929	6,68513E-05	0,003484709	6,97227E-08	0,00481956
Jul-16	0,001007415	5,31178E-05	0,002768547	5,53989E-08	0,003829135
Ago-16	0,000800422	4,22055E-05	0,00219986	4,40167E-08	0,003042531
Sep-16	0,000734961	3,35328E-05	0,001747722	3,49677E-08	0,002516251
Oct-16	0,000667664	2,66405E-05	0,001388618	2,77851E-08	0,002082951
Nov-16	0,000559805	2,11665E-05	0,00110338045	2,20792E-08	0,001684374
Dic-16	0,000457916	1,682E-05	0,00087667244	1,75429E-08	0,001351426

Elaboración: Propia

Tabla 38: Aportación final (Hm³) del 1,13% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 300.

I max	300			Suma de aportaciones
H max	100	400	300	
	Antropogénica	Bosque	Agropecuario	
Área %	0,18013	0,011344	0,93986	
Ene-13	0,000985321	5,54268E-05	0,00459227	0,005633018
Feb-13	0,000954663	4,40388E-05	0,003648741	0,004647442
Mar-13	0,001026498	3,49899E-05	0,002899011	0,003960499
Abr-13	0,001554166	2,78013E-05	0,002459249	0,004041216
May-13	0,001434615	2,20886E-05	0,002076912	0,003533616
Jun-13	0,003492781	3,03457E-05	0,004835037	0,008358164
Jul-13	0,004333441	4,69076E-05	0,008084147	0,012464496
Ago-13	0,0033124	4,44018E-05	0,007195412	0,010552214
Sep-13	0,002934977	3,6232E-05	0,006323688	0,009294897
Oct-13	0,003260992	4,09635E-05	0,007574271	0,010876226
Nov-13	0,002699567	3,81775E-05	0,006679051	0,009416795
Dic-13	0,002209276	3,03979E-05	0,005427621	0,007667295
Ene-14	0,002055068	2,77026E-05	0,00507959	0,00716236
Feb-14	0,001875191	2,57401E-05	0,004791145	0,006692077
Mar-14	0,002039234	3,2577E-05	0,005696705	0,007768516
Abr-14	0,002305338	4,8945E-05	0,007342219	0,009696502
May-14	0,002814021	8,01052E-05	0,010237376	0,013131502
Jun-14	0,002775996	9,05596E-05	0,010733531	0,013600086
Jul-14	0,002863232	0,000104249	0,011665782	0,014633263
Ago-14	0,002497013	9,49893E-05	0,0103761	0,012968102
Sep-14	0,002088626	8,01233E-05	0,008727954	0,010896703
Oct-14	0,002354225	0,00010037	0,01033625	0,012790845
Nov-14	0,00193458	8,49251E-05	0,008585001	0,010604506
Dic-14	0,001558183	6,7787E-05	0,006862794	0,008488764
Ene-15	0,001799321	7,4752E-05	0,007348046	0,009222119
Feb-15	0,001544512	6,62737E-05	0,006421622	0,008032407

Mar-15	0,001261818	5,30503E-05	0,005146696	0,006461564
Abr-15	0,001347271	4,98729E-05	0,004785506	0,00618265
May-15	0,001247174	4,49576E-05	0,004276758	0,005568889
Jun-15	0,001710572	5,74823E-05	0,005302244	0,007070298
Jul-15	0,002770736	0,000106934	0,00943868	0,01231635
Ago-15	0,002226586	9,16304E-05	0,008034335	0,010352551
Sep-15	0,0018704	7,66362E-05	0,006715329	0,008662366
Oct-15	0,002177357	9,31063E-05	0,008069768	0,010340231
Nov-15	0,001792999	7,9707E-05	0,00687849	0,008751196
Dic-15	0,001434741	6,33345E-05	0,005465968	0,006964044
Ene-16	0,001147959	5,03255E-05	0,004343582	0,005541866
Feb-16	0,000961148	3,99857E-05	0,003451181	0,004452314
Mar-16	0,000871371	3,17728E-05	0,002742618	0,003645762
Abr-16	0,000740814	2,52478E-05	0,002179639	0,002945701
May-16	0,000595271	2,00603E-05	0,001731794	0,002347125
Jun-16	0,000478745	1,5938E-05	0,001375961	0,001870645
Jul-16	0,000380377	1,26631E-05	0,00109325	0,00148629
Ago-16	0,00030222	1,00619E-05	0,000868622	0,001180904
Sep-16	0,000273147	7,99395E-06	0,000690142	0,000971283
Oct-16	0,000248433	6,35138E-06	0,000548317	0,000803101
Nov-16	0,00020776	5,04684E-06	0,000435721	0,000648528
Dic-16	0,000169753	4,01002E-06	0,000346152	0,000519915

Elaboración: Propia

Tabla 39: Aportación final (Hm³) del 7,57% del área de la microcuenca considerando un coeficiente de infiltración de 450.

I max	450			Suma de aportaciones
H max	100	400	300	
	Antropogénica	Bosque	Agropecuario	
Área %	3,23966	0,06863	4,25685	
Ene-13	0,017627	0,000335317	0,020799403	0,038761720
Feb-13	0,017090188	0,000266423	0,01652595	0,033882561
Mar-13	0,018218238	0,000211679	0,013130259	0,031560177
Abr-13	0,026519548	0,00016819	0,011125708	0,037813446
May-13	0,026043965	0,00013363	0,009409345	0,035586940
Jun-13	0,055991724	0,000177668	0,020060414	0,076229805
Jul-13	0,073060854	0,000275735	0,034623104	0,107959693
Ago-13	0,061640074	0,000271446	0,033266019	0,095177539
Sep-13	0,05482253	0,000221479	0,029251808	0,084295817
Oct-13	0,058407863	0,000244304	0,033626149	0,092278316
Nov-13	0,050428252	0,000233502	0,030903041	0,081564795
Dic-13	0,041290138	0,000185917	0,025113297	0,066589352
Ene-14	0,037709664	0,000168533	0,023210058	0,061088256
Feb-14	0,034653367	0,000157045	0,022023248	0,056833660
Mar-14	0,036582909	0,000193479	0,025391695	0,062168084
Abr-14	0,041036473	0,000288232	0,032490847	0,073815551
May-14	0,049261002	0,000462091	0,044516453	0,094239546
Jun-14	0,050032366	0,000542851	0,048336552	0,098911768
Jul-14	0,051474339	0,00062276	0,052413338	0,104510437
Ago-14	0,046016157	0,000583828	0,047918103	0,094518088
Sep-14	0,038587612	0,00049357	0,040411996	0,079493179
Oct-14	0,041569397	0,000587259	0,045590031	0,087746687
Nov-14	0,035774614	0,00052496	0,039843281	0,076142855
Dic-14	0,02879865	0,000418973	0,031844656	0,061062279
Ene-15	0,031782379	0,000447014	0,033023804	0,065253197
Feb-15	0,028508376	0,000409063	0,029742623	0,058660063

Mar-15	0,023281506	0,000327404	0,023834539	0,047443449
Abr-15	0,024100816	0,000304256	0,021906185	0,046311258
May-15	0,022873632	0,000276545	0,019734339	0,042884516
Jun-15	0,029581676	0,000338824	0,023467172	0,053387672
Jul-15	0,046610635	0,000604979	0,040087624	0,087303238
Ago-15	0,04113755	0,000566884	0,037235534	0,078939968
Sep-15	0,0347214	0,000475178	0,031194635	0,066391213
Oct-15	0,038411375	0,000549316	0,035688168	0,074648858
Nov-15	0,033263876	0,000494249	0,031950652	0,065708777
Dic-15	0,026610906	0,000392723	0,025389567	0,052393196
Ene-16	0,021288142	0,000312059	0,0201762	0,041776401
Feb-16	0,017772137	0,000247941	0,016030452	0,034050531
Mar-16	0,01603341	0,000197014	0,01273948	0,028969904
Abr-16	0,01365971	0,000156551	0,01012407	0,023940332
May-16	0,010972411	0,000124386	0,008044173	0,019140969
Jun-16	0,008822571	9,88293E-05	0,006391237	0,015312638
Jul-16	0,007009656	7,85227E-05	0,005077998	0,012166177
Ago-16	0,005569627	6,23885E-05	0,004034644	0,009666659
Sep-16	0,005007221	4,95691E-05	0,003205835	0,008262625
Oct-16	0,004554965	3,93849E-05	0,002546874	0,007141224
Nov-16	0,003805307	3,12938E-05	0,002023707	0,005860308
Dic-16	0,003108132	2,48635E-05	0,001607813	0,004740808

Elaboración: Propia