



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**Y APLICADAS**

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL  
SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA  
DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI.**

PROYECTO DE INVESTIGACION PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO HIDRAULICO.

**AUTORES:**

Antonio David Galarza Flores.

Jeyson Oscar Grefa Grefa.

**TUTOR:**

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza. Msc.

LATACUNGA – OCTUBRE 2024-MARZO 2025.

Latacunga, 21 febrero del 2025

### DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Antonio David Galarza Flores declaro ser autor del proyecto de titulación "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI.", siendo el Ing. Andy Giler MSc tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



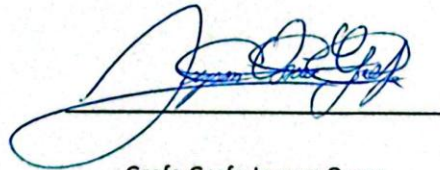
Galarza Flores Antonio David.  
C.C.: 0990126157

Latacunga, 21 febrero del 2025

### DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Jeyson Oscar Grefa Grefa declaro ser autor del proyecto de titulación "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI.", siendo el Ing. Andy Giler MSc tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Grefa Grefa Jeyson Oscar  
C.C.: 150102182-6

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ANTONIO DAVID GALARZA FLORES** identificado con cédula de ciudadanía No.092903477-5 de estado civil soltero , a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tígselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI.**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Finalización de la carrera: octubre 2024 – Marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 19 de febrero

Tutor: Ing. Andy Miguel Giler Ormaza M.Sc

Tema: “**EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI.**”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

G) La publicación del trabajo de grado.

- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que LA CESIONARIA no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido EL CEDENTE declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de LA CESIONARIA el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo EL CEDENTE podrá utilizarla.

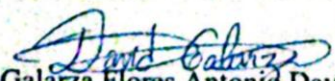
**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de EL CEDENTE en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 19 días del mes de febrero del 2025

  
Galarza Flores Antonio David  
LA CEDENTE

Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.  
LA CESIONARIA

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte JEYSON OSCAR GREFA GREFA identificado con cédula de ciudadanía No.150102182-6 de estado civil soltero , a quien en lo sucesivo se denominará EL CEDENTE; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará LA CESIONARIA en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Octubre 2024 – Marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 19 de febrero 2025

Tutor: Ing. Andy Miguel Giler Ormaza M.Sc

**Tema:** “EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, EL CEDENTE autoriza a LA CESIONARIA a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato EL CEDENTE, transfiere definitivamente a LA CESIONARIA y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.

g) La publicación del trabajo de grado.

- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que LA CESIONARIA no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido EL CEDENTE declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de LA CESIONARIA el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo EL CEDENTE podrá utilizarla.

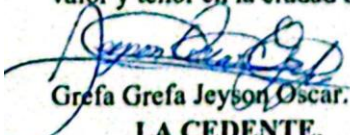
**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de EL CEDENTE en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 19 días del mes de febrero del 2025

  
Grefa Grefa Jeyson Oscar.  
**LA CEDENTE.**

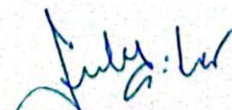
Ing. Idalia Pacheco Tigselema Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

Latacunga, Febrero 21 del 2025

**AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**"EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI."**, propuesto por estudiantes **GALARZA FLORES ANTONIO DAVID, Y GREFA GREFA JEYSON OSCAR** de la Carrera de **INGENIERIA HIDRAULICA**, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.

  
Ing. Andy Giler  
CC:131282032-5  
TUTOR

Latacunga - Ecuador

Az. Simón Rodríguez s/n Barrio El Ejido / San Felipe. Tel: (03) 2252346 - 2252307 - 2252205


Latacunga, 21 febrero del 2025


### AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

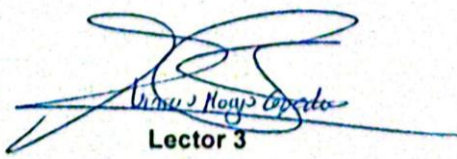
Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título "EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI", propuesto por el estudiante ANTONIO DAVID GALARZA FLORES Y JEYSON OSCAR GREFA GREFA de la Carrera de INGENIERIA HIDRAULICA, me permito indicar que el o la estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lector, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la Modalidad de proyecto de Investigación virtud de lo cual el o la postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,

  
**Lector 1 (presidente)**  
Ing. Xiomara Alejandra  
Zambrano Navarrete MSc  
CC: 131305845-3

  
**Lector 2**  
Ing. Patricio Germanico  
Chávez Zapata MSc  
CC: 050130566-8

  
**Lector 3**  
Ing. Yenson Vinicio Mogro  
Cepeda MSc  
CC: 050165751-4

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la elaboración de esta tesis.*

*En primer lugar, agradezco a toda mi familia especialmente mis padres, Eufemia Flores y Antonio Galarza, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser mi fuente de inspiración en cada paso de este camino. Sin su confianza y motivación, no habría sido posible alcanzar este logro.*

*A Gonzalo Flores, por estar siempre ahí en los momentos más cruciales. Tu presencia y ánimo han sido esenciales para seguir adelante.*

*Agradezco también al Ing. Andy Giler, por su invaluable guía, sus enseñanzas y su dedicación durante el desarrollo de este trabajo. Su conocimiento y apoyo han sido fundamentales para llevar a cabo esta investigación.*

*A todos ellos, les debo mi más sincera gratitud. Este logro es tanto mío como de ustedes.*

**Antonio Galarza**

## **AGRADECIMIENTO**

*Este trabajo se lo dedico a Dios en primer lugar, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. A mi finada hermana, la doctora Karina Clara, quien desde el más allá ha sido mi ayuda idónea y mi amiga incondicional. Su amor y apoyo continúan siendo una fuente de inspiración en mi vida.*

*A mis padres, Berna Juan y Zoila Clarita, quienes siempre han confiado en mí, guiándome con su sabiduría, corrigiéndome cuando fue necesario, y amándome incondicionalmente. A mis hermanos por su cariño, apoyo incondicional y ejemplo durante todo este proceso.*

*A mis hermanas, Luzbeñia Sofía y Carla Jenny, por su constante apoyo y amor fraternal. A toda mi familia, porque con sus oraciones y palabras de aliento han hecho de mí una mejor persona, acompañándome en todos mis sueños y metas, aun en la distancia. Cada uno de ustedes ha sido una pieza fundamental en la culminación de este proyecto, y por ello, les estoy eternamente agradecido.*

**Jeyson Grefa**

## **DEDICATORIA**

*Dedico esta tesis a mis padres, mis tios Evelin flores y David Carrera y familia cercana, quienes con su amor y apoyo incondicional han sido mi mayor fuente de inspiración y fortaleza.*

*A mi novia, Wendy Jiménez, por ser mi compañera en cada momento, brindándome siempre su amor, comprensión y ánimo. Tu presencia ha sido fundamental para la culminación de este trabajo.*

*A mis amigos Joshué Tuquerres, Jeyson Grefa, Jonathan Tipantasi, Jonathan Cayambe, Christopher Robayo, Fernando Pruna, Over Grefa, y Cristhian Yupanqui. A lo largo de los años, hemos compartido incontables experiencias que han fortalecido nuestra amistad. Ustedes han sido un pilar fundamental, siempre dispuestos a brindar su apoyo y motivación. Este logro es también un reflejo de nuestra amistad y de los valores que compartimos.*

*A todos ustedes, les dedico este trabajo con el más profundo agradecimiento. Su amor, apoyo y amistad han sido esenciales para llegar a este punto, y por ello, siempre tendrán un lugar especial en este logro.*

**Antonio Galarza**

## **DEDICATORIA**

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), por brindarme la oportunidad de culminar una etapa más de mis estudios en sus instalaciones, y por continuar ofreciendo oportunidades a más personas con aspiraciones académicas. A mis tutores y compañeros, cuyo conocimiento y apoyo hicieron más fácil el camino hacia la meta, contribuyendo al éxito de este trabajo.*

*A mi amada novia, quien siempre ha estado a mi lado en los momentos más difíciles de todo este proceso, brindándome su apoyo incondicional y su amor constante.*

*A mis amigos, que siempre han estado de una u otra manera prestándome su amistad incondicional, en especial a David Galarza, mi compañero y amigo de tesis, y a Joshué Tuquerres, Jonathan Tipantasi, Jonathan Cayambe, Christopher Robayo, Fernando Pruna, Over Grefa, Cristhian Yupanqui, Jhoana Loachamin, y Mayerli Bonilla*

**Jeyson Grefa**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS**

**TEMA: “EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL SUELO SOBRE EL MODELO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO QUINDIGUA, PROVINCIA DE COTOPAXI”**

**Autores:**

**Galarza Flores Antonio David**  
**Grefa Grefa Jeyson Oscar**

**RESUMEN**

En este trabajo de investigación cuantitativa, se ejecutó un modelo hidrológico en la microcuenca no aforada del río Quindigua, provincia de Cotopaxi, ubicado dentro del Choco Andino con un área aproximada de  $300,57 \text{ km}^2$  y un gradiente altitudinal que está entre los 3965,89 y 712 m.s.n.m. Se realizó la calibración y validación en un periodo de 3 años comprendidos entre Enero-2017 a diciembre-2019. Como método principal fue usado el módulo Soil Moisture Accounting (SMA) (Contenido de la Humedad del Suelo). Dentro del software de libre acceso HEC-HMS, para determinar el porcentaje de infiltración, se consideraron datos históricos de lluvia extraídos de la plataforma Giovanni del satélite TRMM 3B43 V7. Dos escenarios uno con datos recolectados y otro con datos del MAGAP. Los resultados del modelo hidrológico indican que esta zona presenta gran capacidad de percolación. La simulación de la subcuenca de desde el 1 de enero de 2017 hasta el 31 de diciembre de 2019 muestra variabilidad significativa en la precipitación y el caudal, con eventos intensos a principios de 2017 y finales de 2018/principios de 2019. En la primera simulación, el caudal pico fue de  $29.7 \text{ m}^3/\text{s}$ , mientras que en la segunda alcanzó  $126.1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Esto indica que la modelación con datos del MAGAP modela una cuenca con menor capacidad para retener agua y una mayor escorrentía superficial, sugiriendo una limitada capacidad subterránea para almacenar agua. El uso de modelos hidrológicos es una herramienta de apoyo que puede utilizarse para una mejor gestión y manejo de los recursos hídricos, ya que permiten el predimensionamiento de obras hidráulicas, conocer el comportamiento de una cuenca, o predecir un evento natural y sus riesgos.

**Palabras clave:** HEC-HMS, Modelo Hidrológico, Precipitación, Escorrentía, Quindigua.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS**

**TITLE: "EVALUATION OF THE IMPACT OF SOIL HYDRAULIC PARAMETERS ON THE HYDROLOGICAL MODEL OF THE QUINDIGUA RIVER BASIN, COTOPAXI PROVINCE."**

Authors:

**Galarza Flores Antonio David**  
**Grefa Grefa Jeyson Oscar**

**ABSTRACT**

In this quantitative research work, a hydrological model was run in the ungauged micro-watershed of the Quindigua River, Cotopaxi province, located within the Choco Andino region, with an approximate area of 300.57 km<sup>2</sup> and an altitudinal gradient that is between 3965.89 and 712 meters above sea level. The calibration and validation was performed over a period of 3 years from January 2017 to December 2019. The Soil Moisture Accounting (SMA) module was used as the main method within the freely available software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) historical rainfall data extracted from the Giovanni platform of the TRMM 3B43 V7 satellite were considered to determine the infiltration percentage. Two scenarios, one with collected data and the other with MAGAP data. The results of the hydrological model indicate that this area has a high percolation capacity. The sub-basin simulation from January 1, 2017, to December 31, 2019, shows significant variability in precipitation and flow, with intense events in early 2017 and late 2018/early 2019. In the first simulation, the peak flow was 29.7 m<sup>3</sup>/s, while in the second, it reached 126.1 m<sup>3</sup>/s. This indicates that modeling with MAGAP data models a watershed with lower water holding capacity and higher surface runoff, suggesting limited groundwater storage capacity. The use of hydrological models is a support tool that can be used for a better management of water resources, since they allow the pre-sizing of hydraulic works, understanding the behavior of a basin, or predicting a natural event and its risks.

**Keywords:** HEC-HMS, Hydrological Model, Precipitation, Runoff, Quindigua.

## INDICE

<b>1. INFORMACIÓN GENERAL.....</b>	<b>23</b>
1.2. Título del proyecto: .....	23
1.3. Modalidad de Titulación: .....	23
1.4. Área de Conocimiento: .....	23
1.5. Línea de investigación: .....	23
1.6. Sub líneas de investigación: .....	23
1.7. Lugar de ejecución .....	23
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>24</b>
2.1. Situación Del Problema .....	25
2.2. Formulación Del Problema.....	26
2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	26
2.3.1. Objeto de Investigación. ....	26
2.3.2. Campo de Acción.....	26
2.4. BENEFICIARIOS. ....	26
2.4.1. Beneficiarios directos.....	26
2.4.2. Beneficiarios indirectos .....	26
2.5. JUSTIFICACIÓN:.....	27
2.6. HIPOTESIS. ....	27
2.7. OBJETIVOS.....	27
2.7.2. General.....	27
2.7.3. Especifico.....	27
2.7.4. Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados .....	28
<b>3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....</b>	<b>30</b>
3.1. ANTECEDENTES .....	30
3.2. MARCO REFERENCIAL. ....	33
3.2.1. Definición e importancia de bosques nublados .....	33

3.2.2. El ciclo hidrológico.....	34
3.2.3. Procesos del ciclo hidrológico. ....	35
3.2.4. Cuenca Hidrográfica .....	35
3.2.5. Clasificaciones Las cuencas hidrográficas.....	36
3.2.6. Importancia de las Cuencas Hidrográficas .....	36
3.2.7. Modelo hidrológico.....	36
3.2.8. Tipo y uso del suelo en el ciclo hidrológico .....	37
3.2.9. Tipos de modelos .....	37
3.2.10. Aplicaciones en diferentes Áreas. ....	38
3.2.11. Tipos de Software Hidrológico.....	39
3.2.12. Software de modelación HMS.....	40
3.2.13. Componentes del modelo Hec-Hms .....	41
3.2.14. Métodos del HEC-HMS para el modelamiento hidrológico. ....	41
3.2.15. Parámetros Hidráulicos.....	43
3.2.16. Potencial del Agua .....	43
3.2.17. Retención del Agua.....	43
3.2.18. Conductividad Hidráulica.....	44
3.2.19. Contenido de Agua .....	45
<b>4. METODO Y PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>45</b>
4.2. Metodología.....	45
4.3. Descripción del proyecto.....	45
4.3. Variables:.....	46
4.3.1. Variables Independientes: .....	46
4.3.2. Variables Dependientes .....	47
4.4. Diagrama de flujo .....	47
4.5. Área de Estudio: .....	49
4.6. Caracterización Morfológica .....	49

4.6.1. Área de la micro cuenca.....	49
4.6.2. Perímetro de la microcuenca.....	50
4.6.3. Cota máxima y mínima de la microcuenca.....	50
4.6.4. Cota máxima y mínima del Cauce Principal.....	50
4.6.5. Longitud del Cauce Principal.....	50
4.6.6. Pendiente de la microcuenca.....	50
4.6.7. Longitud axial (La) .....	50
4.6.8 Ancho promedio (Ap).....	51
4.6.9. Número de orden (No).....	51
4.6.10. Tiempo De Concentracion (TC) .....	51
4.6.11. Tiempo De Retraso .....	51
4.7. Información Meteorológica .....	52
4.8. Obtención de información insitu .....	52
4.8.1. Flujograma para el procedimiento de las calicatas. ....	52
4.8.2. Flujograma para deterterminar la textura del suelo en el campo. ....	53
4.9. Datos de Pedotransferencia. ....	54
4.9.1. Que es Pedotransferencia.....	54
4.9.2. Datos de Pedología reportadas por las instituciones públicas. ....	54
4.9.3. Funciones de Pedotransferencia (PTF) estudiadas para estimar el contenido de humedad del suelo y la conductividad hidráulica saturada.....	55
4.10. Cálculo de la evapotranspiración de referencia.....	59
4.11. Descripción del Modelo.....	60
4.11.1 Parámetros de entrada para el modelo .....	61
<b>5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
5.1. Resultados.....	63
5.1.1 Área y caracterización morfológica de la microcuenca .....	64
5.1.1. Área de la micro cuenca.....	64
5.1.2. Perímetro de la microcuenca.....	64

5.1.3 Cota máxima y mínima de la microcuenca.....	65
5.1.4. Cota máxima y mínima del Cauce Principal.....	65
5.1.5. Longitud del Cauce Principal.....	65
5.1.6. Pendiente de la microcuenca.....	65
5.1.7. Longitud axial (La) .....	65
5.1.8. Número de orden (No).....	65
5.1.9. El Tiempo De Concentración.....	65
5.1.10.Tiempo De Retraso .....	65
5.2. Estudios de intensidades.....	66
5.3 Ubicación de Calicatas .....	66
5.3.1. Selección de la zona para las calicatas.....	67
5.3.2. Coordenadas de las Calicatas.....	68
5.4. Comparación de textura.....	68
5.4.1. Mapa De Textura Del Suelo .....	70
5.4.2. Espesor de textura de la profundidad del suelo de los 20 cm .....	71
5.4.3. Espesor de textura del subsuelo de 20 a 50cm.....	72
5.5. Resultado de ecuaciones de pedotransferencia.....	74
5.5.1. Textura del suelo reportado por laboratorio e Institución pública. ....	79
5.6. Modelamiento en HEC-HMS .....	81
5.6.1. Cálculos Previos.....	81
5.6.2. Resultados 2017-2019 Hms. ....	86
5.6.3. Resultado 2010-2013 Hms.....	90
5.7. Discusión .....	93
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN.....</b>	<b>96</b>
6.1. Conclusiones .....	96
6.2. Recomendaciones .....	97
<b>7. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>98</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo Hidrológico .....	34
Figura 2 Modelos De Tipo (A) Agregado, (B) Semidistribuido Y (C) Distribuido.....	38
Figura 3 Esquema Metodológico .....	48
Figura 4 Área De La Microcuenca Del Rio Quindigua .....	49
Figura 5 Área De Precipitación (Trmm) .....	52
Figura 6 Flujograma De Elaboración De Calicatas.....	53
Figura 7 Flujograma Para Determinar La Textura Usda-Nrcs. [47] .....	54
Figura 8 Parámetros Del Método Contenido De La Humedad Del Suelo En Hec-Hms[55].....	60
Figura 9 Morfología De La Microcuenca .....	64
Figura 10 Intensidades .....	66
Figura 11 Ubicación De Calicatas.....	67
Figura 12 Textura De Toda La Microcuenca .....	71
Figura 13 Mapa De Textura 20cm De Profundidad.....	72
Figura 14 Mapa De Textura Y Espesor De 20 A 50cm .....	73
Figura 15mapa Geopedológicos.....	74
Figura 16 Método Sma.....	82
Figura 17 Parámetros Asignados Del Método De Pérdidas Sma.....	83
Figura 18 Parámetros Canopy .....	83
Figura 19 Método - Surface. ....	84
Figura 20 Parametro Baseflow .....	84
Figura 21 Modelotransform .....	85
Figura 22 Fecha De Los 3 Años De Precipitación.....	85
Figura 23 Monthly Average .....	86
Figura 24 Simulacion Con Datos De Campo .....	87
Figura 25 Resultdos De La Simulacion.....	87
Figura 27 Parametros Con Datos Del Magp .....	88
Figura 26 Segunda Simulacion Magp .....	88
Figura 28 Segunda Simulacion Magp .....	89
Figura 29 Resultado De La Primera Simulcion Año 2010-2013 .....	90
Figura 30 Simulacion Del Magap 2010-2013 .....	91
Figura 31 Resultados De Datos De Campo 2010-2013 .....	92
Figura 32 Simulacion Datos De Campo 2010-2013 .....	92

## INDICE DE ECUACIONES

ecuación 1 Pendiente.....	50
Ecuación 2 Giandiotti.....	51
Ecuación 3 Tiempo De Retraso.....	51
Ecuación 4 Cosby.....	55
Ecuación 5 Puckett.....	55
Ecuación 6 Jabro.....	56
Ecuación 7 Saxton.....	56
Ecuación 8 Lal.....	56
Ecuación 9 Pidgeon.....	56
Ecuación 10 Dijkerman.....	57
Ecuación 11 Aina And Periaswamy.....	57
Ecuación 12 Rawls.....	58
Ecuación 13 Cosby Et Al.....	58
Ecuación 14 Saxton Et Al.....	58
Ecuación 15 Jabro Et Al.....	58
Ecuación 16 Evotranspiracion.....	59

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Campos De La Ciencia Y Tecnología Unesco.....	23
Tabla 2 Sistema De Tareas.....	30
Tabla 3 Parámetros Del Sma.[55] .....	62
Tabla 4 Coordenadas De Las Calicatas.....	68
Tabla 5 Resultado De Calicata 1 .....	75
Tabla 6 Resultado De Calicata 2 .....	77
Tabla 7 Funciones De Pedotransferencia Con Datos De Salache Y Puce .....	78
Tabla 8 Funciones De Pedotransferencia Con Datos Del Magap .....	79
Tabla 9 Clasificación Sucs Laboratorio Y Sigtierra.....	80

## 1. INFORMACIÓN GENERAL.

### 1.2. Título del proyecto:

“Evaluación del impacto de los parámetros hidráulicos del suelo sobre el modelo hidrológico de la microcuenca del río Quindigua, Provincia de Cotopaxi.”

### 1.3. Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas.

Proyectos de Investigación.

**Carrera:** Ingeniería Hidráulica.

### Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Galarza Flores Antonio David.

Grefa Grefa Jeyson Oscar.

Tutor: Ing. Andy Miguel Giler Ormaza Msc.

### 1.4. Área de Conocimiento:

Tabla 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO.

33. Ciencias Tecnológicas.	3305. Tecnología de construcción	3305.06 Ingeniería Civil.
		2511 ciencias del suelo (edafología)
		3305.15 Ingeniería Hidráulica.
		2508 Hidrología

### 1.5. Línea de investigación:

Meteorología, Hidrología, Mecánica de fluidos, sistemas y obras hidráulicas.

### 1.6. Sub líneas de investigación:

Gestión y manejo sostenible o sustentable del recurso hídrico.

### 1.7. Lugar de ejecución

Provincia: Cotopaxi – Zona 3.

Cantón: La Maná.

## 2. INTRODUCCIÓN.

El entendimiento y el estudio de la dinámica de los procesos de lluvia-escorrentía son fundamentales para la conservación del uso del suelo y los impactos del cambio climático. Los páramos y bosques, ubicados en su gran parte en América Central y América del Sur en los países de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú entre 11°N-8°S, proporcionan una gran variedad de servicios de ecosistema. Los más importantes son: suministrar una gran cantidad de agua limpia en todo el año, regular el caudal y almacenar carbono, y como un soporte a la biodiversidad endémica.[1]

En el centro de Ecuador, en la provincia de Cotopaxi, se encuentra la cuenca del río Quindigua, donde es un área que pertenece al Chocó Andino este representa uno de los ecosistemas más biodiversos que posee la parroquia Guasaganda, debido a que sus bosques nublados favorecen la vida de especies amenazadas, así como el desarrollo de fuentes hidrológicas para el abastecimiento de agua en la cabecera Parroquial y sus comunidades aledañas. Sin embargo, debido a factores antrópicos, estos entornos corren el peligro de desaparecer.[2]

La pérdida de los bosques es uno de los grandes problemas en el Chocó Andino. En algunas zonas de la microcuenca del río Quindigua, la cobertura vegetal como pastos, banano, maíz ha venido ganando terreno. Los cultivos de ciclo corto son menos frecuentes, muchos de ellos son para el autoconsumo con un pequeño margen para el mercado local.[3] Esta pérdida de bosque y reemplazo de monocultivo tiene efectos en la calidad de agua de los que drenan en esta microcuenca por ende ingresan contaminantes, como pesticidas y heces fecales del ganado.[4] [5]

El estudio de las microcuencas de los ríos Alao y Cebadas, ubicadas en la subcuenca del río Chambo, Chimborazo, se enfocó en determinar los parámetros hidráulicos, incluyendo el uso del suelo, cobertura vegetal, y la relación entre precipitación y escorrentía. Mediante imágenes satelitales y análisis in-situ y ex-situ, se concluyó que la microcuenca del río Alao tiene mejores condiciones hidráulicas que la del río Cebadas, influenciada por su ubicación y las actividades humanas. El modelado hidrológico, realizado con el software HEC-HMS, mostró que el caudal medio es de 0,6590 m<sup>3</sup>/s para el Alao y de 1,8497 m<sup>3</sup>/s para el Cebadas, con una oferta hídrica que permitirá el uso controlado del recurso en diversas actividades.[6]

Dado todo lo mencionado, el manejo adecuado de la cuenca se vuelve crucial, particularmente dada la creciente incertidumbre en torno al cambio climático que ha llevado al cambio en la frecuencia e intensidad de eventos hidrológicos extremos, como inundaciones y sequías. Por lo

tanto, la modelación hidrológica es esencial en el entendimiento y predicción del comportamiento de los recursos hídricos.[7]

En la modelación hidrológica, los parámetros hidráulicos del suelo son esenciales, así pues los principales parámetros hidráulicos incluyen la conductividad hidráulica, la capacidad de campo y la porosidad que determinan cuánta agua puede infiltrarse, almacenarse y moverse a través del suelo, dando así que la conductividad hidráulica no solo afecta el balance hídrico en el suelo, sino que también afecta la recarga de aguas subterráneas.[8]

La microcuenca del río Quindigua está siendo impactada negativamente por el impacto de las prácticas agrícolas intensivas y los cambios en los parámetros hidráulicos del suelo debido a la variación del uso del suelo en la zona. Se necesita una investigación exhaustiva para comprender cómo estas variaciones impactan la disponibilidad y el comportamiento hidrológico del área.[9]

La precisión en la estimación de estos parámetros es necesaria para mejorar las predicciones de los modelos hidrológicos, lo cual es crucial para la gestión y planificación del agua. El cambio climático y la creciente demanda de agua son una de las principales razones por las que este estudio es importante.[10]La microcuenca del río Quindigua ayudará a comprender cómo se comporta el agua en esa zona, sino que también brindará conocimientos importantes que pueden aplicarse a otras cuencas con características similares. Además, los hallazgos de este estudio pueden guiar las decisiones y planes de gestión del agua, ayudando a minimizar el impacto de eventos hídricos extremos.[11]

En esta investigación se tendrá como fin evaluar el impacto de los parámetros hidráulicos del suelo sobre el modelo hidrológico de la microcuenca del río Quindigua. Para ello se tomará muestras de ciertas áreas específica de la microcuenca y será seleccionada en base a criterios de representatividad. Se compilarán datos de campo y laboratorio se utilizarán técnicas de modelación avanzada para simular diferentes escenarios de variabilidad de los parámetros hidráulicos del suelo.[11]

## **2.1. Situación Del Problema**

El río Quindigua está causando diferentes impactos negativos como la infraestructura y la vida de los habitantes del la Parroquia donde estos efectos vienen hacer directas como indirectas.Las inundaciones son normalmente y esto no solo ocasionan daños enormes en propiedades tanto públicas como privadas,sino que también arruinan siembras y fuentes sustento,aumentando así la

incertidumbre alimentaria. Los impactos en el medio ambiente abarcan desde la degradación de los sistemas acuáticos y terrestres hasta la pérdida de la diversidad biológica junto a la contaminación del agua que pone en peligro la salud de las comunidades que dependencia directamente de este recurso para satisfacer sus necesidades cotidianas. Se han vuelto comunes los hundimientos en las vías públicas así como desprendimientos de tierra que interrumpen el tráfico vehicular sumado a las comunicaciones; esto a su vez causa accidentes automovilísticos dificultando el acceso a servicios esenciales como la atención médica o educativa. Estos eventos catastróficos también representan un peso económico importante para los gobiernos locales ya que deben destinar recursos significativos para la restauración y reconstrucción; desviando fondos que podrían haber sido invertidos en la mejora de infraestructuras y servicios fundamentales.

## **2.2. Formulación Del Problema**

El área de captación del río Quindigua sufre de predicciones inexactas de inundaciones porque no hay suficiente información sobre los parámetros hidráulicos del suelo. La ausencia de información local específica, a su vez, limita la utilidad de los modelos hidrológicos, lo que complica la gestión del riesgo.

## **2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.**

### **2.3.1. Objeto de Investigación.**

Nuestra investigación se centra en el impacto de los parámetros hidráulicos del suelo de la microcuenca del río Quindigua. Los habitantes de esta zona han experimentado diversos problemas como inundaciones, deslizamientos de tierra, y otros impactos ambientales donde se ha generado una gran incertidumbre y afectaciones.

### **2.3.2. Campo de Acción**

#### **2508. HIDROLOGIA.**

- 2508.10 Precipitación.
- 2508.15 Humedad del suelo.
- 2508.99 otras (Especificar)

## **2.4. BENEFICIARIOS.**

### **2.4.1. Beneficiarios directos**

Parroquia Pucayaco, Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi.

### **2.4.2. Beneficiarios indirectos**

Comunidad científica.

## **2.5. JUSTIFICACIÓN:**

La evaluación de los parámetros hidráulicos del suelo en el modelo hidrológico de la microcuenca del río Quindigua es de tal importancia para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la provincia de Cotopaxi, Ecuador. Este estudio se apoya sobre todo en la mayor preocupación por el cambio de clima y sus impactos en el agua local. Esto ha llevado a más eventos extremos como inundaciones y sequías.

Los parámetros hidráulicos del suelo, como la conductividad hidráulica, la porosidad y la capacidad de retención de agua, son vitales para ajustar los modelos de agua como HEC-HMS. Estos modelos ayudan a ver cómo circula el agua en una zona donde se podrá predecir distintos escenarios de escorrentía. Esto es muy útil para planear y cuidar el recurso hídrico. Entender bien cómo estos valores cambian, lo que hace el modelo es clave para crear planes buenos que cuiden a las comunidades y los ecosistemas.

Además de este estudio ayudará al aumento del conjunto de información sobre la dinámica hídrica en la área local que podría ser útil para la toma de decisiones fundamentadas en políticas de gestión de recursos acuáticos. La investigación también impulsará la colaboración entre entidades municipales y poblaciones locales fomentando un enfoque completo para abordar los desafíos hidrológicos actuales y futuros. En conclusión este trabajo no solo es relevante desde el punto de vista académico sino que también es fundamental para la sustentabilidad medioambiental y el bienestar de las comunidades que depende del río Quindigua.

## **2.6. HIPOTESIS.**

La diferencia en los resultados de caudal pico en las simulaciones realizadas con el modelo SMA-HECHMS, que excede el 10%, se debe a la desigualdad entre los datos de campo recolectados y la información oficial proporcionada por el gobierno sobre los parámetros edafológicos.

## **2.7. OBJETIVOS.**

### **2.7.2. General.**

Evaluar el impacto de los parámetros hidráulicos del suelo sobre los resultados de modelos hidrológicos de la microcuenca del río Quindigua, provincia de Cotopaxi para la mejora de la modelación de inundaciones.

### **2.7.3. Especifico.**

- Recolectar muestras de suelo de forma distribuida en la cuenca del río Quindigua para la

estimación de parámetros hidráulicos.

- Comparar (estadísticamente) los parámetros de suelo obtenidos in situ versus los reportados por las instituciones públicas del sector y el país.
- Realizar varias simulaciones con diferentes combinaciones de parámetros hidráulicos y de sus rangos de valores para la zona de estudio.

#### 2.7.4. Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Recolectar muestras de suelo de forma distribuida en la cuenca del río Quindigua para la estimación de parámetros hidráulicos.	Planificación y diseño de la estrategia de muestreo: Identificación de puntos de muestreo distribuidos uniformemente en la cuenca.	Datos detallados sobre la ubicación y características de cada muestra de suelo en el mapa.	GPS para la localización precisa de los puntos de muestreo.
	Recolección de muestras de suelo: Uso de equipo de muestreo para extraer muestras de suelo a diferentes profundidades en cada punto.	Muestras de suelo por medio de calicatas en diferentes áreas de la cuenca.	Técnicas de muestreo aleatorio y sistemático.
	Registro y etiquetado de muestras: Documentación	Base de datos de muestras de	Equipos de muestreo de suelo como pico,

	precisa de la ubicación y características de cada muestra recolectada.	suelo bien organizada y etiquetada.	pala y barra
Comparar (estadísticamente) los parámetros de suelo obtenidos in situ versus los reportados por las instituciones públicas del sector y el país.	Análisis de laboratorio de las muestras de suelo: Determinación de parámetros hidráulicos como la conductividad hidráulica, capacidad de campo, etc.	Parámetros hidráulicos precisos de las muestras de suelo recolectadas.	Métodos de análisis de suelo en laboratorio, como permeámetros y análisis granulométrico.
	Recolección y revisión de datos secundarios: Obtención de datos de parámetros de suelo de instituciones públicas.	Conjunto de datos secundarios de calidad para comparación.	Bases de datos y publicaciones de instituciones públicas.
	Análisis estadístico comparativo: Uso de métodos estadísticos para comparar los datos in situ con los reportados por las instituciones.	Informe detallado de la comparación estadística entre los datos in situ y los reportados.	Software estadístico para análisis comparativo.
Realizar varias	Introducción de parámetros	Modelo hidrológico	

simulaciones con diferentes combinaciones de parámetros hidráulicos y de sus rangos de valores para la zona de estudio.	hidráulicos en el modelo: Inclusión de diferentes combinaciones de parámetros hidráulicos y sus rangos.	funcional de la cuenca del río Quindigua.	Software de modelación hidrológica, como HEC-HMS
	Desarrollo de un modelo hidrológico: Creación de un modelo digital de la cuenca del río Quindigua.	Conjunto de simulaciones que muestran el impacto de diferentes parámetros hidráulicos.	Datos de entrada precisos, incluyendo parámetros hidráulicos y datos climáticos.
	Ejecución de simulaciones: Realización de múltiples simulaciones para observar el comportamiento del modelo bajo diferentes escenarios.	Informe de resultados y análisis de las simulaciones.	Computadoras y servidores para ejecutar las simulaciones y analizar los resultados.

Tabla 2 Sistema de Tareas.

### 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1. ANTECEDENTES

El estudio “Simulación precipitación-escorrentía en la Cuenca Quindigá con HEC-HMS” En este trabajo de investigación cuantitativa, El modelo hidrológico se crea utilizando un programa no aforada sin información sobre el río Quindigá, la provincia de Esterales de libre acceso HEC-HMS, para analizar la precipitación y la escorrentía superficial. Por tanto, en este estudio explicativo desarrollado durante 9 meses de 2022, se consideraron datos históricos de lluvia extraídos de la plataforma Giovanni del satélite TRMM 3B43 V7 para la calibración del modelo,

y datos de caudales del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) años 2014, 2015 y 2016. El método de humedad del suelo (SMA) se utilizó para determinar el porcentaje de infiltración y Nash-Sutcliffe (NSE) de confiabilidad.

Los resultados del modelo hidrológico indican que esta región posee una alta capacidad de filtración y se mantiene con suelo saturado durante todo el año, con una tasa de retención de 250 metros/s durante los períodos de lluvia. Esto sugiere donde el 51% de la precipitación total cuando retiene y también 49% se drena en la área. Donde los valores del NSE mostraron una determinación de 0.53, con un rango confiable de 0.5 a 0.65. El uso de modelos hidrológicos se presenta como una herramienta útil para mejorar la gestión y manejo de los recursos hídricos, ya que permiten redimensionar infraestructuras hidráulicas, comprender el comportamiento de una cuenca y prever eventos naturales y sus riesgos.[12]

El río Quindigua nace en la parte alta de Chuchilán y fluye a través de varias comunidades, incluyendo Yakuchaki, Quindigua, Magdalena y Malqui Machay, antes de llegar a Pucayaco se une con el río Cristal y todos estos ríos desemboca en un sistema fluvial más amplio que van al río Guayas, donde también se caracteriza por su recorrido montañoso, lo que influye en su caudal y en la calidad del agua. Su origen en las montañas de los Andes le confiere un flujo variable, dependiendo de las precipitaciones y del deshielo. Las comunidades a lo largo de su curso dependen del río para actividades agrícolas, ganaderas y domésticas.

Históricamente, el río Quindigua ha experimentado crecidas significativas que han impactado a las comunidades cercanas. Una de las crecidas más notables ocurrió hace aproximadamente 60 años, cuando un deslave en la parte alta de la cuenca provocó inundaciones devastadoras. Más recientemente, en marzo de 2022, el río Quindigua se desbordó nuevamente, causando estragos en la parroquia Pucayacu. Las lluvias intensas llevaron al desbordamiento del río, inundando calles y viviendas, y causando la destrucción de infraestructuras, como el puente de Pucayacu. Este evento fue parte de una serie de inundaciones que afectaron a varias localidades en la provincia, poniendo de relieve la vulnerabilidad de la región a fenómenos climáticos extremos.[13] [14]

Las inundaciones de 2022 generaron una respuesta rápida de los habitantes de Pucayacu, quienes se vieron obligados a evacuar y buscar refugio en lugares altos. La comunidad se unió para limpiar y recuperar lo que pudieron de sus hogares, enfrentando la adversidad con un sentido de solidaridad. A pesar de los esfuerzos de dragado realizados para mitigar el riesgo de desbordamiento, la fuerza del agua superó las medidas preventivas, lo que llevó a la comunidad

a reflexionar sobre la necesidad de una gestión más efectiva de los recursos hídricos y la infraestructura.[14]

La hidrología tiene sus raíces varios miles de años antes de Cristo, particularmente en la cuenca mediterránea, que es considerada la cuna de nuestra civilización y donde se originó el interés por la gestión de los recursos hídricos. Uno de los sistemas de riego más antiguos se implementó en la ciudad de Nippur, en Mesopotamia, durante el siglo XIII a.C. En la Grecia clásica, Platón destacó la importancia de los bosques en el flujo del agua.

Sin embargo, la comprensión de que la lluvia puede ser una fuente de agua que alimenta los ríos tardó en desarrollarse. Esta dificultad es especialmente notable en el entorno mediterráneo, donde no existe una relación sencilla entre la lluvia y el flujo de agua. Por lo tanto, resulta complicado correlacionar el flujo de agua a finales de junio con las lluvias invernales, así como con las precipitaciones que ocurren después del otoño. La investigación hidrológica tiene sus orígenes en la antigüedad, con culturas como la griega que intentaron explicar el ciclo del agua y su evaporación desde el mar bajo la influencia del sol. Posteriormente, figuras como Teofrasto y Marco Vitruvio se inspiraron en estos conceptos.[15].

El modelo HEC-HMS es una herramienta que ha creado el cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos para simular hidrológica, donde hace evaluación de los procesos lluvia-escorrentía y la administración de los recursos hídricos. El HEC-HMS es un recurso esencial para los planificadores y ingenieros en el campo hidrológico; se emplea extensamente en estudios relacionados con agua disponible, gestión del drenaje urbano, predicción de flujo y mitigación de inundaciones. .[16]

El modelo depende de la estructura de subcuencas, donde cada subcuenca está asociada a un cauce de la red fluvial. Esto permite una simulación más precisa del flujo de agua a través de una cuenca, teniendo en cuenta diferentes características como la topografía, el uso de la tierra y las propiedades del suelo. HEC-HMS utiliza patrones de escorrentía para estimar la hostilidad al hidrógeno producida directamente por la lluvia, lo que facilita la comprensión de cómo la lluvia afecta el flujo de ríos y arroyos.[17]

El modelo HEC-HMS se ha aplicado en numerosos proyectos de investigación y prácticos en todo el mundo. Por ejemplo, se ha utilizado para modelar inundaciones y evaluar el efecto de diferentes escenarios de precipitación en el escurrimiento en regiones de cuencas montañosas. Estos estudios verifican el potencial del modelo para estimar las respuestas hidrológicas de las cuencas durante tales eventos extremos, lo cual es crítico para la planificación y gestión de

recursos hídricos en áreas propensas a inundaciones.[17]

Además, HEC-HMS se ha utilizado para la calibración y validación de modelos hidrológicos en varias cuencas, lo que permite a los investigadores ajustar los parámetros del modelo para mejorar la precisión de las simulaciones. Esto incluye la recopilación y el análisis de datos hidrometeorológicos y la evaluación de la calidad del pronóstico hidrológico basado en eventos históricos de inundaciones [18]

El HEC-HMS sigue siendo un reto en su uso y adopción a nuevas disciplinas debido a las carencias en información hidrológica y meteorológica de ciertas regiones. Para calibrar el modelo es necesario contar con datos confiables de lluvias y de caudales que muchas veces son difíciles de recoger en zonas alejadas o en vías de desarrollo. Aunado a esto, la heterogeneidad espacial de las propiedades y del uso del suelo puede hacer más difícil la parametrización del modelo, y por lo tanto, la calidad de las predicciones se ve comprometida.[18]

La evolución del HEC-HMS es esperanzadora, pues se adicionan metodologías y nuevas tecnologías de modelamiento de manera continua. La utilización de imágenes satelitales y técnicas de modelado más complejas como la simulación de agentes o la implementación de AI puede optimizar aún más el rendimiento del modelo en la representación hidrológica de cuencas complejas. Se espera que en un futuro los ingenieros y científicos puedan resolver de manera más efectiva los problemas de gestión y control de inundaciones en contexto de cambio climático y urbanización.

## **3.2. MARCO REFERENCIAL.**

### **3.2.1. Definición e importancia de bosques nublados**

El bosque nublado, por lo general, se define como un tipo de bosque tropical o semi-tropical que presenta la característica de un alto porcentaje de humedad. Como su nombre indica, crece en regiones montañosas en donde la humedad se “captura” más eficientemente por medio de las nubes. También puede abarcar bosques semi-tropicales y templados que posean clima comparable.[19]

Los bosques en regiones tropicales y húmedas, especialmente aquellas que a menudo son neblinosas o nubladas, son muy importantes en el desarrollo de ecosistemas como los bosques de niebla. Estos bosques obtienen humedad no solo a través de la lluvia normal, sino que también la extraen de la atmósfera mediante la condensación de pequeñas gotas de agua, un proceso conocido como precipitación horizontal. La niebla tiene un efecto significativo y persistente en varias partes de un ecosistema, como la temperatura y el equilibrio radiativo, entre otras cosas. Además, afecta

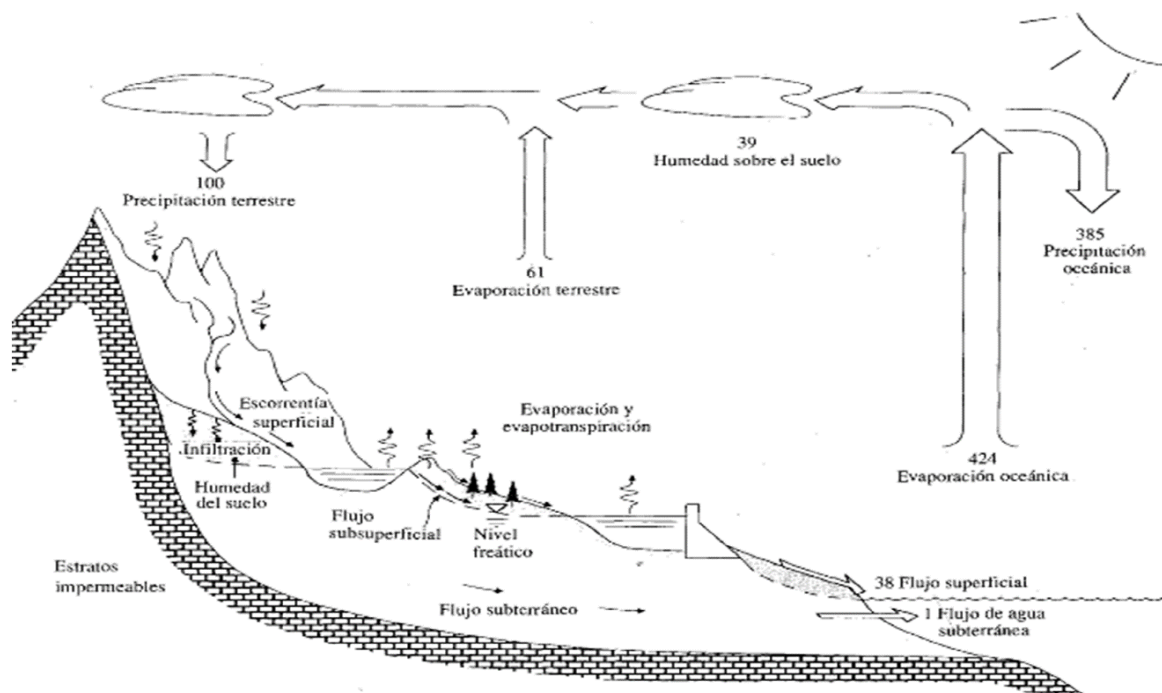
las condiciones climáticas generales, así como los nutrientes y biomas que se pueden soportar debido a su influencia en la región del microclima.[20]

Los bosques cubiertos de niebla se ubican en zonas montañosas donde la humedad atmosférica se condensa, generalmente entre los 800 y los 3,000 metros de altitud. Estos ecosistemas son comunes en la región intertropical de los Andes. La categoría de protegerlos reside no solo en su influencia hidrológica, sino también en su rica biodiversidad. Se caracterizan por una gran variedad de plantas epífitas y albergan especies endémicas tanto de flora como fauna, cuya presencia depende del nivel y regularidad de la nubosidad. Los bosques nublados son cruciales debido a su capacidad para recolectar y controlar tanto la precipitación vertical como horizontal, lo que contribuye significativamente al ciclo del agua en estas regiones).[21]

### 3.2.2. El ciclo hidrológico.

La hidrología se centra principalmente en el ciclo del agua, que no tiene un inicio ni un final definidos y cuyos diversos procesos ocurren de manera continua. Es esquemáticamente cómo se evapora el agua de los mares del mundo y la superficie del suelo para integrarse en la atmósfera. El vapor de agua se mueve y se eleva a condensado y precipitado en la superficie del suelo o en los mares del mundo. La caída del agua puede ser capturada por la vegetación, transformada en una escorrentía superficial o infiltración del suelo.[22]

Figura 1 Ciclo Hidrológico



Fuente: Ciclo Hidrológico [22]

Los factores clave que influyen en el ciclo hidrológico incluyen los elementos climáticos, como

la altitud del lugar, el viento, la radiación solar que regula la temperatura y la presión atmosférica. El agua es utilizada tanto por animales como por plantas; sin embargo, la mayoría del agua empleada por las especies vivas simplemente fluye a través de sus cuerpos y regresa al medio ambiente. En el caso de las plantas, esto ocurre principalmente a través de la transpiración. Este proceso combinado se denomina evapotranspiración y consiste en reintroducir el agua en la atmósfera en forma de vapor.[22]

### **3.2.3. Procesos del ciclo hidrológico.**

3.2.3.1. **Infiltración** : Es un causa por el cual el agua se mueve desde la área del suelo hacia capas de tierra más honda, dependiendo de la forma y estructura del terreno. Este proceso puede ocurrir tanto en condiciones saturadas como no saturadas. [23]

3.2.3.2. **Evaporación**: El proceso de evaporación se refiere a la vaporización del agua de un estado acuático a un estado gaseoso antes de difundirse en la atmósfera. En contraste, la transpiración es el proceso que ocurre durante la respiración de una planta, cuando el agua se mueve desde las raíces hasta las hojas, donde se evapora en la atmósfera. Es importante mencionar que cada organismo retiene algo de agua, pero en realidad, este proceso utiliza un mayor volumen. [23]

3.2.3.3. **Esguerrimiento o Esgorrentía** Este procedimiento tiene que ver con el movimiento del agua en la superficie del suelo que fluye hacia los ríos y de ahí finalmente a los océanos. [23]

3.2.3.4. **Evapotranspiración**: El fenómeno de la evapotranspiración se define como la combinación de los procesos de evaporación y transpiración. Es un modificador importante de las cuencas hidrográficas. Esto es responsable del achicamiento, cambios en los reservorios que resultan en el llenado de sedimentos e incluso del mantenimiento de la forma del cauce de los ríos. [23]

### **3.2.4. Cuenca Hidrográfica**

Una cuenca se define como un área de tierra que ha sido formada por un único arroyo y sus afluentes. Junto con esta definición, una cuenca también puede referirse a un área geográfica donde cualquier elevación en la tierra puede actuar como un divisor para los cursos de agua. El agua que cae en esta región fluye a través de un único conjunto de canales conocidos como desagües o un exutus. Tales cuencas son característicamente diferentes porque poseen un

sistema de drenaje superficial que permite que los ríos principales y otros cuerpos de agua se concentren en un área.[24]

### **3.2.5. Clasificaciones Las cuencas hidrográficas**

Las cuencas hidrográficas se pueden clasificar de varias maneras, comúnmente basándose en parámetros geomorfológicos. Sin embargo, estas clasificaciones pueden adaptarse según el objetivo específico del proyecto; por ejemplo, una clasificación adecuada para un proyecto de suministro de agua podría no ser efectiva para uno centrado en la preservación ambiental. [25]

- En Ecuador, las cuencas hidrográficas se clasifican según su tamaño basándose en el área superficial que cubren. Esta clasificación incluye:
- Cuenca muy grande: Aquellas con una superficie superior a 5000 km<sup>2</sup>.
- Cuenca grande: Con un área entre 2500 km<sup>2</sup> y 5000 km<sup>2</sup>.
- Cuenca intermedia grande: Superficie entre 500 km<sup>2</sup> y 2500 km<sup>2</sup>.
- Cuenca intermedia pequeña: Entre 250 km<sup>2</sup> y 500 km<sup>2</sup>.
- Cuenca pequeña: Con un rango de superficie entre 25 km<sup>2</sup> y 250 km<sup>2</sup>.
- Cuenca muy pequeña: Aquellas con una superficie inferior a 25 km<sup>2</sup>. [25]

### **3.2.6. Importancia de las Cuencas Hidrográficas**

Las cuencas hidrográficas son sistemas estratégicos para la planificación del desarrollo y la administración de recursos hídricos. Estas fuentes de agua son aprovechadas para consumo humano, riego, producción de electricidad, actividades industriales y el cuidado de los ecosistemas. Además, son unidades de planeación y manejo que permiten la integración de los recursos naturales al desarrollo económico de los países. [26]

### **3.2.7. Modelo hidrológico.**

El modelo hidrológico es el modelo matemático de una cuenca hidrográfica y sus componentes del ciclo del agua. Se necesita composición de modelos para la hidrología debido a la necesidad de identificar las entradas y salidas del sistema para poder evaluar los modelos de precisión. La salida de todos los modelos hidrológicos, difieren en lo que se calcula y por cuánto tiempo se

calcula, algunos están diseñados para predecir el total mensual de la escorrentía, mientras que otros se usan para determinar cómo se escalona un evento tormentoso individual. Las series temporales resultantes son los hidrogramas.[27]

Los modelos hidrológicos se pueden clasificar en dos tipos. Los dos tipos principales son los modelos continuos y los modelos basados en eventos. Los modelos continuos generalmente se utilizan para simular el flujo y otras funciones de la cuenca y tienen como objetivo principal las aplicaciones a largo plazo, lo que está relacionado con el rendimiento de almacenamiento de la cuenca. Por otro lado, los modelos basados en eventos son utilizados para simular tormentas individuales, y los más comunes son los modelados de tormentas de diseño, por ejemplo, la modelación de tormentas cada 50 o 100 años para determinar la tormenta máxima probable evento no habitual. [28]

### **3.2.8. Tipo y uso del suelo en el ciclo hidrológico**

El tipo de suelo en un terreno que tiene un impacto considerable en la cantidad de agua que se infiltra y percola, así como en la calidad y el volumen que se infiltra en la parte subterráneas. Además, el modo dado a la cuenca puede alterar todos los aspectos del ciclo hidrológico. Por ejemplo, en áreas urbanas con más pavimento y menos vegetación, los procesos de infiltración e interceptación son notablemente diferentes. En contraste, las cuencas agrícolas tienden a generar una mayor evapotranspiración debido al uso intensivo del agua por parte de los cultivos. Además de estos cambios en el ciclo hidrológico, el riesgo asociado con eventos extremos está directamente relacionado con cómo se utiliza la cuenca.[25]

- **Vegetación** El tipo de vegetación (o) afecta la respuesta de la piscina a un evento de precipitación. Reciclar la vegetación de la canasta, como Ecuadora Maier, generalmente actúa como un hongo y evita que los eventos extremos causen que las inundaciones sean subordinadas. [25]

### **3.2.9. Tipos de modelos**

Los modelos empíricos se fundamentan se relacionan numéricamente entre diferentes variables. Las ecuaciones son un modelo numerico no son necesariamente universales, ya que dependen de los datos específicos y las condiciones bajo las cuales se desarrollaron.[29]

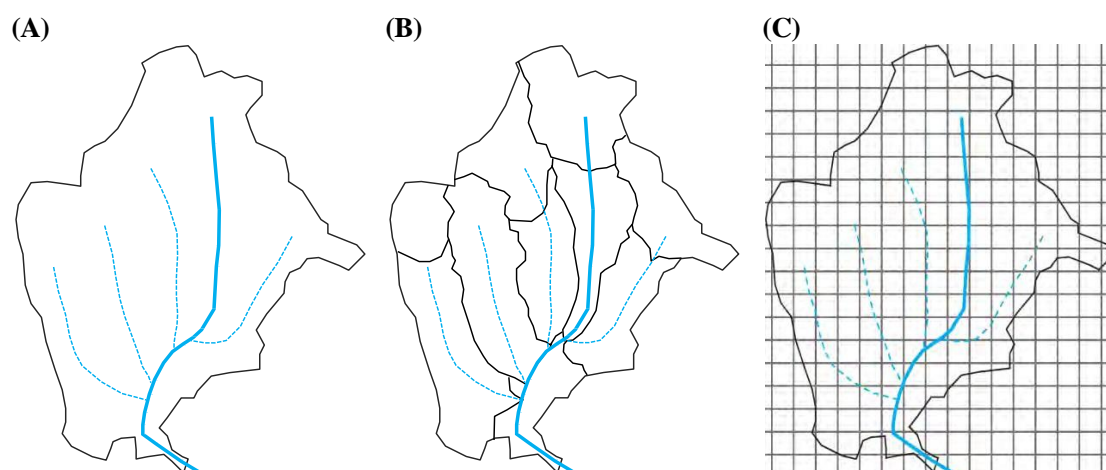
**Modelos Físicos:** Simulan los procesos físicos del ciclo hidrológico utilizando ecuaciones matemáticas que describen el flujo de agua y su interacción con el suelo y la vegetación.

**Modelos Agregados:** Modelos Agregados: Simplifica la representación de los procesos hidrológicos. Los Modelos Agregados se utilizan para calcular parámetros generales del comportamiento del agua en una cuenca sin la representación de cada componente individual detallado en la figura 2.[30]

**Los modelos distribuidos:** Modelos distribuidos: Permite un análisis detallado de las relaciones y las variaciones locales. Es necesario para las investigaciones de alta precisión, ya que implican un gran volumen de datos específicos, como las investigaciones de los procesos hidrológicos y la gestión de los desastres naturales. Son complicados de utilizar por la necesidad del gran volumen de datos específicos detallados en la figura 2 .[31]

**Modelos Semidistribuidos:** Combinan las características de los dos anteriores, permitiendo una representación más equilibrada del sistema como se puede ver en la figura 2. Algunos procesos se modelan detalladamente, mientras otros se tratan más general. Este enfoque es especialmente útil para la gestión de los recursos hídricos, donde ciertos aspectos requieren un tratamiento más detallado.[32]

Figura 2 Modelos de tipo (A) agregado, (B) semidistribuido y (C) distribuido.



Fuente. Tipos de Modelos [33]

### 3.2.10. Aplicaciones en diferentes Áreas.

3.2.10.1. **Pronóstico de Inundaciones:** Contribuyen a anticipar eventos de inundación y a crear sistemas de drenaje apropiados.[34]

3.2.10.2. **Gestión de Recursos Hídricos:** Facilitan la planificación y gestión sostenible de

los recursos hídricos, analizando la oferta y la demanda de agua en diversos escenarios.[35]

3.2.10.3. **Evaluación de Impactos Ambientales:** Se usan para mirar cómo los cambios en el suelo, el clima loco y otras cosas raras que hace la gente le pegan al baile del agua.

3.2.10.4. **Investigación Científica:** Sirven para cachar los rollos del agua y sus cambios, lo que pone más sabrosa la búsqueda en el mundo de las ciencias verdes.[36]

### **3.2.11. Tipos de Software Hidrológico**

3.2.11.1. **HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling Sistema)**

Este programa está diseñado para imitar el proceso hidrológico pélvico. Este enfoque incluye métodos tradicionales de análisis hidrológico, como el estudio de accidentes de infiltración, hidrógeno en la unidad hidrológica y modelado.[37]

3.2.11.2. **SWAT (Soil and Water Assessment Tool)**

Está diseñada para realizar evaluaciones de campo en el suelo y el agua en cuencas. Creado sobre todo para llevar a cabo modelos de la relación entre la precipitación y la escorrentía, y el transporte de agua y solutos sobre o por debajo de la superficie. Predice cómo las prácticas de manejo del suelo y el uso del suelo afectan los recursos hídricos y la erosión de sedimentos.[38]

3.2.11.3. **PRMS (Precipitation-Runoff Modeling System)**

Desarrollado por el Servicio Geológico de EE. UU., PRMS es un sistema modular que simula los procesos físicos de una cuenca hidrográfica. Este software mira cómo distintas mezclas de forma del terreno, tipo y uso de tierra, plantas y condiciones climáticas afectan la respuesta del agua en la cuenca.[39]

3.2.11.4. **TETIS.**

Es un sistema de modelado hidrológico distribuido que imita la manera en que las cuencas naturales responden al ciclo hidrológico. Su propósito es analizar el impacto de embalses y riego agrícola tomando en cuenta los diversos procesos físicos asociados a la precipitación ya sea lluvia o nieve.[39]

#### 3.2.11.5. **WEAP. (Water Evaluation And Planning System)**

WEAP es un modelo que permite planificar y gestionar recursos hídricos, apoyándose en un enfoque basado en balance hídrico, siendo muy útil para simular los efectos de las diferentes prácticas de gestión y evaluación de la disponibilidad de agua para diferentes escenarios que pueden llegar a producirse por cambios del clima.[39]

#### 3.2.11.6. **QGIS.**

No obstante ser un software del tipo Sistema de Información Geográfica (SIG), QGIS se utilizará para la gestión de recursos hídricos y para realizar análisis espaciales que tienen que ver con la hidrología. Su ecosistema de complementos permite la realización de análisis complejos y visualizaciones con los datos hídricos.[39]

#### 3.2.11.7. **IRRICAD.**

Este software es de utilidad para realizar la modelación de ríos y el transporte de sedimentos, y es particular para la simulación de los flujos de ríos y de cuencas, y se utiliza en dinámicas de flujos de ríos.[39]

#### 3.2.11.8. **MODFLOW.**

Un modelo de simulación del flujo del agua subterránea, como la herramienta de gestión de recursos hídricos subterráneos, ampliamente conocido por la aptitud de asignar sistemas hidrogeológicos complejos.[39]

### **3.2.12. Software de modelación HMS.**

Esta aplicación de ordenador fue concebida para la simulación hidrológica de determinadas precipitaciones, llevando a cabo las mismas bien mediante un procedimiento lineal, o bien mediante un procedimiento semidistribuido, y que tiene como objetivo la obtención de los hidrogramas de salida en el interior de las cuencas o subcuencas ante una lluvia extrema; para esto recurre a la utilización de los hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración a través del suelo, flujo base y conversión en escorrentía. Este software tiene un alto grado de versatilidad para la aplicación a cuencas urbanas como para las cuencas naturales a escala mayor, sin intervención humana. Los resultados obtenidos son útiles para la caracterización de la disponibilidad hídrica, la gestión del drenaje de las ciudades, la monitorización de flujos, la evaluación de la relación de los flujos con el medio ambiente, y para la reducción del riesgo por

inundaciones.[15]

### **3.2.13. Componentes del modelo Hec-Hms**

Los componentes que integran un modelo hidrológico permiten simular la respuesta hidrológica en una cuenca. Incluimos entre los modelos de cuenca, los modelos meteorológicos, las especificaciones de control y los datos de entrada. Durante una simulación esta respuesta se calcula para una precipitación determinada. Una vez que el modelo meteorológico ha sido configurado, las especificaciones de control determinan el rango de la simulación y el intervalo temporal de la misma. Los datos de entrada son series temporales y datos en forma de rejilla que, por regla general, son requeridos como parámetros o como condiciones iniciales para el modelo de la cuenca, pero también para el modelo meteorológico. [15]

### **3.2.14. Métodos del HEC-HMS para el modelamiento hidrológico.**

#### **3.2.14.1. Métodos de presencia de vegetación**

- Los métodos que se presentan aquí son aquellos que representan la vegetación presente en su área de estudio teniendo en cuenta cómo es la *intercepción* de la precipitación y el *evapotranspiración* típico de la vegetación, es decir, aquellos métodos que reflejan como la vegetación interactúa con la hidrología en el modelo HEC-HMS.
- Dynamic Canopy
- Gridded Simple Canopy
- Simple Canopy [40]

#### **3.2.10.2. Métodos de pérdida**

- La pérdida de agua que se produce por infiltración en un área de una subcuenca se conoce como método de pérdida, siendo que el programa tiene doce tipos diferentes, pero se recogen los más conocidos. La diferencia fundamental entre los distintos métodos es que algunos de ellos simulan un evento concreto y otros son para simulaciones continuas.
- Deficit and constant loss
- Exponential loss

- Green and Ampt loss
- Gridded deficit constant loss
- Gridded Green and Ampt loss
- Soil Moisture Accounting [40]

#### 3.2.14.2. **Métodos de transformación**

Según los métodos de transformación se refiere a los hidrogramas unitarios, donde se expresa el tiempo para redistribuir el exceso de precipitación excedente a lo largo del tiempo en una cuenca hidrográfica; pero todavía siguen el programa de los ocho métodos mencionados anteriormente pero queda los más utilizados.

- Clark Unit Hydrograph
- Kinematic Wave Transform
- Modclark Transform
- SCS Unit Hydrograph
- Snyder Unit Hydrograph [40]

#### 3.2.14.3. **Métodos de flujo base**

Los métodos flujo base se utilizan para las interacciones y cálculos del subsuperficial flow se realiza, muchos de estos métodos están diseñadas para tiempos específicos, mientras que los u otros son apropiados para simulaciones continuas. Los enfoques disponibles incluyen métodos analíticos, gráficos y geoquímicos, que permiten diferenciar el flujo base del flujo directo y analizar su comportamiento bajo diversas condiciones de precipitación.

- Bounded Recession Baseflow
- Constant Monthly Baseflow
- Linear Reservoir Baseflow
- Nonlinear Boussinesq Baseflow

- Recession Baseflow[40]

### 3.2.15. Parámetros Hidráulicos

Los parámetros hidráulicos se enfoca para calcular la capacidad de envío de sedimentos se obtienen de los resultados de operaciones de flujo constante o inestable

### 3.2.16. Potencial del Agua

El potencial hídrico indica la intensidad de las fuerzas que retienen el agua en el suelo y la energía necesaria para extraerla. En un sistema isotérmico, donde la temperatura permanece constante, el potencial total del agua se calcula sumando los componentes gravitatorio, osmótico y matricial o de presión. Es importante destacar que los potenciales matricial y de presión no actúan simultáneamente debido a la interacción con iones disueltos en el agua, lo que dificulta extraer agua pura al crear una atracción adicional.[41]

### 3.2.17. Retención del Agua

En condiciones normales, un suelo se encuentra en estado de subsaturación, donde coexisten aire y agua en los poros. En esta situación, las fuerzas capilares y de absorción generadas por las moléculas de agua y la matriz del suelo dan lugar a una tensión matricial que permite a la fase sólida retener el agua. A medida que disminuye el contenido de humedad del suelo, estas fuerzas de retención aumentan. La relación entre el contenido de humedad y la tensión matricial se representa gráficamente mediante la curva característica del suelo.[41]

La cantidad de agua acumulada en el suelo varía y se pueden identificar varios periodos importantes:

- **Saturación:** Un suelo está saturado cuando todos sus poros están llenos de agua, lo que suele ocurrir después de una lluvia intensa, un riego excesivo o cuando hay una capa impermeable cerca de la superficie.
- **Capacidad de Campo:** Es la cantidad máxima de agua que un suelo puede retener contra la gravedad después del drenaje libre. En suelos bien drenados, este estado se alcanza aproximadamente dos días después de una lluvia intensa. Según la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo, corresponde al contenido hídrico que el suelo mantiene bajo una succión equivalente a 100 cm de columna de agua (1/10 atmósferas).[42]

- **La capacidad de aireación** del suelo es fundamental para suministrar oxígeno a las raíces y facilitar el intercambio gaseoso con el entorno. Cuando esta capacidad es adecuada, generalmente superior al 10-15%, se promueve un desarrollo radicular extenso, lo que mejora la absorción de nutrientes y agua. Desde una perspectiva hidrológica, la capacidad de aireación está relacionada con los poros drenables o porosidad efectiva del suelo.
- Por otro lado, el agua aprovechable se refiere al aumento de agua retenida en el suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Esta agua es crucial para hidratar las plantas durante su crecimiento y forma parte principalmente del contenido hídrico disponible en los poros con diámetros equivalentes entre 0,2 y 30 micras..[42]

### 3.2.18. Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica, también conocida como permeabilidad, es la capacidad del suelo para permitir el flujo de agua a través de él. Esta propiedad depende de factores como la forma, tamaño y continuidad de los poros del suelo, así como del contenido hídrico (que varía con el potencial matricial) y la viscosidad del agua. La viscosidad disminuye con el aumento de temperatura; por ejemplo, aumenta un 3% por cada grado centígrado más. En condiciones saturadas, se considera que la conductividad hidráulica es constante si el suelo es uniforme. Sin embargo, en condiciones no saturadas, esta propiedad disminuye debido a la fricción entre el agua y las paredes de los poros.[41]

- **Conductividad Hidráulica Saturada.**

La conductividad hidráulica saturada en suelos bien estructurados varía entre 0,01 y 1 metro por día. Los valores más bajos corresponden a suelos de textura fina, mientras que los más altos se encuentran en suelos de textura gruesa. Esta situación ocurre cuando todos los poros están llenos de agua, facilitando el acceso de las raíces a oxígeno disuelto. En condiciones saturadas, el potencial matricial es cero, lo que significa que el flujo del agua está determinado principalmente por la gravedad y la presión hidrostática. Además, el movimiento del agua en suelos saturados es más predecible y fácil de modelar matemáticamente que en suelos no saturados debido a que el almacenamiento permanece constante y la velocidad del flujo es directamente proporcional a las fuerzas impulsoras. [41]

- **Conductividad Hidráulica No Saturada.**

En un suelo no saturado, la conductividad hidráulica varía según el contenido de agua. El agua

circula preferentemente por los poros más grandes, que son los primeros en vaciarse a medida que disminuye el contenido hídrico. Por lo tanto, la conductividad hidráulica en suelos no saturados disminuye rápidamente al reducirse el recurso hídrico. Esto ocurre cuando los poros están parcialmente ocupados por agua y el flujo está condicionado tanto por potenciales matriciales como gravitacionales. Además del almacenamiento y la infiltración, el agua también se mueve hacia las raíces de las plantas o se dirige a lugares donde puede evaporarse o perderse mediante penetración profunda. [41]

### **3.2.19. Contenido de Agua**

El suelo conserva el agua de dos maneras: al igual que el agua libre, llenando los poros y las habitaciones entre las partículas duras, y como el agua agregada mantenida por la adsorción en partículas coloidales orgánicas y superficies de arcilla. El contenido máximo de agua ocurre cuando el suelo está saturado, es decir, todos los poros están completamente llenos. Por otro lado, el contenido mínimo se refiere a la condición conocida como "seco al aire", aunque para medirlo con precisión se utiliza el término "suelo seco a la estufa", que implica calentar una muestra a 105°C durante 24 horas para eliminar toda el agua presente.[41]

El contenido de agua en el suelo se puede expresar de tres maneras: en unidades de masa, en unidades de volumen y en unidades lineales. [42]

## **4. METODO Y PROCEDIMIENTO.**

### **4.2. Metodología**

El estudio utilizará enfoques cualitativos y cuantitativos que se complementan. El abordaje cuantitativo se implementará con base a la recolección y análisis de datos numéricos referentes a los parámetros hidráulicos del suelo y su influencia en el modelo hidrológico, tiene como objetivo obtener resultados precisos, Mientras que, el enfoque cualitativo se empírica utilizará para interpretar esos resultados en función de las particular características del suelo, lo cual se manifiesta que se profundiza en la interpretación contextual de cómo sus parámetros impactan la cuenca en que se maneja el modelo. Tal combinación se determina como una validación completa del impacto de los parámetros hidráulicos en la cuenca del río Quindigua.

### **4.3. Descripción del proyecto**

Este proyecto se termina de manera de evaluar el impacto de los parámetros hidrológicos del suelo sobre el modelo hidrológico de la cuenca, río Quindigua en la provincia de Cotopaxi, Ecuador. El estudio se centrara y caracterizara los parámetros hidráulico del suelo y su implementación en el modelo hidrológico de la cuenca HEC-HMS-a través del metodología SMA Soile Moisture

Accounting; se espera producir una información prácticamente valiosa para la gestión hídrica sostenible de la cuenca con la específicos de su entorno microclimático, topográfico y uso del suelo.

La cuenca del río Quindigua es una región ambiental y económica vital. Los resultados de este estudio fundamentarán resultados de este estudio proporcionarán una base científica para la toma de decisiones en la gestión de los recursos hídricos, así como para la planificación de actividades agrícolas y la mitigación de riesgos asociados a eventos hidrometeorológicos extremos.

### **4.3. Variables:**

#### **4.3.1. Variables Independientes:**

- **Tipo de suelo**

El tipo de suelo en la cuenca del Río Quindigua, que puede variar según la ubicación y las características geológicas. Se clasifican en:

- ✓ **Arenosoles:** Se forman en sustratos arenosos, son poco desarrollados, altamente permeables y tienen limitada capacidad para retener agua y nutrientes.
- ✓ **Andisoles:** Presentan un tono oscuro, se originan de rocas volcánicas, están bien desarrollados y son muy fértiles.
- ✓ **Vertisoles:** De un color oscuro, poseen gran cantidad de arcilla, un material que al deshidratarse tiende a crear profundas y amplias fisuras verticales. [43]

- **Tipo de textura**

- ✓ Suelo Arenosos
- ✓ Suelo Limos
- ✓ Suelos Francos
- ✓ Suelos Arcillosos O Barros.

En esta categorización se fundamenta en el tamaño de las partículas presentes en cada tipo de suelo.[44]

- **Parámetros hidráulicos**

**-Conductividad hidráulica:** Capacidad del suelo para transmitir agua.

**-Capacidad de campo:** Cantidad máxima de agua que un suelo puede retener después de drenar el exceso.

**-Punto de marchitez permanente:** Contenido de humedad del suelo por debajo del cual las plantas no pueden extraer agua fácilmente.

- **Uso del suelo**

Los diferentes usos del suelo en la cuenca, como agricultura, ganadería, áreas urbanas, bosques, etc.

#### **4.3.2. Variables Dependientes**

- **Escorrentía superficial**

El flujo de agua sobre la superficie del suelo, que depende de factores como la precipitación, la infiltración y las características del terreno.

- **Infiltración**

Es el asunto por el cual el agua baja en el suelo desde la superficie, lo que afecta a la recarga de los acuíferos y la disponibilidad de agua para las plantas.

- **Niveles freáticos**

La profundidad del agua subterránea, que puede variar según la recarga, el uso del agua y otros factores.

#### **4.4. Diagrama de flujo**

El diagrama de flujo ilustra el proceso completo desde la recolección de datos hasta la implementación y validación del modelo hidrológico.



Figura 3 Esquema Metodológico

**Fuente:** Galarza Antonio y Grefa Jeyson

#### 4.5. Área de Estudio:

La zona de investigación está localizada entre los contones de La Maná y Sigchos, en la región de Cotopaxi. Los ríos que contribuyen al flujo del río Quindigua son el río Yacuchaqui y el río Quebrada de Amanta, ubicados al oeste del Canton de Sigchos, como se puede ver en la imagen. 4.

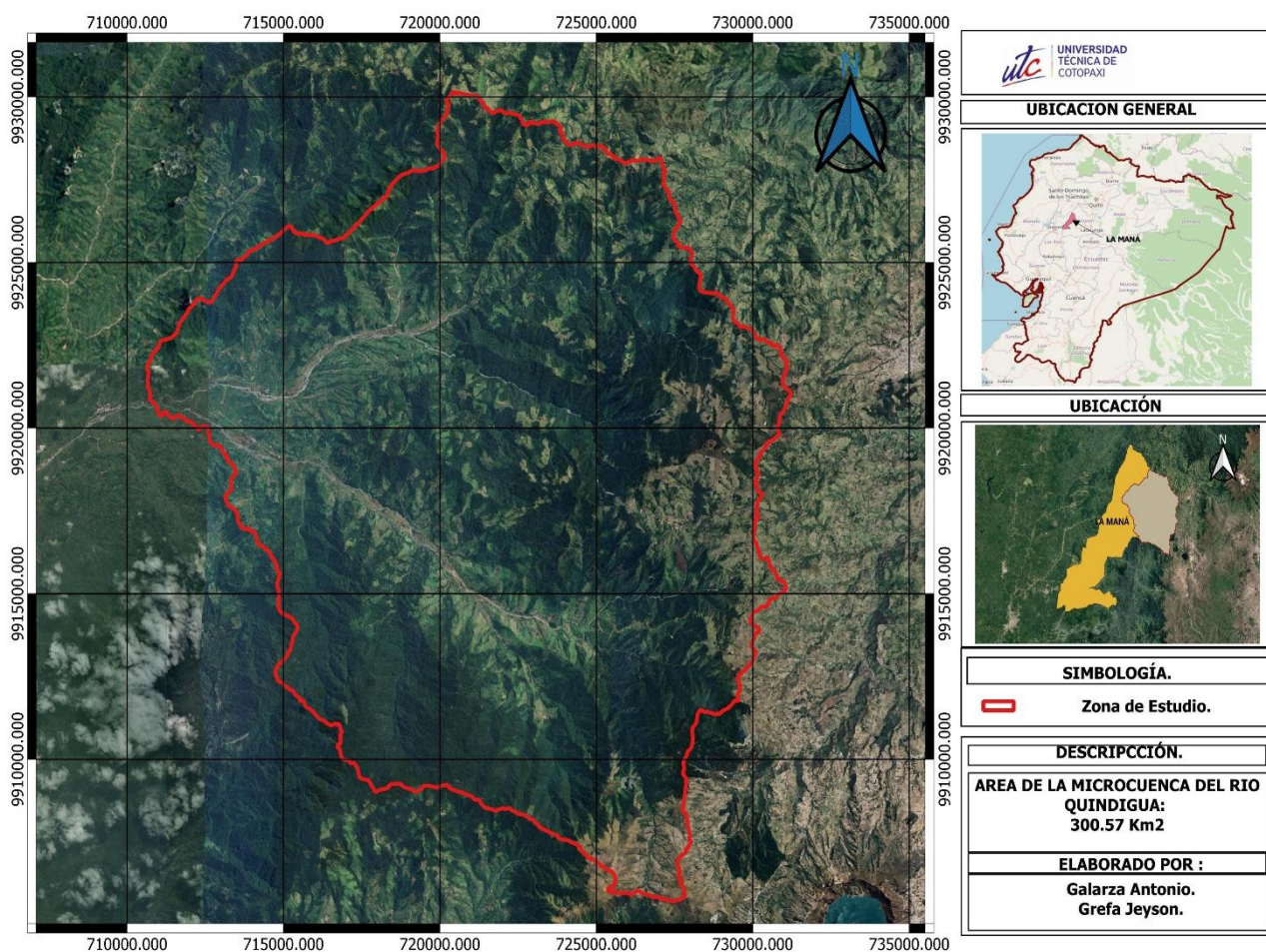


Figura 4 Área De La Microcuenca Del Rio Quindigua  
Elaborado por: Galarza Antonio y Grefa Jeyson

#### 4.6. Caracterización Morfológica

##### 4.6.1. Área de la micro cuenca.

El área de la microcuenca se refiere al tamaño de la superficie que abarca, representada en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>). Esta superficie también se conoce como área de drenaje, ya que es la región geográfica donde toda el agua superficial converge hacia un único punto de salida, como un río, arroyo o embalse. El cálculo del área de la microcuenca es fundamental para los estudios hidrológicos, ya que influye directamente en la cantidad de escorrentía y el comportamiento del flujo hídrico dentro de la cuenca.[45]

#### **4.6.2. Perímetro de la microcuenca**

El contorno esta definido por las cotas más altas que rodean la zona. Estas cotas actúan como divisorias, marcando los límites geográficos dentro de los cuales toda el agua superficial es drenada hacia el interior de la cuenca. El perímetro es esencial para identificar la extensión precisa de la microcuenca y para el análisis de su comportamiento hidrológico..[45]

#### **4.6.3. Cota máxima y mínima de la microcuenca**

cota mayor de la microcuenca (cm): es la altitud más elevada de la divisoria de la cuenca, medida en (msnm).cota menor de la microcuenca (cm): donde la elevación en la que la cuenca descarga sus aguas a un cauce principal, también medida en metros sobre el nivel del mar (msnm).[46]

#### **4.6.4. Cota máxima y mínima del Cauce Principal.**

Cota Máxima del Cauce Principal (HM): Es la mayor altura a la cual se encuentra el cauce principal de la cuenca. Cota Mínima del Cauce Principal (Hm): Es la cota sobre la cual el cauce principal desagua y determina su parte final.[47]

#### **4.6.5. Longitud del Cauce Principal.**

La longitud del cauce principal se establece generalmente al trazar el recorrido del recurso hidrico desde su nacimiento desde principio de la microcuenca hasta su desembocadura o hasta el punto de salida.[45]

#### **4.6.6. Pendiente de la microcuenca.**

Determinará la inclinación promedio del lecho del cauce a lo largo de la microcuenca.[48]

$$J = \frac{\textit{Cota mayor} - \textit{Cota menor}}{\textit{Longitud del cauce principal.}}$$

Ecuación 1 Pendiente

#### **4.6.7. Longitud axial (La)**

Es la distancia que se mide desde el punto más alto de la microcuenca, en su origen, hasta el punto más distante o su desembocadura, representando la mayor longitud en la dirección del río

principal.[45]

#### **4.6.8 Ancho promedio (Ap)**

El ancho promedio (Ap) se calcula dividiendo el área total de la microcuenca por su longitud axial. Este valor proporciona una medida representativa de la amplitud de la cuenca, útil para el análisis hidrológico y la caracterización geomorfológica del área de estudio .[45]

#### **4.6.9. Número de orden (No)**

Este concepto describe cómo se ramifican los ríos dentro de una cuenca. Un río que no recibe afluentes se considera de primer orden. La combinación de dos ríos principales origina un río secundario. De manera parecida, la unión de dos ríos secundarios genera un río terciario, y este patrón continúa.[45]

#### **4.6.10. Tiempo De Concentracion (TC)**

El tiempo de concentración (tc) se describe como la duración que requiere el agua de lluvia para desplazarse desde el lugar más alejado de una subcuenca hasta su desembocadura.[49]

$$tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \quad \text{Ecuación 2 Giandiotti}$$

Donde:

A= área de la cuenca

L= longitud de la cuenca

H= cota máxima y mínima de la microcuenca

#### **4.6.11. Tiempo De Retraso**

Es el intervalo que va desde el comienzo de la lluvia hasta que se llega al caudal más alto de agua en un lugar específico dentro de una cuenca

$$tr = 0.6*tc \quad \text{Ecuación 3 Tiempo de retraso}$$

Donde:

tr: Tiempo de retardo

tc: Tiempo de concentración

#### 4.7. Información Meteorológica

Para llevar a cabo un modelo hidrológico, es esencial contar con datos de precipitación. En este caso, se utiliza un modelo continuo que requiere promedios diarios históricos de lluvia. En esta investigación, los datos de precipitación fueron obtenidos a través de información satelital proporcionada por el Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM 3B42 V7), donde se puede ver en la figura 5, para el periodo de 2017,-2019. [50]

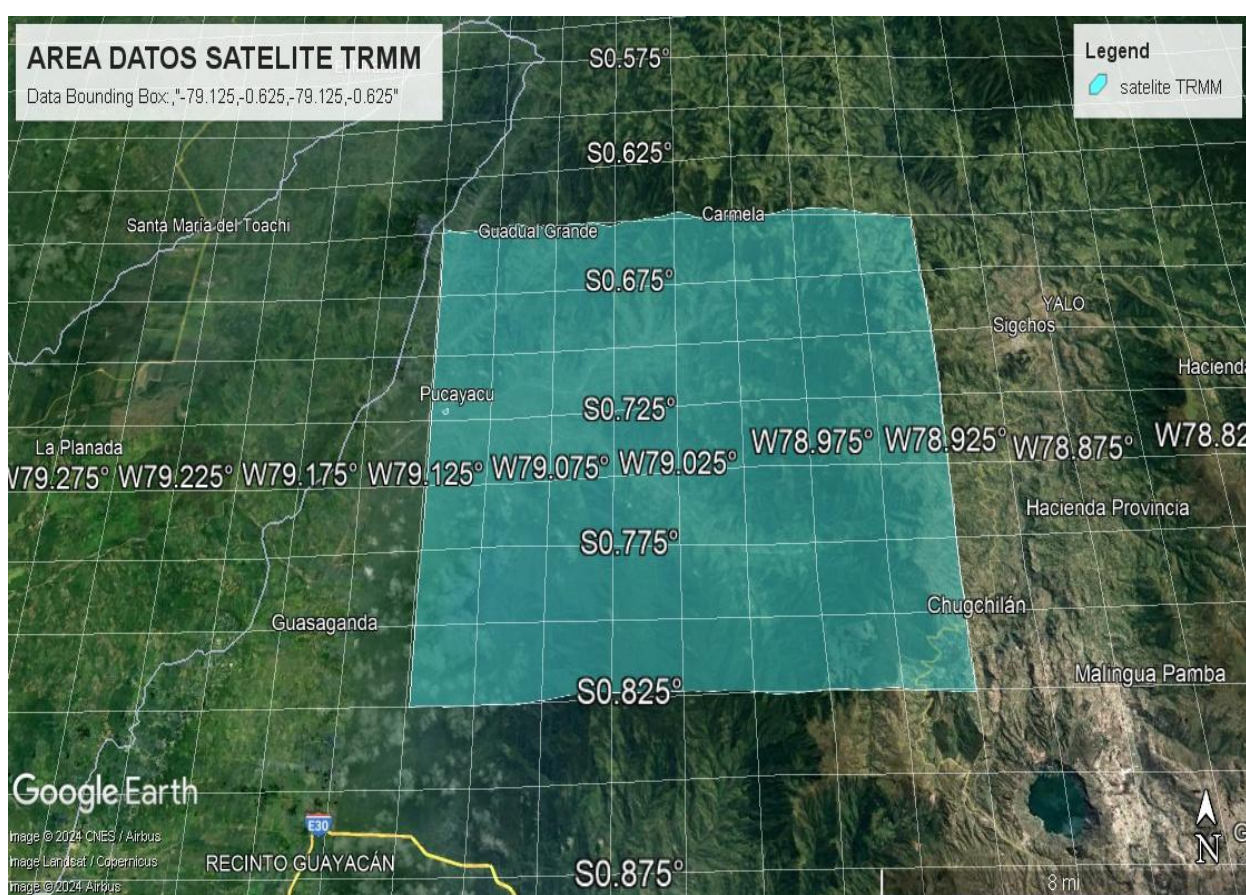


Figura 5 Área de precipitación (TRMM)

#### 4.8. Obtención de información insitu

##### 4.8.1. Flujograma para el procedimiento de las calicatas.

Una calicata es un método de prospección que implica la exploración de un terreno mediante excavaciones o perforaciones a baja o media profundidad con el objetivo de recolectar muestras de suelo.

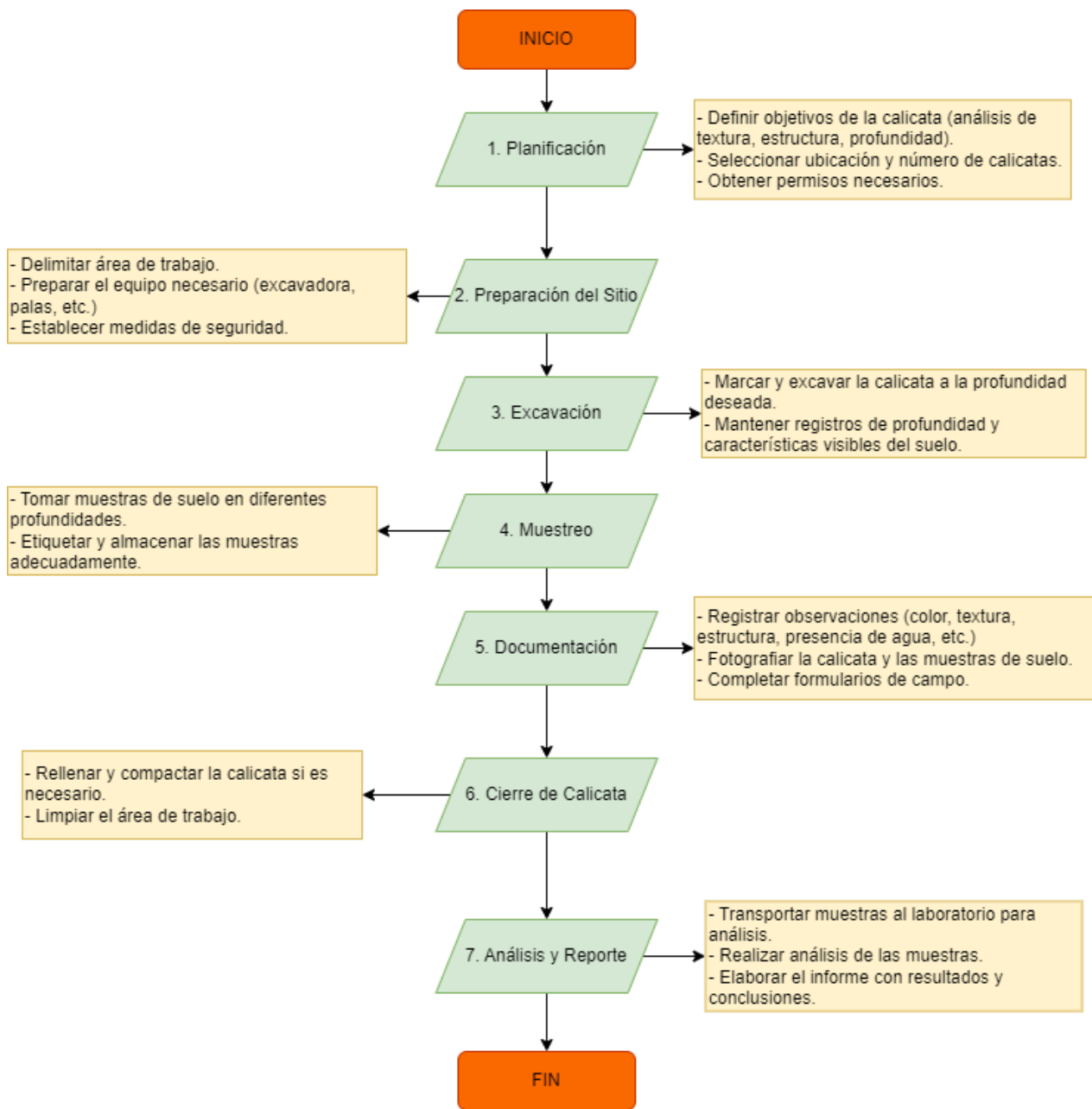


Figura 6 flujograma de elaboración de calicatas.

**Elaborado por:** Galarza Antonio y Grefa Jeyson

#### 4.8.2. Flujograma para determinar la textura del suelo en el campo.

La textura y la estructura del suelo son consideradas "variables maestras" porque influyen directamente en muchas otras propiedades del suelo. Por ejemplo, comparando un suelo arcilloso con uno arenoso, se espera que el suelo arcilloso tenga una mayor superficie específica, una mayor capacidad de intercambio catiónico, más porosidad total pero menos microporosidad, y un mayor contenido de materia orgánica en comparación con el suelo arenoso.[44]

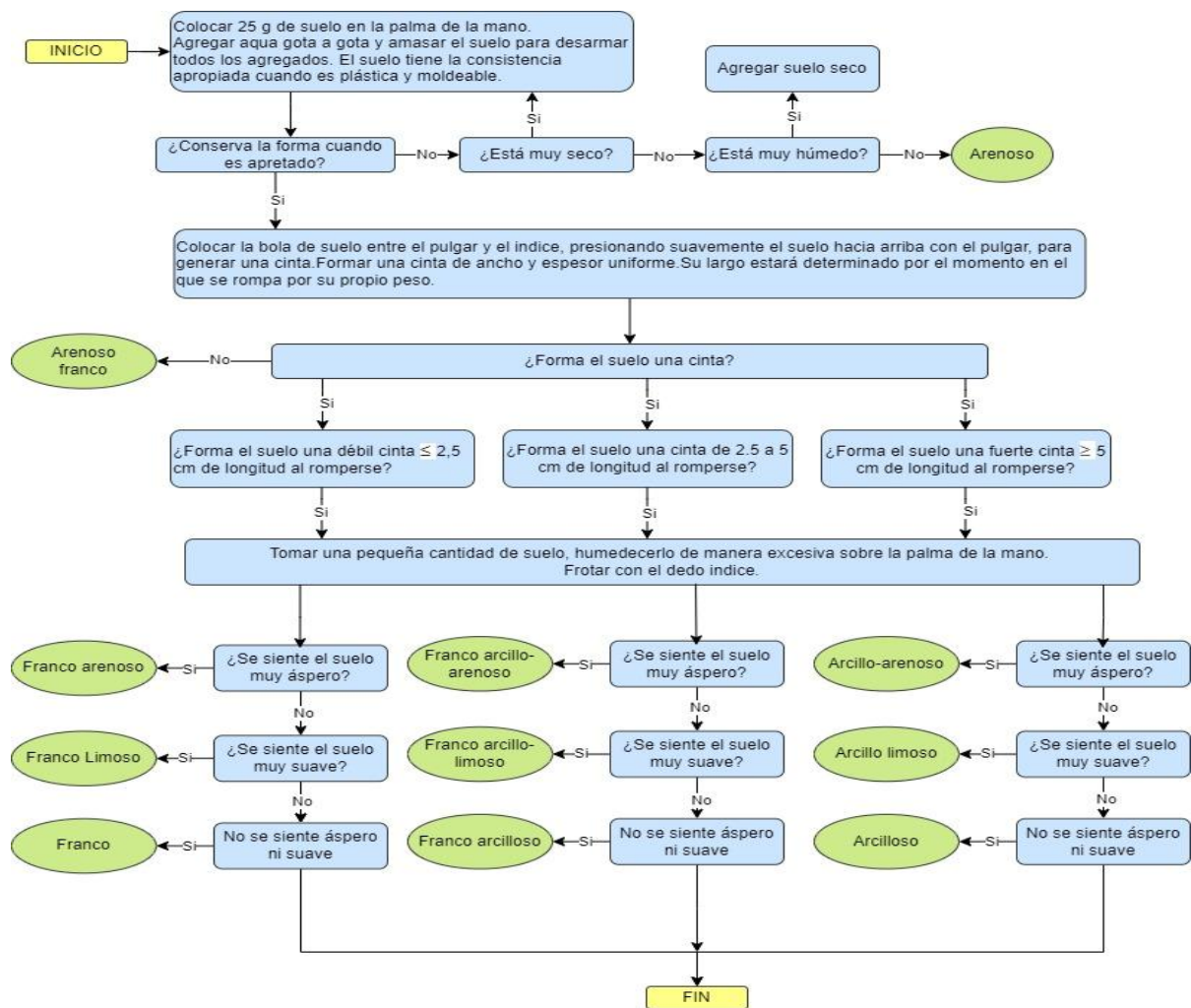


Figura 7 Flujograma para determinar la textura USDA-NRCS. [47]

#### 4.9. Datos de Pedotransferencia.

##### 4.9.1. Que es Pedotransferencia.

Las funciones de Pedotransferencia (FPT) son modelos matemáticos que utilizan propiedades del suelo bien documentadas y reportadas en estudios edáficos o que se pueden medir fácilmente en el laboratorio, con el fin de estimar otros procesos que son difíciles de medir. La gran generalidad de las FPT han sido propuesto o desarrollado para calcular la conductividad hidráulica y la infiltración en los suelos.[52]

##### 4.9.2. Datos de Pedología reportadas por las instituciones públicas.

Para llevar a cabo un modelo hidrológico, es crucial disponer de datos de pedotransferencia, los cuales facilitan la estimación de las propiedades del suelo a partir de medidas básicas. En esta investigación los datos geopedológicos fueron extraídos del MAG (Ministerio de Agricultura y

Ganadería) específicamente del geoportal SIGTIERRAS (Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica). Esta información abarca parámetros como la capacidad de retención de agua, la conductividad hidráulica y la textura del suelo, todos ellos fundamentales para la correcta calibración y validación del modelo.[53]

### **Parámetro tomado del geoportal**

Se tomará la textura y la densidad aparente del suelo a partir del geoportal para determinar el porcentaje de arena, limo y arcilla en toda el área de la microcuenca. Mediante las ecuaciones de pedotransferencia vamos a comprar valores de capacidad de campo, conductividad hidráulica por último el pmp. Este análisis permitirá comparar los datos obtenidos en campo con los proporcionados por las instituciones, una comparación entre ambos valores obtenidos.

### **4.9.3. Funciones de Pedotransferencia (PTF) estudiadas para estimar el contenido de humedad del suelo y la conductividad hidráulica saturada.**

#### **1. Cosby (1984) [54]**

Ecuación 4

Cosby

$$K_s = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$$

#### **Donde:**

$K_s$  (cm h<sup>-1</sup>): conductividad hidráulica saturada.

$Sa$  (%): contenido de arena.

$Cl$  (%): contenido de arcilla.

#### **2. Puckett (1985)[54]**

Ecuación 5

Puckett

$$K_s = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$$

#### **Donde:**

$K_s$  (cm h<sup>-1</sup>): conductividad hidráulica saturada.

$Cl$  (%): contenido de arcilla.

3. **Jabro (1992)**[54]

$$K_s = 10^{(10.56 - 0.81 \cdot \log(Si) - 1.09 \cdot \log(Cl) - 4.64 \cdot pb)}$$

**Donde:**

$K_s$  (cm h<sup>-1</sup>): conductividad hidráulica saturada.

$P_b$ =Densidad aparente.

$Sa$  (%): contenido de arena.

$Cl$  (%): contenido de arcilla.

$Si$  (%): contenido de limo.

4. **Saxton and Rawls (2006)** [54]

$$K_s = 1930 * (Q_s - Q_{33})^{(3-\lambda)}$$

$K_s$  (cm h<sup>-1</sup>): conductividad hidráulica saturada.

$Q_s$  (v/v): contenido de humedad saturada.

$\theta_{33}$  (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>): contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo.

$\lambda$ : La pendiente del gráfico logarítmico de tensión versus humedad

5. **Lal (1978)**[54]

$$\theta_{33} = 0.065 + 0.004 * Cl$$

**Donde:**

$\theta_{33}$  (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>): contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo.

$Cl$  (%): contenido de arcilla.

6. **Pidgeon (1972)**[54]

$$\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 * Cl$$

$$OC = \frac{\theta_{33} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$$

**Donde:**

$\theta_{1500}$  (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>): contenido de humedad a 1 500 kPa, punto de marchitez permanente.

$Cl$  (%): contenido de arcilla.

$O_c$  (%): contenido de carbono orgánico.

$\theta_{33}$  ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ): contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo.

$Si$  (%): contenido de limo.

#### 7. Dijkerman (1988)[54]

Ecuación 10  
Dijkerman

$$OC = \frac{\theta_{1500} + 0.0419 - 0.0019 * Si - 0.0039 * Cl}{0.009}$$

$$\theta_{33} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$$

#### Donde:

$O_c$  (%): contenido de carbono orgánico.

$\theta_{1500}$  ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ): contenido de humedad a 1 500 kPa, punto de marchitez permanente.

$Si$  (%): contenido de limo.

$Cl$  (%): contenido de arcilla.

$\theta_{33}$  ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ): contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo.

$Sa$  (%): contenido de arena.

#### 8. Aina and Periaswamy (1985)[54]

Ecuación 11  
Aina and  
Periaswamy

$$\theta_{1500} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$$

$$\theta_{33} = 0.06778 - 0.0055 * Sa - 0.0013 * P_b$$

#### Donde:

$\theta_{1500}$  ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ): contenido de humedad a 1 500 kPa, punto de marchitez permanente.

$Cl$  (%): contenido de arcilla.

$\theta_{33}$  ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ): contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo.

$Sa$  (%): contenido de arena.

$P_b$ =Densidad aparente.

9. **Rawls et al. (1982)** [54]

Ecuación 12  
Rawls

$$\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 * CL$$

**Donde:**

$\theta_{1500}$  ( $m^3 m^{-3}$ ): contenido de humedad a 1 500 kPa, punto de marchitez permanente.

$CL$  (%): contenido de arcilla.

10. **Cosby et al. (1984)** [50]

Ecuación 13  
Cosby et al

$$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$$

**Donde:**

$K_{sat}$ = conductividad hidráulica saturada (cm/hr).

$SA$  (%): contenido de arena.

$CL$  (%): contenido de arcilla.

11. **Saxton et al. (1986)** [50]

Ecuación 14  
Saxton et al

$$K_{sat} = EXP[12.01 - 0.0755 * SA + (-3.895 + 0.03671 * SA + 0.1103 * CL + 0.00087546 * CL^2)/Q_s]$$

**Donde:**

$K_{sat}$ = conductividad hidráulica saturada (cm/hr).

$SA$  (%): contenido de arena.

$CL$  (%): contenido de arcilla.

$Q_s$ = contenido de agua saturada( $cm^3/cm^3$ )

12. **Jabro et al. (1992)** [50]

Ecuación 15  
Jabro et al

$$\text{Log}K_{sat} = 9.56 - 0.81 * \text{Log}SI - 1.09 * \text{Log}CL - 4.64 * BD$$

**Donde:**

$K_{sat}$  = conductividad hidráulica saturada (cm/hr).

$SI$  (%): contenido de limo.

$CL$  (%): contenido de arcilla.

$BD$ : densidad aparente.

**4.10. Cálculo de la evapotranspiración de referencia.**

Para el cálculo inicial de la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ), se empleó la ecuación de Penman-Monteith sugerida por la FAO.[55]

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Ecuación 16  
Evotranspiracion

$ET_o$  Evapotranspiración de referencia [ $mm \text{ día}^{-1}$ ]

$R_n$  Radiación neta [ $MJ \text{ m}^2 \text{ día}^{-1}$ ]

$G$  Flujo de calor en el suelo [ $MJ \text{ m}^2 \text{ día}^{-1}$ ]

$T$  Temperatura media del aire a 2 m de altura [ $^{\circ}C$ ]

$U_2$  Velocidad del viento a 2 m de altura [ $m \text{ s}^{-1}$ ]

$e_s$  Presión de vapor de saturación [ $kPa$ ]

$e_a$  Presión real de vapor [ $kPa$ ]

$e_s - e_a$  Déficit de presión de vapor [ $kPa$ ]

$\Delta$  Pendiente de la curva de presión de vapor [ $kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$ ]

$\gamma$  Constante psicrométrica [ $kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$ ]

Se utilizaron dos herramientas Para calcular la ETo: CLIMWAT y CROPWAT.

EL CLIMWAT es un programa que incluye una base de datos de información climática de estaciones meteorológicas de todo el mundo. Este software se emplea junto con CROPWAT para calcular variables hídricas relacionadas con los cultivos.[55]

#### 4.11. Descripción del Modelo.

En esta investigación se utilizó la herramienta hidrológica HEC-HMS, versión 4.2.1 para la ejecución del programa donde fue desarrollado por los ingenieros del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos.[56]

El modelo de Soil Moisture Accounting toma en cuenta la presencia de los tres horizontes (capa de suelo, capa de agua subterránea 1 y capa de agua subterránea 2), lo que permite modelar la dinámica del movimiento del agua entre estas capas.El proceso conceptual del método de contenido de humedad del suelo (SMA) se puede observar en la figura 8, la cual fue utilizada en esta investigación.[55]

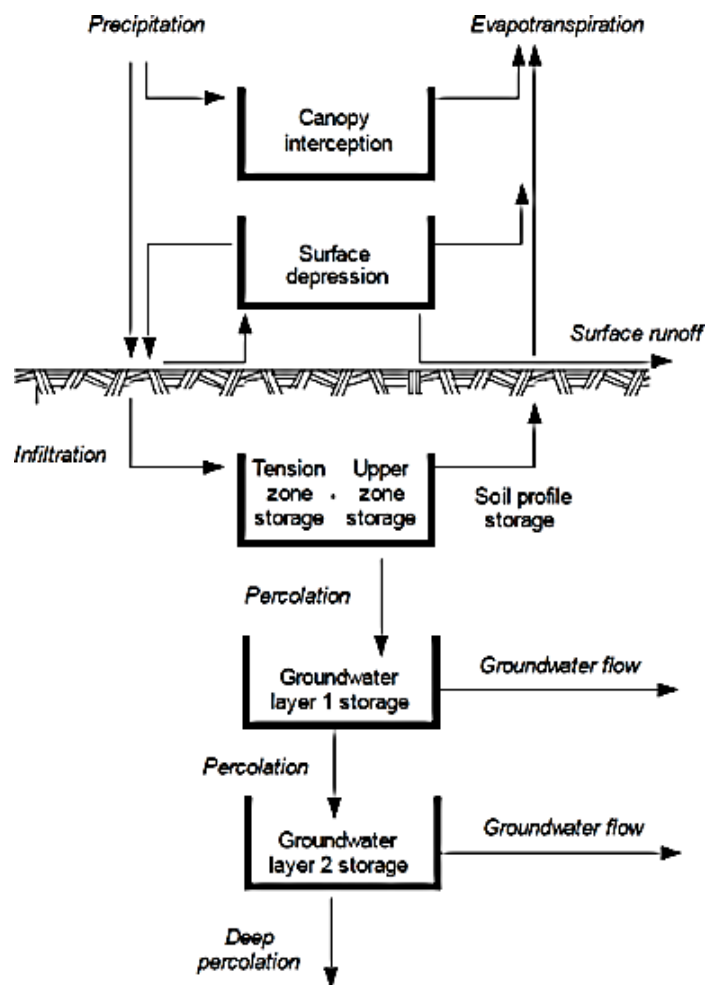


Figura 8 Parámetros del método Contenido de la humedad del suelo en HEC-HMS[55]

#### 4.11.1 Parámetros de entrada para el modelo

Los siguientes son los elementos de entrada que el modelo necesita:

1. **Soil (%)**, **Groundwater 1 (%)** y **Groundwater 2 (%)**: este primer parámetro se refiere a las circunstancias iniciales de cada tres capas que indican el almacenamiento total de cada capa que se encuentra llena de agua al inicio de la simulación.
2. **Max Infiltration (mm/hr)**: Este parámetro establece el límite de infiltración del agua desde la superficie hacia la capa de suelo.
3. **Impermeable (%)**: Representa el porcentaje de áreas impermeables dentro de la subcuenca.
4. **Soil Storage (mm)**: Indica el almacenamiento disponible en la capa de suelo.
5. **Tension Storage (mm)**: Especifica la cantidad de agua almacenada en el suelo que no drena debido a la gravedad.
6. **Soil Percolation (mm/hr)**: Este parámetro señala el límite de percolación desde el almacenamiento en el suelo hacia el agua subterránea superficial.
7. **GW 1 Storage (mm)** y **GW 2 Storage (mm)**: Estos valores representan el almacenamiento total en las capas superior e inferior de agua subterránea, respectivamente.
8. **GW 1 Percolation (mm/hr)** y **GW 2 Percolation (mm/hr)**: La percolación GW1 indica la tasa a la que el agua se filtra desde la capa superior hacia la inferior, mientras que GW2 se refiere a la tasa de percolación profunda que sale del sistema.
9. **GW 1 Coefficient (hr)** y **GW 2 Coefficient (hr)**: Estos coeficientes se utilizan como condiciones temporales para convertir el agua en almacenamiento en flujos laterales, los cuales pueden transformarse en flujo base.[57]

Se seleccionarán algunos parámetros como: máxima infiltración, impermeabilidad, almacenamiento de suelo y percolación para su análisis. Estos parámetros se correlacionarán con los datos obtenidos de las calicatas, donde se extraerán diferentes perfiles de suelo. Con estos perfiles, se calcularán mediante fórmulas los parámetros de capacidad de campo, conductividad hidráulica, punto de marchitez permanente y densidad aparente.

	PARA METR OS	CONDICION ES INICIALES	SIGNIFICADO	RANGOS DE VARIACIÓN POR DEFECTO (PARÁMETRO S)
<b>CANOPY</b>	Max Storage (mm)	Initial Storage (%)	Almacenaje máximo, Almacenaje inicial	0.001 - 1500
<b>SURFACE</b>	Max Storage (mm)	Initial Storage (%)	Almacenaje máximo, Almacenaje inicial	0.001 - 1500
<b>LOSS</b>	Max infiltration (mm/hr)	Soil (%)	Infiltración máxima, Suelo	0.01 - 500
	Impervious (%)	Groundwater 1 (%)	Zonas impermeables, agua subterránea 1	0 - 100
	Soil Storage (mm)		Almacenaje del suelo	0.01 - 1500
	Tension Storage (mm)		Almacenaje en zona de tensión	0.01 - 1500
	Soil Percolation (mm/hr)		Percolación del suelo	0.01 - 500
	GW 1 Storage (m)		Almacenaje en agua subterránea 1	0.01 - 1500
	GW 1 Percolation (mm/hr)		Percolación en agua subterránea 1	0.01 - 500
	GW 1 Coefficient (hr)		Coefficiente en agua subterránea 1	0.01 - 10000
	Time of Concentration (hr)		Tiempo de concentración	0.0167 - 1000
	Storage Coefficient (hr)		Coefficiente de almacenaje	0.01 - 1000
<b>BASEFLOW</b>	GW 1 Storage Coefficient (hr)	GW 1 Initial (%)	Coefficiente de almacenaje en agua subterránea 1, Cantidad inicial en agua subterránea 1	0.01 - 10000

Tabla 3 Parámetros del SMA.[55]

Para la simulación de nuestro programa se tomara los datos relacionados a nuestras muestra de suelo o en base a la tabla 3 para ir complementando en cada espacio correspondiente y donde se vera el volumen del almacenamiento correspondiente, se tiene que Realizar una recolección meticulosa y precisa de datos morfométricos de la microcuenca. Esto implica la recopilación de datos. del cauce principal,entre otras Además, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) , datos de precipitacion con ayuda del satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM 3B42 V7) y utilizar el método Soil Moisture Accounting (SMA)

para el flujo que entra, sale y entre los volúmenes de almacenamiento. Una vez recopilados y los datos e información, se puede ir a correr el modelado en HEC-RAS. Esto implica la importación de los datos de precipitaciones. Luego, se ingresan los datos que tenemos en la tabla 3. Debemos tener en cuenta los datos a ingresar son los resultados de nuestras muestras. Finalmente, se realiza el análisis del volumen de almacenamiento, observando y evaluando el almacenamiento de volumen. Este enfoque minucioso permite obtener resultados que, aunque no sean precisos, son importante administración y organización de acciones preventivas frente a inundaciones en la subcuenca del río Quindigua.

## **5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1. Resultados**

El análisis que se presentan a continuación son el producto de una investigación, en esta sección se presenta el análisis y la discusión de los resultados obtenidos a través del proyecto de investigación sobre el impacto de los parámetros hidráulicos del suelo en el modelo hidrológico de la microcuenca del río Quindigua, en la provincia de Cotopaxi. El análisis se basará en los datos recolectados durante el proceso de indagación, que incluyen, parámetros hidráulicos, análisis de laboratorio y simulaciones de modelos hidrológicos.

### 5.1.1 Área y caracterización morfológica de la microcuenca

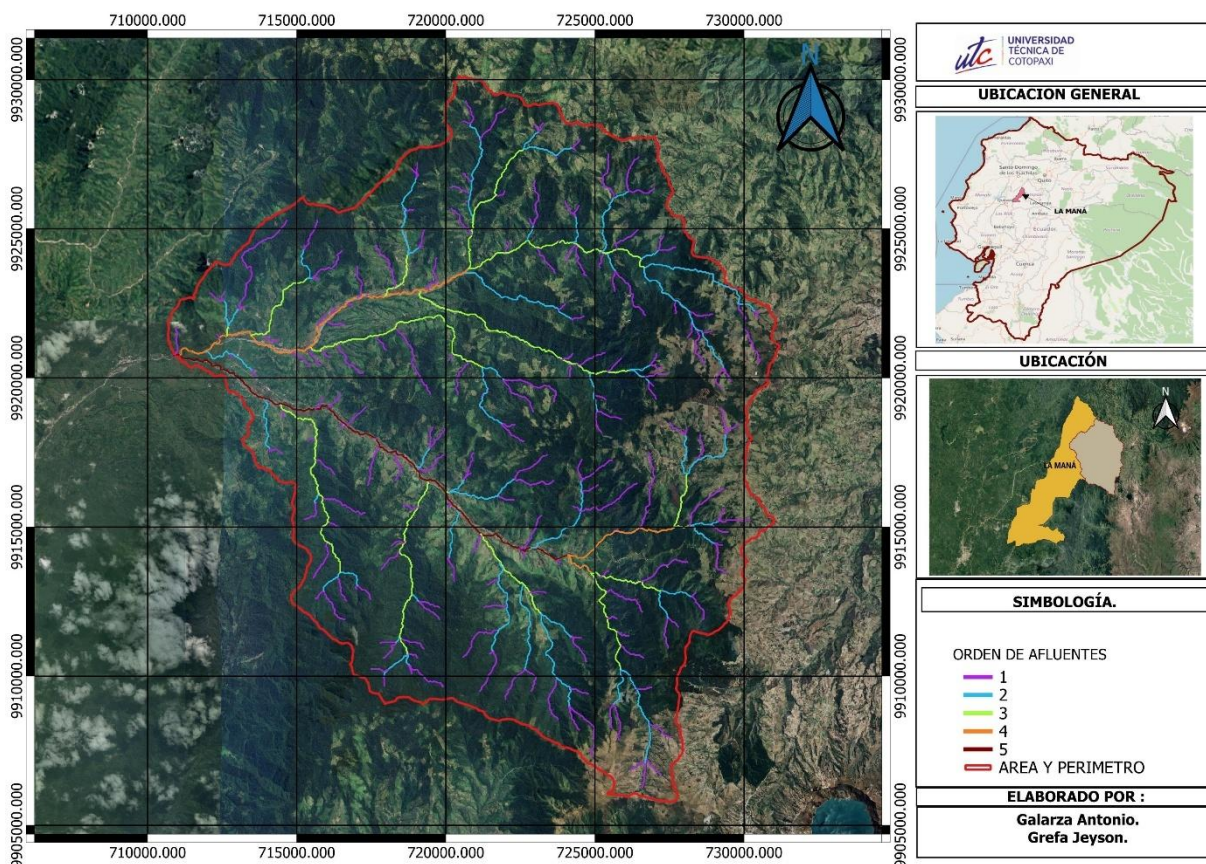


Figura 9 Morfología de la Microcuenca

**Elaborado por:** Galarza Antonio y Grefa Jeyson

En la **Figura.9**. El mapa físico de la microcuenca del Río Quindigua, esta abarcando un área de 300,57 km<sup>2</sup>, por lo tanto, Se estableció que la microcuenca es pequeña dado que está ubicada dentro del rango permitido. de 250 – 500 km<sup>2</sup>, su perímetro es de 85,53 km y una longitud del cauce principal de 17,81 km. Las coordenadas de inicio son (724096.29, 9914062.92) y cierre (710880.66 E, 9920747.69N)

#### 5.1.1. Área de la micro cuenca.

La cuenca del río Quindigua está ubicada entre el cantón La Maná. Además, tal como se observa en la Figura 9. Su área es de 300,57 km<sup>2</sup>.

#### 5.1.2.Perímetro de la microcuenca

El perímetro de la microcuenca asciende a 83,13 km, constituyendo de este modo la longitud total de los límites externos de la cuenca.

### **5.1.3 Cota máxima y mínima de la microcuenca**

La cota máxima alcanza los 3963,89 metros sobre el nivel del mar, mientras que la cota mínima es de 712 metros sobre el nivel del mar, proporcionando información sobre la variación altimétrica dentro de la cuenca.

### **5.1.4. Cota máxima y mínima del Cauce Principal.**

La cota máxima del cauce principal llega a 1936 msnm, en tanto que la cota más baja es de 712 msnm, proporcionando datos acerca de la variación altimétrica en la cuenca.

### **5.1.5. Longitud del Cauce Principal.**

La longitud del cauce principal que es el río quindiana es de 17,81 km.

### **5.1.6. Pendiente de la microcuenca.**

La inclinación promedio del cauce principal es de 0,18 m/m, lo que ofrece datos precisos acerca de la pendiente particular del lecho del río principal. Este valor se determinó empleando la fórmula de cálculo. ecuación (1).

$$J = \frac{3965,89 \text{ msnm} - 712\text{msnm}}{17,81 \text{ km}} = 0,18 \text{ m/m}$$

### **5.1.7. Longitud axial (La)**

La longitud axial del río Quindigua es de 22,46 km, ya que el río atraviesa diversas áreas.

### **5.1.8. Número de orden (No)**

Al modelar la microcuenca en QGIS, se consiguió determinar el número de orden, dio resultado con una red hídrica de 5 orden en la microcuenca. La figura 9 muestra con precisión cómo se distribuye la red de agua del aportante a la microcuenca del Río Quindigua.

### **5.1.9. El Tiempo De Concentración**

Se determina como el tiempo necesario para que el agua se desplace desde el lugar más remoto de la cuenca hasta el punto de egreso. Para este cálculo del tiempo de concentración, se aplicó la ecuación 2 de Giandotti, obteniéndose un resultado de 3,43

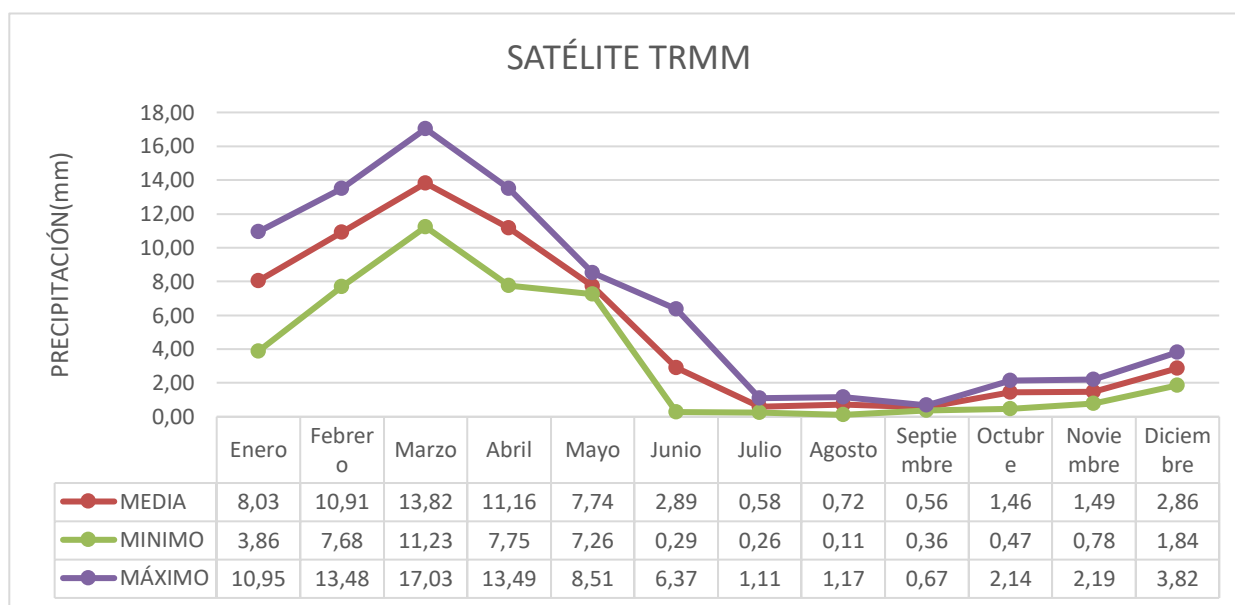
### 5.1.10. Tiempo De Retraso

El periodo de demora donde representa el lapso que comprende desde el inicio de la lluvia hasta que la lluvia máxima llega al punto de interés. Una demora de 2.058 horas, lo que se traduce en 123 minutos. Este valor se determinó empleando el método del cálculo de la ecuación (3).

### 5.2. Estudios de intensidades.

Se realiza una simulación continua, lo que permite obtener la totalidad del registro de lluvias mensuales del periodo 2017-2019 de la plataforma Giovanni del satélite TRMM 3B43 V7.

A partir de esto, esta plataforma se presenta como una opción para obtener datos estimados en zonas desprovistas de información y está diseñada para monitorear y examinar las precipitaciones en zonas tropicales y subtropicales. Además, los datos son vistos como imprecisos, por lo que el uso de estos datos puede afectar los resultados, ya que son proyecciones de las precipitaciones basadas en imágenes satelitales.



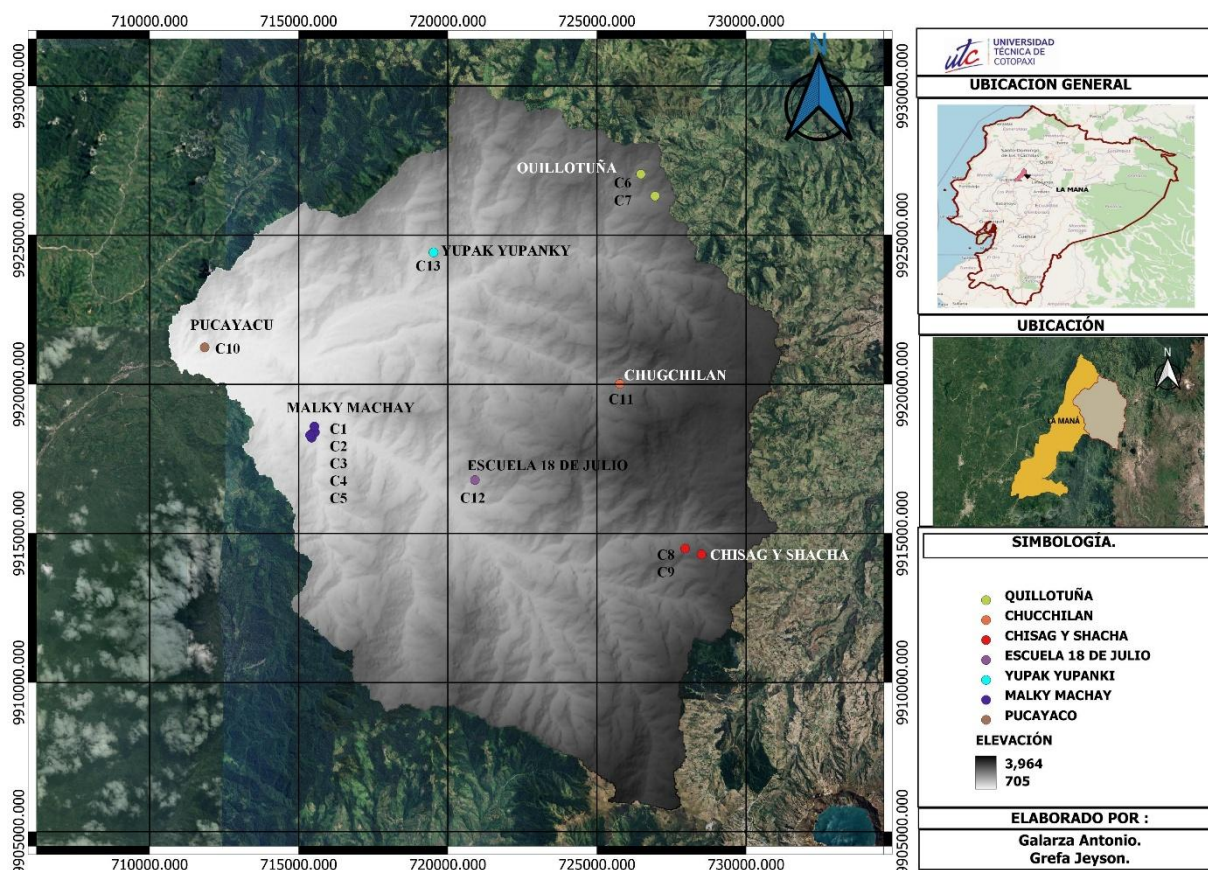
**Elaborado por:** Galarza Antonio y Grefa Jeyson

Figura 10 Intensidades

### 5.3 Ubicación de Calicatas

La selección de los sitios para la excavación de calicatas en la microcuenca del río Quindigua se pueden ver en la figura 11 donde se realizó de manera técnicas, con el objetivo de obtener datos representativos de las características del suelo. Las calicatas fueron ubicadas en puntos estratégicos, considerando factores como la topografía, la vegetación y el uso del suelo en la zona.

## UBICACIÓN DE LAS CALICATAS EN DIFERENTES AREAS DE LA MICROCUENCA



### 5.3.1. Selección de la zona para las calicatas

**Paisaje:** Se llevaron a cabo calicatas en las siguientes ubicaciones específicas para obtener perfiles detallados del suelo: en la parte alta de Chugchilan , chisag shacha ,quinllotuña , en la zona media escuela 18 de julio, yupak yupanki en la parte baja Malky Machai, pucayaco. Estas calicatas permitieron la recolección de muestras de suelo en diferentes estratos, facilitando el análisis de sus características físicas y hidráulicas

**Dimensiones de la calicatas :** 1.m de ancho , 150 de largo y 150 de profundidad donde se puede observar en los anexos 5-6-7

**Accesibilidad:** Se priorizaron ubicaciones con facilidad de acceso para la excavación y muestreo, minimizando el impacto en la vegetación y las actividades de la comunidad.

**Distribución geográfica:** Las calicatas se distribuyeron de manera específica a lo largo de la microcuenca tomando diferentes tanto parte alta media y baja.

Durante la investigación en la microcuenca del río Quindigua, se realizaron excavaciones de calicatas que permitieron la extracción y análisis de cuatro horizontes de suelo. Estos horizontes, que representan distintos del perfil, fueron examinados en detalle para comprender mejor su composición, estructura y propiedades hidráulicas.

### 5.3.2. Coordenadas de las Calicatas

Las coordenadas geográficas de cada calicata fueron registradas utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS), con el fin de facilitar su ubicación y seguimiento en futuras investigaciones. A continuación, se detallan las coordenadas en la Tabla 4.

<b>MALKI MACHAY</b>					
<b>ZONA 17 UTM</b>					
<b>N°</b>	<b>Código</b>	<b>Sector</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Altura</b>
<b>1</b>	C-1	Corral 1	715454	9918356	1025
<b>2</b>	C-2	Frutales	715546	9918393	1008
<b>3</b>	C-3	Corral 2	715432	9918211	1038
<b>4</b>	C-4	Corral 3	715379	9918299	1032
<b>5</b>	C-5	Biodigestor	715526	9918590	993
<b>QUILLOTUÑA</b>					
<b>6</b>	C-6	Hacienda	728924	9917124	3383
<b>7</b>	C-7	Potrero	728636	9913959	3251
<b>CHISAG SHACHA</b>					
<b>8</b>	C-8	Chisa	727959	9914495	3010
<b>9</b>	C-9	Por la Casa De Cepeda	728511	9914299	3212
<b>PUCAYACU</b>					
<b>10</b>	C10	Casa del señor Vera	711846	9921242	885
<b>CHUCCHILAN</b>					
<b>11</b>	C11	lote	725766	9920017	2604
<b>18 DE JULIO( la comunidad)</b>					
<b>12</b>	C12	Escuela	720908	9916792	1755
<b>YUPAK YUPANKI</b>					
<b>13</b>	C13	Escuela	719520	9924426	1568

Tabla 4 Coordenadas De Las Calicatas  
Elaborado por: Galarza Antonio y Grefa Jeyson

### 5.4. Comparación de textura.

La comparación de la textura del suelo se hizo con la ayuda de 6 calicatas por que no hubo mucho presupuesto, entre los diferentes horizontes extraídos de las 6 calicatas de la microcuenca del río

Quindigua reveló variaciones significativas en la composición donde se pudo ver en la **figura 7** el paso a paso de cómo realizar la clasificación de textura.

### **Calicata 1**

#### **Horizonte 1: Limo Arenoso**

Este horizonte de suelo, caracterizado por una mayor presencia de limo mezclado con una cantidad significativa de arena, es crucial para el manejo del agua y el soporte de la vegetación. La combinación de limo y arena crea una textura intermedia, conocida como limo arenoso, que ofrece un balance entre la retención de agua y la infiltración. Según datos del MAGP, el limo arenoso posee propiedades que permiten un equilibrio eficiente: el limo contribuye a una mayor capacidad de retención de agua, lo que es vital para el suministro de humedad a las plantas durante periodos de sequía. Por otro lado, la arena aumenta la porosidad del suelo, lo que posibilita un drenaje más rápido.

#### **Horizonte 2: Arena Limosa**

El siguiente horizonte está compuesto principalmente por arena con una mezcla significativa de limo. Con respecto a su proporción, este horizonte es más puntilloso, con una mayor proporción de partículas de arena que el primero que tiene una textura más pareja y una capacidad de drenaje aún más rápida. No obstante, debido al limo que lo impregna, engaña la condición de tener la capacidad de retención del agua, aunque sea menor que el horizonte uno. La infiltración del agua es rápida en este horizonte, pero, al mismo tiempo, tiene una propiedad de retención limitada, lo que puede aumentar posiblemente la posibilidad de deshidratación por seca dentro de un período prolongado de tiempo.

#### **Horizonte 3: Arena Mal Graduada**

En cuanto al horizonte en cuestión se encuentra con un gran porcentaje de partículas arenales, aunque la distribución granulométrica no es muy bien graduada no es decir, las partículas de playa no están distribuidas uniformemente por tamaño. El suelo es de cohesión baja y permeabilidad muy alta, lo cual indica que el agua se desliza a gran velocidad a través de este horizonte, lo que implica muy poca retención del agua. Este horizonte es crítico en la determinación de la velocidad de escorrentía y en la capacidad del suelo para recargar los acuíferos más profundos. Sin embargo, su baja capacidad de retención podría limitar su utilidad en el soporte de vegetación que necesita acceso constante al agua.

#### **Horizonte 4: Limo Arenoso**

El horizonte final presentar una textura de limo arenoso, similar al primer horizonte, con una mezcla equilibrada de limo y arena. Este horizonte, al estar más profundo, podría desempeñar un papel clave en la retención de agua a largo plazo, funcionando como una reserva hídrica subterránea. Su estructura permite una moderada infiltración de agua y proporciona una retención adecuada, lo que es esencial para mantener el equilibrio hídrico de la cuenca en períodos prolongados de sequía o cuando la demanda de agua por la vegetación es alta.

##### **5.4.1. Mapa De Textura Del Suelo**

Como se puede ver en la **Figura 12** se puede observar, la mayor parte del área está compuesta por suelos franco, que son equilibrados en la proporción de arena, limo y arcilla. Este tipo de suelo es ideal para la agricultura, ya que retiene bien la humedad y tiene buena aireación. También una pequeña parte del área está clasificada como franco limoso, lo que indica una mayor proporción de limo en comparación con la arena y la arcilla. Este tipo de suelo también es fértil, pero puede tener una mayor retención de agua.

Los resultados obtenidos a partir de las calicatas realizadas en el campo coinciden con el mapa del MAGP. La identificación de los cuatro horizontes del suelo—limo arenoso, arena limosa, arena mal graduada y limo arenoso—proporcionan una visión detallada y coherente de la estructura y composición del suelo en la microcuenca. Las texturas observadas a lo largo de las diferentes profundidades indica que los procesos pedogenéticos han seguidos patrones predecibles en esta región, lo que refuerza la validez de los datos obtenidos

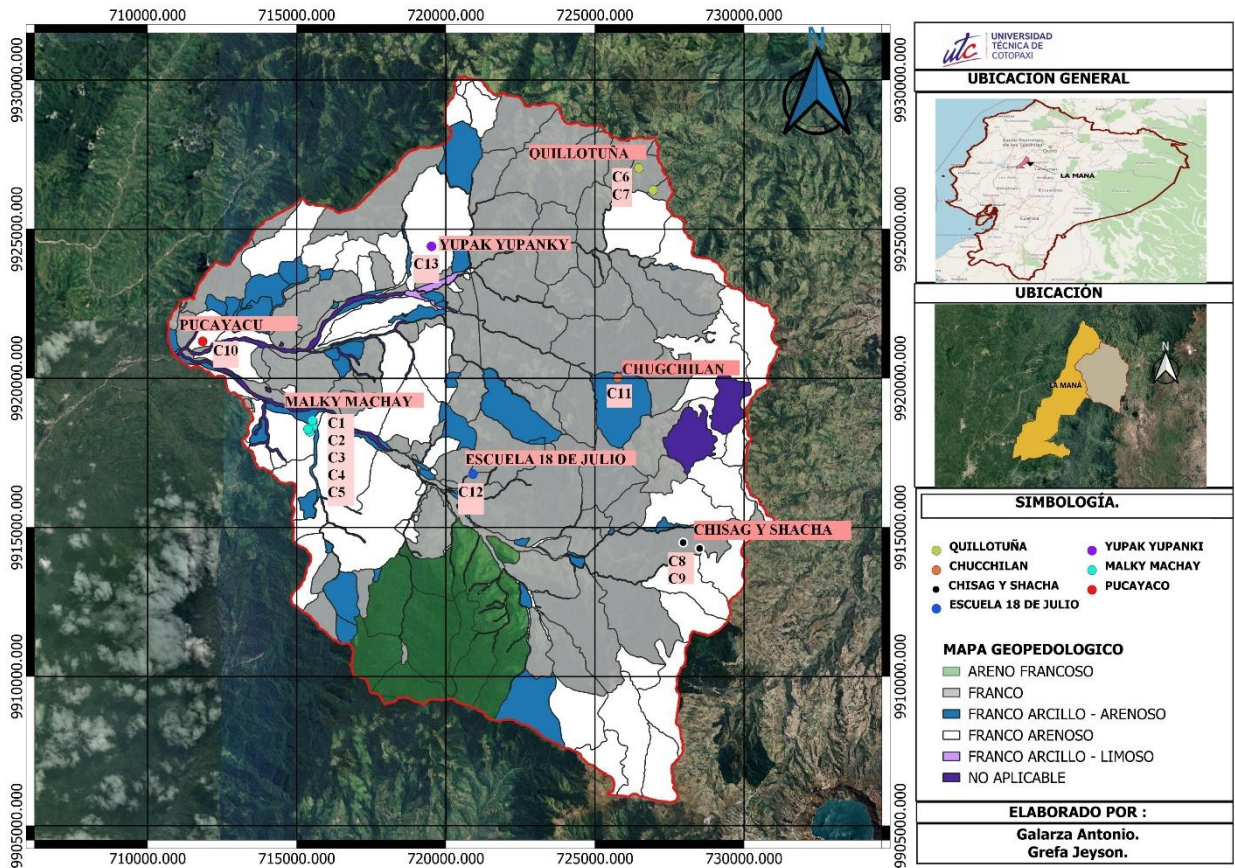


Figura 12 Textura de toda la Microcuenca

Elaborado por: Galarza Antonio y Grefa Jeyson

#### 5.4.2. Espesor de textura de la profundidad del suelo de los 20 cm

En la Área de estudios, a una profundidad de 20 cm, los Andisoles, que son suelos volcánicos, tienden a tener una textura característica que puede incluir un alto contenido de limo y arcilla, dependiendo de la ubicación específica dentro de la cuenca como se puede observar en la figura 13.

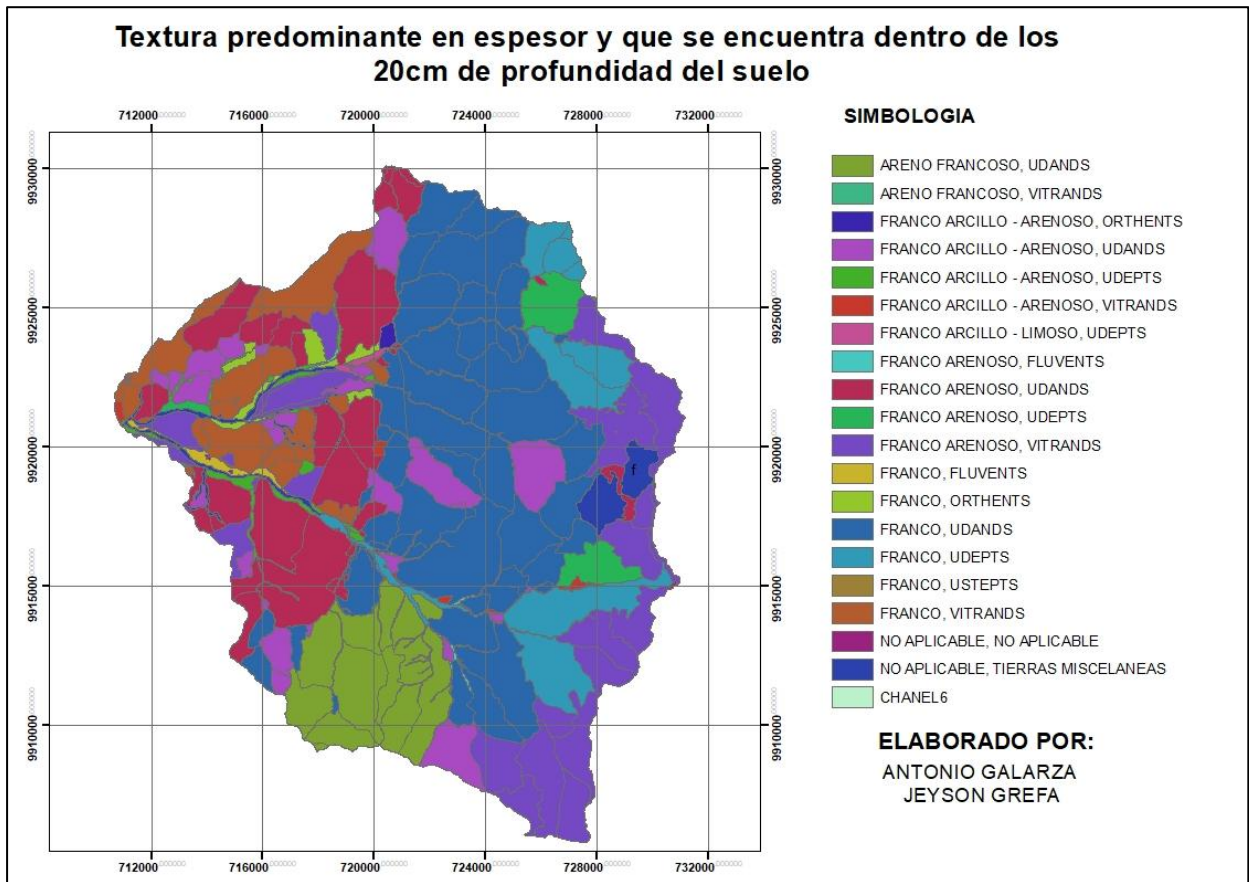


Figura 13 Mapa de Textura 20cm de Profundidad.  
**Elaborado por:** Galarza Antonio y Grefa Jeyson

#### 5.4.3. Espesor de textura del subsuelo de 20 a 50cm

En la figura 14 se puede observar el espesor de la textura del subsuelo en el intervalo de 20 a 50 cm de profundidad es fundamental para entender las propiedades físicas y químicas del suelo a mayor profundidad. Esta capa del subsuelo afecta significativamente la dinámica del agua, la disponibilidad de nutrientes, y el crecimiento de raíces más profundas.

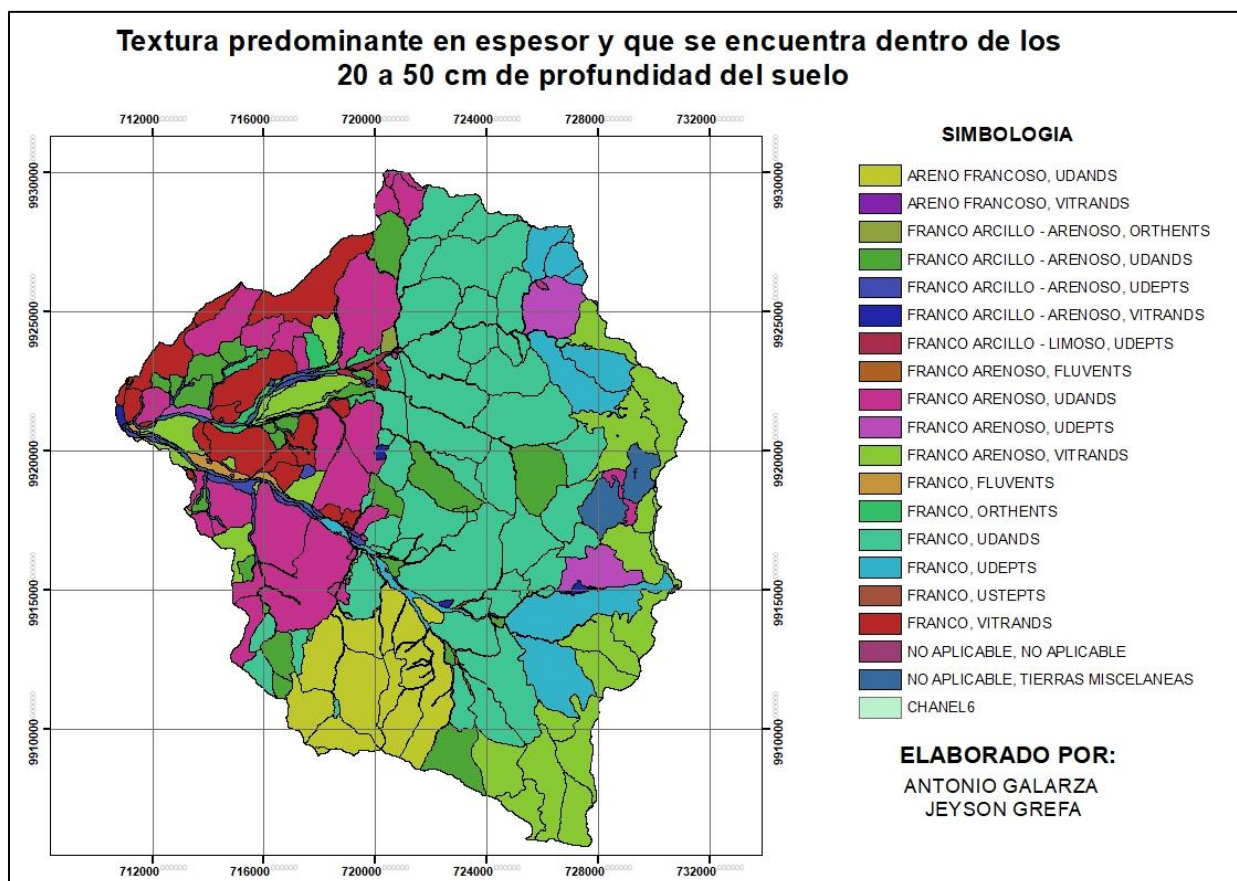


Figura 14 Mapa de textura y espesor de 20 a 50cm

**Elaborado por:** Galarza Antonio y Grefa Jeyson

### 5.5.Descripción del Mapa Geopedológicos

Como se puede observar en la **Figura 15**. La gran mayoría de la microcuenca está formada Andisoles, estos suelos son predominantemente volcánicos y ricos en materia orgánica o nutriente. como se ve en la parte alta de la microcuenca está formada por andisoles Vitrandes estos suelos tienen características de retención de humedad y son altamente fértiles, en la parte más baja está conformada con Andisoles Udands donde estos suelos tienden a tener diferentes características de drenaje y fertilidad.

Dado el punto de vista hidrológico de los Andisoles Vitrandes, con su alta capacidad de retención de agua, actúan como un amortiguador natural durante eventos de precipitación, reduciendo la escorrentía superficial y promoviendo la infiltración del agua en el suelo. Esto no solo ayuda a mantener un flujo constante en los cuerpos de agua durante los períodos secos, sino que también disminuye el riesgo de erosión y deslizamientos de tierra en las pendientes.

Por otro lado, los Andisoles Udands, debido a sus características de drenaje variable, podrían presentar zonas con escorrentía más rápida o áreas donde el agua se infiltra lentamente. Esto puede

afectar la recarga de acuíferos y la disponibilidad de agua para la vegetación en épocas de sequía.

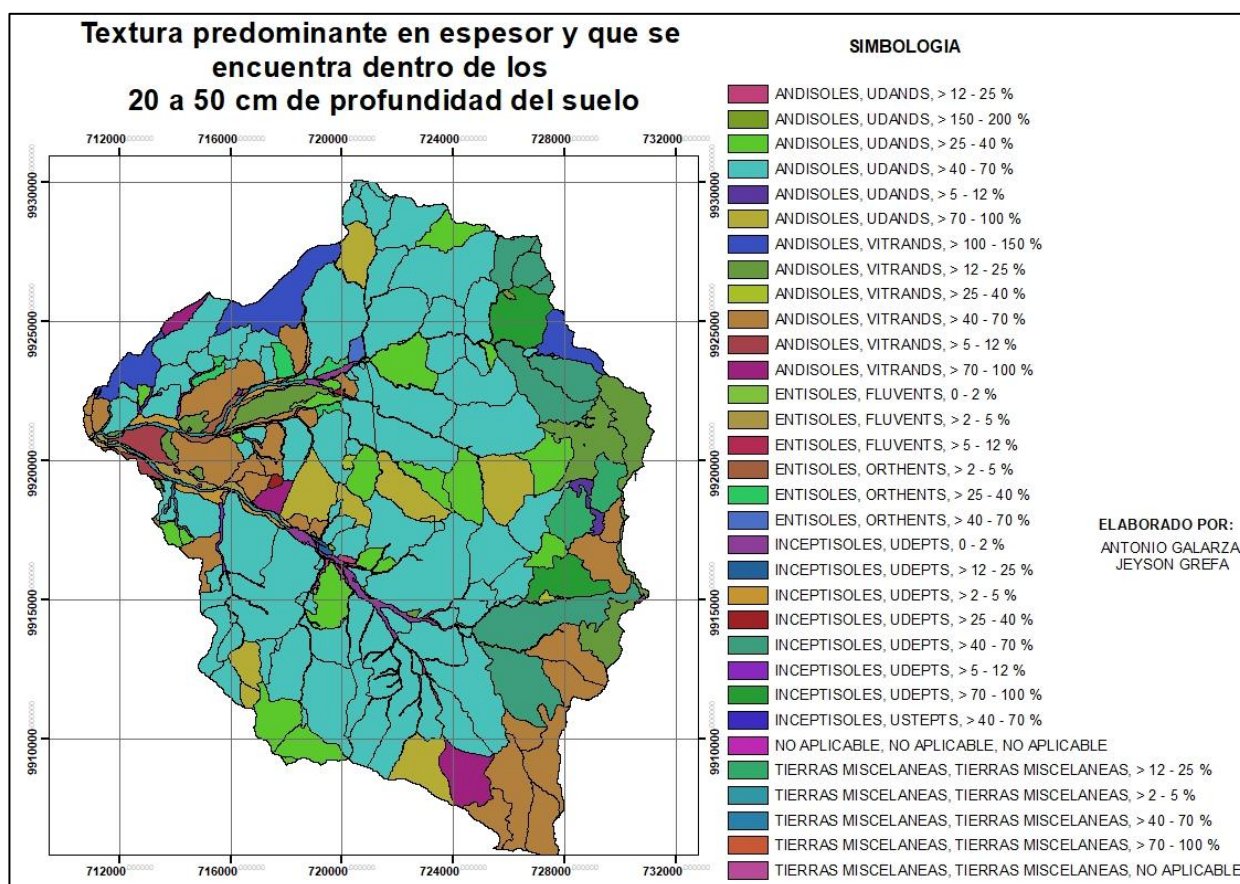


Figura 15 Mapa Geopedológicos  
Elaborado por: Galarza Antonio y Grefa Jeyson

### 5.5. Resultado de ecuaciones de pedotransferencia

Las funciones de Pedotransferencia (PTF) se han utilizado como opciones viables para estimar los parámetros críticos del suelo necesarios para el modelado hidrológico por ello se muestran todos los resultados de las ecuaciones utilizadas en esta investigación como se puede observar en los anexos 19 y 20 para cada una de las calicatas respectivamente. De las cuales solo se tomaron las ecuaciones que se aproximan a los valores normales de los parámetros hidráulicos con la comparación de papers para sacar tres parámetros en los cuales son: conductividad hidráulica, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y contenido de carbono orgánico como se muestra en las Tablas 5 y 6.

CALICATA N°1					
Conductividad hidráulica saturada (cm h <sup>-1</sup> )					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4

Cosby	$K_S = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	14.653	52.353	108.378	15.759
Puckett	$K_S = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	0.564	17.877	128.830	0.687
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	1.375	5.122	10.554	1.554
<b>PROMEDIO</b>		<b>5.531</b>	<b>25.117</b>	<b>82.587</b>	<b>6.000</b>
<b>Contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
Lal	$\theta_{33} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.179	0.109	0.069	0.175
Dijker man	$\theta_{33} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.219	0.097	0.027	0.212
<b>PROMEDIO</b>		<b>0.199</b>	<b>0.103</b>	<b>0.048</b>	<b>0.194</b>
<b>Contenido de humedad a 1 500 kPa, punto de marchitez permanente (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>					
Aina and Periaswamy	$\theta_{1500} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.119	0.050	0.011	0.115
Rawls et al.	$\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.090	0.036	0.005	0.087
Pidgeon	$\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.092	0.039	0.009	0.089
<b>PROMEDIO</b>		<b>0.100</b>	<b>0.042</b>	<b>0.008</b>	<b>0.097</b>
<b>Contenido de carbono orgánico (%)</b>					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta_{33} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	61.877	91.160	77.810	59.813
Dijker man	$OC = \frac{\theta_{1500} + 0.0419 - 0.0019 * Si - 0.0039 * Cl}{0.009}$	6.289	10.900	6.233	4.711
<b>PROMEDIO</b>		<b>34.083</b>	<b>51.030</b>	<b>42.022</b>	<b>32.262</b>

Tabla 5 Resultado De Calicata 1

CALICATA N°2					
Conductividad hidráulica saturada (cm h <sup>-1</sup> )					
Autor	Ecuación	Horizonte			
		H1	H2	H3	H4
Cosby	$K_s = 25.5 * 10^{(-0.6+0.0126*Sa-0.0064*Cl)}$	12.669	46.940	105.279	15.759
Puckett	$K_s = 156.96 * e^{(-0.1975*Cl)}$	0.380	13.293	128.830	0.687
Cosby et al	$K_{sat} = 2.54 * 10^{(-0.6+0.0126*SA-0.0064*CL)}$	1.196	4.596	10.255	1.554
PROMEDIO		4.75	21.61	81.45	6.00
Contenido de humedad a 33 kPa, capacidad de campo (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )					
Lal	$\theta_{33} = 0.065 + 0.004 * Cl$	0.187	0.115	0.069	0.175
Dijker man	$\theta_{33} = 0.3697 - 0.0035 * Sa$	0.233	0.107	0.030	0.212
PROMEDIO		0.21	0.11	0.05	0.19
Contenido de humedad a 1 500 kPa, punto de marchitez permanente (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )					
Aina and Periaswamy	$\theta_{1500} = 0.0074 + 0.0039 * Cl$	0.126	0.056	0.011	0.115
Rawls et al.	$\theta_{1500} = 0.00213 + 0.0031 * Cl$	0.097	0.041	0.005	0.087
Pidgeon	$\theta_{1500} = 0.006 + 0.003 * Cl$	0.098	0.044	0.009	0.089
PROMEDIO		0.11	0.05	0.01	0.10
Contenido de carbono orgánico (%)					
Pidgeon	$OC = \frac{\theta_{33} * 95 - 3.61 - 0.16 * Si - 0.3 * Cl}{3}$	70.437	89.030	71.793	61.397
Dijker man	$OC = \frac{\theta_{1500} + 0.0419 - 0.0019 * Si - 0.0039 * Cl}{0.009}$	6.111	7.711	6.122	4.711

PROMEDIO	38.27	48.37	38.96	33.05
----------	-------	-------	-------	-------

Tabla 6 Resultado De Calicata 2

A continuación, se presentan los valores de los tres parámetros calculados con las Ecuaciones de Pedotransferencia a partir de los datos obtenidos in situ. Las cuales está promediadas por cada número de las calicatas realiza en campo. Como se puede observar en la Tabla 7.

<b>Funciones de pedotransferencia (PTF) estudiadas para estimar el contenido de humedad del suelo y la conductividad hidráulica saturada con Datos in situ (Laboratio:PUCE-SALACHE-INIAP)</b>					
RESUMEN DE RESULTADOS:					
HORIZONTE:	1	2	3	4	5
<b>Ks = Conductividad hidráulica (cm/hr)</b>					
Calicata 1	7,6087	35,1147	118,6037	8,2233	N.A
Calicata 2	6,5244	30,1164	117,0541	8,2233	N.A
Calicata 3	32,8724	44,4740	71,1735	87,4254	N.A
Calicata 4	23,0270	40,2321	59,3047	N.A	N.A
Calicata 5	25,3347	37,2371	69,1691	48,3680	93,9958
Calicata 6	16,3846	58,5181	87,4254	19,8249	N.A
Promedio	18,6253	40,9487	87,1218	34,4130	93,9958
<b>Ksat = Conductividad hidráulica saturada (cm/hr)</b>					
Calicata 1	1,3754	4,6820	9,4283	1,4751	N.A
Calicata 2	1,1957	4,2154	9,1714	1,4751	N.A
Calicata 3	3,0594	3,7191	6,2985	6,1381	N.A
Calicata 4	2,2534	2,9815	4,2779	N.A	N.A
Calicata 5	2,6597	3,8162	5,9598	4,3897	7,2449
Calicata 6	2,1244	6,1155	6,1381	2,3122	N.A
Promedio	2,1113	4,2549	6,8790	3,1581	7,2449
<b>Q33 = Capacidad de campo (g/g)</b>					
Calicata 1	0,1991	0,1029	0,0479	0,1936	N.A
Calicata 2	0,2101	0,1111	0,0496	0,1936	N.A
Calicata 3	0,1266	0,1121	0,0766	0,0761	N.A
Calicata 4	0,1481	0,1261	0,1011	N.A	N.A
Calicata 5	0,1376	0,1126	0,0801	0,1016	0,0656
Calicata 6	0,1561	0,0806	0,0761	0,1486	N.A
Promedio	0,1629	0,1076	0,0719	0,1427	0,0656
<b>Q1500=Punto de marchitez permanente (cm3/cm3)</b>					
Calicata 1	0,1002	0,0418	0,0085	0,0968	N.A
Calicata 2	0,1068	0,0468	0,0085	0,0968	N.A
Calicata 3	0,0318	0,0252	0,0185	0,0118	N.A
Calicata 4	0,0385	0,0252	0,0185	N.A	N.A

Calicata 5	0,0385	0,0318	0,0185	0,0252	0,0118
Calicata 6	0,0518	0,0252	0,0118	0,0452	N.A
Promedio	0,0613	0,0327	0,0141	0,0552	0,0118
<b>OC = Contenido de carbono orgánico (%)</b>					
Calicata 1	0,7315	0,3669	0,1586	0,7107	N.A
Calicata 2	0,7732	0,3982	0,2140	0,7107	N.A
Calicata 3	0,3523	0,3065	0,2357	0,2065	N.A
Calicata 4	0,4065	0,3232	0,2648	N.A	N.A
Calicata 5	0,3940	0,3357	0,2398	0,2940	0,1940
Calicata 6	0,4732	0,2690	0,2065	0,4357	N.A
Promedio	0,5218	0,3332	0,2199	0,4715	0,1940

Tabla 7 Funciones de pedotransferencia con datos del laboratorio SALACHE – PUCE-INIAP

Para organizar y presentar los datos de manera clara y coherente, se estructurará la información en tablas. Así pues, se presentan los valores de los tres parámetros calculados con las Ecuaciones de Pedotransferencia a partir de los datos obtenidos por el MAGAP. Las cuales están promediadas con el valor de cada una de calicatas encontradas los anexos 21 a 45.

<b>Funciones de pedotransferencia (PTF) estudiadas para estimar el contenido de humedad del suelo y la conductividad hidráulica saturada con Datos MAGAP</b>				
<b>RESUMEN DE RESULTADOS:</b>				
<b>HORIZONTE:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Ks = Conductividad hidráulica (cm/hr)</b>				
Calicata 1	13,3285	19,9902	N.A	N.A
Calicata 2	10,4237	N.A	N.A	N.A
Calicata 3	5,9965	N.A	N.A	N.A
Calicata 4	13,8553	N.A	N.A	N.A
Calicata 5	11,5099	N.A	N.A	N.A
Calicata 6	17,1476	15,0968	26,5624	N.A
Calicata 7	15,7885	17,4846	19,2992	N.A
Calicata 8	14,5877	9,8876	14,8509	N.A
Promedio	12,8297	15,6148	20,2375	N.A
<b>Ksat = Conductividad hidráulica saturada (cm/hr)</b>				
Calicata 1	2,0555	2,0597	N.A	N.A
Calicata 2	1,6525	N.A	N.A	N.A
Calicata 3	0,8514	N.A	N.A	N.A
Calicata 4	2,2594	N.A	N.A	N.A
Calicata 5	1,8456	N.A	N.A	N.A
Calicata 6	2,2100	2,1458	2,7669	N.A
Calicata 7	2,2677	2,6476	2,3311	N.A

Calicata 8	2,3877	1,7076	2,1024	N.A
Promedio	1,9412	2,1402	2,4001	NA
<b>Q33 = Capacidad de campo (g/g)</b>				
Calicata 1	0,1625	0,1549	N.A	N.A
Calicata 2	0,1781	N.A	N.A	N.A
Calicata 3	0,2201	N.A	N.A	N.A
Calicata 4	0,1583	N.A	N.A	N.A
Calicata 5	0,1711	N.A	N.A	N.A
Calicata 6	0,1533	0,1573	0,1348	N.A
Calicata 7	0,1538	0,1448	0,1486	N.A
Calicata 8	0,1548	0,1803	0,1586	N.A
Promedio	0,1690	0,1593	0,1473	N.A
<b>Q1500=Punto de marchitez permanente (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</b>				
Calicata 1	0,0652	0,0418	N.A	N.A
Calicata 2	0,0709	N.A	N.A	N.A
Calicata 3	0,0709	N.A	N.A	N.A
Calicata 4	0,0709	N.A	N.A	N.A
Calicata 5	0,0709	N.A	N.A	N.A
Calicata 6	0,0509	0,0576	0,0376	N.A
Calicata 7	0,0576	0,0600	0,0467	N.A
Calicata 8	0,0709	0,0842	0,0576	N.A
Promedio	0,0660	0,0609	0,0473	N.A
<b>OC = Contenido de carbono orgánico (%)</b>				
Calicata 1	0,5379	0,8939	N.A	N.A
Calicata 2	0,5811	N.A	N.A	N.A
Calicata 3	0,6311	N.A	N.A	N.A
Calicata 4	0,5575	N.A	N.A	N.A
Calicata 5	0,5728	N.A	N.A	N.A
Calicata 6	0,4658	0,4992	0,3867	N.A
Calicata 7	0,4950	0,4948	0,4422	N.A
Calicata 8	0,5533	0,6408	0,5007	N.A
Promedio	0,5493	0,6322	0,4432	N.A

Tabla 8 Funciones de pedotransferencia con datos del MAGAP

Estas tablas permiten una comparación clara entre los diferentes parámetros medidos en cada horizonte de suelo, facilitando el análisis de las funciones de pedotransferencia (PTF) las cuales se ingresaron el software HEC-HMS respectivamente.

#### 5.5.1. Textura del suelo reportado por laboratorio e Institución pública.

A continuación, se presentan las texturas determinadas por el laboratorio como también determinadas en campo, las cuales se pueden observar en la Tabla 9.

<b>CLASIFICACION SUCS: ML</b>			
<b>MALKI MACHAY</b>			
C-1			
<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>	<b>H4</b>
Limo arenoso	Arena limosa	Arena mal graduada	Limo arenoso
C-2			
Limo arenoso	Arena limosa	Arena mal graduada	Limo arenoso
<b>QUILLOTUÑA</b>			
C-6			
Arena limosa	arenoso	arcilla limosa	Limo arenoso
C-7			
Arena limosa	franco arcilloso	arenoso	Limo arenoso
<b>SIGTIERRA</b>			
<b>MALKI MACHAY</b>			
C-1			
<b>H1</b>	<b>H2</b>	<b>H3</b>	<b>H4</b>
Franco arenoso	Franco arcilloso	N.A	N.A
C-2			
franco arenoso	Franco arcilloso	N.A	N.A
<b>QUILLOTUÑA</b>			
C-6			
Franco arenoso	Franco arenoso	N.A	N.A
C-7			
Franco arenoso	Franco arenoso	N.A	N.A
<b>PUCAYACU</b>			
C8			
Franco arenoso	Franco arenoso	N.A	N.A
<b>CHUCCHILAN</b>			
C9			
Franco arenoso	N.A	N.A	N.A
<b>18 DE JULIO( La comunidad)</b>			
C10			
Franco arcilloso	N.A	N.A	N.A
<b>YUPAK YUPANKI</b>			
C11			
Limo arenoso	Arena limosa	Arena mal graduada	Limo arenoso

Tabla 9 Clasificación Sucs laboratorio y SigTierra.

Es importante mencionar que para la prueba de textura del sector Quillotuña y Chisag shacha se realizó según el procedimiento determinado por la USDA-NRCS. Este método proporciona una idea general, pero no ofrece una información tan precisa como la obtenida en el laboratorio.

## **5.6. Modelamiento en HEC-HMS**

En la simulación se usó la herramienta Hydrologic Engineering Center (HEC HMS), con el método (SMA) para determinar el volumen de almacenamiento. En esta investigación se lleva a cabo una simulación continua, para un periodo de calibración de 3 años. (2017-2018-2019).

Para representar todo el modelo se requieren 14 parámetros, la cual también muestra el rango de variación de los parámetros, se pondrá datos que refleja en la Figura 18. Teniendo en cuenta solo se va utilizar valores aproximados y estos valores de campo se obtienen mediante ecuaciones de Pedotransferencia.

### **5.6.1. Cálculos Previos.**

Para este estudio es necesario definir parámetros importantes para realizar el modelo. Se inicia, agregando el punto donde está nuestra cuenca en el HEC-HMS y se establecen las condiciones iniciales del sistema, priorizando el método seleccionado para la simulación. Soil Moisture Accounting (SMA). Esto simula el movimiento y el almacenamiento de agua a través del perfil del suelo, así como de múltiples capas de agua subterránea. El método contempla la cuenca como estratos de almacenamientos interrelacionados, en los cuales se encuentra la interpretación de la precipitación, la acumulación de depresión superficial, la infiltración, la evapotranspiración y la circulación de aguas subterráneas. Los parámetros que se consideran en el cálculo de este método, son datos calculados o proveídos por el propio software de acuerdo al método, dando así inicio a las iteraciones hasta obtener el valor necesario.

Seguidamente, se detallan los datos tomados en cuenta en el modelo para la micro cuenca del río Quindigua.

Se comienza con la elección de las condiciones iniciales para calcular el almacenamiento de agua mediante el perfil del terreno. Previamente, se recolectaron datos de la cuenca, incluyendo el área de contribución de 300,57 km<sup>2</sup> a través de la herramienta QGIS. Se opta por el método de Soil Moisture Accounting (SMA) para el estudio. El modelo (SCS) se fundamenta en promedios de UH obtenidos de la lluvia y la escorrentía registradas para una considerable cantidad de pequeñas. El modelo inicia con las precipitaciones desde diciembre 2017 a diciembre 2019 es decir se tomará 3 años.

<b>Basin Name:</b>	<b>Basin 1</b>
<b>Element Name:</b>	<b>Subbasin-1</b>
Description:	<input type="text"/>
Downstream:	--None--
*Area (KM2)	300,57
Latitude Degrees:	<input type="text"/>
Latitude Minutes:	<input type="text"/>
Latitude Seconds:	<input type="text"/>
Longitude Degrees:	<input type="text"/>
Longitude Minutes:	<input type="text"/>
Longitude Seconds:	<input type="text"/>
Canopy Method:	Simple Canopy
Surface Method:	Simple Surface
Loss Method:	Soil Moisture Accounting
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph
Baseflow Method:	Linear Reservoir

Figura 16 Método SMA

Fuente: Modelo HEC-HMS.

Para la selección de pérdidas en el suelo mediante el método de Soil Moisture Accounting (SMA), es imperativo tener en cuenta datos específicos del método empleado, tales como las precipitaciones para ver los picos de cada años y los almacenamiento superficial, coeficientes de almacenamientos. En el HEC-HMS existen rangos teóricos que se pueden considerar como datos iniciales para los parámetros seleccionados en la Tabla 3.

<b>Basin Name: Basin 1</b>	
<b>Element Name: Subbasin-1</b>	
*Soil (%)	100
*Groundwater 1 (%)	0,70
*Groundwater 2 (%)	0,90
*Max Infiltration (MM/HR)	150
*Impervious (%)	4
*Soil Storage (MM)	150
*Tension Storage (MM)	0,2
*Soil Percolation (MM/HR)	10
*GW 1 Storage (MM)	5
*GW 1 Percolation (MM/HR)	2
*GW 1 Coefficient (HR)	2500
*GW 2 Storage (MM)	33,5
*GW 2 Percolation (MM/HR)	0,2
*GW 2 Coefficient (HR)	100

Figura 17 Parámetros asignados del método de pérdidas SMA.

Fuente: Modelo HEC-HMS.

Canopy es la capacidad de almacenamiento específica se refiere al volumen de agua que puede acumularse en el dosel antes de que la lluvia comience a infiltrarse por la superficie del terreno. No se producirá caída a través del dosel hasta que el almacenamiento del dosel esté lleno. El dosel utilizará toda la evapotranspiración potencial hasta que se vacíe el almacenamiento, como se puede observar en la figura 18 nosotros ingresamos los siguiente valores.

<b>Basin Name: Basin 1</b>	
<b>Element Name: Subbasin-1</b>	
*Initial Storage (%)	50
*Max Storage (MM)	1
Crop Coefficient:	1,0
Evapotranspiration:	Only Dry Periods
Uptake Method:	--None--

Figura 18 Parámetros Canopy

Fuente: Modelo HEC-HMS

El método Surface como se observa en la figura 19 es una representación simple de la superficie del suelo. Toda la precipitación que llega a la superficie del suelo se guarda hasta que la capacidad de almacenaje superficial se agote. No obstante, el agua almacenada en este lugar puede penetrar en el suelo siempre que esté presente, incluso si la capacidad de almacenamiento no está

completamente llena.El almacenamiento superficial indica el volumen máximo de agua que puede acumularse en la superficie del terreno antes de que se inicie la escorrentía superficial. El volumen de almacenamiento se define como una profundidad de agua efectiva

<b>Basin Name: Basin 1</b>	
<b>Element Name: Subbasin-1</b>	
*Initial Storage (%)	5
*Max Storage (MM)	77

Figura 19 Método - Surface.

Fuente: Modelo HEC-HMS

Como se observa en la figura 20, el método Baseflow se utiliza para la interacción de los sistemas de agua subterránea y superficial donde se puede estimar valores de flujo en ubicaciones no medidas iguales. Este enfoque se fundamenta principalmente en la simulación de sucesos. No obstante, posee la habilidad de restablecerse de manera automática tras cada suceso de tormenta y, por lo tanto, puede emplearse en la simulación continua donde se inició con 5m3/s. donde se seleccionó un tema relacionado con la tesis [7]

<b>Basin Name: Basin 1</b>	
<b>Element Name: Subbasin-1</b>	
Initial Type:	Discharge
*GW 1 Initial (M3/S)	5
*GW 1 Coefficient:	1
GW 1 Reservoirs:	1
GW 2 Initial (M3/S)	
GW 2 Coefficient:	
GW 2 Reservoirs:	1

Figura 20 Parametro baseflow

Fuente: Modelo HEC-HMS

El metodo transform es un elemento de subcuenca representa conceptualmente la infiltración , la escorrentía superficial y los procesos subterráneos que interactúan entre sí, existen algunos métodos diferentes para especificar el tiempo de retardo como se puede ver en la ecuación 3 y en la figura 21. El método permite especificar de manera sencilla el tiempo de retardo en horas y también en minutos. El tiempo de retardo se define como el tiempo transcurrido.

<b>Basin Name: Basin 1</b>	
<b>Element Name: Subbasin-1</b>	
Graph Type:	Standard (PRF 484) <span style="float: right;">v</span>
*Lag Time (MIN)	123

Fuente: Modelo HEC-HMS

Figura 21 ModeloTransform

Otro dato importante para el modelo utilizado y para calcular la evapotranspiración el procedimiento de Penman-Monteith, que se emplea ecuaciones matemáticas para calcular la evaporación de una superficie de agua abierta, empleando información climática como la temperatura, la insolación solar, la humedad del aire y la velocidad del viento. Se utilizaron dos instrumentos para establecer la ET: CLIMWAT y CROPWAT. En esta situación, CROPWAT, empleando el procedimiento de Penman-Monteith, registró un valor de ET de 2,49 mm/día, Para modelar se incorpora los 3 años de precipitaciones donde se obtuvo los datos de satélite TRMM en la sección del control 1 figura 22 se puede ver las fechas correspondiente se tomo desde el 2016 el ultimo día de año por que ese día queda cero y el tiempo de intervalo va ser de 1 día .

<b>Name: Control 1</b>	
Description:	<input type="text"/> <span style="float: right;">+</span>
*Start Date (ddMMMYYYY)	31dic2016
*Start Time (HH:mm)	00:00
*End Date (ddMMMYYYY)	31dic2019
*End Time (HH:mm)	00:00
Time Interval:	1 Day <span style="float: right;">v</span>

Figura 22 Fecha de los 3 años de precipitación

Fuente: Modelo HEC-HMS

Los datos de precipitación de los años se saco un promedio de los tres para asi poner en el promedio mensual de monthly average , donde también se saco igual el Eto para continuar con el modelo donde se puede observar en la figura 23.

Monthly Average		
Met Name: Met 1		
Month	Rate (MM/MONTH)	Coefficient
January	248,99	2,49
February	299,16	2,49
March	402,38	2,49
April	334,78	2,49
May	239,92	2,49
June	86,83	2,49
July	17,95	2,49
August	22,40	2,49
September	16,91	2,49
October	45,13	2,49
November	44,58	2,49
December	87,52	2,49

Figura 23 Monthly Average

Fuente: Modelo HEC-HMS

## 5.6.2. Resultados 2017-2019 Hms.

### Resultados de simulación con datos de Campo

En la figura 24-25 ,la simulación abarca desde el 1 de enero de 2017 hasta el 31 de diciembre de 2019, un período de 3 años.

El panel superior muestra la pérdida por precipitación en rojo, Se observan eventos de precipitación frecuentes, con algunos picos alcanzando hasta 100 mm de profundidad.

Los eventos más intensos se concentran a principios de 2017 y finales de 2018/principios de 2019.

### Flujo Base

El panel inferior muestra la precipitación (azul oscuro), el caudal de salida (azul claro) y el flujo base (línea punteada roja).

Se observa una clara correlación entre los eventos de precipitación y los picos de caudal.

El caudal máximo registrado alcanza aproximadamente 120-130 m<sup>3</sup>/s.

### Caudal Pico

El caudal pico fue de 126.1 m<sup>3</sup>/s, ocurrido el 2 de mayo de 2019.

### Volúmenes

Volumen de exceso: 444,27 MM

Volumen de flujo base: 34.49 MM

Volumen de descarga: 478,52. MM

Volumen de escorrentía directa: 444,02MM

La subcuenca experimenta una variabilidad significativa en la precipitación y el caudal a lo largo del año. Los eventos de precipitación intensa generan picos de caudal importantes, El volumen de exceso (444.27 MM) y el volumen de descarga (478.52 MM) son relativamente cercanos, lo que sugiere una buena correlación entre el exceso de precipitación y el caudal de salida. El flujo base (34.49 MM) es relativamente bajo en comparación con el volumen total, lo que podría indicar una baja capacidad de almacenamiento de agua subterránea en la cuenca.

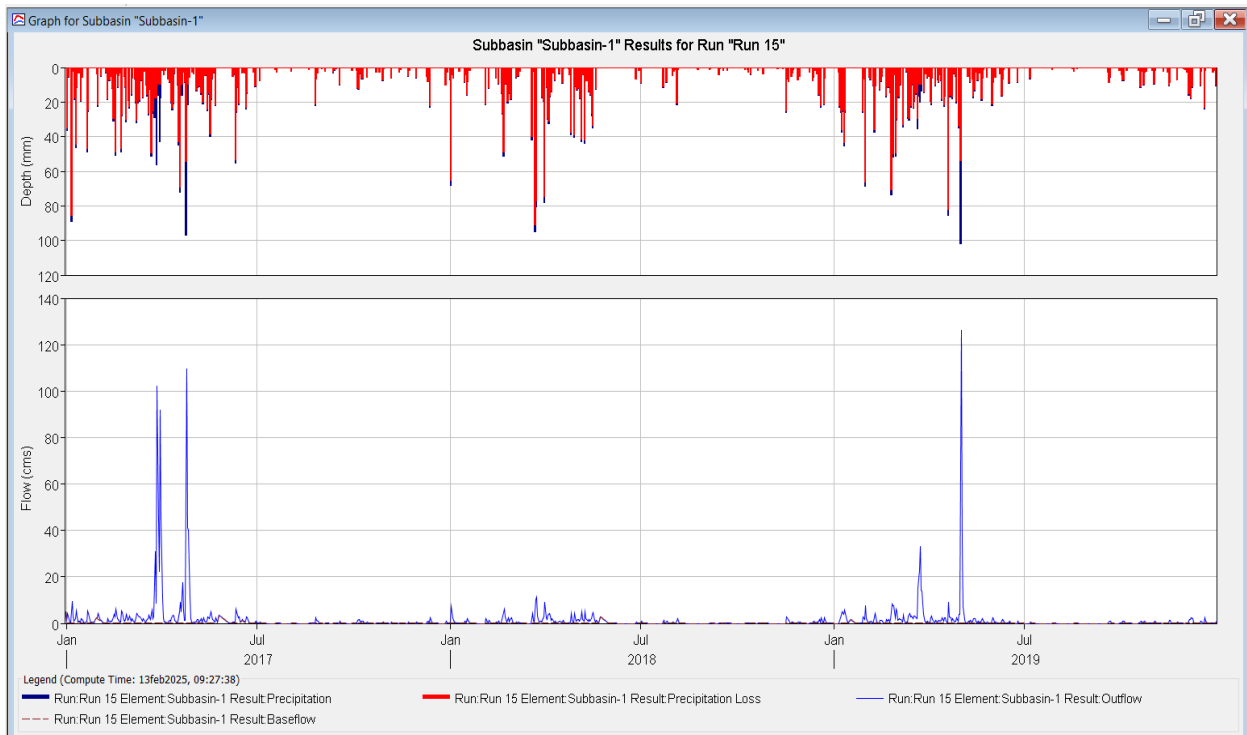


Figura 24 Simulación con datos de Campo

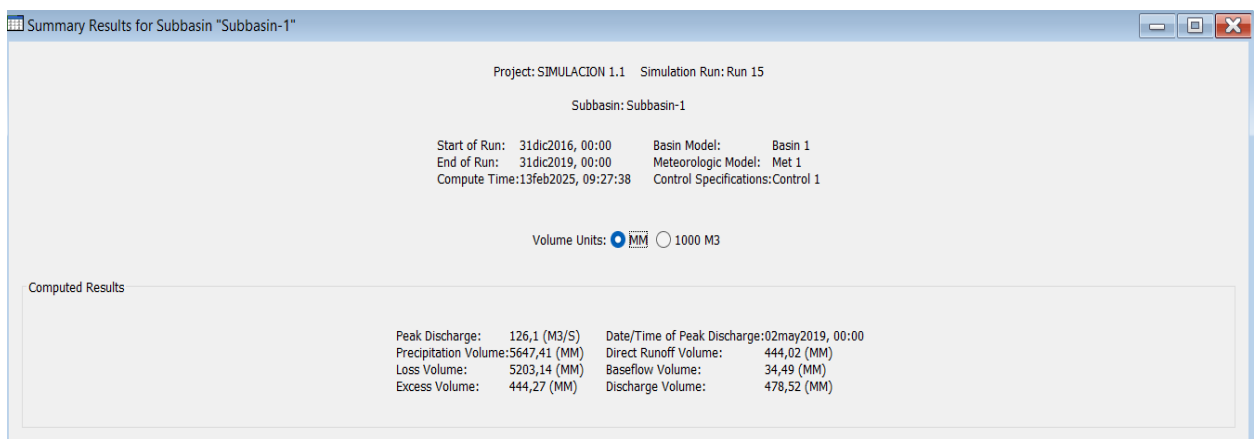


Figura 25 Resultados de la Simulación

## Resultados de la segunda simulación con datos del MAGP

En la segunda simulación todo queda lo mismo todos los mismo valores lo que cambia es los Parámetros asignados del método de pérdidas SMA que se pueden ver en la figura 26 cambiamos algunos paramatros con los dtos del MAGP

Basin Name: Basin 1	
Element Name: Subbasin-1	
*Soil (%)	100
*Groundwater 1 (%)	0,70
*Groundwater 2 (%)	0,90
*Max Infiltration (MM/HR)	150
*Impervious (%)	4
*Soil Storage (MM)	100
*Tension Storage (MM)	70
*Soil Percolation (MM/HR)	110
*GW 1 Storage (MM)	150
*GW 1 Percolation (MM/HR)	20
*GW 1 Coefficient (HR)	110
*GW 2 Storage (MM)	90
*GW 2 Percolation (MM/HR)	70
*GW 2 Coefficient (HR)	80

Figura 27 Parametros con Datos del MAGP

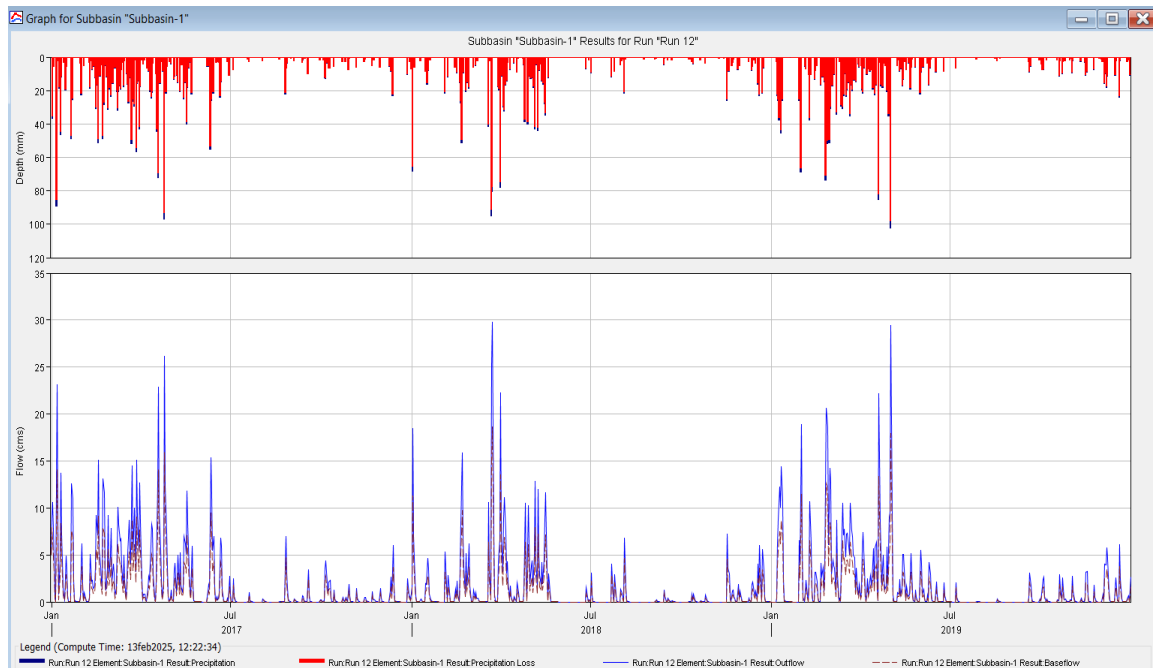


Figura 26 Segunda simulacion MAGP

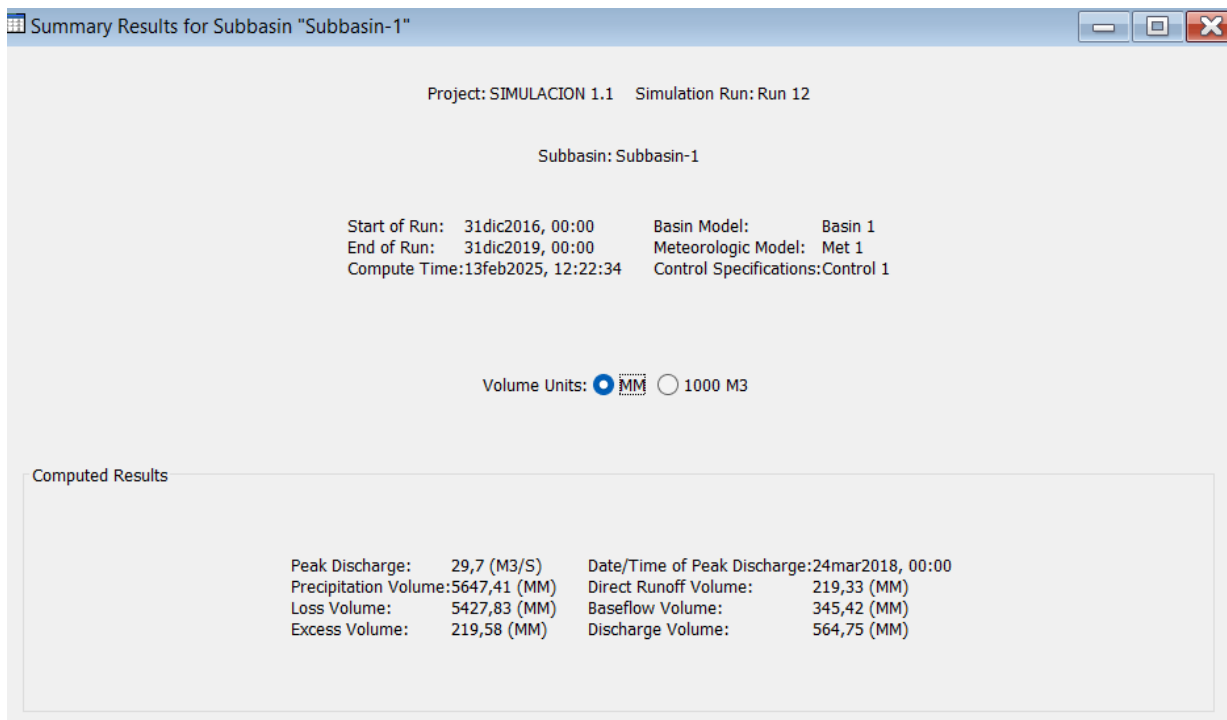


Figura 28 Segunda simulacion MAGP

La simulación abarca desde 1 de enero de 2017 hasta el 31 de diciembre de 2019, un período de 3 años.

El panel superior muestra la pérdida por precipitación en rojo. Se observan eventos de precipitación frecuentes, con algunos picos alcanzando hasta 100 mm de profundidad.

Los eventos más intensos se concentran a principios de 2017 y finales de 2018/principios de 2019.

### Flujo Base

El panel inferior muestra la precipitación (azul oscuro), el caudal de salida (azul claro) y el flujo base (línea punteada roja).

Se observa una clara correlación entre los eventos de precipitación y los picos de caudal.

El caudal máximo registrado alcanza aproximadamente 30-35 m<sup>3</sup>/s.

### Caudal Pico

El caudal pico fue de 29.7 m<sup>3</sup>/s, ocurrido el 24 de marzo de 2018.

### Volúmenes

Volumen de exceso: 219.58 MM

Volumen de flujo base: 345.42 MM

Volumen de descarga: 564.75 MM

Volumen de escorrentía directa: 219.33 MM

La subcuenca experimenta una variabilidad significativa en la precipitación y el caudal a lo largo del año.

Los eventos de precipitación intensa generan picos de caudal importantes, aunque el caudal pico es moderado (29.7 m<sup>3</sup>/s).

El volumen de exceso (219.58 MM) es relativamente bajo en comparación con el volumen total de precipitación, lo que sugiere una buena capacidad de retención de agua en la cuenca.

El flujo base (345.42 MM) es significativo en comparación con el volumen de exceso, lo que podría indicar una buena capacidad de almacenamiento de agua subterránea en la cuenca.

La escorrentía directa (219.33 MM) es muy similar al volumen de exceso, lo que sugiere una buena correlación entre el exceso de precipitación y la escorrentía superficial.

### 5.6.3. Resultado 2010-2013 Hms

#### Resultados de la segunda simulación con datos del MAGP

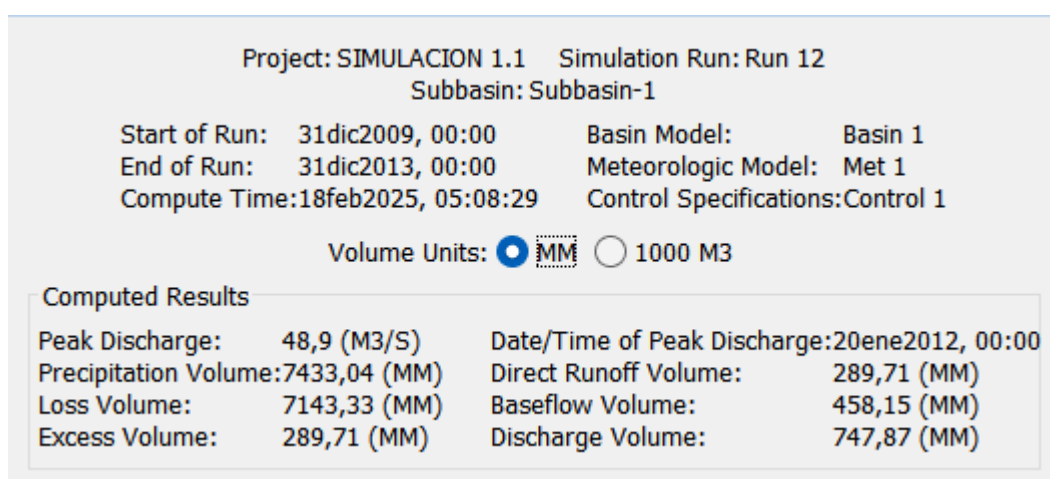


Figura 29 Resultado de la primera simulación año 2010-2013

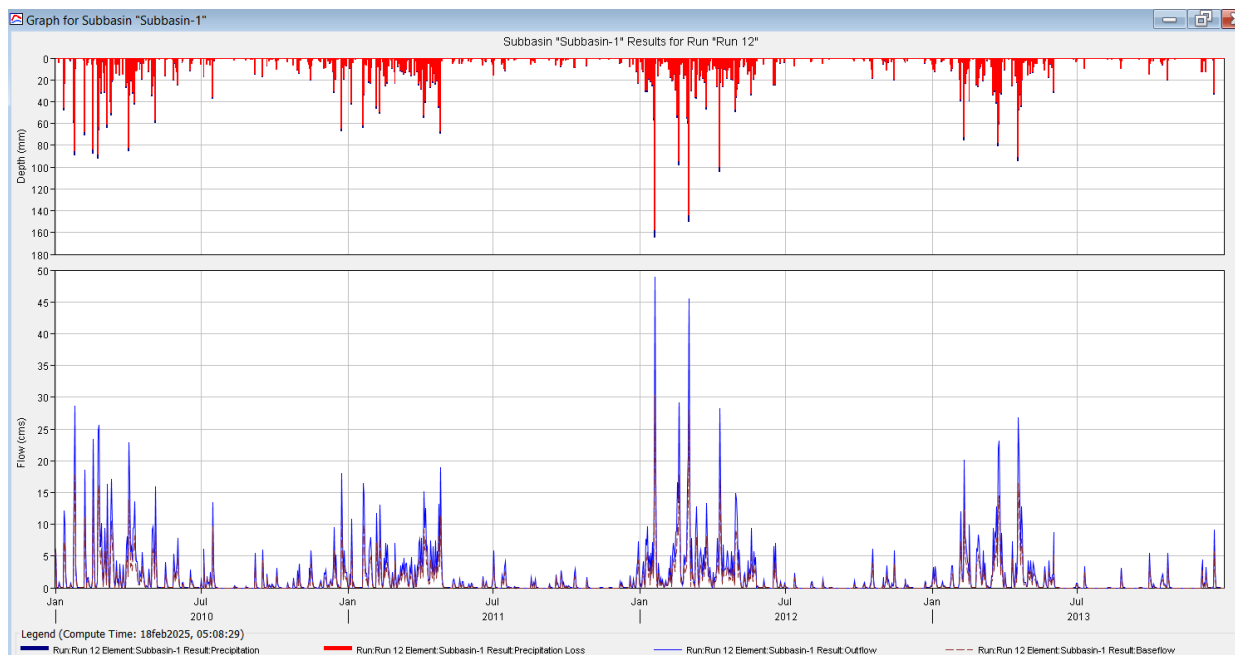


Figura 30 Simulación del MAGAP 2010-2013

### Período de Simulación:

La simulación abarca desde el 1 de enero de 2010 hasta el 31 de diciembre de 2013, un período de 3 años.

### Precipitación y Pérdida por Precipitación:

El panel superior muestra la pérdida por precipitación en rojo.

Se observan eventos de precipitación frecuentes, con algunos picos alcanzando la parte superior del gráfico.

La intensidad de los eventos varía a lo largo del año.

### Flujo Base:

El panel inferior muestra la precipitación (azul) y el caudal de salida (azul), con la línea del flujo base prácticamente indistinguible debido a su bajo valor en comparación con el caudal total.

Se observa una correlación entre los eventos de precipitación y los picos de caudal, aunque no todos los eventos de precipitación resultan en un pico de caudal significativo.

El caudal máximo registrado alcanza aproximadamente 45 cms.

### Caudal Pico:

El caudal pico fue de 48.9 m<sup>3</sup>/s, ocurrido el 20 de enero de 2012.

### Volúmenes:

Volumen de exceso: 289.71 MM

Volumen de flujo base: 458.15 MM

Volumen de descarga: 747.87 MM

Volumen de escorrentía directa: 289.71 MM

Este análisis proporciona información importante para la gestión de los recursos hídricos, la planificación de infraestructuras y la prevención de inundaciones en la subcuenca estudiada. La cuenca parece tener una alta capacidad de infiltración y una contribución importante del agua subterránea al caudal, lo que podría ser beneficioso para la gestión del agua durante los períodos secos.

### Resultados de simulación con datos de Campo 2010-2013

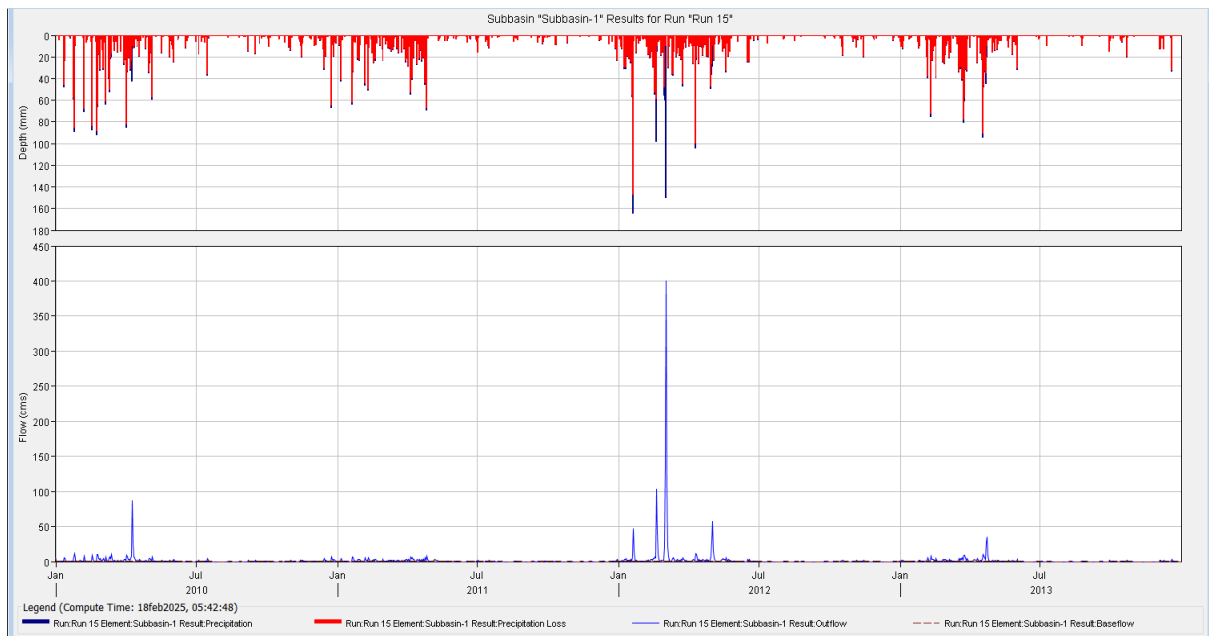


Figura 32 Simulación datos de campo 2010-2013

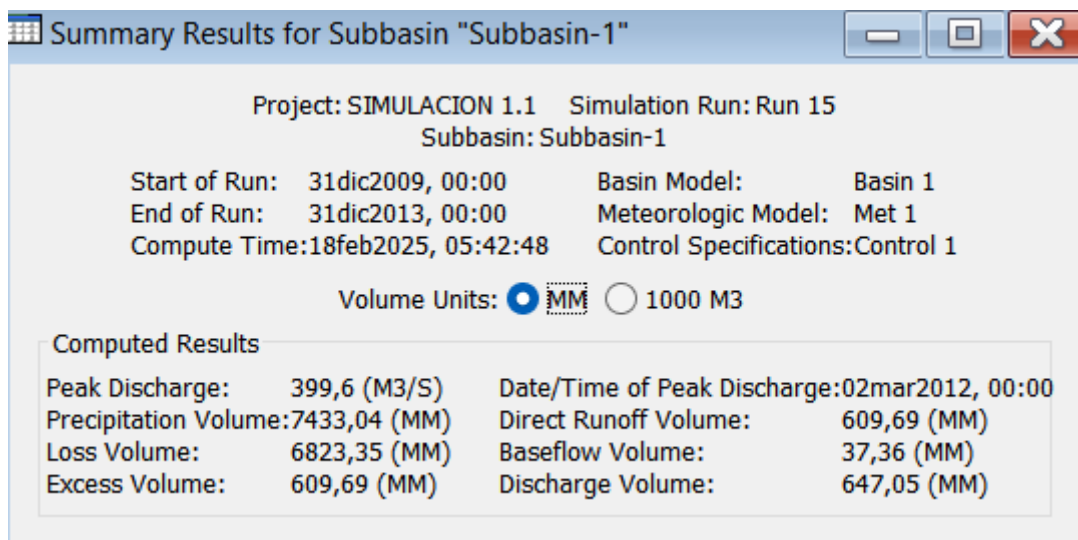


Figura 31 Resultados de datos de campo 2010-2013

Los resultados que presentas corresponden a la simulación de una subcuenca abarca desde el 1 de enero de 2010 hasta el 31 de diciembre de 2013. Los resultados clave incluyen el caudal pico, los

volúmenes de precipitación, escorrentía y otros componentes del ciclo hidrológico.

### **Resultados Calculados:**

Caudal Pico 399.6 m<sup>3</sup>/s. Este es el caudal máximo alcanzado durante el periodo de simulación. Ocurrió el 2 de marzo de 2012 a las 00:00.

Volumen de Escorrentía Directa 609.69 mm. Es la cantidad de agua que fluyó directamente sobre la superficie del terreno como escorrentía.

Volumen de Escorrentía Base 37.36 mm. Es el flujo de agua subterránea que se descarga en el río o arroyo.

Volumen de Exceso 609.69 mm. Este valor debe coincidir con el volumen de escorrentía directa y representa la precipitación efectiva que contribuye a la escorrentía superficial.

Volumen de Descarga (Discharge Volume): 647.05 mm. Es el volumen total de agua que salió de la subcuenca, incluyendo tanto la escorrentía directa como la escorrentía base.

### **Análisis del Gráficos**

Gráfico Superior (Precipitación y Pérdidas):

Muestra la precipitación (en rojo) y las pérdidas (en azul) a lo largo del tiempo.

Se puede observar la intensidad y distribución de las lluvias, así como la cantidad de agua que se pierde por infiltración y otros procesos.

### **Gráfico Inferior (Caudal):**

Muestra el caudal (outflow) en azul, la precipitación en rojo y el flujo base (baseflow) en línea punteada marrón a lo largo del tiempo.

Se observa claramente el pico de caudal del 2 de marzo de 2012, que coincide con un evento de precipitación importante.

La escorrentía base contribuye de forma constante al caudal total.

La cuenca responde rápidamente a los eventos de precipitación, como se observa en el gráfico de caudales. El caudal pico es significativo, lo que indica una respuesta rápida de la cuenca a las lluvias intensas.

Escorrentía Base: La escorrentía base es relativamente baja (37.36 mm), lo que sugiere que la contribución de las aguas subterráneas al caudal total es limitada.

## **5.7. Discusión**

Los parámetros utilizados en este estudio merecen una discusión detallada. En primer lugar, se utilizaron datos de radares satelitales, como los proporcionados por TRMM 3B42 V7, resultó ser una opción significativa debido a la falta de datos diarios de precipitaciones en la microcuenca

del río Quindigua, un parámetro crucial para la simulación de un modelo continuo. Este enfoque es comparable a estudios previos, donde se utilizaron datos satelitales en la cuenca del río Guayas para complementar la información pluviométrica. Se realizaron dos simulaciones: una utilizando datos de estaciones meteorológicas y otra con datos satelitales del TRMM. Los resultados fueron aceptables, lo que sugiere que los datos del TRMM pueden ser valiosos para cuencas que no tienen instrumentación.[12]

Los datos de precipitación derivados del radar en las regiones con baja altimetría ecuatoriana, a veces, no concuerdan con los de las estaciones terrestres, pero sí logran reproducir el pilar espacial-general del patrón.

Esta afirmación es consistentemente confirmada por lo investigado aquí, pues aunque logramos recrear aproximadamente el pilar de precipitación en general, los máximos de flujo de agua en el río durante falencias extremas; como la precipitación intensa, no alcanzan los aguaceros que lograron reconocer por los satélites.

Aparte, emplear los datos de laboratorio para calcular propiedades hidráulicas esenciales como la conductividad hidráulica saturada, la capacidad del campo y el punto de marchitez permanente nos establece una base sólida para determinar los parámetros del modelo con más precisión. Los valores de estos parámetros, recogidos mediante la prueba estadísticos y análisis de muestras de suelo microcuenca, nos permiten verificar el proceso de infiltración y flujo base, esenciales en la dinámica hidrológicas.

Utilizando lo anterior: ecuaciones de pedotransferencia o PTE pueden completar estas medidas de laboratorio dado que proporcionan las tasa de propiedades hidráulicas del suelo basados en variables medibles de fácil acceso, como la textura o la densidad aparente. Las ecuaciones son derivadas posteriormente de bases amplias de datos de suelo.

Por otro lado, respecto a las pérdidas de agua en la microcuenca Quindigua, se utilizó el método Soil Moisture accounting para afinar las posiciones de precisiones a la capacidad en la infiltración de la microcuenca, reflejado en el flujo base.

Las dos simulaciones para la subcuenca "Subbasin-1" abarcan el mismo período, desde el 1 de enero de 2017 hasta el 31 de diciembre de 2019. Ambas muestran una variabilidad significativa en la precipitación y el caudal a lo largo del año, con eventos intensos a principios de 2017 y finales de 2018 principios de 2019. Sin embargo, presentan diferencias notables: Simulación 1 tiene un caudal pico de 29.7 m<sup>3</sup>/s (24 marzo '18), mientras que Simulación 2 alcanza los 126.1 m<sup>3</sup>/s (2 mayo '19). Los volúmenes también difieren: Simulación 1 tiene un exceso de agua menor (219.58 MM) y un flujo base mayor (345.42 MM), mientras que Simulación 2 muestra más exceso (444.27 MM) pero menos flujo base (34.49 MM). Esto sugiere que la segunda simulación modela

una cuenca con menor capacidad para retener agua y mayor escorrentía superficial, además de una menor capacidad subterránea para almacenar agua debido al bajo flujo base observado en esta simulación..

La comparación de la simulación del año 2010-2013 el Caudal Pico: de la simulación 2 tiene un caudal pico mucho mayor (399.6 m<sup>3</sup>/s) en comparación con la simulación 1 (48.9 m<sup>3</sup>/s). Fecha del Caudal Pico: El caudal pico ocurre el 2 de marzo de 2012, mientras que el otro ocurre el 20 de enero de 2012.

Escorrentía Directa: de la segunda simulación tiene un volumen de escorrentía directa mucho mayor (609.69 mm) en comparación con la otra (289.71 mm). Flujo Base: El flujo base en (37.36 mm) es significativamente menor que (458.15 mm). La simulación dos representa un evento de lluvia más extremo que resulta en una mayor escorrentía y un caudal pico significativamente mayor.

Los resultados muestran que la conductividad hidráulica (K) es uno de los parámetros más sensibles en el modelo, lo que coincide con lo reportado en el estudio “Estimación de parámetros hidráulicos en suelos limosos mediante diferentes funciones de pedotransferencia”. En ambos casos, se observó que valores altos de conductividad hidráulica reducen el escurrimiento superficial y aumentan la infiltración, lo que disminuye los caudales pico. Sin embargo, a diferencia del estudio “Estimación de parámetros hidráulicos en suelos limosos mediante diferentes funciones de pedotransferencia” en la microcuenca del Río Quindigua se identificó que la heterogeneidad espacial de este parámetro tiene un impacto significativo en la distribución de la escorrentía, lo que sugiere la necesidad de incorporar mapas detallados de suelos en el modelo.[58]

La capacidad de retención de agua del suelo ( $\theta$ ) mostró una influencia moderada en el modelo, similar a lo reportado en el estudio “Influencia de los cambios en el uso del suelo y la precipitación sobre la dinámica hídrica de una cuenca de llanura extensa. Caso de estudio: Cuenca del Río Salado, Buenos Aires, Argentina”. Ambos estudios coinciden en que suelos con mayor capacidad de retención generan una respuesta hidrológica más lenta, con caudales pico menos pronunciados. No obstante, en la microcuenca del Río Quindigua, este efecto fue menos pronunciado debido a la presencia de suelos volcánicos altamente permeables, lo que contrasta con los suelos arcillosos predominantes en el estudio de García.[59]

Finalmente, los resultados de este estudio fueron comparados con el estudio “Determinación del parámetro hidrológico número de curva en la cuenca de la quebrada El Batán, usando sistemas de información geográfica y percepción remota”. Aunque ambas cuencas presentan características climáticas similares, la microcuenca del Río Quindigua mostró una mayor sensibilidad a los

parámetros hidráulicos del suelo debido a su origen volcánico y su topografía irregular. Esto resalta la importancia de adaptar los modelos hidrológicos a las condiciones específicas de cada cuenca.[60]

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN.**

### **6.1. Conclusiones**

- La selección estratégica y distribución de calicatas en la microcuenca permitió obtener una visión detallada de las propiedades del suelo en diferentes áreas. Esto facilitó una mejor comprensión de la variabilidad espacial de los parámetros hidráulicos y su influencia en la dinámica hídrica de la misma, además los datos obtenidos in situ mostraron diferencias significativas con respecto a los datos reportados por instituciones públicas.
- Utilización de Datos Satelitales TRMM proporcionaron una alternativa viable en ausencia de datos pluviométricos terrestres, los caudales pico simulados estuvieron subestimados. Esto sugiere que, si bien los datos satelitales pueden capturar el patrón espacial de precipitación, no siempre reflejan con precisión la intensidad de los eventos extremos.
- Las dos simulaciones presentadas para la subcuenca muestran escenarios hidrológicos significativamente diferentes. Ambas simulaciones abarcan el mismo período de tiempo (2017-2019) y presentan variabilidad en la precipitación y el caudal, pero difieren notablemente en los caudales pico y volúmenes de agua. La primera simulación indica un caudal pico moderado (29.7 m<sup>3</sup>/s), un volumen de exceso bajo (219.58 MM) y un flujo base alto (345.42 MM), sugiriendo una buena capacidad de retención de agua en la cuenca. Por otro lado, la segunda simulación muestra un caudal pico mucho mayor (126.1 m<sup>3</sup>/s), un volumen de exceso más alto (444.27 MM) pero un flujo base muy bajo (34.49 MM), lo que sugiere menor capacidad para retener agua y mayor respuesta rápida a eventos pluviales.

## 6.2. Recomendaciones

- Se propone instalar un sistema de monitorear constante en la microcuenca para verificar regularmente los datos generados por el modelo hidrológico y así poder ajustar de forma dinámica los parámetros hidráulicos y aumentar la precisión en las predicciones de caudal e inundaciones.
- Se sugiere realizar más estudios de suelo en las zonas de riesgo más alto para poder identificar de manera más detallada las particularidades del terreno como su estabilidad, capacidad de drenaje y susceptibilidad a desprendimientos o erosión.
  - Para mejorar la calidad y exactitud de las investigaciones recomendamos consultar información adicional en diferentes instituciones especializadas como universidades y centros de investigación así como organismos gubernamentales ya que estas entidades pueden proporcionar datos actuales y estudios comparativos.
  - Se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales en diferentes cuencas de la zona para analizar la aplicabilidad de los descubrimientos encontrados.
- Para realizar excavaciones de manera efectiva es necesario elegir lugares que sean representativos de la composición del suelo y evitar zonas que hayan sido alteradas por actividades humanas recientes o cambios en el entorno natural cercano a la excavación planificada. Las excavaciones deben tener medidas adecuadas de 1 metro y medio de ancho por 1 metro y medio de largo y una profundidad de 1 metro y medio; estas medidas pueden ser ajustadas si se encuentran obstáculos como una capa densa de tierra compactada (denso), rocas (lítico), suelos endurecidos (duripán) o el nivel freático. Si no es posible realizar la excavación en el lugar originalmente planeado se debe buscar una ubicación cercana que sea igualmente representativa para llevar a cabo la calicata. Es de vital importancia realizar una evaluación exhaustiva del terreno y llevar a cabo un registro detallado de cada excavación para asegurar la fiabilidad de la información recopilada.
- Se recomienda implementar un sistema de monitoreo continuo en la microcuenca para validar periódicamente los resultados del modelo hidrológico. Esto permitiría ajustar los parámetros hidráulicos de manera dinámica y mejorar la precisión de las predicciones de escorrentía e inundaciones

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] J. J. Cabrera-Balarezo, L. M. Timbe-Castro, Y P. J. Crespo-Sánchez, «Evaluación Del Modelo Hec-Hms Para La Simulación Hidrológica De Una Cuenca De Páramo», *Dyna*, Vol. 86, N.º 210, Pp. 338-344, 2019.
- [2] «Paper-Adriana-Rodriguez-S221.Pdf».
- [3] «Plan-De-Desarrollo-Y-Ordenamiento-Territorial-Gad-Pucayacu-2015-1.Pdf».
- [4] «La Protección Del Chocó Andino Se Hace Con Una Plataforma Tecnológica De La Mano De Blockchain», *El Universo*. Accedido: 29 De Julio De 2024. [En Línea]. Disponible En: <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/la-proteccion-del-choco-andino-se-hace-con-una-plataforma-tecnologica-de-la-mano-de-blockchain-nota/>
- [5] W. O. O. Zambrano, R. E. C. Flores, Y G. P. G. Luzuriaga, «Towards A Sustainable, Conscious, And Regenerative Tourism In The Chocó Andino De Pichincha Biosphere Reserve».
- [6] «Picuña-Pilamunga Parametros Hidraulicos En La Microcuenca De Alao Y Cebadas De La Provincia De Chimborazo (3).Pdf».
- [7] Institutodelaguaes, «Calibración De Modelos Hidrológicos: Guía Completa Y Práctica Para Entender La Hidrología», Instituto Del Agua. Accedido: 29 De Julio De 2024. [En Línea]. Disponible En: <https://institutodelagua.es/hidrologia/calibracion-de-modelos-hidrologicos/hidrologia/>
- [8] «Determinacion De Caracteristicas Hidrodinamicas Del Suelo».
- [9] D. R. López Ramos, E. F. Bocado Delgado, D. R. López Ramos, Y E. F. Bocado Delgado, «Evaluación De La Sostenibilidad De Cuencas Hidrográficas. Estudio De Caso: Cuenca Del Chili, Arequipa-Perú», *Alfa Rev. Investig. En Cienc. Agronómicas Vet.*, Vol. 6, N.º 18, Pp. 453-462, Dic. 2022, Doi: 10.33996/Revistaalfa.V6i18.182.
- [10] D. Moret, Z. Saâdi, Y R. Haverkamp, «Determinación De Los Parámetros Hidráulicos Del Suelo A Partir De La Medida De La Evolución Temporal De La Humedad A Diferentes Profundidades En Condiciones Homogéneas De Perfil Del Suelo».
- [11] C. J. Fernández De Córdova Webster *Et Al.*, «Modelo Lluvia-Escorrentamiento Para La Cuenca Del Río Yanuncay En Cuenca, Ecuador», *Ing. Hidráulica Ambient.*, Vol. 42, N.º 3, Pp. 127-153, Dic. 2021.
- [12] «Simulación Precipitación-Escorrentía En La Cuenca Quinindé Con Hec-Hms».
- [13] «Contrato De Publicación Especial De Emergencia: “Construcción De Muros De Contención Con Escolleras En El Río Quindigua Aguas Abajo, Margen Izquierda, Inicio

Coordenadas 719308 Este-9917329 Norte, En El Recinto Quindigua, Parroquia Chugchilán, Cantón Si».

- [14] «La Maná, En Alerta Por Nuevo Desbordamiento Del Río Quindigua», Primicias. Accedido: 21 De Julio De 2024. [En Línea]. Disponible En: <https://www.primicias.ec/noticias/lo-ultimo/la-mana-alerta-nuevo-desbordamiento-rio-quindigua-cotopaxi-ecuador/>
- [15] «Análisis Comparativo De Resultados Hidrológicos Obtenidos Con Los Modelos Hec-Hms, Gr4j, Awbm Y Tank Model, En La Cuenca Del Río Alambi.»
- [16] «“El Modelo Hec-Hms” ([Pdf](Zotero://Open-Pdf/Library/Items/Ceqzubff?Page=1)) [Http://Tesis.Uson.Mx/Digital/Tesis/Docs/20338/Capitulo7.Pdf](Http://Tesis.Uson.Mx/Digital/Tesis/Docs/20338/Capitulo7.Pdf)».
- [17] J. J. López, M. González, A. Scaini, M. Goñi, J. V. Valdenebro, Y F. N. Gimena, «Caracterización Del Modelo Hec-Hms En La Cuenca De Río Arga En Pamplona Y Su Aplicación A Cinco Avenidas Significativas», *Obras Proy.*, N.º 12, Pp. 15-30, 2012, Doi: 10.4067/S0718-28132012000200002.
- [18] M. O. A. Naranjo, «Evaluación Del Modelo Hidrológico Hec-Hms Para La Predicción Hidrológica Y De Crecidas, En La Cuenca Baja Del Río Cañar».
- [19] «Clarke, C.M. 1997. *Nepenthes Of Borneo*. Natural History Publications (Borneo), Kota Kinabalu, 29.».
- [20] «Stadtmuller, T. 1994. *Impacto Hidrológico Del Manejo Forestal De Bosques Naturales Tropicales Medidas Para Mitigarlo*. Colección Silvicultura Y Manejo De Bosques Naturales N. 1 Cosude.»
- [21] «Stadtmuller T. 1987, *Los Bosques Nublados En El Trópico Húmedo*. Centro Agronómico Tropical De Investigación Y Enseñanza Catie Universidad De Las Naciones Unidas Unu Turrialba Costa Rica 1987.»
- [22] *Ven Te Chow, Hidrologia Aplicada. Bogota: McGraw-Hill Interamericana, S.A, 1994.*
- [23] «[22] World Meteorological Organization, “International Glossary Of Hidrology,” Usa, 2012.»
- [24] «¿Qué Es Un Modelo Hidrológico?», Ciren. Accedido: 23 De Julio De 2024. [En Línea]. Disponible En: <https://www.ciren.cl/noticias/que-es-un-modelo-hidrologico/>
- [25] «Cuencas Hidrográficas.Pdf». Accedido: 23 De Julio De 2024. [En Línea]. Disponible En: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1fic>

as.Pdf

- [26] «Modhidro\_1.Pdf».
- [27] «Eric.E , Andrade. A. (2012) Conceptos Básicos De Los Modelos Hidrológicos. [Online]. [Http://Civilgeeks.Com/2011/09/27/Conceptos- Basicos-De-Los-Modelos-Hidrologicos/](http://Civilgeeks.Com/2011/09/27/Conceptos-Basicos-De-Los-Modelos-Hidrologicos/)».
- [28] «J.E Henry, Hidrologia Basica. Valle: Facultad De Ingenieria Universidad Del Valle, 1986.»
- [29] «´Modelo Y Modelización ´[Https://Www.Um.Es/Documents/4874468/10375216/Msa-Cap-04.Pdf/7e53a0b7-Fd27-4b11-Ae0b-C26edbbf8c1e](https://Www.Um.Es/Documents/4874468/10375216/Msa-Cap-04.Pdf/7e53a0b7-Fd27-4b11-Ae0b-C26edbbf8c1e)».
- [30] «Cita: “Los Modelos Agregados Son Eficaces Para Proporcionar Una Visión General Del Comportamiento Del Sistema, Pero Pueden Pasar Por Alto Dinámicas Importantes A Nivel Local” (Smith Et Al., 2020).».
- [31] «“Los Modelos Distribuidos Son Esenciales Para Capturar La Complejidad De Los Procesos Ambientales, Aunque Su Necesidad De Datos Detallados Puede Ser Un Desafío” (Garcia Et Al., 2021).».
- [32] «Los Modelos Semidistribuidos Ofrecen Flexibilidad Al Permitir Un Análisis Más Detallado De Componentes Críticos Sin Perder De Vista La Simplicidad General" (Johnson & Lee, 2019)».
- [33] J. A. P. Aguilar Y M. D. Martín, «Guía Práctica Sobre La Modelización Hidrológica Y El Modelo».
- [34] I. Medioambientales, «Modelación Hidrológica», Ideasmedioambientales. Accedido: 23 De Julio De 2024. [En Línea]. Disponible En: [Https://Ideasmedioambientales.Com/Modelacion-Hidrologica-De-Verdad-Es-Tan-Importante-En-Mi-Vida/](https://Ideasmedioambientales.Com/Modelacion-Hidrologica-De-Verdad-Es-Tan-Importante-En-Mi-Vida/)
- [35] J. Velez, *Modelación En Hidrología*. 2008.
- [36] J. Samper, M. A. G. Vera, B. Pisani, D. Alvares, Y A. Varela, «Modelos Hidrológicos Y Sistemas De Información Geográfica Para La Estimación De Los Recursos Hídricos: Aplicación De Gis-Balan A Varias Cuencas Españolas».
- [37] «Software Libre, Un Instrumento En La Ingeniería De Los Recursos Hídricos | Iagua». Accedido: 23 De Julio De 2024. [En Línea]. Disponible En: [Https://Www.Iagua.Es/Blogs/Yoel-Esleiter-Cordova-Elera/Software-Libre-Instrumento-Ingenieria-Recursos-Hidricos](https://Www.Iagua.Es/Blogs/Yoel-Esleiter-Cordova-Elera/Software-Libre-Instrumento-Ingenieria-Recursos-Hidricos)
- [38] Redaccion Iagua, «Los 10 Mejores Softwares Libres En Recursos Hídricos», Iagua. Accedido: 23 De Julio De 2024. [En Línea]. Disponible En:

<https://www.lagua.es/blogs/gidahatari/los-10-mejores-sofware-libres-en-recursos-hidricos>

- [39] «Software De Hidrología Gratuito», Consultoría De Ingeniería. Accedido: 23 De Julio De 2024. [En Línea]. Disponible En: <https://danielaguilo.com/software-hidrologia-gratuito/>
- [40] «Modelamiento Hidrológico», Gidahatari. Accedido: 23 De Julio De 2024. [En Línea]. Disponible En: <https://gidahatari.com/ih-es/cuantos-metodos-tiene-hec-hms-para-el-modelamiento-hidrologico>
- [41] «•Viñan, P. E. (2008). Simulación Del Flujo De Agua En Microcuencas Del Bosque Montano De La Estación Científica San Francisco. Tesis De Grado De Ingeniero Forestal. Loja, Ecuador: Universidad Nacional De Loja, Carrera De Ingeniería Forestal.»
- [42] «•Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., & Guaya, P. (1998). Condiciones Físicas De Los Suelos De La Región Sur Del Ecuador. Loja, Ecuador. (Págs 21-55).»
- [43] «Bio\_Mapa\_02\_Texto.Pdf».
- [44] «3.1: Textura Y Estructura Del Suelo», Libretexts Español. Accedido: 13 De Agosto De 2024. [En Línea]. Disponible En: [https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Ciencia\\_Del\\_Suelo/Manual\\_De\\_Laboratorio\\_De\\_Suelos\\_\(Moorberg\\_Y\\_Crouse\)/03%3a\\_F%C3%Adsica\\_Del\\_Suelo/03.1%3a\\_Textura\\_Y\\_Estructura\\_Del\\_Suelo](https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Ciencia_Del_Suelo/Manual_De_Laboratorio_De_Suelos_(Moorberg_Y_Crouse)/03%3a_F%C3%Adsica_Del_Suelo/03.1%3a_Textura_Y_Estructura_Del_Suelo)
- [45] «S. Donoso And L. Zambrano, Tema : Microcuenca “ La Mina ” Que Alimenta A L Embalse La Tutor : 2018.»
- [46] «Morfometria.Pdf».
- [47] «Determinación De Caudales Máximos Con El Método Racional | Tutoriales Al Día - Ingeniería Civil». Accedido: 12 De Agosto De 2024. [En Línea]. Disponible En: <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/determinacion-de-caudales-maximos-con-el-metodo-racional/>
- [48] «F. J. Sánchez San Roma, “Hidrología Superficial ( Iii ): Relación Precipitación - Escorrentía,” No. Iii, Pp. 1–23.»
- [49] I. Asensio, M. Ramón, G. Blanquer, Y J. Manuel, «Escuela Técnica Superior De Ingeniería Agronómica Y Del Medio Natural».
- [50] «Giovanni». Accedido: 1 De Agosto De 2024. [En Línea]. Disponible En: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- [51] «Funciones De Pedotransferencia Para Estimar Índices De Calidad En Suelos Agrícolas De Zonas Kársticas».

- [52] J. G. Coronado, «Una Revisión Sobre Las Funciones De Pedotransferencias En La Determinación De Las Propiedades Hidráulicas De Suelo», Vol. 18, N.º 3, 2009.
- [53] «Sistema Nacional De Información De Tierras Rurales E Infraestructura Tecnológica | Sigtierras». Accedido: 13 De Agosto De 2024. [En Línea]. Disponible En: <Http://Www.Sigtierras.Gob.Ec/>
- [54] H. K. Bayabil, Y. T. Dile, T. Y. Tebebu, T. A. Engda, Y T. S. Steenhuis, «Evaluating Infiltration Models And Pedotransfer Functions: Implications For Hydrologic Modeling», *Geoderma*, Vol. 338, Pp. 159-169, Mar. 2019, Doi: 10.1016/J.Geoderma.2018.11.028.
- [55] «Trabajo-De-Titulación U Cuenca Parecido.Pdf».
- [56] «(Scharffenberg, W. (2015). Hydrologic Modeling System User Manual, (July).»
- [57] «Parámetros Del Método Soil Moisture Accounting (Sma) En Hec-Hms», Gidahatari. Accedido: 13 De Agosto De 2024. [En Línea]. Disponible En: <Https://Gidahatari.Com/Ih-Es/Parametros-Para-La-Aplicacion-Del-Metodo-Soil-Moisture-Accounting-Sma-En-Hec-Hms>
- [58] E. D. Zimmermann Y P. A. Basile, «Estimación De Parámetros Hidráulicos En Suelos Limosos Mediante Diferentes Funciones De Pedotransferencia», *Tecnol. Cienc. Agua*, Vol. 2, N.º 1, Pp. 99-116, Mar. 2011.
- [59] J. C. Puelles Maza, «Estudio Hidráulico E Hidrológico De La Cuenca Alto Perú Y El Porvenir En El Asentamiento Humano Las Mercedes Alto Perú, Distrito De La Oroya, Provincia De Yauli – Junín Para La Construcción Futura De Obras De Arte Ante Amenazas De Derrumbes Provocado Por La Crecida Del Río, Mediante El Uso De Los Modelos Matemáticos Hec-Hms Y Hec-Georas.», *Univ. Peru. Cienc. Apl. Upc*, Dic. 2015, Accedido: 19 De Febrero De 2025. [En Línea]. Disponible En: <Https://Repositorioacademico.Upc.Edu.Pe/Handle/10757/620953>
- [60] D. Córdova Gutierrez, D. Paredes Méndez, R. A. Alulema Del Salto, D. Córdova Gutierrez, D. Paredes Méndez, Y R. A. Alulema Del Salto, «Determinación Del Parámetro Hidrológico Número De Curva En La Cuenca De La Quebrada El Batán, Usando Sistemas De Información Geográfica Y Percepción Remota», *Figempa Investig. Desarro.*, Vol. 3, N.º 1, Pp. 31-41, Jun. 2017, Doi: 10.29166/Revfig.V1i1.53.