

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



## **FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental

### **TRABAJO DE TITULACIÓN**

Título del proyecto

**ESTUDIO HIDRÁULICO DEL RÍO GUANO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA  
CONDUCTANCIA ENTRE RÍO- ACUÍFERO Y ZONAS DE INUNDACIÓN**

Autor(es): Dayana Nayeli Tipán Condoy

Tutor: Benito Mendoza PhD.

**Riobamba - Ecuador  
Año 2018**

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:

**“ESTUDIO HIDRÁULICO DEL RÍO GUANO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTANCIA ENTRE RÍO-ACUÍFERO Y ZONAS DE INUNDACIÓN”.**

Presentado por: Dayana Nayeli Tipán Condo y dirigido por: PhD. Benito Mendoza Trujillo.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

PhD. Benito Mendoza

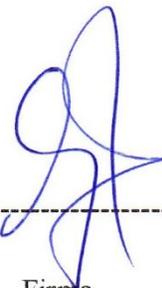
Tutor del Proyecto



Firma

Msc. Patricio Santillán

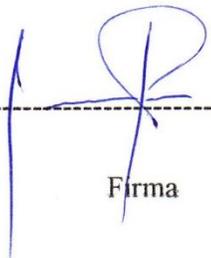
Miembro del Tribunal



Firma

PhD. Iván Ríos

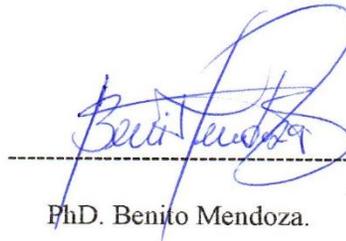
Miembro del Tribunal



Firma

### **DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA**

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el Tema: **“ESTUDIO HIDRÁULICO DEL RÍO GUANO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTANCIA ENTRE RÍO-ACUÍFERO Y ZONAS DE INUNDACIÓN”**, ha sido elaborado por DAYANA NAYELI TIPÁN CONDOY, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que se encuentra apto para la presentación y defensa respectiva. Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Benito Mendoza", is written over a horizontal dashed line.

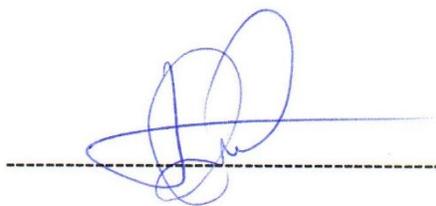
PhD. Benito Mendoza.

C.I: 060301386-3

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **DAYANA NAYELI TIPÁN CONDOY**, con cédula de identidad N° 230048731-7; soy responsable de las ideas, doctrinas, resultados y propuesta realizados en la presente investigación, titulada: **“ESTUDIO HIDRÁULICO DEL RÍO GUANO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTANCIA ENTRE RÍO-ACUÍFERO Y ZONAS DE INUNDACIÓN”**, dirigida por el Tutor del Proyecto, PhD Benito Mendoza.

En virtud de ello, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referenciado adecuadamente en el contenido del documento.



Dayana Nayeli Tipán Condoy

C.I: 2300487317

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios por guiarme y darme fortaleza en toda mi vida, por mostrarme el camino que debo seguir ayudándome a superar cada uno de los obstáculos que me han servido como experiencias para forjar mi persona.

A mis padres por apoyarme incondicionalmente en todo el trayecto de mi vida, brindarme sus consejos y demostrándome cada día su amor y afecto. Pero de manera muy especial a mi madre que sin duda de manera ejemplar me ha enseñado a jamás rendirme y siempre tratar de superarme, y que ante cualquier adversidad uno debe ser fuerte y seguir adelante.

Al Ing. Benito Mendoza, tutor de esta tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

A mis profesores por su tiempo, apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Gracias al grupo de trabajo que colaboraron para la realización de este proyecto por su dedicación y tiempo.

A mi amiga Fernanda Haro por su gran apoyo en todo momento a lo largo de la carrera, y por brindarme su valiosa amistad.

Alexis por siempre estar conmigo en cada una de las decisiones, aconsejándome cada paso dado, sobretodo por todo su amor y paciencia.

## **DEDICATORIA**

A mis padres

con mucho amor y cariño

les dedico todo mi esfuerzo

y trabajo puesto para

la realización de esta tesis.

## **SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS**

**INAMHI:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

**MDT:** Modelos Digitales del Terreno.

**HEC-RAS:** Centro de Ingeniería Hidrológica-Sistema de Análisis del Río.

**HEC-GeoRAS:** Centro de Ingeniería Hidrológica- Sistema de Análisis Geoespacial del Río.

**SIG:** Sistema de Información Geográfica.

**GPS:** Sistemas de Posicionamiento Global.

**IDW:** Distancia Inversa Ponderada.

**3D:** Tres Dimensiones.

**C:** Conductancia hidráulica.

**K:** Conductividad hidráulica.

**Q:** Caudal.

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DEDICATORIA.....	v
SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	vi
RESUMEN.....	1
SUMMARY .....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 PROBLEMA .....	4
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 Objetivo General.....	6
2.2 Objetivos Específicos: .....	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	6
3.1 Ciclo Hidrológico .....	6
3.2 Balance Hídrico .....	8
3.3. Análisis Hidrológico .....	9
3.4 Cuenca Hidrográfica.....	9
3.5 Agua Subterránea.....	13
3.6 Inundaciones. ....	15
3.7 Batimetría.....	16
3.8 Modelos Digitales del Terreno (MDT).....	17
3.9. Modelación matemática.....	17

3.10.	HEC-RAS (Hydrological Engineering Center–River Analysis System).	17
4.	METODOLOGÍA.....	18
4.1.	Tipo de Estudio.....	18
4.2	Metodológica de la investigación. ....	18
4.2.1	Identificación del área de estudio .....	19
4.2.2	Determinación de parámetros geomorfológicos. ....	21
4.2.3.	Determinación del balance hídrico .....	21
4.2.4.	Determinación de la conductancia hidráulica .....	23
4.2.5.	Establecimiento de batimetría y de zonas de inundación.....	24
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
5.1	Geomorfología de la microcuenca del río Guano. ....	27
5.2	Balance Hídrico de la Microcuenca del río Guano. ....	29
5.3	Conductancia hidráulica del río Guano con el acuífero del Chambo. ....	33
5.4.	Zonas de inundación en la microcuenca del río Guano. ....	38
6.	CONCLUSIONES.....	40
7.	RECOMENDACIONES .....	42
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	42
9.	ANEXOS .....	44
9.1.	Anexo 1. Geomorfología.....	44
9.2.	Anexo 2. Balance hídrico .....	45
9.3.	Anexo 3. Conductancia hidráulica.....	70
9.4.	Anexo 4. Zonas de inundación. ....	73
9.5.	Anexo 5. Fotográfico.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Representación del sistema hidrológico. El conocimiento del ciclo hidrológico como un sistema físico ayuda en el desarrollo de un buen modelo y en la determinación de su precisión, puede dividirse en tres subsistemas.....	7
<b>Figura 2:</b> Tipos de acuíferos según su estructura y funcionamiento. Formación geológica, formada por una o más capas de rocas (gravas, arenas, caliza, etc.), situada en la zona saturada, capaz de almacenar y transmitir al agua libre en cantidades importantes.....	14
<b>Figura 3:</b> Ubicación geográfica de la microcuenca del río Guano .....	20
<b>Figura 4:</b> Límites geológicos del acuífero del Chambo .....	21
<b>Figura 5:</b> Curva Hipsométrica.....	28
<b>Figura 6:</b> Variación de Temperatura en la microcuenca del río Guano .....	29
<b>Figura 7:</b> Representación del balance hídrico en la microcuenca del río Guano del primer periodo (1990 - 1998).....	30
<b>Figura 8:</b> Representación del balance hídrico en la microcuenca del río Guano del segundo periodo (1999 - 2006).....	31
<b>Figura 9:</b> Representación del balance hídrico en la microcuenca del río Guano del tercer periodo (2007 - 2014).....	32
<b>Figura 10:</b> Comportamiento Velocidad de infiltración en el río Guano .....	37
<b>Figura 11:</b> Representación Conductancia hidráulica del río Guano.....	37
<b>Figura 12:</b> Simulación de las zonas de inundación en la microcuenca del río Guano .....	39
<b>Figura 13:</b> Pendientes de la microcuenca del río Guano .....	44
<b>Figura 14:</b> Red de drenaje de la microcuenca del río Guano .....	45
<b>Figura 15:</b> Mapas del Balance hídrico en la microcuenca del río Guano correspondientes al primer periodo (1990-1998).....	55
<b>Figura 16:</b> Mapas del Balance hídrico en la microcuenca del río Guano correspondientes al segundo periodo (1999-2006).....	62
<b>Figura 17:</b> Mapas del Balance hídrico en la microcuenca del río Guano correspondientes al tercer periodo (2007-2014).....	69
<b>Figura 18:</b> Ubicación de los puntos de muestreo de la conductancia hidráulica en la microcuenca.....	70
<b>Figura 19:</b> Usos de suelo de la microcuenca del río Guano .....	71

<b>Figura 20:</b> Geología de la microcuenca del río Guano.....	71
<b>Figura 21:</b> Curvas de infiltración según la textura del suelo.....	72
<b>Figura 22:</b> Simulación de las zonas de inundación en la parte alta de la microcuenca.....	73
<b>Figura 23:</b> Simulación de las zonas de inundación en la parte media de la microcuenca...	73
<b>Figura 24:</b> Simulación de las zonas de inundación en la parte baja de la microcuenca.....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Parámetros geomorfológicos de la microcuenca del río Guano .....	27
<b>Tabla 2:</b> Áreas afectadas por inundación en la microcuenca del río Guano .....	40
<b>Tabla 3:</b> Estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca del río Guano .....	45
<b>Tabla 4:</b> Temperatura media mensual (°C).....	46
<b>Tabla 5:</b> Precipitación media mensual (mm).....	47
<b>Tabla 6:</b> Evapotranspiración media mensual (mm/mes). .....	48
<b>Tabla 7:</b> Puntos de muestreo de la conductancia hidráulica en la microcuenca.....	70
<b>Tabla 8:</b> Datos de infiltración .....	72

## RESUMEN

La microcuenca del río Guano es parte de la subcuenca del río Chambo, este río se considera una forzante hidrológica y límite geológico del acuífero ubicado en esta subcuenca. Este río se extiende a lo largo de 30.05 km desde los deshielos del Chimborazo, pasa por el centro de la ciudad de Guano y desemboca en el río Chambo. Su geomorfología es de tamaño intermedia-pequeña de forma ovalada, su dimensión es plana con porciones accidentadas y cambios de sección en toda su longitud.

La presente tesis es un estudio hidráulico de la microcuenca del río Guano para obtener la conductancia hidráulica, encontrándose valores medios de éste parámetro en la Hostería Andaluza con  $0.154 \text{ m}^2/\text{h}$  y un caudal de  $0.017 \text{ m}^3/\text{h}$ , la textura del suelo según valores de infiltración es franco limoso que significa que el aporte es del acuífero hacia el río, mientras en el sector de San Andrés la conductancia es mayor con el valor de  $0.297 \text{ m}^2/\text{h}$  y con un caudal de  $0.125 \text{ m}^3/\text{h}$ , la textura del suelo según valores de infiltración es franco arenosa por lo cual existe aporte del río hacia el acuífero. Estos valores obtenidos serán usados en la modelación matemática del acuífero del Chambo.

Además se obtiene las zonas de inundación a las que está expuesta la microcuenca, estas fueron calculadas mediante el modelo matemático diseñado por *Hydrologic Engineering Center – River Analyst System (HEC-RAS)* en conjunto con sistemas de información geográfica, permitiendo representar el comportamiento del río ante eventos de precipitación extrema, identificando que las áreas de cultivo de ciclo corto son las más afectadas pues representan un 70.9% a lo largo del río. Los resultados de este trabajo servirá a las autoridades como una herramienta de gestión del recurso hídrico.

**Palabras clave:** conductancia hidráulica, modelación matemática integral, inundación.

## Abstract

The present research is about The Guano river as part of the sub-basin of the Chambo one and this river is considered a hydrological forcing and geological limit of the aquifer located in this sub-basin. It spreads over 30.05km from the thaw of Chimborazo, passes through the center of the Guano city and it flows towards Chambo River. It presents a geomorphology of small intermediate size of oval shape, its dimension is flat with irregular parts and changes of section in all its length.

This research is a hydraulic study of the Guano River sub-basin to obtain hydraulic conductance, finding average values of this parameter in the Andaluza Resort with  $0.154\text{m}^2/\text{h}$  and a flow of  $0.017\text{m}^3/\text{h}$ , the texture of the soil according to infiltration values is silty loam which means that the contribution is from the aquifer to the river, while in San Andrés village, the conductance is higher with the value of  $0.297\text{m}^2/\text{h}$  and a flow of  $0.125\text{m}^3/\text{h}$ , the soil texture according to infiltration values is sandy loam, which is why there is a contribution from the river to the aquifer. These values obtained will be used in the mathematical modeling of the Chambo aquifer

In addition, you get in flood risks areas which the sub-basin is exposed, there were calculate using the mathematical model designed by *Hydrologic Engineering Center – River Analyst System (HEC-RAS)* with geographic information systems, it allowed us to represent the behavior of the river from extreme precipitation events , identifying that the short-cycle crop areas are the most affected because they represent 70.9% along the river. The results of this working paper will be use for the authorities as a tool of water resources management.

**Keywords:** hydraulic conductance, integral mathematical modeling, flood.

  
Reviewed by: Valle, Doris

Language Center teacher



## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso más abundante en la provincia de Chimborazo, por lo cual su estudio es de importancia para conocer el comportamiento del flujo hídrico que circula por su cauce y sus alrededores (Naranjo L. , 2013). Donde los elementos del ciclo hidrológico juegan un papel determinante en la distribución del agua para las distintas regiones trayendo consigo beneficios, aunque del mismo modo existen temporadas y lugares donde se pueden generar impactos adversos como son las inundaciones que traen como consecuencias pérdidas económicas, ambientales y sociales en las poblaciones ubicadas próximas a los ríos (Torres & Eulises, 2013), sin embargo para este tipo de fenómenos se deberá tomar en cuenta la cuantificación de la movilidad entre los flujos subterráneos y superficiales conforme a condiciones geológicas y topográficas del cual el más representativo es la conductancia hidráulica (Barbecho & Calle, 2012).

La microcuenca del río Guano ubicada en el cantón Guano al noroeste de la provincia de Chimborazo cuenta con una área de 390.7 km<sup>2</sup> cuya desembocadura se da en el río Chambo, es una parte fundamental para sus habitantes debido a que utilizan este recurso hídrico en actividades como la agricultura y ganadería; además que la principal actividad económica de este cantón está encaminada a la fabricación de productos textiles como: alfombras, tapices, entre otras (GAD. Provincial de Chimborazo, 2009). Actualmente los ecosistemas endémicos se han alterado y perdido casi totalmente; el bosque nativo, el páramo y humedales del cantón Guano han sido íntegramente degradados provocando una disminución tanto en calidad y cantidad hídrica, la fertilidad de terreno, su capacidad de retención; son escenarios que se suscitan debido a las prácticas antrópicas en la zona realizadas sin conocimientos de preservación. (Centeno, 2015).

Esta tesis aborda el estudio hidráulico para la determinación de la conductancia entre río-acuífero, y la determinación de zonas de inundación, para estimar el intercambio de flujo que existe entre río-acuífero y como esto afecta el cauce del río donde se analizan los perfiles de flujo y los niveles de la lámina de agua para los diferentes caudales calculados para de esta forma entender cuantitativamente la dinámica presente en la interacción río-acuífero. Para esto se emplea el uso del software gratuito Hec-Ras versión 5.0.3 desarrollado por U.S Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, que permite elaborar los perfiles de

flujo donde se incluye información como la geometría real del cauce y las condiciones hidráulicas de rugosidad y como resultado obtener la superficie de agua asociada al caudal medido en campo a lo largo del cauce.

## **1.1 PROBLEMA**

La creciente demanda del agua a escala mundial ha puesto a la comunidad científica interesada en los recursos hídricos subterráneos; debido a, la disminución de la disponibilidad del agua, por la desigual distribución tiempo-espacial de la precipitación, la contaminación de las fuentes, y tal vez a la influencia de los cambios globales, por ello el hombre ha puesto sus esfuerzos en buscar fuentes alternas orientándose nuevamente hacia el aprovechamiento de las aguas subterráneas (Coello, 2011). Por otro lado tenemos las inundaciones que se dan principalmente por la falta de capacidad del cauce principal para retener el flujo y de las llanuras de inundación, el Ecuador según informe del Banco Central es uno de los países de Centro y Sudamérica más expuestos a inundaciones y deslizamientos, y aparece en la relación de países con más riesgo de sufrir las trágicas consecuencias de diferentes desastres (GAD'S; Banco del Estado; SNGR, 2010).

Dentro de la provincia de Chimborazo se encuentra la subcuenca del río Chambo el cual cuenta con un acuífero del que se extrae agua para abastecimiento de las ciudades de Riobamba y Guano. La baja disponibilidad de agua y la gran densidad poblacional caracteriza a la zona de estudio (Mendoza B. , 2016). Cabe señalar que una de las forzantes hidrológicas en el acuífero es el río Guano el cual se ha visto afectado debido a actividades agrícolas y ganaderas, por el poco control en la distribución del agua de riego, el uso inapropiado del agua que se realiza en sus alrededores, y la falta de retención de la evaporación causada por la deforestación (Osorio & Santillán, 2010), también este río presenta el problema que a lo largo de éste existe un tramo donde su caudal se reduce hasta desaparecer totalmente, y se forma nuevamente más abajo por la presencia de canales de riego, descargas de aguas residuales y fluviales, y por la existencia de vertientes que aportan la casi totalidad del caudal del río.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El manejo eficiente y racional del agua en una cuenca hidrográfica requiere en algunos casos la utilización de recursos superficiales y subterráneos, lo cual es un elemento clave en la gestión integral del agua, que por su mala distribución en espacio y tiempo causa los fenómenos de inundación-sequía que pueden causar desastres en su entorno, afectando a la población y a las distintas actividades económicas que se realizan (Solano & Vintimilla, 2013).

La comprensión de los intercambios entre el flujo de aguas subterráneas y superficiales han sido el foco de información para estudios de disponibilidad de agua, impacto ambiental y recuperación del acuífero. Estos intercambios hidrológicos entre corriente y acuífero en períodos de alto caudal (inundaciones) pueden inducir cambios en las características físicas de canales de ríos aluviales (Simpson & Meixner, 2012). Los resultados de este estudio generaran datos esenciales en la modelación del lecho hidráulico de la microcuenca del río Guano y su interrelación con el acuífero de la subcuenca del río Chambo, para de esta manera obtener resultados que permitan una gestión adecuada de los recursos hídricos en la zona de influencia del acuífero.

Por esta razón la realización de este estudio será de gran importancia para conocer los valores de la conductancia hidráulica que tiene el río con el acuífero es decir la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, según ello conocer las áreas donde existe o no aporte por parte del acuífero hacia la superficie y también debido a el desconocimiento de las zonas de recarga real del acuífero y los sitios de preservación de recarga en el río impide establecer cuáles serán las áreas afectadas por inundación dentro de la microcuenca del río Guano, y con ello se pretende contribuir para la definición de medidas preventivas ante escenarios de riesgo para la población y sus actividades económicas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Realizar el estudio hidráulico del río Guano para la determinación de la conductancia entre río-acuífero y zonas de inundación.

### **2.2 Objetivos Específicos:**

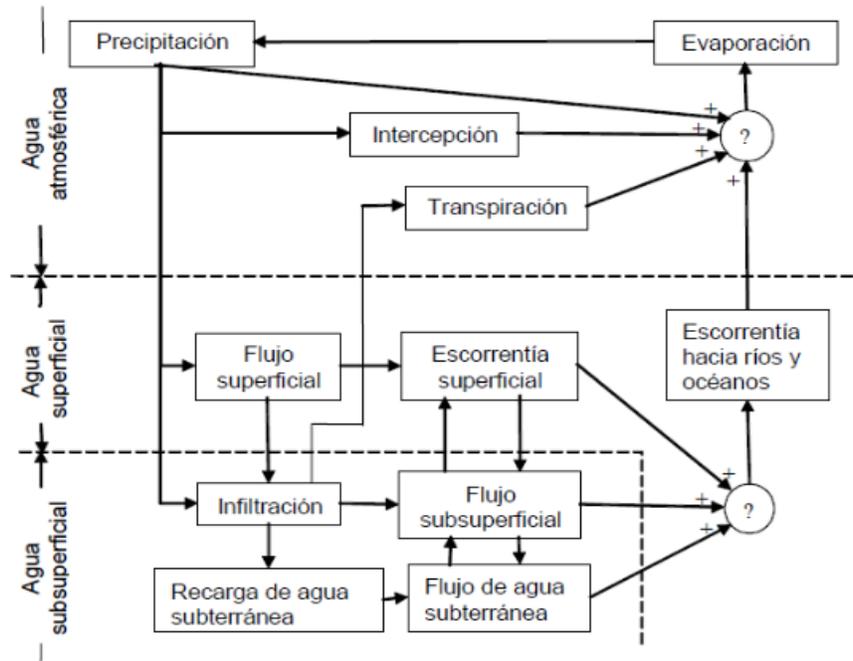
- Determinar los parámetros geomorfológicos del río Guano
- Realizar el balance hídrico de la zona de estudio.
- Determinar la conductancia hidráulica del río - acuífero
- Reconstruir el lecho del río en tres dimensiones usando batimetría
- Establecer las zonas de inundación

## **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **3.1 Ciclo Hidrológico**

El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología. En su carácter de ciclo, es recurrente y continuo: el agua se evapora de los océanos y la superficie terrestre para volverse parte de la atmósfera; el vapor de agua se transporta y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre y océanos; el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo subsuperficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial, (Silva, 2015).

La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar los acuíferos de donde emerge en manantiales o fluye hacia los ríos para formar la escorrentía superficial, y finalmente fluye hacia el mar o lagos a medida que el ciclo hidrológico continúa, (Villodas, 2008) .



**Figura 1:** Representación del sistema hidrológico. El conocimiento del ciclo hidrológico como un sistema físico ayuda en el desarrollo de un buen modelo y en la determinación de su precisión, puede dividirse en tres subsistemas.

Fuente: (Silva, 2015)

Para (Silva, 2015), el ciclo hidrológico se subdivide en sistemas los cuales cuentan con varios componentes como se presenta a continuación:

#### a) El sistema de agua atmosférica:

**Precipitación:** Es toda agua meteórica que cae en la superficie terrestre, en forma líquida, sólida y las precipitaciones ocultas que son provocadas por un cambio de la temperatura o presión, además es la única entrada al sistema hidrológico continental. Dentro de los instrumentos de medición se tienen la observación directa, registradores, acumuladores y equipos automáticos.

**Evaporación:** Por efecto de la radiación solar y la fricción de entre el flujo del viento y la superficie del agua, se genera la evaporación desde las superficies libres de agua. Su medición es realizada generalmente por evaporímetros.

**Transpiración:** Es el resultado de la respiración de las plantas o paso del agua a través de las raíces hacia las hojas y la atmósfera. La cantidad de agua contenida en la vegetación es mínima en comparación con la que consume.

**b) El sistema de agua subsuperficial:**

- **Infiltración**

Es un proceso por el cual el agua se transfiere desde la superficie del terreno hacia las profundidades. Depende de la morfología y composición del terreno. La infiltración se puede dar de forma saturada o no saturada. En tanto que uno depende directamente de la ley de Darcy el otro fenómeno está influido por las reacciones físico químico que ocurren entre el material y el agua. Entre sus métodos de medición tenemos al infiltrómetros de carga constante que permiten conocer la cantidad de agua que penetra en el suelo en un área cerrada a partir del agua que debe agregarse a dicha área para mantener un tirante constante, que generalmente es de medio centímetro .

- **Escorrentamiento superficial**

La expresión escorrentamiento superficial suele referirse al volumen de las precipitaciones que caen sobre una cuenca, menos la retención superficial y la infiltración. Donde la medición de su velocidad se lo realiza por medio de las unidades de caudal (m/s) cuyo método más común utilizado es el de flotador para el cual se escoge un tramo recto del río, libre de vegetación o cualquier otro obstáculo que pueda interrumpir el flujo. (Barbecho & Calle, 2012).

### **3.2 Balance Hídrico**

El balance hídrico tiene por objeto cuantificar los recursos y volúmenes de agua del ciclo hidrológico de acuerdo con el axioma de Lavoisier: "nada se crea ni se destruye, sólo se transforma", el cual en dinámica de fluidos se conoce como la Ecuación Continuidad, (Vega, 2012).

El establecimiento del balance hídrico en una cuenca o en una región determinada permite obtener información sobre:

- El volumen anual de escurrimiento o excedentes.
- El período en el que se produce el excedente y por tanto la infiltración o recarga del acuífero.
- Período en el que se produce un déficit de agua o sequía y el cálculo de demanda de agua para riego en ese período.

El establecimiento de un balance supone la medición de flujos de agua (caudales) y almacenamientos de la misma (niveles). Se pueden establecer balances de forma general, incluyendo aguas superficiales y subterráneas, de un acuífero, del agua del suelo, etc; de esto se tiene la ecuación de balance hídrico, (Vega, 2012):

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{CAMBIO EN ALMACENAMIENTO}$$

### **3.3. Análisis Hidrológico**

El análisis hidrológico consiste en la estimación de variables del balance hídrico como: precipitación, escorrentía, evapotranspiración, infiltración, reserva hídrica; estas variables sirven para la modelación matemática de crecientes o avenidas, aportando con datos para dimensionar y diseñar obras hidráulicas, demarcar planicies de inundación, identificar áreas de riesgo, zonas de factibilidad para el desarrollo de ciudades y proyecto de desarrollo. Para el desarrollo del análisis hidrológico se necesita de eventos registrados recabado a lo largo de los años es decir series históricas, (Campos, 2010).

### **3.4 Cuenca Hidrográfica**

Es el espacio delimitado por la unión de todas las cabeceras que forman el río principal o el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica está delimitada por la línea de las cumbres también llamadas divisorias de aguas (Cordero, 2013). Conociendo las características de una cuenca (precipitación, escurrimiento, evapotranspiración e infiltración de agua subterránea), permitirá evaluar la temporada y la

disponibilidad espacial del agua, esto es útil para la asignación y control de flujo del agua (Cordero, 2013).

### **Diferencias entre cuenca hidrográfica y cuenca hidrológica:**

- Cuenca hidrográfica: delimitaciones de terreno definidas a partir de la divisoria de aguas y se refiere exclusivamente a las aguas superficiales.
- Cuenca Hidrológica: es lo mismo que la cuenca hidrográfica pero incluyendo a las aguas subterráneas. (Cordero, 2013)

### **Geomorfología de la Cuenca**

Las características geomorfológicas de una cuenca dan una idea de las propiedades particulares de cada cuenca, estas propiedades facilitan el empleo de fórmulas hidrológicas, generalmente empíricas, que sirven para relacionarla con las curvas de avenidas a otras cuencas con características geomorfológicas similares. Esta acción es función de una gran cantidad de parámetros que influyen en el comportamiento hidrológico de la cuenca, (Antamba & Cabrera, 2015)

La caracterización básica de una cuenca se inicia con la determinación de los parámetros morfológicos, que describen la estructura física del ámbito territorial en la cuenca. Entre los más importantes figuran: la forma, tamaño o área, longitud máxima, ancho máximo, pendiente del cauce principal, pendiente media, red de drenaje. Algunos de estos parámetros sirven de base para considerar peligros a desastres naturales como: forma de drenaje, pendiente media, etc. (Reynosa, 2014):

### **Características Físicas de las Cuencas**

- **Área de la cuenca (A):** Es el área plana en proyección horizontal, de forma muy irregular, obtenida después de delimitar la cuenca; se reporta en kilómetros cuadrados, excepto las cuencas pequeñas que se expresan en hectáreas.
- **Perímetro de la cuenca (P):** Borde del contorno de la forma irregular de la cuenca proyectada en un plano horizontal obtenida una vez delimitada la cuenca.

La morfología de la cuenca queda definida por tres tipos de parámetros:

- a) Parámetros de forma
- b) Parámetros de relieve
- c) Parámetros relativos a la red de drenaje.

Los parámetros geomofológicos se subdividen y calculan de la siguiente manera (Reynosa, 2014) :

### Parámetros de forma

- **Índice de compacidad o Coeficiente de Gravelius (Ic):** Es el cociente que existe entre el perímetro de la cuenca respecto al perímetro de un círculo del área de la misma cuenca. Si  $I_c = 1$  la cuenca es de forma circular. Si:  $I_c \approx 1$  cuenca regular  $I_c \neq 1$  cuenca irregular.

$$I_c = 0,282 * \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad (1)$$

**Dónde:** **Ic:** es el índice de compacidad, **P:** es el perímetro de la cuenca (km), **A:** es el área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

- **Factor de Forma (Ff):** Fue definido por Horton, como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud del cauce principal.

$$F_f = \frac{A}{L_c^2} \quad (2)$$

**Dónde:** **Ff:** es el factor de forma, **A:** es el área de la cuenca (km<sup>2</sup>), **Lc:** es la longitud de la cuenca (km).

- **Relación de Elongación (Re):** Definido por Schumm, es la relación al diámetro en función del área de la cuenca (A) queda:

$$R_e = 1,1284 * \frac{\sqrt{A}}{L_c} \quad (3)$$

**Dónde:** **Re:** es la relación de elongación, **A:** es el área de la cuenca (km<sup>2</sup>), **Lc:** es la longitud de la cuenca (km).

- **Relación de circularidad (Rci):** Denominado también como radio de circularidad, es el cociente entre A que es el área de la cuenca y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca. La cuenca es circular si  $R_{ci}=0.785$ :

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (4)$$

**Dónde:** **Rci:** es la relación de circularidad, **A:** es el área de la cuenca (km<sup>2</sup>), **P:** es el perímetro de la cuenca (km).

### Parámetros de relieve

- **Pendiente de la cuenca:** Tiene relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces.
- **Curva Hipsométrica:** Es la representación gráfica del relieve de una cuenca; es decir la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o superficie de la cuenca en km<sup>2</sup> que existe por encima de una cota determinada, representado en coordenadas rectangulares.
- **Diagrama de frecuencias altimétricas:** Es la representación gráfica, de la distribución en porcentaje, de las superficies ocupadas por diferentes altitudes.
- **Relación de relieve (Rr):** Schumm (1956) propone una expresión muy simple para la descripción del relieve, función de la longitud de la cuenca L y de la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h):

$$R_r = \frac{h}{L} \quad (5)$$

**Dónde:** **Rr:** es la relación del relieve, **h:** es la diferencia de alturas de la cuenca (m), **L:** es la longitud de la cuenca (m).

### Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca

- **Componentes de la red de drenaje:** La red de drenaje de una cuenca está formada por el cauce principal y los cauces tributarios.

- **Densidad de drenaje (Dd):** Horton (1945) definió la densidad de drenaje de una cuenca como el cociente entre la longitud total (Lt) de los cauces pertenecientes a su red de drenaje y la superficie de la cuenca (A):

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (6)$$

**Dónde:** **Dd:** es la densidad de drenajes, **Lt:** es la longitud total de los cauces (km), **A:** es el área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

- **Número de Orden de un cauce:** Es un número que refleja el grado de ramificación de la red de drenaje.
- **La pendiente media (Sm):** relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima, Hmax menos cota mínima, Hmin) y la longitud del mismo, L:

$$S_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (7)$$

**Dónde:** **Sm:** es la pendiente media, **H<sub>max</sub>:** es la altura de la cota máxima (m), **H<sub>min</sub>:** es la altura de la cota mínima (m), **L:** es la longitud del cauce principal (m).

### 3.5 Agua Subterránea

Es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros y grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales muy variados como gravas de río, limo, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas e incluso ciertos tipos de arcilla. El nivel superior del agua subterránea se denomina tabla de agua, y en el caso de un acuífero libre, corresponde al nivel freático. (Calderón, 2012)

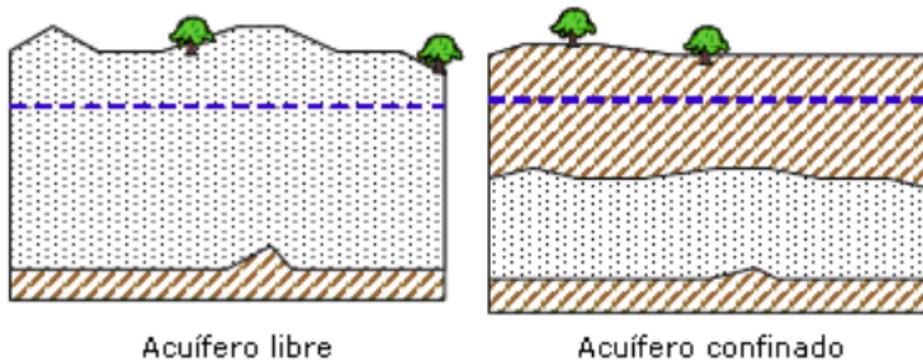
#### Acuífero

Un acuífero es un depósito de agua subterránea. El agua de las precipitaciones, absorbida por el suelo, rellena las cavidades en la arena, arcilla, grava o piedras del subsuelo, donde se

almacena. La gravedad provoca el descenso de la masa de agua hasta que se encuentra con una capa impermeable (Peralta & López, 2012).

Según su Comportamiento Hidráulico Calderón (2012) clasifica los acuíferos de la siguiente manera:

- **Acuífero subestimado o libre:** se encuentra en directo contacto con la zona sub-saturada del suelo, la presión de agua en la zona superior es igual a la presión atmosférica, aumentando en profundidad a medida que aumenta el espesor saturado.
- **Acuífero confinado:** se encuentra cubierto por algún nivel relativamente impermeable, la presión del agua es mayor que la presión atmosférica.
- **Acuífero semi-confinado:** es cuando el estrato de suelo que lo cubre tiene una permeabilidad significativamente menor a la del acuífero mismo, pero no llegando a ser impermeable, es decir que a través de este estrato la descarga y recarga puede todavía ocurrir.



*Figura 2: Tipos de acuíferos según su estructura y funcionamiento. Formación geológica, formada por una o más capas de rocas (gravas, arenas, caliza, etc.), situada en la zona saturada, capaz de almacenar y transmitir al agua libre en cantidades importantes.*

*Fuente:(HISPAGUA, 2009)*

### Constantes hidrogeológicas

Son características de las propiedades hidráulicas del medio poroso, desde el punto de vista del drenaje las constantes de mayor importancia están la conductividad y la conductancia hidráulica las cuales se describen a continuación: (Villón, 2011).

**Conductividad hidráulica.-** Es la velocidad de infiltración en un medio saturado y se define única y exclusivamente en función del medio poroso.

**Conductancia hidráulica.-** Es una medida de la eficacia con que los fluidos se transportan a través de medio o región, la cantidad de fluido transportado está relacionada con la permeabilidad y porosidad del suelo, (Ibañez , Moreno, & Blanquer , 2008).

### **3.6 Inundaciones.**

Las inundaciones eventos naturales que se produce por acción de intensas lluvias de corto tiempo, que responden a una dinámica de las cuencas hidrográficas, su ocurrencia está mediada entre las condiciones climatológicas y las características de la cuenca (Niño, 2012)

#### **Factores que intervienen en la formación de una inundación**

Según Sánchez J. ( 2013) los factores están clasificados de la siguiente manera:

##### **Factores condicionantes**

- **Morfología del Terreno.** La configuración llana del terreno facilita la expansión del agua; los cambios súbitos de pendiente favorecen el aumento de la velocidad del agua y su concentración súbita.
- **Tipo de Terreno.** La composición litológica del terreno determina su capacidad de drenaje y erosión, de modo que condicionará que los ríos puedan llevar más o menos carga en el momento de desbordamiento.
- **Morfometría fluvial.** Los sistemas fluviales pueden tener diferentes morfologías: trezados, meandriiformes, rectilíneos, que pueden determinar la velocidad del agua, el desbordamiento por zonas preferenciales, etc.

##### **Factores desencadenantes**

- **Meteorológicos.** La intensidad de precipitación puede superar la capacidad de drenaje del sistema y provocar desbordamiento.
- **Sísmico.** Los terremotos pueden desencadenar tsunamis que pueden provocar grandes inundaciones en la zona litoral.
- **Deforestación.** La falta de una cobertura vegetal bien desarrollada provoca el aumento de la escorrentía del agua sobre el terreno.

- **Obstrucción del lecho.** La escombrera en el lecho formado por desperdicios, troncos pueden actuar de tapón, obstruir el agua y provocar inundaciones.

### **Daños por inundación.**

Los efectos sociales y económicos de las inundaciones son un problema crítico debido a las cuantiosas pérdidas, incluyendo las vidas humanas que se generan durante estos eventos. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMW), los principales daños directos de las crecidas son los siguientes (Rodríguez, 2012):

- Pérdidas de vidas humanas y de animales.
- Pérdidas de bienes, como vivienda, infraestructura de producción y servicios.
- Pérdida de medios de subsistencia.
- Disminución de la capacidad productiva y adquisitiva.
- Migración de sectores poblacionales afectados.
- Efectos psicosociales que pueden causar traumas duraderos.
- Obstaculización del proceso de desarrollo.
- Deterioro y destrucción de obras de arte y tesoros arqueológicos

### **3.7 Batimetría**

Es el levantamiento del relieve de superficies sub-acuáticas, tanto los levantamientos del fondo del mar, como del fondo de los cursos de agua, embalses, etc. Al igual que en levantamientos convencionales, en las batimetrías la finalidad será la obtención de las coordenadas (X,Y,Z) de todos estos puntos. La parte más compleja y característica de los múltiples métodos de levantamiento batimétrico es la determinación de profundidad, la cual se obtendrá midiendo la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie de fondo. A diferencia de los levantamientos terrestres que presenta estabilidad en las mediciones, la batimetría tiene el inconveniente del movimiento de las masas de agua que no permite la posibilidad de estacionar los instrumentos en determinado punto, además de la necesidad en algunos casos de embarcaciones o equipos costosos (Olmos, y otros, 2011).

### **3.8 Modelos Digitales del Terreno (MDT).**

Conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio. Al ser un modelo numérico presentan ventajas como: deducción estricta, verificabilidad y representatividad de los resultados, (Zubrinic & Reuter, 2016).

### **3.9. Modelación matemática**

Es aquel que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones entre variables para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad, (Cervantes, 2016).

### **3.10. HEC-RAS (Hydrological Engineering Center–River Analysis System).**

Es un programa de modelización matemática e hidráulica que permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para realizar estudios de inundabilidad. Se compone de una serie de procedimientos, herramientas diseñadas para procesar datos georreferenciados que permite realizar datos geométricos para importarlos en HEC-RAS, donde se realiza todo el cálculo hidráulico y obtenemos los resultados de calado y velocidades. Finalmente, estos resultados se pueden exportar a un SIG para procesarlos y obtener los mapas de inundación y riesgo, (Torres & González , 2014).

### **Análisis hidráulico: Modelación Matemática en HECRAS**

Para el análisis hidráulico, existen programas de computación que permiten modelar el comportamiento de parámetros y perfiles hidráulicos de un río. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos ha desarrollado el programa conocido como HEC-RAS que permite modelar el flujo del agua en ríos, para obtener los parámetros hidráulicos en sitios de interés. El modelo utiliza las ecuaciones de “Saint Venant” de la continuidad y momentum que se describen a continuación: (Centeno, 2015).

#### **Ecuación de la continuidad:**

Forma conservativa:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (8)$$

Forma no conservativa:

$$V \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (9)$$

**Ecuación de momentum:**

Forma conservativa:

$$\frac{1}{A} * \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} * \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0 \quad (10)$$

Forma no conservativa:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0 \quad (11)$$

**Dónde:** **Q:** es el caudal ( $m^3/s$ ), **x:** es la distancia en dirección del flujo (m), **A:** es el área de flujo ( $m^2$ ), **t:** es el intervalo de tiempo (s), **V:** es la velocidad promedio del flujo (m/s), **y:** es el calado del flujo (m), **g:** es la aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ), **S<sub>o</sub>:** es la pendiente longitudinal del fondo del lecho del canal, **S<sub>f</sub>:** es la pendiente de fricción.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Tipo de Estudio

El tipo de estudio es de campo, en la microcuenca del río Guano. Donde se analizará las características hidráulicas y geomorfológicas del río mediante la georreferenciación de los puntos de muestreo con la ayuda del GPS, para obtener modelos matemáticos para la gestión de los recursos hídricos en forma global. Para esta investigación se aplicará el método inductivo debido a que se generará información mediante la toma de datos y su análisis, lo que nos ayudará a determinar la conductancia entre río-acuífero y zonas de inundación del sitio de estudio. La técnica a utilizar es la observación pues con ello se identifican los fenómenos, acciones, situaciones, etc. que se desarrollan en el río, con lo cual se obtendrá información necesaria para la investigación.

### 4.2 Metodológica de la investigación.

Para el desarrollo de la investigación se considerará las siguientes fases metodológicas:

1. Identificación del área de estudio
2. Determinación parámetros geomorfológicos

3. Determinación del balance hídrico
4. Determinación de la conductancia hidráulica.
5. Establecimiento de batimetría y zonas de inundación.

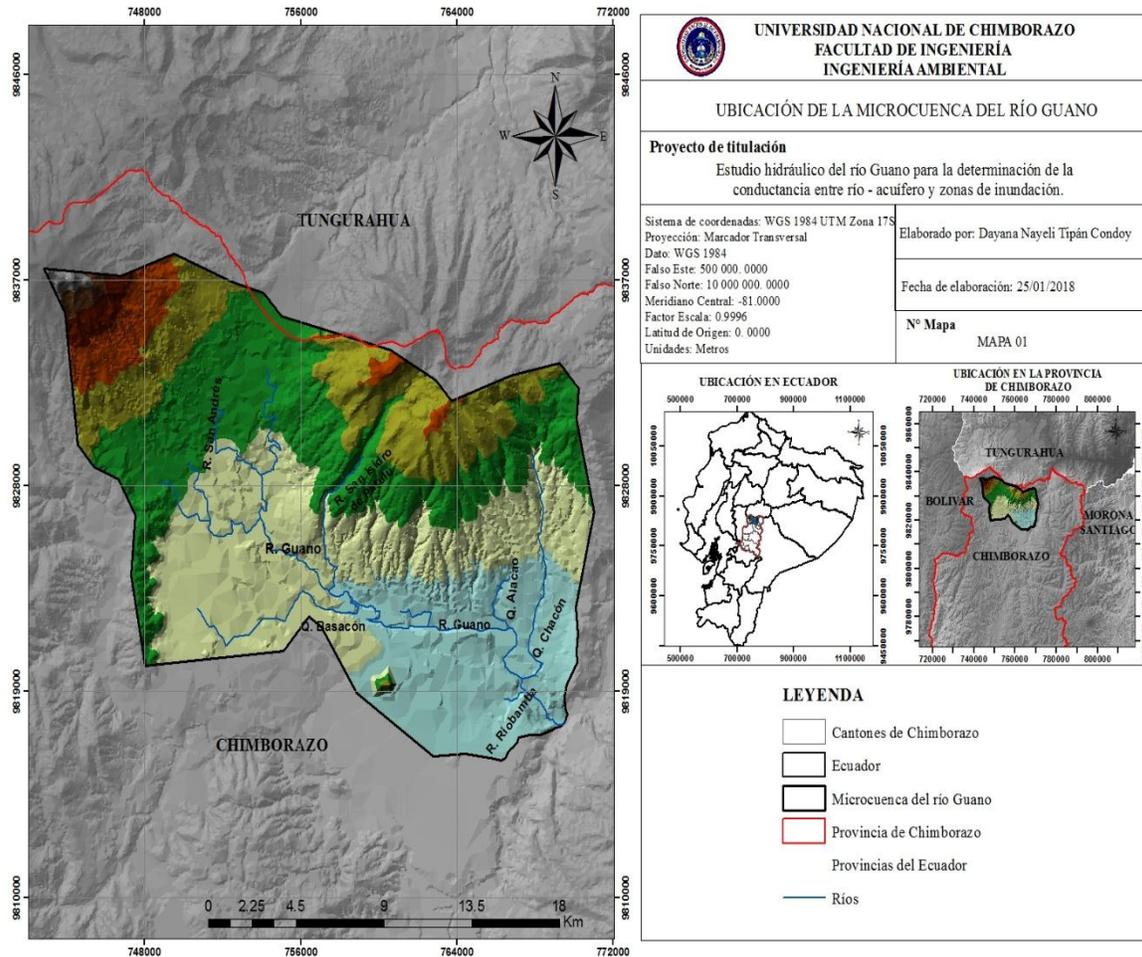
#### **4.2.1 Identificación del área de estudio**

En esta fase se determinará la ubicación geográfica, identificación puntos para la determinación de caudal y batimetría; mediante la técnica de observación e instrumentos de investigación como ficha de campo, registro fotográfico y de observación, además del uso de sistemas de información geográfica.

#### **Datos generales de la microcuenca del río Guano**

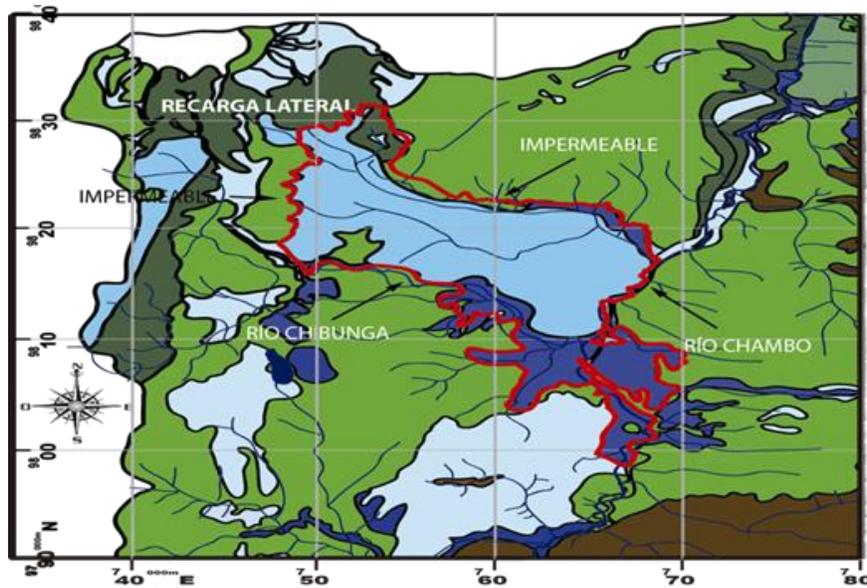
La microcuenca del río Guano (**Figura 3**) está ubicada en el cantón Guano, Provincia de Chimborazo; perteneciente a la Subcuenca del Río Chambo y a la Cuenca del Río Pastaza, cuyo origen se da en las faldas del Chimborazo y por diferentes drenajes hidrográficos tales como son las quebradas: Cascajal, Chuquipogio, Abras, Puluchaca, Patulú, Llio, Bazacón, Alacao, Chacón, Igualata, con un recorrido aproximado de 30.05 km el cual desemboca en el Río Chambo. Abastece de recurso hídrico a la ciudad de Guano, y pasa por las parroquias de San Isidro, El Rosario, La Matriz, San Gerardo, y Cubijíes. (Cevallos, 2015).

Según estudios realizados el caudal y la calidad han disminuido debido a acciones antrópicas que se originan cuando el río ingresa a la zona urbana donde recibe varias descargas de efluentes sin ningún tipo de tratamiento como las aguas residuales domésticas, se ve influenciado por la demanda de necesidades de la población de elevar la producción agrícola, pecuaria, de servicios y de actividades industriales a nivel artesanal principalmente las hilanderías y las curtiembres (Caizaluisa & López, 2012).



**Figura 3:** Ubicación geográfica de la microcuenca del río Guano  
**Autor:** Dayana Tipán C.

El río Guano consta como un forzante hidrológico presente en el sistema acuífero del Chambo (**Figura 4**) además de abastecer al sistema de agua potable de las ciudades como Riobamba y Guano, los límites geológicos del acuífero son: al norte se encuentran lavas del Chimborazo y del Carihuairazo, además del río Guano; en el Sur está presente en su gran mayoría el río Chibunga y el río Chambo al sureste, al este el río Chambo y un tramo del río Guano y al oeste la franja impermeable de los volcánicos Sicalpa. (Mendoza, 2015)



**Figura 4:** Límites geológicos del acuífero del Chambo

**Fuente:** (Mendoza, 2015).

#### 4.2.2 Determinación de parámetros geomorfológicos.

Mediante el procesamiento espacial de los modelos de elevación del terreno con sistemas de información geográfica, así como por medio del análisis de la red hidrológica se determinará la delimitación de la microcuenca del río Guano.

Los parámetros fueron procesados mediante el uso de un SIG con el cual se calculó con las ecuaciones (1-7) con las siguientes herramientas geoespaciales: análisis espacial, análisis espacial 3D, hidrología, pendientes, drenajes y calculadora de superficies.

#### 4.2.3. Determinación del balance hídrico

Los datos utilizados para el balance hídrico de la microcuenca serán obtenidos de los anuarios meteorológicos del INAMHI donde se consideraron las estaciones más cercanas a la microcuenca (**Anexo 2 ; Tabla 3**) el espacio temporal de estudio es de 25 años, los cuales se dividieron en 3 periodos: primer periodo comprendido entre 1990 – 1998, segundo periodo comprendido entre 1999 – 2006 y tercer periodo comprendido entre 2007 – 2014.

La determinación de variables hidrológicas del balance hídrico se calculó valores medios mensuales para cada periodo, tanto de temperatura (**Anexo 2;Tabla 4**) y precipitación (**Anexo 2; Tabla 5**).

La evapotranspiración se calculó mediante el método de Thornthwaite (1948) (**Anexo 2; Tabla 6**), fundamentado en la relación existente entre la evapotranspiración potencial y la temperatura media mensual la cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$E_{tp}^i = K^i * \left[ 1.6 \left( \frac{10 T^i}{I} \right)^a \right] \quad (1)$$

**Dónde:**  $E_{tp}^i$ : es la evapotranspiración potencial en el mes i-ésimo (mm/mes),  $K^i$ : es el coeficiente de correlación de latitud, referido al mes i-ésimo, igual a la relación entre las horas diurnas y la mitad de las horas totales,  $T^i$ : es la temperatura media mensual del aire (°C),  $I$ : es el índice anual de calor igual a:

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T^i}{5} \right)^{1.514} \quad (2)$$

Y,  $a$  se entiende un coeficiente que equivale:

$$a = 0.49239 + 1.792 \times 10^{-2} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3 \quad (3)$$

La escorrentía se obtuvo utilizando el método de la curva de infiltración con la ecuación:

$$R = \frac{(P - 0.2C)^2}{P + 0.8C} \quad (4)$$

**Dónde:**  $R$ : es la escorrentía superficial (mm/mes),  $P$ : es la precipitación media mensual (mm),  $C$ : es la capacidad de campo es decir la máxima capacidad de almacenamiento hídrico del estrato de terreno.

La reserva hídrica fue calculada mediante la relación entre la evapotranspiración, la precipitación y el escurrimiento con la ecuación:

$$RI = (P - R) - E_{tp} \quad (5)$$

**Dónde:**  $RI$ : es la reserva hídrica (mm<sup>3</sup>),  $P$ : es la precipitación (mm),  $E_{tp}$ : es la evapotranspiración (mm/s).

Para determinar la infiltración que se utilizó la ecuación ( 6 ) del balance hídrico, toda esta información se procesó mediante geoestadística con la herramienta de interpolación mediante

Distancia Inversa Ponderada (IDW), además se utilizó otras herramientas como el análisis espacial y la calculadora de superficies todo esto en una base de datos en forma de un SIG.

La ecuación del balance hídrico es:

$$P = Etp + I + R + RI \quad (6)$$

**Dónde:** **P:** es la precipitación (mm), **Etp:** es la evapotranspiración potencial (mm/mes), **I:** es la infiltración (mm/mes), **R:** es el escurrimiento superficial (mm/mes), **RI:** es reserva hídrica (mm<sup>3</sup>), (Torrico, 2011).

#### 4.2.4. Determinación de la conductancia hidráulica

Para su determinación se consideraron seis puntos de muestreo a lo largo del río (**Anexo 3; Figura 18**), tomando las características de la microcuenca en cuanto a tipo de suelo, estructura de suelo (**Figura 19**) y su geología (**Figura 20**). Para este cálculo de conductancia hidráulica, se deben establecer parámetros como velocidad de infiltración, mediante un infiltrómetro de carga constante, que determina la capacidad de infiltración, realizados en época de estiaje, a continuación se presenta el método de instalación del infiltrómetro según (Ibañez , Moreno, & Blanquer , 2008).

1. Colocar los anillos sobre la una superficie plana a una distancia de un metro del río, que se encuentre libre de escombros, raíces, piedras. Cuidando de alterar lo menos posible el suelo.
2. Asegurarse que el cilindro interior esté totalmente centrado con respecto al exterior.
3. Clavar los cilindros en el suelo a igual profundidad (10cm). De forma recta y uniforme.
4. Llenar cuidadosamente de agua hasta los 30cm, empezando siempre por el anillo exterior.
5. La toma de datos se realiza en el anillo interno a intervalos de 10 min por el lapso de una hora.

Para la determinación de la velocidad de infiltración se empleó el coeficiente I, a saber:

$$I = \frac{Dh * 600}{t} \quad (7)$$

**Dónde: I:** es la velocidad de infiltración (mm/h), **Dh:** es el diferencial de altura de agua (cm), **t:** es el diferencial de tiempo (min).

Para la determinación de conductancia se emplea la siguiente ecuación:

$$C = \frac{KA}{L} \quad (8)$$

**Dónde: C:** es la conductancia hidráulica (mm<sup>2</sup>/h), **K:** es la conductividad hidráulica en la dirección del flujo (mm/h), **L:** es la longitud del camino recorrido (L), **A:** es la sección transversal a la dirección del flujo (mm<sup>2</sup>) con la ecuación:

$$A = 2 * \pi * r * (h + r) \quad (9)$$

**Dónde: A:** es la sección transversal a la dirección del flujo o área del cilindro (mm<sup>2</sup>), **r:** es el radio del cilindro (mm) y **h:** altura de agua recorrida (mm).

Por consiguiente, la ley de Darcy puede ser escrita en la forma:

$$Q = C(h_2 - h_1) \quad (10)$$

**Dónde: Q:** es el caudal (mm<sup>3</sup>/s), **C:** es la conductancia hidráulica (mm<sup>2</sup>/s), **h<sub>2</sub>-h<sub>1</sub>:** es la diferencia de alturas del flujo (mm).

#### 4.2.5. Establecimiento de batimetría y de zonas de inundación

Para el levantamiento batimétrico, se realizó secciones transversales cada 10 m, donde en cada sección se mide el ancho del río (espejo de agua) y posteriormente dividir en 5 o 10 partes (midiendo cada 0.20, 0.30, 0.50m, etc), y en cada extremo medir su profundidad.

Una vez con la información levantada en campo, primeramente debemos tener datos topográficos, debidamente georreferenciados, para posteriormente aplicar el modelo de inundaciones mediante HEC-RAS 5.0.3 y HEC-GeoRAS.

El proceso del modelo de inundación se desarrolla en tres pasos:

##### a) Pre-proceso

Crear por medio de herramientas de SIG y la extensión HEC-GeoRAS los modelos digitales de elevación – DEM, mediante la definición del cauce principal (stream centerline), los bancos del río (banks), el área de posibles inundaciones (flowpaths) y cortes transversales

sobre el cauce (Xs Cutlines). Tomando como base el modelo digital de terreno, se genera uno de tipo vectorial, el cual fue la base para realizar los cortes transversales a lo largo del río Guano cada 2m, para luego desarrollar el proceso con HEC-RAS 5.0.3., para entornos SIG.

#### **b) Modelamiento**

Con HEC-RAS 5.0.3., se realiza el proceso de modelación de la información generada en Hec-GeoRAS que contiene información geométrica de las secciones transversales, del cauce y las llanuras de inundación del sistema hídrico del río Guano. Se aplica la modelización del flujo permanente generando un archivo tipo .sdf, el cual se convierte a formato .xml, para ser cargado nuevamente en el SIG.

Los datos de flujo se realizó para tres perfiles: caudal base, caudal máximo y caudal de inundación, que se introducen en el paquete de datos de flujo.

Para el cálculo de caudal base y máximo se realizó en diferentes temporadas (estiaje y de lluvias) y mediante el método del flotador, se escoge un tramo recto del río, libre de vegetación o cualquier otro obstáculo que pueda interrumpir el flujo. Se coloca un objeto que flote sobre el agua, a la mitad del tramo. Se mide el tiempo que tarda en recorrer una distancia determinada. La velocidad estará dada por el cociente entre distancia y tiempo, además el ancho y las profundidades del lecho del río mediante la siguiente ecuación:

$$Q = K * V_s * A_p \quad (11)$$

**Dónde:** **Q:** es el caudal (m<sup>3</sup>/s), **K:** es el factor de corrección equivale a 0.8, **V<sub>s</sub>:** es la velocidad superficial (m/s), **A<sub>p</sub>:** es el área transversal promedio de la sección (m<sup>2</sup>).

**Caudal base:** fue tomando los meses de agosto y septiembre del año 2017, por el lapso de una semana de lunes a domingo, tanto en la parte alta, media y baja del río Guano obteniendo así un valor medio de cada sitio.

**Caudal máximo:** se obtuvo en el mes de mayo, se determinaron 20 puntos, los que fueron identificados en base a criterios como afluentes y efluentes presentes en el río Guano.

**Caudal de inundación:** se lo realizó mediante la ecuación de caudal pico para el hidrograma unitario triangular el cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_p = 0.208 \frac{h_{p_e} * A}{t_p} \quad (12)$$

**Dónde:**  $Q_p$ : es el caudal punta ( $m^3/s$ ),  $h_{p_e}$  : es la precipitación efectiva (mm),  $A$ : es el área de la microcuenca ( $km^2$ ),  $t_p$  : es el tiempo pico (hrs) con la ecuación:

$$t_p = \sqrt{t_c} + (0.6 * t_c) \quad (13)$$

y  $t_c$  : es el tiempo de concentración (hrs), con la ecuación:

$$t_c = 0.000325 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (14)$$

**Dónde:**  $L$ : es la longitud del cauce principal (m),  $S$ : es la pendiente del cauce principal (m).

#### **Cálculo de caudal de inundación.**

Datos:  $h_{p_e}$ : 2.54 mm;  $A$ : 390.70  $km^2$ ;  $L$ : 30054.88;  $S$ : 0.026950699

$$Q_p = 0.208 \frac{2.54 \text{ mm} * 390.7 \text{ Km}^2}{4.11 \text{ hr}} = 50.26 \text{ m}^3/s$$

$$t_p = \sqrt{3.67} + (0.6 * 3.67) = 4.11 \text{ hr}$$

$$t_c = 0.000325 * \left( \frac{(30054.88 \text{ m})^{0.77}}{(0.027 \frac{\text{m}}{\text{m}})^{0.385}} \right) = 3.67 \text{ hr}$$

#### **c) Post-proceso:**

En este punto nuevamente se requiere el uso del SIG y Hec-GeoRAS, donde se generan las superficies de inundación para cada perfil, grids de profundidad, y cartografía final, obteniendo una salida gráfica y numérica que permite verificar los sitios más críticos donde se presentarían inundaciones si las condiciones de caudal máximos se incrementan según el período de análisis. (Romo, 2015).

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Geomorfología de la microcuenca del río Guano.

La información geomorfológica de la microcuenca (**Tabla 1**) nos permite caracterizarla para la descripción de sus parámetros, para ello se usó la carta topográfica de curvas de nivel con una equidistancia de 40m generado por el Instituto Geográfico Militar para el cálculo de los valores como área, pendiente, longitud del cauce, entre otras. Cuyos datos serán útiles para los posteriores cálculos de conductancia hidráulica, y las zonas afectadas por inundación.

La microcuenca del río Guano tiene un **área** de 390.7 km<sup>2</sup>, lo que significa que es de tipo intermedia – pequeña, con una longitud aproximada de 30,05 km. El **punto más alto** tiene una altitud de 6240 m.s.n.m y el más bajo 2480 m.s.n.m, cuya desembocadura es en el río Chambo, su forma es ovalada (**índice de compacidad** 1,27) esto implica que el cauce principal recibirá aportes de manera gradual donde la escorrentía generada por una precipitación es menor y por lo tanto podrían no presentarse represamientos dentro del cauce principal. El **factor de forma** es 0,89, es decir que la forma de la cuenca es muy ensanchada. **La Pendiente** media de la cuenca es 40.54% por lo cual es de un tipo de terreno escarpado (**Anexo 1 ;Figura 13**). **La relación elongación** tiene un valor de 1.06 se puede inferir que la microcuenca es plana con porciones accidentadas, además de contar con una amplia variedad de climas y geología. **La red de drenaje** está compuesto por 3 órdenes donde el río Guano representa a uno de tercer orden (**Anexo 1; Figura 14**). **La densidad de drenaje** es de 0,23 este valor representa que la microcuenca es de baja complejidad y desarrollo del sistema de drenaje, que generalmente se asocia con áreas resistentes a la erosión, permeables y de bajo relieve.

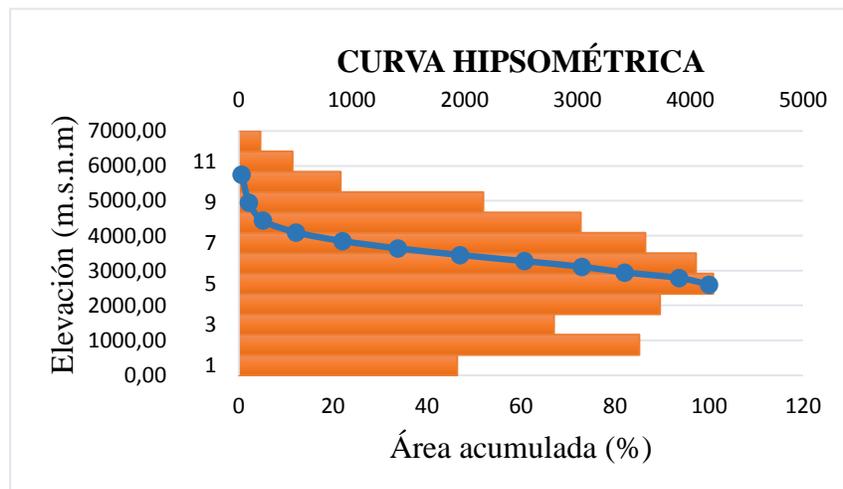
**Tabla 1:** Parámetros geomorfológicos de la microcuenca del río Guano

Nombre	Sigla	Unidad	Valor
Área	A	km <sup>2</sup>	390.70
Perímetro	P	km	89.16
Cota máxima	Cmax	msnm	6240.00
Cota mínima	Cmin	msnm	2480.00
Centroide x	Cx	UTM	757.80
Centroide y	Cy	UTM	9827.30
Centroide z	Cz	m.s.n.m	3429.98
Índice de compacidad	Ic	adimensional	1.27

Nombre	Sigla	Unidad	Valor
Longitud media	Lc	km	20.97
Factor de forma	Ff	adimensional	0.89
Relación de elongación	Re	adimensional	1.06
Relación de circularidad	Rci	adimensional	0.62
Área sobre la curva	As	km <sup>2</sup>	2694760.51
Área bajo la curva	Ab	km <sup>2</sup>	617164.56
Relación Hipsométrica	Rh	adimensional	4.37
Altitud media	Amed	msnm	3429.98
Altitud más frecuente	Amf	msnm	3268.47
Altitud de frecuencia media	Afm	msnm	3607.78
Pendiente media de la cuenca	Pmc	%	40.54
Longitud del cauce principal	Lcp	m	30054.88
Densidad de Drenaje	Dd	km <sup>-1</sup>	0.23
Número de canales o ramales	Nt	Adimensional	22.00
Densidad hidrográfica	Dh	km – 1	0.06
Altura máxima del río	Hmax	msnm	3290.00
Altura mínima del río	Hmin	msnm	2480.00
Pendiente media del cauce principal	Sm	adimensional	0.03

*Autor: Dayana Tipán C.*

La curva hipsométrica (**Figura 5**) muestra a la microcuenca con un perfil maduro en etapa de equilibrio con una curva tipo B, donde la cuenca entra en una etapa de estabilización respecto a los procesos erosivos. Este aspecto también se encuentra relacionado de alguna manera con el rango altitudinal ya que va desde los 2700 hasta los 5800 msnm, es decir parte de ella es de páramo.

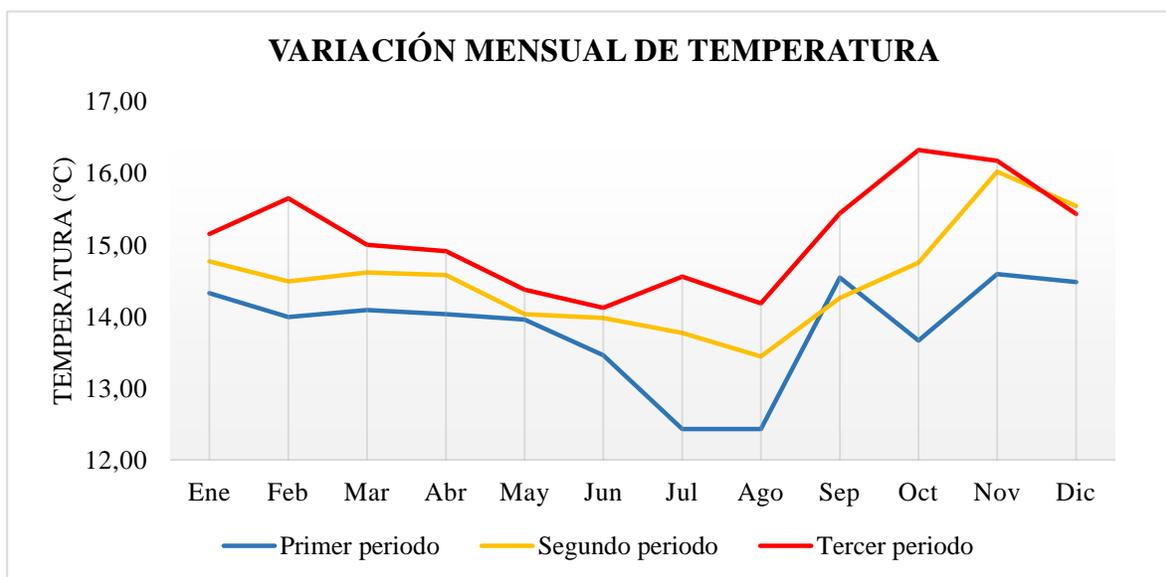


**Figura 5:** Curva Hipsométrica  
*Autor: Dayana Tipán C.*

## 5.2 Balance Hídrico de la Microcuenca del río Guano.

### Análisis de la variabilidad de temperatura

Al analizar la variación mensual media de temperatura (**Figura 6**) que presenta en el río Guano, podemos ver que existen ciertas similitudes en los tres periodos desde el mes de enero hasta junio; donde, a partir de julio del primer periodo se dan variaciones muy marcadas pues en los meses de julio y agosto la temperatura media baja a 12.42°C y sube en el mes de noviembre con 14,58°C, a diferencia del tercer periodo donde la temperatura oscila entre 14,11°C en junio y 16.31°C en el mes de octubre. Además cabe recalcar que el primer periodo tiene los datos más bajos de los tres periodos pues sus datos no superan los 14,58°C mientras que en el tercer periodo el dato más bajo es de 14,11°C.



**Figura 6:** Variación de Temperatura en la microcuenca del río Guano  
Autor: Dayana Tipán C.

### Análisis del Balance hídrico en la microcuenca del río Guano correspondiente al primer periodo (1990-1998)

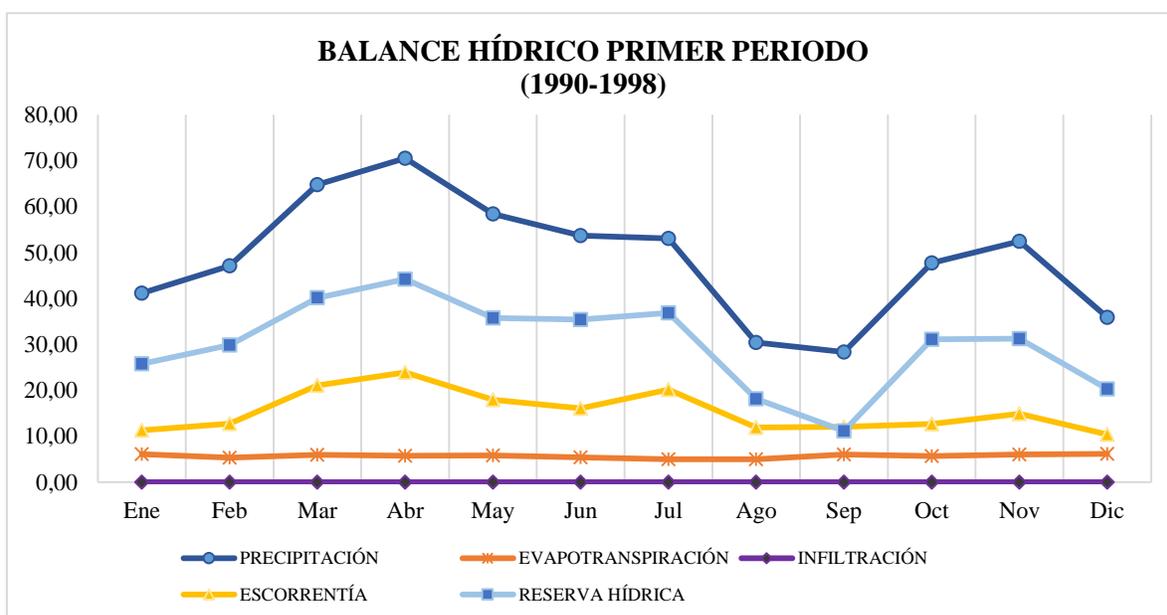
Los valores obtenidos a partir del cálculo del balance hídrico en la microcuenca del río Guano del primer periodo (1990 - 1998) (**Anexo 2; Figura 15**), en la **Figura 7** se aprecia los resultados donde el periodo lluvioso se encuentra en los meses de marzo (64,77mm) y abril (70,5 mm), al contrario el periodo menos lluvioso fue en los meses de agosto (30,44mm) y septiembre (28,37mm).

En cuanto a la reserva hídrica sus valores siguen la misma tendencia de la precipitación puesto que en el mes de abril (44,17mm/mes) tiene mayor capacidad total de embalse mientras que decae en el mes septiembre (11,18mm/mes).

De la misma manera los datos de escorrentía muestran que el valor más alto se encuentra en el mes de Abril con 23,94mm/mes coincidiendo de tal manera con los datos de precipitación puesto que este mes se encuentra en época lluviosa.

La evapotranspiración muestra un valor bajo en el mes de Julio con 4,98mm/mes y muestra al mes de Diciembre como el más húmedo con un valor de 6,18mm/mes, donde las temperaturas en ese mes fue de las más altas.

Por otro lado los resultados en infiltración en este periodo según muestra la gráfica son valores nulos en todos los meses.



**Figura 7:** Representación del balance hídrico en la microcuenca del río Guano del primer periodo (1990 - 1998).  
 Autor: Dayana Tipán C.

### **Análisis del Balance hídrico en la microcuenca del río Guano correspondiente al segundo periodo (1999-2006)**

Los resultados obtenidos del balance hídrico de la microcuenca del río Guano del segundo periodo (1999 - 2006) (**Anexo 2; Figura 16**), la **Figura 8** muestra que las precipitaciones

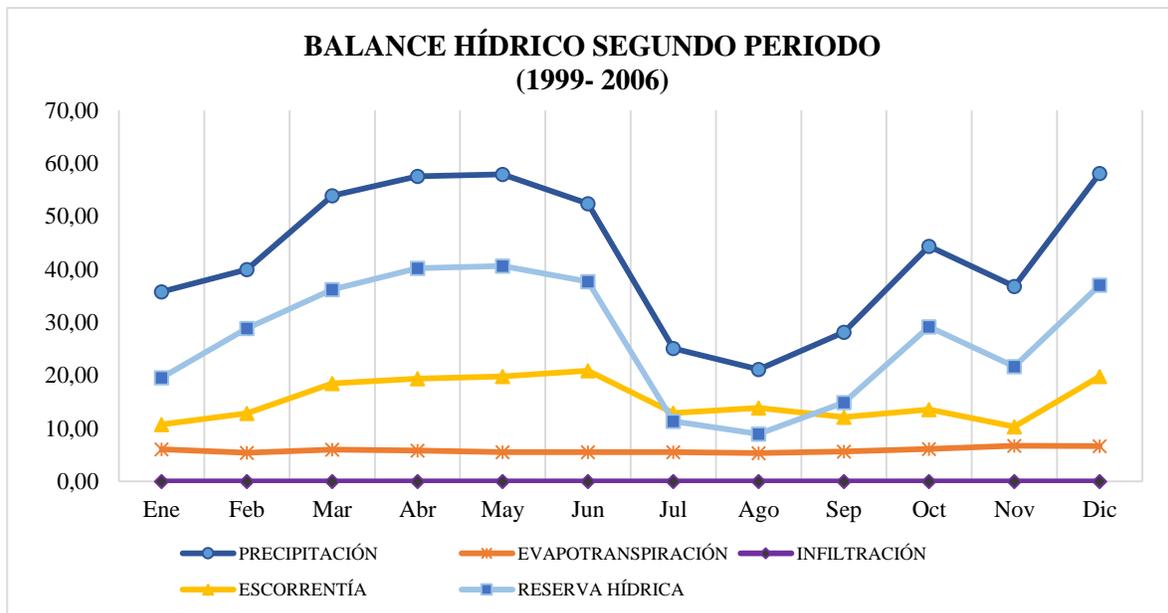
fueron mayores los meses de marzo hasta junio donde alcanzaban lluvias de hasta 57,94mm, para después decrecer desde el mes de julio hasta septiembre cuyo valor más bajo fue en agosto con 21,14mm.

Los resultados de la reserva hídrica indican que desde marzo hasta junio tuvieron valores altos como 40,63mm/mes en el mes de mayo, y bajaron hacia los meses de julio hasta septiembre donde agosto tuvo la menor capacidad de embalse con un valor de 8,95mm/mes.

Por su parte la escorrentía obtuvo resultados elevados en el mes de junio (20,87mm), donde coincide con la precipitación en este mes fue elevada, y donde se dio escasa escorrentía cuyo valor es 10,33mm/mes en el mes de noviembre.

Los valores de evapotranspiración indican que en los meses de noviembre (6,73mm/mes) y diciembre (6,62mm/mes) existió mayor humedad en el ambiente lo cual coincide que estos meses se dieron máximas temperaturas en época lluviosa.

Los resultados en infiltración en este periodo según muestra la gráfica son valores nulos en todos los meses.



**Figura 8:** Representación del balance hídrico en la microcuenca del río Guano del segundo periodo (1999 - 2006).

Autor: Dayana Tipán C.

### Análisis del Balance hídrico en la microcuenca del río Guano correspondiente al tercer periodo (2007-2014).

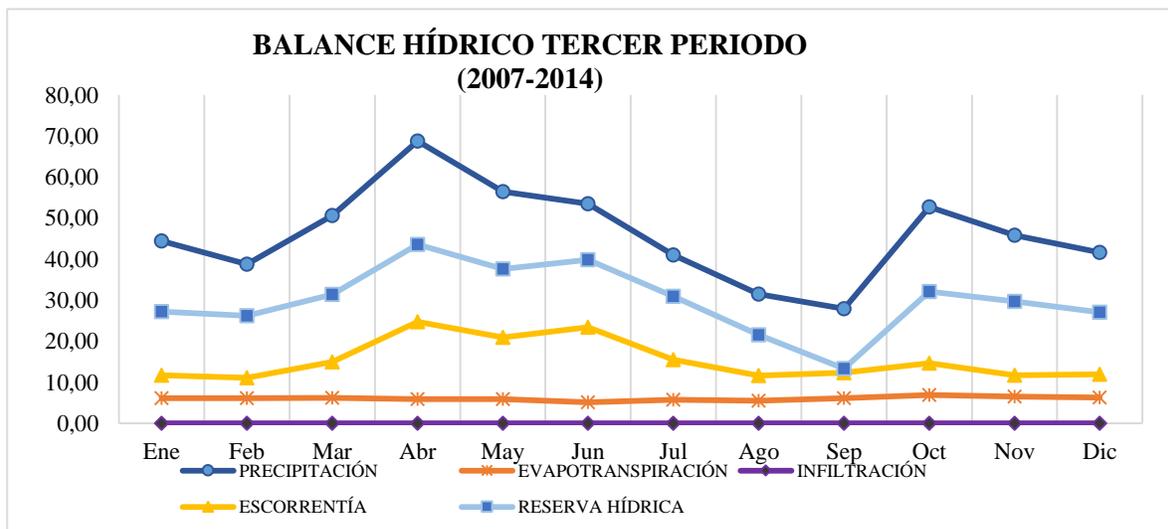
El balance hídrico del tercer periodo (2007 - 2014) (**Anexo 2; Figura 17**) de la microcuenca del río Guano obtuvo los siguientes resultados representados en la **Figura 9**, partiendo de las precipitaciones media mensual el mayor cifra se da en el mes de abril pues su valor es de 68,8mm, estos valores decrecen en el mes de septiembre con el valor de 27,91mm.

En la reserva hídrica desde el mes de abril hasta junio contiene valores elevados que llegan hasta 43,6mm/mes, por el contrario el mes de septiembre la capacidad total de embalse se redujo donde su valor llego hasta 13,35mm/mes.

Los resultados reflejan que los primeros meses enero y febrero la escorrentía es baja pues febrero cuenta con un valor de 11,14mm/mes y a partir de marzo comienza a elevarse hasta darse la época lluviosa que va desde abril hasta junio donde el mayor valor de escorrentía es 24,76mm/mes en abril.

La evapotranspiración muestra un valor bajo en el mes de junio con 5,15mm/mes y muestra al mes de octubre como el más húmedo con un valor de 6,95mm/mes, donde las temperaturas en ese mes fue la más alta en este periodo.

Los resultados en infiltración es nula en todos los meses de este periodo según muestra la gráfica.



**Figura 9:** Representación del balance hídrico en la microcuenca del río Guano del tercer periodo (2007 - 2014).

Autor: Dayana Tipán C.

### 5.3 Conductancia hidráulica del río Guano con el acuífero del Chambo.

#### Cálculo de la Conductancia hidráulica

##### Punto 1. Hostería Andaluza

Velocidad de Infiltración (**Anexo 3; Tabla 8**).

$$I = \frac{4.2 \text{ cm} * 600}{10 \text{ min}} = 252 \text{ mm/h}$$

Conductancia hidráulica

**Datos:** **h:** 112mm; **r:** 150 mm; **L:** 112mm; **h1:**188mm; **h2:**300 mm.

$$K = \frac{84 \text{ mm/h} + 78 \text{ mm/h} + 48 \text{ mm/h}}{3} = 70 \text{ mm/h}$$

$$A = 2 * 3.1416 * 150 \text{ mm/h} * (112\text{mm} + 150\text{mm}) = 246929.76 \text{ mm}^2$$

$$C = \frac{70 \text{ mm/h} * 246929.76\text{mm}^2}{112\text{mm}} = 154331.1 \text{ mm}^2/\text{h} \approx 0.154 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$Q = 154331.1 \text{ mm}^2/\text{h} * (300\text{mm} - 188\text{mm}) = 17285083 \text{ mm}^3/\text{h} \approx 0.017\text{m}^3/\text{h}$$

##### Punto 2. San Andrés

Velocidad de Infiltración (**Anexo 3; Tabla 8**).

$$I = \frac{11.8 \text{ cm} * 600}{10 \text{ min}} = 708 \text{ mm/h}$$

Conductancia hidráulica

**Datos:** **h:** 420mm; **r:** 150 mm; **L:** 420mm; **h1:**180mm; **h2:**600 mm.

$$K = \frac{90 \text{ mm/h} + 270 \text{ mm/h} + 336 \text{ mm/h}}{3} = 232 \text{ mm/h}$$

$$A = 2 * 3.1416 * 150 \text{ mm/h} * (420\text{mm} + 150\text{mm}) = 537213.6 \text{ mm}^2$$

$$C = \frac{232 \text{ mm/h} * 537213.6 \text{ mm}^2}{420\text{mm}} = 296746.6 \text{ mm}^2/\text{h} \approx 0.297 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$Q = 296746.56 \text{ mm}^2/\text{h} * (600\text{mm} - 180\text{mm}) = 124633555 \text{ mm}^3/\text{h} \approx 0.125 \text{ m}^3/\text{h}$$

**Punto 3.** Quinta Nuevo Amanecer

Velocidad de Infiltración (**Anexo 3;Tabla 8**).

$$I = \frac{10.6 \text{ cm} * 600}{10 \text{ min}} = 636 \text{ mm/h}$$

Conductancia hidráulica

**Datos:** **h:** 295mm; **r:** 150 mm; **L:** 295mm; **h1:**5 mm; **h2:**300 mm.

$$K = \frac{114 \text{ mm/h} + 132 \text{ mm/h} + 198 \text{ mm/h}}{3} = 148 \text{ mm/h}$$

$$A = 2 * 3.1416 * 150 \text{ mm/h} * (295\text{mm} + 150\text{mm}) = 419403.6 \text{ mm}^2$$

$$C = \frac{148 \text{ mm/h} * 419403.6 \text{ mm}^2}{295 \text{ mm}} = 210412.65 \text{ mm}^2/\text{h} \approx 0.210 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$Q = 210412.65 \text{ mm}^2/\text{h} * (300\text{mm} - 5\text{mm}) = 62071732.8 \text{ mm}^3/\text{h} \approx 0.062\text{m}^3/\text{h}$$

**Punto 4.** Centro Guano

Velocidad de Infiltración (**Anexo 3; Tabla 8**).

$$I = \frac{9 \text{ cm} * 600}{10 \text{ min}} = 540 \text{ mm/h}$$

Conductancia hidráulica

**Datos:** **h:** 262mm; **r:** 150 mm; **L:** 262mm; **h1:** 38 mm; **h2:**300 mm.

$$K = \frac{132 \text{ mm/h} + 168 \text{ mm/h} + 222 \text{ mm/h}}{3} = 174 \text{ mm/h}$$

$$A = 2 * 3.1416 * 150 \text{ mm/h} * (262\text{mm} + 150\text{mm}) = 388301.76 \text{ mm}^2$$

$$C = \frac{174 \text{ mm/h} * 388301.76 \text{ mm}^2}{262\text{mm}} = 257879.8 \text{ mm}^2/\text{h} \approx 0.258 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$Q = 257879.8 \text{ mm}^2/\text{h} * (300\text{mm} - 38\text{mm}) = 67564506 \text{ mm}^3/\text{h} \approx 0.068\text{m}^3/\text{h}$$

**Punto 5. Los Elenes**

Velocidad de Infiltración (**Anexo 3; Tabla 8**).

$$I = \frac{4.5 \text{ cm} * 600}{10 \text{ min}} = 270 \text{ mm/h}$$

Conductancia hidráulica

**Datos: h:** 130mm; **r:** 150 mm; **L:** 130mm; **h1:**170mm; **h2:**300 mm.

$$K = \frac{102 \text{ mm/h} + 90 \text{ mm/h} + 96 \text{ mm/h}}{3} = 96 \text{ mm/h}$$

$$A = 2 * 3.1416 * 150 \text{ mm/h} * (130\text{mm} + 150\text{mm}) = 263894.4 \text{ mm}^2$$

$$C = \frac{96 \text{ mm/h} * 263894.4 \text{ mm}^2}{130\text{mm}} = 194875.9 \text{ mm}^2/\text{h} \approx 0.195\text{m}^2/\text{h}$$

$$Q = 194875.9 \text{ mm}^2/\text{h} * (300\text{mm} - 170\text{mm}) = 25333862 \text{ mm}^3/\text{h} \approx 0.025 \text{ m}^3/\text{h}$$

**Punto 6. Cubijíes**

Velocidad de Infiltración (**Anexo 3; Tabla 8**).

$$I = \frac{4 \text{ cm} * 600}{10 \text{ min}} = 240 \text{ mm/h}$$

Conductancia hidráulica

**Datos: h:** 160mm; **r:** 150 mm; **L:** 160mm; **h1:**160mm; **h2:**300 mm.

$$K = \frac{60 \text{ mm/h} + 120 \text{ mm/h} + 120 \text{ mm/h}}{3} = 100 \text{ mm/h}$$

$$A = 2 * 3.1416 * 150 \text{ mm/h} * (160\text{mm} + 150\text{mm}) = 292168.8 \text{ mm}^2$$

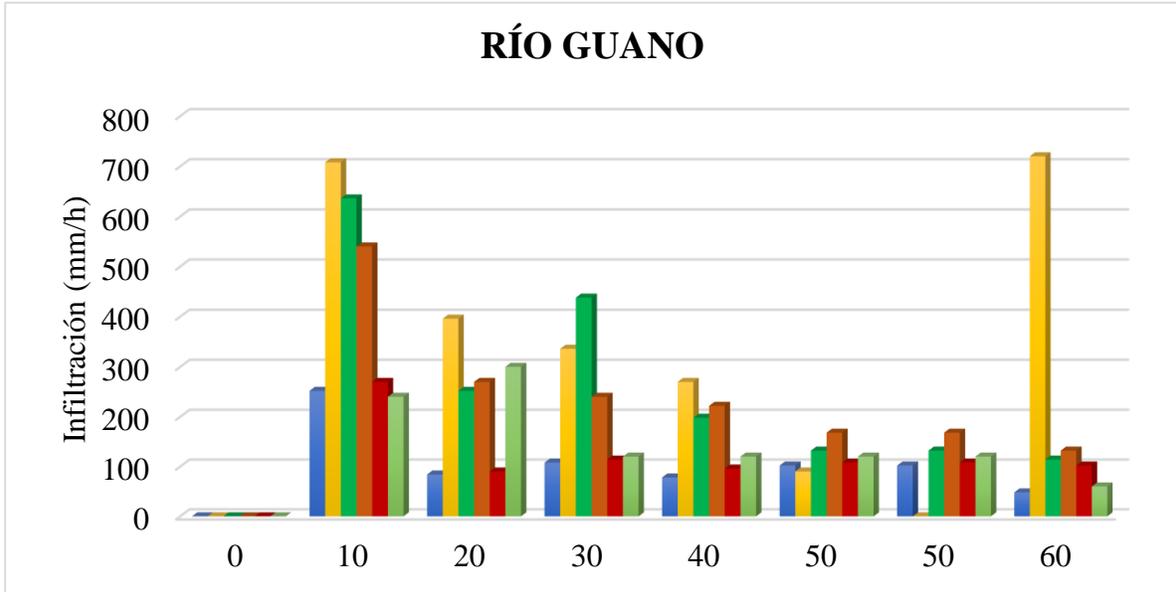
$$C = \frac{100 \text{ mm/h} * 292168.8 \text{ mm}^2}{160\text{mm}} = 182605.5 \text{ mm}^2/\text{h} \approx 0.183 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$Q = 182605.5 \text{ mm}^2/\text{h} * (300\text{mm} - 160\text{mm}) = 25564770 \text{ mm}^3/\text{h} \approx 0.026 \text{ m}^3/\text{h}$$

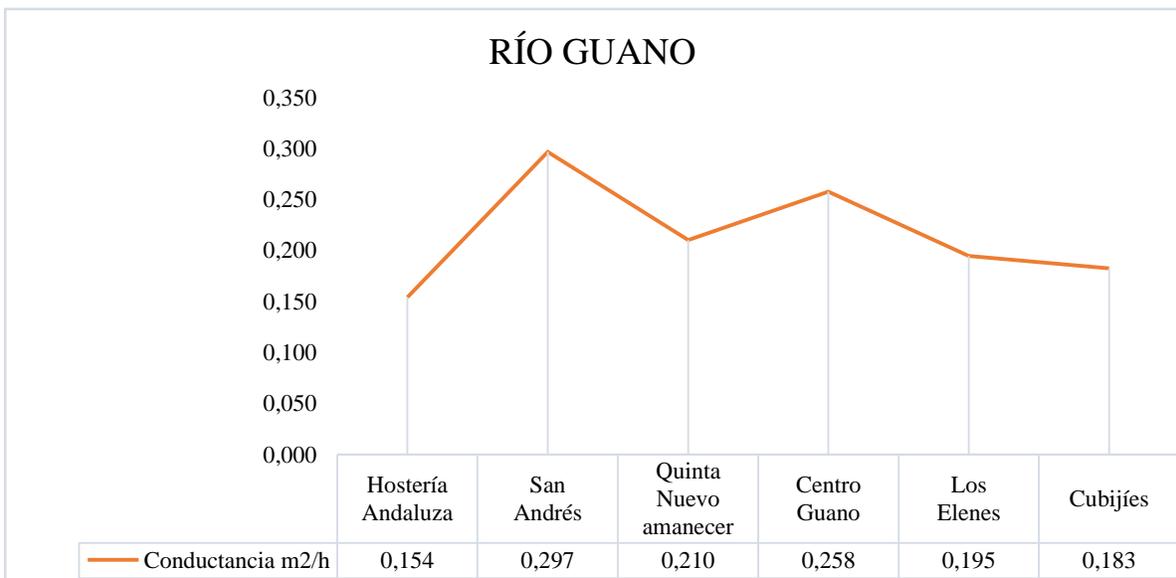
### **Análisis de la conductancia hidráulica entre el río Guano y el acuífero**

Los cálculos de velocidad de infiltración nos demuestran que en el sector de San Andrés existió mayor infiltración pues a los 50 minutos se vació por completo el equipo como se ve en la **Figura 10** por lo que se rellenó al infiltrómetro nuevamente, por esa razón es que en el minuto 60 muestra un valor alto, y en comparación a la (**Anexo 3; Figura 21**) curva de infiltración según la textura del suelo da como resultado que el suelo del lugar presenta una textura arenosa franco lo cual indica que tiene alta permeabilidad y poca retención del agua, lo cual concuerda con los resultados obtenidos de conductancia hidráulica cuyo valor es  $0.297 \text{ m}^2/\text{h}$  (**Figura 11**) con un caudal de  $0.125 \text{ m}^3/\text{h}$ , donde en este sitio el río está aportando al acuífero, lo cual está sometido a variaciones de las condiciones meteorológicas.

En el sector de la Hostería Andaluza se registraron los valores más bajos de infiltración **Figura 10**, donde su velocidad de infiltración según la textura del suelo (**Anexo 3; Figura 21**), este lugar presenta un suelo de tipo franco limoso por lo cual tiene una baja permeabilidad y baja aireación representando dificultad la infiltración, lo cual concuerda con los resultados obtenidos de conductancia hidráulica cuyo valor es  $0.154 \text{ m}^2/\text{h}$  (**Figura 11**) con un caudal de  $0.017 \text{ m}^3/\text{h}$ , por ello se presume que en el lugar existe aporte del acuífero hacia el río, lo cual está sometido a variaciones de las condiciones meteorológicas.



**Figura 10:** Comportamiento Velocidad de infiltración en el río Guano  
 Autor: Dayana Tipán C.



**Figura 11:** Representación Conductancia hidráulica del río Guano  
 Autor: Dayana Tipán C.

#### 5.4. Zonas de inundación en la microcuenca del río Guano.

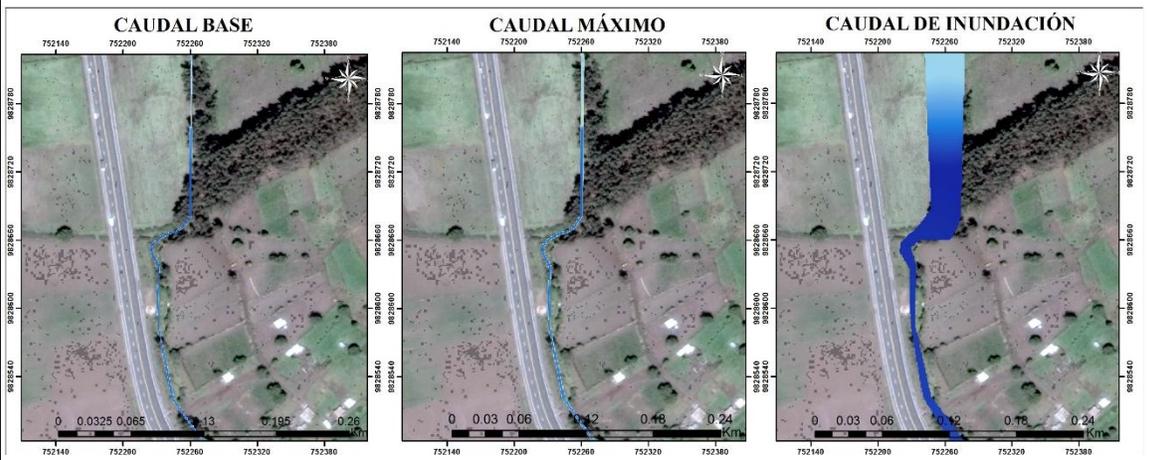
A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir del modelo HEC-RAS, donde se adjuntan en la **Figura 12** los mapas que representan el cauce con sus diferentes perfiles hídricos.

En la simulación del caudal base, en la parte alta de la microcuenca presenta un caudal de  $0.32 \text{ m}^3/\text{s}$ , en la parte media la cantidad de agua tiende a reducirse a  $0.031 \text{ m}^3/\text{s}$  y en la parte baja aumenta nuevamente el caudal debido a los aportes que recibe el río de diferentes quebradas a  $1.05 \text{ m}^3/\text{s}$ . Donde la lámina de agua sube a un máximo de  $0.67 \text{ m}$  para el caudal base.

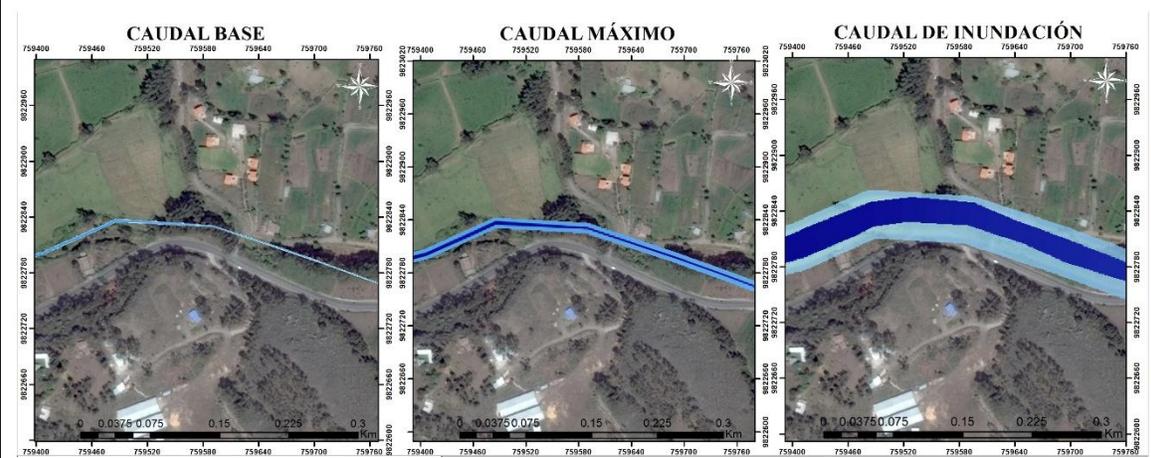
Con relación al caudal máximo en la microcuenca, la parte alta cuenta con un caudal de  $0.93 \text{ m}^3/\text{s}$ , en la parte media el caudal baja nuevamente a  $0.71 \text{ m}^3/\text{s}$ , para nuevamente elevarse en la parte baja desemboca con un caudal de  $2.14 \text{ m}^3/\text{s}$ , cuya lámina de agua llega a una altura de  $1.45 \text{ m}$ .

El caudal de inundación presenta un periodo de retorno de inundación de 8 años el cual necesita un tiempo pico aproximado de 4 horas para llegar al caudal de inundación para toda la microcuenca de  $50,26 \text{ m}^3/\text{s}$ , en caso que la precipitación efectiva sea de  $2,54 \text{ mm}/\text{día}$ ; en la parte alta sector de la Hostería Andaluza (**Anexo 4; Figura 22**) se evidencia los primeros desbordamientos del río por la parte derecha donde la lámina de agua puede alcanzar los  $10 \text{ m}$ , en la parte media (**Anexo 4; Figura 23**) en cambio el río sobrepasa los bancos hacia ambas direcciones llegando hasta  $6 \text{ metros}$  por cada lado pues en estos sectores existen varias parcelas agrícolas y ganado, en la parte baja cuando desemboca en el río Chambo (**Anexo 4; Figura 24**) la lámina de agua inunda aproximadamente  $14 \text{ m}$  en ambas direcciones derecha e izquierda, pues este sector existen pendientes no tan pronunciadas junto al río. La profundidad máxima del caudal de inundación es de  $3,09 \text{ m}$ .

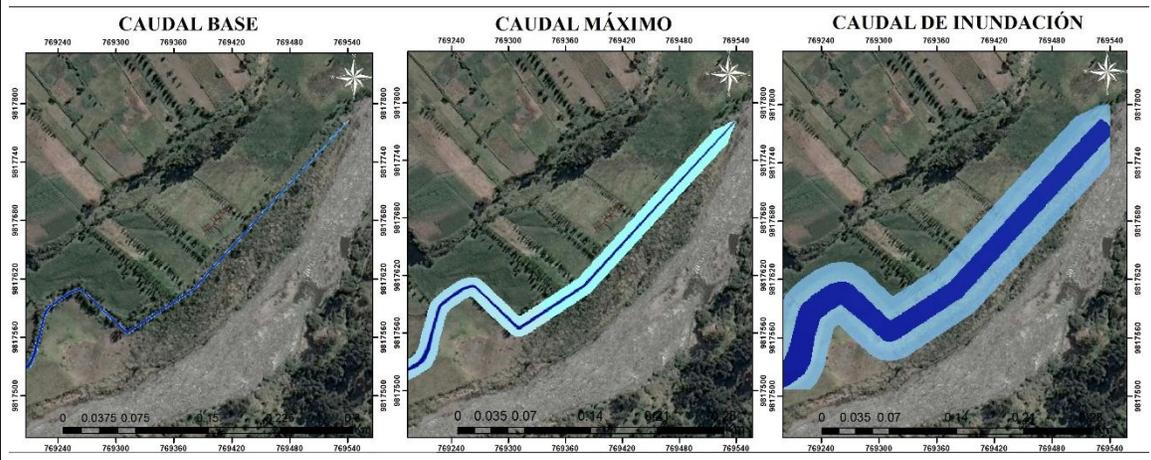
## SIMULACIÓN PARTE ALTA



## SIMULACIÓN PARTE MEDIA



## SIMULACIÓN PARTE BAJA



**Figura 12:** Simulación de las zonas de inundación en la microcuenca del río Guano  
 Autor: Dayana Tipán C.

Con la subida del nivel de agua dentro de la microcuenca varias áreas se han visto afectadas a lo largo del río, según el uso de suelo (**Tabla 2**) han sido identificados 3 grandes áreas, de la cual la principal afectada son las áreas usadas para cultivo de ciclo corto que abarca gran parte del río tanto en la zona alta, media y baja con 50.17(ha), que representa el 70.9%, seguido de los cultivo de ciclo corto – áreas erosionadas que está en la zona media y parte de la desembocadura con un porcentaje de 14.7%, y los pastos plantados con 14.4% la cual se encuentra en la zona alta y también en la desembocadura.

**Tabla 2:** Áreas afectadas por inundación en la microcuenca del río Guano

<b>Uso de suelo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
Cultivos de ciclo corto	50.17	70.9 %
Cultivos de ciclo corto - Áreas erosionadas	10.37	14.7 %
Pastos plantados	10.21	14.4 %
<b>Suma Total</b>	<b>70.8</b>	<b>100.0 %</b>

*Autor: Dayana Tipán C.*

## 6. CONCLUSIONES

- Gracias a los Sistemas de Información Geográfica se pudo obtener resultados acerca de la geomorfología de la microcuenca, donde sus características indican que su tamaño es de tipo intermedio a pequeño, su perfil es maduro según la curva tipo B que presenta estabilización en procesos erosivos, cuyo factor de forma es ensanchado lo que significa que es más susceptible a generar crecidas donde el tiempo de recorrido del agua en la microcuenca es más corto y por tal motivo existe mayor rapidez para la concentración del flujo del río, lo cual generará crecidas violentas.
- La temperatura en la microcuenca se ha incrementado durante los periodos de estudio, dado que el primero presenta un valor máximo de 14,58°C, en el segundo periodo su valor máximo es 16,01°C ambos periodos coinciden en el mes de noviembre; en cambio, en el tercer periodo sube al valor de 16,31°C en el mes de octubre, esto nos indica que hacia los primeros meses desde enero hasta agosto la temperatura es baja y en los últimos meses de septiembre a diciembre se eleva, esto relacionado con la precipitación muestra que la época lluviosa se da en los primeros meses siendo el mes de abril el de mayor precipitación (68,8mm), mientras los últimos meses presentan la época seca en el cual septiembre se dan menos lluvias (27,91mm), esto

nos demuestra que la microcuenca es biestacional es decir que la época de estiaje y lluviosa están bien marcadas. Así también la precipitación en conjunto con las características de la microcuenca como textura, uso de suelo y cobertura vegetal, nos permitió evaluar el comportamiento de los procesos hidrológicos, como la escorrentía que durante el mes de abril obtuvo el valor de 24,76mm, que en contraste a la evapotranspiración de 5,9mm nos indica que la mayor parte de la precipitación forma parte de la reserva hídrica con un valor de 43,6mm puesto que en la mayor parte de la superficie de la microcuenca se encuentra cubierta por cultivos u pastos que permiten dicha retención de agua en el suelo evitando de esta manera la acción de la infiltración.

- La conductancia hidráulica cuantifica la interacción del agua superficial y subterránea con el fin de conocer el comportamiento que tiene el flujo del río con el acuífero, en el río Guano en el punto inicial de la Hostería Andaluza existe el valor más bajo de conductancia con  $0.154 \text{ m}^2/\text{h}$  con un caudal de  $0.017 \text{ m}^3/\text{h}$  debido a que el tipo de suelo que se presenta en la zona es franco limoso lo que significa que en este punto existe aporte del acuífero hacia el río el cual mantiene el caudal base en época de estiaje, en cambio en el sector de San Andrés existe mayor conductancia que los demás puntos pues su valor es  $0.297 \text{ m}^2/\text{h}$  con un caudal de  $0.125 \text{ m}^3/\text{h}$ , su tipo de suelo es más arenoso lo cual indica que existe mayor infiltración y poca retención de agua por lo cual el río es el que aporta hacia el acuífero, además al analizar los demás puntos se observa que hacia la parte baja de la microcuenca el acuífero aporta al caudal base del río.
- La modelación del río Guano en diferentes escenarios simulados nos permite conocer el comportamiento hidráulico del río en diferentes temporadas, en época de estiaje la profundidad de la lámina de agua llega a 0.67m y en época invernal llega hasta 1.45m. Los resultados obtenidos en condiciones de inundación permiten identificar los sitios afectados cuando las condiciones climáticas son extremas, en la microcuenca son las zonas de cultivo de ciclo corto las cuales se encuentran distribuidas a lo largo del río en un 70.9%, además el río pasa por el centro de la ciudad de Guano donde influye gravemente en las viviendas ubicadas cerca a este las cuales pueden verse afectadas

por la crecida del río si no se maneja algún plan de emergencia ante eventos catastróficos.

## 7. RECOMENDACIONES

- Para fines de la obtención de datos de caudales en el río se recomienda la instalación de una estación hidrométrica.
- Seguir este tipo de estudios pues permitirá establecer criterios para la planificación del aprovechamiento sostenible del agua.
- Dado el carácter de investigación y de uso docente de la cuenca, se hace necesario mejorar la instrumentación hidrológica, así como actualizar la información de suelos y vegetación.
- Los modelos de simulación sean previamente evaluados en términos de la precisión, órdenes de magnitud o tendencias de sus estimaciones para el procesamiento de datos y obtención de resultados.
- Para mejorar el abastecimiento de agua de la cuenca, es necesario elaborar y poner en ejecución un plan eficiente de control de inundaciones que permita su prevención en las zonas identificadas con alto riesgo.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

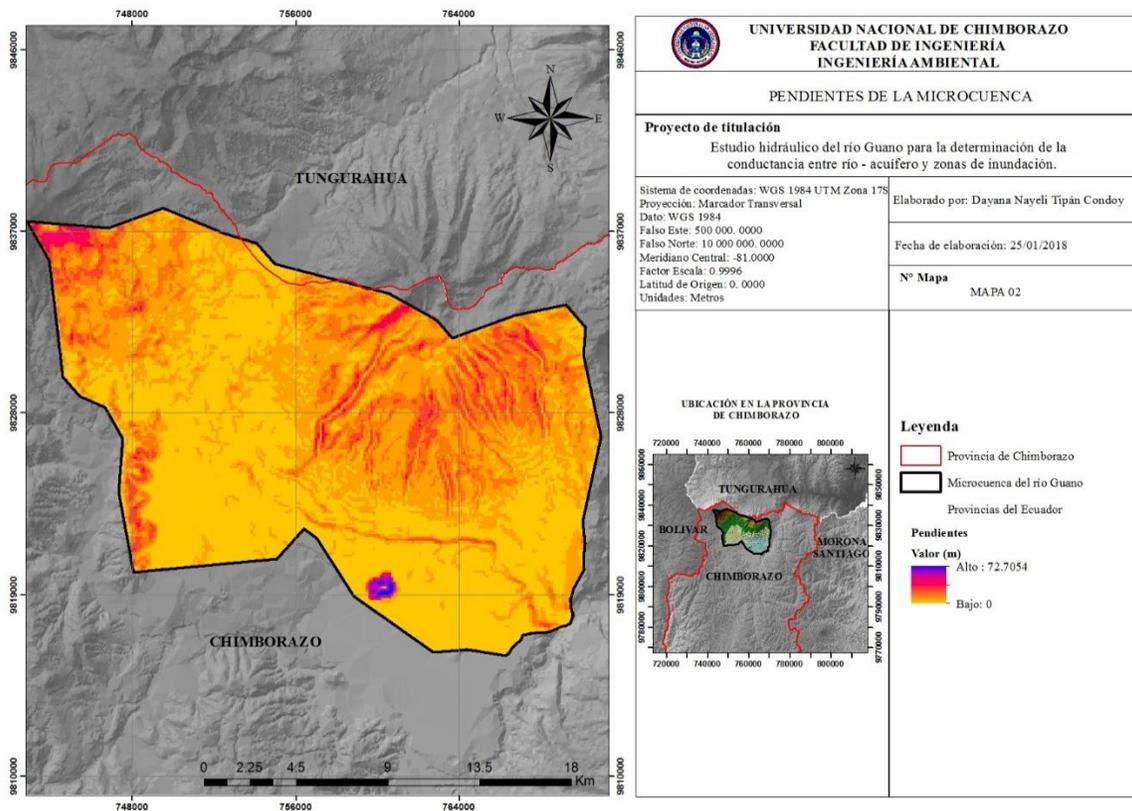
- Antamba, C., & Cabrera, A. (2015). Obtenido de Arrastre de sedimentos pluviales en meandros: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4430/1/T-UCE-0011-166.pdf>
- Barbecho, J., & Calle, J. (2012). En *Caracterización de la conductividad hidráulica de los suelos de la subcuenca del río Tarqui*. Cuenca, Ecuador.
- Caizaluisa, A., & López, M. B. (Mayo de 2012). *Formulación de la propuesta del plan de ordenamiento territorial (POT) del cantón Guano, provincia de Chimborazo mediante el uso de herramientas SIG*. Obtenido de Escuela Politécnica del Ejército: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5310/1/T-ESPE-033286.pdf>
- Calderón, D. (2012). *Modelación conjunta de recursos hídricos superficiales y subterráneos*. México.
- Campos, D. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana*. San Luis Potosí: Libre.
- Centeno, M. (2015). *Análisis Hidrológico - Hidráulico para los puentes en zonas de inundación generadas por el proyecto "Pacalori"*. Cuenca.
- Cevallos, C. (2015). *Caracterización de la calidad hídrica de la microcuenca del río Guano*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Coello, W. (2011). *Análisis comparativo de la vulnerabilidad del acuífero norte de Quito*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Cordero, I. (2013). *Evaluación de la gestión territorial de la cuenca del río Paute, estrategias y líneas de acción para superarlas*. Cuenca, Ecuador.

- GAD. Provincial de Chimborazo. (2009). Estudio y Plan de Mitigación sobre la Contaminación del Río Guano, Cantón Guano, Provincia de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.: Imprenta Gutemberg.
- GAD'S; Banco del Estado; SNGR. (Marzo de 2010). *Programa de Financiamiento para Gestión de Riesgos*. Obtenido de Banco del Estado, Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo: <http://www.bde.fin.ec/sites/default/files/u1/Planes/Documento%20conceptual%20GESTI%C3%A0N%20DE%20RIESGOS.pdf>
- HISPAGUA. (2009). Obtenido de Tipos de acuíferos según su estructura y funcionamiento (libre/confinado): <http://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia>
- Ibañez, S., Moreno, H., & Blanquer, J. (2008). *Características del infiltrómetro de doble anillo*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7840/AD%20Infiltrometro.pdf>
- Mendoza, B. (2015). "Characterization of real aquifers using hydrogeophysical measurements. An application to the Chambo aquifer (Ecuador)". En *Tesis doctoral*. Universidad de la Calabria, Italia.
- Mendoza, B. (2015). Estudio del acuífero del Chambo (EC) mediante interpretación geológica, geofísica y matemática. *Researchgate*.
- Naranjo, L. (2013). Caracterización hidrogeológica de la subcuenca del río Chambo. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Niño, K. (Noviembre de 2012). *Análisis para la gestión del riesgo de inundaciones en Bogotá: Un enfoque desde la construcción social del riesgo*. Obtenido de Pontificia Universidad Javeriana: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/15414/Ni%C3%B1oFierroKarenNatalia2012.pdf?sequence=1>
- Olmos, L., Reuter, F., Pílan, M., Farias, H. D., Acosta, C., & Miranda, M. (2011). Estudio Batimétrico de un embalse de montaña de morfología compleja. Cabra Corral, Salta. Santiago del Estero, Argentina. . Obtenido de [http://irh-fce.unse.edu.ar/R11/TC/TC\\_B26\\_Olmos\\_et\\_al\\_Batimetrias\\_Embalses.pdf](http://irh-fce.unse.edu.ar/R11/TC/TC_B26_Olmos_et_al_Batimetrias_Embalses.pdf)
- Osorio, M., & Santillán, P. (2010). Estudio de los efluentes, afluentes y su influencia en la calidad del agua en la microcuenca del río Guano. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Peralta, A., & López, E. (Marzo de 2012). *Los Acuíferos de nuestro país: un tesoro para las generaciones venideras*. Obtenido de [http://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2013/12/12CyT\\_06losacuiferos.pdf](http://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2013/12/12CyT_06losacuiferos.pdf)
- Reynosa, N. (2014). Recursos hídricos superficiales. En *Diagnóstico de suelos y aguas superficiales de la subcuenca el Río Waswalí, Matagalpa, Nicaragua*. Managua, Nicaragua.
- Rodríguez, H. (2012). *Inundaciones en zonas urbanas. Medidas preventivas y correctivas, acciones estructurales y no estructurales*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5281/Tesis.pdf?sequence=1>
- Romo, S. (2015). *Estimación del riesgo por inundación en la ribera del río Mulato*. Mocoa.
- Sánchez, J. (2013). *Elaboración de mapas tipo atlas de las zonas de riesgo de inundación del sector urbano de Cuenca*. Obtenido de Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4418/1/TESIS.pdf>
- Silva, O. (October de 2015). *Evaluación del Impacto de Cambios de Cobertura Vegetal en la Producción de Agua de la Cuenca del Río Güey*. doi:10.13140

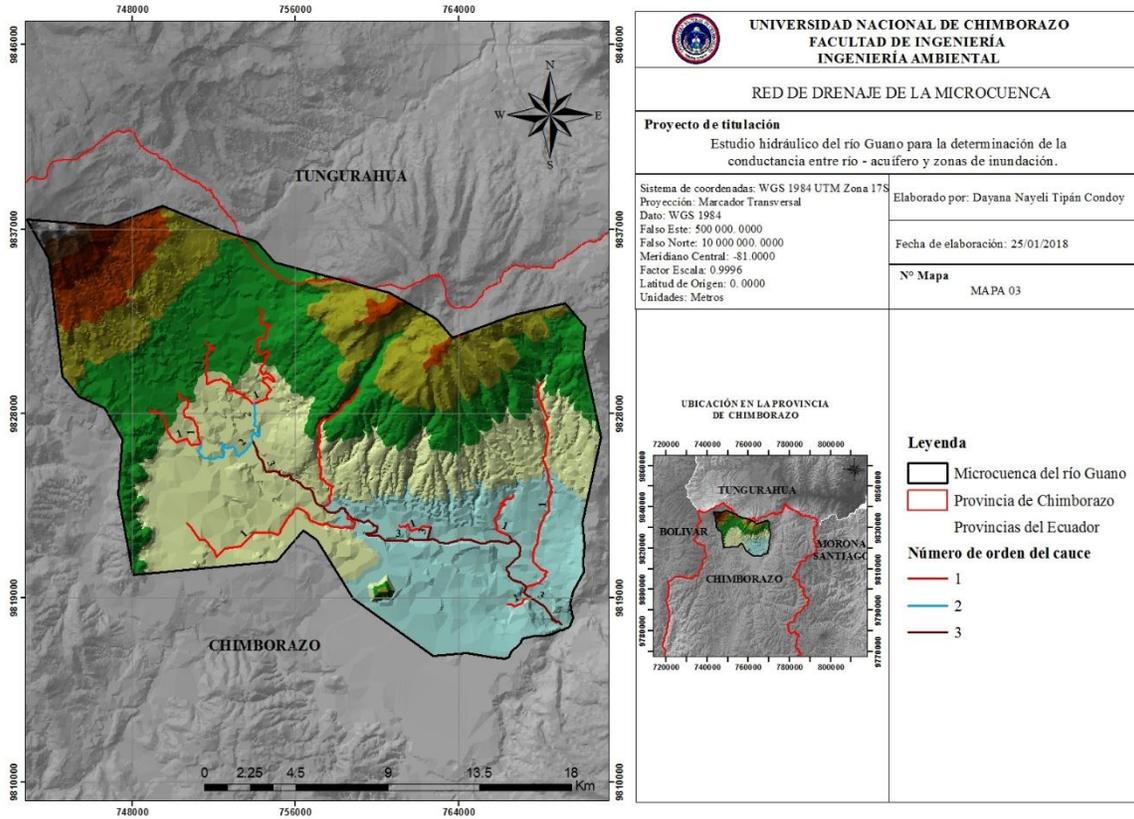
- Simpson, S. C., & Meixner, T. (15 de Febrero de 2012). *Modeling effects of floods on streambed hydraulic conductivity and groundwater-surface water interactions*. doi:10.1029/2011WR011022
- Solano, T., & Vintimilla, N. (2013). Estudio fluviomorfológico del río Vinces y determinación de las áreas de inundación de la zona de influencia del proyecto Pacalori aplicando Hec-Georas. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Torres, E., & González, E. (28 de Agosto de 2014). *APLICACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA HEC-RAS*. Obtenido de <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista10/articulos/aplicaci%C3%B3n-del-modelo-de-simulacion-hidr%C3%A1ulica-hec-ras.pdf>
- Torres, E., & Eulises, G. (2013). Aplicación del modelo de simulación hidráulica Hec-Ras para la emisión de pronósticos hidrológicos de inundaciones en tiempo real, en la cuenca media del río Bogotá - sector Alicachin. Bogotá.
- Torrico, M. (2011). *Determinación de balances hídricos en microcuencas y subcuencas*. Cochabamba.
- Vega, L. (20 de Julio de 2012). *Balace Hidrológico*. Obtenido de <http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/lvega/ARCHIVOS/BALANCE.htm>
- Villodas, R. (2008). *La hidrología, el ciclo hidrológico*. Obtenido de Ciclo hidrológico: <https://es.slideshare.net/rubenfloresyucra5/libro-hidrologa-54971454>
- Villón, M. (2011). *Hidrología*. Perú- Lima: Villón.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Anexo 1. Geomorfología



**Figura 13:** Pendientes de la microcuenca del río Guano  
**Autor:** Dayana Tipán C



**Figura 14: Red de drenaje de la microcuenca del río Guano**  
**Autor: Dayana Tipán C**

## 9.2. Anexo 2. Balance hídrico

**Tabla 3: Estaciones meteorológicas cercanas a la microcuenca del río Guano**

CÓDIGO	ESTACIONES	X	Y	ALTURA
M029	BAÑOS	787314	9846052	1695
M031	CANAR	728467	9717724	3083
M1069	CALAMACA CONVENIO INAMHI HCPT	742705	9858860	3440
M126	PATATE	776958	9869605	2220
M127	PILLARO	771629	9870315	2793
M128	PEDRO FERMIN	765394	9850377	2910
M130	CHILLANES	715176	9781147	2330
M133	GUASLAN	761698	9808190	2850
M136	CHUNCHI	731106	9748469	2177
M137	BIBLIAN	734157	9700012	2640
M243	PUNGALES	770748	9824835	2550
M258	QUEROCHACA	766205	9848380	2865

*Fuente: (INAMHI, 2015)*

**Tabla 4: Temperatura media mensual (°C)**

ESTACIONES	PERIODOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
BAÑOS	Primero (1990-1998)	18.2	18.1	18.2	18.2	17.8	17.1	16.5	16.7	17.9	18.1	18.6	18.6
	Segundo (1999-2006)	18.2	17.8	18.0	18.1	17.6	16.7	17.4	16.5	17.6	18.5	18.6	18.5
	Tercer (2007-2014)	18.0	18.0	18.2	18.3	18.0	17.1	16.8	17.0	17.6	18.6	18.9	18.5
CAÑAR	Primero (1990-1998)	11.7	11.7	11.8	12.1	12.1	12.0	11.0	11.1	11.9	11.8	11.6	11.8
	Segundo (1999-2006)	11.8	11.8	12.0	12.3	12.5	12.0	11.7	11.6	12.2	12.3	12.2	12.1
	Tercer (2007-2014)	11.7	11.5	12.0	11.8	12.1	11.9	11.6	11.5	11.9	12.0	11.8	11.6
PATATE	Primero (1990-1998)	14.5	16.1	16.1	16.2	15.7	15.0	14.4	14.2	15.2	14.8	16.9	16.8
	Segundo (1999-2006)	13.8	15.7	15.4	15.4	15.3	14.7	14.5	14.4	14.7	10.2	16.4	16.0
	Tercer (2007-2014)	14.3	18.4	15.8	17.1	15.6	14.4	17.5	17.0	16.2	11.1	17.4	18.6
PILLARO	Primero (1990-1998)	10.8	10.6	9.2	10.5	11.9	11.3	10.7	10.7	11.6	12.0	10.9	12.7
	Segundo (1999-2006)	13.5	13.6	13.4	13.5	13.3	9.2	10.9	9.3	9.9	11.9	11.9	10.3
	Tercer (2007-2014)	13.9	13.6	15.0	15.5	14.2	13.5	13.5	14.5	11.2	11.5	12.4	12.2
PEDRO FERMIN	Primero (1990-1998)	13.1	13.1	13.3	13.3	13.0	12.2	11.2	11.2	12.2	12.9	13.6	13.5
	Segundo (1999-2006)	13.2	13.0	12.9	13.0	12.9	11.8	11.5	11.5	12.2	13.0	13.5	13.5
	Tercer (2007-2014)	13.2	13.3	13.3	13.2	13.0	12.1	11.7	11.6	12.0	13.4	13.9	13.6
CHILLANES	Primero (1990-1998)	13.9	14.2	14.2	14.3	14.2	13.9	13.7	14.1	14.2	14.2	14.4	14.4
	Segundo (1999-2006)	14.2	14.2	14.6	14.6	14.4	13.7	13.3	13.8	13.9	14.1	14.2	14.2
	Tercer (2007-2014)	13.6	13.8	14.0	14.2	14.0	13.2	12.9	12.9	13.1	13.7	13.8	13.6
GUASLAN	Primero (1990-1998)	13.2	13.2	13.1	13.2	13.0	12.7	10.7	10.7	12.7	11.4	13.0	13.1
	Segundo (1999-2006)	11.6	13.6	11.9	13.4	9.9	11.3	12.7	12.2	12.7	11.6	13.5	11.9
	Tercer (2007-2014)	14.9	18.1	16.4	15.3	15.6	10.7	13.7	13.1	15.9	14.3	13.0	14.1
CHUNCHI	Primero (1990-1998)	13.9	13.9	14.1	14.2	14.5	14.6	14.6	12.8	12.8	11.2	11.0	10.8
	Segundo (1999-2006)	14.4	14.3	14.2	16.3	16.5	16.5	16.3	16.9	15.0	15.2	15.2	16.9
	Tercer (2007-2014)	14.3	15.8	14.9	13.1	14.8	14.9	15.3	15.5	17.0	16.8	13.9	16.2
BIBLIAN	Primero (1990-1998)	15.1	15.0	15.2	15.1	14.8	14.0	12.9	13.1	14.0	14.6	15.0	15.2
	Segundo (1999-2006)	15.2	15.0	15.0	15.0	14.7	13.9	13.4	13.4	13.9	14.5	14.9	15.2
	Tercer (2007-2014)	14.8	14.8	14.7	14.7	14.4	13.7	13.2	13.1	13.7	14.5	15.1	14.8
PUNGALES	Primero (1990-1998)	15.8	15.2	15.3	15.1	15.1	14.6	13.7	13.7	16.7	15.5	16.0	15.9
	Segundo (1999-2006)	16.6	16.0	16.3	16.1	15.9	16.0	15.6	15.2	16.2	16.9	18.5	17.9
	Tercer (2007-2014)	17.1	16.9	16.5	16.2	15.6	16.2	16.4	15.9	18.0	19.1	18.6	17.0
QUEROCHACA	Primero (1990-1998)	13.3	13.3	13.4	13.4	12.9	12.1	11.1	11.1	12.2	13.1	13.8	13.7
	Segundo (1999-2006)	13.3	13.1	13.0	13.0	12.8	11.8	11.5	11.3	12.2	13.2	13.6	13.5
	Tercer (2007-2014)	12.9	15.0	13.0	14.1	12.7	11.5	13.4	13.2	13.0	15.2	14.1	15.3
CALAMACA	Primero (1990-1998)	9.6	9.2	9.9	9.6	9.5	9.3	7.7	7.6	8.5	6.3	9.9	9.1
	Segundo (1999-2006)	9.5	9.2	9.4	9.6	9.4	8.9	8.7	8.4	9.0	9.2	9.5	9.3
	Tercer (2007-2014)	9.5	9.5	9.5	9.5	9.4	8.7	8.3	8.1	8.1	9.3	9.6	9.6

*Autor: Dayana Tipán C*

**Tabla 5: Precipitación media mensual (mm).**

ESTACIONES	PERIODOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
BAÑOS	Primero (1990-1998)	48.8	66.7	84.3	135.3	141.0	191.8	212.4	137.6	95.1	79.0	82.6	73.5
	Segundo (1999-2006)	57.6	95.3	158.1	106.0	109.3	200.0	136.0	135.3	119.1	70.9	70.3	103.5
	Tercer (2007-2014)	75.9	50.9	78.4	113.2	150.1	176.3	168.1	137.8	93.9	68.2	64.5	67.8
CAÑAR	Primero (1990-1998)	11.7	11.7	11.8	12.1	12.1	12.0	11.0	11.1	11.9	11.8	11.6	11.8
	Segundo (1999-2006)	11.8	11.8	12.0	12.3	12.5	12.0	11.7	11.6	12.2	12.3	12.2	12.1
	Tercer (2007-2014)	11.7	11.5	12.0	11.8	12.1	11.9	11.6	11.5	11.9	12.0	11.8	11.6
PATATE	Primero (1990-1998)	30.8	37.2	51.6	53.6	59.8	64.3	80.3	46.4	33.9	48.6	59.4	30.5
	Segundo (1999-2006)	26.6	47.6	64.6	64.0	76.9	91.8	35.5	50.2	46.2	29.0	28.8	63.3
	Tercer (2007-2014)	38.6	43.3	52.2	79.0	82.8	80.8	67.3	60.2	40.1	60.9	40.1	50.6
PILLARO	Primero (1990-1998)	32.5	47.9	46.0	52.4	46.7	38.0	30.8	22.7	25.3	44.3	45.8	30.1
	Segundo (1999-2006)	26.4	37.4	38.5	51.2	51.1	57.4	23.9	17.2	22.3	17.7	19.6	27.8
	Tercer (2007-2014)	23.7	56.4	34.0	43.9	61.7	47.3	30.5	31.0	24.0	31.9	46.9	46.4
PEDRO FERMIN	Primero (1990-1998)	25.9	30.6	41.0	52.3	54.5	47.8	52.6	40.7	23.6	37.6	51.4	24.3
	Segundo (1999-2006)	30.5	49.8	55.9	62.5	66.4	66.5	24.5	32.6	32.6	31.6	40.1	53.0
	Tercer (2007-2014)	34.2	37.8	45.2	90.7	82.5	74.9	47.8	42.1	32.5	49.5	41.6	39.8
CHILLANES	Primero (1990-1998)	13.9	14.2	14.2	14.3	14.2	13.9	13.7	14.1	14.2	14.2	14.4	14.4
	Segundo (1999-2006)	14.2	14.2	14.6	14.6	14.4	13.7	13.3	13.8	13.9	14.1	14.2	14.2
	Tercer (2007-2014)	13.6	13.8	14.0	14.2	14.0	13.2	12.9	12.9	13.1	13.7	13.8	13.6
GUASLAN	Primero (1990-1998)	31.2	56.0	78.6	86.3	61.3	38.3	27.8	15.1	23.0	62.9	49.1	37.5
	Segundo (1999-2006)	40.2	54.1	73.1	89.5	88.0	57.1	19.0	21.2	25.3	28.9	44.2	37.5
	Tercer (2007-2014)	50.3	62.1	61.7	78.0	48.6	49.3	29.9	31.6	24.0	68.6	62.4	47.1
CHUNCHI	Primero (1990-1998)	44.1	54.4	78.1	68.4	35.3	9.4	1.6	1.7	6.0	12.9	20.2	34.1
	Segundo (1999-2006)	22.2	66.3	88.0	82.4	31.5	24.4	7.3	6.1	11.5	14.6	21.2	43.5
	Tercer (2007-2014)	83.0	101.4	97.6	97.1	44.4	20.0	8.9	9.1	13.6	19.5	27.0	41.1
BIBLIAN	Primero (1990-1998)	15.1	15.0	15.2	15.1	14.8	14.0	12.9	13.1	14.0	14.6	15.0	15.2
	Segundo (1999-2006)	15.2	15.0	15.0	15.0	14.7	13.9	13.4	13.4	13.9	14.5	14.9	15.2
	Tercer (2007-2014)	14.8	14.8	14.7	14.7	14.4	13.7	13.2	13.1	13.7	14.5	15.1	14.8
PUNGALES	Primero (1990-1998)	46.5	43.9	62.6	67.4	54.7	49.9	35.7	19.5	26.1	41.2	50.4	37.4
	Segundo (1999-2006)	34.0	29.1	43.2	42.0	43.2	34.2	15.0	6.4	19.3	54.1	33.0	67.6
	Tercer (2007-2014)	40.4	27.4	45.0	58.1	41.5	29.5	22.9	14.9	19.4	46.6	38.6	33.8
QUEROCHACA	Primero (1990-1998)	31.7	37.1	47.0	64.0	59.8	60.5	66.2	41.5	26.6	41.8	55.6	28.8
	Segundo (1999-2006)	32.7	52.0	57.7	65.3	72.3	76.0	36.0	35.2	38.1	34.9	41.8	54.7
	Tercer (2007-2014)	42.3	41.9	52.3	88.6	73.0	86.2	61.5	55.0	39.4	40.5	42.5	42.8
CALAMACA	Primero (1990-1998)	63.0	72.7	109.7	55.3	64.7	53.0	108.0	51.1	27.7	59.0	64.2	46.1
	Segundo (1999-2006)	41.0	59.6	71.4	73.6	68.6	71.0	43.3	43.5	41.1	31.0	44.2	63.9
	Tercer (2007-2014)	71.8	59.4	76.1	81.8	75.1	106.3	85.2	59.9	44.6	49.4	54.1	72.5

*Autor: Dayana Tipán C.*

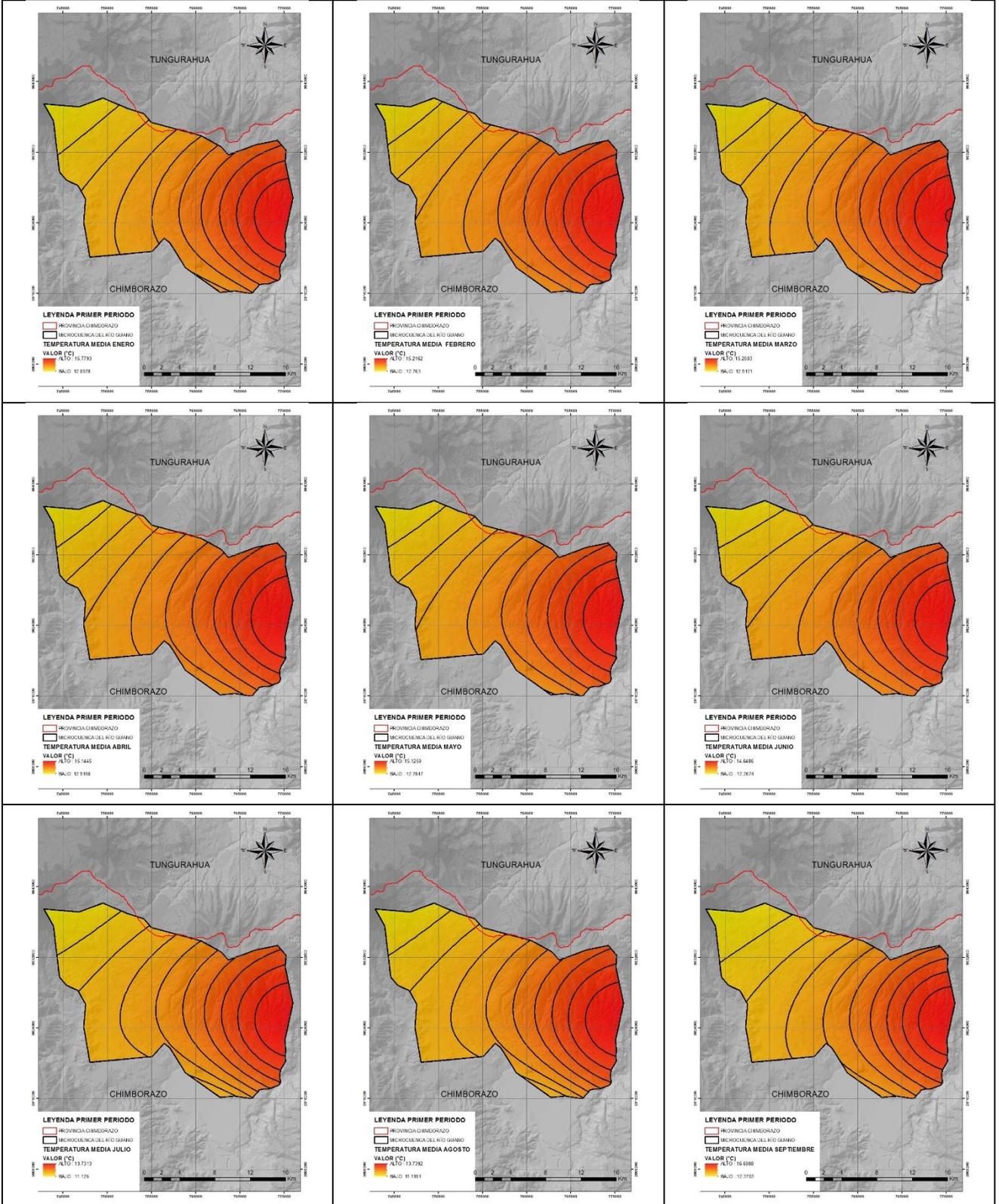
**Tabla 6:** Evapotranspiración media mensual (mm/mes).

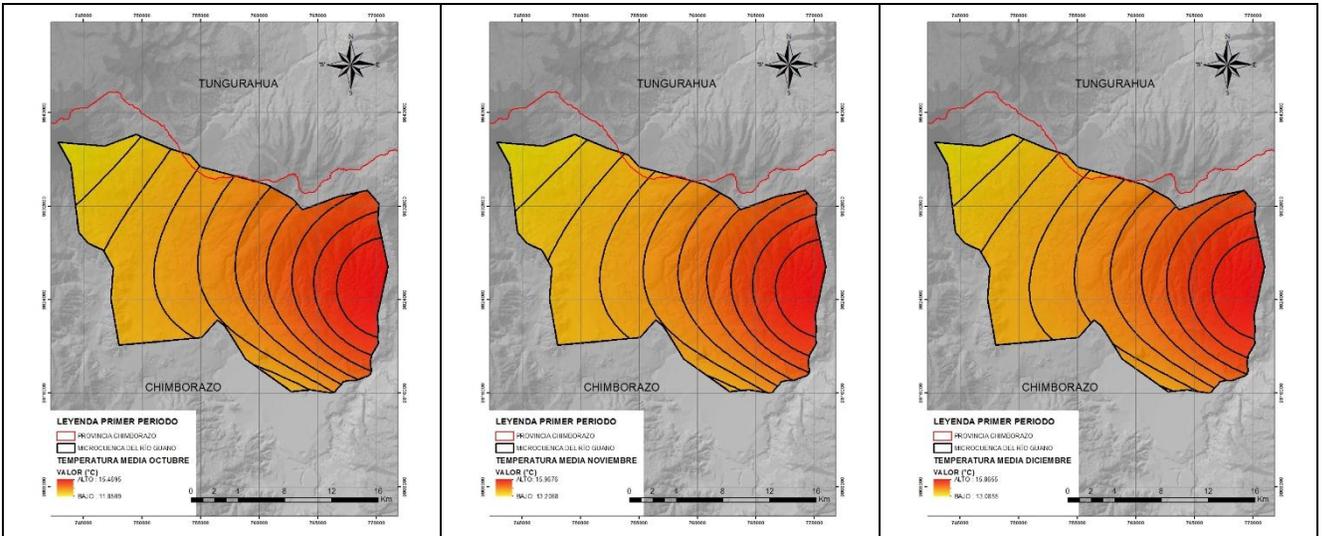
ESTACIÓN	PERIODO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
BAÑOS	Primero (1990-1998)	7.0	6.3	7.1	6.9	6.8	6.1	5.9	6.0	6.7	7.0	7.1	7.4
	Segundo (1999-2006)	7.1	6.1	7.0	6.8	6.7	5.9	6.5	5.9	6.4	7.3	7.1	7.3
	Tercer (2007-2014)	6.9	6.2	7.0	6.9	6.9	6.1	6.1	6.2	6.4	7.3	7.3	7.2
CAÑAR	Primero (1990-1998)	5.4	4.8	5.4	5.4	5.6	5.3	5.0	5.0	5.3	5.4	5.1	5.4
	Segundo (1999-2006)	5.3	4.8	5.4	5.4	5.6	5.2	5.3	5.2	5.3	5.6	5.3	5.5
	Tercer (2007-2014)	5.3	4.7	5.5	5.3	5.6	5.3	5.3	5.2	5.3	5.5	5.2	5.3
PATATE	Primero (1990-1998)	5.5	5.9	6.5	6.3	6.3	5.7	5.5	5.4	5.8	5.7	6.8	6.9
	Segundo (1999-2006)	5.4	5.9	6.4	6.1	6.3	5.8	5.8	5.7	5.8	3.5	6.7	6.7
	Tercer (2007-2014)	5.2	7.0	6.0	6.7	5.9	5.1	7.1	6.9	6.1	3.4	6.9	7.9
PILLARO	Primero (1990-1998)	5.1	4.5	4.3	4.8	5.7	5.2	5.0	5.1	5.4	5.8	5.0	6.1
	Segundo (1999-2006)	6.3	5.8	6.3	6.1	6.2	3.9	4.9	4.0	4.2	5.4	5.3	4.6
	Tercer (2007-2014)	5.9	5.2	6.6	6.7	6.1	5.5	5.7	6.3	4.3	4.6	4.9	5.0
PEDRO FERMIN	Primero (1990-1998)	5.8	5.2	5.8	5.7	5.7	5.1	4.7	4.7	5.1	5.6	5.8	6.0
	Segundo (1999-2006)	5.8	5.1	5.6	5.5	5.7	4.9	4.9	4.9	5.1	5.7	5.8	6.0
	Tercer (2007-2014)	5.8	5.2	5.8	5.6	5.7	5.0	4.9	4.9	4.9	5.9	6.0	6.0
CHILLANES	Primero (1990-1998)	5.7	5.3	5.8	5.7	5.8	5.5	5.6	5.8	5.7	5.8	5.8	6.0
	Segundo (1999-2006)	5.9	5.3	6.1	5.9	6.0	5.4	5.4	5.6	5.5	5.8	5.7	5.9
	Tercer (2007-2014)	5.7	5.3	6.0	5.9	5.9	5.4	5.3	5.3	5.3	5.8	5.7	5.7
GUASLAN	Primero (1990-1998)	5.9	5.3	5.8	5.7	5.8	5.4	4.5	4.5	5.4	4.9	5.6	5.8
	Segundo (1999-2006)	5.1	5.6	5.3	5.9	4.2	4.8	5.7	5.4	5.5	5.1	6.0	5.3
	Tercer (2007-2014)	6.1	7.3	7.0	6.2	6.5	3.6	5.4	5.0	6.5	5.7	4.8	5.6
CHUNCHI	Primero (1990-1998)	6.0	5.4	6.1	6.0	6.3	6.2	6.4	5.4	5.2	4.5	4.3	4.3
	Segundo (1999-2006)	5.4	4.9	5.3	6.4	6.7	6.5	6.6	6.9	5.6	5.9	5.7	6.9
	Tercer (2007-2014)	5.5	5.8	5.9	4.7	5.8	5.7	6.1	6.2	6.9	7.1	5.1	6.7
BIBLIAN	Primero (1990-1998)	6.2	5.6	6.3	6.1	6.1	5.5	5.0	5.1	5.4	5.9	6.0	6.3
	Segundo (1999-2006)	6.3	5.6	6.2	6.0	6.0	5.4	5.3	5.3	5.4	5.9	6.0	6.3
	Tercer (2007-2014)	6.1	5.6	6.1	5.9	5.9	5.3	5.2	5.2	5.4	6.0	6.1	6.1
PUNGALES	Primero (1990-1998)	6.4	5.5	6.1	5.8	6.0	5.6	5.2	5.2	6.8	6.2	6.3	6.5
	Segundo (1999-2006)	6.5	5.5	6.3	6.0	6.1	5.9	5.8	5.6	6.0	6.7	7.5	7.4
	Tercer (2007-2014)	6.6	5.9	6.2	5.8	5.7	5.8	6.2	5.8	7.0	8.0	7.4	6.6
QUEROCHACA	Primero (1990-1998)	5.8	5.2	5.9	5.7	5.6	5.0	4.6	4.7	5.1	5.7	5.9	6.1
	Segundo (1999-2006)	5.9	5.2	5.7	5.5	5.6	4.9	4.9	4.8	5.1	5.8	5.9	6.0
	Tercer (2007-2014)	5.3	5.9	5.4	5.8	5.2	4.4	5.6	5.4	5.2	6.6	5.8	6.7
CALAMACA	Primero (1990-1998)	5.3	4.6	5.5	5.2	5.2	5.0	4.3	4.2	4.6	3.5	5.3	5.0
	Segundo (1999-2006)	5.2	4.5	5.1	5.0	5.1	4.7	4.7	4.5	4.7	5.0	5.0	5.0
	Tercer (2007-2014)	5.1	4.7	5.2	5.0	5.1	4.6	4.5	4.4	4.3	5.1	5.1	5.2

*Autor: Dayana Tipán C*

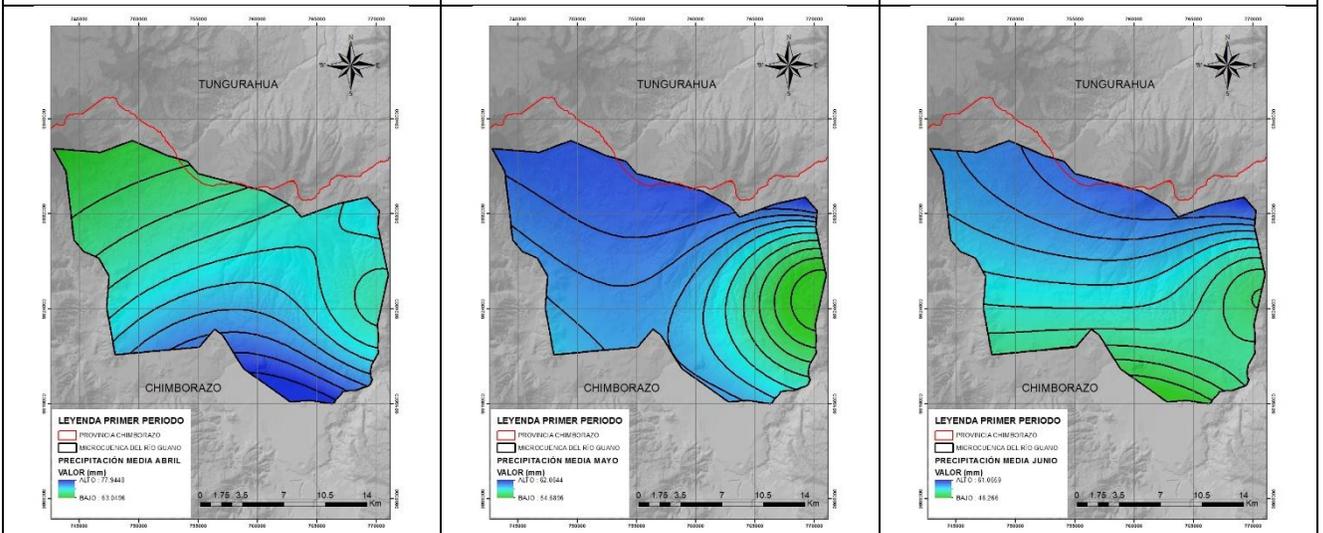
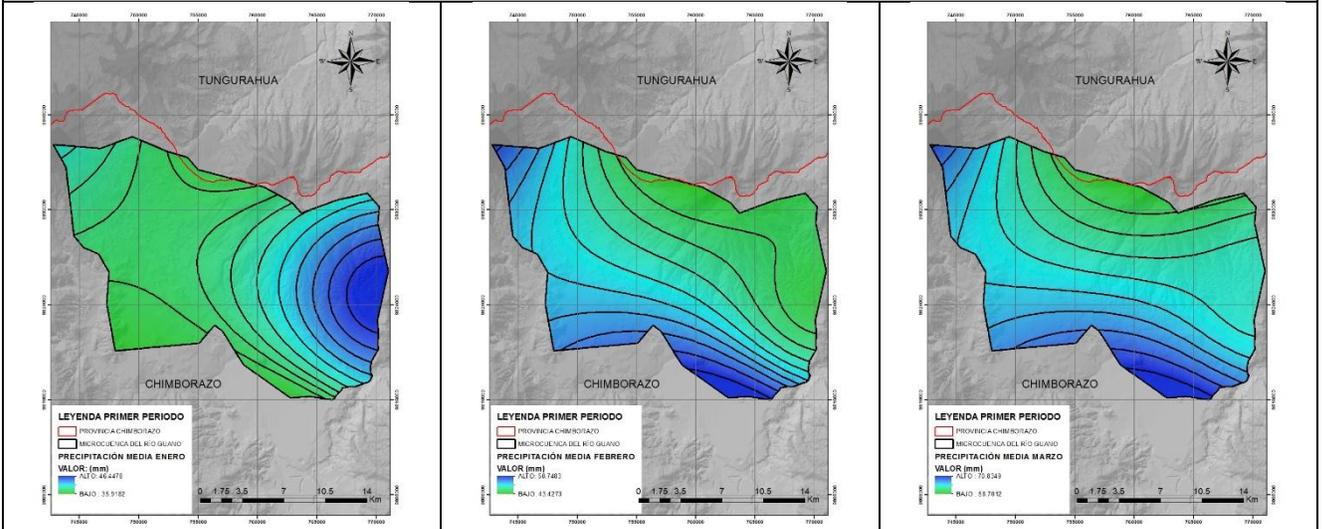
# MAPAS DEL BALANCE HÍDRICO PRIMER PERIODO (1990-1998)

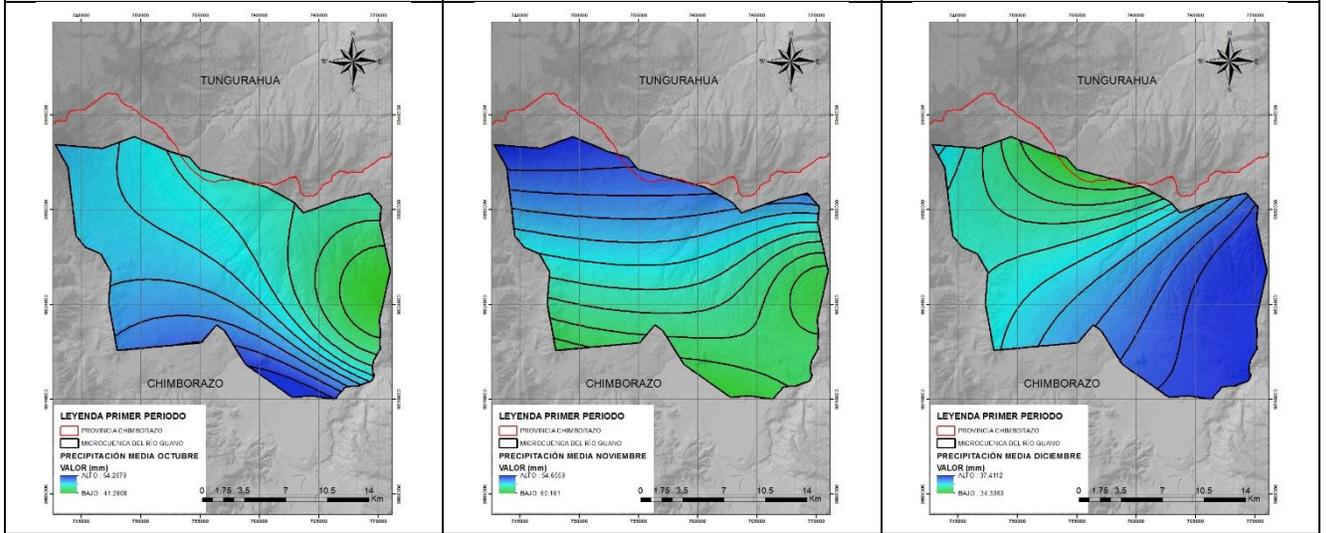
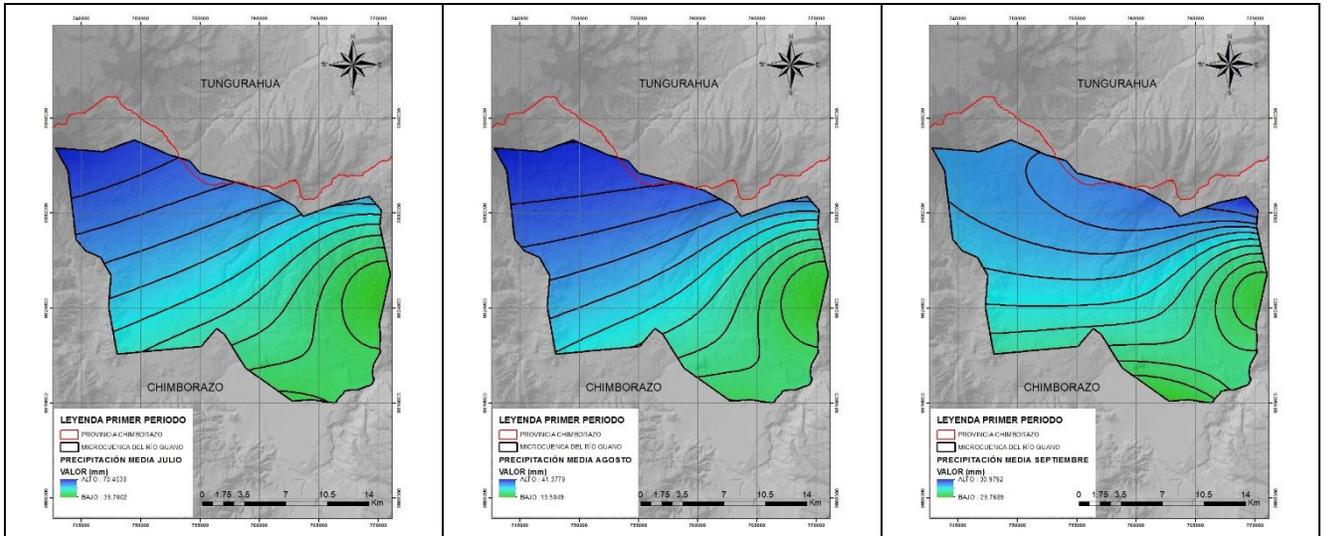
## TEMPERATURA



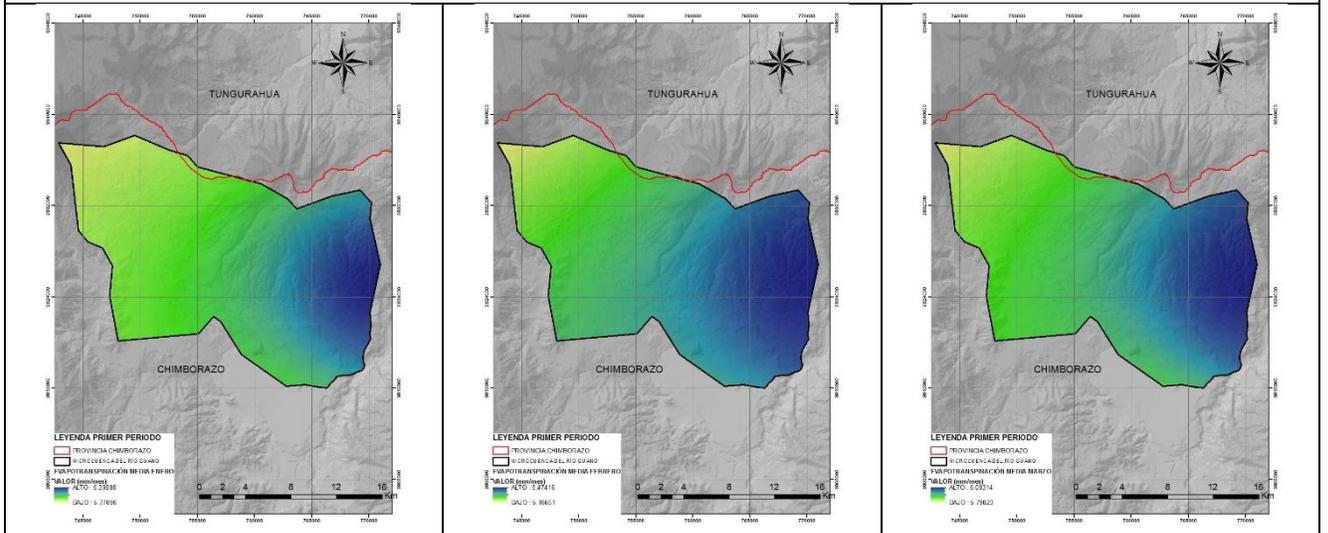


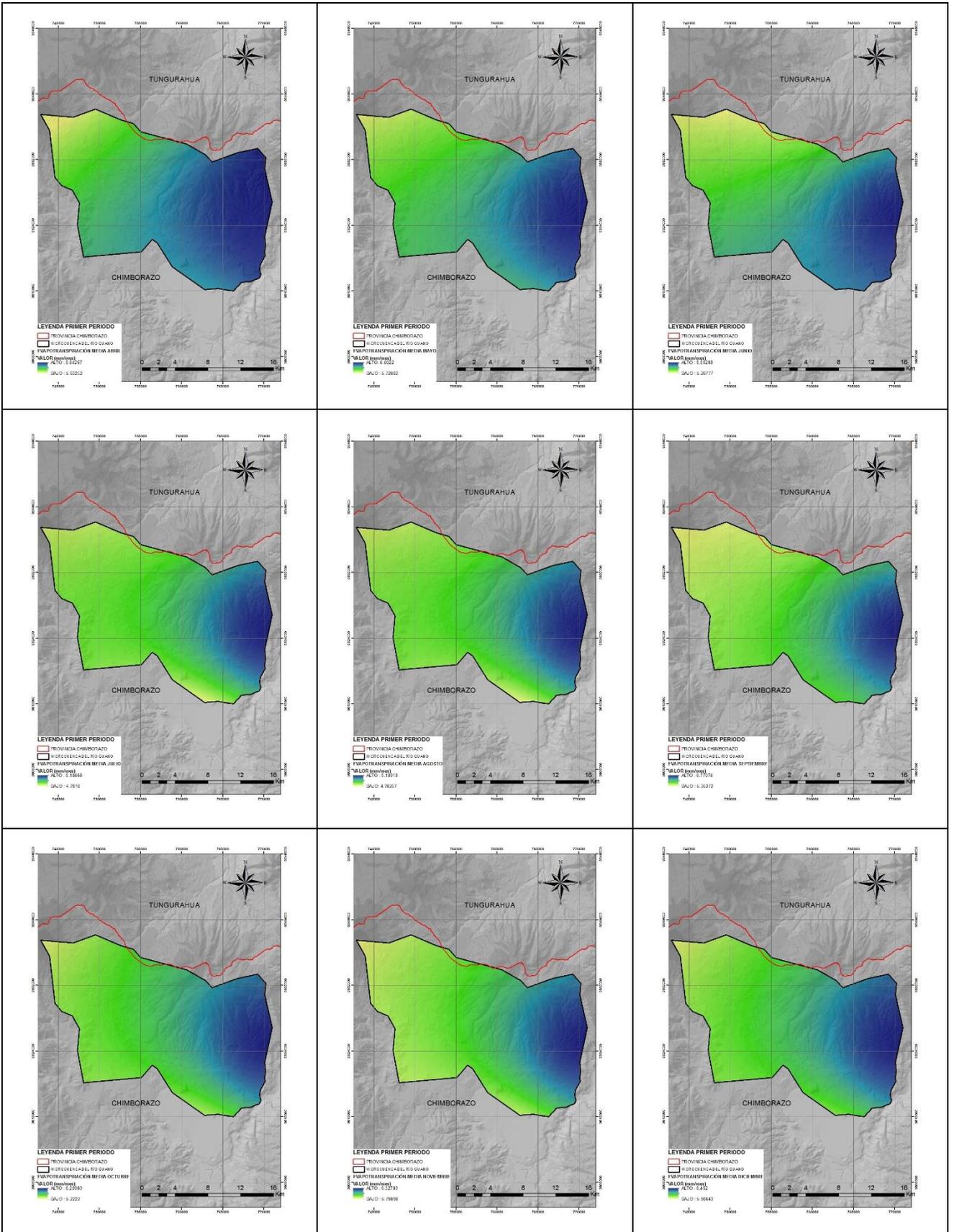
## PRECIPITACIÓN



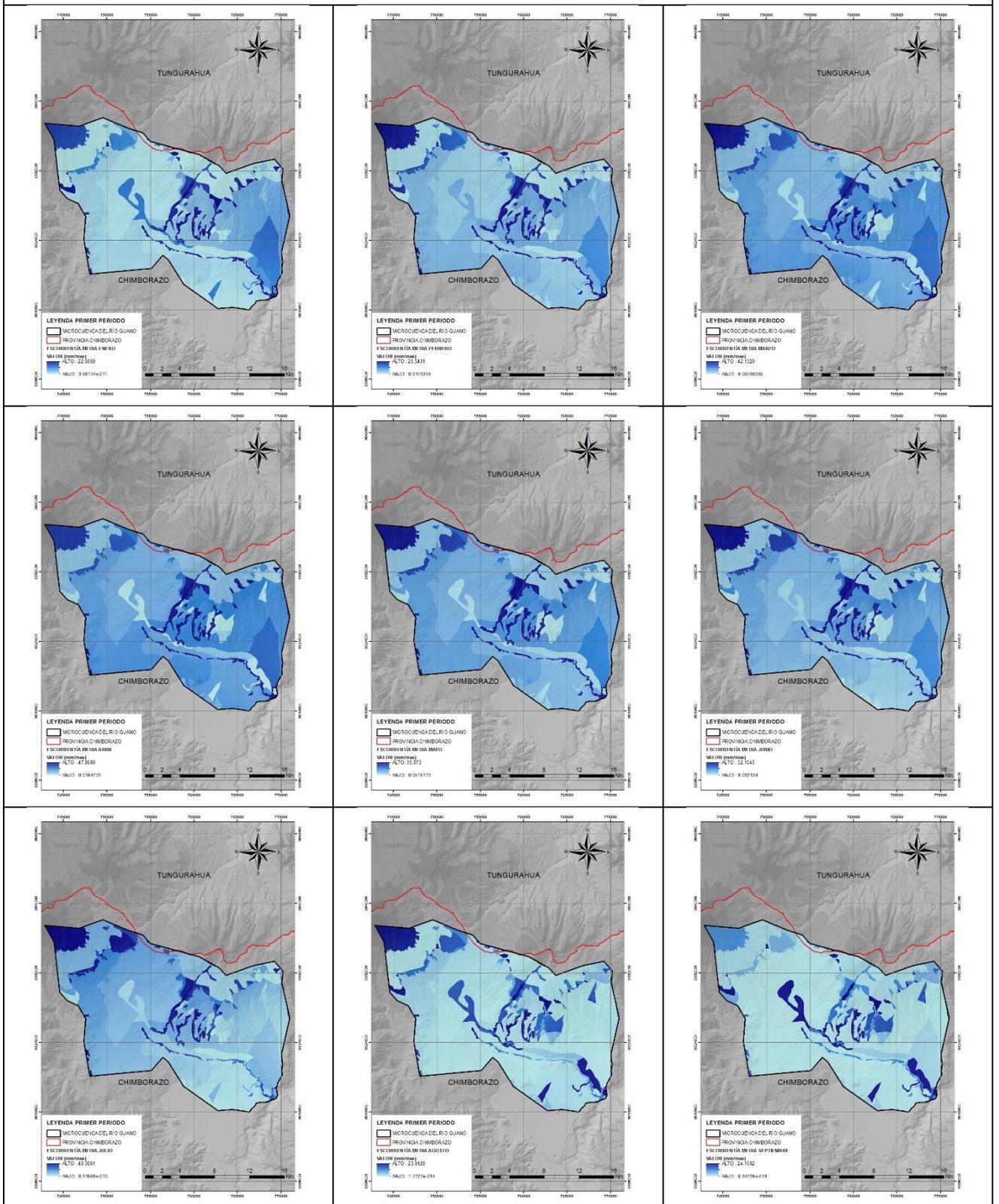


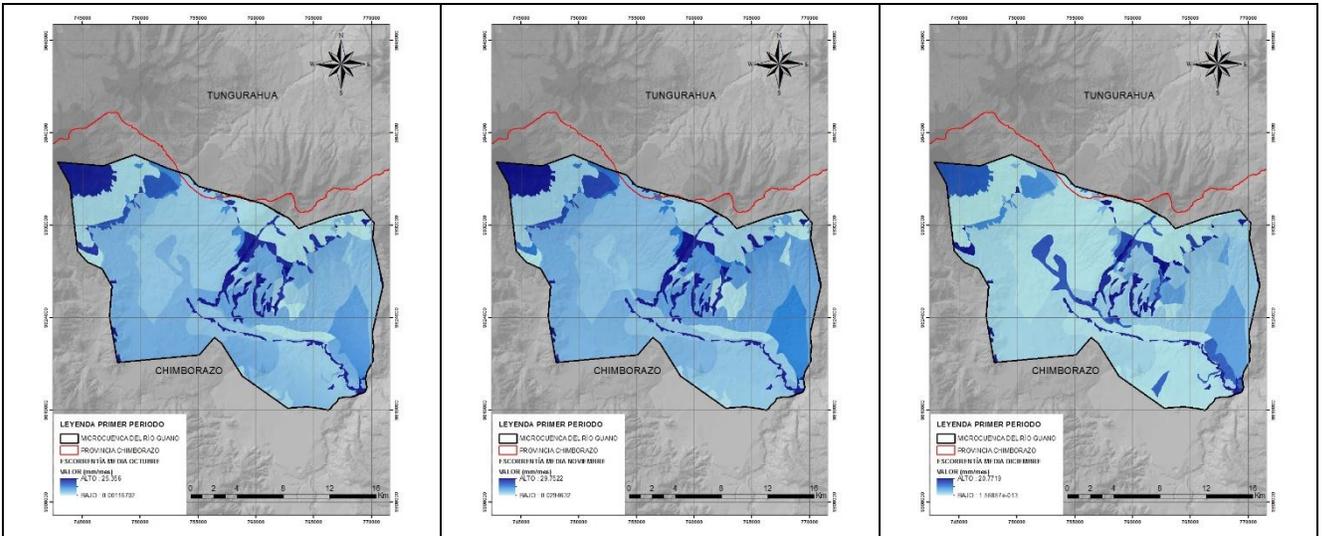
## EVAPOTRANSPIRACIÓN



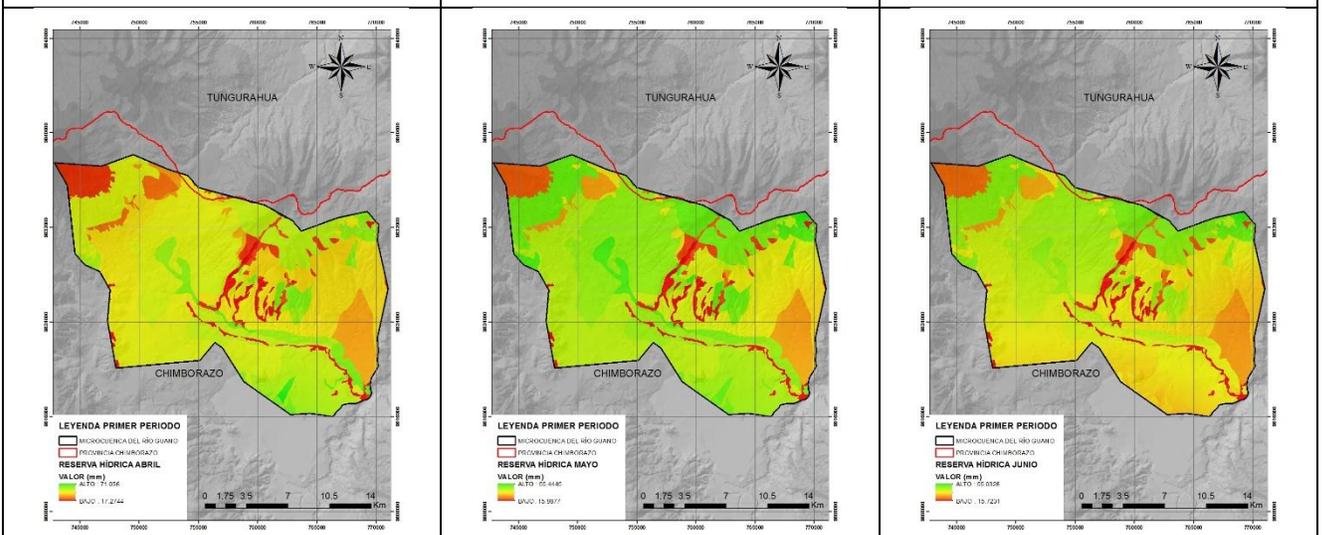
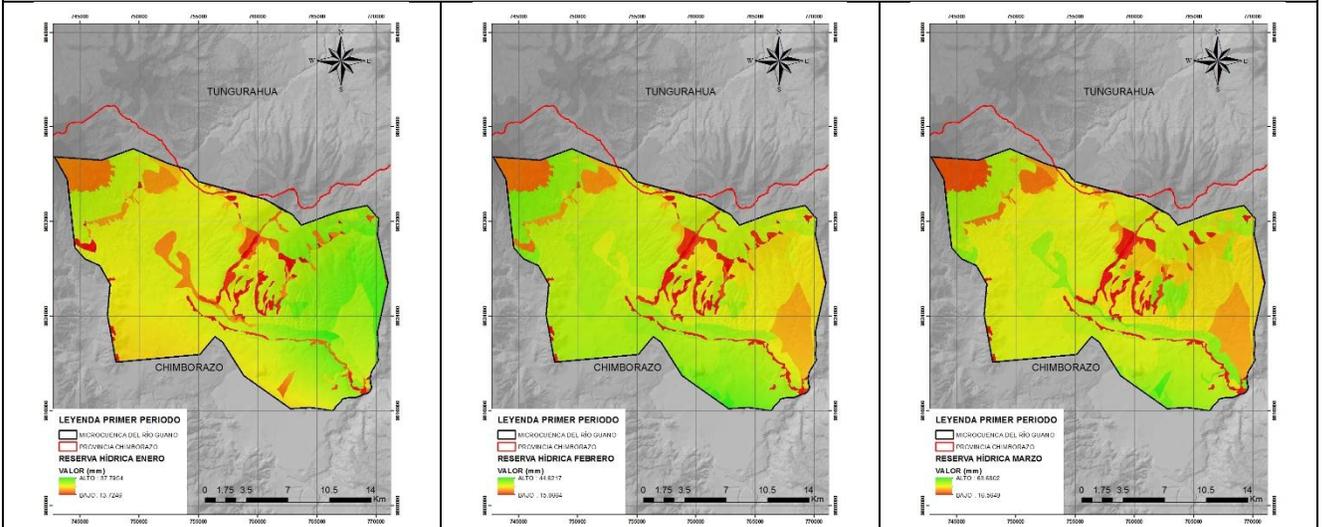


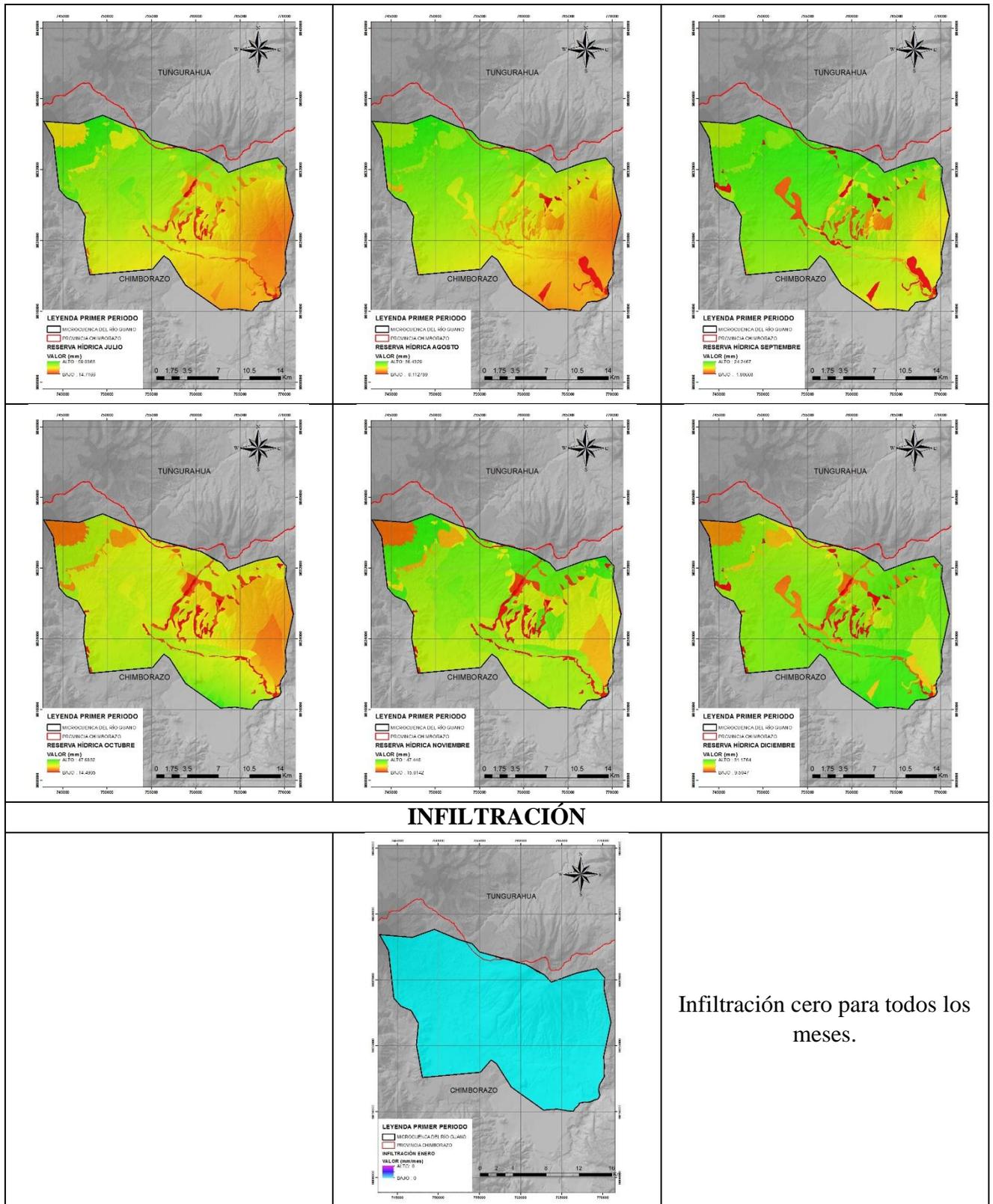
# ESCORRENTÍA





## RESERVA HÍDRICA





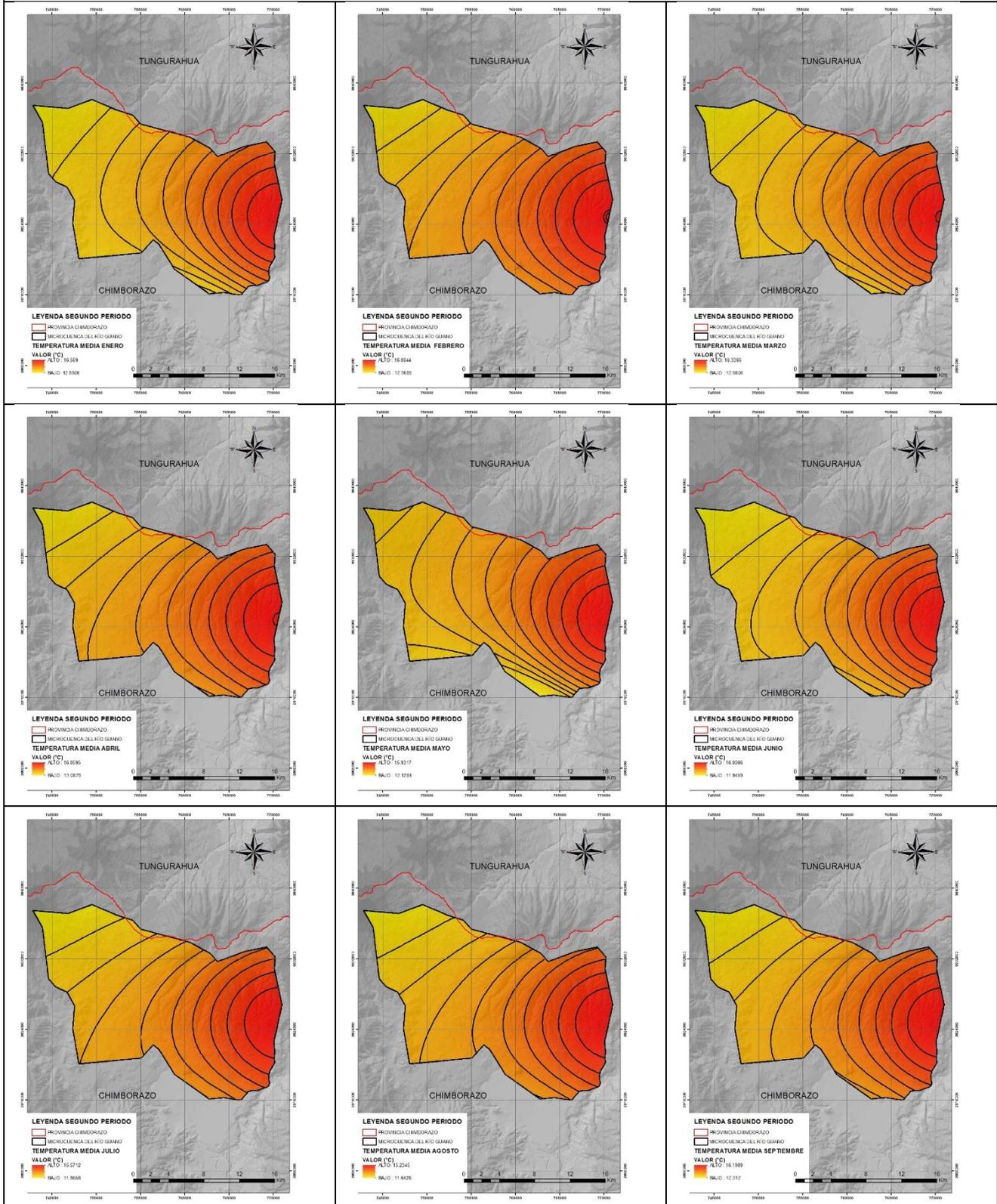
Infiltración cero para todos los meses.

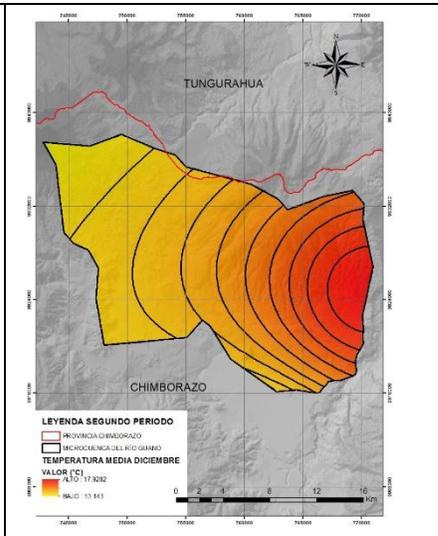
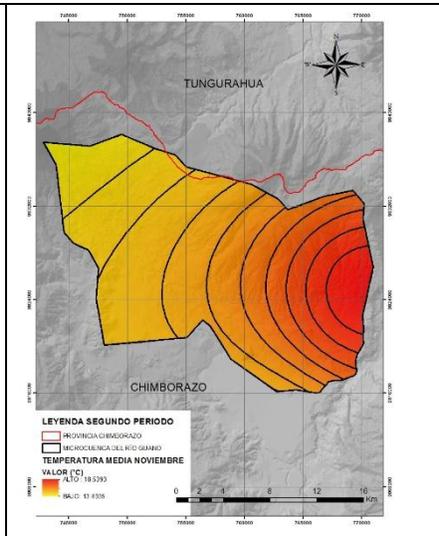
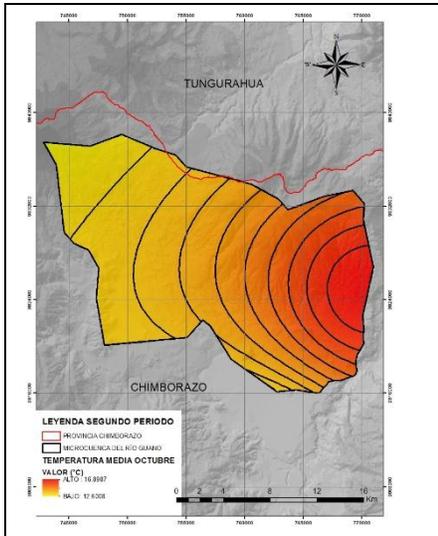
**Figura 15:** Mapas del Balance hídrico en la microcuenca del río Guano correspondientes al primer periodo (1990-1998).

**Autor:** Dayana Tipán C

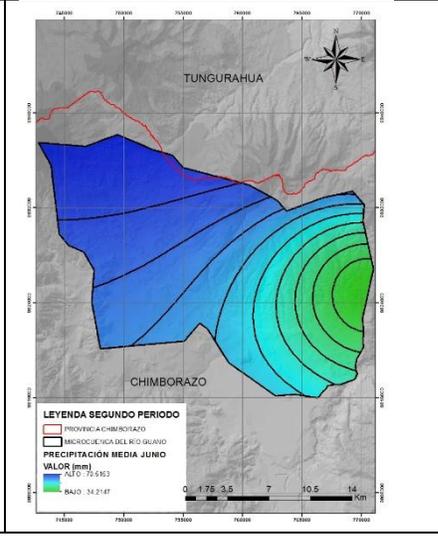
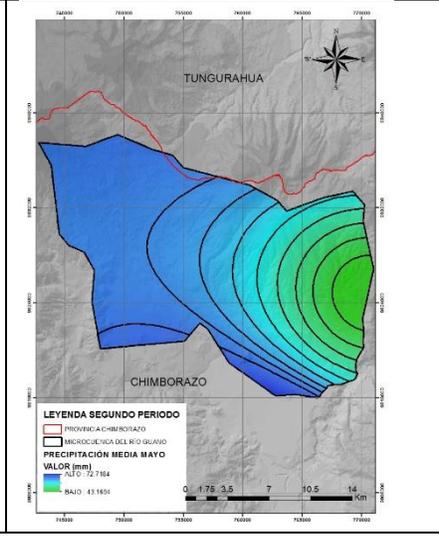
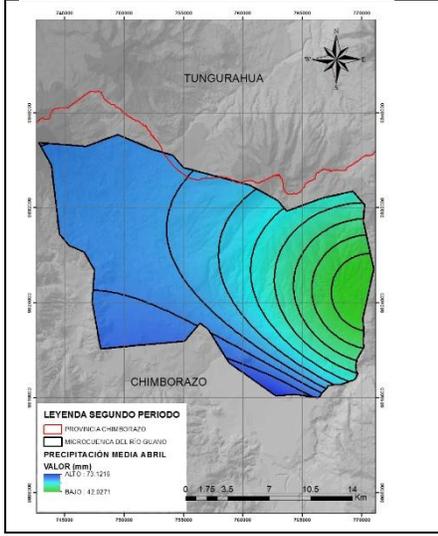
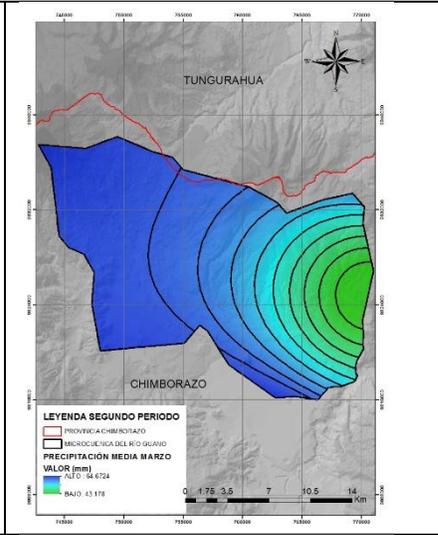
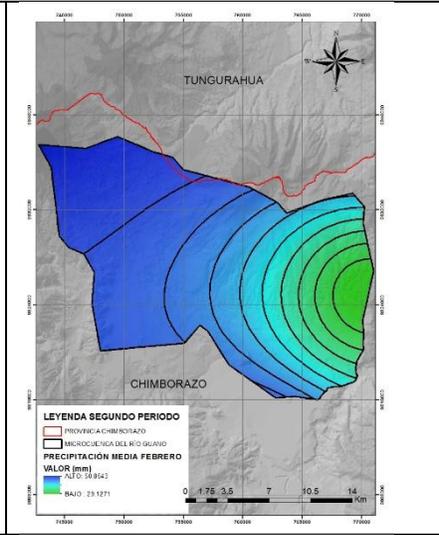
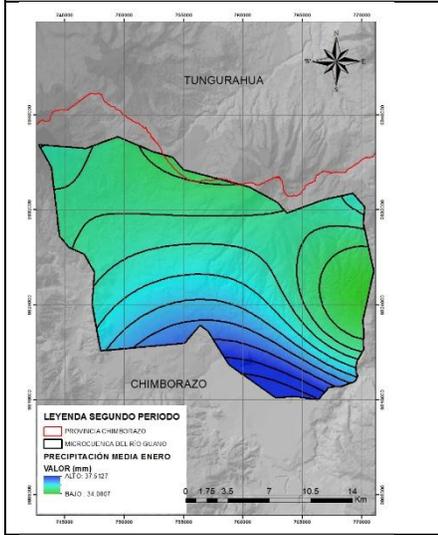
# MAPAS DEL BALANCE HÍDRICO SEGUNDO PERIODO (1999-2006)

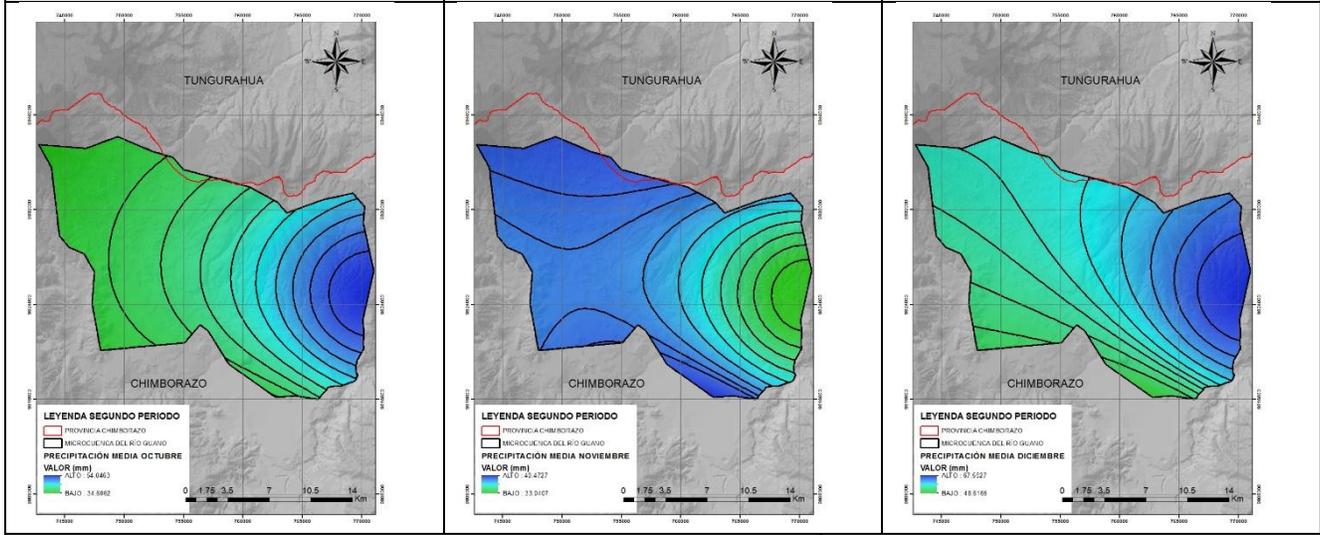
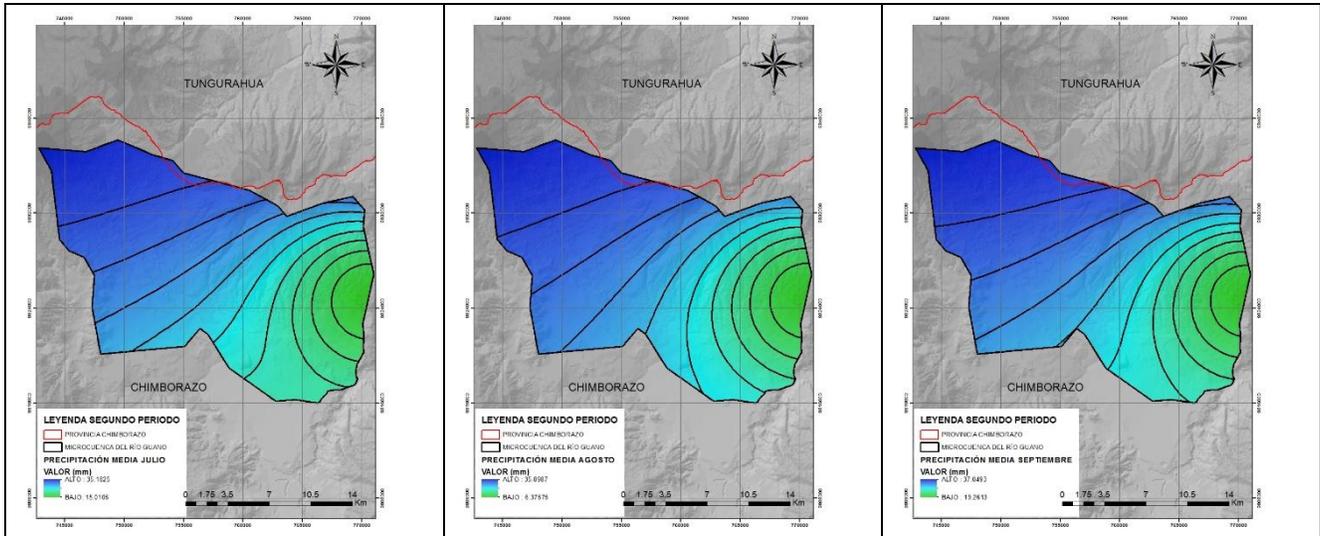
## TEMPERATURA



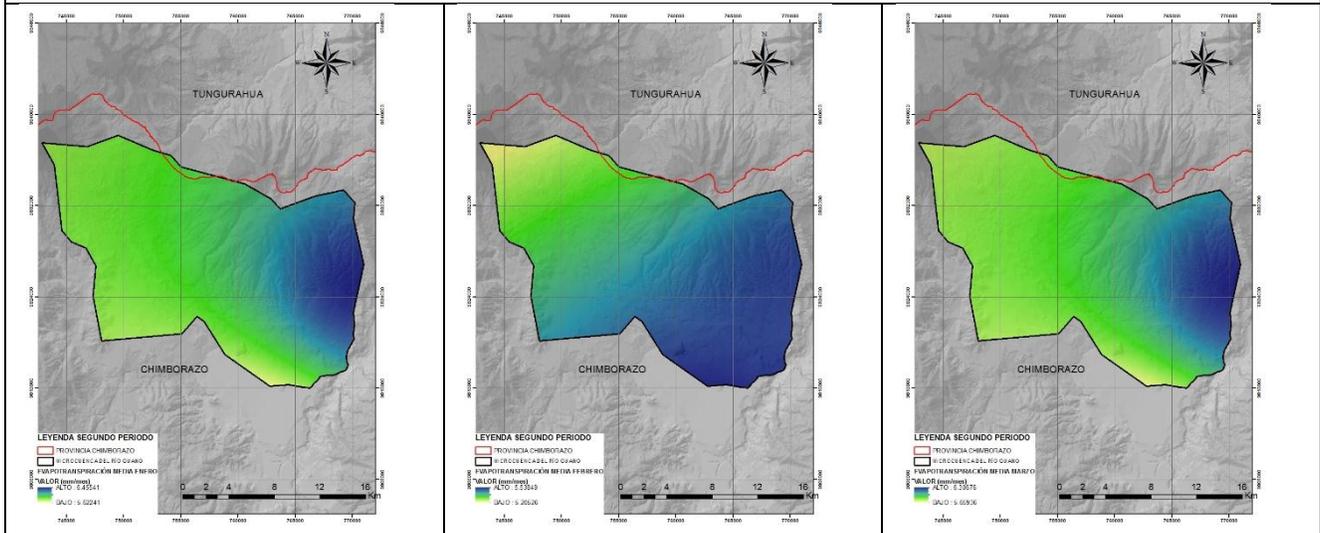


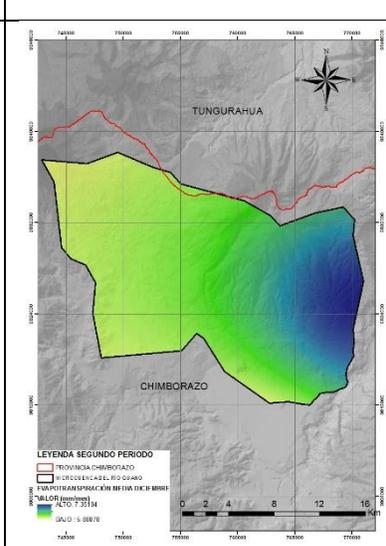
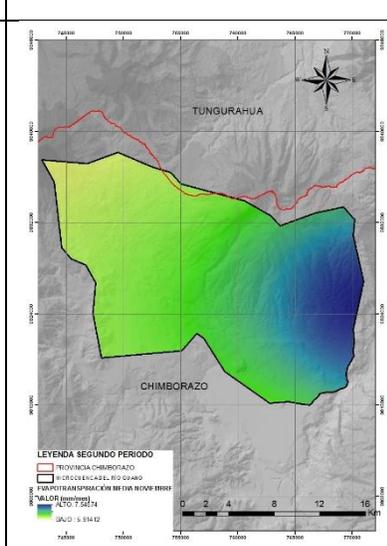
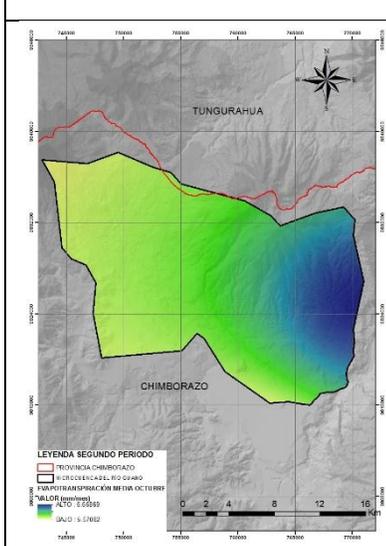
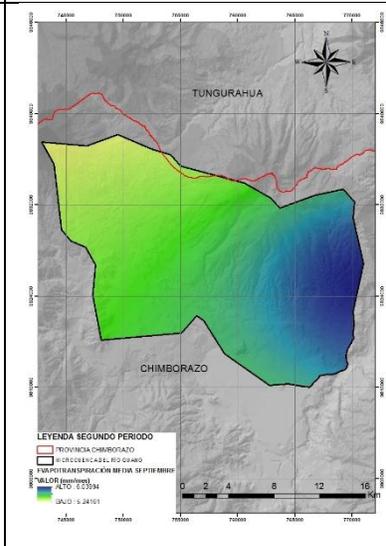
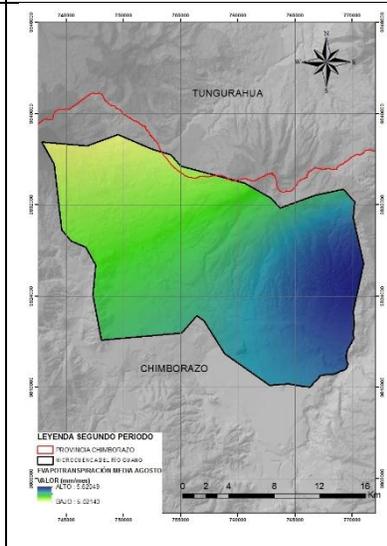
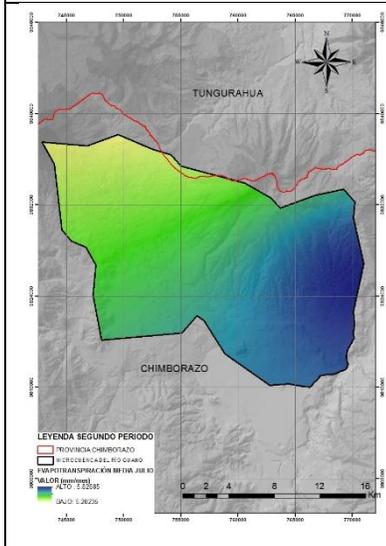
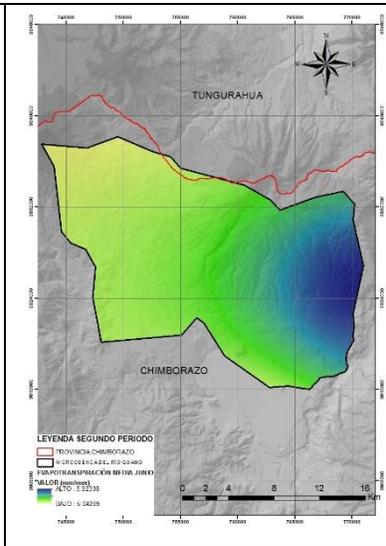
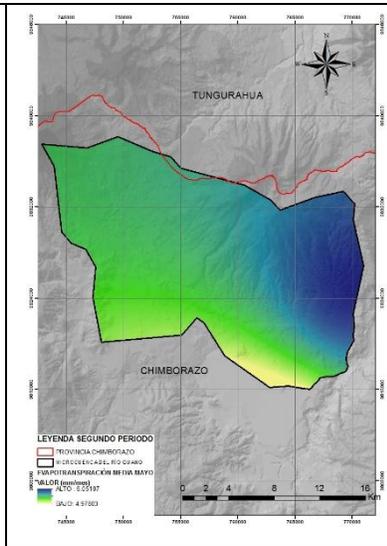
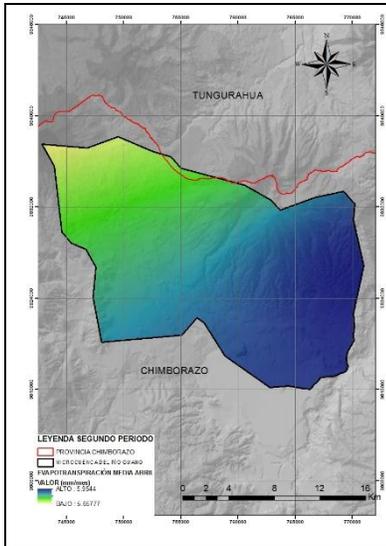
## PRECIPITACIÓN



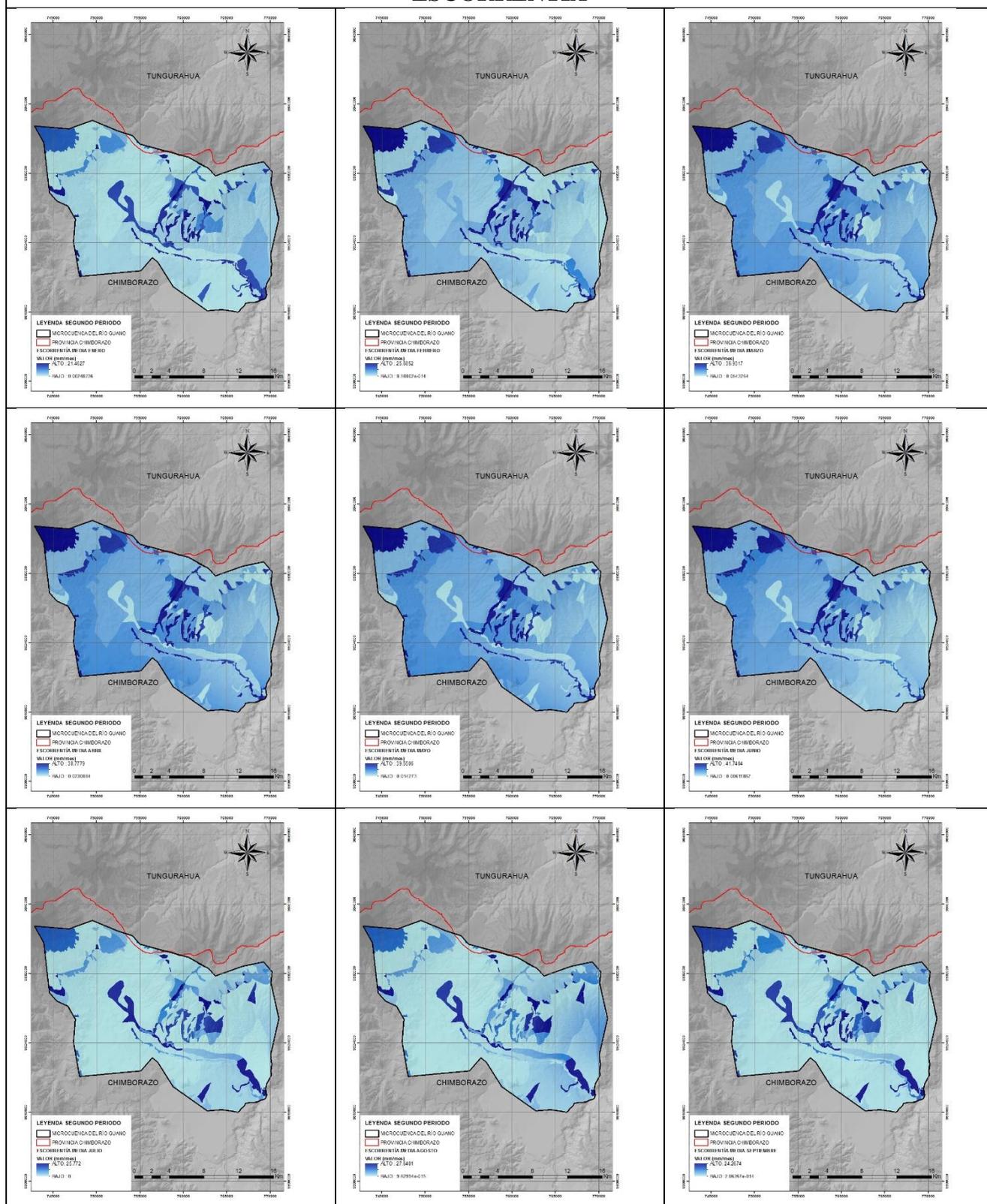


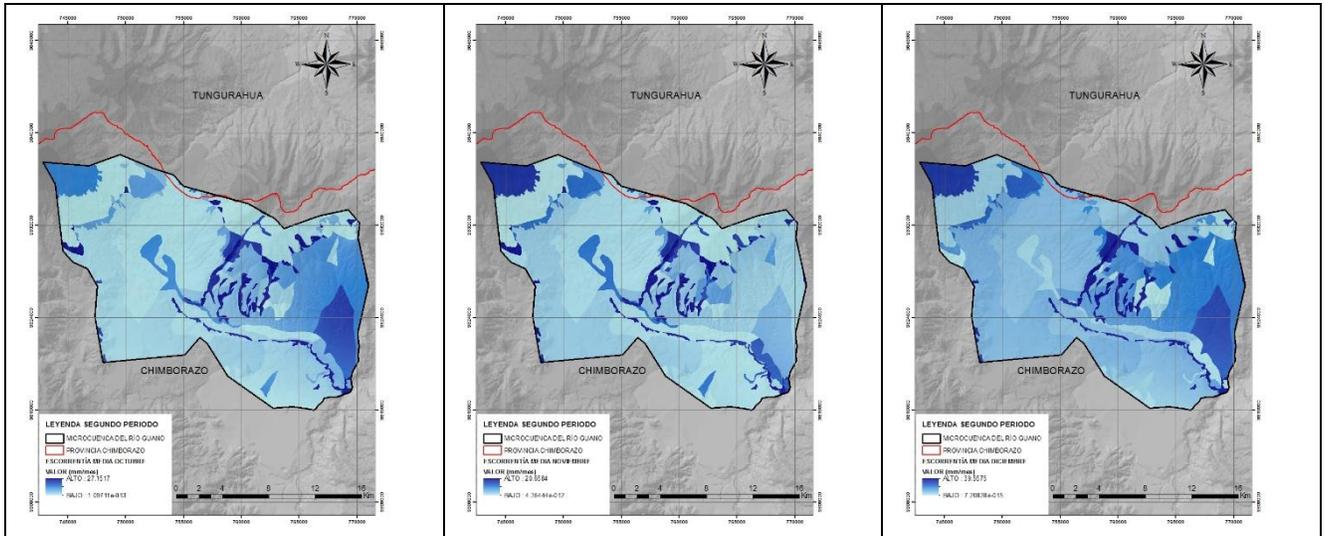
## EVAPOTRANSPIRACIÓN



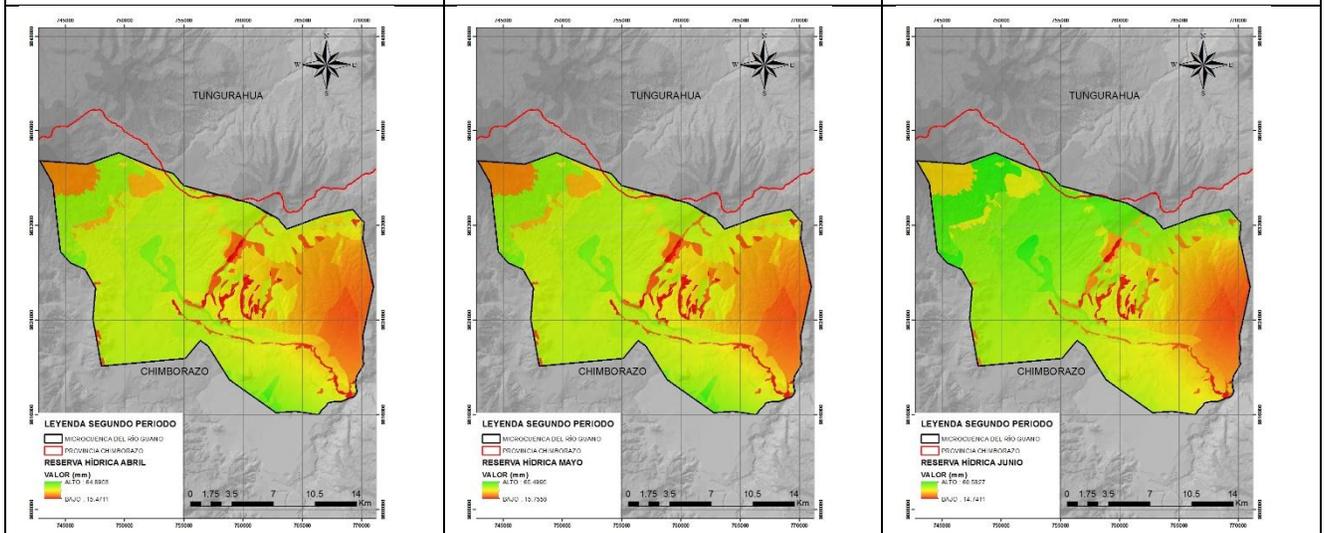
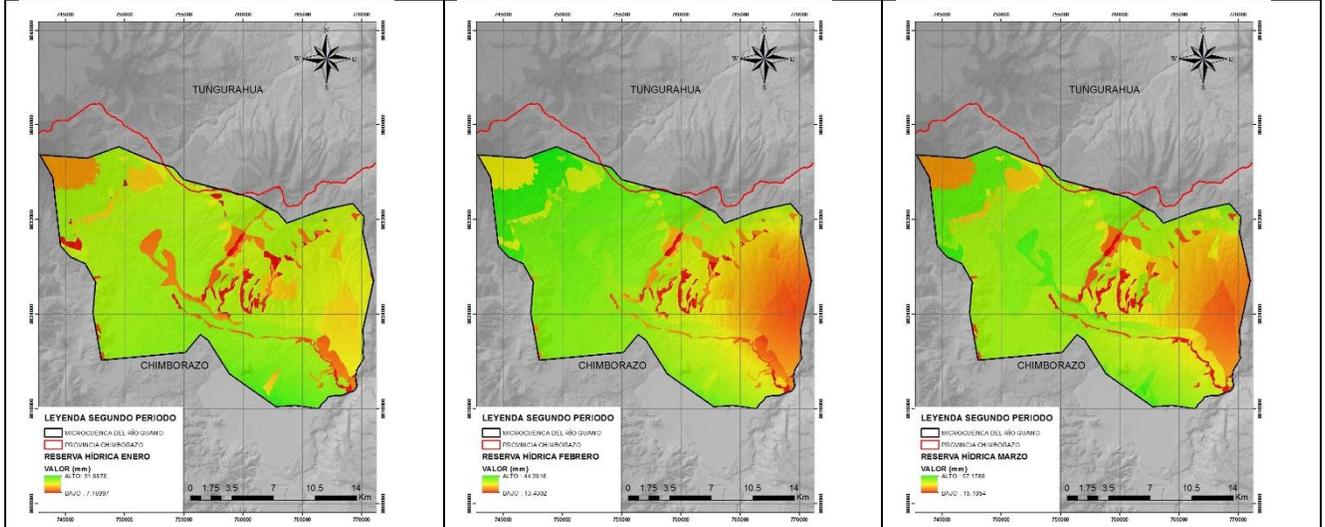


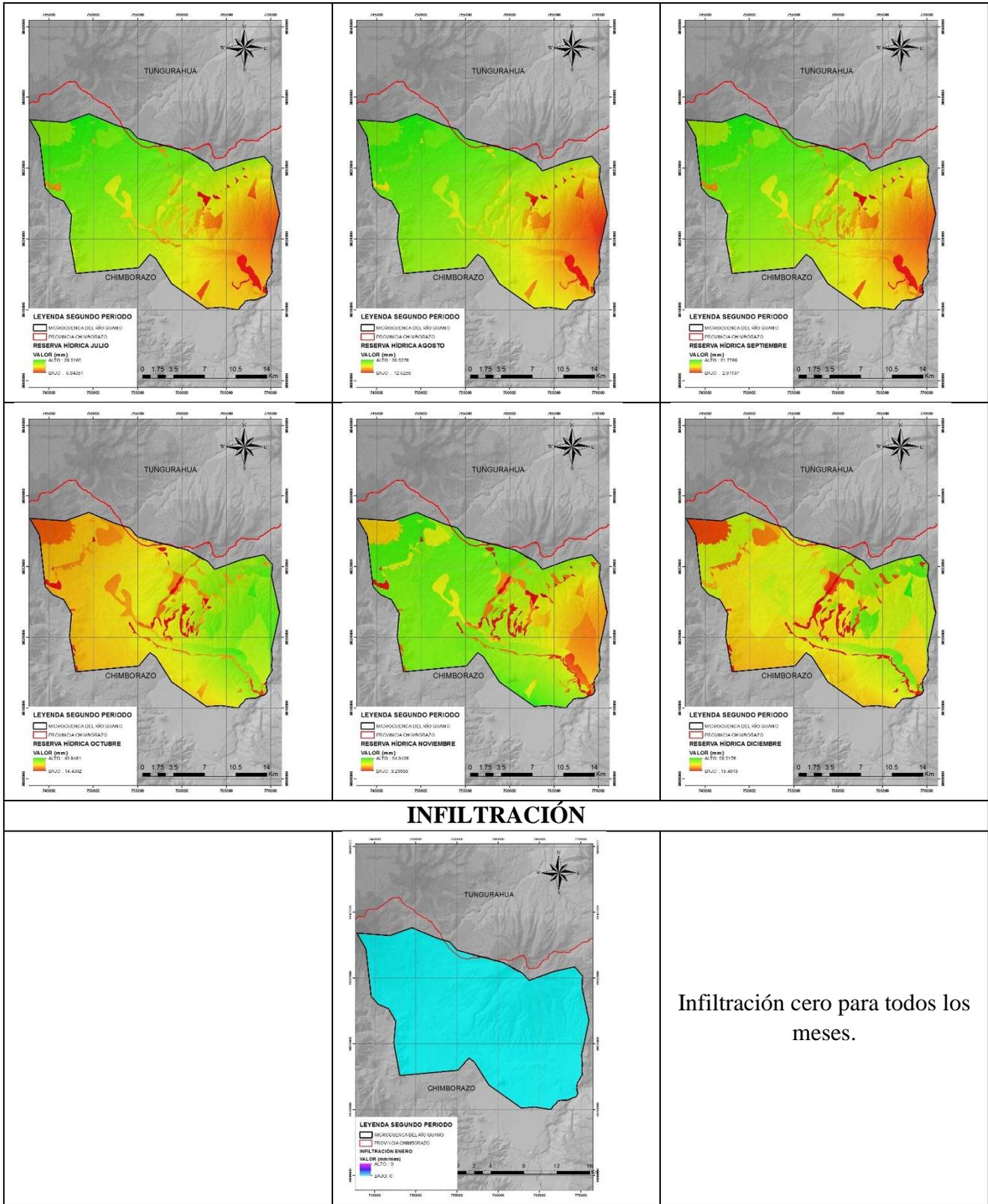
# ESCORRENTÍA





## RESERVA HÍDRICA



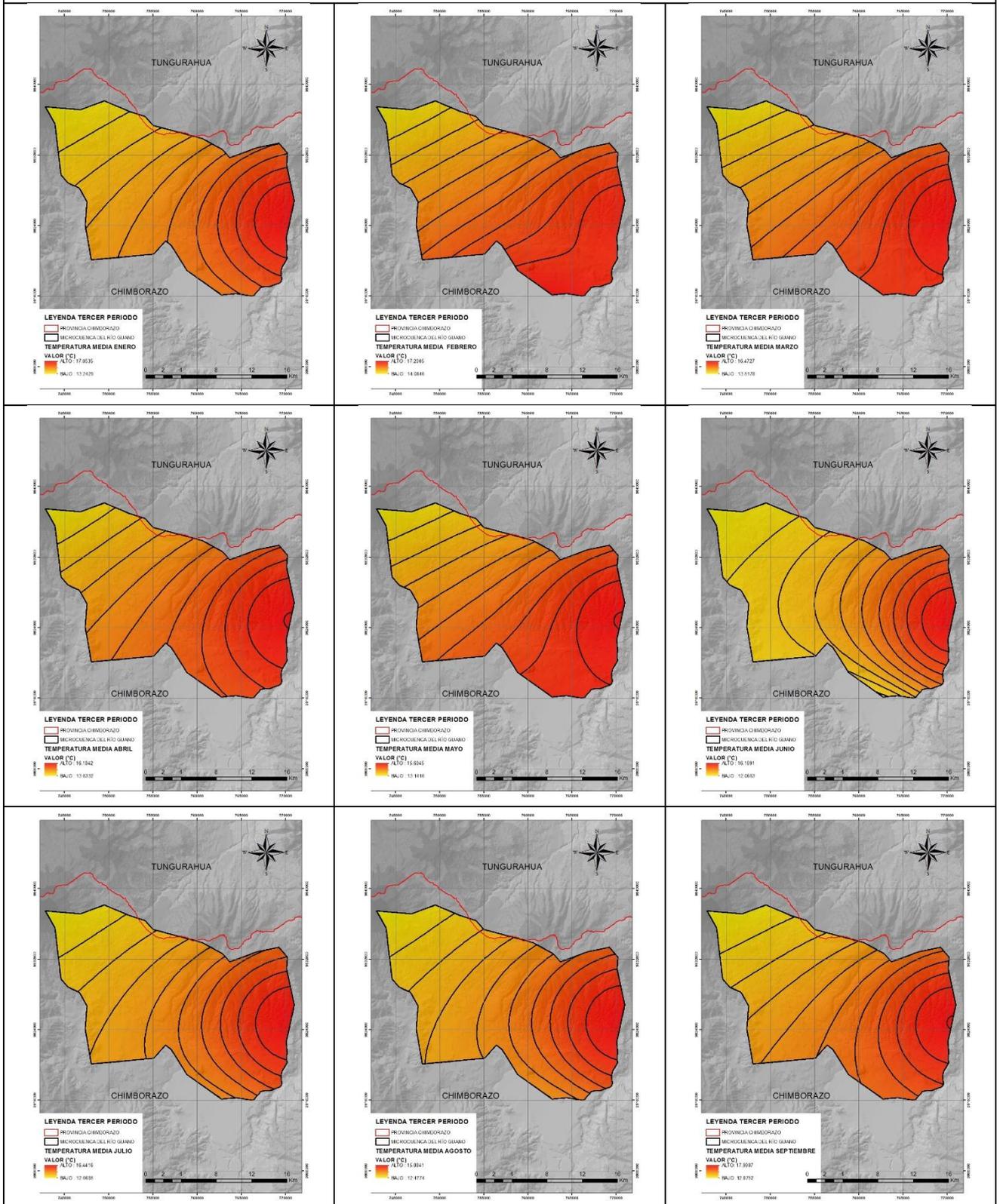


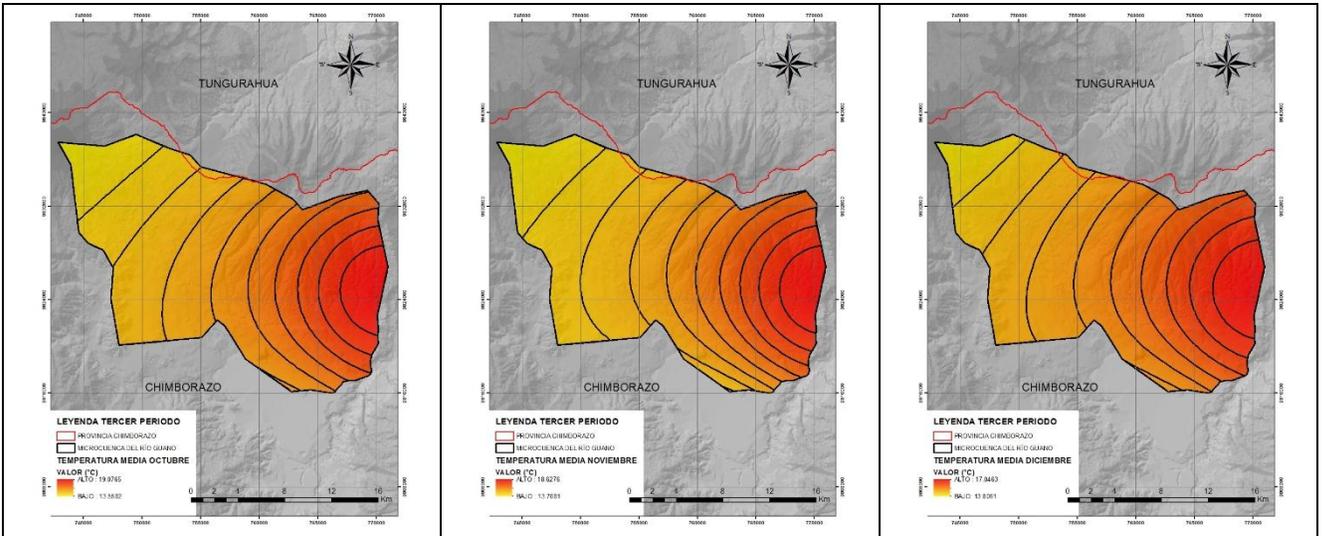
Infiltración cero para todos los meses.

**Figura 16:** Mapas del Balance hídrico en la microcuenca del río Guano correspondientes al segundo periodo (1999-2006)  
**Autor:** Dayana Tipán C.

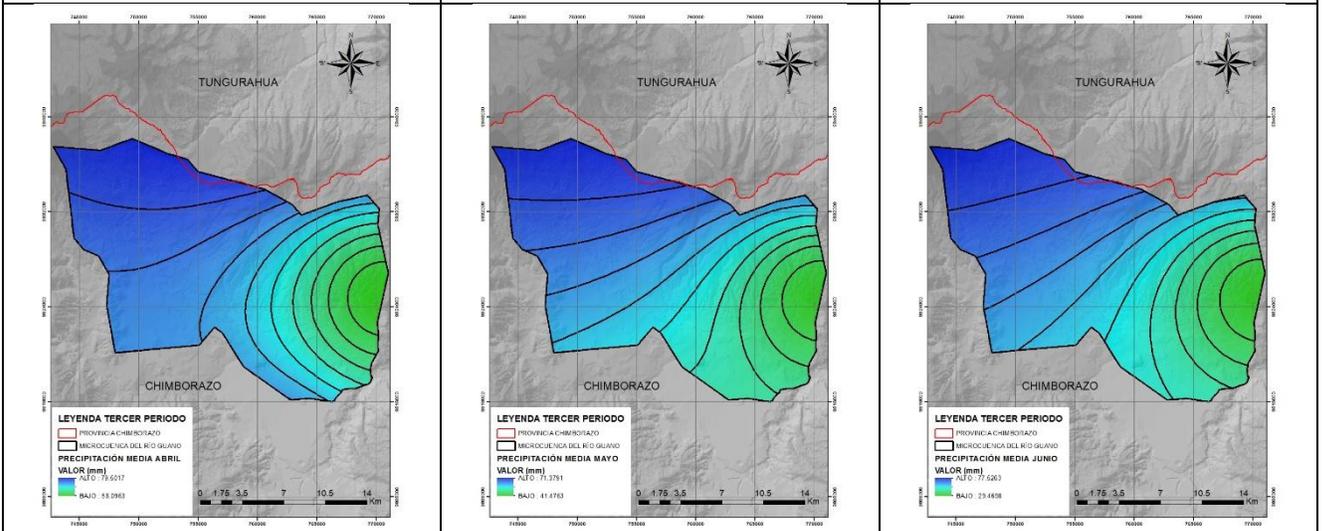
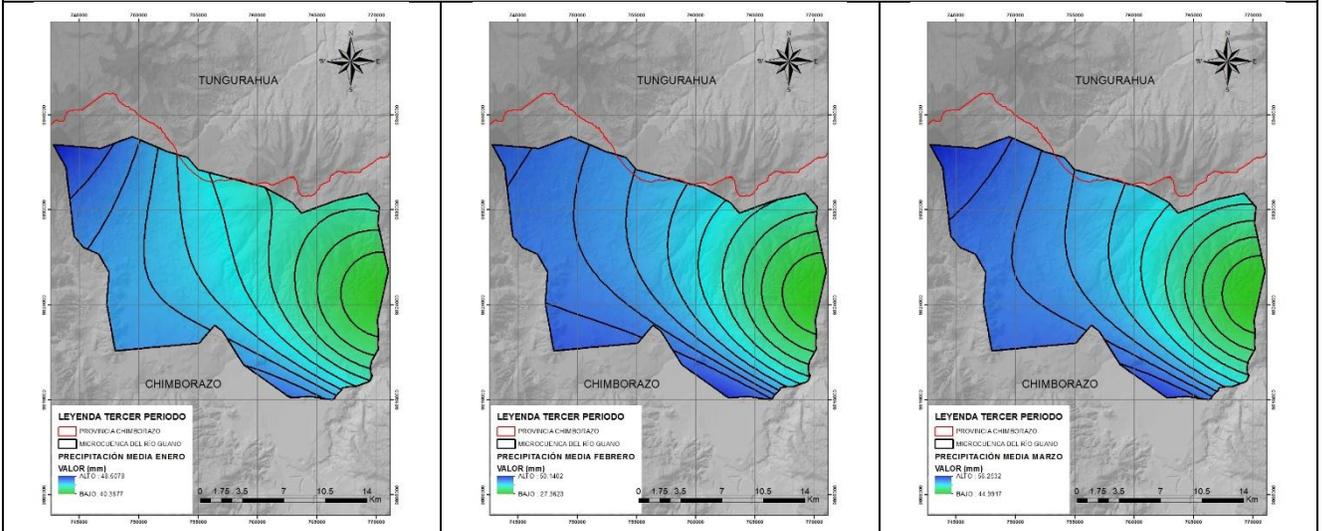
# MAPAS DEL BALANCE HÍDRICO TERCER PERIODO (2007-2014)

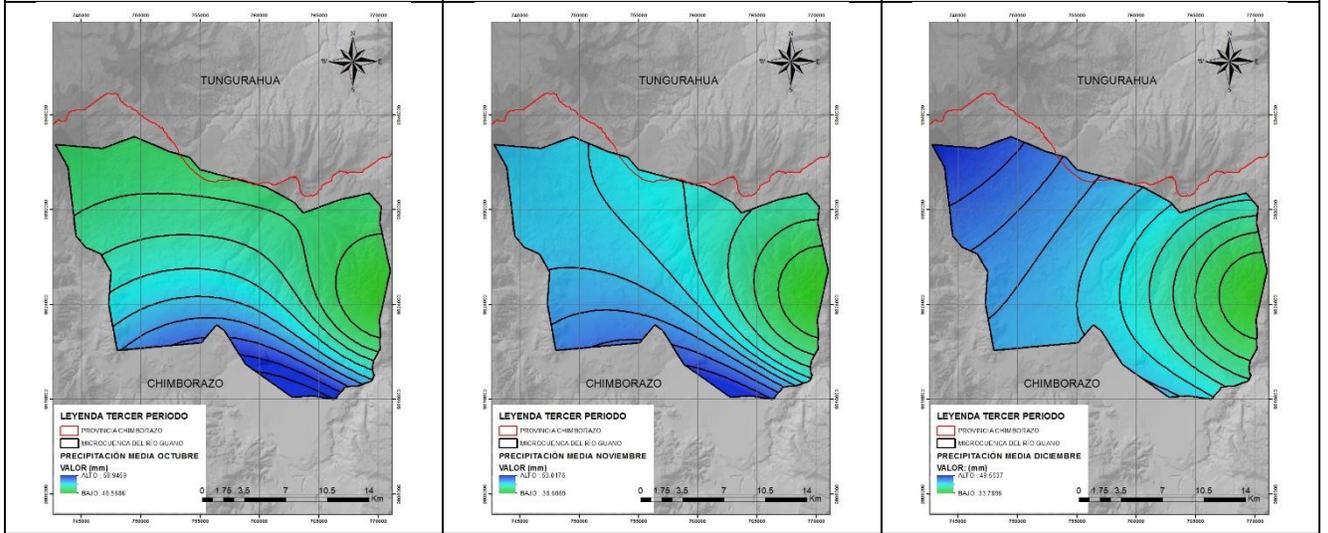
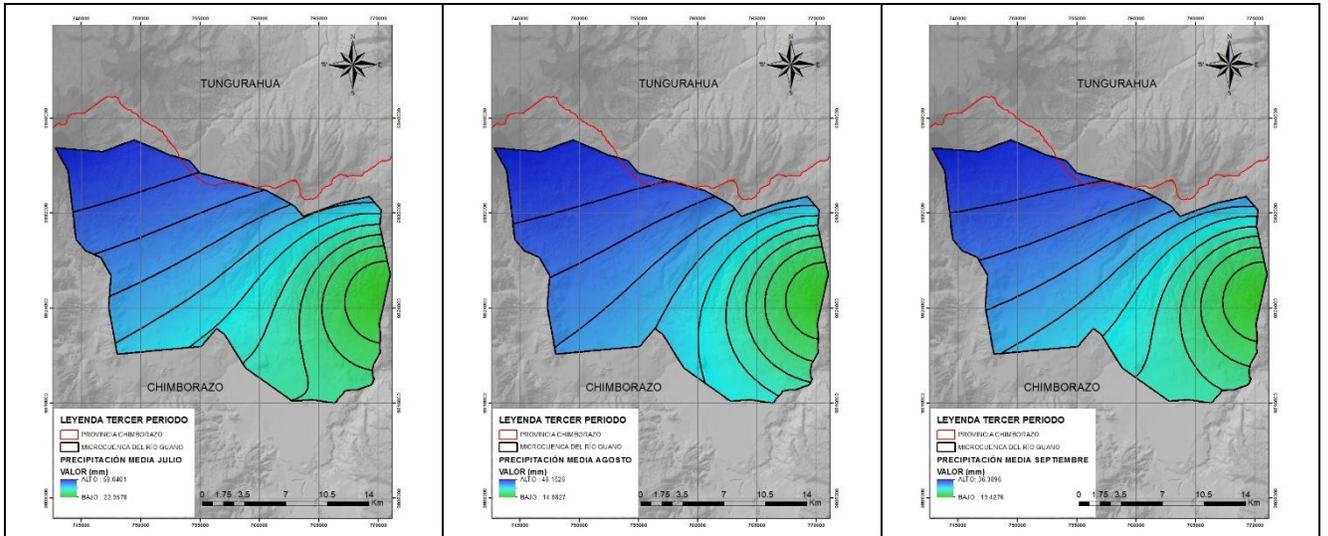
## TEMPERATURA



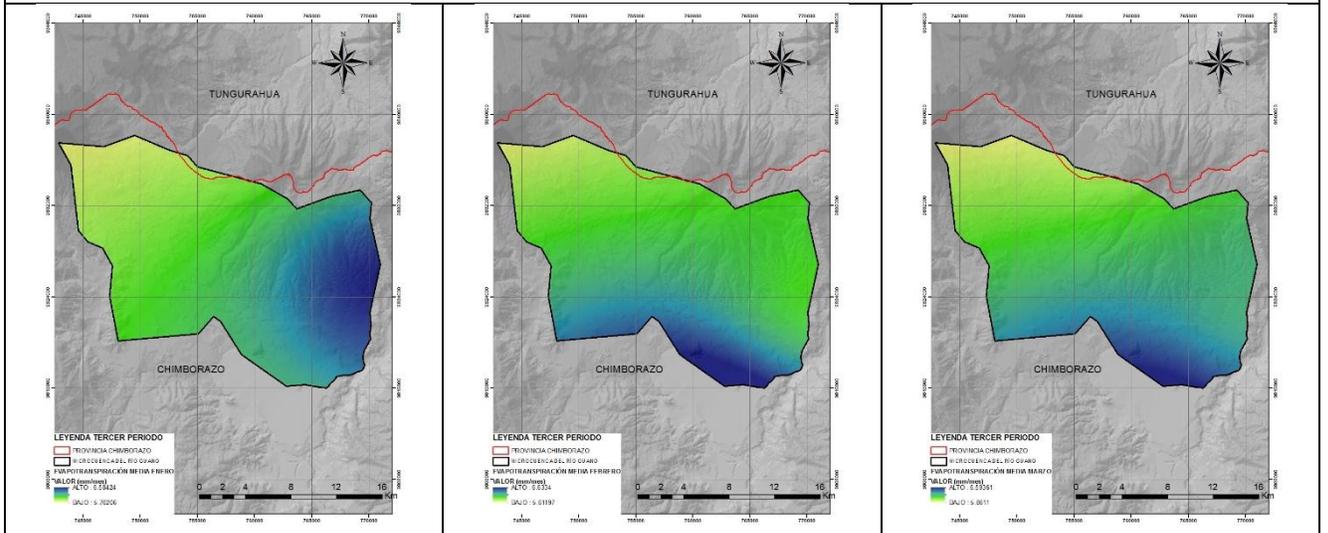


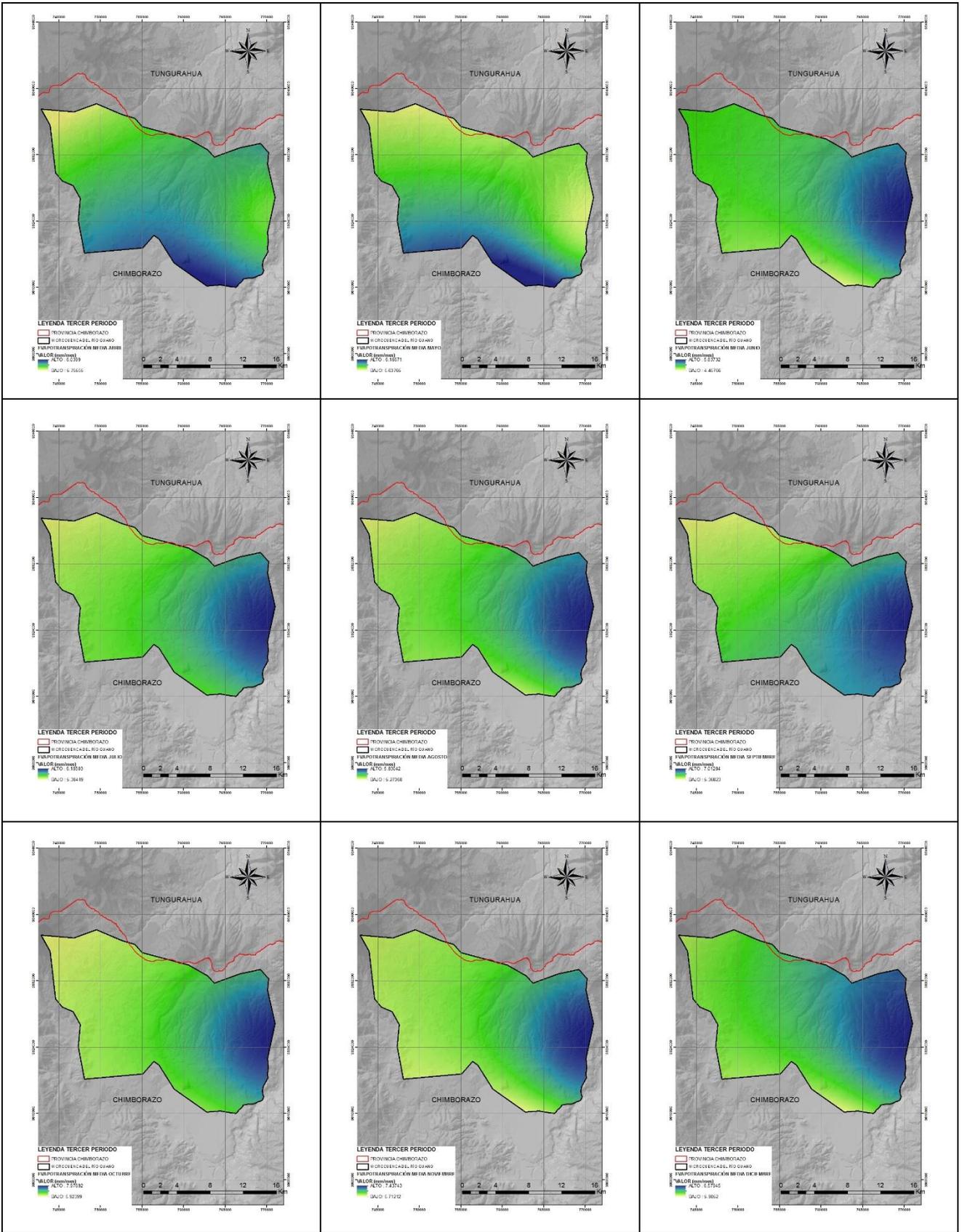
## PRECIPITACIÓN



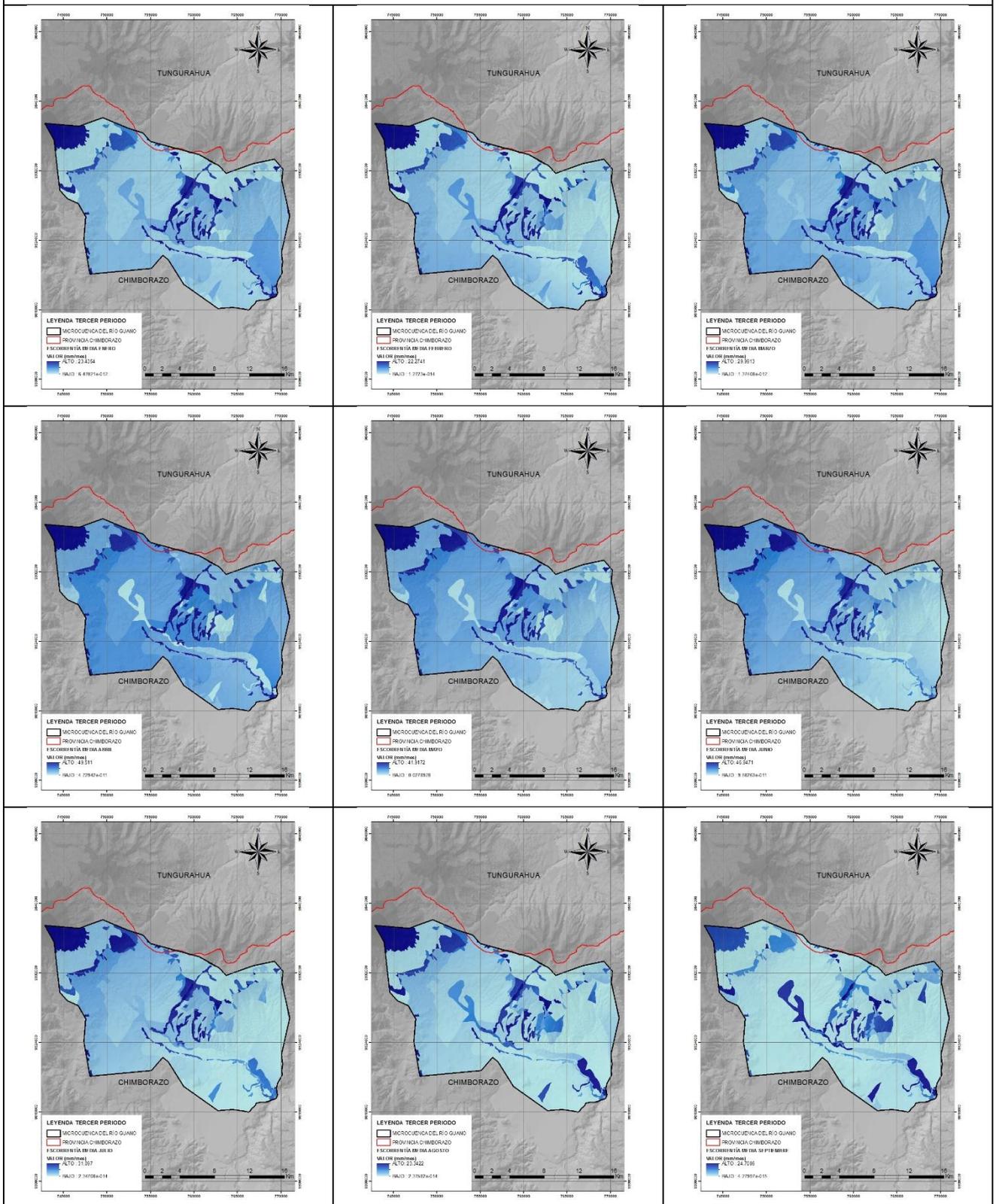


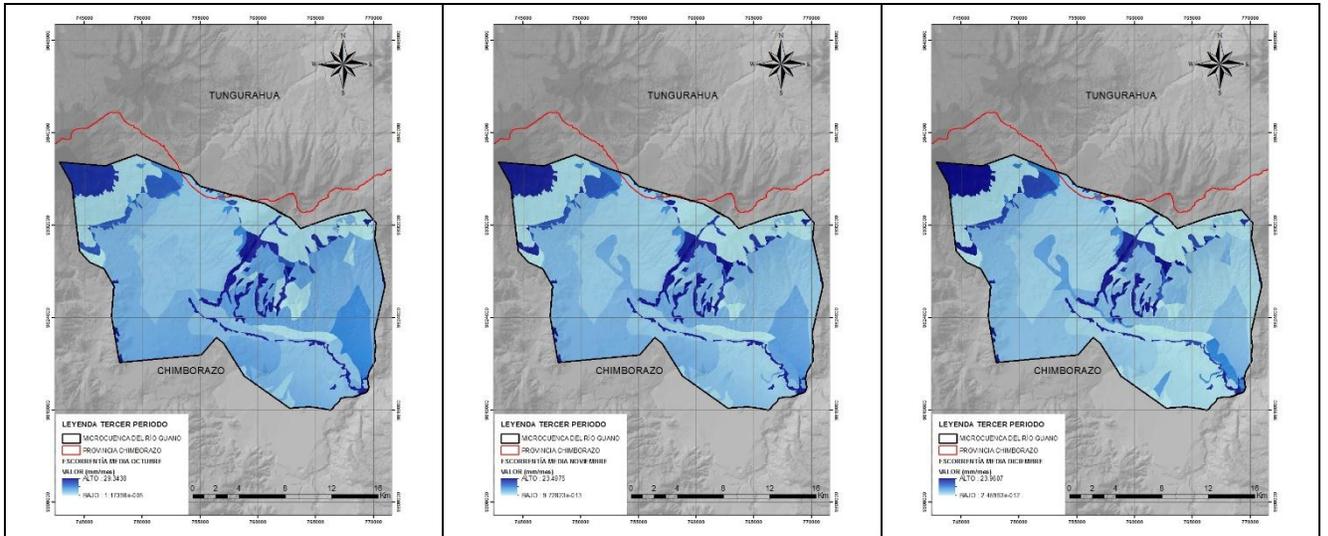
## EVAPOTRANSPIRACIÓN



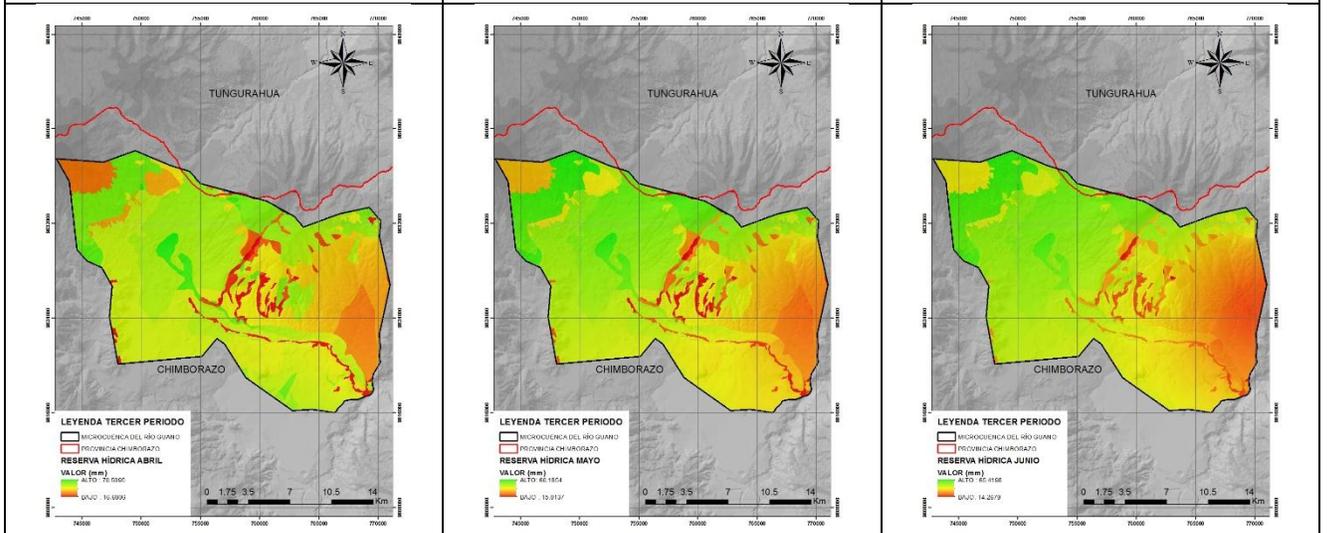
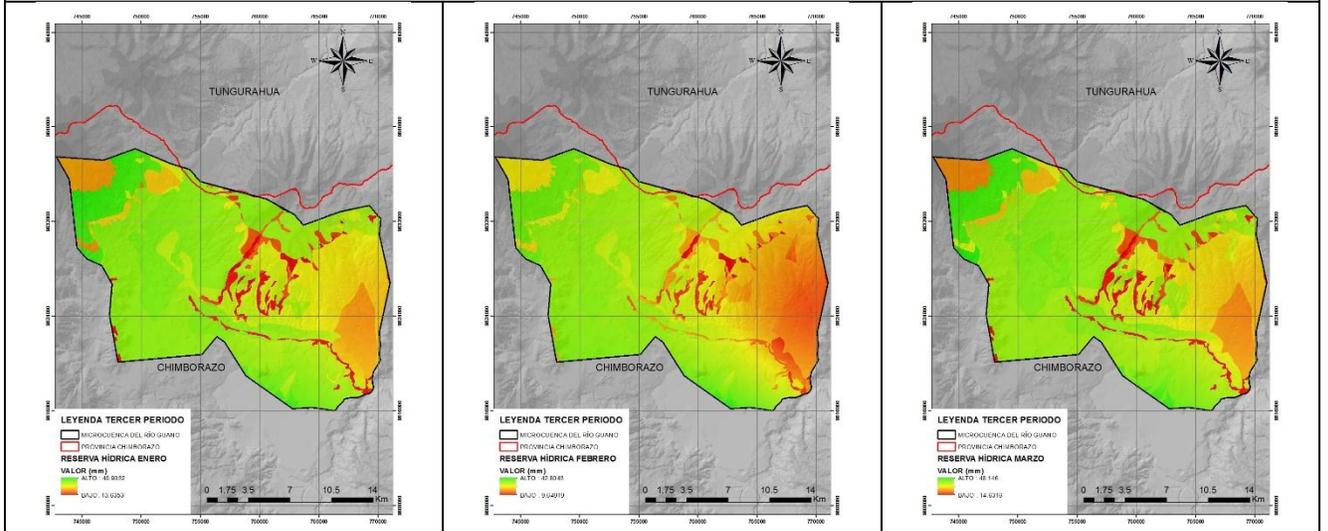


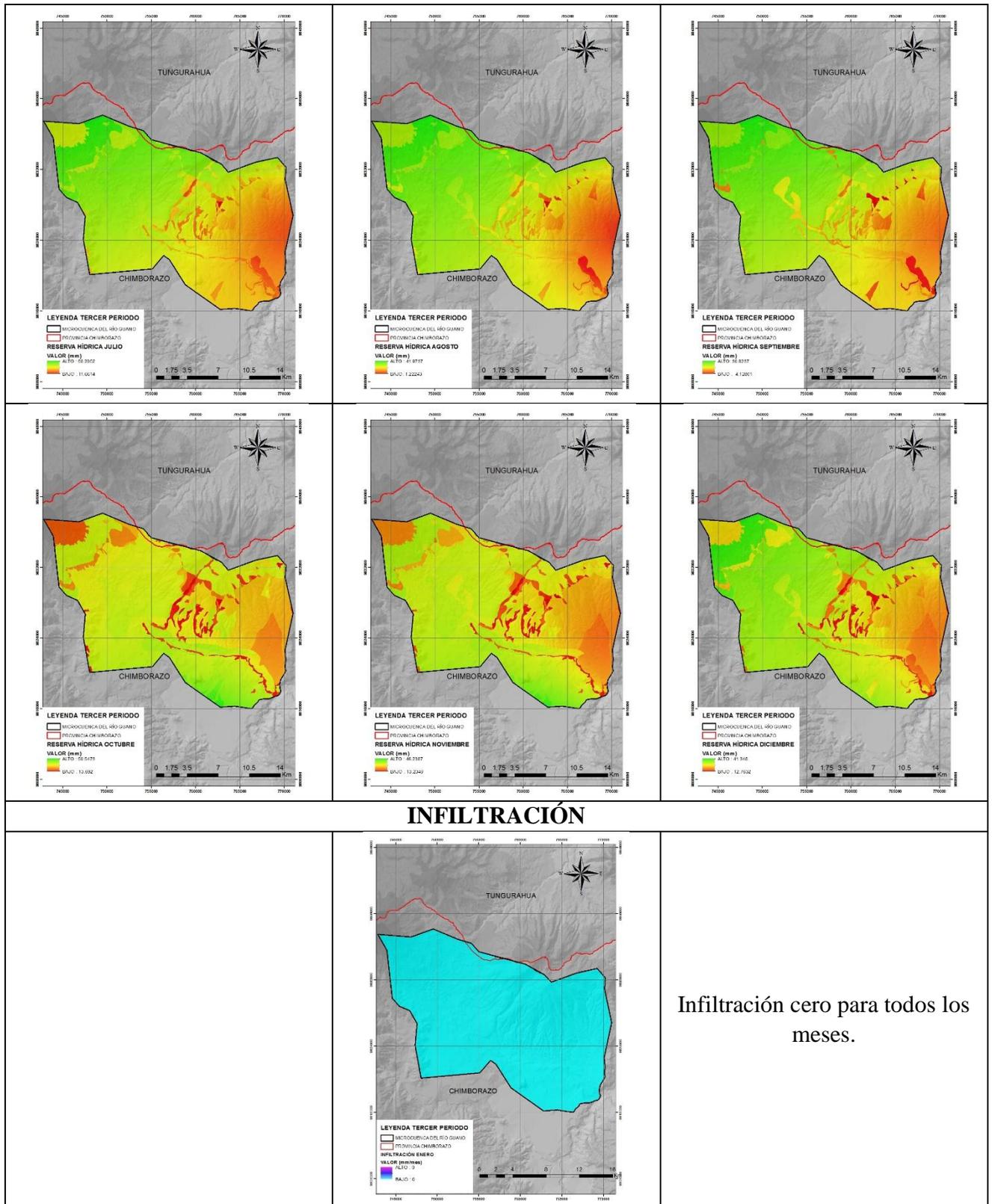
# ESCORRENTÍA





## RESERVA HÍDRICA





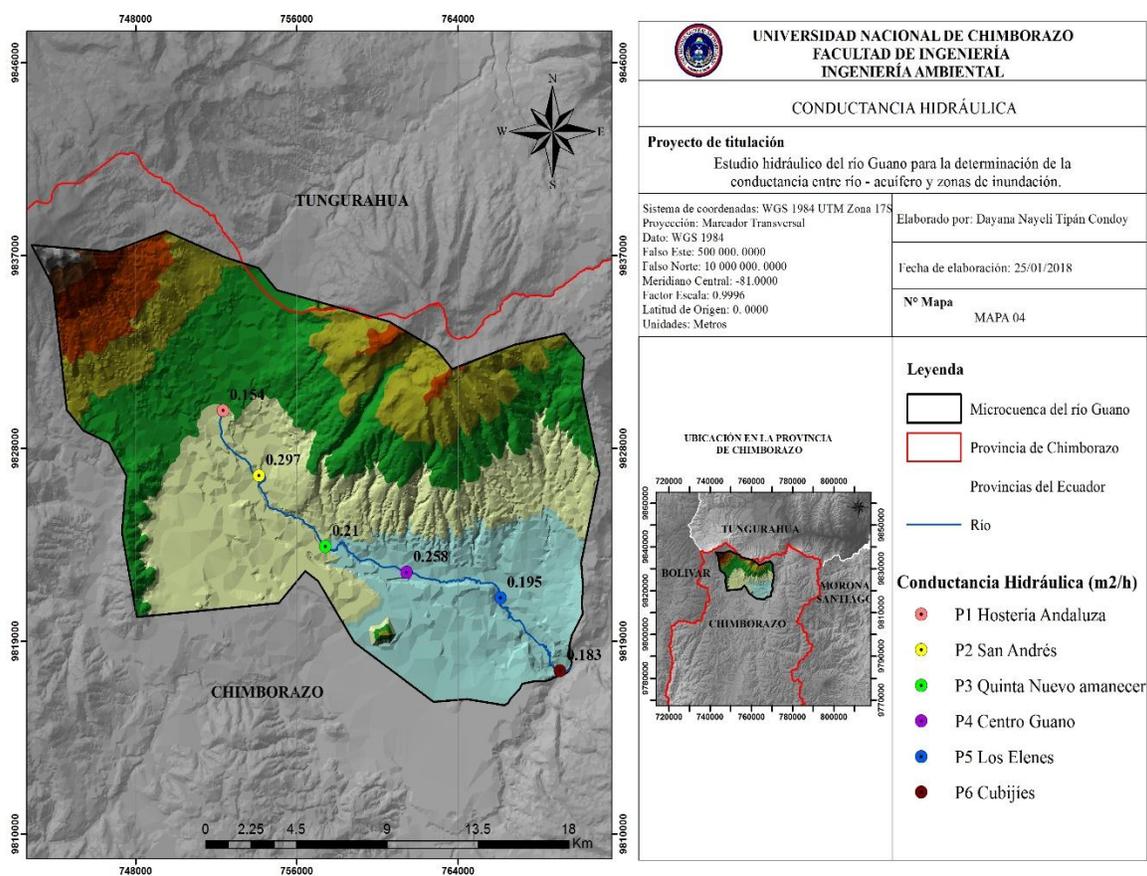
**Figura 17:** Mapas del Balance hídrico en la microcuenca del río Guano correspondientes al tercer periodo (2007-2014).  
**Autor:** Dayana Tipán C.

### 9.3. Anexo 3. Conductancia hidráulica

*Tabla 7: Puntos de muestreo de la conductancia hidráulica en la microcuenca*

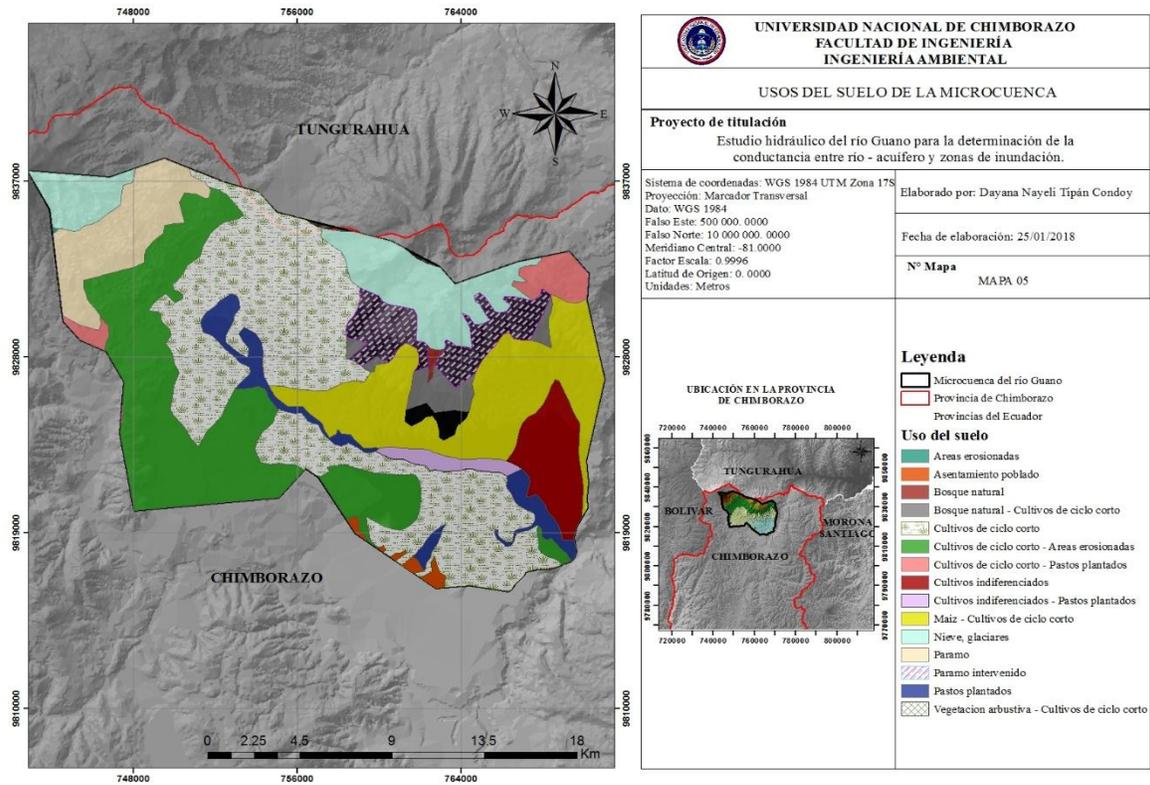
Punto	X	Y	Descripción	Conductancia (m <sup>2</sup> /h)	Q (m <sup>3</sup> /h)
1	752344	9829779	Hostería Andaluza	0.154	0.017
2	754126	9826747	San Andrés	0.297	0.125
3	759591	9822830	Quinta Nuevo amanecer	0.210	0.062
4	761447	9822222	Centro Guano	0.258	0.068
5	766097	9821035	Los Elenes	0.195	0.025
6	769053	9817627	Cubijíes	0.183	0.026

*Autor: Dayana Tipán C.*

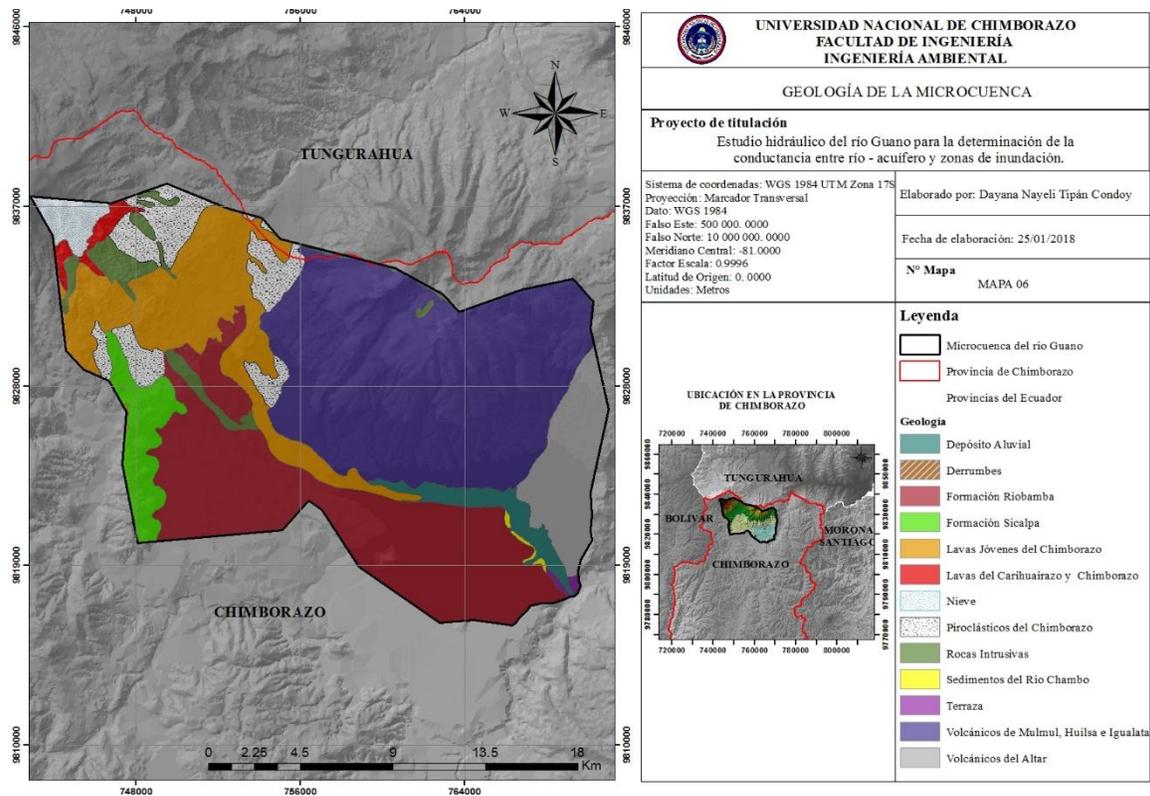


*Figura 18: Ubicación de los puntos de muestreo de la conductancia hidráulica en la microcuenca.*

*Autor: Dayana Tipán C.*



**Figura 19: Usos de suelo de la microcuenca del río Guano**  
**Autor: Dayana Tipán C**

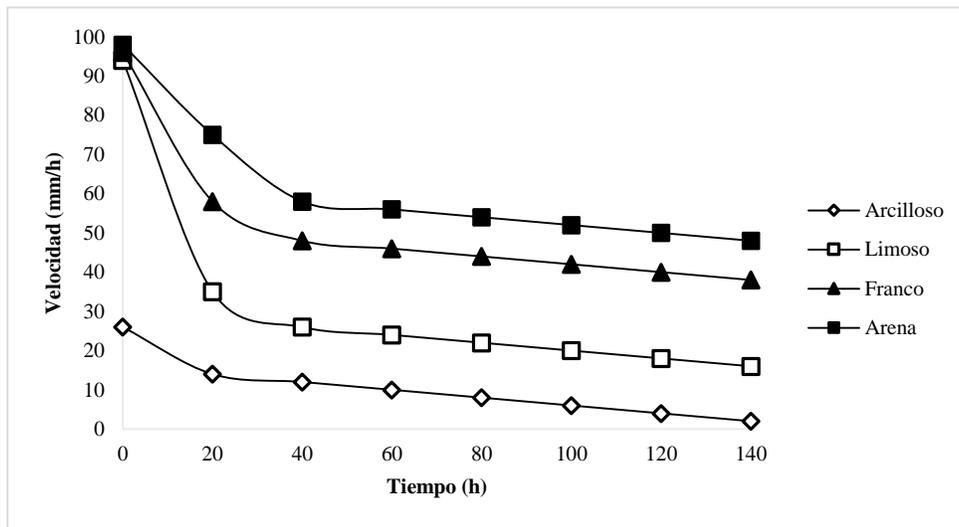


**Figura 20: Geología de la microcuenca del río Guano**  
**Autor: Dayana Tipán C.**

**Tabla 8: Datos de infiltración**

Tiempo (min)		10	20	30	40	50	60
HOSTERÍA ANDALUZA	Dh (cm)	4.2	1.4	1.8	1.3	1.7	0.8
	I (mm/h)	252	84	108	78	102	48
SAN ANDRÉS	Dh (cm)	11.8	6.6	5.6	4.5	1.5	12
	I (mm/h)	708	396	336	270	90	720
QUINTA NUEVO AMANECER	Dh (cm)	10.6	4.2	7.3	3.3	2.2	1.9
	I (mm/h)	636	252	438	198	132	114
CENTRO GUANO	Dh (cm)	9	4.5	4	3.7	2.8	2.2
	I (mm/h)	540	270	240	222	168	132
LOS ELENES	Dh (cm)	4.5	1.5	1.9	1.6	1.8	1.7
	I (mm/h)	270	90	114	96	108	102
CUBIJIES	Dh (cm)	4	5	2	2	2	1
	I (mm/h)	240	300	120	120	120	60

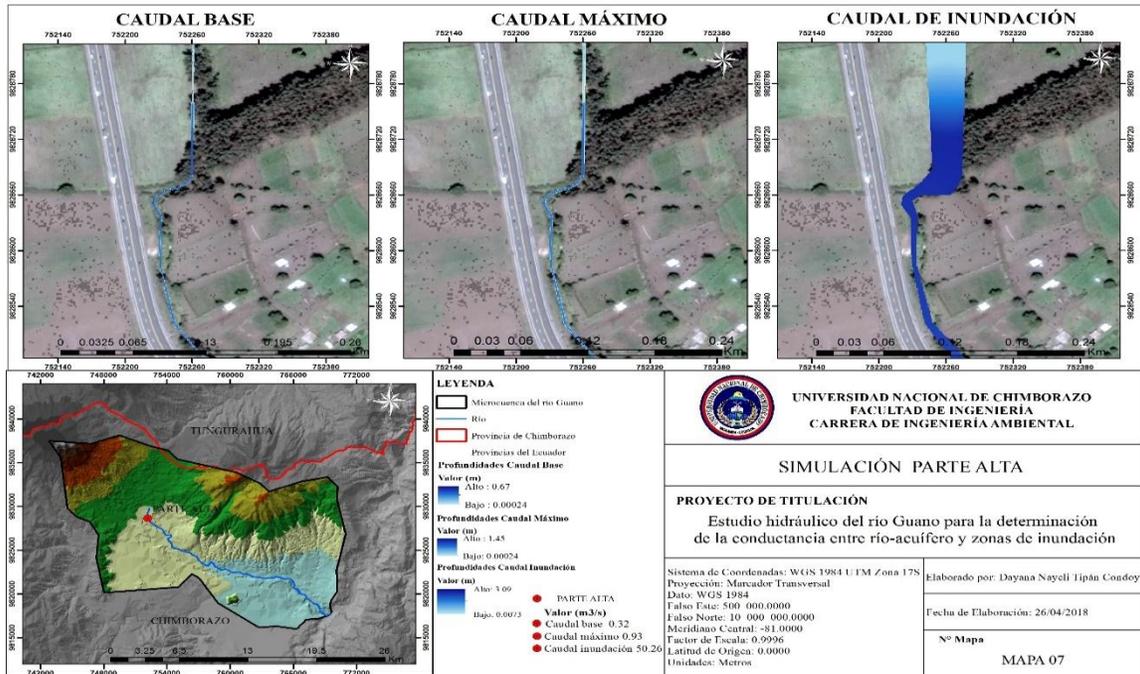
*Autor: Dayana Tipán C.*



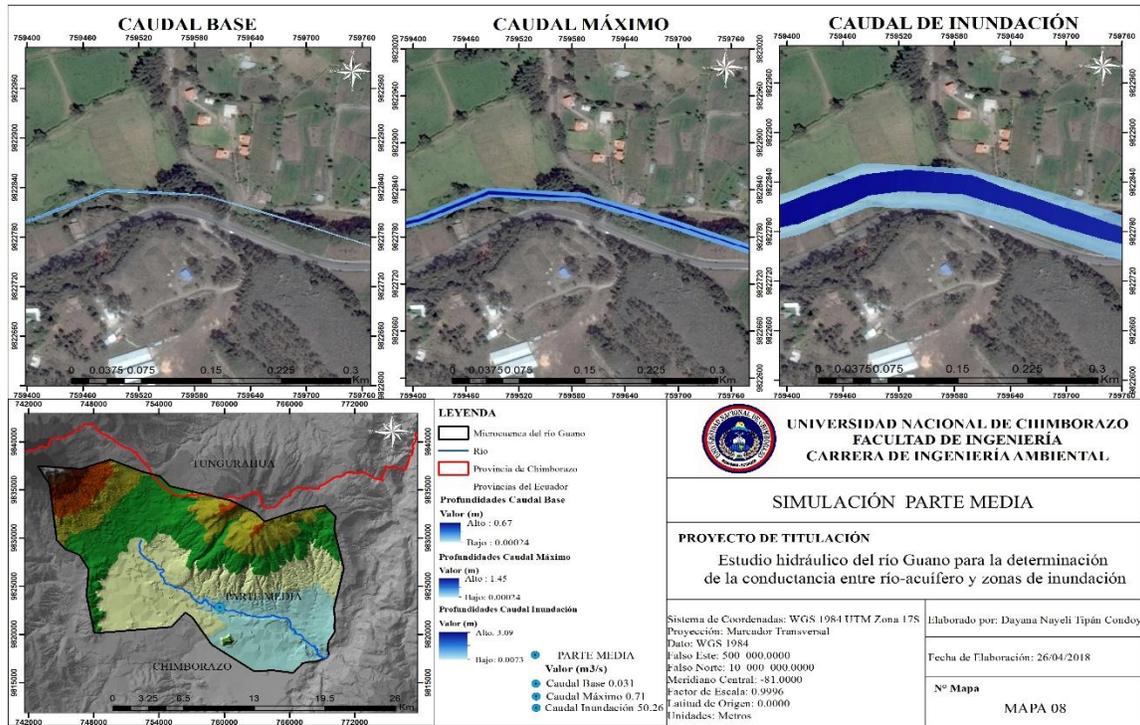
**Figura 21: Curvas de infiltración según la textura del suelo.**

*Fuente: (Ibañez, Moreno, & Blanquer, 2008)*

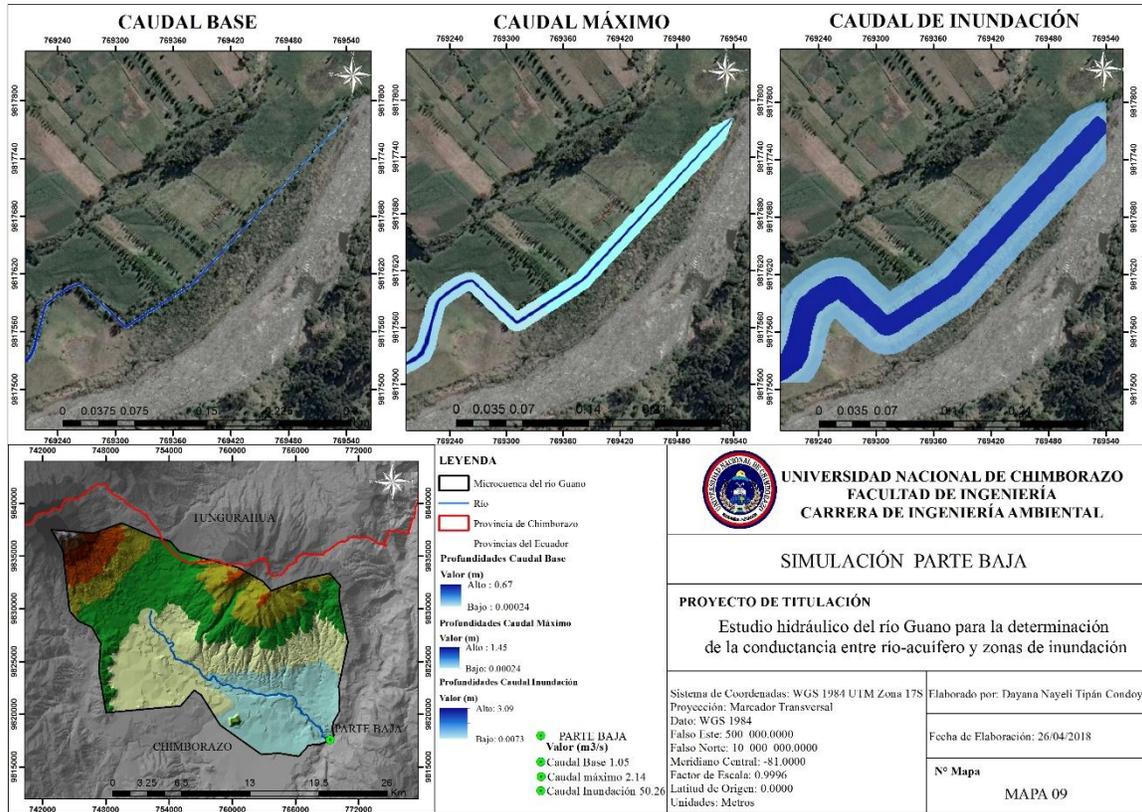
## 9.4. Anexo 4. Zonas de inundación.



*Figura 22: Simulación de las zonas de inundación en la parte alta de la microcuenca*  
*Autor: Dayana Tipán C*



*Figura 23: Simulación de las zonas de inundación en la parte media de la microcuenca.*  
*Autor: Dayana Tipán C.*



**Figura 24:** Simulación de las zonas de inundación en la parte baja de la microcuenca.  
**Autor:** Dayana Tipán C.

## 9.5. Anexo 5. Fotográfico

### *Levantamiento batimétrico en el río*



*Aserradero junto al río*



*Presencia de humedales en el sector de Los Elenes*



*Cruce de ganado*



*Escombros en el río*



*Medición infiltración con el infiltrómetro de carga constante*



*Toma de caudal en la desembocadura unión con el río Chambo*

