



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL**

**Título**

**Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Guamote y quebrada Compuene Gorge, en la provincia de Chimborazo**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental**

**Autor:**

Larrea Berrones, Alexander Xavier  
Maldonado Chávez, Carlos Andrés

**Tutor:**

PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo

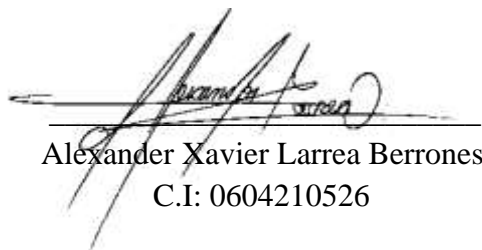
**Riobamba, Ecuador. 2022**

## DERECHOS DE AUTORÍA

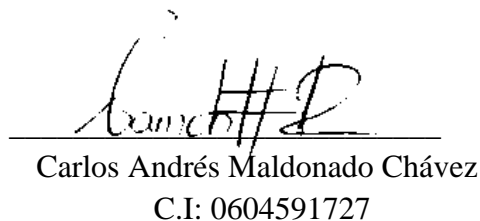
Nosotros, Alexander Xavier Larrea Berrones, Carlos Andrés Maldonado Chávez, con cédula de ciudadanía 0604210526, 0604591727, autores del trabajo de investigación titulado: Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Guamote y quebrada Compuene Gorge, en la provincia de Chimborazo, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 01 de diciembre de 2022.



Alexander Xavier Larrea Berrones  
C.I: 0604210526



Carlos Andrés Maldonado Chávez  
C.I: 0604591727

## DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Guamote y quebrada Compuene Gorge, en la provincia de Chimborazo, presentado por Alexander Xavier Larrea Berrones con cédula de identidad número 0604210526 y Carlos Andrés Maldonado Chávez, con cédula de identidad número 0604591727, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 1/12/2022

Cesar Cisneros, PhD.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Ana Ríos, Dra.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Patricio Santillán, Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Benito Mendoza, PhD.  
**TUTOR**



## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Guamote y quebrada Compuene Gorge, en la provincia de Chimborazo, presentado por Alexander Xavier Larrea Berrones, con cédula de identidad número 0604210526 y Carlos Andrés Maldonado Chávez, con cédula de identidad número 0604591727, bajo la tutoría de Dr. Guillermo Benito Mendoza Trujillo; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Presidente del Tribunal de Grado  
PhD. Ramiro Cesar Cisneros Vaca



Miembro del Tribunal de Grado  
Mgs. Guido Patricio Santillán Lima



Miembro del Tribunal de Grado  
Dra. Anita Cecilia Ríos Rivera



## CERTIFICADO ANTIPLAGIO



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO



# CERTIFICACIÓN

Que, **LARREA BERRONES ALEXANDER XAVIER y MALDONADO CHÁVEZ CARLOS ANDRÉS** con CC: 0604210526 y 0604591727, estudiantes de la Carrera **INGENIERIA AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA GUAMOTE Y QUEBRADA COMPUENE GORGE, EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**", cumple con el 9 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **OURIGINAL**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 24 de noviembre de 2022

PhD. Benito Mendoza  
**TUTOR(A).**

## **DEDICATORIA**

Dedico el fruto de este esfuerzo a mi madre, Mery Berrones, pilar fundamental en mi vida que me inculcó respeto, bondad y humildad, confiando en mí en todo momento, gracias a su incansable apoyo con el propósito de que me convierta en un excelente profesional y un ser útil para la sociedad. A mi padre, Francisco Larrea quien con su ejemplo cultivo en mí el valor del esfuerzo y trabajo duro día tras día, a mi hermana, Dayana, y a mis abuelitos, Eriberto y Graciela, ya que, gracias a su constante motivación logré culminar esta etapa profesional.

No me queda más que reconocer el apoyo brindado de toda mi familia y amigos por haber contribuido de una u otra manera en la culminación de este proyecto.

*Alexander Xavier Larrea Berrones*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia quienes con su amor y apoyo incondicional fueron un pilar fundamental en todo mi camino para seguir adelante y nunca rendirme. Se lo dedico a Kerly, mi pareja, quien nunca me permitió rendirme y me ayudó a creer en mí para poder cumplir mi meta, siempre siendo un apoyo importante en mi vida. Se la dedico a mi hija Elia, que desde que nació es y será siempre mi más grande motivación para seguir adelante no solo con este trabajo sino también en la vida. Se la dedico a mi abuelita Betsabe, que siempre está muy orgullosa de mí y con sus palabras siempre me da un aliento para seguir adelante. Por último, pero no menos importante se la dedico a mis amigos 5M, quienes me ayudaron desde la escuela y hoy se ve el fruto de toda esa amistad, siempre confiaron en mí y nunca permitieron que me rinda.

*Carlos    Andrés    Maldonado  
Chávez*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por su bondad y a la Virgen por guiarme en mi camino.

A mis abuelitos, padres y hermana, por creer en mí en todo momento, por incentivarne día a día sin descanso para que logre aquel anhelado objetivo, convertirme en ingeniero de la Republica de Ecuador, gracias por llenarme de fortaleza y sabiduría, gracias por ser un modelo de superación, pues ustedes influyeron en mí valores tales que me ayudaran en la vida profesional y sobre todo gracias por enseñarme a ser un buen cristiano y honrado ciudadano.

A todos los docentes y técnicos laboratoristas de la Carrera de Ingeniería Ambiental por compartir sus conocimientos, sus experiencias y consejos. Al PhD Benito Mendoza quien con su amistad y profesionalismo supo guiarme por el camino de la excelencia y finalizar exitosamente este trabajo de investigación. Y a todos quienes colaboraron desinteresadamente en mi formación profesional, gracias totales.

*Alexander Xavier Larrea Berrones*



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por todas las oportunidades que me brindó a lo largo de esta carrera. Agradezco a toda mi familia por apoyarme en cada paso que doy en la vida y por muchas de las veces cuestionarme para ayudarme a ser una mejor persona. Agradezco a mi pareja Kerly por todos los consejos que me dio y por apoyarme siempre para poder lograr la mejor versión de mí. Agradezco a mis amigos 5M por estar siempre y cuando los necesitaba, además darme siempre su punto de vista cuando necesitaba un enfoque diferente de las cosas.

A todos los docentes y técnicos laboratoristas de la Carrera de Ingeniería Ambiental por compartir sus conocimientos, sus experiencias y consejos. Al PhD Benito Mendoza quien con su amistad y motivación me guió durante toda la carrera, como también me ayudó a finalizar exitosamente este trabajo de investigación. Y a todos mis compañeros que conocí a lo largo de la carrera, que siempre estuvieron en cada paso que di en mejora de la carrera y del curso, agradezco por creer en mi para poder convertirme en representante estudiantil.

*Carlos Andrés Maldonado Chávez*

## **INDICE GENERAL**

DECLARATORIA DE AUTORÍA .....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA.....	
INDICE GENERAL.....	
INDICE DE TABLAS.....	
INDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN .....	
ABSTRACT.....	
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....</b>	<b>19</b>
Antecedentes .....	19
Planteamiento del Problema .....	20
Justificación .....	20
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
General .....	21
Específicos .....	21
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
Estado del arte.....	21
Marco teórico .....	22
Cuenca hidrográfica .....	22
Geomorfología de la Cuenca.....	22
Características Físicas de las Cuencas .....	22
Área de la cuenca (A) .....	22
Perímetro de la cuenca (P).....	22
Índice de compacidad (Ic) .....	23
Factor de Forma (Ff) .....	23
Relación de Elongación (Re).....	23
Relación de circularidad (Rci).....	23
Parámetros de Relieve .....	23
Pendiente de la cuenca.....	23
Curva Hipsométrica.....	23
Diagrama de frecuencias altimétricas.....	23
Relación del relieve (Rr) .....	23
Parámetros de la Red Hidrográfica de la Cuenca.....	23

Componentes de la red de drenaje.....	23
Densidad de drenaje (Dd).....	24
La pendiente media (Sm).....	24
Sistema de información geográfica.....	24
Sistemas de teledetección.....	24
Porosidad del suelo.....	24
Coeficiente de permeabilidad.....	24
Tipos de permeabilidad.....	25
Absoluta.....	25
Efectiva.....	25
Relativa.....	25
Capacidad de infiltración.....	25
Método número de curva.....	26
Cálculo del número de curva (CN).....	26
Ley de Darcy.....	26
Condición hidrológica para la infiltración.....	26
Clasificación de coberturas.....	27
HEC-HMS.....	27
Sistemas de Teledetección.....	27
Clasificación de imágenes satelitales.....	28
Clasificación supervisada.....	28
Clasificación no supervisada.....	29
Mínima distancia.....	29
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	29
Tipo de investigación.....	29
Diseño de investigación.....	29
Técnicas de recolección de datos.....	29
Población de estudio y tamaño de muestra.....	30
Población.....	30
Muestra.....	30
Métodos de análisis.....	31
Procesamiento de datos.....	31
In situ.....	31

Ex Situ .....	32
Área de estudio.....	32
FASE 1 .....	33
Establecer el uso de suelo y la cobertura vegetal .....	33
Identificación de los puntos de muestreo .....	33
FASE 2 .....	33
Obtención de los parámetros de forma, relieve, red e hidráulicos de la microcuenca del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge .....	33
Determinación de parámetros geomorfológicos.....	33
Análisis in situ .....	33
Análisis ex situ .....	33
FASE 3 .....	35
Determinar la capacidad de campo (CN) .....	35
Cálculo y asignación de número de curva (CN).....	35
Capacidad de campo o potencial máximo de retención (S).....	35
Modelación para obtener la relación de precipitación - escorrentía.....	35
Pérdidas o abstracciones.....	36
Circulación de la lluvia efectiva a través de la microcuenca.....	36
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
Parámetros Geomorfológicos de la microcuenca Guamote.....	36
Parámetros Geomorfológicos de la quebrada Compuene Gorge.....	38
Parámetros hidráulicos en la microcuenca Guamote .....	39
Análisis de Textura M.R.G .....	39
Cálculo de la Porosidad M.R.G.....	40
Cálculo de Materia orgánica M.R.G .....	40
Cálculo de Permeabilidad M.R.G .....	41
Capacidad de infiltración M.R.G .....	42
Parámetros hidráulicos en la Quebrada Compuene Gorge .....	42
Análisis de Textura Q.C.G .....	42
Cálculo de la Porosidad Q.C.G .....	43
Cálculo de materia orgánica Q.C.G .....	43
Cálculo de Permeabilidad Q.C.G .....	44
Capacidad de infiltración Q.C.G.....	44

Capacidad de campo de la microcuenca del río Guamote y la Quebrada Compuene Gorge. ....	45
Modelación para obtener la relación de precipitación – escorrentía.....	46
Relación precipitación-escorrentía M. R. G.....	46
Relación precipitación-escorrentía Q. C. G .....	46
Oferta hídrica para la M.R.G .....	48
OFERTA HÍDRICA PARA LA Q.C.G.....	49
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES</b> .....	50
<b>CONCLUSIONES</b> .....	50
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	51
<b>ANEXOS</b> .....	55
Anexo 1 números de curva de escorrentía según su cobertura .....	55
Anexo 2 asignación numérica general para las diferentes texturas del suelo .....	57
Anexo 3 Modelo precipitación – escorrentía periodo 1981 – 2000 M.R.G.....	57
.....	58
Anexo 4 Modelo precipitación – escorrentía periodo 2001 – 2020 M.R.G.....	59
Anexo 5 concesiones de riego para la provincia de Chimborazo .....	60
Anexo 6 parámetros hidráulicos .....	66
Anexo 7 fotográfico .....	74

### **ÍNDICE DE TABLAS.**

<b>Tabla 1.</b> Clases texturales del suelo dependiendo de su permeabilidad _____	25
<b>Tabla 2</b> Cobertura vegetal y taxonomía del suelo en la quebrada Compuene Gorge	
_____	30
<b>Tabla 3.</b> Cobertura vegetal y taxonomía del suelo en la microcuenca Guamote__	30
<b>Tabla 4.</b> Parámetros geomorfológicos de la microcuenca Guamote _____	36
<b>Tabla 5.</b> Parámetros geomorfológicos de la quebrada Compuene Gorge _____	38
<b>Tabla 6.</b> Validación numérica textural para clases texturales _____	39
<b>Tabla 7.</b> Validación numérica textural según la cobertura vegetal de la Q.C.G __	42
<b>Tabla 8.</b> Asignación de HSG y CN para la Q.C.G _____	45
<b>Tabla 9.</b> Asignación de HSG y CN para la Q.C.G _____	45
<b>Tabla 10</b> Caudal Ofertado M.R.G _____	48
<b>Tabla 11.</b> números de curva de escorrentía para pastizales áridos y semiáridos__	55
<b>Tabla 12.</b> Números de curva de escorrentía para la agricultura _____	56
<b>Tabla 13.</b> Clase textural_____	57
<b>Tabla 14.</b> Uso y caudal de las concesiones de riego para la M.R.G _____	60
<b>Tabla 15.</b> Uso y caudal de las concesiones de riego para la Q.C.G_____	65
<b>Tabla 18.</b> Parámetros hidráulicos de la M.R.G _____	66

<b>Tabla 19.</b> Parámetros hidráulicos de la Q.C.G _____	68
<b>Tabla 20</b> Caudal Medio Calculado M.R.G _____	70
<b>Tabla 21</b> Caudal Medio Calculado Q.C.G _____	72
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>Figura 1.</b> Permeámetro de carga constante. _____	26
<b>Figura 2.</b> Proceso de la teledetección _____	28
<b>Figura 3.</b> Fases metodológicas _____	31
<b>Figura 4.</b> Mapa de ubicación del área de estudio _____	32
<b>INDICE DE GRAFICOS</b>	
<b>Gráfico 1</b> Curva hipsométrica de la M.R.G _____	37
<b>Gráfico 2.</b> Curva hipsométrica de la Q.C.G _____	39
<b>Gráfico 3.</b> Porcentaje de porosidad según la cobertura vegetal de la M.R.G ____	40
<b>Gráfico 4.</b> Porcentaje de materia orgánica según la cobertura vegetal de la M.R.G _____	41
<b>Gráfico 5.</b> Permeabilidad según la cobertura vegetal en la M.R.G _____	41
<b>Gráfico 6.</b> Capacidad de infiltración según la cobertura vegetal en la M.R.G ____	42
<b>Gráfico 7.</b> Porcentaje de porosidad según la cobertura vegetal de la Q.C.G ____	43
<b>Gráfico 8.</b> Porcentaje de materia orgánica según la cobertura vegetal de la Q.C.G _____	44
<b>Gráfico 9.</b> Permeabilidad según la cobertura vegetal de la Q.C. G _____	44
<b>Gráfico 10.</b> Relación precipitación– escorrentía periodo 1981-2000 Q.C.G ____	47
<b>Gráfico 11.</b> Relación precipitación - escorrentía periodo 2001-2021 Q.C.G ____	47
<b>Gráfico 12.</b> Relación precipitación– escorrentía periodo 1981-2000 M.R.G S1 _	57
<b>Gráfico 13.</b> Relación precipitación– escorrentía periodo 1981-2000 M.R.G S2 _	58
<b>Gráfico 14.</b> Relación precipitación– escorrentía periodo 1981-2000 M.R.G S3 _	58
<b>Gráfico 15.</b> Relación precipitación– escorrentía periodo 2001-2021 M.R.G S1 _	59
<b>Gráfico 16.</b> Relación precipitación– escorrentía periodo 2001-2021 M.R.G S2 _	59
<b>Gráfico 17.</b> Relación precipitación– escorrentía periodo 2001-2021 M.R.G S2 _	60

## RESUMEN

La microcuenca del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge están ubicadas dentro de la subcuenca del río Chambo, estos ríos se consideran una forzante hidrológica y límite geológico del acuífero ubicado en esta subcuenca, por ende, la información hidrológica de la zona es necesaria para analizar los parámetros que intervienen en el ciclo hidrológico, además las zonas donde se encuentran ubicadas son consideradas como áreas donde se producen gran cantidad de hortalizas para consumo provincial y nacional, por lo que, proyectos de riego a gran escala son considerados por la Autoridad Nacional para ser ejecutados, pero no se cuenta con la información de caudales, ya que, no existen estaciones hidrológicas que permitan medir el caudal en tiempo real. Esto hace, que una aproximación matemática permita al menos conocer qué cantidad de agua se podría ofrecer en la zona, para de esta manera proyectar adecuadamente obras de infraestructura y cuidar el caudal ecológico en estos cuerpos hídricos.

Por esta razón, la presente investigación tiene como objetivo determinar la oferta hídrica de la microcuenca del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge mediante el método precipitación-escorrentía, así como, el análisis de la capacidad de campo y el estudio geomorfológico de las mismas, para esto se identificó puntos de muestreo estratégicos según la cobertura vegetal y la taxonomía del suelo con la ayuda de sistemas de información geográfica. Además, se realizó el análisis de imágenes satelitales para demostrar el cambio de la cobertura vegetal, cuyos resultados se validaron con el trabajo en campo, obteniendo la clasificación de coberturas que fueron utilizadas en el cálculo del potencial de escurrimiento.

El análisis de parámetros hidráulicos demostró porcentajes de materia orgánica, porosidad, capacidad de infiltración y el coeficiente de permeabilidad o carga hidráulica del suelo, evidenciando el deterioro y desgaste del terreno por malas prácticas agropecuarias, además, las condiciones hidrológicas para la infiltración determinan un porcentaje según la retención de precipitación: buena con cobertura mayor a 75%, regular con cobertura entre 50 - 75% y mala con cobertura menor al 50%. En este sentido, La microcuenca del río Guamote presenta valores máximos de infiltración en la clase vegetación arbustiva con 7mm/h, y en la quebrada Compuene Gorge en la clase cultivo con un valor de 8mm/h.

La cobertura vegetal y la taxonomía del suelo intervienen directamente en el cálculo del CN validado por trabajo en campo, para determinar las clases texturales y categorías presentes en la zona: Paramo, Vegetación arbustiva, Plantaciones forestales y Cultivos, este parámetro fue analizado con el método número de curva, el cual arroja valores de 1 a 100 según el nivel de permeabilidad del terreno, siendo 100 el valor más impermeable, que demuestra zonas urbanas, fuentes de agua y nieve, por lo tanto, la asignación del CN depende de la condición de humedad previa, el uso del suelo y el tratamiento de la cuenca hidrográfica, además, la capacidad de campo o potencial máximo de retención (S) es la cantidad de agua que contiene el suelo después de un lapso de 48 horas de drenaje.

Con todos los parámetros anteriormente descritos, mediante el software HEC-HMS se realizó la modelación matemática, aplicando el método del número de curva SCS, a partir de datos de precipitación diaria, evapotranspiración media mensual, temperatura diaria esto para el rango de años desde 1981 hasta 2021, además de las condiciones geomorfológicas

como tiempo de retardo, umbral de escorrentía y CN, permitiendo de esta manera obtener caudales diarios para el mencionado periodo de tiempo.

En este contexto, los resultados obtenidos de la modelación hidrológica demostraron que caudal total anual del río Guamote es de  $0.1568 \text{ m}^3/\text{s}$ , la quebrada Compuene Gorge tiene un caudal de  $0.8539 \text{ m}^3/\text{s}$ , el caudal ecológico es de  $0.01568 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $0.08539 \text{ m}^3/\text{s}$  para el río Guamote y la quebrada Compuene Gorge, las concesiones de riego de uso agropecuario nos dieron un resultado de  $0.001848 \text{ m}^3/\text{s}$  para el río Guamote y  $0.0007846 \text{ m}^3/\text{s}$  para la quebrada Compuene Gorge. El resultado de este trabajo determinó la oferta hídrica las cuales fueron  $0.1394 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $0.7685 \text{ m}^3/\text{s}$  para el río Guamote y la quebrada Compuene Gorge respectivamente, es decir, la oferta hídrica de los dos cuerpos de agua blanda la posibilidad de extraer líquido, proporcionando una opción para riego a la parte baja de la cuenca del Chambo, mediante el uso adecuado del recurso.

**Palabras clave:**

Modelo precipitación – escorrentía, capacidad de campo, método número de curva, oferta hídrica, potencial máximo de retención.



## ABSTRACT

The Guamote River micro-basin and the Compuene Gorge are located within the Chambo River sub-basin, these rivers are considered a hydrological forcing and geological limit of the aquifer located in this sub-basin, therefore, the hydrological information of the area is necessary to analyse the parameters involved in the hydrological cycle, In addition, the areas where they are located are considered areas where large quantities of vegetables are produced for provincial and national consumption, so that large-scale irrigation projects are considered by the National Authority to be executed, but there is no information on flow rates, since there are no hydrological stations to measure the flow in real time. This means that a mathematical approximation would at least allow us to know what amount of water could be offered in the area, to adequately design infrastructure works and take care of the ecological flow in these water bodies.

For this reason, the present research aims to determine the water supply of the Guamote River and Compuene Gorge micro-watershed through the rainfall-runoff method, as well as the analysis of the field capacity and the geomorphological study of the same, for which strategic sampling points were identified according to the vegetation cover and soil taxonomy with the help of geographic information systems. In addition, satellite images were analysed to demonstrate the change in vegetation cover, the results of which were validated with the field work, obtaining the classification of cover that was used in the calculation of runoff potential.

The analysis of hydraulic parameters showed percentages of organic matter, porosity, infiltration capacity and the permeability coefficient or hydraulic load of the soil, evidencing the deterioration and wear of the soil due to poor agricultural practices. In addition, the hydrological conditions for infiltration determine a percentage according to the retention of precipitation: good with coverage greater than 75%, regular with coverage between 50 - 75% and bad with coverage less than 50%. In this sense, the Guamote River micro-basin has maximum infiltration values in the shrub vegetation class with 7 mm/h, and in the Compuene Gorge stream in the crop class with a value of 8 mm/h.

Vegetation cover and soil taxonomy are directly involved in the calculation of the NC validated by field work, to determine the textural classes and categories present in the area: Paramo, Shrub vegetation, Forest plantations and Crops, this parameter was analysed with the curve number method, which yields values from 1 to 100 according to the permeability level of the terrain, being 100 the most impermeable value, which demonstrates urban areas, water sources and snow, therefore, the assignment of the NC depends on the previous moisture condition, land use and watershed treatment, in addition, the field capacity or maximum retention potential (S) is the amount of water contained in the soil after a 48-hour drainage period.

With all the parameters described above, mathematical modelling was performed using the HEC-HMS software, applying the SCS curve number method, based on daily precipitation data, monthly average evapotranspiration, daily temperature for the range of years from 1981 to 2021, in addition to geomorphological conditions such as lag time, runoff threshold and CN, thus allowing to obtain daily flows for the aforementioned time period.

In this context, the results obtained from the hydrological modelling showed that the total annual flow of the Guamote River is 0.1568 m<sup>3</sup>/s, the Compuene Gorge has a flow of 0.8539 m<sup>3</sup>/s, the ecological flow is 0.01568 m<sup>3</sup>/s and 0.08539 m<sup>3</sup>/s for the Guamote River and the Compuene Gorge, the agricultural irrigation concessions gave us a result of 0.001848 m<sup>3</sup>/s for the Guamote River and 0.0007846 m<sup>3</sup>/s for the Compuene Gorge. The result of this work determined the water supply, which were 0.1394 m<sup>3</sup>/s and 0.7685 m<sup>3</sup>/s for the Guamote River and Compuene Gorge respectively, the water supply of the two bodies of water blends the possibility of extracting liquid. This means that the water supply of the two bodies of water offers the possibility of extracting liquid, providing an option for irrigation in the lower part of the Chambo basin, through the adequate use of the resource.

**Key words:**

Rainfall-runoff model, field capacity, curve number method, water supply, maximum retention potential.



Firmado electrónicamente por:  
**DIANA CAROLINA  
CHAVEZ GUZMAN**

**Reviewed by:**

Lcda. Diana Chávez

**ENGLISH PROFESSOR**

C.C. 065003795-5

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCION.**

### **Antecedentes**

La dinámica de las aguas en el planeta define al ciclo hidrológico del cual dependen los ecosistemas naturales y el hombre es importante el estudio del agua superficial y subterránea, para deducir la intervención de procesos como la escorrentía, precipitación, infiltración, evaporación, pues aquellos participan en el ambiente que los circunda (Vásquez et al., 2016; Ríos et al., 2011). Al respecto se debe tomar en consideración la distribución espacial y la administración del patrimonio natural que se halla en una cuenca hidrográfica (Soria, 2017).

A pesar de las décadas de estudio invertidas al ciclo hidrológico y a los planteamientos teórico-prácticos que pretende describir y predecir con modelos dichos fenómenos, en Ecuador las cuencas hidrográficas carecen de un manejo oportuno de conservación, provocando desestabilización en el ciclo hidrológico, la causa de esta alteración se refleja en la disminución de retención de humedad, desgaste del suelo e inundaciones en la época de lluvia, así también la escasez del agua en el periodo de estiaje según la zona (Mendoza et al., 2014).

El excedente de agua en el suelo es conocido como escorrentía superficial, parámetro que participa en el ciclo hidrológico. El escurrimiento superficial tiene su recorrido desde los cuérragos secundarios y al final en el cauce principal, hasta llegar a la desembocadura, también influye directamente la capacidad de infiltración del suelo. El manejo inadecuado del exceso de agua superficial forma un problema ambiental decisivo en la sostenibilidad de los ecosistemas, provocando procesos erosivos, desbordamientos, contaminantes en el agua por arrastre de sedimentos (Mendoza et al., 2021).

Con este fin, se desempeña el análisis entre lo esperado y lo que ocurre en realidad, se debe obtener la mayor cantidad de datos, en coeficiente experimentales obtenidas de observaciones bajo “condiciones tipo” verificando su efectividad en aplicaciones similares del estudio (Vásquez et al., 2016) se han optimizado varias técnicas que permiten conocer el volumen de escurrimiento en el medio determinado para gestionar adecuadamente el agua. Para así delinear estructuras de aprovechamiento del recurso (Mendoza, 2011).

Debido al uso sostenible del agua se estudia las características hidráulicas en el subsuelo, así como la porosidad y la conductividad hidráulica, en la región andina del Ecuador es limitado el conocimiento del funcionamiento de los acuíferos, además en esta región el recurso hídrico es agotable, por un desbalance entre la oferta y la demanda en los usos del agua (Paper & Ord, 2019).

Un elemento importante que normalmente no ha sido tomado es el cálculo de la escorrentía que se determina según los eventos de precipitación utilizando correlación entre la cobertura vegetal y uso de suelo de la zona de estudio, que sirve para determinar el número de curva (Guananga-Díaz et al., 2022)

De esta manera, se precisa obtener información hidrometeorológica de las cuencas hidrográficas, pero la inadecuada retención de información de datos fluviales y pluviales en línea temporal dificulta el estudio (Quijano, 2014).

Así pues, La finalidad de este trabajo es delimitar los parámetros geomorfológicos, hidráulicos en las microcuencas de Guamote y Compuene Gorge situados en la subcuenca del río Chambo de la provincia de Chimborazo, así también determinar la capacidad de campo, conjeturando las características físicas del medio, también la cobertura vegetal y el uso de suelo, para dar valores cuantitativos en el cálculo de CN, lo que permitirá determinar la oferta hídrica en el sector mediante el método precipitación-escorrentía (Pulla, 2019).

## **Planteamiento del Problema**

Los estudios hidrológicos se han perfeccionado en las últimas décadas, sin embargo, la contaminación sobre el ambiente ha incrementado rápidamente incentivando al desgaste periódico de los recursos naturales, la contaminación del agua ha sido provocado por diversos factores y es importante identificar la calidad hídrica a fin de promover estrategias y planes que mitiguen el recurso vital (Soria, 2017). En consecuencia, se debe delimitar los factores responsables que inciden en la contaminación del agua, crecimiento acelerado de deforestación y erosión del medio (Ríos et al., 2011).

Es imprescindible poseer una base de datos con información hidrológica, lo que resulta escaso en el país, arrojando resultados con poca precisión en las categorías utilizadas en el balance hídrico (Pulla, 2019).

Por consiguiente, es necesario determinar los parámetros hidráulicos en base a cálculos teóricos y datos de precipitación de estaciones meteorológicas cercanas a las microcuencas Guamote y Compuene Gorge de la provincia de Chimborazo, aquellas que no cuentan con estudios hidrológicos previos, lo que ha incentivado al interés para realizar un estudio que contenga los factores que estén interviniendo con la vinculación de la precipitación y escorrentía (Pulla, 2019).

Los planes de mitigación, planes de manejo, planes de manejo territorial, planes de desarrollo agropecuario, se ven afectados por la escasa información hidrológica de la microcuenca del río Guamote y la microcuenca de la Quebrada Compuene Gorge, limitando a las distintas entidades para la toma de decisiones, perjudicando al manejo adecuado del recurso hídrico puesto que no existen estudios de oferta hídrica en la provincia (Mendoza et al., 2021).

## **Justificación**

Ecuador es considerado como el primer país megadiverso del planeta, aun así, está sujeto a ciertas limitaciones de información hidrometeorológica en relación con las cuencas hidrográficas (Tello & Sánchez, 2019).

Por otra parte, las microcuencas del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge no poseen un banco de datos adecuado sobre la oferta hídrica que permita desarrollar proyectos con fines de conservación y dotación de agua, dejando vacíos en el balance hídrico (Mendoza et al., 2021).

En este contexto, es necesario realizar un modelamiento hidrológico de precipitación – escorrentía con el fin de obtener la oferta hídrica de estas microcuencas, permitiendo un desarrollo sostenible en el área de influencia (Tello & Sánchez, 2019).

## **OBJETIVOS**

### **General**

- Determinar la oferta hídrica de la microcuenca del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge, en la provincia de Chimborazo, mediante el método precipitación-escorrentía.

### **Específicos**

- Determinar los parámetros de forma, relieve, red e hidráulicos de la microcuenca del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge.
- Calcular el número de curva (CN), utilizando el uso de suelo y la cobertura vegetal de la microcuenca del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge.
- Modelar el caudal del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge mediante el método precipitación – escorrentía.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **Estado del arte**

En los últimos años se ha estudiado acerca de la oferta hídrica y recarga subterránea de acuíferos que se creían confinados, así también, la permeabilidad del suelo y la capacidad de infiltración, a continuación, se presentan algunas investigaciones que se relacionan con la problemática del presente trabajo.

En Ecuador, durante el año 2019 los hoy ingenieros Sandra Iturralde y Manuel Sebastián presentaron ante la Universidad Nacional de Chimborazo una tesis nombrada *Determinación de la capacidad de campo de las microcuencas de los ríos Chibunga y Guano*. Su investigación se centró en definir el uso de suelo y la cobertura vegetal de las microcuencas, así también, obtener los valores para el cálculo del número de curva y determinar la capacidad de campo, pues la ausencia de datos de tipo hidrometeorológico ha fomentado el uso de parámetros a base de cálculos teóricos.

La metodología aplicada utilizada en esta investigación hace referencia a conocimiento teórico que fue llevado a la práctica, se desarrolló en tres fases, la primera fue establecer el uso de suelo y la cobertura vegetal, la segunda, obtener de los parámetros para el CN y por último determinar la capacidad de campo con un modelo de precipitación escorrentía.

La investigación arrojó 8 unidades geográficas bien definidas, así también, determinaron que existe un deterioro en el suelo debido a las malas prácticas agrícolas, el potencial máximo de retención se determinó con el cálculo del CN que está estrechamente relacionado con la cobertura vegetal y toda esta investigación resultó de gran utilidad para aportar con datos hidráulicos y geomorfológicos para futuras investigaciones.

En el presente año el ingeniero Risalve Huaraca y el ingeniero Luis Donato, presentaron ante la universidad Cesar Vallejo en Perú una tesis nombrada *Nivel de permeabilidad del suelo arenoso – arcilloso como fuente de captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua potable, Huancayo 2022*. En dicho trabajo, los autores desarrollaron una investigación cuyo objetivo principal fue, definir la capacidad de captación

natural en acuíferos para el abastecimiento de agua potable por medio del nivel de permeabilidad del suelo arenoso – arcilloso. Utilizaron una metodología hipotético deductivo ya que se formularon hipótesis.

Utilizaron herramientas como la matriz de operación de variables, observación directa y seguimiento de trabajos mediante registros automatizados. Al término de la recolección de datos, utilizo pruebas en el permeámetro con los sustratos a estudiar determinando el cálculo de la velocidad y caudal de desplazamiento del agua en un medio poroso.

Los datos demostraron la capacidad de captación natural que tienen los acuíferos para la extracción y la oferta de agua por medio del nivel de permeabilidad del suelo arenoso – arcilloso.

Por lo que se pudo analizar, gracias a algunas investigaciones que ya fueron realizadas sobre la problemática a tratar y aprendizaje colaborativo, se considera una necesidad que posibilita el desarrollo de varias habilidades.

Además, las investigaciones muestran que lo que imposibilita un buen desarrollo de trabajo también depende de factores como el tiempo y el uso de herramientas tecnológicas.

Así también, la revisión del estado del arte permite ver que se puede abordar la problemática del trabajo colaborativo desde una metodología cualitativa, aplicada, cuantitativa o mixta.

## **Marco teórico**

### **Cuenca hidrográfica**

La cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, que dispone de una salida simple para que todo el caudal efluente sea descargado (Vásconez, y otros, 2019).

### **Geomorfología de la Cuenca**

Estudia determinados rasgos de la superficie terrestre (Yuan et al., 2019). Los parámetros geomorfológicos de una cuenca esta su forma, relieve, características de su red de drenaje y las del cauce principal las cuales se describen a continuación:

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

#### **Área de la cuenca (A)**

Superficie en proyección horizontal, delimitada por la divisoria de aguas, se reporta en Km<sup>2</sup> excepto las cuencas pequeñas que se expresan en ha (Guerrero, Serpa, & Vazquez, 2015).

#### **Perímetro de la cuenca (P)**

Borde del contorno de la cuenca proyectada en un plano horizontal obtenido una vez delimitada la cuenca (Guerrero, Serpa, & Vazquez, 2015).

## **Índice de compacidad (Ic)**

Es el cociente entre el perímetro y área de la cuenca.  $Ic = 1$  la cuenca es de forma circular;  $Ic \approx 1$  cuenca regular;  $Ic \neq 1$  cuenca irregular (Guerrero, Serpa, & Vazquez, 2015).

## **Factor de Forma (Ff)**

Fue definido por Horton, como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud del cauce principal (Guerrero, Serpa, & Vazquez, 2015).

## **Relación de Elongación (Re)**

Definido por Schumm, es la relación al diámetro en función del área de la cuenca (A) (Shi et al., 2022).

## **Relación de circularidad (Rci)**

Es el cociente entre el área de la cuenca y la del círculo cuyo perímetro es igual al de la cuenca. La cuenca es circular si  $Rci=0.785$ (Chidichimo et al., 2018).

## **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 (Garay & Agüero, 2018);(Gebre, 2015).

### **Curva Hipsométrica**

Es la representación gráfica del relieve de una cuenca; donde indica el porcentaje de área de la cuenca o superficie de la cuenca en  $Km^2$  que existe por encima de una cota determinada, representado en coordenadas rectangulares (Kim et al., 2022).

### **Diagrama de frecuencias altimétricas**

Es la representación gráfica, de la distribución en porcentaje, de las superficies ocupadas por diferentes altitudes (Garay & Agüero, 2018).

### **Relación del relieve (Rr)**

Schumm (1956) propone una expresión muy simple para la descripción del relieve en función de la longitud de la cuenca y de la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h) (Garay & Agüero, 2018);(Parte et al., 2016).

## **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 (Soomro et al., 2022).

## **Densidad de drenaje (Dd)**

Horton (1945) Es el cociente entre la longitud total de los cauces pertenecientes a su red de drenaje y la superficie de la cuenca (Cruz Romero, Gaspari, Rodríguez Vagaría, Carrillo González, & Téllez López, 2015).

## **La pendiente media (Sm)**

Es la relación entre la altura del cauce principal y su longitud (Zabaleta et al., 2022).

## **Sistema de información geográfica**

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos (Cruz Romero, Gaspari, Rodríguez Vagaría, Carrillo González, & Téllez López, 2015). Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato (Bravo, 2017);(Guerrero-García-Rojas et al., 2021).

## **Sistemas de teledetección**

Teledetección es la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material. Para que ello sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos observados; situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera; y un sensor situado en una plataforma (Meaden & Aguilar-Manjarrez, 2013).

## **Porosidad del suelo**

La porosidad del suelo determina en gran parte los procesos de infiltración y escurrimiento del agua que influyen en la erosión hídrica y el transporte de agua en el suelo (González, González, & Chávez, 2012).

Dentro del espacio poroso se puede diferenciar microporos y macroporos, los primeros son aquellos que contienen el agua, parte de la cual es disponible para las plantas, y los segundos son aquellos que no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad (Mendoza et al., 2021).

Además, el espacio poroso está estrechamente relacionado con la textura y la estructura del suelo, así también la porosidad representa el porcentaje del volumen del suelo ocupado por poros (Jimmy Clemente Condori, s. f.).

## **Coefficiente de permeabilidad**

La permeabilidad representa la resistencia que ofrece el suelo al flujo de un fluido. El parámetro que determina esta propiedad es el coeficiente de permeabilidad (k) y se basa en la aplicación de la ley de Darcy (Puga, 2012).

Entonces, cuando la filtración sea mayor se considera que el porcentaje de porosidad es alto y por tanto el suelo se determina como permeable (Wrzesiński & Markiewicz, 2022).



**Tabla 1.** Clases texturales del suelo dependiendo de su permeabilidad

<b>Permeabilidad</b>	<b>Textura y Perfil</b>	<b>Comportamiento físico</b>	<b>Color y manchas de color</b>
Muy rápida	Suelos de textura gruesa o gravosa.		Color brillante
Permeabilidad rápida.	Suelos de textura mediana.		Materia orgánica suele ser moderado o bajo.
Permeabilidad moderadamente lenta.	Horizontes de textura moderadamente fina.	La contracción, no es muy pronunciada.	Moderadas manchas de color.
Permeabilidad lenta.	Arcillosa o arcillosa limosa, limo, capas limosas.	La contracción y el agrietamiento menos pronunciados.	Las manchas de color son moderadamente intensas.
Permeabilidad muy lenta.	Capas endurecidas a diferencia de las capas de arcilla.	Capas endurecidas que no se agrietan o rompen.	Por lo general, con manchas de color.

*Fuente:*(Mendoza et al., 2021).

## **Tipos de permeabilidad**

La permeabilidad del suelo está representada por tres tipos:

### **Absoluta**

Se refiere a permeabilidad absoluta cuando los poros se encuentran completamente llenos de fluidos(Estela et al., s. f.).

### **Efectiva**

Se define como el medio poroso en donde insiste la conductividad, además, toda sumatoria de permeabilidad efectiva siempre es menos a una permeabilidad absoluta (Hoyos Chaverra et al., 2018).

### **Relativa**

Se define permeabilidad relativa a la razón existente entre la permeabilidad efectiva y una permeabilidad base (Jimmy Clemente Condori, n.d.).

### **Capacidad de infiltración**

La capacidad de infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra penetra en el suelo, la velocidad de infiltración depende de la degradación y el tipo de suelo que se encuentra en la zona (Canabal & Osorio, 2019).

## Método número de curva

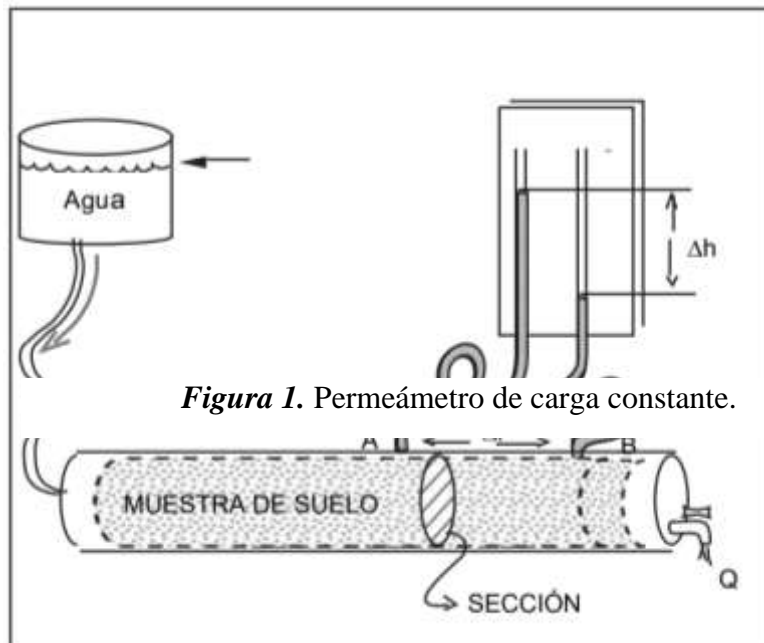
El método del número de curva (CN) es el único que propuso una fórmula empírica para la estimación de la escorrentía media, este método permite calcular la escorrentía superficial o directa espacialmente distribuida en una cuenca hidrográfica, su valor se encuentra en función del uso y tipo de suelo, cobertura vegetal, y las condiciones antecedentes de humedad (Canabal & Osorio, 2019).

## Cálculo del número de curva (CN)

El método del CN es un modelo empírico desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS) que determina un umbral de escorrentía (Q) a través de un número hidrológico o CN agregado de la cuenca. El CN toma un valor de 0 a 100 según sea su capacidad de generar escorrentía superficial (Anexo 1) (UBICADO EN CIENAGA et al., 2012). Los valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad alta (Mendoza et al., 2021).

## Ley de Darcy

Esta ley tiene el objetivo de demostrar que el flujo de agua se da a través de los medios porosos, el ingeniero Henry Darcy propuso proyectos de este tema, que incluyeron experimentos, así, la obtención de la ley de Darcy se lo demuestra en la figura 1:



*Fuente:* (Jimmy Clemente Condori, s. f.).

## Condición hidrológica para la infiltración

Se determina debido al porcentaje de cobertura vegetal en una determinada zona de influencia que afectará en la recepción de precipitaciones, estas condiciones son :(Espejo et al., s. f.):

- Buena: Con cobertura mayor a 75%
- Regular: Con cobertura entre 50 y 75 %

- Mala: Con cobertura menor al 50%

### **Clasificación de coberturas**

La clasificación de los tipos de suelo es utilizada aun el planteamiento de la cuenca para la estimación de la escorrentía superficial, según (Guevara, Neison, & Gama, 2019) se clasifica en cuatro tipos A, B, C y D, de acuerdo con el potencial de escurrimiento, las cuales detallamos a continuación:

- Grupo A: Son suelos que tienen alta transmisión de infiltración, aun cuando son muy húmedos, con una tasa de infiltración alta y texturas arenosas y arenosas-limosas (Muñoz Murcillo et al., 2020).
- Grupo B: Son suelos con trasmisión de infiltración moderada, suelos moderadamente profundos a profundos, con una tasa de infiltración lenta y texturas que van desde la franco-arenosa, franco-arcillosa-arenosa y franco-limosa (Ahmed et al., 2022)
- Grupo C: Son suelos con infiltración lenta con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; de texturas moderadamente finas a finas y suelos con una tasa de infiltración lenta debido a la presencia de sales o alcalino con mesa de agua moderada (Lavao & Corredor, 2014).
- Grupo D: Son suelos con infiltración muy lenta cuando son muy húmedos, son de texturas arcillosa con alto potencial de expansión, se caracterizan por tener una tasa de infiltración muy lenta debido a las sales y poco profundo del material impermeable (Ibrahim-Bathis & Ahmed, 2016).

### **HEC-HMS**

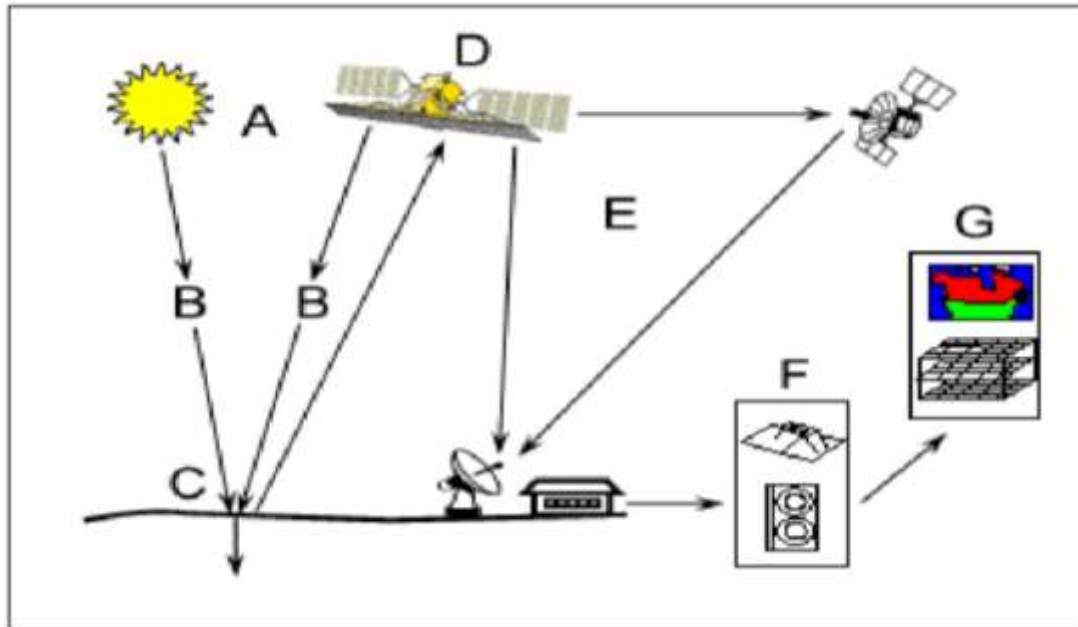
El modelo HEC-HMS es un modelo de lluvia-escorrentía desarrollado por el Hydrologic Engineering center HEC del U.S Army Corp Engineers USACE, que está diseñado para realizar una simulación de escorrentía el cual produce un determinado cauce del río (López, y otros, 2012).

### **Sistemas de Teledetección**

Las técnicas de teledetección nos permiten obtener procesos de observación a distancia y la obtención de imágenes de la superficie terrestre obteniendo imágenes producto de sensores remotos instalados en plataformas satelitales (satélites artificiales) o desde aeronaves tripuladas y no tripuladas (Global IP News, 2022).

Estos procesos permiten obtener insumos que facilitan la observación de la tierra, procesos de planificación y toma de decisiones sobre la utilización de los recursos naturales (Grande, 2015).

**Figura 2.** Proceso de la teledetección



**Fuente:** (Chavan & Ahmadi, 2021)

### **Clasificación de imágenes satelitales**

La interpretación de imágenes satelitales multispectrales, es de gran utilidad para analizar información de la superficie terrestre; partiendo de la clasificación de la cobertura del suelo de determinadas zonas (Chuvienco, 1995), es posible realizar diversos estudios como análisis de riesgos, determinación de amenaza por inundación, por fenómenos de remoción en masa, o por incendios, estudios de erosión, análisis multitemporales, estudios geológicos, estudios de zonificación agrícola, planes de ordenamiento territorial, estudios de conservación del suelo, entre otros (Girón & Patarroyo, 2016).

Generalmente, existen dos enfoques para la clasificación de imágenes: la clasificación supervisada y no supervisada (Bravo, 2017).

### **Clasificación supervisada**

Este método es bastante útil cuando se posee un conocimiento previo de la zona que comprende la imagen a trabajar, ya que se definen manualmente las áreas de entrenamiento que deben ser significativas con la cantidad de categorías que se pretenden generar (Rosete, 2009). Para ello, que las áreas tienen que ser correctamente identificadas y cubrir todas las clases, ser homogéneas, altamente correlacionadas y se realizan análisis estadísticos uní-banda para verificar y controlar que los valores se asemejen a una distribución normal (Corrales Andino, 2014). Entre los algoritmos clásicos se destacan: Clasificador por mínima distancia, por paralelepípedos y por máxima probabilidad (Acosta, 2017).

## **Clasificación no supervisada**

Método que realiza una búsqueda automática agrupando valores uniformes dentro de una imagen; es decir, a partir de los niveles digitales crea varios “cluster” con píxeles que tienen un comportamiento espectral similar (Teledet, 2017). Es importante señalar que el analista debe indicar cuál es el significado temático de las clases espectrales generadas, puesto que el programa no lo detecta y puede establecer categorías de poco interés para el proyecto (Borràs, y otros, 2017).

### **Mínima distancia**

Con este clasificador los datos de entrenamiento se utilizan sólo para determinar la media de las clases seleccionadas como regiones de interés (Borràs, y otros, 2017).

De esta manera, el programa efectuará la clasificación ubicando cada píxel no identificado en la clase cuya media se encuentra más cercana para lo cual puede utilizar la distancia euclidiana entre el píxel y el centro de cada clase (Bravo, 2017). Aunque simple desde el punto de vista computacional este algoritmo tiene ciertas limitaciones, entre ellas la insensibilidad a los diferentes grados de varianza en las respuestas espectrales de las diferentes clases (Teledet, 2017).

## **CAPÍTULO III. METODOLOGIA.**

### **Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicativo ya que los conocimientos teóricos de una problemática son llevados a la práctica, anotando inmediatamente los resultados obtenidos. Para luego realizar los cálculos geomorfológicos e hidráulicos.(Jimmy Clemente Condori, s. f.).

Por consiguiente, queremos determinar estos parámetros, a través del levantamiento de información primaria y secundaria, en la microcuenca del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge. Con este propósito, se la ha desarrollado en 3 fases principales donde se explicará el proceso experimental del estudio de campo (in-situ) para la obtención de muestras y las actividades a realizarse en laboratorio (ex- situ) (Mendoza et al., 2021).

### **Diseño de investigación**

El diseño de investigación de la tesis es experimental, debido a las variables utilizadas (Risco, s. f.).

Además, siendo el proceso previo de una configuración mental, para dar solución en cualquier campo de la ingeniería (Luis & Gonzáles, s. f.).

GE: X = Y1

**GE:** Grupo experimental

**X:** Variable independiente

**Y1:** Observación de la variable dependiente

### **Técnicas de recolección de datos**

Se utilizo como elemento primordial, la observación directa, que fue un método utilizado para seleccionar la información necesaria y registrar todos los resultados en

formatos vigentes de cada estudio, pues así, se obtiene un orden preciso de los datos adquiridos (Estela et al., s. f.).

## **Población de estudio y tamaño de muestra**

### **Población**

Se consideró como población de nuestra investigación las muestras de sustrato obtenidas de las clases proporcionadas por la cobertura vegetal y la taxonomía del suelo (Muñoz Murcillo et al., 2020).

### **Muestra**

La muestra es la parte de la población. Es decir, el subconjunto de elementos definido en sus características al que llamamos población (Jimmy Clemente Condori, s. f.).

En la presente investigación se utilizó solo cuatro clases que predominaban en la Quebrada Compuene Gorge y la microcuenca Guamote, demostrados en la (tabla 2), (tabla 3), así también se procedió a la extracción de sustratos de acuerdo con su profundidad, en donde, el primer sustrato fue recabado con la ayuda del instrumento barreno con una profundidad de 0-20 cm, el segundo de 20-40 cm, el tercero de 40-60 cm y el cuarto de 60-80 cm. Por lo tanto, se tomó en cuenta las vías de acceso y facilidad de ingreso a los sectores señalados y cuyos volúmenes necesarios para realizar las pruebas correspondientes.

**Tabla 2** Cobertura vegetal y taxonomía del suelo en la quebrada Compuene Gorge

<b>Quebrada Compuene Gorge</b>	
<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Taxonomía</b>
Cultivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inceptisol</li> <li>• Molisol</li> </ul>
Humedal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molisol</li> </ul>
Páramo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molisol</li> </ul>
Plantaciones forestales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molisol</li> </ul>

*Fuente:* Autores

**Tabla 3.** Cobertura vegetal y taxonomía del suelo en la microcuenca Guamote

<b>Microcuenca Guamote</b>	
<b>Clase</b>	<b>Taxonomía</b>
Cultivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Andisol</li> <li>• Entisol</li> <li>• Inceptisol</li> <li>• Molisol</li> </ul>

Humedal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Andisol</li> <li>• Entisol</li> <li>• Inceptisol</li> <li>• Molisol</li> </ul>
Páramo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entisol</li> </ul>
Plantaciones forestales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Molisol</li> </ul>

*Fuente:* Autores

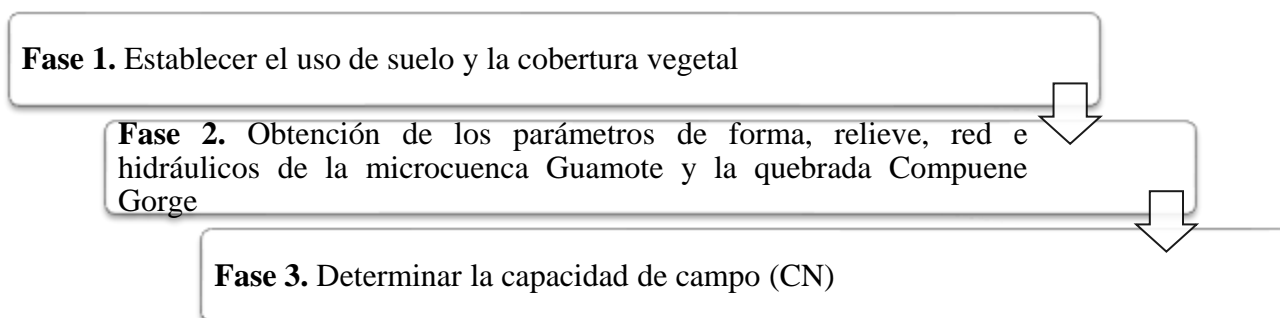
### Métodos de análisis

Para la interpretación y evaluación de los datos alcanzados después de haber realizado el geoprocusamiento en el caso de los datos geomorfológicos de la cuenca, están representados en tablas de análisis, así también, los datos de los parámetros hidrográficos serán expuestos en gráficos de barras, tablas de validación, gráficos de dispersión, y mapas de verificación. Dando como resultado final la utilización de un modelo precipitación – escorrentía el cual determina la oferta hídrica en la microcuenca de Guamote y la quebrada Compuene Gorge. En el proceso de la investigación se tuvo presente el respeto a las personas y al medio en donde nos encontrábamos, buscando el bien común para lograr el máximo beneficio para lograr resultados efectivos.

### Procesamiento de datos

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario dividirla en tres etapas tal como se muestra en la (figura 3), y se utilizaron las siguientes herramientas y equipos:

*Figura 3.* Fases metodológicas



*Fuente:* Autores

### In situ

- Barreno
- Flexómetro

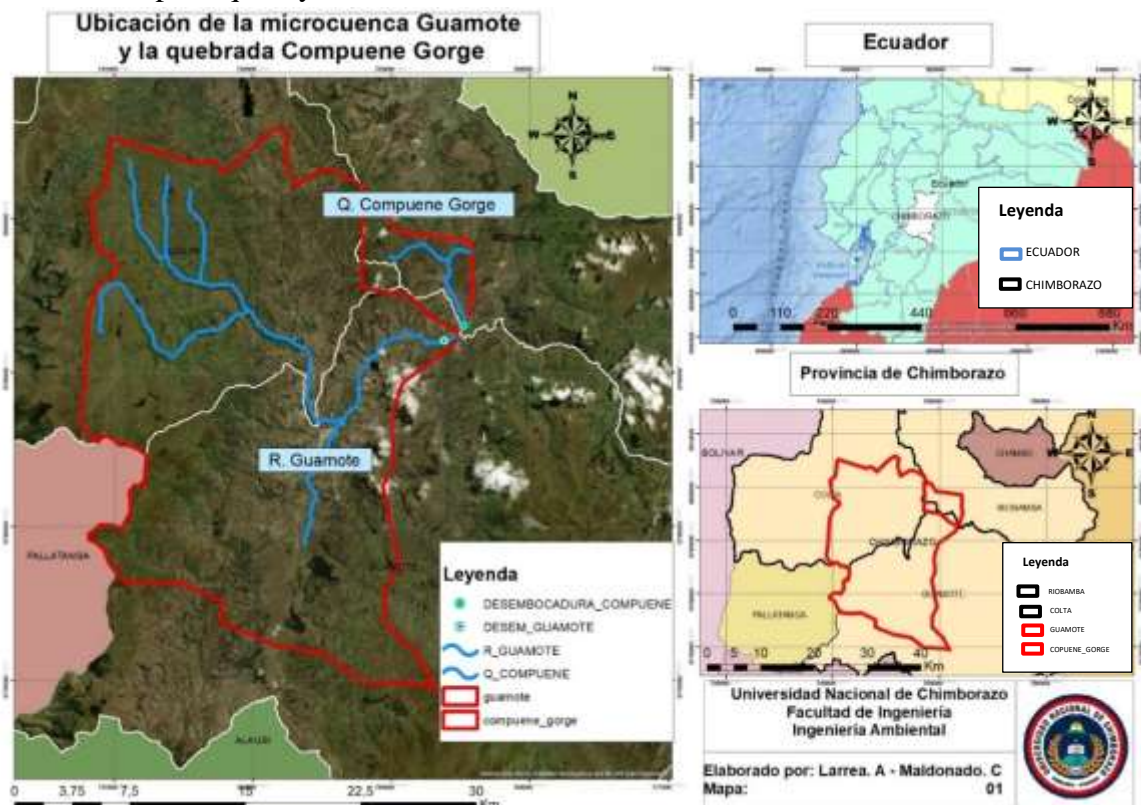
- Canecas de agua
- Infiltrómetro
- Cronómetro
- Cilindro de densidad aparente

### Ex Situ

- Mufla
- Estufa
- Vasos de precipitación
- Crisoles
- Pinzas de laboratorio
- Guantes
- Piseta
- Probeta
- Permeámetro

### Área de estudio

La microcuenca y la quebrada estudiadas se encuentran al sureste de la provincia de Chimborazo, la microcuenca del río Guamote se encuentra dentro del cantón Guamote y la microcuenca de Compueñe Gorge se encuentra dentro del cantón Riobamba por lo cual sus límites son al norte el cantón Riobamba, al este el cantón Guamote, al oeste el cantón Colta con sus demás parroquias y al sur el cantón Alausí.



**Figura 4.** Mapa de ubicación del área de estudio



## **FASE 1**

### **Establecer el uso de suelo y la cobertura vegetal**

En esta fase se determinará la ubicación geográfica y el área de la microcuenca y la quebrada del lugar en donde se van a realizar los puntos de muestreo y la toma de muestras.

### **Identificación de los puntos de muestreo**

Previo conocer la zona de estudio de la microcuenca y quebrada, se realizará una selección de los puntos de muestreo, esto a través de imágenes satelitales en las cuales se realizó una clasificación supervisada y no supervisada, la clasificación supervisada fue mediante imágenes satelitales actualizadas para determinar la capa geológica y elevación donde se identificará el uso y categorías del suelo para clasificarlas, luego se realiza la clasificación no supervisada para la verificación de datos con shapes publicados en el estudio realizado Catalogo de objetivos temáticos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, finalmente después de verificar y validar los datos se estableció los puntos de muestreo, tanto para la microcuenca de Guamote y la quebrada Compuene Gorge.

## **FASE 2**

### **Obtención de los parámetros de forma, relieve, red e hidráulicos de la microcuenca del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge**

#### **Determinación de parámetros geomorfológicos**

El cálculo de geomorfología de la microcuenca y quebrada se realizarán con las ecuaciones descritas en la fundamentación teórica, mediante la utilización de herramientas geoespaciales como: análisis espacial 3D, hidrología, pendiente, calculadora de superficies y red de drenajes, llenado en la base de datos de un sistema de información geográficas.

Para esta fase se realizará actividades de campo (in situ) y de laboratorio (ex situ), donde se determina la capacidad de infiltración y se hace la caracterización del suelo como la textura, permeabilidad, porosidad y materia orgánica.

#### **Análisis in situ**

En los diferentes puntos de muestreo que se van a establecer con la ayuda de las imágenes satelitales, se realizarán pruebas de infiltración con la ayuda de un Infiltrómetro de doble anillo. Se recolectará un total de cuatro muestras por cada punto de muestreo según las diferentes categorías de suelo que se tengan, en una excavación cada 0,40 m hasta los 1.5 m de profundidad en un diámetro de 0,50 m, con la ayuda de un barreno, posterior a esto se etiquetara las muestras y se llevará en envases cerrados para que no tenga ningún contacto con algún contaminante.

#### **Análisis ex situ**

Una vez ya obtenida las muestras se realizarán las pruebas de textura, permeabilidad, porosidad y materia orgánica en el laboratorio de Servicios Ambientales en la Universidad Nacional de Chimborazo.

- La permeabilidad o conductividad hidráulica (k) será calculada con la ayuda del permeámetro en el cual, en el que mide los valores de h, obtenidos para los diferentes lapsos de tiempo al iniciarse el ensayo, donde se calcula el coeficiente de permeabilidad del suelo k mediante la ley de Darcy (Mendoza, 2021), mediante las siguientes ecuaciones:

$$Q = \frac{H3-H4}{L} * A * k \quad (1)$$

$$k = \frac{Q*L}{(H3-H4)*A} \quad (2)$$

**Donde:**

Q= flujo (m/s<sup>3</sup>)

L= Longitud de la muestra (m)

K=coeficiente de permeabilidad de Darcy, variable en función de la muestra (m/s)

A= Superficie de la muestra (m<sup>2</sup>)

H3= Altura, por encima del nivel de agua en el tubo de referencia colocado a la entrada de la capa filtrante.

H4= Altura, por encima del nivel de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la salida de la capa filtrante.

- La **textura** del suelo se determinará de acuerdo con el triángulo de clases texturales del USDA sugerido por la FAO, aplicado el método organoléptico que depende del uso y cobertura vegetal para definir la granulometría.
- La **porosidad** se basa mediante un método bibliográfico, el cual llamamos método del cilindro donde relaciona la densidad real y aparente del suelo donde se obtienen a través de la diferencia de peso tomando en cuenta el volumen del material húmedo y seco en cada una de las muestras y se calcula con el volumen del cilindro.

$$P[\%] = 1 - \frac{Da \left[ \frac{g}{cm^3} \right]}{Dr \left[ \frac{g}{cm^3} \right]} * 100 \quad (3)$$

**Donde:**

P= La porosidad total del suelo

Da= La densidad aparente del suelo

Dr= Densidad real de las partículas

La materia orgánica (SOM) se determinará por calcinación de las muestras y posteriormente calcular la pérdida de peso, que corresponde al porcentaje de compuestos orgánicos presentes en cada una de las muestras. Las muestras se someterán por un tiempo de 2 horas a 105°C; luego se elevará la temperatura a 550°C durante 2 horas en una mufla y se enfriaran por 2 horas en el interior de esta. Las muestras devuelven al horno a 105°C durante 30 minutos y finalmente se deja enfriar en el desecador, todo este proceso se realiza para estabilizar la temperatura y eliminar la humedad presente en la muestra, se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$SOM = \left[ \frac{(\text{Peso a } 105^{\circ}\text{C}) - (\text{Peso de calcinación a } 550^{\circ}\text{C})}{\text{Peso a } 105^{\circ}\text{C}} \right] * 100 \quad (4)$$

### FASE 3

#### Determinar la capacidad de campo (CN)

En esta fase se calcula el número de curva (CN), la capacidad de campo (S) y la relación precipitación-escorrentía.

#### Cálculo y asignación de número de curva (CN)

Los valores de CN se determinarán a través del método de NRCS, que es una técnica que ayuda a conocer la infiltración dependiendo de las propiedades de escorrentía del terreno y el procedimiento considera el grupo hidrológico del suelo (HGS), la condición de humedad previa, el uso del suelo y el tratamiento de la cuenca hidrográfica (Díaz, 2017)

$$CN = \frac{25400}{254+S} \quad (5)$$

**Donde:**

CN= número de curva

S= Capacidad de campo

#### Capacidad de campo o potencial máximo de retención (S)

Previo el cálculo de los valores de CN se determinará los valores de la capacidad de campo o potencial máximo de retención (S), que es la cantidad de agua que contiene el suelo saturado después del lapso de 48 horas de drenaje (Díaz, 2017). Relacionando así la relación del suelo y las condiciones de cobertura dentro de las microcuencas a través de los valores de CN y se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6)$$

**Donde:**

S= Capacidad de campo

CN= Número de curva

#### Modelación para obtener la relación de precipitación - escorrentía

Finalmente se realizará el modelamiento con la ayuda de ArcGIS y el programa HEC-HMS donde permitirá analizar y simular procesos de conversión de la precipitación que se obtiene a través de los datos de las estaciones meteorológicas seleccionadas para la zona de estudio y transformar la precipitación a escorrentía (Espinales, 2021). El modelado comienza con los cálculos previos de los valores iniciales del número de curva y almacenamiento máximo de la microcuenca, como datos iniciales para que modele el programa HEC-HMS. Así se obtendrá el caudal máximo generado en la microcuenca de estudio respecto a la precipitación y las pérdidas que se den en la misma (Duque, 2019).

$$P_{sb}(i) = \frac{\sum_{j=1}^n P_{em}(i,j)w(j)}{\sum_{j=1}^n w(j)} \quad (7)$$

**Donde:**

**Psb (i)**= Precipitación media uniforme sobre una subcuenca de intervalo i

**Pem (i, j)** = precipitación registrada en el intervalo i y estación j

**w(j)**= Área de influencia de la estación J en la microcuenca

n= número de estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca

### **Pérdidas o abstracciones.**

Para el cálculo de estas pérdidas, HEC-HMS presenta diferentes métodos, para este estudio se lo realizará con el método del número de la curva (CN), para su cálculo se utilizará la siguiente ecuación.(Soria, 2017)

$$S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (8)$$

**Donde:**

S= Pendiente de la cuenca

CN= número de curva

### **Circulación de la lluvia efectiva a través de la microcuenca.**

Se generará el hidrograma en el punto de drenaje de las microcuencas por motivo de la circulación de la lluvia efectiva a través de toda la superficie de las microcuencas, para esta investigación se empleará la técnica del hidrograma unitario (HU) para su cálculo se utilizará la siguiente ecuación.

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Parámetros Geomorfológicos de la microcuenca Guamote**

El análisis geomorfológico de la microcuenca (Tabla 4), ayuda a comprender la influencia que tiene su forma, relieve y red de drenajes de la unidad hidrográfica con las variaciones climáticas, precipitaciones, flora, fauna, entre otras; de tal manera conocer la influencia que tiene la relación precipitación escorrentía que tiene la cuenca.

La microcuenca del río Guamote muestra un área es de 567.67 km<sup>2</sup>, es decir es una cuenca de tamaño intermedio grande, la longitud media de la cuenca es de 66,98 km; su índice de compacidad es de 1,43, por lo tanto, es una cuenca regular, esto nos quiere decir que el tiempo de respuesta ante una precipitación va a ser bueno. El factor de forma es de 0,32 por lo cual es una cuenca tiene una buena respuesta en eventos de fuertes precipitaciones. La pendiente media de la cuenca es de 25 % por tanto es de tipo fuertemente accidentada. La relación de elongación es de 0,64 esto indica que la cuenca tiene fuertes relieves y como se puede observar una pendiente más pronunciada, ya que se encuentra en una parte alta como es la zona de la parroquia Flores en el cantón Guamote. De acuerdo con la red de drenaje el río Guamote es de tercer orden.

**Tabla 4.** Parámetros geomorfológicos de la microcuenca Guamote

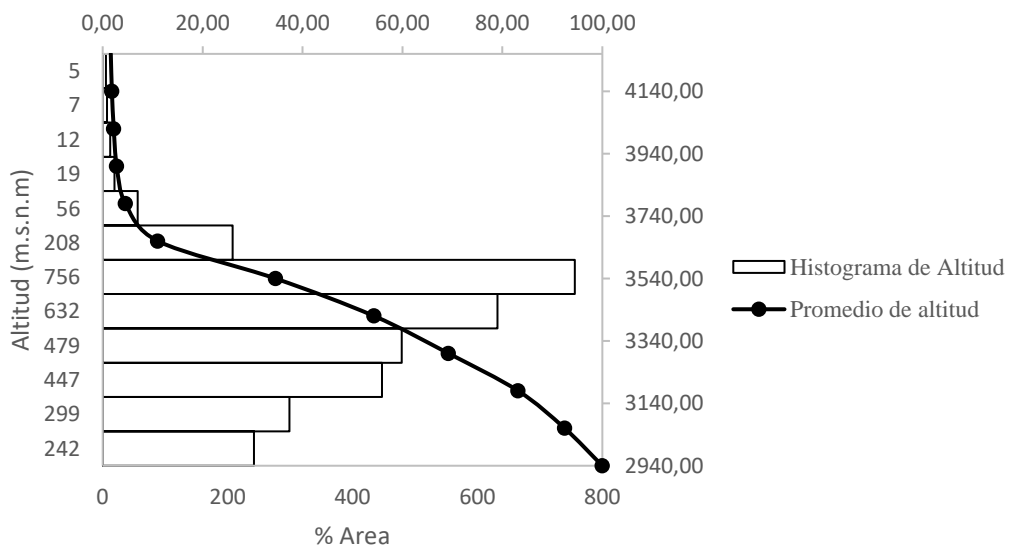
Nombre	Sigla	Unidad	Valores
Área	A	km <sup>2</sup>	567,67
Perímetro	P	km	121,32
Índice de compacidad	Ic	adimensional	1,43
Ancho medio	B	adimensional	13,55
Longitud media	Lc	km	66,98

Factor de forma	Ff	adimensional	0,32
Relación de elongación	Re	adimensional	0,64
Relación de circularidad	Rci	adimensional	0,48
Área sobre la curva	AS	km <sup>2</sup>	1947843
Área bajo curva	Ab	km <sup>2</sup>	18227
Pendiente media de la cuenca	Pmc	%	25,21
Longitud del cauce principal	Lc	Km	41,8764
Orden de la red hídrica	Or	adimensional	3,000
Sumatoria de las longitudes de la red hídrica	Lt	km	82,398
Densidad de drenaje	Dd	km-1	0,145
Numero de canales	Nt	adimensional	15,000
Densidad hidrográfica	Dh	km-1	0,026
Altura Máxima del río	Hmax	msnm	4800
Altura mínima del río	Hmin	msnm	2655
Pendiente media del cauce principal	Sm	adimensional	51,200
Tiempo de concentración	Tc	h	1.022
Tiempo de Retardo	Tr	h	0.76
Relación hipsométrica	Rh	%	10,686062

1

**Fuente:** Autores

La curva hipsométrica (Grafico 1) muestra que la unidad hidrográfica se encuentra en una etapa de madurez y equilibrio, con una curva hipsométrica tipo B, todo esto está relacionado con ser una cuenca de pie de montaña al ser Guamote una parte alta con una pendiente fuertemente accidentada.



**Gráfico 1** Curva hipsométrica de la M.R.G

**Fuente:** Autores

## Parámetros Geomorfológicos de la quebrada Compueene Gorge

Los parámetros de forma, relieve y red de la quebrada Compueene Gorge se muestran en la (tabla 5).

La quebrada Compueene Gorge posee un área de 36.74 km<sup>2</sup>, es decir es una cuenca de tamaño pequeño.

Su cauce principal posee una longitud de 5.5 km. El índice de compacidad (Ic) es de 1.29, el factor de forma (1.21), demostrando que se trata de una cuenca irregular.

La pendiente media del cauce principal (Pmc) es del 36% por tanto es de tipo escarpada. La relación de elongación (Re) es de 1.24 esto indica que la cuenca posee un relieve pronunciado. La relación de circularidad (Rci) de la quebrada Compueene Gorge demuestra que esta es irregular con un valor de 0.51.

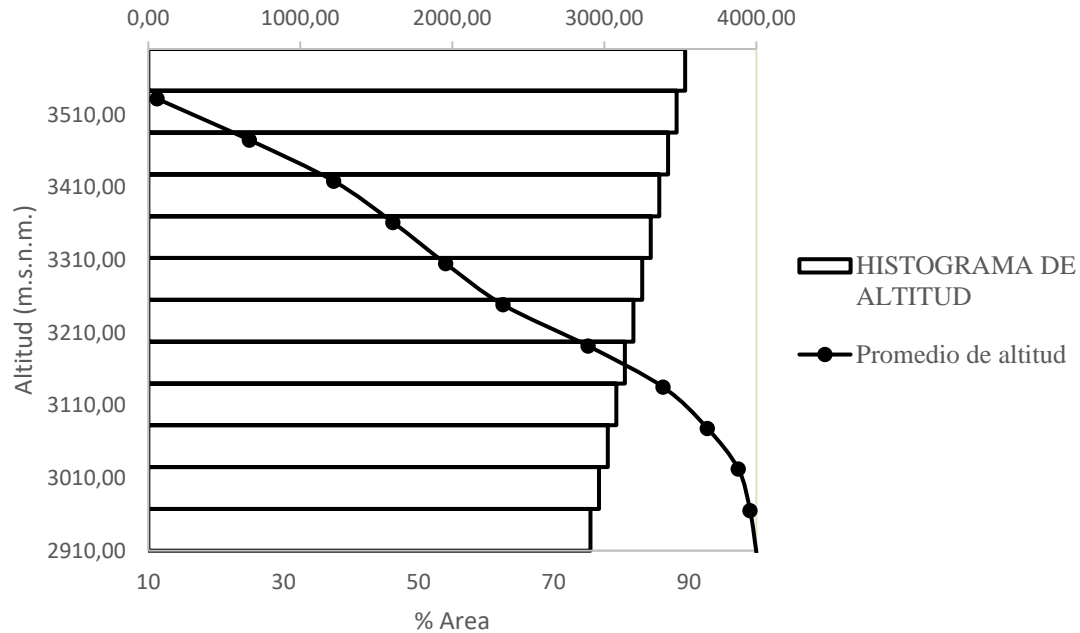
De acuerdo con los parámetros de red de drenaje, la quebrada posee un drenaje de tercer orden, un tiempo de concentración (Tc) de 10.57 minutos y un tiempo de retardo (Tr) de 6.34 minutos lo que demuestra el tiempo que se tarda el caudal en salir de la red de drenaje.

**Tabla 5.** Parámetros geomorfológicos de la quebrada Compueene Gorge

Nombre	Sigla	Unidad	Valores
Área	A	km <sup>2</sup>	36,74
Perímetro	P	km	29,95
Índice de compacidad	Ic	adimensional	1,39
Ancho medio	B	adimensional	6,68
Longitud media	Lc	km	5,50
Factor de forma	Ff	adimensional	1,21
Relación de elongación	Re	adimensional	1,24
Relación de circularidad	Rci	adimensional	0,51
Área sobre la curva	AS	km <sup>2</sup>	292553,62
Área bajo curva	Ab	km <sup>2</sup>	299870,60
Pendiente media de la cuenca	Pmc	%	34
Longitud del cauce principal	Lc	Km	5,5
Orden de la red hídrica	Or	adimensional	3,000
Sumatoria de las longitudes de la red hídrica	Lt	km	35,26
Densidad de drenaje	Dd	km <sup>-1</sup>	0,96
Numero de canales	Nt	adimensional	37
Altura Máxima del río	Hmax	msnm	3080
Altura mínima del río	Hmin	msnm	2880
Pendiente media del cauce principal	Sm	adimensional	36
Tiempo de concentración	Tc	h	0,18
Tiempo de retardo	Tr	h	0,11
Relación hipsométrica	Rh	%	0,97

**Fuente:** Autores

La curva hipsométrica (Gráfico 2) muestra que la unidad hidrográfica se encuentra en etapa de madurez y equilibrio, la curva demuestra que es de tipo B, concluyendo que posee una actividad erosiva media.



**Gráfico 2.** Curva hipsométrica de la Q.C.G

**Fuente:** Autores

## Parámetros hidráulicos en la microcuenca Guamote

### Análisis de Textura M.R.G

La textura media en la M.R.G se determinó asignando valores numéricos en un rango de 1 a 12, dando como resultado a los suelos de granulometría fina a los valores menores, seguidos de suelos francos y limosos que representan suelos de granulometría media y finalmente arenas con un valor de 10 – 12 (Anexo 2).

En definitiva, en la (Tabla 6), se registran diferentes tipos de textura según la cobertura vegetal que posee el suelo, además, la categoría cultivo y vegetación arbustiva coincidieron con un valor de 3 representando una textura media de franco limoso, la clase páramo se representa con un valor de 5, representando a los suelos de textura franco arenoso, la clase de plantaciones forestales se representa con un valor de 7, que representa un suelo arenoso.

**Tabla 6.** Validación numérica textural para clases texturales

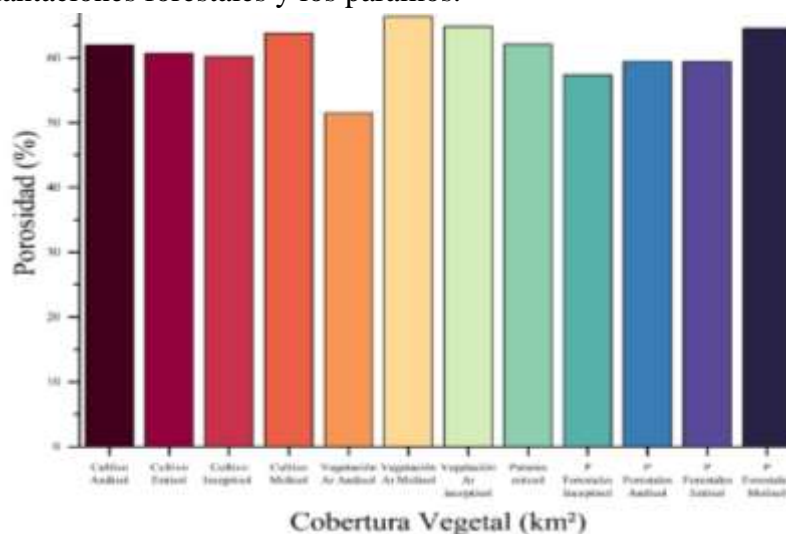
Clase	Textura	Textura media
Cultivo	Franco limoso	3
Vegetación arbustiva	Franco limoso	3

Páramo	Franco arenoso arcilloso	5
Plantaciones forestales	Franco arenoso	7

*Fuente:* Autores

### Cálculo de la Porosidad M.R.G

En el (Grafico 3), se muestra las variaciones de porosidad según su categoría, como se puede observar existen valores desde los 50% que representan vegetación arbustiva andisoles hasta mayores a 65% los cuales son vegetación arbustiva molisol, esto se da a la composición que tiene un suelo andisol frente a un suelo de tipo inceptisol, con mayor cantidad de poros, mientras los demás se encuentran en un rango entre 60% y 55% como son los cultivos, las plantaciones forestales y los páramos.



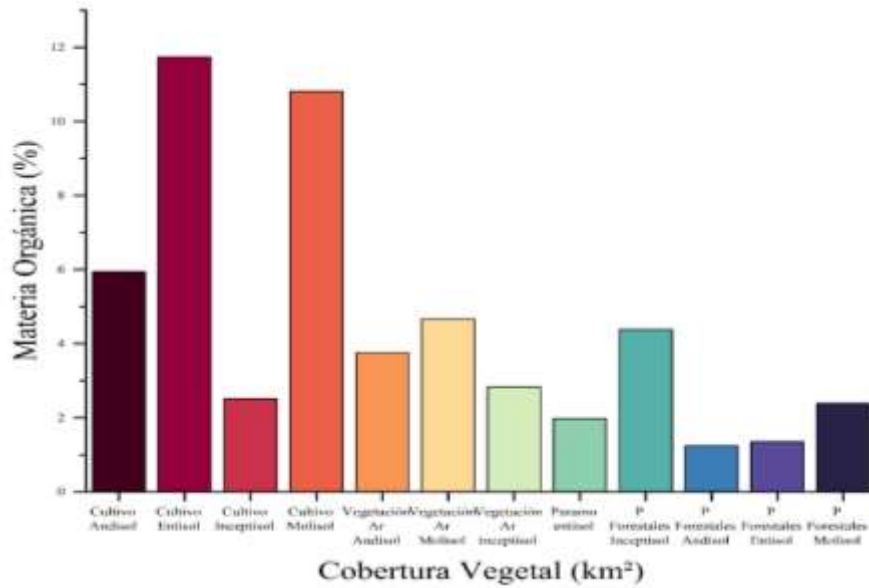
**Grafico 3.** Porcentaje de porosidad según la cobertura vegetal de la M.R.G

*Fuente:* Autores

### Cálculo de Materia orgánica M.R.G

Según, (Medina et al., 2017) La materia orgánica constituye un componente fundamental en los procesos edáficos y tiene un efecto positivo en la productividad de los sistemas agrícolas. En la M.R.G pudimos observar que la productividad agrícola era la más alta en toda la cuenca, por esta razón el cultivo de tipo entisol se encuentra con mayor porcentaje de materia orgánica como es de 11.5%, que se encuentra principalmente en la parte más alta de la cuenca, por otro lado, los suelos con menor porcentaje de materia orgánica son las Plantaciones forestales de tipo Andisol, las cuales se encuentran en la parte baja de la cuenca la cual limita con el desierto de Palmira, por esta razón la materia orgánica baja drásticamente a 1.2%, como se puede observar en el (Grafico 4).





**Gráfico 4.** Porcentaje de materia orgánica según la cobertura vegetal de la M.R.G

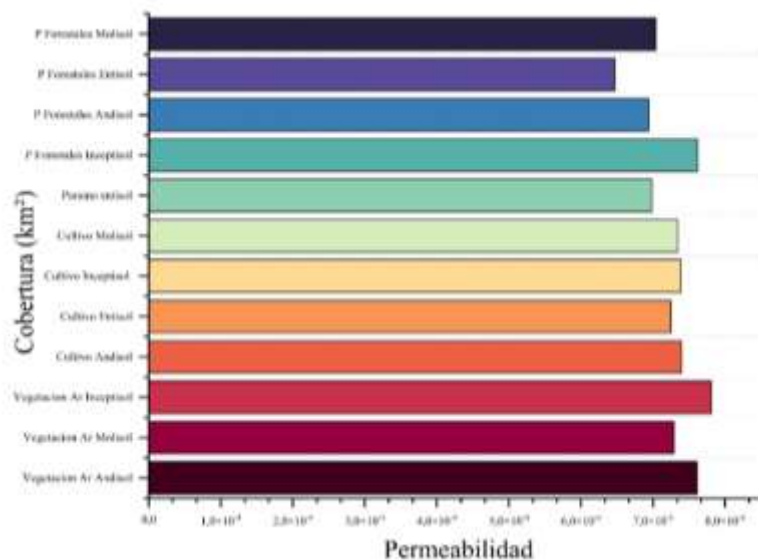
*Fuente:* Autores

### Cálculo de Permeabilidad M.R.G

Entendemos por permeabilidad a la facilidad con que un fluido atraviesa cierto material en función a su estructura interna en un determinado tiempo (Loyo & Lopez, 2021).

En el (Gráfico 5) se determinó el nivel de permeabilidad según la cobertura vegetal dando un valor máximo de permeabilidad en el suelo con mayor espacio poroso a la vegetación arbustiva inceptisol  $7.8 \times 10^{-4}$  m/s, seguido por las plantaciones forestales inceptisol con un valor de  $7.62 \times 10^{-4}$  m/s presentando una permeabilidad rápida en un medio poroso grueso. Por último, tenemos a las plantaciones forestales entisoles con el valor más bajo de permeabilidad  $6.47 \times 10^{-4}$  m/s.

**Gráfico 5.** Permeabilidad según la cobertura vegetal en la M.R.G

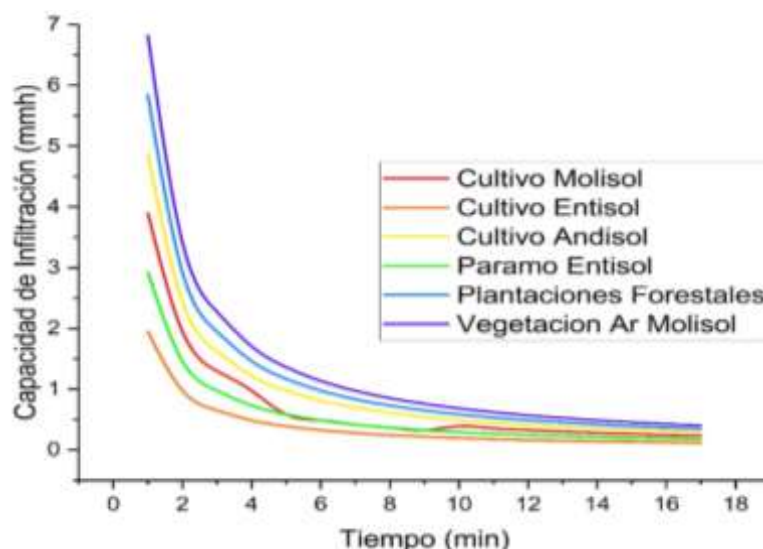


*Fuente:* Autores

## Capacidad de infiltración M.R.G

La capacidad de infiltración que se analizó en el estudio tiende a una relación con la cobertura vegetal de la zona, en el (Gráfico 6) se observa que la curva de infiltración va desde los 0 hasta los 8 mm/h en un periodo de 20 minutos dando así una capacidad máxima de infiltración de 6.82 mm/h en el suelo de vegetación arbustiva, así también, la capacidad mínima de infiltración se observó en cultivo entisol con un valor de 0.11mm/h.

**Gráfico 6.** Capacidad de infiltración según la cobertura vegetal en la M.R.G



*Fuente:* Autores

## Parámetros hidráulicos en la Quebrada Compuene Gorge

### Análisis de Textura Q.C.G

Se asignó valores numéricos, aplicando la metodología dentro del área de estudio para las clases texturales del suelo.

En efecto, la (Tabla 7) registra la media textural de la clase de cobertura vegetal en la quebrada Compuene Gorge, de esta forma la clase cultivo comparte un valor de 2 con la cobertura, paramo, demostrando una textura arcilloso limoso, además, la clase plantaciones forestales posee un valor de 5, presentando una textura media de franco arenoso arcilloso, por último, la clase vegetación arbustiva cuenta con un valor de 3, demostrando una textura media franco limoso.

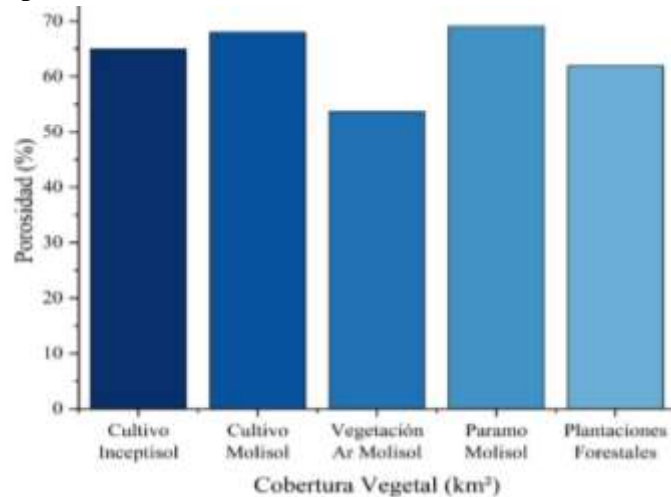
**Tabla 7.** Validación numérica textural según la cobertura vegetal de la Q.C.G

Clase	Textura	Textura media
Cultivo	Arcillo Limoso	2
Vegetación arbustiva	Arcilloso Arenoso	3
Páramo	Arcillo Limoso	2
Plantaciones forestales	Franco Arenoso Arcilloso	5

*Fuente:* Autores

## Cálculo de la Porosidad Q.C.G

El resultado del análisis en el laboratorio de las diferentes muestras de suelo en función a la cobertura vegetal determina el porcentaje de porosidad según la (Grafica 7) determinamos que los suelos de mayor porcentaje de porosidad tienden a ser más permeable teniendo en cuenta que el suelo con mayor porcentaje de poros es para la cobertura de paramo, con un 70 % y la de menor porcentaje es la cobertura de vegetación arbustiva Molisol, con un 53% de porosidad.

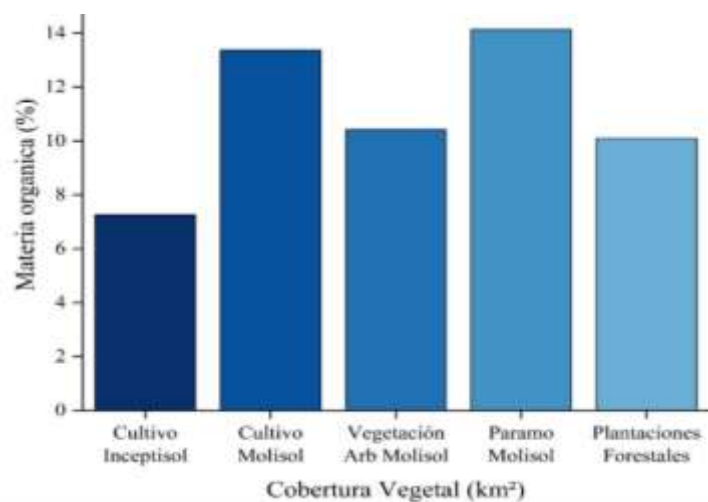


*Gráfico 7.* Porcentaje de porosidad según la cobertura vegetal de la Q.C.G

*Fuente:* Autores

## Cálculo de materia orgánica Q.C.G

En el (Grafico 8), se muestra el porcentaje de materia orgánica obtenido después de la ignición de las muestras de suelo según su cobertura vegetal, en donde se determinó que el porcentaje de materia orgánica tiene una estrecha relación con el color de las muestras de suelo, pues mientras el suelo sea de color más oscuro posee mayor cantidad de materia orgánica, obtuvimos como el exponente más alto de materia orgánica a el páramo molisol con un 14% y al más bajo, el cultivo inceptisol con un 7.5% de materia orgánica.

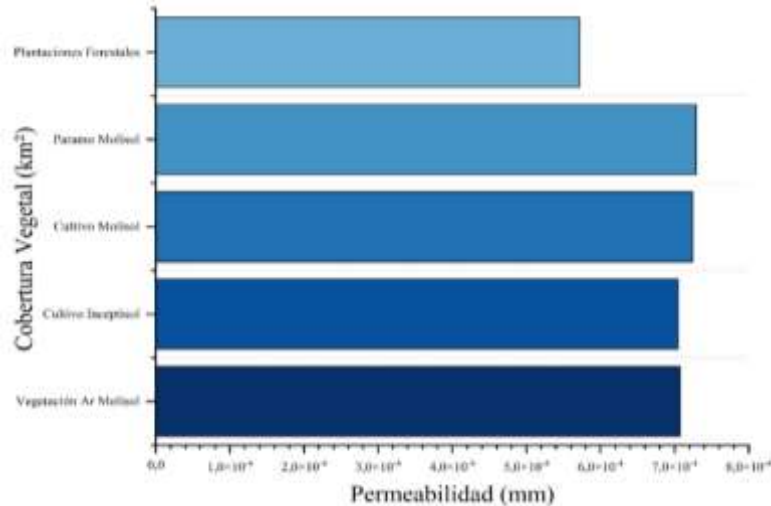


**Gráfico 8.** Porcentaje de materia orgánica según la cobertura vegetal de la Q.C.G

*Fuente:* Autores

### **Cálculo de Permeabilidad Q.C.G**

La permeabilidad en la zona de Compuene Gorge demuestra que el valor máximo se encuentra en la clase paramo molisol con un valor de  $7.40 \times 10^{-4}$  (Gráfico 9), seguidos por el cultivo molisol, vegetación arbustiva, cultivo inceptisol y la clase plantaciones forestales con el menor valor de permeabilidad con  $5.90 \times 10^{-4}$ .

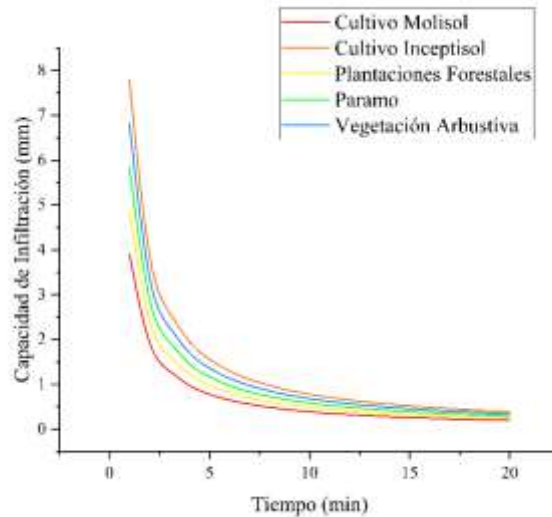


**Gráfico 9.** Permeabilidad según la cobertura vegetal de la Q.C. G

*Fuente:* Autores

### **Capacidad de infiltración Q.C.G**

La capacidad de infiltración que se analizó en el estudio tiende a una relación con la cobertura vegetal de la zona, en el (Gráfico 10) se observa que la curva de infiltración va desde los 0 hasta los 8 mm/h en un periodo de 20 minutos dando así una capacidad máxima de infiltración de 7.82 mm/h en el suelo de cultivo inceptisol, así también, la capacidad mínima de infiltración se observó en cultivo molisol con un valor de 3.9 mm/h.



**Gráfico 10** Capacidad de infiltración según la cobertura vegetal en la Q.C.G

*Fuente:* Autores

### Capacidad de campo de la microcuenca del río Guamote y la Quebrada Compuene Gorge.

La capacidad de campo lleva una estrecha relación con la cobertura vegetal, la taxonomía y la textura del suelo. Por otra parte, el porcentaje de porosidad y la tasa de infiltración del suelo varía ampliamente y se ven comprometidas por la permeabilidad del subsuelo, el suelo se clasifica en cuatro HGS (A, B, C y D) según el porcentaje de infiltración mínima, que resulta para el suelo desnudo después de la humidificación extendida.

Para la asignación de los grupos hidrológicos (Tabla 8), (Tabla 9), se condicionó el uso y la cobertura vegetal de la zona, se establece el rango numérico de 1 a 100, donde, 100, refleja clases como humedales, zonas urbanas, agua y nieve, ya que son de procedencia impermeable, además, en las clases de cultivo, paramo, plantaciones forestales y vegetación arbustiva su CN fue determinado en base al tipo de vegetación, y condición hidrológica.

**Tabla 8.** Asignación de HSG y CN para la Q.C.G

Clase	Textura	HSG	CN
Cultivo	Arcillo Limoso	B	71
Vegetación Arbustiva	Arcilloso Arenoso	B	66
Paramo	Arcillo Limoso	B	58
Plantaciones Forestales	Franco Arenoso Arcilloso	B	66

*Fuente:* Autores

**Tabla 9.** Asignación de HSG y CN para la Q.C.G

Clase	Textura	HSG	CN
Cultivo	Arenoso Franco	A	55
Paramo	Franco Arenoso	A	30
Pasto cultivado	Franco Arenoso	A	47

Pasto cultivado	Franco Arenoso	A	47
Plantaciones Forestales	Arenoso Franco	A	36
Plantaciones Forestales	Arenoso Franco	A	36
Vegetación Arbustiva	Arenoso Franco	A	35
Vegetación Arbustiva	Arenoso Franco	A	35
Cultivo	Franco Limoso	B	69
Cultivo	Franco Limoso	B	69
Vegetación Arbustiva	Franco Limoso	B	56
Vegetación Arbustiva	Franco Limoso	B	56
Cultivo	Franco Arcilloso	C	78
Paramo	Franco Arcilloso	C	71
Paramo	Franco Arcilloso	C	71
Paramo	Franco Arcilloso	C	71
Pasto cultivado	Franco Arcilloso	C	81
Pasto cultivado	Franco Arcilloso	C	81
Fuente de Agua		D	99
Zona Urbana		D	99

*Fuente: Autores*

## **Modelación para obtener la relación de precipitación – escorrentía**

### **Relación precipitación-escorrentía M. R. G.**

Para la relación precipitación-escorrentía se utilizó la metodología de SCS, utilizando datos diarios de precipitación y temperatura de los años 1981-2021, obtenido de (Mendoza et al., 2021b), en efecto, se determinó la precipitación efectiva, pérdida y exceso, además, intervienen varios factores como son, tiempo de retardo, CN y umbral de escorrentía. El método del SCS asume que la abstracción inicial es el 20% de la abstracción máxima del suelo, de ahí procede el 0,2 de ambas.

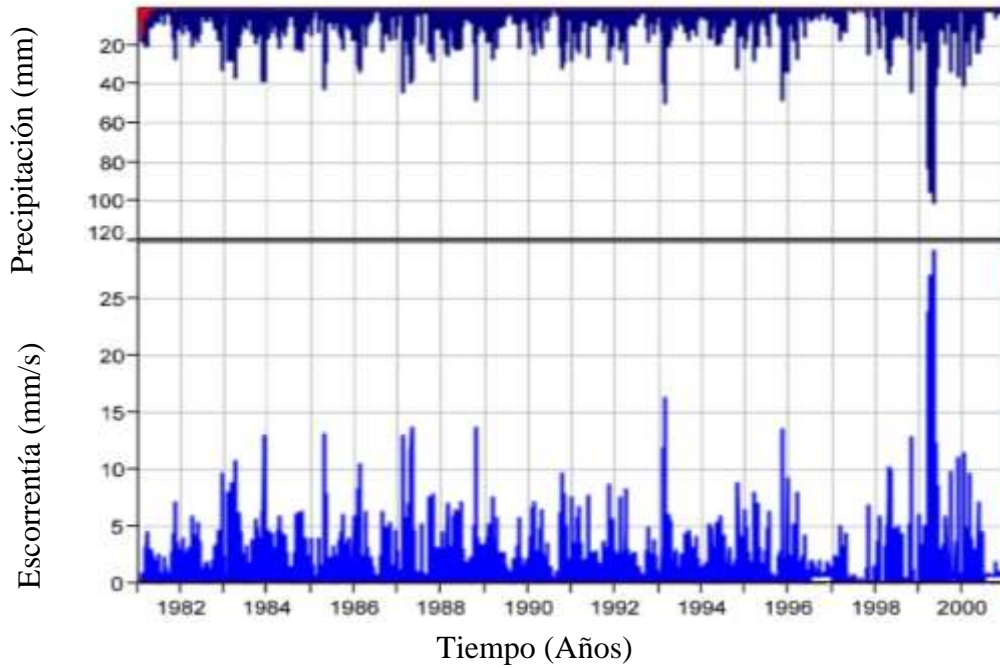
La modelación de HEC-HMS demostró, que la M.R.G se dividió en tres subcuencas que prioriza valores de precipitación y escorrentía máximos, estudiados en un lapso de 20 años, 1981-2000, en la cuenca S1 mayor precipitación de 10 mm y escorrentía 200 mm registrada en el año 1988 (Anexo 3), en la cuenca S2 mayor precipitación de 10mm y un valor de 160mm procedente de la escorrentía en el año 1988, finalmente en la cuenca S3 se determinó que en el año 1999 el valor máximo de precipitación fue de 10mm y 55mm de escorrentía.

En el lapso de los años 2001-2021 en la cuenca S1 la mayor precipitación y escorrentía que se registró fue de 8mm y 200mm respectivamente en el año 2018 (Anexo 4), la cuenca S2 demuestra valores de 8mm y 160mm en precipitación y escorrentía en el año 2018, además, en el mismo año se registran valores de precipitación y escorrentía máximos de 8 y 40mm en la cuenca S3.

### **Relación precipitación-escorrentía Q. C. G**

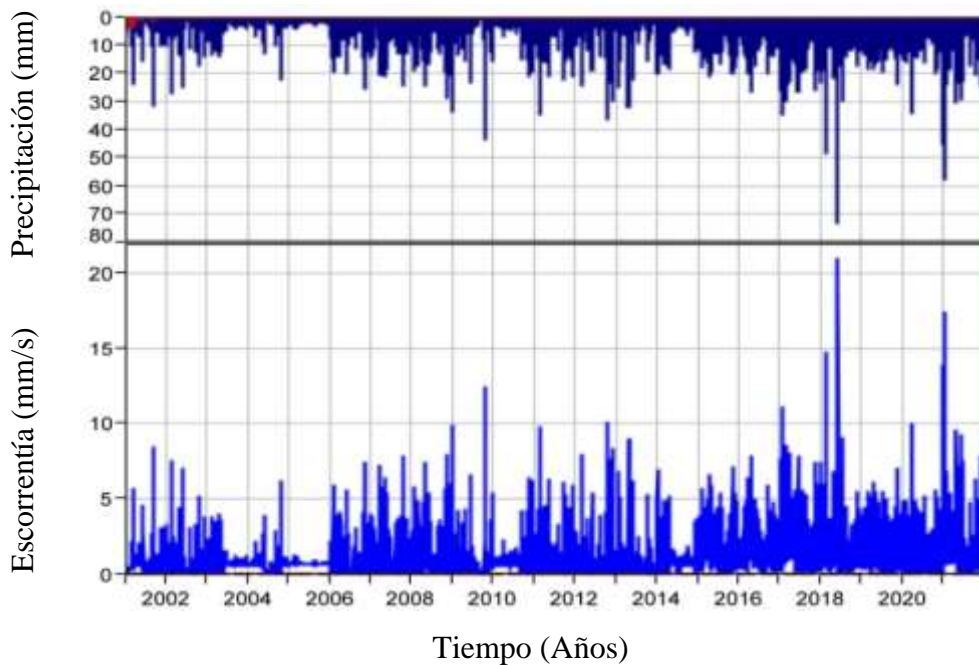
La relación de precipitación escorrentía determinada por la metodología aplicada demostró que en la Quebrada Compuene Gorge existen valores máximos de precipitación

escorrentía en un lapso de 20 años 1981-2000, se registró un valor de 100mm de precipitación y un valor de 250mm de escorrentía en el año 1999 (Grafico 10), así también en el lapso de 2001-2021, se obtuvo valores de precipitación escorrentía máximos de 80mm y 200mm respectivamente en el año 2018 (Grafico 11).



**Gráfico 11.** Relación precipitación- escorrentía periodo 1981-2000 Q.C.G

**Fuente:** Autores



**Gráfico 12.** Relación precipitación - escorrentía periodo 2001-2021 Q.C.G

**Fuente:** Autores

## Oferta hídrica para la M.R.G

La oferta hídrica demuestra la cantidad de agua aprovechable para la comunidad, fauna y flora del sector, con este fin, se localizó las diferentes zonas de riego en la M.R.G y mediante el modelo de precipitación-escorrentía se determinó el caudal máximo en la zona (Anexo 5), además, la metodología aplicada permitió determinar el caudal ecológico y analizar el caudal disponible para el aprovechamiento de la población, en definitiva, el valor total del caudal es de 0.1568 m<sup>3</sup>/s que, mediante la resta del caudal medio de las concesiones ya utilizadas se obtuvo un caudal disponible de 0.1393 m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 10 Caudal Ofertado M.R.G**

<b>Año</b>	<b>Caudal medio</b>	<b>Caudal Ecológico</b>	<b>Caudal Autorizado</b>	<b>Caudal Ofertado</b>
1981	0,007494795	0,000749479	0,00184893	0,004896385
1982	0,064598082	0,006459808	0,00184893	0,056289344
1983	0,144998904	0,01449989	0,00184893	0,128650084
1984	0,129402459	0,012940246	0,00184893	0,114613283
1985	0,101305479	0,010130548	0,00184893	0,089326002
1986	0,12289726	0,012289726	0,00184893	0,108758604
1987	0,106411781	0,010641178	0,00184893	0,093921673
1988	0,167962842	0,016796284	0,00184893	0,149317627
1989	0,111199452	0,011119945	0,00184893	0,098230577
1990	0,114164658	0,011416466	0,00184893	0,100899262
1991	0,123246849	0,012324685	0,00184893	0,109073234
1992	0,096040437	0,009604044	0,00184893	0,084587463
1993	0,15654137	0,015654137	0,00184893	0,139038303
1994	0,128943562	0,012894356	0,00184893	0,114200275
1995	0,121684384	0,012168438	0,00184893	0,107667015
1996	0,125954918	0,012595492	0,00184893	0,111510496
1997	0,042878082	0,004287808	0,00184893	0,036741344
1998	0,142381918	0,014238192	0,00184893	0,126294796
1999	0,272018356	0,027201836	0,00184893	0,242967591
2000	0,16605082	0,016605082	0,00184893	0,147596808
2001	0,115227397	0,01152274	0,00184893	0,101855728
2002	0,109326301	0,01093263	0,00184893	0,096544741
2003	0,112006301	0,01120063	0,00184893	0,098956741
2004	0,103722951	0,010372295	0,00184893	0,091501726
2005	0,128120822	0,012812082	0,00184893	0,11345981
2006	0,109599452	0,010959945	0,00184893	0,096790577
2007	0,136980822	0,013698082	0,00184893	0,12143381
2008	0,189760929	0,018976093	0,00184893	0,168935906
2009	0,116691507	0,011669151	0,00184893	0,103173426
2010	0,147194521	0,014719452	0,00184893	0,130626138
2011	0,126986575	0,012698658	0,00184893	0,112438988
2012	0,107504918	0,010750492	0,00184893	0,094905496



2013	0,087429863	0,008742986	0,00184893	0,076837947
2014	0,131490137	0,013149014	0,00184893	0,116492193
2015	0,325929863	0,032592986	0,00184893	0,291487947
2016	0,31070929	0,031070929	0,00184893	0,277789431
2017	0,368947671	0,036894767	0,00184893	0,330203974
2018	0,346736438	0,034673644	0,00184893	0,310213865
2019	0,311545753	0,031154575	0,00184893	0,278542248
2020	0,242154918	0,024215492	0,00184893	0,216090496
2021	0,358009589	0,035800959	0,00184893	0,3203597
Promedio	0,156884206	0,015688421	0,00184893	0,139346855

### OFERTA HÍDRICA PARA LA Q.C.G

El valor del caudal medio de la Q.C.G es de 0.8539 m<sup>3</sup>/s, que, mediante la resta del caudal de las concesiones ya utilizadas (Anexo 6) nos dio un caudal disponible de 0.7685 m<sup>3</sup>/s, que puede ser aprovechable para las personas que se encuentran en la zona y las actividades de agropecuarias de la misma.

Años	Caudal medio	Caudal Ecológico	Caudal Autorizado	Caudal Ofertado
1981	0,464380822	0,046438082	0,000078468	0,417864272
1982	0,697210959	0,069721096	0,000078468	0,627411395
1983	1,025452055	0,102545205	0,000078468	0,922828381
1984	0,794144809	0,079414481	0,000078468	0,71465186
1985	0,591227397	0,05912274	0,000078468	0,53202619
1986	0,697271233	0,069727123	0,000078468	0,627465642
1987	0,592136986	0,059213699	0,000078468	0,53284482
1988	0,92036612	0,092036612	0,000078468	0,82825104
1989	0,602567123	0,060256712	0,000078468	0,542231943
1990	0,61459726	0,061459726	0,000078468	0,553059066
1991	0,659884932	0,065988493	0,000078468	0,59381797
1992	0,512166667	0,051216667	0,000078468	0,460871532
1993	0,831687671	0,083168767	0,000078468	0,748440436
1994	0,682723288	0,068272329	0,000078468	0,614372491
1995	0,642723288	0,064272329	0,000078468	0,578372491
1996	0,663956284	0,066395628	0,000078468	0,597482188
1997	0,225739726	0,022573973	0,000078468	0,203087285
1998	0,748783562	0,074878356	0,000078468	0,673826737
1999	1,427463014	0,142746301	0,000078468	1,284638244
2000	0,86981694	0,086981694	0,000078468	0,782756778
2001	0,603008219	0,060300822	0,000078468	0,542628929
2002	0,571745205	0,057174521	0,000078468	0,514492217
2003	0,585413699	0,05854137	0,000078468	0,526793861
2004	0,541838798	0,05418388	0,000078468	0,48757645
2005	0,668953425	0,066895342	0,000078468	0,601979614
2006	0,571947945	0,057194795	0,000078468	0,514674683

2007	0,714531507	0,071453151	0,000078468	0,642999888
2008	0,989344262	0,098934426	0,000078468	0,890331368
2009	0,608139726	0,060813973	0,000078468	0,547247285
2010	0,766852055	0,076685205	0,000078468	0,690088381
2011	0,661339726	0,066133973	0,000078468	0,595127285
2012	0,559762295	0,05597623	0,000078468	0,503707598
2013	0,455139726	0,045513973	0,000078468	0,409547285
2014	0,684389041	0,068438904	0,000078468	0,615871669
2015	1,695715068	0,169571507	0,000078468	1,526065094
2016	1,615822404	0,16158224	0,000078468	1,454161696
2017	1,917958904	0,19179589	0,000078468	1,726084546
2018	1,801868493	0,180186849	0,000078468	1,621603176
2019	1,61859726	0,161859726	0,000078468	1,456659066
2020	1,257833333	0,125783333	0,000078468	1,131971532
2021	1,859279452	0,185927945	0,000078468	1,673273039
Promedio	0,853994651	0,085399465	0,000078468	0,768516718

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

El estudio realizado en la microcuenca del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge constó en primer lugar de la clasificación supervisada de las imágenes satelitales Sentinel 2A, mediante el uso del método máxima verisimilitud permitió identificar cuatro unidades geográficas bien definidas las cuales son: cultivo, vegetación arbustiva, páramo y plantaciones forestales, además, ayudó a la delimitación de zonas de muestreo donde por cada clase, en unión a la taxonomía del suelo se realizó trabajo in situ para analizar la capacidad de campo, permeabilidad e infiltración, concluyendo que existe estrecha relación entre estos parámetros y los datos obtenidos, demostrando que en la microcuenca del río Guamote y la quebrada Compuene Gorge tienen desgaste de los suelos provocado por malas prácticas agrícolas y por las características propias de la zona.

El potencial máximo de retención se ve afectado directamente por los valores del CN, que son registrados y estudiados según las condiciones texturales y cobertura vegetal del suelo, de esta forma, se obtuvo que en la microcuenca del río Guamote y la Quebrada Compuene Gorge pertenecen a la zona rural en donde no existe tanta intervención industrial, más bien, usos de suelo para cultivo y ganado.

El modelo de precipitación-escorrentía realizado en HEC-HMS, demostró ser una manera eficiente de conocer la realidad hidrológica que existe en la M.R.G y la Q.C.G debido, a las variables, precipitación efectiva, temperatura, evapotranspiración, pérdida, exceso e infiltración, además, el uso de anuarios meteorológicos permitió calibrar el modelo, de tal manera, la optimización del modelo arrojó valores más reales que sirven para analizar la oferta hídrica en las zonas de estudio.

El potencial máximo de retención se ve afectado directamente por la retención de agua en el subsuelo, es decir, las clases texturales del suelo que poseen una permeabilidad

nula de retención son Zonas urbanas y Cuerpos de Agua que nos da una transformación directa de precipitación escorrentía, mientras que, para las demás categorías, al ser más alto el valor de potencial máximo de retención los valores de escorrentía disminuyen.

Para la M.R.G y Q.C.G se analizó los periodos de retorno en 2, 5, 10, 50, 100 y 500 años, lo cual demostró, que las interacciones y el porcentaje de tolerancia, afectan directamente a la transformación de precipitación-escorrentía en largos periodos de tiempo.

Por último, de acuerdo con lo calculado con el modelo realizado en HEC-HMS, se determinó que la oferta hídrica de la microcuenca del río Guamote es de 0.1393 m<sup>3</sup>/s y la quebrada Compuene Gorge es de 0.7685 m<sup>3</sup>/s, siendo este el recurso aproximado que ofrece el del río, para poderlo utilizar en nuevos proyectos de riego que pueden contribuir en el mejoramiento de la Provincia de Chimborazo.

## RECOMENDACIONES

Es recomendable al momento de trabajar con imágenes satelitales, trabajar con aquellas que presenten una mayor resolución, además, realizar correcciones radiométricas y atmosféricas, para evitar errores que se pueden producir durante una clasificación.

Es necesario que se invierta más infraestructura que permita calibrar los modelos de mejor manera, como son estaciones meteorológicas, hidrológicas, obteniendo así bases de datos actualizadas.

Para modelamiento en HEC-HMS, se recomienda leer muy bien los textos facilitados por los desarrolladores del programa como son: Quick start guide, user's manual, applications guide y technical reference manual, los cuales nos dan una guía para empezar a utilizar, nos muestra la descripción de los programas, la aplicación en diversos campos de estudio y finalmente todos los métodos y formulas comprendidos dentro de HEC-HMS.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, S. I., Rudra, R., Goel, P., Khan, A., Gharabaghi, B., & Sharma, R. (2022). A Comparative Evaluation of Using Rain Gauge and NEXRAD Radar-Estimated Rainfall Data for Simulating Streamflow. *Hydrology*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/hydrology9080133>
- Chavan, R., & Ahmadi, K. (2021). World Environmental and Water Resources Congress 2021. *World Environmental and Water Resources Congress 2021: Planning a Resilient Future along America's Freshwaters - Selected Papers from the World Environmental and Water Resources Congress 2021*, 486–494. <https://doi.org/10.1061/9780784483466.044>
- Chidichimo, F., Mendoza, B. T., De Biase, M., Catelan, P., Straface, S., & Di Gregorio, S. (2018). Hydrogeological modeling of the groundwater recharge feeding the Chambo aquifer, Ecuador. *AIP Conference Proceedings*, 2022(November 2018). <https://doi.org/10.1063/1.5060683>
- Espejo, Q., Tania, Y., Baquerizo, C., Para Optar, E., Título, E. L., & De, P. (n.d.). *Universidad nacional del centro del Perú facultad de ciencias forestales y del ambiente tesis presentado por los bachilleres.*

- Estela, B., Nardeli, C., Zapata, B. S., & Carlos, J. (n.d.). *Facultad de ingeniería arquitectura y urbanismo escuela profesional de ingeniería civil para optar el título profesional de ingeniero civil autores.*
- Gebre, S. L. (2015). Application of the HEC-HMS Model for Runoff Simulation of Upper Blue Nile River Basin. *Journal of Wastewater Treatment & Analysis*, 06(02). <https://doi.org/10.4172/2157-7587.1000199>
- Global IP News. (2022). State Intellectual Property Office of China Receives Univ Liaoning Technical' s Patent Application for Forest Environment Remote Sensing Monitoring System Based on Comprehensive Remote Sensing Technology. 1–2. <https://www.proquest.com/wire-feeds/state-intellectual-property-office-china-receives/docview/2702770242/se-2>
- Guananga-Diaz, F., Carbonel H., C., Escobar-Arrieta, S., Guerrero-Rivera, A., Mendoza, B., & Guananga-Diaz, N. I. (2022). *Influence of geomorphology and flow on the water quality of Guano River, Ecuador*. 5(2), 174–192.
- Guerrero-García-Rojas, H. R., García-Vega, D., & Seguí-Amórtegui, L. (2021). Industrial water productivity in Mexico: Efficiency analysis for eight sectors. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(1), 313–357. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-01-08>
- Hoyos Chaverra, M. A., Rodriguez Barrientos, D. A., & Torres Quintero, J. E. (2018). Evaluación Del Recurso Hídrico Superficial En La Subcuenca Hidrográfica Del Río Frío En El Departamento De Cundinamarca: Oferta, Demanda Y Calidad Del Agua. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 127–136. <https://doi.org/10.22490/21456453.2075>
- Ibrahim-Bathis, K., & Ahmed, S. A. (2016). Rainfall-runoff modelling of Doddahalla watershed—an application of HEC-HMS and SCN-CN in ungauged agricultural watershed. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2228-2>
- Jimmy Clemente Condori, L. (n.d.). *Facultad de ingeniería y arquitectura escuela profesional de ingeniería civil.*
- Kim, D., Kim, J., Wang, W., Lee, H., & Kim, H. S. (2022). On Hypsometric Curve and Morphological Analysis of the Collapsed Irrigation Reservoirs. *Water (Switzerland)*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/W14060907>
- Lavao, S., & Corredor, J. (2014). Aplicación De La Teoría Del Número De Curva (Cn) a Una Cuenca De Montaña. Caso De Estudio: Cuenca Del Río Murca, Mediante La Utilización De Sistemas De Información Geográfica. *Universidad Militar Nueva Granada*, 10(2), 1–48.
- Loyo, A., & Lopez, R. (2021). Determinación y evaluación del concreto permeable en pavimento de los ambientales de la Universidad Nacional de Ucayli. *Universidad Nacional de Ucayli*, 2018.
- Luis, J., & Gonzáles, A. (n.d.). *Diseño y metodología de la investigación.* [www.tesisconjosearias.com](http://www.tesisconjosearias.com)
- Meaden, G., & Aguilar-Manjarrez, J. (2013). Advances in geographic information systems and remote sensing for fisheries and aquaculture/Advances in geographic information systems and remote sensing for fisheries and aquaculture - ProQuest.

<https://www.proquest.com/docview/1441695208/B1C5132FEC4349AEPQ/3?accountid=36757>

- Medina, J., Volke, V., Galvis, A., & Cortés, J. (2017). Incremento de la materia orgánica del suelo y rendimiento de mango en Luvisoles, Campeche, México. *Agronomía Mesoamericana*, 28, 499–508.
- Mendoza, B., Fiallos, M., Iturralde, S., Santillán, P., Guananga, N., Bejar, J., Lowy, D. A., Vágó, I., & Sándor, Z. (2021a). Determination of field capacity in the Chibunga and Guano rivers micro-basins. *F1000Research*, 10(April), 1–13. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.28143.1>
- Mendoza, B., Fiallos, M., Iturralde, S., Santillán, P., Guananga, N., Bejar, J., Lowy, D. A., Vágó, I., & Sándor, Z. (2021b). Determination of field capacity in the Chibunga and Guano rivers micro-basins. *F1000Research*, 10(April), 1–13. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.28143.1>
- Muñoz Murcillo, J. L., Gentili, J., & Bustos Cara, R. (2020). Uso agrícola del suelo y demanda de agua para riego en la cuenca del río Vices (Ecuador) durante el período 1990 – 2014. *Investigaciones Geográficas*, 59, 91. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2020.56958>
- Parte, C., Evaluación, D. E. L. A., & Del, R. (2016). *Determinación de la oferta hídrica superficial de la cuenca del río machetá cundinamarca (jurisdicción car), como parte de la evaluación regional del agua (era)*. 1–116.
- Risco, A. A. (n.d.). *Clasificación de las Investigaciones*.
- Shi, W., Chen, T., Yang, J., Lou, Q., & Liu, M. (2022). An improved MUSLE model incorporating the estimated runoff and peak discharge predicted sediment yield at the watershed scale on the Chinese Loess Plateau. *Journal of Hydrology*, 614. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128598>
- Soria, D. (2017). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. *Quito, agosto de 2017*, 1–100. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Soomro, S. e. hyde., Hu, C., Boota, M. W., Ahmed, Z., Chengshuai, L., Zhenyue, H., Xiang, L., & Soomro, M. H. A. A. (2022). River Flood Susceptibility and Basin Maturity Analyzed Using a Coupled Approach of Geo-morphometric Parameters and SWAT Model. *Water Resources Management*, 36(7), 2131–2160. <https://doi.org/10.1007/S11269-022-03127-Y>
- Tello, G., & Sánchez, A. (2019). *Necesidad de su reversión desde las políticas públicas con enfoque bioético □ e environmental contamination in the water-bearing to Ecuador. Need of his reversion from the public policies with focus bioético*. 1053–1079.
- UBICADO EN CIENAGA, M. H. I. D. U. P. D. M. P. L. E. D. L. E. M. M. D. M., Para, U., & Academico, S. (2012). *1 universidad Francisco De Paula Santander Ocaña*. 1–152.
- Wrzesiński, G., & Markiewicz, A. (2022). Article Prediction of Permeability Coefficient k in Sandy Soils Using ANN. *Sustainability (Switzerland)*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/su14116736>
- Yuan, W., Liu, M., & Wan, F. (2019). Calculation of Critical Rainfall for Small-Watershed Flash Floods Based on the HEC-HMS Hydrological Model. *Water Resources Management*, 33(7), 2555–2575. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02257-0>

Zabaleta, Y., Espejo, O. K., Fernández, J. M., & Santos, S. (2022). Modelling of a Stilling Basins with Sloping Apron in IBER to Improve Efficiency in High-slope Rivers. *Journal of Physics: Conference Series*, 2287(1), 1–14. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2287/1/012045>

## ANEXOS

### Anexo 1 números de curva de escorrentía según su cobertura

*Tabla 11.* Números de curva de escorrentía para pastizales áridos y semiáridos

TIPO DE COBERTURA	Condición	Grupo Hidrológico del Suelo			
		Hidrológica A	B	C	D
Herbácea: mezcla de hierba, maleza y cepillo de bajo crecimiento, con el cepillo Elemento menor.	Pobre	-----	90	80	93
	Medio	-----	71	81	89
	Bueno	-----	62	74	85
Roble-aspen - mezcla de cepillo de montaña de álamo de roble álamo temblón, caoba de montaña, pincel amargo, arce, otros cepillos.	Pobre	-----	66	74	79
	Medio	-----	48	57	63
	Bueno	-----	30	41	48
Pinyon-enebro (Pino): pinyon, enebro o ambos; sotobosque de hierba	Pobre	-----	75	85	89
	Medio	-----	58	73	80
	Bueno	-----	41	61	71
Artemisa con sotobosque de hierba	Pobre	-----	67	80	85
	Medio	-----	51	63	70
	Bueno	-----	35	47	55
Arbusto del desierto, las plantas más importantes incluyen el saltbush, Greasewood, Creosotebush, Blackbrush, Bursage, palo verde, mezquite y cactus	Pobre	63	77	85	88
	Medio	55	72	81	86
	Bueno	49	68	79	84

*Fuente:* (Mendoza et al., 2021b)

**Tabla 12.** Números de curva de escorrentía para la agricultura

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN	TIPO DE SUELO			
		HIDROLÓGICA	A	B	C	D
<b>Barbecho</b>	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
<b>Cultivos alineados</b>	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80
	R	Pobre	65	76	84	88
	R	Buena	63	75	83	87
	R + CR	Pobre	64	75	83	86
	R + CR	Buena	60	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
<b>Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos</b>	C	Buena	61	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84
	C + CR	Buena	60	72	80	83
	C + T	Pobre	61	72	79	82
	C + T	Buena	59	70	78	81
	C + T + CR	Pobre	60	71	78	81
	C + T + CR	Buena	58	69	77	80
	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
<b>Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia</b>	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80
	-	Pobres	68	79	86	89
<b>Pastizales o pastos naturales</b>	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
<b>Pastizales</b>	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
<b>Prados permanentes</b>	-	-	30	58	71	78
	-	Pobres	48	67	77	83
<b>Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante</b>	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	≤30	48	65	73
	-	Pobres	57	73	82	86
<b>Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos</b>	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
	-	Pobres	45	66	77	83
<b>Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)</b>	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
<b>Bosques</b>	-	IV Buena	26	52	63	69
	-	V Muy buena	15	44	54	61
	-	-	59	74	82	86
<b>Caseríos</b>	-	-	72	82	87	89
<b>Caminos en tierra</b>	-	-	74	84	90	92
<b>Caminos en firme</b>	-	-				

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

*Fuente:* (Mendoza et al., 2021b)



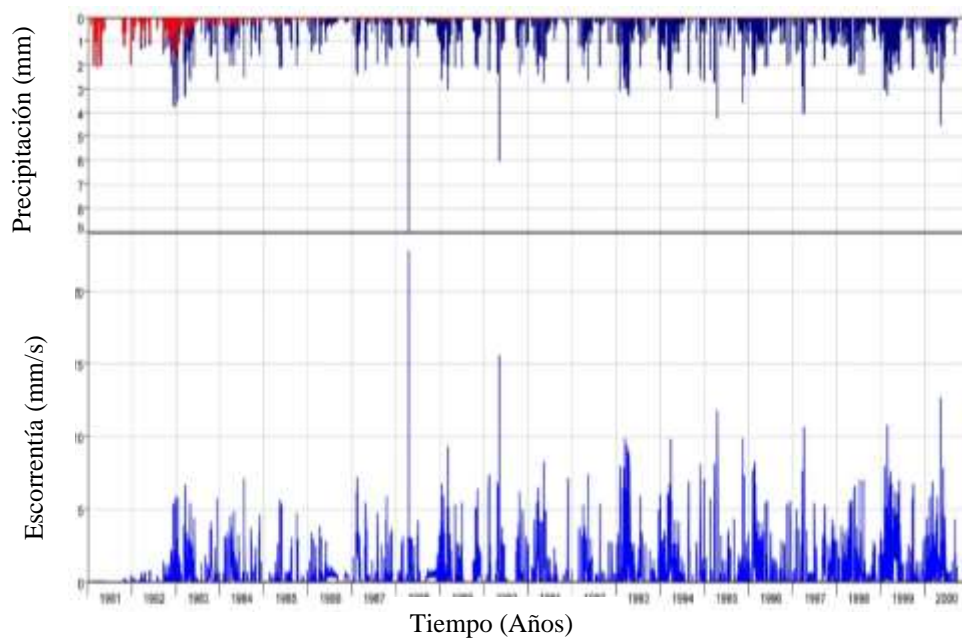
## Anexo 2 asignación numérica general para las diferentes texturas del suelo

*Tabla 13.* Clase textural

Tipos de suelo	Valor Numérico
Arenoso	12
Areno Francos	11
Franco Arenoso	10
Franco	9
Franco Limoso	8
Limoso	7
Franco Arcilloso	6
Franco Arenoso Arcilloso	5
Franco Limoso Arcilloso	4
Arcilloso Arenoso	3
Arcilloso Limoso	2
Arcilloso	1

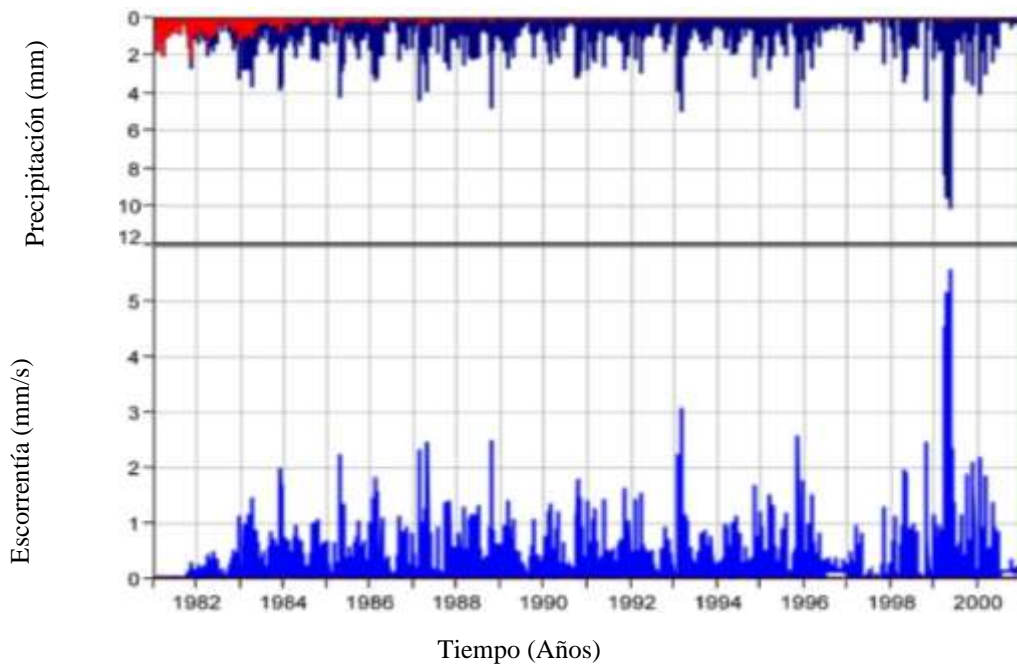
*Fuente:* Autores

## Anexo 3 Modelo precipitación – escorrentía periodo 1981 – 2000 M.R.G



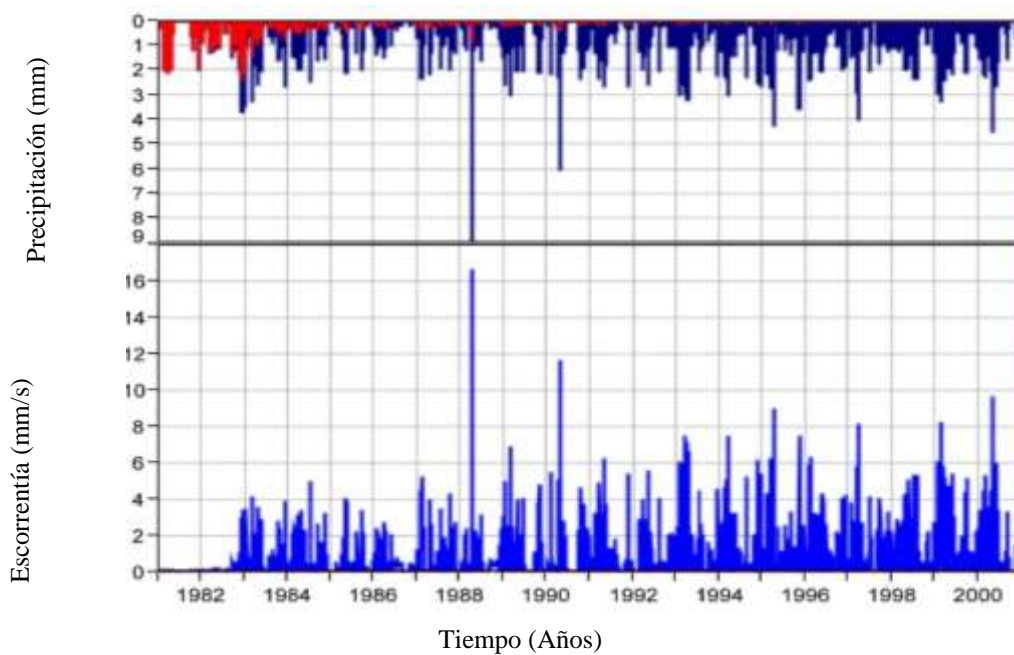
**Gráfico 13.** Relación precipitación– escorrentía periodo 1981-2000 M.R.G S1

*Fuente:* Autores



**Gráfico 14.** Relación precipitación-escorrentía periodo 1981-2000 M.R.G S2

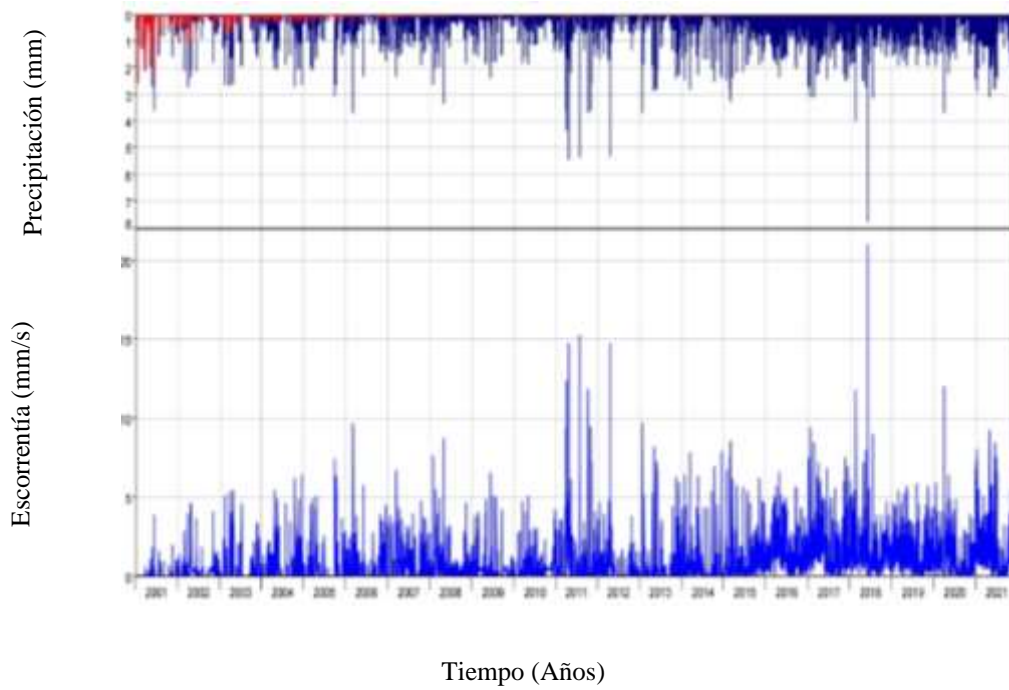
*Fuente:* Autores



**Gráfico 15.** Relación precipitación-escorrentía periodo 1981-2000 M.R.G S3

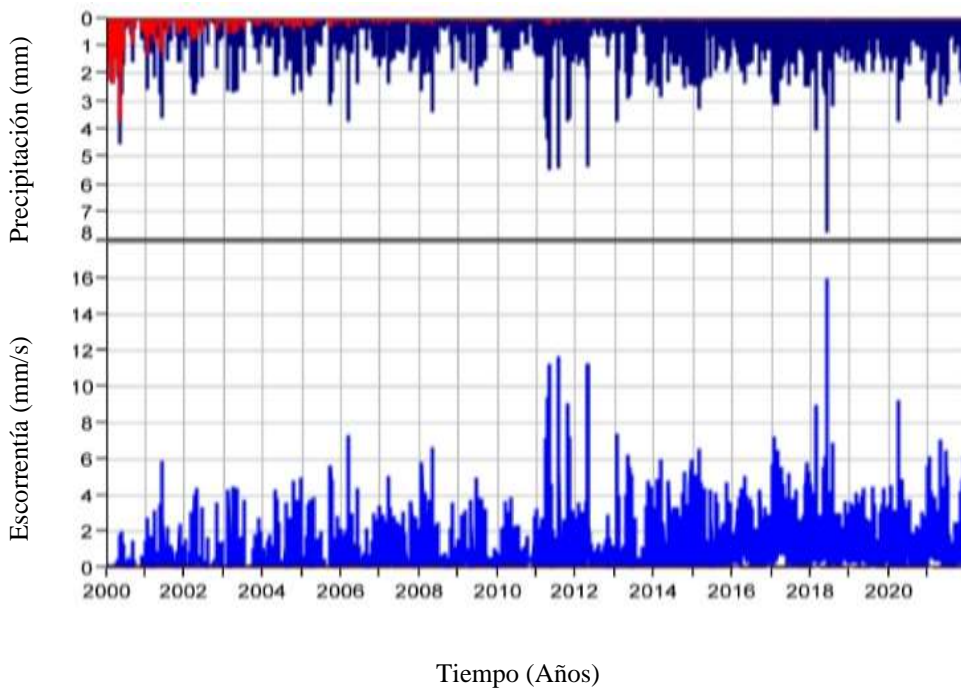
*Fuente:* Autores

**Anexo 4 Modelo precipitación – escorrentía periodo 2001 – 2020 M.R.G**



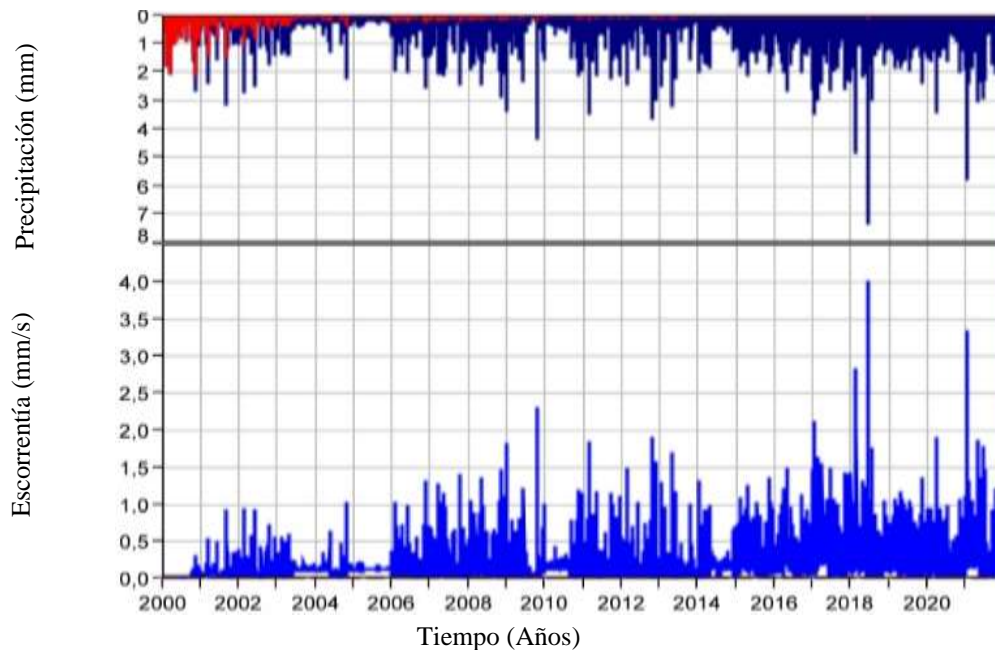
**Gráfico 16.** Relación precipitación– escorrentía periodo 2001-2021 M.R.G S1

**Fuente:** Autores



**Gráfico 17.** Relación precipitación– escorrentía periodo 2001-2021 M.R.G S2

**Fuente:** Autores



**Gráfico 18.** Relación precipitación– escorrentía periodo 2001-2021 M.R.G S2

*Fuente:* Autores

## **Anexo 5 concesiones de riego para la provincia de Chimborazo**

**Tabla 14.** Uso y caudal de las concesiones de riego para la M.R.G

<b>Código</b>	<b>Uso</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
1	ABREVADERO	0,21
2	ABREVADERO	0,2
3	ABREVADERO	0,06
4	ABREVADERO	0,01
5	ABREVADERO	0,15
6	ABREVADERO	0,01
7	ABREVADERO	0,17
8	ABREVADERO	0,01
9	ABREVADERO	0,74
10	ABREVADERO	0,01
11	ABREVADERO	0,06
12	ABREVADERO	0,01
13	ABREVADERO	3,3
14	ABREVADERO	0,1
15	ABREVADERO	0,01
16	ABREVADERO	0,01
17	ABREVADERO	0,01

18	ABREVADERO	0,01	62	ABREVADERO	0,02
19	ABREVADERO	0,01	63	ABREVADERO	0,01
20	ABREVADERO	0,17	64	ABREVADERO	0,02
21	ABREVADERO	0,03	65	ABREVADERO	0,02
22	ABREVADERO	0,42	66	ABREVADERO	0,29
23	ABREVADERO	0,17	67	ABREVADERO	0,07
24	ABREVADERO	0,01	68	ABREVADERO	0,03
25	ABREVADERO	0,35	69	ABREVADERO	0,01
26	ABREVADERO	0,01	70	ABREVADERO	0,05
27	ABREVADERO	0,01	71	ABREVADERO	0,06
28	ABREVADERO	0,01	72	ABREVADERO	0,1
29	ABREVADERO	0,29	73	ABREVADERO	0,02
30	ABREVADERO	0,01	74	ABREVADERO	0,01
31	ABREVADERO	0,12	75	ABREVADERO	0,12
32	ABREVADERO	0,76	76	ABREVADERO	0,16
33	ABREVADERO	0,01	77	ABREVADERO	0,01
34	ABREVADERO	0,1	78	ABREVADERO	0,01
35	ABREVADERO	0,05	79	ABREVADERO	0,1
36	ABREVADERO	0,07	80	ABREVADERO	0,17
37	ABREVADERO	0,14	81	ABREVADERO	0,28
38	ABREVADERO	0,17	82	ABREVADERO	0,01
39	ABREVADERO	0,06	83	ABREVADERO	0,252
40	ABREVADERO	0,003	84	ABREVADERO	0,05
41	ABREVADERO	0,03	85	ABREVADERO	0,1
42	ABREVADERO	0,01	86	ABREVADERO	1,59
43	ABREVADERO	0,11	87	RIEGO	4,8
44	ABREVADERO	0,13	88	RIEGO	0,29
45	ABREVADERO	0,2	89	RIEGO	5,94
46	ABREVADERO	0,01	90	RIEGO	20,17
47	ABREVADERO	0,06	91	RIEGO	0,8
48	ABREVADERO	0,02	92	RIEGO	24
49	ABREVADERO	0,04	93	RIEGO	1,13
50	ABREVADERO	0,04	94	RIEGO	6,6
51	ABREVADERO	0,03	95	RIEGO	1,18
52	ABREVADERO	0,005	96	RIEGO	1,7
53	ABREVADERO	0,02	97	RIEGO	0,22
54	ABREVADERO	0,03	98	RIEGO	2,39
55	ABREVADERO	0,01	99	RIEGO	5,25
56	ABREVADERO	0,2	100	RIEGO	10,5
57	ABREVADERO	0,01	101	RIEGO	2,8
58	ABREVADERO	0,23	102	RIEGO	16,73
59	ABREVADERO	0,11	103	RIEGO	5,46
60	ABREVADERO	0,02	104	RIEGO	177,14
61	ABREVADERO	0,02	105	RIEGO	0,48

106	RIEGO	0,9	150	RIEGO	1,1
107	RIEGO	2,2	151	RIEGO	33,17
108	RIEGO	0,97	152	RIEGO	11,7
109	RIEGO	0,3	153	RIEGO	5,54
110	RIEGO	8,3	154	RIEGO	3,6
111	RIEGO	0,44	155	RIEGO	2,14
112	RIEGO	0,9	156	RIEGO	0,27
113	RIEGO	1,92	157	RIEGO	0,1
114	RIEGO	34,88	158	RIEGO	0,2
115	RIEGO	0,18	159	RIEGO	1,4
116	RIEGO	20	160	RIEGO	10
117	RIEGO	8	161	RIEGO	1,5
118	RIEGO	2,33	162	RIEGO	1
119	RIEGO	2	163	RIEGO	14,5
120	RIEGO	28,6	164	RIEGO	10,92
121	RIEGO	0,68	165	RIEGO	0,13
122	RIEGO	1,416	166	RIEGO	16,73
123	RIEGO	4,2	167	RIEGO	9,03
124	RIEGO	0,24	168	RIEGO	3,1
125	RIEGO	10,04	169	RIEGO	22,9
126	RIEGO	1,14	170	RIEGO	0,12
127	RIEGO	10,67	171	RIEGO	0,52
128	RIEGO	0,09	172	RIEGO	0,27
129	RIEGO	0,535	173	RIEGO	2
130	RIEGO	14,5	174	RIEGO	0,14
131	RIEGO	0,36	175	RIEGO	4,9
132	RIEGO	2,33	176	RIEGO	10,76
133	RIEGO	12,2	177	RIEGO	5,3
134	RIEGO	30	178	RIEGO	2,65
135	RIEGO	1,85	179	RIEGO	0,16
136	RIEGO	0,84	180	RIEGO	1,7
137	RIEGO	7,97	181	RIEGO	62,4
138	RIEGO	0,23	182	RIEGO	28,6
139	RIEGO	0,84	183	RIEGO	1,38
140	RIEGO	5,25	184	RIEGO	15,38
141	RIEGO	6	185	RIEGO	2,18
142	RIEGO	2,96	186	RIEGO	20,11
143	RIEGO	3	187	RIEGO	6
144	RIEGO	0,48	188	RIEGO	1,5
145	RIEGO	19,2	189	RIEGO	0,36
146	RIEGO	10,5	190	RIEGO	1,7
147	RIEGO	2	191	RIEGO	18,07
148	RIEGO	0,75	192	RIEGO	0,287
149	RIEGO	21,6	193	RIEGO	6,14

194	RIEGO	4,8	238	RIEGO	0,82
195	RIEGO	1,48	239	RIEGO	4,58
196	RIEGO	2,3	240	RIEGO	0,3
197	RIEGO	0,137	241	RIEGO	27
198	RIEGO	1,67	242	RIEGO	1,4
199	RIEGO	4,18	243	RIEGO	1,26
200	RIEGO	2,51	244	RIEGO	60
201	RIEGO	9	245	RIEGO	9,79
202	RIEGO	1,33	246	RIEGO	2,24
203	RIEGO	0,1	247	RIEGO	10,5
204	RIEGO	32	248	RIEGO	14,1
205	RIEGO	1,52	249	RIEGO	2,25
206	RIEGO	3,23	250	RIEGO	2,77
207	RIEGO	1,63	251	RIEGO	2
208	RIEGO	2,63	252	RIEGO	24
209	RIEGO	0,3	253	RIEGO	0,16
210	RIEGO	16	254	RIEGO	0,1
211	RIEGO	1,205	255	RIEGO	1,3
212	RIEGO	0,44	256	RIEGO	0,15
213	RIEGO	0,1	257	RIEGO	1,75
214	RIEGO	1,5	258	RIEGO	15
215	RIEGO	1,39	259	RIEGO	8
216	RIEGO	0,29	260	RIEGO	2,4
217	RIEGO	0,84	261	RIEGO	3,2
218	RIEGO	0,25	262	RIEGO	0,48
219	RIEGO	0,09	263	RIEGO	0,02
220	RIEGO	1,45	264	RIEGO	70
221	RIEGO	0,3	265	RIEGO	0,17
222	RIEGO	0,55	266	RIEGO	1,4
223	RIEGO	2	267	RIEGO	11,2
224	RIEGO	149,96	268	RIEGO	0,03
225	RIEGO	9,77	269	RIEGO	0,53
226	RIEGO	0,21	270	RIEGO	3
227	RIEGO	2,04	271	RIEGO	34,05
228	RIEGO	0,535	272	RIEGO	2,4
229	RIEGO	3,55	273	RIEGO	0,86
230	RIEGO	0,17	274	RIEGO	30,8
231	RIEGO	5,5	275	RIEGO	2
232	RIEGO	1	276	RIEGO	1,13
233	RIEGO	0,51	277	RIEGO	4,8
234	RIEGO	0,06	278	RIEGO	0,07
235	RIEGO	10,5	279	RIEGO	0,47
236	RIEGO	0,6	280	RIEGO	0,4
237	RIEGO	18,08	281	RIEGO	3,3

---

282	RIEGO	0,011
283	RIEGO	0,57
284	RIEGO	2,4
285	RIEGO	0,2
286	RIEGO	0,22
287	RIEGO	3,15
288	RIEGO	0,045
289	RIEGO	16,73
290	RIEGO	1,71
291	RIEGO	0,84
292	RIEGO	3,43
293	RIEGO	0,25



294	RIEGO	6
295	RIEGO	6
296	RIEGO	0,2
297	RIEGO	3,6
298	RIEGO	0,04
299	RIEGO	1,5
300	RIEGO	3

*Fuente:* Autores

**Tabla 15.** Uso y caudal de las concesiones de riego para la Q.C.G

<b>Código</b>	<b>Uso</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
1	ABREVADERO	0,06
2	ABREVADERO	0,17
3	ABREVADERO	0,02
4	ABREVADERO	0,01
5	ABREVADERO	0,088
6	ABREVADERO	0,14
7	ABREVADERO	0,04
8	ABREVADERO	0,01
9	RIEGO	15
10	RIEGO	2,41
11	RIEGO	0,15
12	RIEGO	22,66
13	RIEGO	3
14	RIEGO	15
15	RIEGO	1,2
16	RIEGO	0,6
17	RIEGO	0,6
18	RIEGO	3,88
19	RIEGO	0,8
20	RIEGO	0,4
21	RIEGO	0,02
22	RIEGO	0,36
23	RIEGO	0,08

*Fuente:* Autores

## Anexo 6 parámetros hidráulicos

**Tabla 16.** Parámetros hidráulicos de la M.R.G

Punto	Coordenadas		Altitud	Muestra	Cobertura vegetal	Textura	Porosidad %	Mo %	Conductividad
X	Y								
0	749933	9802646	3419	1	Cultivo Andisol	Franco Limoso	48,15	8,9	7,06E-04
				2	Cultivo Andisol	Franco Limoso	57,31	8,3	7,55E-04
				3	Cultivo Andisol	Franco Limoso	45,88	8,5	7,30E-04
				4	Cultivo Andisol	Franco Limoso	65,80	8,5	7,68E-04
1	751531	9790046	3420	1	Cultivo Andisol	Franco Limoso	61,33	4,8	7,21E-04
				2	Cultivo Andisol	Franco Limoso	68,76	5,8	7,42E-04
				3	Cultivo Andisol	Franco Limoso	65,38	5,3	7,34E-04
				4	Cultivo Andisol	Franco Limoso	68,31	5,4	7,31E-04
2	750598	9780526	3395	1	Cultivo Andisol	Franco Limoso	56,84	3,5	7,51E-04
				2	Cultivo Andisol	Franco Limoso	66,06	3,6	7,48E-04
				3	Cultivo Andisol	Franco Limoso	68,39	3,8	7,45E-04
				4	Cultivo Andisol	Franco Limoso	71,47	4,5	7,39E-04
3	751566	9802701	3300	1	Cultivo Entisol	Franco Arcilloso	48,25	8,5	7,40E-04
				2	Cultivo Entisol	Franco Arcilloso	66,07	8,0	7,37E-04
				3	Cultivo Entisol	Franco Limoso	49,45	8,1	6,67E-04
				4	Cultivo Entisol	Franco Limoso	68,12	9,5	7,06E-04
4	753919	9790321	3182	1	Cultivo Entisol	Arenoso Franco	71,42	15,7	7,46E-04
				2	Cultivo Entisol	Franco Arenoso	57,70	13,7	7,07E-04
				3	Cultivo Entisol	Arenoso Franco	69,05	14,5	7,57E-04
				4	Cultivo Entisol	Arenoso Franco	55,71	15,8	7,41E-04
5	750404	9780439	3371	1	Cultivo Inceptisol	Arenoso Franco	61,54	2,5	7,51E-04
				2	Cultivo Inceptisol	Arenoso Franco	60,00	2,4	7,52E-04

				3	Cultivo Inceptisol	Arenoso Franco	62,00	2,6	7,24E-04
				4	Cultivo Inceptisol	Arenoso Franco	57,23	2,4	7,29E-04
				1	cultivo molisol	Franco Limoso	59,85	9,8	7,29E-04
7	750235	9803203	3383	2	cultivo molisol	Franco Limoso	72,88	9,9	7,50E-04
				3	cultivo molisol	Franco Arenoso	61,89	6,6	7,20E-04
				4	cultivo molisol	Franco Arenoso	74,37	6,8	7,06E-04
				1	cultivo molisol	Arenoso Franco	68,01	10,2	7,55E-04
71	754270	9789815	3201	2	cultivo molisol	Arenoso Franco	56,77	12,2	7,46E-04
				3	cultivo molisol	Arenoso Franco	60,87	15,3	7,40E-04
				4	cultivo molisol	Arenoso Franco	55,63	15,3	7,26E-04
				1	Humedal Andisol	Franco Limoso	53,80	3,6	7,64E-04
8	749240	9781214	3553	2	Humedal Andisol	Franco Arenoso	53,18	3,7	7,64E-04
				3	Humedal Andisol	Franco Arenoso	52,97	4,0	7,55E-04
				4	Humedal Andisol	Franco Arenoso	45,97	3,6	7,62E-04
				1	Humedal Molisol	Franco Limoso	58,28	4,5	7,67E-04
12	749345	9783283	3596	2	Humedal Molisol	Franco Limoso	59,50	4,4	7,61E-04
				3	Humedal Molisol	Franco Limoso	67,10	4,3	7,52E-04
				4	Humedal Molisol	Franco Limoso	67,81	4,3	7,61E-04
				1	Humedal Molisol	Franco Limoso	72,50	4,8	7,60E-04
13	752815	9789006	3287	2	Humedal Molisol	Franco Limoso	70,23	4,9	7,37E-04
				3	Humedal Molisol	Franco Limoso	65,56	5,2	6,13E-04
				4	Humedal Molisol	Franco Limoso	70,07	4,4	6,83E-04
				1	humedales inceptisol	Arenoso Franco	61,41	2,9	7,95E-04
11	751096	9780775	3360	2	humedales inceptisol	Arenoso Franco	60,82	2,7	7,87E-04
				3	humedales inceptisol	Arenoso Franco	68,08	2,8	7,79E-04
				4	humedales inceptisol	Arenoso Franco	68,93	2,8	7,63E-04
14	754676	9788585	3181	1	Paramo entisol	Franco Arenoso	56,12	1,9	7,05E-04

				2	Paramo entisol	Franco Arenoso	56,47	2,1	7,04E-04
				3	Paramo entisol	Franco Limoso	67,02	1,8	7,19E-04
				4	Paramo entisol	Franco Limoso	68,69	1,9	6,66E-04
				1	Plantaciones forestales entisol	Franco Limoso	65,00	5,9	7,49E-04
9	752307	9778426	3189	2	Plantaciones forestales entisol	Franco Limoso	59,90	5,2	7,55E-04
				3	Plantaciones forestales entisol	Franco Arenoso	54,39	3,0	7,70E-04
				4	Plantaciones forestales entisol	Franco Arenoso	50,12	3,2	7,74E-04
				1	Plantaciones forestales Andisol	Arenoso Franco	58,53	1,2	7,33E-04
15	750965	9777710	3267	2	Plantaciones forestales Andisol	Arenoso Franco	59,50	1,2	7,33E-04
				3	Plantaciones forestales Andisol	Arenoso Franco	59,08	1,2	6,40E-04
				4	Plantaciones forestales Andisol	Arenoso Franco	60,69	1,1	6,69E-04
				1	Plantaciones forestales Entisol	Arenoso Franco	58,41	1,2	6,62E-04
16	750168	9776206	3312	2	Plantaciones forestales Entisol	Arenoso Franco	59,05	1,1	6,67E-04
				3	Plantaciones forestales Entisol	Arenoso Franco	58,77	1,5	6,47E-04
				4	Plantaciones forestales Entisol	Arenoso Franco	61,40	1,4	6,13E-04
				1	Plantaciones forestales Molisol	Arenoso Franco	68,76	1,8	6,50E-04
18	751201	9777116	3232	2	Plantaciones forestales Molisol	Arenoso Franco	62,98	2,8	7,31E-04
				3	Plantaciones forestales Molisol	Arenoso Franco	62,24	2,1	7,31E-04
				4	Plantaciones forestales Molisol	Arenoso Franco	64,11	2,7	7,04E-04

*Fuente:* Autores

**Tabla 17.** Parámetros hidráulicos de la Q.C.G

Punto	coordenadas		altitud	Muestra	Tipo de Suelo	Cobertura vegetal	Textura	Porosidad %	Mo %	Conductividad
	X	Y	d							d
1	75153 1	979004 6	3420	1	Cultivo	Cultivo inceptisol	Franco Arenoso	68,83	7,86	7,37E-04
				2	Cultivo	Cultivo inceptisol	Franco Arcilloso	60,02	7,53	6,71E-04

				3	Cultivo	Cultivo inceptisol	Franco Arenoso	70,46	7,45	7,27E-04
				4	Cultivo	Cultivo inceptisol	Franco Arenoso	60,60	6,20	6,85E-04
				1	Cultivo	cultivo molisol	Franco Limoso	78,36	20,58	7,36E-04
				2	Cultivo	cultivo molisol	Franco Limoso	80,52	19,84	7,16E-04
4	75391 9	979032 1	3182	3	Cultivo	cultivo molisol	Franco arcilloso	76,56	18,34	7,58E-04
				4	Cultivo	cultivo molisol	Franco arcilloso	63,31	18,52	7,52E-04
				1	Cultivo	cultivo molisol	Franco Limoso	70,03	7,35	6,76E-04
				2	Cultivo	cultivo molisol	Franco Limoso	52,71	7,14	7,29E-04
3	75156 6	980270 1	3300	3	Cultivo	cultivo molisol	Franco Limoso	68,67	7,66	6,97E-04
				4	Cultivo	cultivo molisol	Franco arcilloso	53,72	7,48	7,29E-04
				1	Humedal	Humedal molisol	Franco Arcilloso	54,93	11,02	6,77E-04
7	75427 0	978981 5	3201	2	Humedal	Humedal molisol	Franco Arcilloso	57,16	11,35	7,37E-04
				3	Humedal	Humedal molisol	Franco Limoso	50,83	9,81	6,65E-04
				4	Humedal	Humedal molisol	Franco Limoso	51,74	9,49	7,51E-04
				1	Paramo	Paramo Molisol	Franco Limoso	76,46	15,00	7,62E-04
				2	Paramo	Paramo Molisol	Franco Arcilloso	75,30	14,63	6,66E-04
8	74924 0	978121 4	3553	3	Paramo	Paramo Molisol	Franco Arcilloso	63,48	14,19	7,71E-04
				4	Paramo	Paramo Molisol	Franco Limoso	61,07	12,69	7,18E-04
9	75230 7	977842 6	3189	1	Plantaciones forestales	Plantaciones forestales	Franco Arenoso	46,91	5,16	7,38E-04

11	75109 6	978077 5	3360	2	Plantaciones forestales	Plantaciones forestales	Franco Arenoso	55,99	5,91	6,99E-04
				3	Plantaciones forestales	Plantaciones forestales	Franco Limoso	54,66	6,96	7,16E-04
				4	Plantaciones forestales	Plantaciones forestales	Franco Limoso	66,53	7,05	7,37E-04
				1	Plantaciones forestales	plantaciones forestales	Franco Limoso	75,65	14,23	4,02E-04
				2	Plantaciones forestales	plantaciones forestales	Franco Arcilloso	73,59	14,48	4,08E-04
				3	Plantaciones forestales	plantaciones forestales	Franco Arcilloso	59,07	13,55	4,20E-04
				4	Plantaciones forestales	plantaciones forestales	Franco Arcilloso	63,05	13,38	4,56E-04

*Fuente:* Autores

**Tabla 18** Caudal Medio Calculado M.R.G

**Promedio de Caudal m3/s**

Etiquetas de fila	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total, general
1981	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005	0,0020	0,0110	0,0120	0,0351	0,0291	0,0075
1982	0,0314	0,0274	0,0346	0,1028	0,1058	0,0232	0,0239	0,0189	0,0271	0,1038	0,1229	0,1504	0,0646
1983	0,0646	0,1809	0,2203	0,3032	0,1763	0,0372	0,0547	0,0406	0,1432	0,1485	0,0506	0,3219	0,1450
1984	0,0814	0,1583	0,1399	0,2420	0,1808	0,1396	0,0509	0,0354	0,2325	0,1438	0,1204	0,0369	0,1294
1985	0,0510	0,0191	0,0567	0,1972	0,3019	0,0320	0,0458	0,0703	0,0910	0,1471	0,0739	0,1215	0,1013
1986	0,0280	0,3619	0,1078	0,1983	0,0810	0,0245	0,0218	0,0457	0,1275	0,1257	0,0986	0,2756	0,1229
1987	0,0320	0,1641	0,2052	0,2565	0,1385	0,0168	0,0568	0,0200	0,0507	0,1495	0,1280	0,0652	0,1064
1988	0,0763	0,2155	0,1193	0,3467	0,1951	0,1229	0,1195	0,0879	0,0995	0,3114	0,2291	0,0995	0,1680

1989	0,1211	0,1994	0,3320	0,1076	0,0617	0,1071	0,0454	0,0164	0,1226	0,1359	0,0549	0,0373	0,1112
1990	0,0747	0,2414	0,0724	0,1879	0,0901	0,0936	0,0380	0,0245	0,0687	0,3242	0,0695	0,0963	0,1142
1991	0,1209	0,1139	0,2135	0,1004	0,1780	0,0651	0,0728	0,0514	0,0927	0,1933	0,1848	0,0897	0,1232
1992	0,0673	0,2148	0,1769	0,1715	0,0841	0,0559	0,0282	0,0176	0,0930	0,1031	0,0962	0,0526	0,0960
1993	0,0171	0,3569	0,4582	0,2303	0,1363	0,0476	0,0624	0,2300	0,0925	0,0792	0,1400	0,0436	0,1565
1994	0,0441	0,0820	0,1729	0,1177	0,1976	0,0939	0,2165	0,0911	0,0251	0,0323	0,2490	0,2197	0,1289
1995	0,0646	0,0540	0,1470	0,1858	0,1357	0,0963	0,2094	0,0273	0,0165	0,0989	0,2725	0,1484	0,1217
1996	0,0952	0,1257	0,1640	0,1538	0,0866	0,0273	0,1596	0,1483	0,1548	0,1284	0,1310	0,1355	0,1260
1997	0,0837	0,0476	0,1262	0,0940	0,0225	0,0129	0,0110	0,0060	0,0007	0,0751	0,0078	0,0258	0,0429
1998	0,0617	0,1036	0,0725	0,4729	0,3221	0,1469	0,1090	0,0713	0,0055	0,2728	0,0609	0,0093	0,1424
1999	0,1679	0,1779	0,4838	0,5868	0,7349	0,2322	0,0347	0,1430	0,2076	0,1232	0,2210	0,1472	0,2720
2000	0,1977	0,1597	0,1952	0,2117	0,3291	0,1084	0,1268	0,1288	0,1287	0,1460	0,1280	0,1294	0,1661
2001	0,1331	0,1488	0,2471	0,1645	0,1560	0,1148	0,0310	0,0187	0,1684	0,0154	0,0895	0,1012	0,1152
2002	0,2364	0,1549	0,0525	0,1697	0,1336	0,1127	0,0226	0,0454	0,0581	0,1757	0,0668	0,0870	0,1093
2003	0,0415	0,0621	0,0933	0,1663	0,0352	0,1605	0,1284	0,1299	0,1311	0,1308	0,1312	0,1337	0,1120
2004	0,1181	0,1337	0,1613	0,1423	0,1932	0,0173	0,0189	0,0166	0,0394	0,1358	0,1378	0,1297	0,1037
2005	0,1209	0,1488	0,1485	0,1249	0,1227	0,1212	0,1204	0,1304	0,1207	0,1270	0,1286	0,1247	0,1281
2006	0,0944	0,2173	0,1556	0,1700	0,0317	0,1263	0,0187	0,0469	0,0361	0,0892	0,2041	0,1386	0,1096
2007	0,0977	0,0547	0,2068	0,2402	0,2105	0,1970	0,0248	0,1258	0,0194	0,2112	0,1559	0,0937	0,1370
2008	0,1304	0,2060	0,2302	0,2317	0,4834	0,1205	0,0373	0,0801	0,0814	0,2431	0,2467	0,1848	0,1898
2009	0,1642	0,1744	0,1291	0,0909	0,0742	0,1213	0,0544	0,0236	0,0046	0,2252	0,0306	0,3063	0,1167
2010	0,1299	0,1380	0,1483	0,1612	0,1589	0,1606	0,1438	0,1452	0,0684	0,1043	0,2403	0,1680	0,1472
2011	0,0976	0,2290	0,0426	0,2436	0,1475	0,0455	0,0866	0,0549	0,0845	0,1262	0,2049	0,1730	0,1270
2012	0,1305	0,1825	0,0831	0,1582	0,0335	0,0844	0,0219	0,0682	0,0377	0,2597	0,2065	0,0306	0,1075
2013	0,1192	0,1719	0,0753	0,1431	0,1235	0,0498	0,0711	0,0242	0,0274	0,1591	0,0664	0,0244	0,0874
2014	0,1703	0,0481	0,1984	0,1290	0,1667	0,1671	0,0221	0,1587	0,1379	0,1469	0,1235	0,1021	0,1315
2015	0,3246	0,3571	0,4879	0,5138	0,3919	0,3432	0,2656	0,1810	0,1311	0,2826	0,3449	0,2914	0,3259

2016	0,2230	0,3258	0,5226	0,5546	0,3382	0,3950	0,1985	0,1662	0,2846	0,2522	0,2482	0,2282	0,3107
2017	0,5036	0,4404	0,5274	0,5226	0,4728	0,3769	0,2079	0,2530	0,2166	0,2173	0,3564	0,3394	0,3689
2018	0,3617	0,6478	0,3279	0,4244	0,4082	0,4424	0,2457	0,2421	0,1114	0,3025	0,3925	0,2828	0,3467
2019	0,3521	0,4498	0,3776	0,4605	0,4004	0,3555	0,2155	0,1986	0,0795	0,2697	0,2959	0,2949	0,3115
2020	0,2976	0,2800	0,1889	0,4440	0,3956	0,3558	0,2220	0,0795	0,1058	0,1160	0,1318	0,2935	0,2422
2021	0,7688	0,3851	0,4375	0,4315	0,3965	0,5010	0,1495	0,0674	0,1060	0,3466	0,2876	0,4180	0,3580
<b>Total, general</b>	<b>0,1487</b>	<b>0,1942</b>	<b>0,2034</b>	<b>0,2428</b>	<b>0,2057</b>	<b>0,1427</b>	<b>0,0925</b>	<b>0,0862</b>	<b>0,0937</b>	<b>0,1656</b>	<b>0,1601</b>	<b>0,1508</b>	<b>0,1569</b>

*Tabla 19 Caudal Medio Calculado Q.C.G*

<b>Promedio de Caudal</b>													
<b>Etiquetas de fila</b>	<b>ene</b>	<b>feb</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>may</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>sep</b>	<b>oct</b>	<b>nov</b>	<b>dic</b>	<b>Total, general</b>
1981	0,0001	0,1350	0,9664	0,5052	0,5993	0,1503	0,3628	0,2523	0,6425	0,4393	0,9122	0,5869	0,4644
1982	0,5489	0,4336	0,5066	1,3235	1,1893	0,2450	0,2472	0,1928	0,2708	0,9962	1,1100	1,2825	0,6972
1983	0,5303	1,4376	1,6703	2,1904	1,2296	0,2557	0,3743	0,2763	0,9646	0,9859	0,3328	2,0860	1,0255
1984	0,5193	1,0023	0,8776	1,5024	1,1107	0,8511	0,3092	0,2146	1,4013	0,8604	0,7170	0,2190	0,7941
1985	0,3026	0,1133	0,3353	1,1626	1,7671	0,1865	0,2665	0,4083	0,5278	0,8509	0,4263	0,6993	0,5912
1986	0,1612	2,0728	0,6145	1,1278	0,4598	0,1388	0,1237	0,2589	0,7210	0,7095	0,5556	1,5488	0,6973
1987	0,1795	0,9192	1,1464	1,4288	0,7700	0,0934	0,3154	0,1108	0,2814	0,8284	0,7085	0,3602	0,5921
1988	0,4215	1,1888	0,6569	1,9057	1,0704	0,6733	0,6541	0,4808	0,5439	1,6991	1,2481	0,5415	0,9204
1989	0,6584	1,0833	1,8005	0,5828	0,3339	0,5796	0,2455	0,0887	0,6629	0,7342	0,2967	0,2015	0,6026
1990	0,4030	1,3023	0,3904	1,0125	0,4849	0,5038	0,2045	0,1316	0,3696	1,7427	0,3731	0,5168	0,6146
1991	0,6491	0,6112	1,1445	0,5383	0,9534	0,3485	0,3893	0,2750	0,4958	1,0334	0,9874	0,4794	0,6599
1992	0,3597	1,1467	0,9440	0,9144	0,4484	0,2979	0,1505	0,0938	0,4954	0,5492	0,5122	0,2803	0,5122
1993	0,0911	1,8995	2,4365	1,2236	0,7239	0,2525	0,3311	1,2209	0,4905	0,4205	0,7425	0,2312	0,8317
1994	0,2336	0,4345	0,9162	0,6237	1,0467	0,4975	1,1463	0,4823	0,1328	0,1707	1,3176	1,1616	0,6827
1995	0,3418	0,2856	0,7769	0,9820	0,7171	0,5084	1,1057	0,1442	0,0871	0,5222	1,4385	0,7830	0,6427



1996	0,5025	0,6629	0,8652	0,8108	0,4566	0,1440	0,8412	0,7819	0,8159	0,6765	0,6900	0,7137	0,6640
1997	0,4405	0,2506	0,6645	0,4948	0,1184	0,0679	0,0577	0,0318	0,0038	0,3951	0,0409	0,1357	0,2257
1998	0,3248	0,5451	0,3813	2,4881	1,6939	0,7725	0,5733	0,3750	0,0291	1,4335	0,3201	0,0488	0,7488
1999	0,8820	0,9346	2,5409	3,0807	3,8562	1,2181	0,1820	0,7500	1,0885	0,6458	1,1586	0,7714	1,4275
2000	1,0363	0,8371	1,0228	1,1090	1,7237	0,5680	0,6641	0,6744	0,6739	0,7642	0,6700	0,6774	0,8698
2001	0,6969	0,7788	1,2934	0,8609	0,8162	0,6005	0,1618	0,0978	0,8811	0,0806	0,4684	0,5295	0,6030
2002	1,2367	0,8103	0,2746	0,8875	0,6989	0,5893	0,1183	0,2372	0,3038	0,9186	0,3493	0,4545	0,5717
2003	0,2168	0,3248	0,4876	0,8692	0,1838	0,8391	0,6708	0,6788	0,6850	0,6834	0,6855	0,6987	0,5854
2004	0,6172	0,6988	0,8427	0,7431	1,0094	0,0901	0,0984	0,0867	0,2058	0,7090	0,7200	0,6776	0,5418
2005	0,6315	0,7770	0,7755	0,6524	0,6405	0,6329	0,6286	0,6809	0,6301	0,6629	0,6714	0,6513	0,6690
2006	0,4925	1,1339	0,8119	0,8873	0,1657	0,6590	0,0974	0,2447	0,1882	0,4655	1,0650	0,7232	0,5719
2007	0,5096	0,2854	1,0791	1,2528	1,0983	1,0278	0,1296	0,6563	0,1012	1,1016	0,8132	0,4888	0,7145
2008	0,6802	1,0744	1,2003	1,2082	2,5202	0,6281	0,1946	0,4176	0,4244	1,2670	1,2860	0,9634	0,9893
2009	0,8557	0,9090	0,6731	0,4739	0,3868	0,6319	0,2833	0,1228	0,0241	1,1735	0,1596	1,5963	0,6081
2010	0,6769	0,7189	0,7729	0,8400	0,8275	0,8367	0,7494	0,7566	0,3561	0,5431	1,2516	0,8749	0,7669
2011	0,5082	1,1929	0,2219	1,2687	0,7679	0,2372	0,4512	0,2859	0,4401	0,6573	1,0671	0,9010	0,6613
2012	0,6794	0,9504	0,4327	0,8239	0,1744	0,4395	0,1142	0,3549	0,1964	1,3519	1,0750	0,1591	0,5598
2013	0,6206	0,8951	0,3921	0,7447	0,6427	0,2589	0,3702	0,1258	0,1427	0,8281	0,3456	0,1271	0,4551
2014	0,8866	0,2506	1,0328	0,6715	0,8678	0,8696	0,1149	0,8258	0,7177	0,7643	0,6429	0,5313	0,6844
2015	1,6888	1,8579	2,5389	2,6734	2,0392	1,7856	1,3815	0,9418	0,6821	1,4697	1,7943	1,5158	1,6957
2016	1,1600	1,6945	2,7179	2,8841	1,7591	2,0544	1,0324	0,8641	1,4801	1,3115	1,2906	1,1865	1,6158
2017	2,6184	2,2896	2,7419	2,7167	2,4576	1,9591	1,0809	1,3153	1,1259	1,1293	1,8524	1,7639	1,9180
2018	1,8801	3,3667	1,7042	2,2055	2,1212	2,2987	1,2767	1,2578	0,5788	1,5721	2,0395	1,4696	1,8019
2019	1,8297	2,3373	1,9617	2,3928	2,0801	1,8468	1,1195	1,0318	0,4129	1,4013	1,5374	1,5323	1,6186
2020	1,5461	1,4546	0,9812	2,3061	2,0552	1,8479	1,1528	0,4131	0,5494	0,6027	0,6846	1,5244	1,2578
2021	3,9928	1,9998	2,2721	2,2408	2,0589	2,6016	0,7765	0,3500	0,5505	1,8002	1,4934	2,1706	1,8593
<b>Total, general</b>	<b>0,795</b>	<b>1,051</b>	<b>1,119</b>	<b>1,332</b>	<b>1,125</b>	<b>0,758</b>	<b>0,501</b>	<b>0,463</b>	<b>0,521</b>	<b>0,901</b>	<b>0,874</b>	<b>0,826</b>	<b>0,854</b>

Anexo 7 fotográfico





