



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**EVALUACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA HÍDRICA  
EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHINAMBÍ, PROVINCIA DEL  
CARCHI**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO/A  
EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**AUTORAS:**

**MIER JIMÉNEZ JANETH PAOLA  
TAIMAL CHÁVEZ JAQUELINE MARICELA**

**DIRECTOR**

**ING. OSCAR ARMANDO ROSALES ENRÍQUEZ, MSc.**

**Ibarra – Ecuador**

**2022**



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES

**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Ibarra, 05 abril del 2022

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHINAMBÍ, PROVINCIA DEL CARCHI", de autoría de las señoritas Janeth Paola Mier Jiménez y Jaqueline Maricela Taimal Chávez estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que las autoras han procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

**TRIBUNAL TUTOR**

**FIRMA**

Ing. Oscar Rosales, MSc.

**DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN**

Ing. Elizabeth Velarde, MSc.

**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN**

Ing. Gabriel Jácome, MSc.

**MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN**

**Misión Institucional:**

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003784392		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Janeth Paola Mier Jiménez		
DIRECCIÓN:	Tanguarín-Las Parcelas, calle Juan Montalvo 1-164 entre Imbabura y Bayardo Tobar.		
EMAIL:	<a href="mailto:pjmierj@utn.edu.ec">pjmierj@utn.edu.ec</a>		
TELÉFONO FIJO:	N/A	TELÉFONO MÓVIL:	0991090983

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004494827		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Jaqueline Maricela Taimal Chávez		
DIRECCIÓN:	Parroquia San Isidro, comunidad El Mortiñal		
EMAIL:	<a href="mailto:jmtaimalc@utn.edu.ec">jmtaimalc@utn.edu.ec</a>		
TELÉFONO FIJO:	N/A	TELÉFONO MÓVIL:	0967121088

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHINAMBÍ, PROVINCIA DEL CARCHI
AUTOR (ES):	Janeth Paola Mier Jiménez Jaqueline Maricela Taimal Chávez
FECHA: DD/MM/AAAA	05 /04/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DIRECTOR:	Ing. Oscar Rosales MSc.

## 2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 05 días del mes de abril del 2022

### LOS AUTORES:

Firma:  \_\_\_\_\_

Janeth Paola Mier Jiménez  
CI: 1003784392

Firma:  \_\_\_\_\_

Jaqueline Maricela Taimal Chávez  
CI: 1004494827

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecemos a Jehová Dios por las bendiciones recibidas, por su infinito amor, por la oportunidad de permitirnos cumplir esta meta, además por guiarnos por el camino correcto y llenarnos de los mejores recuerdos y lecciones.*

*A la Universidad Técnica del Norte y a cada uno de los docentes por permitirnos formar parte de esta casa de estudio durante estos años de formación académica y científica, formándonos con calidad profesional y humana.*

*A nuestros padres por inculcarnos sus valores y principios que reflejan la identidad de una persona, ya que, con su apoyo incondicional, confianza, esfuerzo y amor nos han dado ejemplo de superación, humildad y sacrificio lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Gracias por creer en nosotros y es por ustedes que hemos llegado tan alto.*

*De manera especial reconocemos el apoyo a nuestro director de tesis el Ing. Oscar Rosales MSc, a nuestros asesores el Ing. Paul Arias MSc, Ing. Elizabeth Velarde MSc y al Ing. Gabriel Jácome MSc, por habernos brindado su tiempo, conocimientos y herramientas que contribuyeron a la culminación de este triunfo y expresamos nuestros sinceros agradecimientos.*

*¡Muchas Gracias!*

*Paola y Jaqueline*

## DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedico principalmente a Jehová Dios por su inmensa bondad, fortaleza, sabiduría y su infinito amor, que me acompaña y me brinda fuerzas para continuar todos los días, por ayudarme a nunca perder la fe, por ser la luz que alumbra mi camino y por darme la tranquilidad necesaria para enfrentar las dificultades que aparecen en mi vida. Contigo todo, sin ti nada es posible ¡Tú eres mi refugio!*

*Este trabajo también va dedicado con amor y respeto a mi madre Rosa Matilde Chávez, a mi padre Heriberto Segundo Taimal porque son mi motivación para hacer cada uno de mis sueños realidad. A ellos por su apoyo incondicional, fuente de inspiración, aliento, constancia y por enseñarme buenos valores y principios lo cual agradezco mucho. Les debo un eterno agradecimiento y mi retribución total por su gran amor, todo lo que soy se los debo a ustedes ¡Los amo mucho!*

*A mi amado hijo Neymar Andrés por brindarme tu amor que es la dulzura que enternece mi corazón y le da a mi vida una razón, por ser mi primer héroe, guía y por ser la fuerza fundamental para continuar luchando con lo que haga falta en esta vida ¡Esto es para ti!*

*A mis queridos hermanos Willan, Diego y Kevin y a toda mi familia por confiar en mí y apoyarme incondicionalmente, por ser la fuerza máxima y haberme acompañado por los caminos más difíciles de mi vida con tanto amor y cariño.*

*A mi gran amiga Paola por su constancia, responsabilidad, perseverancia, dedicación y compromiso para culminar con este arduo trabajo. Por ser mi sustento en algunos momentos a lo largo de mi vida, por su amistad, ayuda, por sus consejos ¡Te recordare siempre!*

*A mis amigas Erika Pujota y Katherine Sarchi por ser ese aliento, empuje para triunfar en la vida, por su cariño, respeto y por su amistad. Por ser los verdaderos compañeros de viaje de mi vida ¡Gracias!*

*Con mucho amor*

**Jaqueline Maricela Taimal Chavez**

## DEDICATORIA

*Este trabajo de titulación es dedicado a Jehová Dios, por la vida que nos da, la sabiduría e inteligencia que nos provee, gracias a eso he sabido culminar esta etapa profesional de mi vida. También le agradezco por haberme otorgado una familia maravillosa que han creído siempre en mí, enseñándome a valorar todo lo que tengo y siendo ejemplo de superación, humildad y sacrificio.*

*A mi madre Gloria Cecilia Jiménez, quien es una mujer luchadora y emprendedora que ha sabido guiarme y aconsejarme en esta etapa de formación académica, por sus consejos, paciencia, amor y esfuerzos, logré cumplir mi meta. ¡Te amo madre querida!*

*A mi padre Luis Antonio Mier y toda la familia Mier, quienes con su cariño, amor y paciencia me ayudaron con la realización de esta tesis, a todos dedico este trabajo porque han fomentado en mí el deseo de superación y han contribuido a la consecución de este logro, nunca me cansaré de agradecerles todo el amor y comprensión que me tienen ¡Gracias familia!*

*A mis hermanos Jeniffer, Jonathan, Cecilia y Lucely, mis sobrinos Gisselle, Ruth, Luciana, Mateo y David, quienes han sido una inspiración para poder concluir esta meta y ser un ejemplo para ellos. ¡Los quiero mucho, familia!*

*A Edison Estrada, quien con el pasar de los años ha estado a mi lado apoyándome, para ti dedico este trabajo de titulación, gracias por toda tu comprensión y amor incondicional, te amo cariño. Además, agradezco a su familia, quienes me han brindado su apoyo siempre. ¡Muchas gracias!*

*A mi amiga Jaqueline Taimal, fue un gusto culminar esta meta juntas, gracias por ser una excelente amiga.*

*Con mucho cariño y amor*  
**Janeth Paola Mier Jiménez**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
Capítulo I.....	1
Introducción.....	1
1.1. Revisión de antecedentes.....	1
1.2. Problema de investigación y justificación.....	3
1.3. Objetivos .....	5
1.3.1. Objetivo general .....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Pregunta directriz de la investigación .....	5
Capítulo II.....	6
Marco teórico .....	6
2.1. Marco teórico referencial .....	6
2.1.1. La cuenca como unidad de planificación.....	6
2.1.2. Acuífero .....	6
2.1.3. Recarga hídrica .....	7
2.1.3.1 Zonas de recarga hídrica.....	7
2.1.4. Métodos para determinar la recarga hídrica .....	8
2.1.5. Modelo analítico para determinar infiltración .....	9
2.1.6. Usos del agua subterránea .....	9
2.1.7. Contaminación del agua subterránea .....	10
2.1.8. Estrategias para proteger las aguas subterráneas de la contaminación .	10
2.1.9. Zonas de protección hídrica.....	11
2.1.10. Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica .....	12
2.1.11. Demarcación de fuentes y zonas de recarga hídrica.....	13



2.1.12. Herramientas SIG en la identificación de zonas de protección hídrica.....	13
2.2. Marco legal.....	14
Capítulo III .....	17
Metodología.....	17
3.1. Descripción del área de estudio.....	17
3.2. Componentes biofísicos .....	18
3.2.1. Clima.....	18
3.2.2. Hidrología de la microcuenca.....	18
3.3. Componente demográfico .....	18
3.4 Métodos .....	21
34.1. Determinación de las zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río Chinambí.....	22
3.4.1.1. Selección de insumos .....	19
3.4.1.2. Preparación de insumos .....	22
3.4.1.3. Identificación de los puntos de muestreo .....	25
3.4.1.4. Medición de infiltración de agua en el suelo .....	25
3.4.1.5. Aplicación del Frequency Ratio Model .....	26
3.4.1.6. Capacidad de campo .....	27
3.4.1.7. Curva ROC.....	27
34.2. Cuantificación la descarga hídrica en la microcuenca del río Chinambí..	28
3.4.2.1. Instalación de pluviómetros métricos .....	28
3.4.2.2. Medición de infiltración de agua en el suelo por orden de suelo.....	31
3.4.2.3. Medición de caudales del río Chinambí y sus principales afluentes....	32
3.4.2.4. Análisis espacial para cuantificar las zonas de descarga hídrica .....	35
34.3. Propuesta de zonas de protección hídrica en la microcuenca Chinambí, provincia del Carchi .....	35
3.4.3.1. Identificación y Delimitación de las Fuentes de Agua a ser Declarada de	

Interés Público.....	35
3.4.3.2. Estrategias de conservación y protección para las áreas de protección hídrica.....	37
3.5. Materiales y equipos.....	38
Capítulo IV.....	40
Resultados y Discusión.....	40
4.1. Determinación de las zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río Chinambí.....	40
4.1.1. Aplicación estadística de la prueba de Kruskal Wallis .....	40
4.1.2. Aplicación del Frequency Ratio Model.....	41
4.1.3. Categorización de las zonas potenciales de recarga hídrica.....	45
4.1.4. Análisis de la capacidad de campo.....	47
4.1.5. Validación del modelo mediante la curva ROC.....	48
4.2. Cuantificación de la descarga hídrica en la microcuenca del Río Chinambí, provincia del Carchi .....	49
4.2.1. Análisis de los resultados medidos de la precipitación .....	49
4.2.2. Análisis de los resultados medidos de la infiltración por orden de suelo....	51
4.2.3. Análisis de la medición de caudales del río Chinambí.....	55
4.2.4. Cuantificación de la descarga hídrica en la microcuenca.....	55
4.2.5 Análisis espacial para cuantificar las zonas de descarga hídrica.....	56
4.3. Propuesta de zonas de protección hídrica en la microcuenca Chinambí, provincia del Carchi.....	58
4.3.1. Identificación de las fuentes de agua a ser declaradas de interés público...	58
4.3.2. Delimitación de las áreas de influencia de las fuentes de agua.....	59
4.3.3. Clasificación del Riesgo Potencial de Degradación del Suelo.....	61
4.3.4. Evaluación del uso de las tierras para su priorización.....	62
4.3.5. Delimitación de las zonas protección hídrica.....	63

4.3.6. Propuesta de estrategias de conservación y protección de las áreas de protección hídrica .....	64
4.3.6.1. Estrategia 1. Programa de protección de las vertientes de captación y reserva.....	66
4.3.6.2. Estrategia 2. Programa de prácticas agroecológicas para las comunidades San Patricio y San Jacinto de Chinambí.....	70
4.3.6.3. Estrategia 3. Programa de capacitación ambiental .....	73
Capítulo IV .....	76
Conclusiones y Recomendaciones.....	76
5.1. Conclusiones .....	76
5.2. Recomendaciones .....	77
REFERENCIAS .....	78
ANEXOS .....	89
Anexo 1 Salidas de campo .....	89
Anexo 2 Registro de datos.....	92
Anexo 3. Mapas.....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Terminología usada en la presente investigación .....	12
<b>Tabla 2.</b> Tipos de cartografía.....	14
<b>Tabla 3.</b> Coordenadas de las comunidades inmersas en la microcuenca.....	19
<b>Tabla 4.</b> Calidad físico-química del río Chinambí .....	20
<b>Tabla 5.</b> Categorización de la recarga hídrica .....	27
<b>Tabla 6.</b> Ubicación de los pluviómetros .....	29
<b>Tabla 7.</b> Datos de precipitación obtenidos por sensores remotos.....	30
<b>Tabla 8.</b> Rango de valores de correlación r.....	30
<b>Tabla 9.</b> Determinación del Factor de Corrección Fc para cálculo de caudales por el método del flotador.....	33
<b>Tabla 10.</b> Materiales y equipos.....	39
<b>Tabla 11.</b> Resultados de la prueba de Kruskal Wallis .....	41
<b>Tabla 12.</b> Resultados de cálculos de la radio frecuencia .....	42
<b>Tabla 13.</b> Resultados de probabilidad.....	44
<b>Tabla 14.</b> Resultado de factorial para cada variable .....	44
<b>Tabla 15.</b> Zonas Potenciales de recarga hídrica de la microcuenca del río Chinambí .....	47
<b>Tabla 16.</b> Resultados de la capacidad de campo .....	48
<b>Tabla 17.</b> Datos de precipitación mensual registrada en los pluviómetros .....	50
<b>Tabla 18.</b> Medición de infiltración por orden de suelo Alfisoles .....	52
<b>Tabla 19.</b> Medición de infiltración por orden de suelo Andisoles .....	53
<b>Tabla 20.</b> Medición de infiltración por orden de suelo Inceptisoles .....	53
<b>Tabla 21.</b> Medición de infiltración por orden de suelo Entisoles.....	53
<b>Tabla 22.</b> Caudales medidos de la microcuenca Chinambí.....	55
<b>Tabla 23.</b> Medición de caudales de los principales cuerpos hídricos de la microcuenca.....	56
<b>Tabla 24.</b> Medición del caudal específico de los principales cuerpos hídricos de la microcuenca .....	58
<b>Tabla 25.</b> Superficies de las áreas de influencia de la microcuenca del río	

Chinambí.....	61
<b>Tabla 26.</b> Actores involucrados .....	65
<b>Tabla 27.</b> Programa de protección de las vertientes de captación y reserva .....	69
<b>Tabla 28.</b> Prácticas agroecológicas para la conservación de zonas próximas a los acuíferos .....	72
<b>Tabla 29.</b> Educación ambiental .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la microcuenca del río Chinambí en la provincia del Carchi .....	17
<b>Figura 2.</b> Cartelera informática en el sendero del Área de Conservación y Uso Sustentable Provincial .....	19
<b>Figura 3.</b> Diagrama de flujo de la metodología aplicada a la investigación del presente estudio... ..	21
<b>Figura 4.</b> Insumos usados para el análisis del Frequency Ratio Model (pendientes, uso y cobertura del suelo, geología y textura).....	24
<b>Figura 5.</b> Puntos de muestreo de la infiltración.....	25
<b>Figura 6.</b> Medición de infiltración del agua en el suelo .....	26
<b>Figura 7.</b> Curva ROC (Receiver Operating Characteristic) .....	28
<b>Figura 8.</b> Instalación de pluviómetros .....	29
<b>Figura 9.</b> Ubicación de los pluviómetros .....	31
<b>Figura 10.</b> Ubicación de los puntos de muestreo (Infiltración).....	32
<b>Figura 11.</b> Mapa de ubicación de las partes del río y cuerpos hídricos de la microcuenca.....	34
<b>Figura 12.</b> Vertientes que abastecen del servicio a las comunidades.....	38
<b>Figura 13.</b> Mapa de zonas potenciales de recarga hídrica.....	46
<b>Figura 14.</b> Curva ROC (Receiver Operating Characteristic) .....	49
<b>Figura 15.</b> Gráfico de dispersión del coeficiente de correlación de la precipitación observada en función de la precipitación medida.....	50
<b>Figura 16.</b> Gráfico de dispersión del coeficiente de correlación de la precipitación observada en función de la precipitación medida.....	50
<b>Figura 17.</b> Superficies de los afluentes del río Chinambí .....	57
<b>Figura 18.</b> Puntos de aforo de fuentes de agua de interés público del área de estudio .....	59
<b>Figura 19.</b> Áreas de influencia para cada fuente de interés público.....	60
<b>Figura 20.</b> Riesgo potencial de degradación del suelo en el área de influencia...61	

<b>Figura 21.</b> Usos de tierras para su priorización en el área de estudio... ..	62
<b>Figura 22.</b> Delimitación de las zonas de protección hídrica .....	63
<b>Figura 23.</b> Actividades antrópicas susceptibles de contaminar las vertientes....	64

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

### CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

#### EVALUACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHINAMBÍ, PROVINCIA DEL CARCHI

Mier Jiménez Janeth Paola

Taimal Chávez Jaqueline Maricela

#### RESUMEN

La microcuenca Chinambí actualmente se encuentra intervenida por las actividades antrópicas, especialmente en la parte media y baja debido a la existencia de actividades agrícolas y ganaderas sin las debidas medidas de conservación de suelo. El presente estudio determinó zonas de recarga y descarga hídrica en la microcuenca del río Chinambí, provincia del Carchi, para establecer zonas de protección hídrica. Se realizó trabajo en campo aplicando la metodología de la ecuación general de Matus con las siguientes variables: textura del suelo, pendientes, geología, uso y cobertura del suelo. Por medio del análisis de la radio frecuencia se identificó que el factor pendiente es el más relevante debido a que permitió generar el mapa de zonas potenciales de recarga hídrica y se obtuvo tres categorías: alta, media y baja. La capacidad de campo permitió identificar el umbral para la validación estadística del modelo mediante la curva *Receiver Operating Characteristic* (ROC). El análisis del diagrama ombrotérmico de los pluviómetros permitió identificar los meses con mayor y menor precipitación. En la medición de la infiltración por orden de suelo se identificó que el orden entisoles presentó la infiltración más rápida. Se realizó la medición de caudales de seis cuerpos hídricos y de las partes del río Chinambí: parte alta 1 680 lt/s (época seca) y 2 520 lt/s (época lluviosa), parte media 2 800 lt/s (época seca) y 4 200 lt/s (época lluviosa) y parte baja 7 000 lt/s (época seca) y 9 100 lt/s (época lluviosa). Se identificó tres áreas de influencia: dos fuentes de reserva y una fuente de captación las cuales presentaron un bajo impacto para su conservación, razón por la cual se propuso estrategias direccionadas a la prevención de problemas futuros: programa de protección de las vertientes, prácticas agroecológicas y capacitación ambiental.

**Palabras claves:** zonas de recarga, zonas de descarga, infiltración, áreas de protección hídrica, agua subterránea.



# EVALUATION OF WATER CHARGING AND DISCHARGE AREAS IN THE CHINAMBI RIVER MICRO-BASIN CARCHI PROVINCE

## ABSTRACT

The Chinambí micro-basin is currently intervened by anthropic activities, especially in the middle and lower part due to the existence of agricultural and livestock activities without the proper soil conservation measures. This study determined water recharge and discharge zones in the Chinambí river micro-basin, Carchi province, to establish water protection zones. Field work was carried out applying the methodology of the general Matus equation with the following variables: soil texture, slopes, geology, land use and cover. Through radio frequency analysis, it was identified that the pending factor is the most relevant because it allowed generating the map of potential water recharge zones and three categories were obtained: high, medium and low. The field capacity allowed us to identify the threshold for the statistical validation of the model through the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. The analysis of the ombrothermic diagram of the pluviometers allowed to identify the months with the highest and lowest rainfall. In the measurement of infiltration by soil order, it was identified that the entisols order presented the fastest infiltration. The flow measurement of six water bodies and parts of the Chinambí River was carried out: upper part 1,680 lt/s (dry season) and 2,520 lt/s (rainy season), middle part 2,800 lt/s (dry season) and 4,200 lt/s (rainy season) and lower part 7,000 lt/s (dry season) and 9,100 lt/s (rainy season). Three areas of influence were identified: two reserve sources and one catchment source, which presented a low impact for their conservation, which is why strategies aimed at preventing future problems were proposed: watershed protection program, agroecological practices. and environmental training.

**Keywords:** recharge zones, discharge zones, infiltration, water protection areas, groundwater.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Revisión de antecedentes

El agua es un elemento y un recurso vital en los procesos naturales y en el desarrollo de actividades humanas. Según la Comisión Nacional del Agua (2011) el 75% de la superficie de la tierra es agua, sin embargo, el 97.5% es agua salada, se cuenta con solo el 2.5% de agua dulce que se encuentra distribuida en glaciares y capas polares en un (69%), en la atmósfera, ríos y lagos (1%) y agua subterránea (30%), esta última reserva resulta esencial por ser una de las principales fuentes de suministro doméstico del mundo (Instituto Geológico y Minero de España, 2012).

Los acuíferos representan grandes reservas de agua subterránea que constituyen fuentes valiosas de este recurso, siendo el 95% de agua dulce disponible en el planeta, que se abastecen aproximadamente el 50% de la población mundial (World Water Assessment Programme, 2015). La contribución del agua de los acuíferos al flujo de los ríos es responsable de que el río siga teniendo caudal cuando no hay precipitaciones por lo que se cumple una función ambiental en la naturaleza desempeñando un papel importante en el ciclo hidrológico (Custodio 2001; Younger, 2007).

El recurso hídrico subterráneo está alcanzando una importancia estratégica que asegura la gestión integrada, el desarrollo y manejo coordinado del agua en interacción con otros sistemas naturales, sociales y culturales maximizando el bienestar económico sin comprometer a los ecosistemas vitales y ofrece un marco propicio para el logro de un aprovechamiento sustentable del agua (García, 2009), sin embargo, no se tiene información del lugar en el que se encuentran las fuentes de agua ni cuál es su disponibilidad o si están contaminadas o no (Faustino, 2006).

Según el Instituto Nacional de Bosques (INAB, 2003) la recarga hídrica es el proceso de incorporación del agua a los acuíferos, siendo el área o zona donde ocurre la recarga. El clima, el suelo, la topografía, la cobertura vegetal y la escorrentía son los principales factores que afectan la recarga hídrica. La lluvia en las zonas de recarga de los acuíferos es la principal fuente de abastecimiento de

agua para manantiales y cuerpos de agua subterránea.

Las áreas de mayor recarga son las que se deben mantener, conservar y manejar, con el fin de mantener bajo control sus características físicas de permeabilidad e infiltración, ya que influyen en la magnitud de la recarga, y controlar los contaminantes que se pueden infiltrar al acuífero y dañar la calidad del agua. En las zonas altas montañosas la precipitación es de origen orogénico y más constante, por esta razón el área de la cuenca es de gran importancia para la recarga, principalmente si el suelo y subsuelo son permeables (Losilla, 1986).

Las zonas de recarga y descarga hídrica son variables importantes para la definición de un sistema de flujo regional, teniendo en cuenta que marcan el inicio y el fin del curso del agua, por tanto, son indispensables para la generación de un modelo hidrogeológico, también se usa como herramienta indispensable en la elaboración de planes de gestión del recurso hídrico (Gillespie et al., 2012).

En Ecuador el agua disponible en su mayoría es subterránea seguida de agua superficial (Burbano et al., 2015). Este recurso está destinado para consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del agua, 2014; Jácome, 2015), por esta razón el agua es considerada un recurso estratégico y esencial para la supervivencia humana y un condicionante del desarrollo económico (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

El agua aprovechada proviene de fuentes superficiales y es usada para actividades en beneficio del hombre, agua para riego 82%, uso doméstico 12% y uso industrial 6%. Sin embargo, el conocimiento acerca de las fuentes de agua subterráneas es muy escaso, por lo que Ecuador solo utiliza el 3% (MAGAP, 2013). La falta de conocimiento ha limitado su gestión ya que no se dispone de información que permita establecer normas de protección y explotación controlada de los acuíferos. La gestión integral constituye un conjunto de líneas de acción y metas que orienta la intervención de actores locales involucrados (Sandoval y Günther 2013).

## **1.2. Problema de investigación y justificación**

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2015), sostiene que los recursos hídricos representan uno de los elementos básicos para el desarrollo de la vida, las aguas subterráneas y superficiales son recursos naturales aprovechables para el desarrollo del hombre y el crecimiento de flora y fauna, sin embargo, la distribución inadecuada sujeta a la alta demanda de este recurso a nivel mundial que tiene como finalidad satisfacer las necesidades económicas, sociales, culturales e industriales de la población, lo que genera un aumento en el problema de gestión y calidad.

El acceso al agua de calidad ha sido históricamente un factor que ha limitado el bienestar humano (Gacitúa, 2007). La alteración de la calidad de agua subterránea se produce por la acción de procesos naturales o antrópicos. A pesar de que el agua subterránea resulta ser difícil de contaminar ya que el movimiento de un contaminante desde la superficie del suelo hasta el acuífero puede durar días o décadas antes que el impacto de la contaminación se pueda evidenciar (Rojas y Otálvaro, 2008).

El deterioro de las zonas de recarga hídrica de las cuencas hidrográficas, la baja eficiencia del uso del recurso, la contaminación de ríos, fuentes, zonas de recarga y reservorios de agua, están causando una acelerada reducción de la disponibilidad de las fuentes de agua para usos múltiples (Carrasco, 2011). El grado de deterioro de las zonas de recarga hídrica está determinado por el grado de erosión de los suelos, compactación y la deforestación, sobre todo en zonas de pendientes muy inclinadas que favorecen la escorrentía. Esta situación está siendo causada por la intervención del ser humano para desarrollar actividades agrícolas, industriales, extracción de leña, construcción de viviendas y actividades pecuarias (Faustino, 2006).

En la actualidad el desplazamiento de las comunidades hacia las partes altas de las montañas es uno de los problemas más grandes y preocupantes para el ambiente, en donde la población prioriza el avance de la tecnología, industrias e infraestructura para generar mayores ingresos económicos, el desarrollo urbano requiere de una planificación adecuada y aceptable con la finalidad de evitar o

disminuir impactos negativos futuros, debe ser sustentable donde puedan conservarse los recursos (Muñoz, 2006).

Un importante obstáculo para lograr una gestión integrada de los recursos hídricos es la falta de información hidrometeorológica y de estadísticas en general, que no permite adoptar de manera adecuada y razonable las decisiones acertadas para la asignación del agua, la planificación de sus usos y el ordenamiento y la utilización del territorio, como tampoco posibilita un buen desempeño de las funciones de vigilancia, control y regulación (INAMHI, 2012).

En la región sierra del Ecuador la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas tiene origen en los sistemas agrícolas tradicionales con un uso extensivo de pesticidas y fertilizantes, además de la deforestación y el cambio de uso de suelo (Izurieta et al., 2017). Según el foro de los Recursos Hídricos (2013), la falta de protección efectiva de las fuentes de agua produce problemas en su calidad además de la pérdida de algunas funciones ecosistémicas mencionando que el país tan solo el 37% de las cabeceras parroquiales protegen sus vertientes.

La interrelación entre población, ambiente y recursos naturales presentan una gran influencia en los impactos ecológicos y paisajísticos negativos generados en el medio ambiente, la comunidad San Patricio de Chinambí se encuentra en un proceso de expansión territorial, ampliación de la frontera ganadera y agrícola, monocultivos, deforestación y crecimiento urbano (Faustino, 2006). Además, traen como resultado el aumento de los niveles de erosión, compactación y degradación obteniendo como resultado la disminución de la cobertura vegetal, la disminución de la infiltración del agua en el suelo, aumento de la escorrentía superficial y disminución en cantidad y calidad del agua que recargan los acuíferos subterráneos que abastecen del líquido vital a las comunidades de las partes media y baja de la microcuenca (Herrera, 2017).

Por este motivo, la presente investigación identifica zonas de recarga hídrica, cuantifica la descarga hídrica de sus principales afluentes y propone zonas de protección hídrica a través de lineamientos para la protección del recurso hídrico que pueda ser viable a largo tiempo. Además, el trabajo aporta al Plan de Creación

de Oportunidades 2021-2025, ya que está relacionado con el Objetivo 11 del Eje Transición Ecológica, que busca conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Determinar las zonas de recarga y descarga hídrica en la microcuenca del río Chinambí, provincia del Carchi, para establecer zonas de protección hídrica.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Determinar las zonas potenciales de recarga hídrica en el área de estudio.
- Cuantificar la descarga hídrica espacial en la microcuenca.
- Proponer zonas para la protección hídrica en las vertientes de la microcuenca Chinambí.

### **1.4. Pregunta directriz de la investigación**

¿Cuál es la cantidad de recarga y descarga hídrica de la microcuenca del río Chinambí, provincia del Carchi?

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Marco teórico referencial**

En el siguiente capítulo se detalla información indispensable para sustentar la interpretación y análisis de los resultados obtenidos en el transcurso de la investigación.

##### ***2.1.1. La cuenca como unidad de planificación***

La cuenca se presenta como la unidad natural e ideal para la planificación del desarrollo, donde se pueden encontrar soluciones a escala real de los problemas identificados por la mayoría de los países del mundo, entre ellos: el futuro de los bosques, calidad del agua, cambio climático, manejo de ecosistemas frágiles, mejoramiento de la calidad de vida del poblador y conservación de la naturaleza (Senra, 2005). La cuenca es un recurso natural que posee condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales que crean sus propias características particulares e importantes y es considerada una unidad de planificación (Jiménez, 2004).

La importancia que la cuenca hidrográfica adquiere como unidad de gestión y planificación se debe a las siguientes razones: manejo de los recursos naturales, identificación y cuantificación espacial de los efectos y lograr el equilibrio de las relaciones sistema humano-sistema natural. La cuenca es un territorio que define un límite natural que permite planificar de forma integrada el espacio, considerando el sistema como un todo (Cano, 2011).

##### ***2.1.2. Acuífero***

Los acuíferos son la principal y la más importante fuente de abastecimiento de agua, que provienen de un estrato o formación geológica que es capaz de almacenar y transmitir el agua en cantidades significativas. Un acuífero se comporta como un embalse en donde considera el caudal de entrada, salida y la capacidad de almacenamiento y regulación que viene determinada por su volumen, porosidad y fisuración. Los acuíferos se recargan o llenan de agua en forma natural por

infiltración del agua de lluvia, ríos o lagos que cae sobre ellos (Custodio y Llamas, 2001).

Los acuíferos forman parte de una caracterización hidráulica que presentan un aspecto importante para el conocimiento, la gestión y manejo de estos y que se realiza conforme a los métodos y parámetros establecidos. A nivel mundial los acuíferos experimentan una creciente amenaza de contaminación ocasionada por la urbanización, el desarrollo industrial, actividades agrícolas y la explotación minera (Foster, 2006).

### **2.1.3. Recarga hídrica**

La recarga hídrica es el proceso de incorporación natural de agua, procedente del exterior, es decir por el contorno que lo limita, a través de los procesos de precipitación, escorrentía de aguas subterráneas o superficiales que alimentan a los acuíferos. El área o zona donde ocurre la recarga se llama zona de recarga y son sitios donde la capacidad de infiltración es alta. Las áreas de mayor recarga son las que más interesa conservar, tanto en sus características físicas de permeabilidad, que afectan la magnitud de la recarga como en actividades que produzcan contaminación que fácilmente se puedan infiltran al acuífero, afectando la calidad de sus aguas (Palacio y Betancur, 2007).

La recarga hídrica es considerada como reserva hídrica natural que presenta una alta importancia ecológica y su cantidad está determinada por la extensión de la entrada o captación del recurso hídrico. La recarga natural tiene un límite de la capacidad de almacenamiento del acuífero de forma que en un momento determinado el acuífero ya no puede ser almacenado y pasa a otra área, esto depende del espesor y profundidad (Faustino, 2006).

#### **2.1.3.1 Zonas de recarga hídrica**

La zona de recarga absorbe el agua lluvia hacia el acuífero, permitiendo que el agua se filtre hacia el acuífero hasta que el agua se transfiera a otro acuífero (Custodio, 1998). Las zonas de recarga hídrica proporcionan una serie de importantes servicios ecosistémicos de agua para los seres humanos y los ecosistemas, incluidos los servicios de suministro, regulación y apoyo. En la zona



de reabastecimiento de agua, hay hábitats de bosques tropicales, bosques de coníferas y bosques nubosos. Estos hábitats pueden prevenir la erosión, reducir el riesgo de inundaciones y mejorar la capacidad de las comunidades rurales para garantizar el acceso sostenible a la calidad y cantidad de agua (Pérez de Madrid et al., 2015).

La recarga hídrica puede ser natural ya que ingresa al reservorio de agua subterránea debido a la precipitación o infiltración de las vías fluviales durante un período de tiempo (Rojas, 2009). La recarga del acuífero depende de la extensión de la entrada o del área de captación, y las precipitaciones locales, la escorrentía superficial y las pendientes aluviales reciben grandes cantidades de agua de precipitación de las áreas montañosas (Instituto Nacional de Bosques [INAB], 2003).

#### ***2.1.4. Métodos para determinar la recarga hídrica***

Para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica se fundamenta en el proceso de infiltración del agua en el suelo y factores que se encuentran influenciados. En este sentido los elementos tipo de suelo, tipo de roca, tipo de textura, pendiente, geología, cobertura vegetal y uso del suelo son analizados para determinar si intervienen de manera positiva o negativa en el proceso de recarga hídrica (Matus, 2007).

Existen diversos estudios científicos para determinar la recarga hídrica que describen diferentes métodos, entre los que se encuentran, el Modelo Analítico, que determina la infiltración con base en la lluvia mensual (Schosinsky y Losilla, 2000). La metodología para determinar Áreas de Recarga Hídrica Natural (Instituto Nacional de Bosques [INAB], 2003), el método de Recarga de Agua Subterránea (Junker, 2005) y el método de la Radio Frecuencia (Elmahdy y Mohamed, 2014). Estas metodologías permiten identificar la recarga hídrica potencial de agua subterránea, con el uso de cartografía digital que constituyen una herramienta para gestionar y analizar la información espacial sobre la calidad del agua en la cuenca (Rodríguez y Pérez, 2014).

### **2.1.5. Modelo analítico para determinar infiltración**

Este método conocido como Balance Hídrico de Suelos propone establecer una ecuación que permite determinar la infiltración de una precipitación mensual, usando datos obtenidos del análisis de bandas pluviográficas, para obtener intensidades de lluvias diarias, mensuales o anuales (Schosinsky y Losilla, 2000).

Consiste en la correlación entre la infiltración potencial mensual, los valores mensuales de la infiltración dependen de la pendiente topográfica, cobertura vegetal y la intercepción de la lluvia en la hojarasca y se define en la siguiente ecuación (Schosinsky y Losilla, 2000).

$$I = 0.88 * C (k_p + k_v + k_{fc}) * P \quad (1)$$

Donde:

I: Infiltración (mm)

C: coeficiente de infiltración

K<sub>p</sub>: Fracción que infiltra por efecto de la pendiente

K<sub>v</sub>: Fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal

K<sub>fc</sub>: Fracción que infiltra por textura del suelo

P: Precipitación (mm)

Esta metodología se realiza mediante la ecuación (2), donde la recarga acuífera se obtiene de la multiplicación entre el balance climático y el coeficiente de infiltración, la ecuación determina la cantidad de agua infiltrada en una zona (Junker, 2005).

$$R = BC * C \quad (2)$$

Donde:

R: Recarga acuífera (mm)

BC: Balance climático (mm)

C: Coeficiente de infiltración

### **2.1.6. Usos del agua subterránea**

Según Martínez et al. (2020) mencionan que la composición química del agua subterránea se encuentra alterada debido a los diferentes procesos

geoquímicos, por lo tanto, sus captaciones se utilizan según su calidad y composición, los acuíferos proporcionan agua para uso doméstico en aproximadamente un 50% razón por la cual se utilizan principalmente las aguas subterráneas, lo que significa que debe someterse a depuración antes de que los humanos lo consuman.

Por otro lado, el creciente uso agrícola está aumentando en todo el mundo, proporcionando agua de riego para aproximadamente 100 millones de hectáreas de un total de 300 millones de agua que son regadas anualmente en el mundo (Blarasin et al., 2014; Hogesteger y Wester, 2018).

#### ***2.1.7. Contaminación del agua subterránea***

Es un cambio en la calidad natural del agua, haciéndola total o parcialmente inutilizable (Instituto Geológico y Minero de España, 2012). Posiblemente la contaminación de las aguas subterráneas es por procesos naturales debido a la presencia de altas concentraciones de minerales en los acuíferos y por actividades humanas provocadas por contaminantes infiltrados en el suelo o subsuelo (Herraiz, 2009). La entrada de contaminantes a los acuíferos es desde la superficie, a través del suelo y en la zona de saturación (Sauquillo, 1994).

Herraiz (2009) menciona que el deterioro de la calidad del agua subterránea se relaciona directa o indirectamente a procesos naturales y actividades humanas o la combinación de ambas. Sin embargo, las actividades humanas son fuentes fundamentales que provocan la alteración de este recurso, ya que influyen en la dinámica de la recarga del acuífero y en calidad del agua subterránea (Auge, 2006). La contaminación tiene mayor intensidad cuando el foco contaminante se encuentra más cercano al acuífero, que por su diversidad, naturaleza y comportamiento se dividen en contaminantes químicos y microbiológicos (Instituto Geológico y Minero de España, 2012).

#### ***2.1.8. Estrategias para proteger las aguas subterráneas de la contaminación***

Las estrategias representan lineamientos que orientan las políticas, acciones estratégicas y operativas para el manejo integral de la microcuenca, procurando la participación de todos los actores de la sociedad en general en el contexto de un

desarrollo integral, social, ambiental y económico para contribuir a la protección y manejo del recurso hídrico de un determinado lugar (Cárdenas y Muñoz, 2010).

Las aguas subterráneas son indispensables para la subsistencia y existencia humana y se caracterizan por presentar una notable regularidad con su calidad y temperatura, destaca la ausencia de turbidez y microorganismos nocivos. Las estrategias de protección se establecen a través de una política hídrica que tiene como finalidad hacer frente a la problemática de su contaminación puntual, garantizando la protección de su cantidad y aprovechamiento (Estrategia Nacional de Calidad del Agua, 2016).

Según Gárfias et al. (2008) mencionan que las estrategias para proteger a las aguas subterráneas son las siguientes: protección de las vertientes, buenas prácticas agroecológicas y capacitación ambiental, mismas que aseguran el funcionamiento de los cuerpos de agua para que se mantenga o mejore su calidad, además buscan dar soluciones integrales articuladas y coordinadas, sin fraccionar el accionar institucional del recurso hídrico. Los lineamientos de las estrategias tienen como objetivo aportar la seguridad hídrica y garantía de los derechos, entre ellos el derecho humano al agua y soberanía alimentaria.

#### ***2.1.9. Zonas de protección hídrica***

Las acciones de protección del recurso hídrico deben mantener el terreno con cobertura vegetal y contemplar actividades de aprovechamiento óptimo de los bosques, incentivando la aplicación de tecnologías adecuadas, ya que esta cuenca tiene como actividades fundamentales la ganadería y la agricultura para su propio desarrollo económico (Carrasco, 2011). A continuación, se cita principales terminologías (Tabla 1).

**Tabla 1.** Terminología usada en la presente investigación

<b>Término</b>	<b>Descripción</b>
Área de influencia	Área de escorrentía superficial hacia un punto dado, según la dirección el flujo que corresponde al área que drena hacia el punto determinado como fuente de agua.
Área de protección hídrica	Son los territorios donde existan fuentes de agua declaradas de interés público para el mantenimiento, conservación y protección que abastezcan el consumo humano o garanticen la soberanía alimentaria.
Conservación	Administración de la biosfera de forma que asegure su aprovechamiento sustentable.
Desarrollo sustentable	Mejoramiento de la calidad de la vida humana dentro de la capacidad de carga de los ecosistemas, en la que implica la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones.
Ecosistema	Unidad estructural, funcional y de organización consistente en organismos y variables ambientales bióticas y abióticas de un área determinada.
Fuente de agua	Nacientes de ríos y de sus afluentes, manantial o naciente natural en el que brota a la superficie, en cambio el agua subterránea aquella que recoge en su inicio de la escorrentía.
Soberanía alimentaria	Constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiados de forma permanente.

**Fuente:** (SENAGUA, 2018)

#### **2.1.10. Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica**

Es una metodología propuesta y elaborada por Matus (2007) siendo de tipo participativa que busca identificar zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas. Se basa en el análisis de cinco elementos (pendiente y micro relieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal permanente y usos del suelo) que influyen directamente en la determinación y zonas con altas o bajas posibilidades para que ocurra la recarga hídrica.

Los cinco elementos se combinan en una ecuación lineal, donde se suman para obtener una visión integral de cómo se encuentran incidiendo en el proceso de recarga. La suma de los valores de cada elemento de la ecuación, da un número que se ubica en un rango que indica la posibilidad de ocurrencia de la recarga hídrica. Es importante que este método no determina la cantidad de recarga, sino los factores que pueden favorecer o no la recarga hídrica.

$$ZR = 0.27(Pend) + 0.25(Cve) + 0.23(Ts) + 0.13(Us) + 0.12(Tr) \quad (3)$$

Donde:

ZR= zona de recarga hídrica

Pend= pendiente y micro relieve

Cve: cobertura vegetal

Ts: tipo de suelo

Tr: tipo de roca

Us: uso del suelo

0.27, 0.25, 0.23, 0.13, 0.12= factores de peso de cada elemento con relación a su importancia, aportes o influencia en la infiltración.

#### ***2.1.11. Demarcación de fuentes y zonas de recarga hídrica***

Para generar una mayor efectividad de las acciones de protección a las fuentes de agua y zonas de recarga hídrica es importante combinar estrategias como la vigilancia local organizada, negociación con compensación, protección de bosque remanente, fomento de la reforestación, cambio positivo en el uso del suelo, empleo de prácticas culturales amigables con el ambiente. Las acciones se deben empezar a realizar donde hay mayor urgencia de protección en las que se tenga claridad de las zonas más críticas para proteger la cantidad de efluentes de agua y el grado de vulnerabilidad priorizando la demarcación y saneamiento de las zonas más pequeñas (León, 2010).

#### ***2.1.12. Herramientas SIG en la identificación de zonas de protección hídrica***

Los Sistemas de Información Geográfica están constituidos por subsistemas que permiten ingresar, almacenar, editar y analizar datos geográficos. Su principal ventaja permite la obtención de nueva información mediante la combinación o

superposición de mapas, siendo una visión holística e integral de factores de interés en una investigación (FAO, 2005).

En cuencas hidrográficas las aplicaciones más frecuentes son los modelos hidrológicos, planes de manejo de cuencas y definición de zonas prioritarias para la conservación del recurso hídrico, además la cartografía se puede dividir en dos tipos (Cotler, 2004) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Tipos de cartografía

<b>General</b>	<b>Temática</b>
Describe la altitud del terreno mediante las curvas de nivel, como la red de drenaje.	Detalla diferentes factores del medio natural (suelo, vegetación, usos del suelo, precipitación, evapotranspiración), y del medio socioeconómico.

**Fuente:** (Cotler, 2004)

## **2.2. Marco legal**

El Estado Ecuatoriano tiene como base legal la Constitución del Ecuador aprobada en el 2008, en donde menciona la conservación de la naturaleza y la sustentabilidad. Por lo cual, en el capítulo II de Biodiversidad y Recursos Naturales en el Art. 395 el Estado garantiza un modelo de equilibrio de ecosistemas naturales y de biodiversidad para asegurar las futuras generaciones. Además, es imprescindible el manejo adecuado del recurso hídrico como cita el Art 318. el agua es la sustancia vital para la naturaleza y subsistencia de los seres humanos, por lo tanto, es prohibido la privatización del agua.

De la misma forma, en la sección sexta el Estado en los art. 411 y 412, el Estado garantiza el manejo y conservación integral del recurso hídrico, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico en donde ningún factor externo sin regulación puede afectar el equilibrio de los ecosistemas en fuentes y zonas de recarga hídrica. Además, el Estado es el encargado de promover prácticas ecológicas y tecnologías limpias para reducir la alteración e impacto a los servicios ecosistémicos y así garantizar el derecho al agua (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

A causa de las actividades antrópicas como la expansión agrícola y contaminación, conlleva a la alteración de agua y suelo que afecta la calidad de vida de los habitantes, por lo cual, se han creado convenios internacionales para la protección y sustentabilidad entre ellas se encuentra el Convenio sobre la Protección y Utilización de los Cursos de agua Transfronterizos y de los Lagos Internacionales adoptada en 1992 trata cuestiones como; enfoque ecosistémico en la gestión del agua, calidad y prevención de contaminación.

Por consiguiente, el Estado Ecuatoriano ha generado instrumentos legales para el manejo del recurso hídrico como la Ley orgánica de los recursos hídricos, usos y aprovechamiento que se vincula en la regulación, control y manejo sustentable de las fuentes y zonas de recarga de agua, ya que en el Art. 111 menciona que la autoridad única del agua establecerá y delimitará las áreas de protección hídrica, e integración al sistema Nacional de áreas protegidas para garantizar la conservación y el equilibrio de ecosistemas en especial de las fuentes y zonas de recarga y el subsistema que les corresponda. Por lo tanto, el problema de expansión territorial, ampliación de la frontera ganadera y agrícola, monocultivos, deforestación y crecimiento urbano causa vulnerabilidad, disminución en calidad y cantidad del caudal a la microcuenca Chinambí por lo que es necesario el manejo sostenible de los cuerpos hídricos, como menciona en los Art. 64, 65 y 66 sobre la gestión integral del agua, en donde incluye la preservación de la dinámica natural del ciclo integral, la protección de las cuencas hidrográficas y la restauración y recuperación a causa de la contaminación y ecosistemas alterados (Ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua, 2014).

Dicho lo anterior, otro instrumento legal para el manejo adecuado del recurso hídrico, se encuentra el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización, el cual se articula a esta investigación con el Art. 15 y 32 el cual menciona el manejo integrado de las cuencas hidrográficas y la gestión de la creación de consejos de cuencas de acuerdo con la ley para garantizar un equilibrio entre regiones y conservación de los recursos naturales (COOTAD, 2015).



El Código Orgánico del Ambiente publicado el 12 de abril del 2017, incluye la reforma sobre el manejo del agua, en el título I (De la conservación de la biodiversidad), en el Art. 30 afirma integrar un enfoque sistemático que considere los aspectos sociales, económicos y ambientales para la conservación y el uso sostenible de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos en coordinación con la Autoridad Única del Agua (COA, 2017).

Finalmente, el Estado Ecuatoriano con el fin de responder a los intereses colectivos y comunes de toda la población, implementa el Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025, destacando los recursos hídricos como un factor fundamental para el progreso económico, tomando en cuenta la función de mantener la integridad del entorno natural.

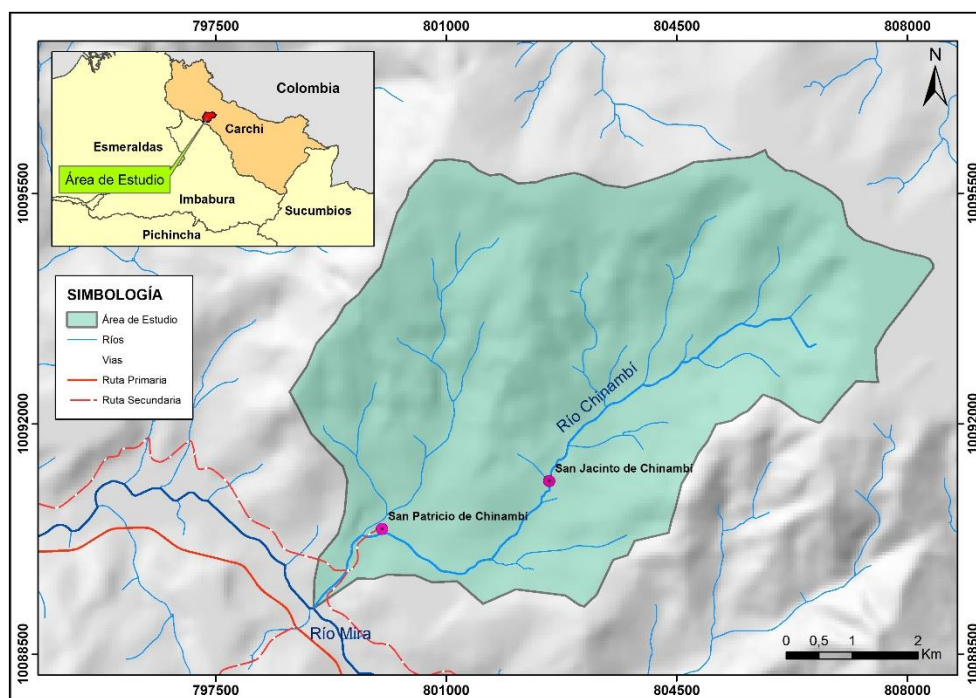
Promoviendo agua segura para todos mediante el desarrollo de estrategias sostenibles, con el compromiso de todos los actores sociales involucrados en su cuidado y uso responsable. La gestión integral de los recursos hídricos permite el adecuado uso y aprovechamiento del agua, precautelando la correcta administración del agua superficial y subterránea, considerando el orden de prelación de los diferentes destinos del recurso hídrico (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2021).

## CAPÍTULO III METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se desarrolló con base en la aplicación metodológica de identificación y preservación de zonas de recarga y descarga hídrica de la microcuenca del río Chinambí.

### 3.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio constituye la microcuenca del río Chinambí, con una extensión de 4 514.07 hectáreas, se ubica en la parroquia Jacinto Jijón y Caamaño del cantón Mira, en la provincia del Carchi (Figura 1), el rango altitudinal varía desde los 480 hasta 2 280 m s.n.m. Limita al Norte con el cantón Tulcán, al Sur con el cantón Ibarra, al Este y Oeste con el cantón Mira. El río Chinambí fluye por la vertiente occidental de la cordillera de los Andes y forma parte del drenaje del sistema fluvial del río Mira que desemboca en el Océano Pacífico de la costa colombiana (Instituto de Estudios Ecuatorianos [IEE], 2015).



**Figura 1.** Ubicación de la microcuenca del río Chinambí en la provincia del Carchi

### **3.2. Componentes biofísicos**

Corresponde a las características naturales y físicas del territorio, que permite establecer potencialidades para la gestión territorial, constituye la base del análisis del territorio ya que analiza el recurso natural sobre el cual se asienta la población y desarrolla sus actividades (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SNPD], 2014).

#### **3.2.1. Clima**

La clasificación climática de Pourrut (1995) la microcuenca presenta dos tipos de clima: en la parte baja presenta el clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo y en la parte media-alta tropical presenta un clima megatérmico húmedo registrando valores de 14 y 22 °C de temperatura media anual, y una precipitación que varía entre 991 y 2 731 mm (Instituto de Estudios Ecuatorianos [IEE], 2015). Los afluentes que conforman la microcuenca Chinambí son el río Chinambí chico y el río Usa, de tipo perenne que son una corriente natural de agua, más o menos continua que desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Algunas veces sus aguas se pierden por infiltración.

Según la clasificación taxonómica de suelos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), en el área de estudio predominan cuatro órdenes de suelos que son: andisoles, alfisoles, inceptisoles y entisoles (PDOT, 2011). El uso del suelo y cobertura vegetal está compuesto por un mayor porcentaje de la categoría bosque nativo, seguido de pastizales y cultivos. Las pendientes en la microcuenca son variadas cuenta con laderas abruptas aproximadamente en los 4 000 m s.n.m.

#### **3.2.2. Hidrología de la microcuenca**

La microcuenca Chinambí nace en los bosques nublados de la zona alta de los páramos de frailejones (*Espeletia*) de El Ángel, con un tipo de drenaje dendrítico los cuales se confluyen libremente en cualquier dirección y se desarrollan sobre rocas de resistencia uniforme. El agua fluye a través de geoformas montañosas y riveras rocosas rodeadas por remanentes de exuberante vegetación nativa que la

caracterizan por su potencial turístico y belleza escénica. La calidad del agua presenta gran oxigenación debido al continuo choque con las rocas, la distribución y circulación de sus aguas se acumula en quebradas, riachuelos y acuíferos. La calidad físico-química del agua del río Chinambí fue realizada en diferentes estudios por otros autores, a continuación, se detalla (Tabla 4) (Vilca, 2008).

**Tabla 4.** Calidad físico-química del río Chinambí

Parámetro	Río Chinambí
Temperatura	18 °C
pH	6.83
Conductividad	74.61 $\mu$ S/cm
Turbidez	1.5 UNT
Sólidos Totales Disueltos	37.34 mg/l
Demanda biológica de oxígeno	0.60 mg/l
Nitratos	0.79 mg/l
Nitritos	0.11 mg/l
Fosfatos	9.28 mg/l

**Fuente:** (Vilca, 2008)

### 3.3. Componente demográfico

Dentro de la microcuenca del río Chinambí se encuentran dos comunidades: San Patricio y San Jacinto de Chinambí (Tabla 3). Actores importantes para la preservación de fuentes hídricas en el lugar.

**Tabla 3.** Coordenadas de las comunidades inmersas en la microcuenca

Comunidad	Altitud	Coordenada X	Coordenada Y
San Patricio de Chinambí	881	800025	10090407
San Jacinto de Chinambí	1104	802564	10091134

La parroquia Jacinto Jijón y Caamaño es la más grande en extensión territorial a nivel del cantón Mira y se conforma por riquezas naturales de ríos transparentes que drenan sus aguas a través de montañas y riveras de exuberante vegetación y variada fauna propia del lugar que es manejada y conservada por sus pobladores. Para las comunidades de San Jacinto y San Patricio de Chinambí y en

general para la parroquia Jacinto Jijón y Caamaño, el turismo comunitario es visto como uno de los ejes promisorios para desarrollarse social, económica y ambientalmente en forma armónica y sustentable.

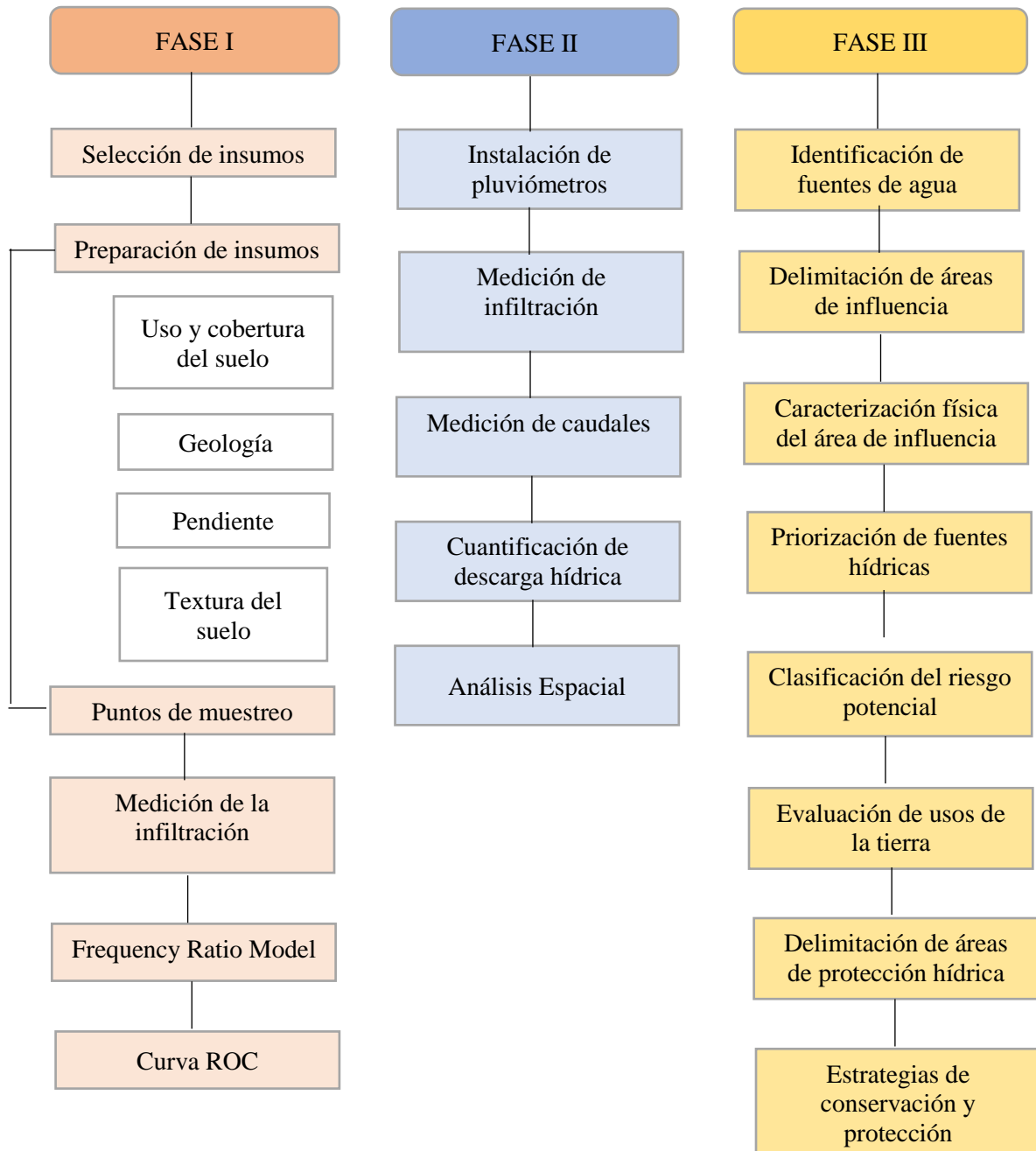
El área de estudio es un área de conservación y uso sustentable (Figura 2), que se consolida como iniciativa del proyecto de conservación de anfibios y recursos genéticos, liderado por el Ministerio del Ambiente, financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial y el programa de las Naciones Unidas (PNUD) y como actor estratégico local se encuentra el Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia del Carchi.



**Figura 2.** Cartelera informativa en el sendero del Área de Conservación y Uso Sustentable Provincial

### 3.4 Métodos

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos en el presente estudio, se utilizaron varios métodos realizados por etapas, mismos que fueron sustentados en la revisión bibliográfica por varios autores (Figura 3).



**Figura 3.** Diagrama de flujo de la metodología aplicada a la investigación del presente estudio

### ***3.4.1. Determinación de las zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río Chinambí***

Para la identificación de las zonas de recarga hídrica se utilizó la metodología de Matus, *Frequency Ratio Model*, información cartográfica del Instituto Espacial Ecuatoriano, trabajo de campo y puntos de control tomados con un navegador GPS.

#### **3.4.1.1. Selección de insumos**

Mediante el proceso de selección de insumos se analizó los factores que inciden en la identificación de zonas de recarga. Sobre esta base Matus (2007), utilizó cinco variables (tipo de suelo, tipo de roca, pendiente, cobertura vegetal y uso del suelo), en el presente trabajo de investigación se modificó a las características de la microcuenca, utilizando cuatro variables (textura del suelo, pendiente, uso y cobertura del suelo y geología), y sus coeficientes se obtuvieron mediante el modelo de la radio frecuencia. La ecuación establecida para las zonas de recarga (ZR) es la siguiente.

$$ZR = \beta(\text{Pendiente}) + \beta(\text{Textura del suelo}) + \beta(\text{Uso y Cobertura del suelo}) + \beta(\text{Geología}) \quad (4)$$

Para determinar las zonas de recarga hídrica se elaboró cartografía temática del Sistema Nacional de Información (SNI), a escala 1:50000, excepto para la variable geología que fue de 1:100000, y realizó trabajo en campo (puntos de entrenamiento).

#### **3.4.1.2. Preparación de insumos**

El presente estudio se centra en el mapeo sobre la zona de potencial de agua subterránea (GWPZ) en base a diferentes parámetros de influencia, su interconexión y contribución a los movimientos y acumulaciones de aguas subterráneas.

- **Uso del suelo y cobertura del suelo (lu)**

La cobertura vegetal (los atributos biofísicos de la superficie terrestre) y los usos del suelo (los distintos propósitos humanos con los que se aprovechan estos

atributos) determinan el funcionamiento de los ecosistemas terrestres que afectan directamente a su biodiversidad, contribuyen a los cambios climáticos locales, regionales, globales y son las fuentes primarias de la degradación de los suelos. (Anbazgan et al., 2015). El área de estudio presenta tres categorías: bosque nativo, cultivos y pastizales (Figura 4).

- **Pendiente (sI)**

Define la variación de elevación en un área particular que influye en la escorrentía (Naghi et al., 2016). Generalmente en pendientes suaves el movimiento del agua es lento lo que permite una mayor percolación en el suelo. El grado de la pendiente varía desde 0% a mayor al 70% y se clasifica en cinco clases: 0- 12%, plana a ligeramente ondulada, 12- 25%, fuertes colinado 25- 50%, muy fuertes escarpado 70% y abruptas montañoso mayor al 70% (Figura 4).

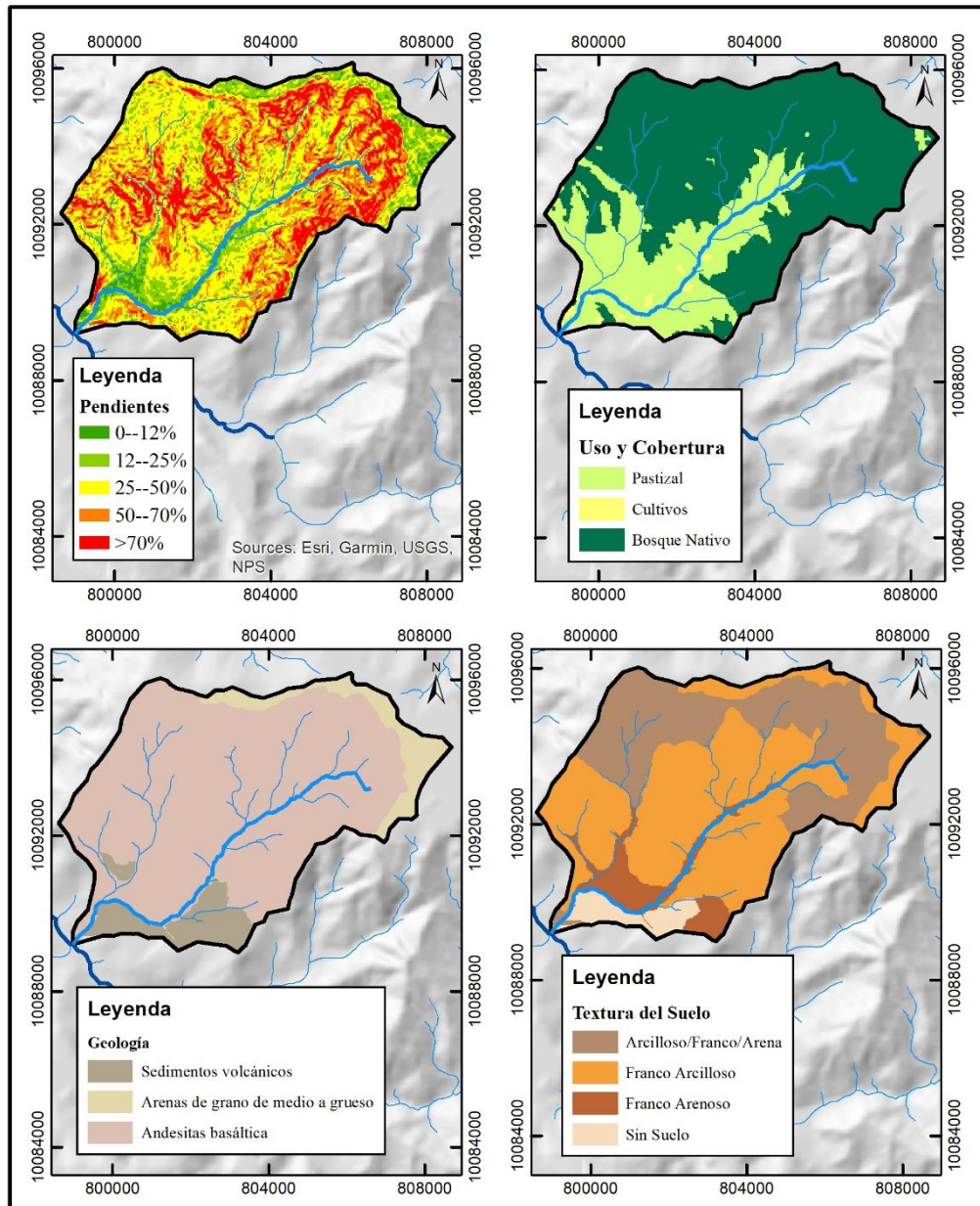
- **Geología (ge)**

Representación de diferentes tipos de rocas, sedimentos y suelos que afloran en la superficie terrestre (Naghi et al., 2016). El área de estudio está compuesta geológicamente por arenas de grano de medio a grueso, gravas y cantos subangulares a angulares/Bloques, cantos y gravas de rocas volcánicas, arena, andesitas basálticas de color gris verdusco y sedimentos volcánicos, tobas silicificadas intercalado con lavas silicificadas (Figura 4).

- **Textura de suelo(ts)**

La textura de suelo hace referencia a importantes características que intervienen en la recarga hídrica. El área de estudio presenta cuatro categorías: arcilloso/franco/no aplicable/arena, franco arcilloso, franco arenoso y sin suelo (Figura 4).

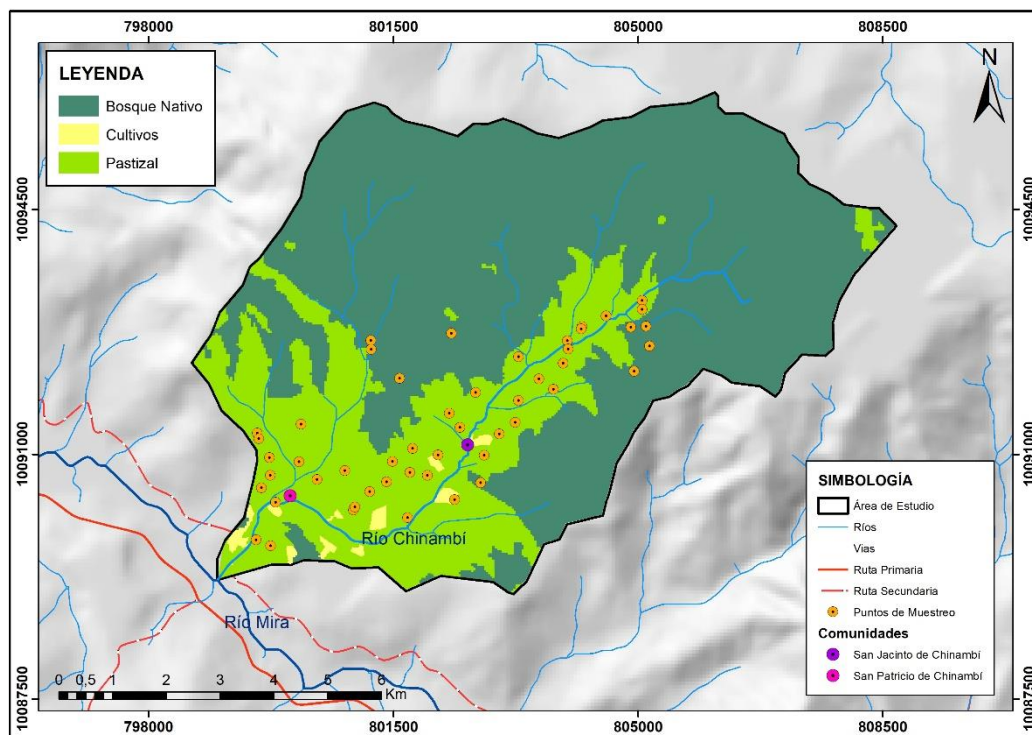




**Figura 4.** Insumos empleados para el análisis del Frequency Ratio Model (pendientes, uso y cobertura del suelo, geología y textura del suelo)

### 3.4.1.3. Identificación de los puntos de muestreo

En este proceso se trabajó con la metodología propuesta por Rengifo y Puerta (2011), donde se realizó un *intersect* en el software ArcGIS 10.5 de los cuatro mapas temáticos (uso y cobertura de suelo, pendientes del terreno, textura de suelo y geología), para determinar los puntos de muestreo de infiltración dentro del área, lo que determinó un total de 51 puntos a muestrear mensualmente (Figura 5).



**Figura 5.** Puntos de muestreo de la infiltración

### 3.4.1.4. Medición de infiltración de agua en el suelo

Se realizaron mediciones o pruebas de infiltración superficial en campo mediante el infiltrómetro Turf- Tec, (Figura 6) que consiste en un cilindro externo de 15 cm de longitud que se introduce en el suelo, para medir la cantidad de agua que satura el horizonte A. Las mediciones se realizaron con una frecuencia mensual en época lluviosa (enero 2021-mayo 2021), una vez terminada la fase de campo se procesó la información (Chamorro, 2017).



**Figura 6.** Medición de infiltración del agua en el suelo

Con los datos obtenidos en campo se realizó un análisis estadístico mediante la prueba de *Kruskall Wallis*, con un nivel p de significancia de 0.05, ya que los datos no presentan distribución normal y son no paramétricos. Para conocer su interacción se planteó las siguientes hipótesis: Hipótesis nula ( $H_0$ )= No existe interacción entre los factores geología, textura, pendiente y cobertura de suelo en la generación de recarga hídrica en época lluviosa y la hipótesis alternativa ( $H_a$ )= Existe interacción entre los factores geología, textura, pendiente y cobertura de suelo en la generación de recarga hídrica en época lluviosa.

#### **3.4.1.5. Aplicación del *Frequency Ratio Model***

Es un enfoque estadístico bivariado y se utiliza para determinar la probabilidad de áreas con potencial de agua subterránea sobre la base de relaciones entre la variable dependiente, para realizar el modelo se seleccionaron 14 puntos de muestreo con mayor valor significativo que representan el 70%, para el desarrollo se utilizó información cartográfica de textura del suelo, pendientes del terreno, geología, uso y cobertura del suelo en formato *ráster* generados en el *software ArcGIS 10.5*, esta información se exportó al *software Excel* donde se analizó los datos para determinar el valor del coeficiente adecuado para cada variable (Elmahdy y Mohamed, 2014; Berhane et al., 2020). Para generar el mapa de zonas de recarga hídrica se realizó en base a la ecuación general de Matus (zonas de recarga) y a los ponderados de los *ráster* y presenta la siguiente categorización (Tabla 5).

**Tabla 5.** Categorización de la recarga hídrica

Recarga	V. mínimo	V. máximo
Baja	210	1701
Media	1701	3990
Alta	3990	6570

#### 3.4.1.6. Capacidad de campo

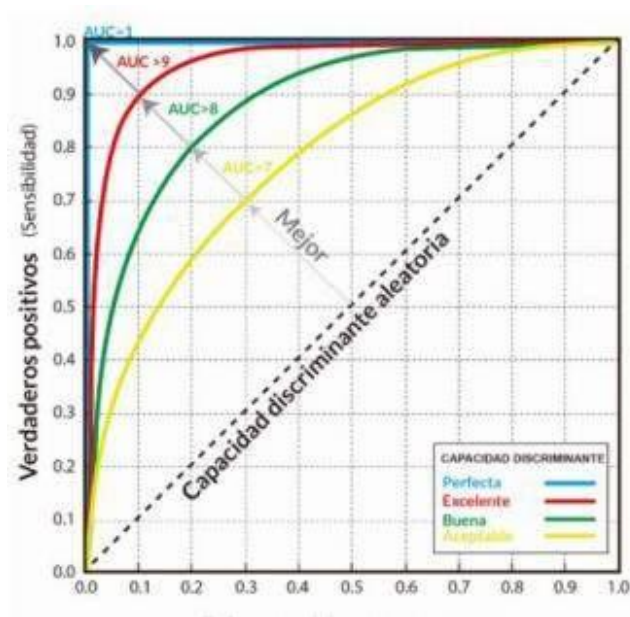
La capacidad de campo (CC%) es el contenido de agua en peso, el análisis se realizó para determinar el umbral en la validación estadística de la curva ROC, para ello se eligió una zona del terreno representativa de los tres tipos de suelo (franco arenoso, franco arcilloso y franco), se marcó una superficie de 1 m x 1 m, se eliminó toda la vegetación y los primeros cm de suelo. Posteriormente se construyó un bordo de tierra apisonada de 10 cm de altura y se extrajo la muestra con la ayuda de una excavadora de mano y para los cálculos se utilizó la siguiente formula (García et al., 2012).

$$CC\% = \frac{(\text{peso freco a CC} - \text{peso suelo seco})}{\text{peso suelo seco}} * 100 \quad (5)$$

#### 3.4.1.7. Curva ROC

La validación del modelo se realizó mediante la curva *Receiver Operating Characteristic* (ROC) en el *software* XLSTAT, con un total de 37 puntos de muestreo que no se usaron en la aplicación del modelo de la radio frecuencia, de los cuales se usó como verdaderos positivos (VP) al promedio de la recarga hídrica y falsos positivos (FP) la validación (Amorim et al., 2009).

Al usar los parámetros mencionados anteriormente se trazó la curva ROC, en el eje Y se presenta la sensibilidad y en el eje X la especificidad. El resultado se obtiene el área bajo la curva, por lo que un valor menor a 0.5 indica que el modelo no tiene capacidad predictiva y un valor de 1 indica que el modelo tiene máxima capacidad predictiva (Gutiérrez et al., 2018) (Figura 7).



**Figura 7.** Curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*)

**Fuente:** (Gutiérrez et al., 2018)

### 3.4.2. Cuantificación la descarga hídrica en la microcuenca del río Chinambí

Para cuantificar la descarga hídrica que existe en la microcuenca del río Chinambí, se realizó la medición de precipitación e infiltración. Para ello en una demostración práctica se instaló pluviómetros en zonas con presencia de bosque nativo y plantación de guanábanas.

#### 3.4.2.1. Instalación de pluviómetros métricos

Se seleccionaron dos sitios en la parte baja de la microcuenca para la instalación de dos pluviómetros con capacidad de 27.9 cm, en este proceso se utilizó herramientas como: martillo, machete y un nivel de ingeniero para su instalación (PDOT, 2011) (Figura 8), con la finalidad de obtener datos de precipitación diaria y estos fueron medidos después de cada período de lluvia.



**Figura 8.** Instalación de pluviómetros

Los pluviómetros fueron instalados a una altitud de 906 y 821 m.s.n.m. (Tabla 6).

**Tabla 6.** Ubicación de los pluviómetros

Código	Pluviómetro	X	Y	Altitud
A	1	798797	10090383	906
B	2	798848	10090062	821

El análisis y validación de datos de precipitación se realizó entre los valores obtenidos en campo en el período septiembre 2019 - agosto 2020, comparando con los valores puntuales extraídos del *ráster* de precipitación obtenido del servidor *Global Climate* (<https://climate.nasa.gov/>) (Tabla 7).

**Tabla 7.** Datos de precipitación obtenidos por sensores remotos

Mes	Ráster 1 (mm)	Ráster 2 (mm)
sep-19	142.60	140.91
oct-19	267.06	249.30
nov-19	230.33	222.46
dic-19	248.12	232.83
ene-20	179.25	171.57
feb-20	172.49	166.30
mar-20	160.51	150.83
abr-20	348.94	332.98
may-20	432.00	430.44
jun-20	265.49	259.02
jul-20	100.38	91.34
agos-20	168.61	167.56

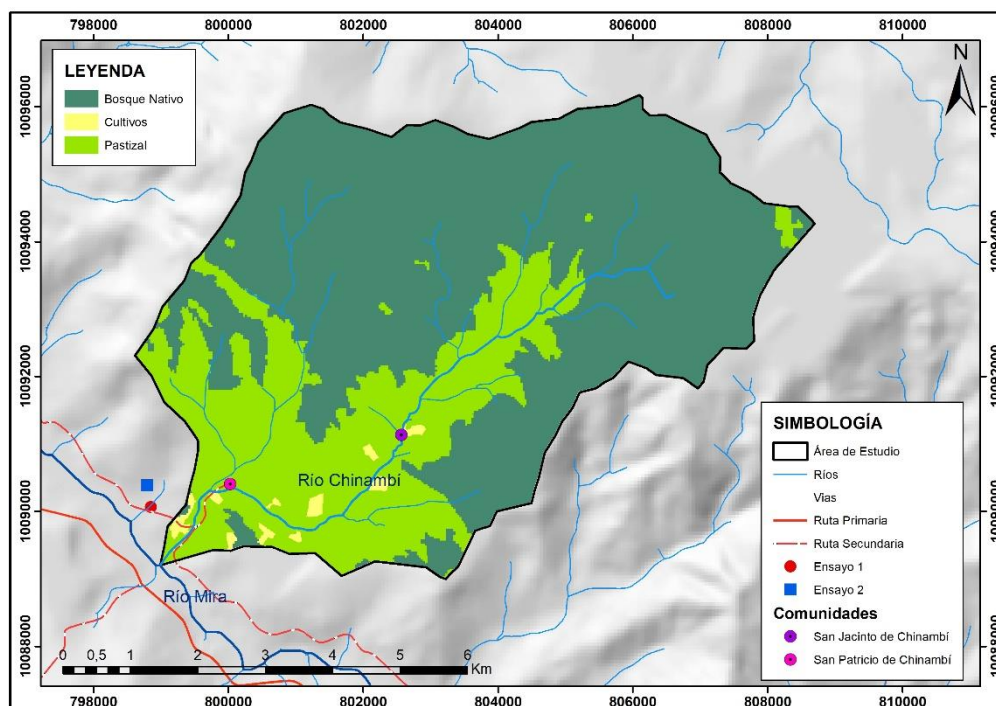
En función de los datos se realizó una correlación de *Pearson* y según los niveles de significancia se determinó si la correlación es directa o inversamente proporcional entre las variables (Tabla 8) (Hernández, 2018).

**Tabla 8.** Rango de valores de correlación *r*

Correlación	Valores
Correlación inversa perfecta	$r = -1$
Correlación inversa	$-1 < r < 0$
No hay correlación	$r = 0$
Correlación directa	$0 < r < 1$
Correlación directa perfecta	$r = 1$

Fuente: (Hernández, 2018)

En la Figura 9 se indica la ubicación de los dos pluviómetros instalados para la medición de la precipitación.

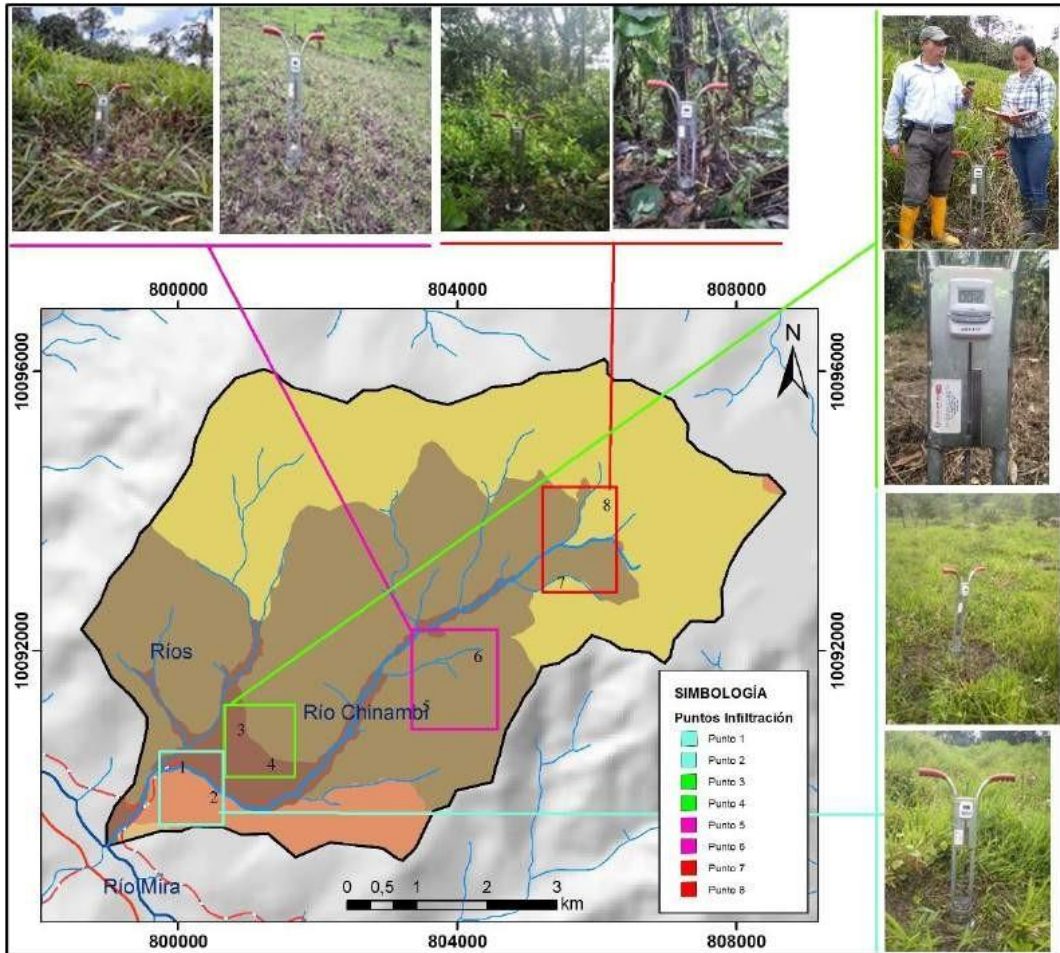


**Figura 9.** Ubicación de los pluviómetros

### 3.4.2.2. Medición de infiltración de agua en el suelo por orden de suelo

Se realizó dos mediciones en cada tipo de orden de suelo en época lluviosa, y se obtuvo el valor total de la infiltración (mm/min), donde se determinó que la capacidad de infiltración de los cuatro órdenes de suelo presento variaciones altamente significativas respectivamente (Figura 10).





**Figura 10.** Ubicación de los puntos de muestreo (Infiltración)

### 3.4.2.3. Medición de caudales del río Chinambí y sus principales afluentes

La medición de los caudales se realizó en la parte alta, media y baja del río y de sus principales cuerpos hídricos en época lluviosa (enero- febrero y marzo) y época seca (julio, agosto y septiembre) (Figura 11). Se aplicó el método de flotador que permite estimar en forma aproximada el caudal, se debe estimar la velocidad del agua y el área del canal (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015).

El cálculo del caudal estimado se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$Q = Fc * A * \left(\frac{L}{T}\right) \quad (6)$$

Donde:

Q = es el caudal, en (lt/s)

L = es la longitud entre los puntos A y B (m)

A = área (m<sup>2</sup>)

T = tiempo (s)

Fc = es el factor de corrección

Donde Fc es un factor de corrección relacionado con la velocidad. El valor de Fc se debe seleccionar de acuerdo con el tipo de río o canal y a la profundidad de este, con los valores que se observa en la (Tabla 9).

**Tabla 9.** Determinación del Factor de Corrección (Fc) para cálculo de caudales por el método del flotador

Tipo de Cauce	Factor de Corrección FC
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15	0.8
Canal en Tierra, profundidad del agua > 15 cm	0.7
Riachuelos profundidad del agua > 15 cm	0.5
Canales de tierra profundidad del agua < 15 cm.	0.25- 0.5

**Fuente:** (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015)

Procedimiento:

- a) Se seleccionó el río con un tramo recto y uniforme, de preferencia sin piedras grandes, ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, cuya longitud fue de 10 metros de largo, donde el agua escurra libremente. En el tramo seleccionado se ubicaron dos puntos A (de inicio) y B (de llegada).
- b) Medición del área del cauce, se dividió el ancho del cauce en cinco tramos iguales, en este caso se calcularon cinco áreas que tienen relación con los espacios. Para calcular el área se aplicó la siguiente fórmula.

$$A = \frac{(h_0 + h_1) * e}{2} \quad (7)$$

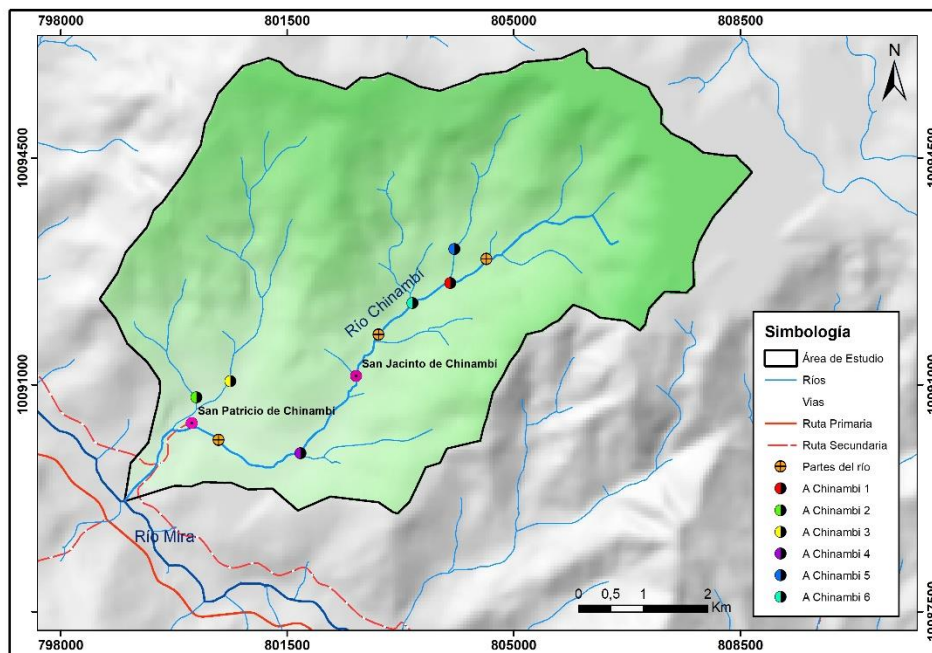
- c) Para la medición de la velocidad del agua se utilizó la siguiente fórmula de Gutiérrez et al. (2012), repitiendo 5 veces la medida del tiempo que demora el flotador en recorrer los 10 metros.

$$Q = \frac{Distancia}{Tiempo} \quad (8)$$

- d) Cálculo del Caudal

$$Q: Q = fc * A * V \quad (9)$$

Considerando que la sección presenta un canal en tierra mayor de 15 cm, se utilizó un  $F_c=0.7$  como se indica en la Tabla 8 (Ministerio de Agricultura y Riego, 2015). El análisis de correlación de *Pearson* se realizó con los datos obtenidos del caudal en época seca y época lluviosa en el *software* Excel.



**Figura 11.** Ubicación de las partes del río y cuerpos hídricos de la microcuenca

#### 3.4.2.4. Análisis espacial para cuantificar las zonas de descarga hídrica

El análisis espacial representa un conjunto de técnicas y modelos que utilizan una distribución espacial de los valores que dan respuesta a la dinámica en el espacio, se centra en el manejo de datos geográficos, implica descubrir las

particularidades de un fenómeno para definir su participación dentro de la globalidad, que requiere el acceso al componente local y temático de la información y sobre todo amplia la capacidad de tratamiento de los datos geográficos que ofrecen una gran ventaja en su utilización, debido a que conducen de forma más rápida a la conclusión de resultados para la toma de decisiones (Gamir et al., 1995).

Con los seis puntos de vertientes obtenidos en campo se realizó delimitaciones de microcuencas considerándolos como puntos de aforo, para ello se utilizó el *software ArcGIS 10.5*, de cada microcuenca se calculó su área y luego se dividió para la medición del caudal obtenido, con la finalidad de tener el caudal específico registrado en cada microcuenca.

### ***3.4.3. Propuesta de zonas de protección hídrica en la microcuenca Chinambí***

La propuesta de zonas de protección hídrica se realizó mediante la metodología de la ex SENAGUA (2018), con un manejo adecuado y alcance del desarrollo sustentable para la comunidad cercana. En ese sentido, se debe tener en cuenta que los lineamientos o acciones que estén dirigidas a la mitigación ambiental y que promuevan sociedades responsables de ambientes naturales, tiene como primer punto el entendimiento de las necesidades, visiones de los grupos sociales que se encuentran dentro del área de estudio (Castillo y Peña, 2015).

#### **3.4.3.1. Identificación y delimitación de las fuentes de agua a ser declarada de interés público**

Se definió de acuerdo con los datos obtenidos en campo que permitirán manejar de manera adecuada y sostenible el recurso hídrico.

- **Delimitación de las áreas de influencia de las fuentes de agua**

La delimitación del área de influencia de la fuente se la realizó a partir del punto establecido como fuente de agua en la que se utilizó información básica el modelo digital del terreno de la unidad hidrográfica, mediante esto se creó el mapa de dirección de flujo, con este mapa y el punto determinado como fuente de agua se obtuvo el área de la microcuenca que drena hacia este punto, el cual se llama área

de influencia de la fuente de agua.

En estos territorios delimitados como área de influencia, se condicionan los usos y actividades que puedan realizarse, a fin de evitar amenazas potenciales sobre la fuente (SENAGUA, 2018).

- **Caracterización física del área de influencia**

Esta caracterización física es necesaria para conocer el estado ecológico o de conservación y poder tomar las medidas oportunas para su protección o alternativas de manejo que se realizan en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional para la conservación y protección del agua en la fuente.

- **Priorización de las fuentes hídricas a ser analizadas**

La priorización se realizó considerando las características propias de la zona y la problemática respecto al acceso o disponibilidad del agua existentes en territorio

- **Clasificación del riesgo potencial de degradación del suelo**

El estudio del riesgo potencial de degradación del suelo del área de influencia ayudara a conocer el riesgo del territorio en cuanto a la conservación de la microcuenca y evitar la degradación del suelo.

- **Evaluación del uso de las tierras para su priorización**

La evaluación del uso de las tierras ayudo a planificar el uso apropiado aplicable a estos territorios y priorizar las zonas en donde se requiere aplicar las medidas de sostenibilidad en el área de influencia.

- **Alteraciones en la fuente de agua y su área de influencia**

Se determinó el tipo de alteración su origen y ubicación dentro de la fuente y su área de influencia.

- **Delimitación del área de protección hídrica**

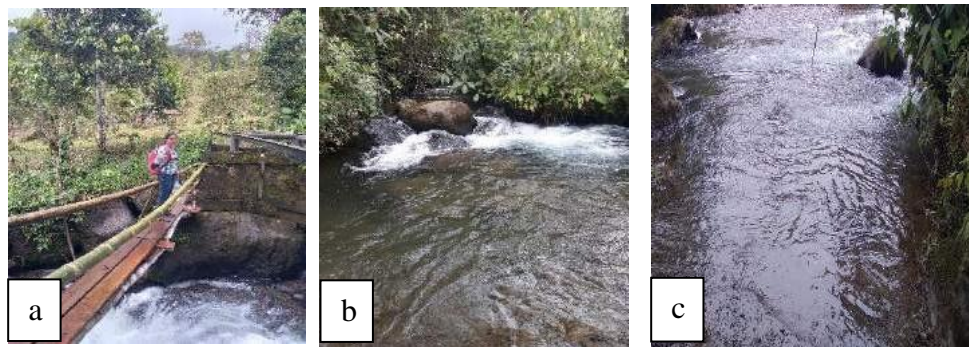
Se denominan áreas de protección hídrica a los territorios donde existen fuentes de agua declarados de interés público para su mantenimiento, conservación y protección que abastezcan el consumo humano o garanticen la soberanía alimentaria, las mismas que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas

#### **3.4.3.2 Estrategias de conservación y protección para las áreas de protección hídrica**

Según el Instituto Geológico y Minero de España (2012) para la protección de captaciones es necesario realizar una delimitación de perímetros de protección que tienen como objetivo proteger la calidad y cantidad de las aguas subterráneas. Es una estrategia relevante ante el riesgo potencial que supone la actividad antrópica en los alrededores de las captaciones. Además, los perímetros de protección restringen o prohíben las actividades o infraestructuras susceptibles de contaminar las aguas subterráneas. Razón por la cual con un radio de 50 m se identificaron las actividades susceptibles de contaminar las vertientes.

Para el cumplimiento de este objetivo, fue indispensable la elaboración de una propuesta de estrategias de protección y conservación de las vertientes, se analizó los resultados obtenidos de las zonas de recarga hídrica y la identificación de las vertientes de captación y de reserva. Se identificó actividades que ponen en riesgo la calidad y cantidad de agua de las vertientes, considerando la metodología usada por Gárfias et al. (2008) que mencionan que la protección de captaciones es la forma más antigua de proteger el acuífero de la contaminación restringiendo el uso del terreno que lo circunda.

Las tres vertientes identificadas están distribuidas de la siguiente manera: dos corresponden a fuentes de reserva y una corresponde a fuente de captación, (Figura 12) se encuentran dentro del bosque nativo y pastizales y se constató que en un mejor porcentaje pueden ver afectadas por actividades cercanas realizadas por el hombre, además son fuentes que abastecen del servicio a las comunidades San Patricio y San Jacinto de Chinambí.



**Figura 12.** Vertientes que abastecen del servicio a las comunidades: a) fuente de captación, b) fuente de reserva 1 y c) fuente de reserva 2

Para la adecuada implementación de las estrategias se realizó un análisis de las partes interesadas conocido como “*Stakeholder analysis*” para determinar los actores sociales involucrados y los posibles ajustes en las estrategias propuestas para maximizar la participación colectiva y el impacto positivo (Fernández, 2010).

Se consideró a todos los individuos y organizaciones competentes dentro del manejo de los recursos naturales del cantón, posteriormente se planteó acciones encaminadas a la prevención de problemas futuros que garanticen la protección y conservación de los acuíferos.

### **3.5. Materiales y equipos**

En el siguiente apartado se presentan los materiales y equipos que se utilizaron durante el desarrollo del presente trabajo. Asimismo, se detallan los procedimientos técnicos para cumplir los objetivos planteados. Los materiales que se emplearon en el presente trabajo serán clasificados en materiales, equipos y recurso humano, los cuales se detallan en el Tabla 10.

**Tabla 10. Materiales y equipos**

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Software ArcGIS 10.5	Cámara Fotográfica
Fichas de registro	Computador
Libreta de campo	Impresora
Botas de caucho	Navegador GPS
Machete	Infiltrómetro Turf- Tec
Martillo	Pluviómetros (métricos en plástico claro)
Nivel de ingeniero	Cronómetro
Poncho de agua	
Soporte metálico	
Cinta métrica	
Flotador	
Excavadora de mano	



## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente capítulo se detallan e interpretan los resultados obtenidos en función de los objetivos propuestos en la presente investigación, analizando literatura citada y discutiendo con otras investigaciones similares con la finalidad de validar la información generada.

#### **4.1. Determinación de las zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río Chinambí**

Los resultados obtenidos corresponden a las zonas del área de estudio donde los suelos tienen capacidad de retener agua o almacenarla de acuerdo con el movimiento del agua.

##### ***4.1.1. Aplicación estadística de la prueba de Kruskal Wallis***

Como resultado de la prueba de *Kruskal Wallis* (Tabla 11) se obtuvieron 14 puntos altamente significativos donde se acepta la hipótesis alternativa que existe interacción entre los factores geología, textura, pendiente y cobertura de suelo en la generación de recarga hídrica en época lluviosa. Por esta razón presentó un grado de significancia de  $p < 0.0047$ .

**Tabla 11.** Resultados de la prueba de *Kruskal Wallis*

N	Medias	DE	Medianas	Promedio de Rangos	H	P
1	8.8	0	8.8	13	34.38	0.0047
5	9	1.53	8.8	13.3		
4	9.2	1.21	8.7	13.63		
1	10.8	0	10.8	20		
9	10.96	1.95	11.4	26		
1	11.6	0	11.6	29		
16	11.76	0.9	11.8	32.44		
3	11.8	0.2	11.8	32.83		
1	12.4	0	12.4	41.5		
1	12.4	0	12.4	41.5		
1	12.6	0	12.6	44		
1	13.6	0	13.6	48.5		
1	18.6	0	18.6	50		
1	36.4	0	36.4	51		

#### 4.1.2. *Aplicación del Frequency Ratio Model*

Los resultados obtenidos de los diferentes factores se indican en la Tabla 12, el valor de la radio frecuencia para los cultivos fue de 0.97 siendo el más alto, con un área de 0.90% que representa el 28.57% de puntos de medición de la infiltración, en la categoría sin suelo presentó un valor de 0.46 de radio frecuencia, con 4.39% de área que representa el 14.29% de puntos de medición en campo. La categoría de sedimentos volcánicos tiene un valor de 0.80 de la radio frecuencia, con 8.41% de área y 28.57% de puntos de medición.

El factor espacial pendiente presentó cinco categorías y se obtuvo lo siguiente: 1.81 es el valor mayor de la radio frecuencia que corresponde a la categoría 0-12% plana a ligeramente ondulada, 4.53% corresponde al área y con el 50% de puntos de medición de la infiltración lo que indica una alta probabilidad de ocurrencia de infiltración y acumulación de agua subterránea y 0.29 es el valor menor de la radio frecuencia que pertenece a la categoría >70% abruptas montañoso con un 14.25% de área y el 25% de puntos de medición, además es el único factor espacial que presenta puntos muestreados en campo.

**Tabla 12.** Resultados de cálculos de la radio frecuencia

<b>Factor</b>	<b>Categoría</b>	<b>N° de puntos</b>	<b>% de puntos</b>	<b>Área clases</b>	<b>% de área</b>	<b>Radio</b>	<b>RF</b>
Uso y cobertura del suelo	Cultivos	3364	28.57	485	0.90	31.62	0.97
	Bosque nativo	8410	71.43	36756	68.48	1.04	0.03
	Pastizal	0	0	16436	30.62	0	0
<b>Suma</b>		<b>11774</b>	<b>100</b>	<b>53677</b>	<b>100</b>	<b>32.66</b>	<b>1</b>
Textura del suelo	Arcilloso/franco/no aplicable/arena	0	0	18265	34.03	0	0
	Franco arenoso	2523	21.43	4391	8.18	2.62	0.37
	Franco arcilloso	7569	64.29	28662	53.40	1.20	0.17
	Sin suelo	1682	14.29	2359	4.39	3.25	0.46
	<b>Suma</b>	<b>11774</b>	<b>100</b>	<b>53677</b>	<b>100</b>	<b>7.07</b>	<b>1</b>
Geología	Arenas de grano	0	0	4599	8.57	0	0
	Andesitas basálticas	8410	71.43	44566	83.03	0.86	0.20
	Sedimentos volcánicos	3364	28.57	4512	8.41	3.40	0.80
<b>Suma</b>		<b>11774</b>	<b>100</b>	<b>53677</b>	<b>100</b>	<b>4.26</b>	<b>1</b>
Pendiente del terreno	0-12%	1682	50	2136	4.53	11.04	1.81
	12-25%	3364	100	7719	16.36	6.11	1.00
	25-50%	3364	100	19445	41.22	2.43	0.40
	50-70%	2523	75	11146	23.63	3.17	0.52
	>70%	841	25	6724	14.25	1.75	0.29
<b>Suma</b>		<b>11774</b>	<b>350</b>	<b>47170</b>	<b>100.00</b>	<b>24.51</b>	<b>4.01</b>

Las categorías que reflejan un valor mayor a 1 de la radio frecuencia sugieren una alta infiltración y las categorías que presentan un valor menor que 1 indica una baja infiltración. Esto concuerda con lo expuesto por Samy y Mohamed (2012), quienes mencionan que los valores de RF tienen una relación directa para sugerir una alta infiltración cuando los valores son superiores a 1 y se obtienen de las categorías más representativas de cada factor. Según Madrucci y Taioli (2008) los valores superiores a 1 se consideran como limitaciones a la favorabilidad de las aguas subterráneas, debido a que el modelo de la radio frecuencia determina el nivel de correlación (1) entre la ubicación del suelo y sus factores.

En las pendientes del terreno se obtuvo una suma de 4.01 de RF, siendo el valor mayor en relación con los demás factores espaciales (textura, geología, uso y cobertura del suelo). Esto coincide con lo reportado por Anbazgan et al. (2015) donde menciona que las ubicaciones de los manantiales están ubicadas en las elevaciones más altas de la montaña, es decir que las zonas con alta recarga hídrica potencial dependen directamente de la pendiente. Los parámetros que tienen gran influencia en el potencial de recarga hídrica lo definen las pendientes del terreno (Naghi et al., 2016).

En un estudio realizado por Rao y Jugran (2003) manifiestan que las zonas con alto potencial de recarga hídrica se producen en pendientes menores como lo reporta el presente estudio, la pendiente de 0 - 12% (plana a ligeramente ondulada) presentó un valor de 1.81 de RF, debido a que esta categoría no favorece la escorrentía superficial y el agua puede concentrarse en el suelo y realizar el proceso de infiltración. Esto concuerda con lo mencionado por Israil et al. (2006), que si la pendiente aumenta también aumenta la escorrentía que conduce a una menor infiltración.

Los cuatro factores espaciales presentan valores mínimos y máximos de radio frecuencia, es decir entre esos rangos puede darse la probabilidad de sugerir infiltración. En los resultados de probabilidad se obtuvo lo siguiente: 3.31 es el valor mayor predictor que corresponde al factor espacial pendiente del terreno con un valor mínimo de radio frecuencia de 0.29 y el valor máximo de radio frecuencia de 1.81, siendo el factor con un alta probabilidad de que ocurra la infiltración y para el factor espacial textura del suelo presenta el valor menor predictor de 1.00, con un valor mínimo de radio frecuencia de 0.00 y el valor máximo de radio frecuencia de 0.46, siendo el factor con baja probabilidad para presentarse infiltración, obteniéndose como valor mínimo total de 0.46 que corresponde a los cuatro factores espaciales (Tabla 13).

**Tabla 13.** Resultados de probabilidad

Factor	Min RF	Max RF	Max-Min	Min Total	PR
Uso y cobertura	0.00	0.97	0.97		2.11
Pendientes	0.29	1.81	1.52	0.46	3.31
Textura del suelo	0.00	0.46	0.46		1.00
Geología	0.00	0.80	0.80		1.74

Los resultados de los coeficientes de la ecuación 4 (*factorial*), se describen en la Tabla 14, contiene la suma de las variables, la *factorial*, *pairwise* y el valor de multicriterio de cada predictor, donde el valor *factorial* son los resultados de los coeficientes de la ecuación de Matus Silva, para ello se modificó la ecuación para el área de estudio considerando sus variables y la información geográfica disponible, el resultado final de modelo de la radio frecuencia se representó de la siguiente manera.

$$Z = 0.41(\text{pendiente}) + 0.12(\text{textura del suelo}) + 0.26(\text{uso y cobertura del suelo}) + 0.21(\text{geología}) \quad (10)$$

Los coeficientes de la ecuación son los ponderados que se utilizan para la generación del mapa zonas potenciales de recarga hídrica (suma de las variables), utilizando un modelo *ráster* para la determinación potencial y clasificación de las zonas de recarga.

**Tabla 14.** Resultado de *factorial* para cada variable

Predictor	Suma /Variable	<i>Factorial</i>	<i>Pairwise</i>	Multicriterio
Pendiente del terreno	1.62	0.41	3.31	0.41
Uso y cobertura del suelo	1.03	0.26	2.11	0.26
Textura del suelo	0.49	0.12	1.00	0.12
Geología	0.85	0.21	1.74	0.21

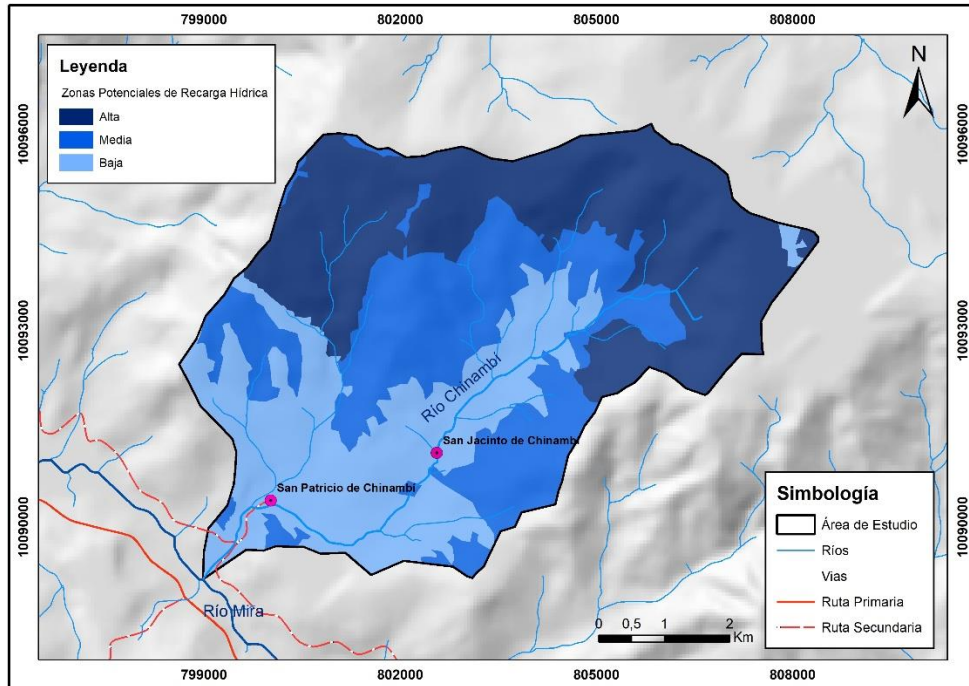
Los valores de *factorial* y multicriterio son iguales lo que significa que los cálculos anteriores son correctos. Los valores del *pairwise* son los resultados de la probabilidad a presentar alta infiltración o acumulación de agua subterránea.

Para la identificación de las áreas con mayor potencial de recarga hídrica se inició de la ecuación desarrollada por Matus (2007), la cual considera cinco variables (0.27 pendientes del terreno, 0.23 tipo del suelo, 0.12 tipo de roca, 0.25 cobertura vegetal y 0.13 uso del suelo). En el presente estudio se consideró la información geográfica disponible y se obtuvo los siguientes resultados (0.41 pendiente, 0.12 textura del suelo, 0.26 uso y cobertura del suelo, 0.21 geología) que representan la importancia relativa de cada una de las variables, concordando con Matus (2007). En un estudio realizado por Bueso (2010), reportó que los valores de la variable uso y cobertura del suelo (0.25) son semejantes debido a que presentan similar tipo de cobertura vegetal.

Guru et al. (2017) mencionan que las características estructurales actúan como un medio de transmisión para la infiltración de agua subterránea, además las diversas categorías de cada mapa temático presentan una integración de datos temáticos con sus diferentes combinaciones para evaluar la influencia de diferentes factores en las aguas subterráneas concordando con el presente estudio.

#### ***4.1.3. Categorización de las zonas potenciales de recarga hídrica***

Los resultados obtenidos para cada unidad de mapeo fueron reclasificados en base a lo planteado en la Tabla 5, y se identificaron tres categorías con potencial de recarga hídrica alta, media y baja (Figura 13).



**Figura 13.** Zonas potenciales de recarga hídrica

La categoría alta, es la más predominante del área de estudio con 1 743.51 hectáreas lo que representa el 39% (bosque nativo), por sus características físicas la microcuenca se clasifica como apta para que ocurra la recarga hídrica o la infiltración del agua en el suelo, dicho de otra manera, la cantidad de agua que se precipita y queda disponible en la microcuenca tiene posibilidades de que se infiltre y recargue los acuíferos (Tabla 15).

En la categoría media se encuentra el bosque nativo y los pastizales con un 30%, en la categoría baja se encuentra los pastizales y cultivos con 31% que describen las condiciones de cada una de ellas y al mismo tiempo resaltan las diferencias que conforman el área de estudio, además se analizaron las relaciones e influencias de dichas variables en la recarga hídrica o las condiciones actuales de la microcuenca.

**Tabla 15.** Zonas potenciales de recarga hídrica de la microcuenca del río Chinambí

Nivel Potencial de Recarga	Hectáreas	Porcentaje
Baja	1404.52	31%
Media	1366.04	30%
Alta	1743.51	39%
<b>Suma</b>	<b>4514.07</b>	<b>100%</b>

Al comparar las zonas potenciales de recarga hídrica identificadas, así como la clasificación del potencial de recarga asignado con el mapa de recarga hídrica potencial, y aplicando el mismo modelo propuesto con la transposición de unidades de mapeo, se obtuvo que las zonas potenciales de recarga se encuentran en la parte alta de la microcuenca Chinambí.

Matus (2007) elaboró una propuesta metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, en la subcuenca del río Jucuapa en Nicaragua. El estudio se basa en la determinación de las zonas más aptas para la recarga hídrica en función del análisis de cinco elementos (pendiente y micro - relieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo) que tienen relación directa en la determinación de zonas con altas o bajas posibilidades de recarga. Para el presente estudio, en la parte alta de la microcuenca Chinambí, se determinó que los componentes biofísicos con mayor influencia en la potencialidad de las zonas de recarga son las pendientes, uso y cobertura del suelo, concordando con los resultados obtenidos por Matus (2007) debido a que el suelo y su vegetación no se realizan actividades humanas dentro del bosque nativo. Bueso (2010) obtuvo un área de 31.97% de la zona alta de potencial de recarga hídrica debido a que existe contaminación de los acuíferos, mientras que en el presente estudio el área es de 39% en la zona alta de potencial hídrico esto se debe a que no existe contaminación en parte alta (bosque nativo) de la microcuenca.

#### ***4.1.4. Análisis de la capacidad de campo***

Con base en el resultado obtenido en campo se tomó en cuenta la categoría con mayor porcentaje (Franco arcilloso, CC 33%) de contenido de agua o humedad (Tabla 16) y de acuerdo con su promedio menor (8), de recarga hídrica el umbral



se definió de la siguiente manera, todos los valores mayores o iguales a 8( $\geq 8$ ), presentan codificación de evento positivo (1).

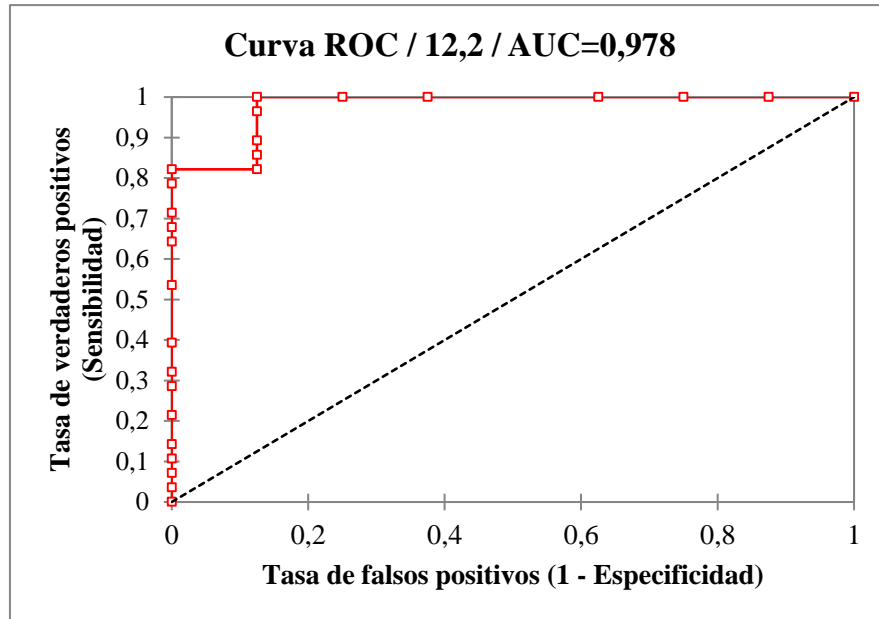
Lincoln et al. (2016) menciona que cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, la planta no tendrá que ejercer mucha fuerza para extraer el agua del perfil del suelo, por el contrario, si deja que la humedad del suelo disminuya la planta tendrá que trabajar más duro para extraer la humedad del suelo, como lo reporta en el presente estudio en el tipo de suelo franco arenoso donde las plantas requieren de mayor fuerza para extraer la humedad del suelo. En el estudio de capacidad de campo realizado por Soto et al. (2014) llegaron a la conclusión que el tipo de suelo franco arcillo (30%) y franco (34%), son valores que presentan una capacidad de campo alta. En el presente estudio se realizó en los mismos tipos de suelo y se obtuvieron valores similares, debido a que en estos tipos de suelos retienen con más facilidad el agua.

**Tabla 16.** Resultados de la capacidad de campo

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Capacidad de campo (%)</b>
Franco arenoso	15%
Franco arcilloso	33%
Franco	28%

#### ***4.1.5. Validación del modelo mediante la curva ROC***

Con la información obtenida se realizó la validación del modelo de la radio frecuencia, obteniéndose un valor de 0.978 en el área bajo la curva, con un error estándar de 0.022, siendo un modelo aceptable (Figura 14).



**Figura 14.** Curva *Receiver Operating Characteristic* (ROC)

El modelo de radio frecuencia (RF) reportó muy buenos resultados, tal como lo mencionan Guru et al. (2016) donde obtuvo un valor de AUC de 0.9525 que indica un método adecuado para determinar la capacidad de predicción. Heagerty y Zheng (2005) mencionan que la curva ROC ayuda a distinguir el modelo entre dos variables, sobre esta base en el presente estudio permitió conocer el rendimiento de la recarga hídrica en función de la capacidad de campo.

#### **4.2. Cuantificación de la descarga hídrica en la microcuenca del Río Chinambí**

Para cuantificar la descarga hídrica de la microcuenca del río Chinambí se contabilizó la precipitación mensual y medición de caudales. A continuación, se describen cada uno de los resultados.

##### **4.2.1. Análisis de los resultados medidos de la precipitación**

Se presenta los resultados obtenidos de los pluviómetros instalados en la parte baja de la microcuenca, punto 1 y punto 2 correspondiente al período septiembre 2019- agosto 2020 (Tabla 17).

En el pluviómetro 1 el mes con mayor precipitación medida fue mayo con 438.7 mm y el valor obtenido por el sensor remoto en el mismo mes fue 432.0 mm

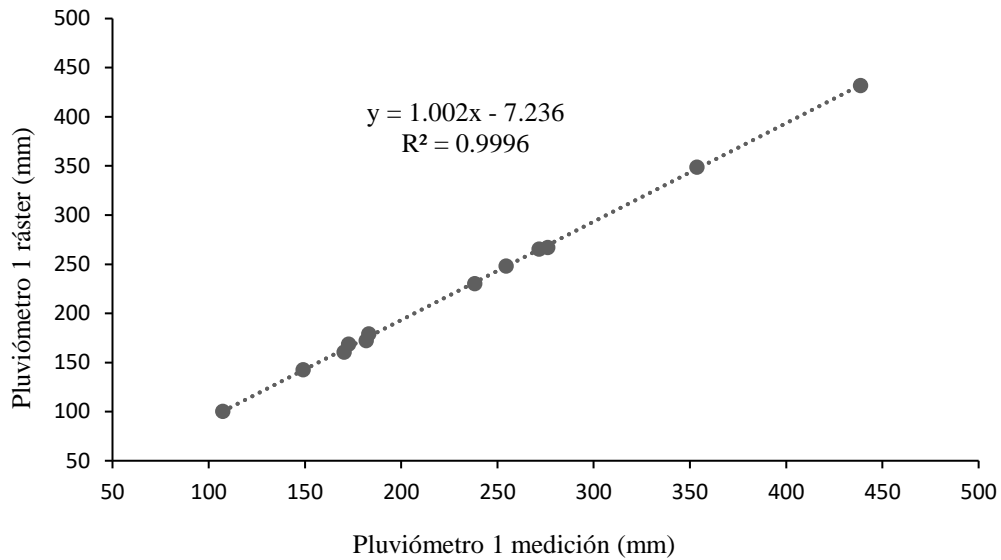
y el mes con menor precipitación medida fue julio con 107.3 mm y el valor obtenido por el sensor remoto en el mismo mes de julio fue 100.38 mm (Tabla 17).

En el pluviómetro 2 el mes con mayor precipitación medida fue mayo con 437.7 mm y el valor obtenido por el sensor remoto en el mismo mes fue de 430.44 mm y el mes con menor precipitación medida fue julio con 95.20 mm y el valor obtenido por el sensor remoto en el mismo mes fue de 91.34 mm (Tabla 17).

**Tabla 17.** Datos de precipitación mensual registrada en los pluviómetros

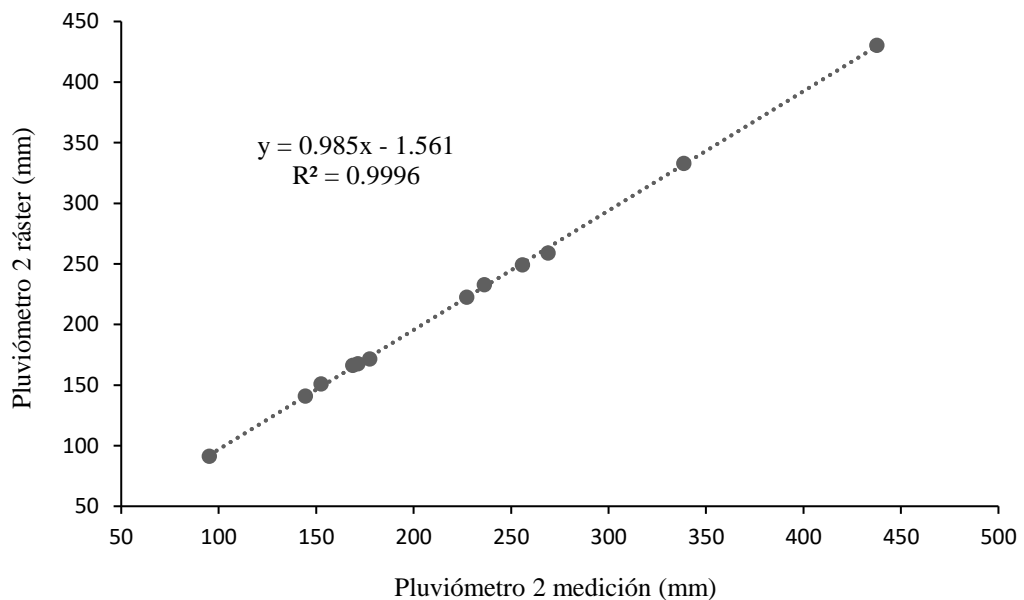
Mes	Pluviómetro 1 (mm)	Pluviómetro 2 (mm)
sep-19	149.1	144.4
oct-19	276.1	255.8
nov-19	238.3	227.3
dic-19	254.5	236.3
ene-20	183.1	177.5
feb-20	181.8	168.7
mar-20	170.3	152.5
abr-20	353.7	338.6
may-20	438.7	437.7
jun-20	271.6	268.9
jul-20	107.3	95.2
ago-20	172.6	171.4

El cálculo del coeficiente de correlación mostró un valor de  $r = 0.999$  para el pluviómetro 1, al ser positivo muestra una correlación directamente proporcional y al ser un valor próximo al 1, es una correlación casi perfecta por lo que se demuestra que la precipitación *ráster* observada tiene una alta coincidencia con la precipitación medida con el pluviómetro instalado en campo (Figura 15).



**Figura 15.** Gráfico de dispersión del coeficiente de correlación de la precipitación observada en función de la precipitación medida

El cálculo del coeficiente de correlación mostró un valor de  $r = 0.999$  para el pluviómetro 2, al ser positivo muestra una correlación directamente proporcional y al ser un valor próximo al 1, es una correlación casi perfecta por lo que se demuestra que la precipitación *ráster* observada tiene una alta coincidencia con la precipitación medida con el pluviómetro instalado en campo (Figura 16).



**Figura 16.** Gráfico de dispersión del coeficiente de correlación de la precipitación observada en función de la precipitación medida

En el estudio realizado por Asurza et al. (2018) sobre Evaluación de los productos *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* y *Global Precipitation Measurement (GPM)* en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huancané, presentan un incremento de precipitación en los meses de diciembre a abril, coincidiendo con el presente estudio en el mes de abril (345.85 mm), debido al comportamiento estacional de la precipitación para la microcuenca del río Chinambí, mientras que los meses con valores bajos de precipitación son de mayo a noviembre, coincidiendo con los meses que son julio (101 mm), agosto (171.5 mm) y septiembre (146.75 mm) estos valores de precipitación se deben al tipo de clima y a las condiciones climáticas de cada área de estudio.

#### 4.2.2. Análisis de los resultados medidos de la infiltración por orden de suelo

Las mediciones de infiltración de agua en el suelo se realizaron en los cuatro tipos de orden (alfisoles, andisoles, inceptisoles y entisoles) que presenta la microcuenca, con dos mediciones en cada orden en diferentes puntos.

En el orden de suelo alfisoles, el primer punto de medición de la infiltración fue de 13mm en un tiempo de 15 minutos y el segundo punto fue de 3 mm en un tiempo de 15 minutos, en este orden se muestra el uso y cobertura vegetal de tipo pasto denominado Micay (*Axonopus micay*) (Tabla 18).

**Tabla 18.** Medición de infiltración por orden de suelo Alfisoles

N°	Tipo de Suelo	X	Y	Altitud (msnm)	Tiempo (min)	Infiltración (mm)	Infiltración mm/min
1	Alfisoles	804545	10092976	1325	15	13	0.87
2	Alfisoles	804003	10092501	1243	15	3	0.2

En el orden de suelo andisoles, el primer punto de medición de la infiltración fue de 3 mm en un tiempo de 30 minutos y el segundo punto fue de 2 mm en un tiempo de 30 minutos, en este caso las dos mediciones se obtuvieron en el mismo tiempo, en este punto de muestreo existe un tipo de bosque muy húmedo montano bajo. (Tabla 19).

**Tabla 19.** Medición de infiltración por orden de suelo Andisoles

N°	Tipo de Suelo	X	Y	Altitud (msnm)	Tiempo (min)	Infiltración (mm)	Infiltración mm/min
1	Andisoles	803017	10091289	1112	30	3	0.1
2	Andisoles	803585	10092076	1204	30	2	0.07

En el orden de suelo inceptisoles, el primer punto de medición de la infiltración fue de 7.5 mm en un tiempo de 45 segundos, siendo el punto de muestreo en presentar un menor tiempo y el segundo punto fue de 5 mm en un tiempo de 20 minutos, en este orden se muestra el uso y cobertura vegetal de tipo pasto denominado Micay (*Axonopus micay*) (Tabla 20).

**Tabla 20.** Medición de infiltración por orden de suelo Inceptisoles

N°	Tipo de Suelo	X	Y	Altitud (msnm)	Tiempo (min)	Infiltración (mm)	Infiltración mm/min
1	Inceptisoles	799819	10090310	860	45s	7.5	1
2	Inceptisoles	801707	10090092	978	20	5.0	0.25

En el orden de suelo entisoles, el primer punto de medición de la infiltración fue de 7.5 mm en un tiempo de 15 minutos y el segundo punto fue de 55 mm en un tiempo de 1 minuto, en este tipo de orden se muestra un cultivo de yuca (*Manihot esculenta*) en crecimiento (Tabla 21).

**Tabla 21.** Medición de infiltración por orden de suelo Entisoles

N°	Tipo de Suelo	X	Y	Altitud (msnm)	Tiempo (min)	Infiltración (mm)	Infiltración mm/min
1	Entisoles	799537	10089773	821	15	7.5	0.5
2	Entisoles	799745	10089689	875	1	55.0	55

Según Faustino (2006) la falta de una adecuada consideración del proceso de infiltración puede resultar en una distribución de agua poco uniforme, así como en una excesiva pérdida del agua debido a la percolación profunda o la escorrentía. Muchos de los factores relacionados al suelo que controlan la infiltración también gobiernan el movimiento y la distribución del agua en el suelo, durante y después del proceso de infiltración. Por tanto, es muy importante entender la infiltración y sus factores (Skaggs et al.,1983).

De acuerdo con Delgadillo (2016) en su estudio sobre la medición de la infiltración según los tipos de suelos tienen correlación con los resultados de la presente investigación. En el orden alfisoles la infiltración medida en un tiempo de 30 minutos fue de 2 mm y 3 mm, respectivamente. Datos que no varían con el estudio a discutir. Vale destacar que en el estudio el orden de suelo que si varía su capacidad de infiltración fue el orden entisoles en un tiempo de 15 minutos infiltró 7.5 mm y en 1 minuto infiltró 55 mm, a diferencia que Delgadillo (2016) en el orden entisoles el agua infiltró 22 mm en 30 minutos.

De acuerdo con Faustino (2006) las rocas que permiten mayor infiltración hídrica son las areniscas y lahares a diferencia de las formaciones geológicas como piroclastos que ayudan a que el recurso pueda infiltrarse, pero solo por fraccionamiento. En el área de estudio podemos encontrar la cantidad adecuada en mayor cantidad con 1 935.54 hectáreas. Por su parte Peñuela y Carrillo (2013) consideran como un aspecto importante en la búsqueda de zonas de recarga debido a sus propiedades hidráulicas permiten determinar la facilidad con que el agua se mueve a través de ese medio.

Dentro del estudio de Hernández et al. (2020) encontraron 34 unidades litológicas que abarcaron gran parte de la superficie dentro del área de estudio presentando depósitos aluviales en un 15%, lahar-piroclástico en un 9% mismas que consideraron como cuerpos de permeabilidad alta junto con las unidades de basalto, basalto-andesita, tobas riolíticas, calizas.

Como mencionan Andrade et al. (2008) en su estudio de evaluación de recarga hídrica en sistemas silvopastoriles al tener componentes arbóreos muestran mayores beneficios hidrológicos en la zona de recarga ya que estos disminuyen la escorrentía superficial e incrementan la infiltración favoreciendo una mayor conservación del agua en el suelo. La cobertura vegetal de la misma manera influye en la infiltración del agua permitiendo así un mayor contacto con el suelo, disminuyendo la escorrentía, erosión y el impacto de la gota lluvia además de la sequedad causada por el sol, de acuerdo a Matus et al. (2009) todos estos factores favorecen la recarga hídrica, con base a la cobertura vegetal se puede facilitar la infiltración del agua en suelos duros y arcillosos.

#### 4.2.3. Análisis de la medición de caudales del río Chinambí

En la Tabla 22 se muestra el caudal aforado en la parte baja, media y alta de la microcuenca Chinambí. Los caudales mayores registrados corresponden a la parte baja con 9 100 lt/s (época lluviosa) y 7 000 lt/s (época seca), debido a que es donde se concentra toda el agua de escurrimiento de la microcuenca y los caudales menores se encuentra la parte alta con 2 520 lt/s (época lluviosa) y 1 680 lt/s (época seca), en este punto de aforo se concentra el agua de escurrimiento de dos afluentes que se encuentran en lo más alto del lugar de estudio.

Para la medición de los caudales de la microcuenca del río Chinambí se aplicó el método de flotador. Existe un déficit, pero el río se mantiene con su caudal mínimo durante la época seca, hay que considerar que el río en época lluviosa el flujo se comporta de manera exponencial.

**Tabla 22.** Caudales medidos de la microcuenca Chinambí

Río	Caudal (lt/s)	Caudal (lt/s)	Altitud	Coordenada	Coordenada
Chinambí	época seca	época lluviosa	(msnm)	X	Y
Baja	7 000	9 100	825	799514	10089779
Media	2 800	4 200	877	802491	10091079
Alta	1 680	2 520	1250	805116	10092625

Los resultados obtenidos en época lluviosa y seca concuerdan con el estudio realizado por Jácome (2016), donde el caudal con mayor valor fue de 9 140 lt/s y en época seca el caudal fue de 7 240 lt/s, el aumento de caudales se debe que a mayor erosión del suelo va haber mayor escorrentía y menor infiltración. Ávila (2021), reportó que los caudales que presentan mayor valor dependen de la precipitación y temperatura. El río Chinambí presenta buenos caudales que contribuyen al progreso de las actividades generadas por los pobladores de las comunidades locales.

Además, en el período lluvioso hay un mayor caudal por la presencia de las precipitaciones, en época seca disminuye no solamente por la escasez de las precipitaciones, sino que también se debe a las altas temperaturas por ende al mayor potencial de la evapotranspiración de las plantas y de la evaporación más intensa



de los cursos de agua (Espinoza, 2016).

#### 4.2.4. Cuantificación de la descarga hídrica en la microcuenca

En la microcuenca del río Chinambí se identificaron 6 puntos de aforo con la finalidad de calcular el caudal específico (Tabla 23). Los caudales mayores registrados corresponden al afluente Chinambí 3 con 1 827 lt/s (época lluviosa) y 1 568 lt/s (época seca), debido a que es el punto donde se concentra toda el agua de escorrentía superficial y los caudales menores se encuentra el afluente Chinambí 4 con 146 lt/s (época lluviosa) y 154 lt/s (época seca), debido a que es un lugar donde no cuenta con muchos drenajes cercanos y el agua pueda concentrarse.

**Tabla 23.** Medición de caudales de los principales cuerpos hídricos de la microcuenca

Lugar	Caudal (lt/s) época seca	Caudal (lt/s) época lluviosa	Altitud (msnm)	Coordenada X	Coordenada Y
Afluente Chinambí 1	231	294	1068	803991	10092620
Afluente Chinambí 2	140	182	1245	805062	10093196
Afluente Chinambí 3	1 568	1 827	889	800409	10090636
Afluente Chinambí 4	146	154	895	800151	10090892
Afluente Chinambí 5	210	336	1149	801181	10092625
Afluente Chinambí 6	252	294	1067	805116	10092827

Los resultados concuerdan con lo expuesto por Guarochico y Guishca (2018) quienes mencionan que los caudales tienden a aumentar en época lluviosa y permite identificar la cantidad de agua y la conservación acuática, los caudales permiten conocer la disponibilidad de agua. Por otra parte, es importante mencionar que a medida que hay mayor profundidad el caudal aumenta por ello se adaptan limitaciones existentes en cuanto a logística y recursos disponibles en el que permite mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de ecosistemas terrestres asociados (Carrillo, 2013).

El caudal más bajo registrado en época lluviosa fue de 154 lt/s que pertenece al afluente Chinambí 4, siendo un drenaje menor y se localiza en la parte baja de la microcuenca, esto representa que el caudal es utilizado para el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas, hecho que lo contrasta con lo señalado por León et al. (2011) en donde el aprovechamiento del recurso hídrico está ligado a la actividad agrícola, de forma que se provoca una ineficiencia en el aprovechamiento del recurso. El caudal máximo registrado en época lluviosa fue de 1 827 lt/s que corresponde al afluente Chinambí 3 en la parte baja, concordando con el estudio realizado por Zhicay (2020) menciona que el caudal es directamente proporcional, es decir, al aumentar la altura del nivel de agua, aumenta el caudal del río en la parte baja de la microcuenca.

Se puede evidenciar que los resultados presentados existen una relación directamente proporcional entre la precipitación y la oferta hídrica generada en la microcuenca. A esta razón coinciden con lo reportado por Carvajal y Gutiérrez (2013) quienes mencionan que los caudales presentan variaciones en función de la época (lluviosa o seca), permitiendo conocer el comportamiento de la microcuenca.

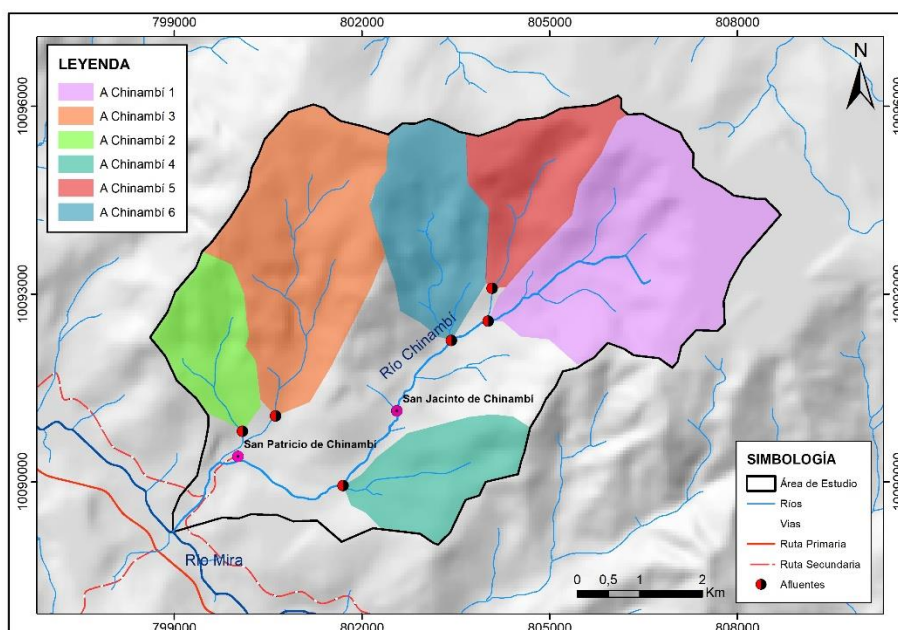
#### ***4.2.5 Análisis espacial para cuantificar las zonas de descarga hídrica***

Una zona de descarga es la evidencia más viable de identificar el funcionamiento del agua subterránea, es el sitio donde el agua aflora (superficie) y representa la fase final de recorrido del flujo subterráneo. El caudal específico registrado en la microcuenca del río Chinambí es relativamente alto en función de la superficie que abarca cada afluente. Chinambí 1 compone una superficie de 981 hectáreas y registró un caudal específico de 0.29 lt/s\*hectáreas, el más bajo con relación a los demás afluentes medidos. El afluente con caudal específico más alto fue Chinambí 3 con 2.04 lt/s\*hectáreas, debido a que la superficie en su mayoría es de bosque nativo y una minoría de pastizales respectivamente (Tabla 24).

**Tabla 24.** Medición del caudal específico de los principales cuerpos hídricos de la microcuenca

Número	Lugar	Superficie (ha)	Caudal específico (lt/s ha)
1	Afluente Chinambí 1	981.82	0.29
2	Afluente Chinambí 2	285.29	0.53
3	Afluente Chinambí 3	880.44	2.04
4	Afluente Chinambí 4	156.44	0.96
5	Afluente Chinambí 5	398.75	0.78
6	Afluente Chinambí 6	359.19	0.79

En la Figura 17 se muestra el mapa con las delimitaciones correspondientes de los seis puntos aforados, obteniéndose seis microcuencas dentro del área de estudio, que son aguas superficiales que vierten a una red hidrográfica (río Chinambí).



**Figura 17.** Superficies de los afluentes del río Chinambí

Se obtuvo seis microcuencas que se encuentran distribuidas en toda el área de estudio con drenajes menores, hecho que coincide con lo reportado por Corponariño (2007) donde los drenajes menores alimentan a un río principal y llega a producirse una confluencia de varios ríos. En un estudio realizado por Bustamante, Otoy y Vásquez (2008) reportaron que los drenajes menores son la oferta hídrica que corresponde al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre, esto concuerda con el presente estudio, debido a que en la parte baja y media se desarrollan actividades agrícolas y tres fuentes de agua son utilizadas para consumo humano.

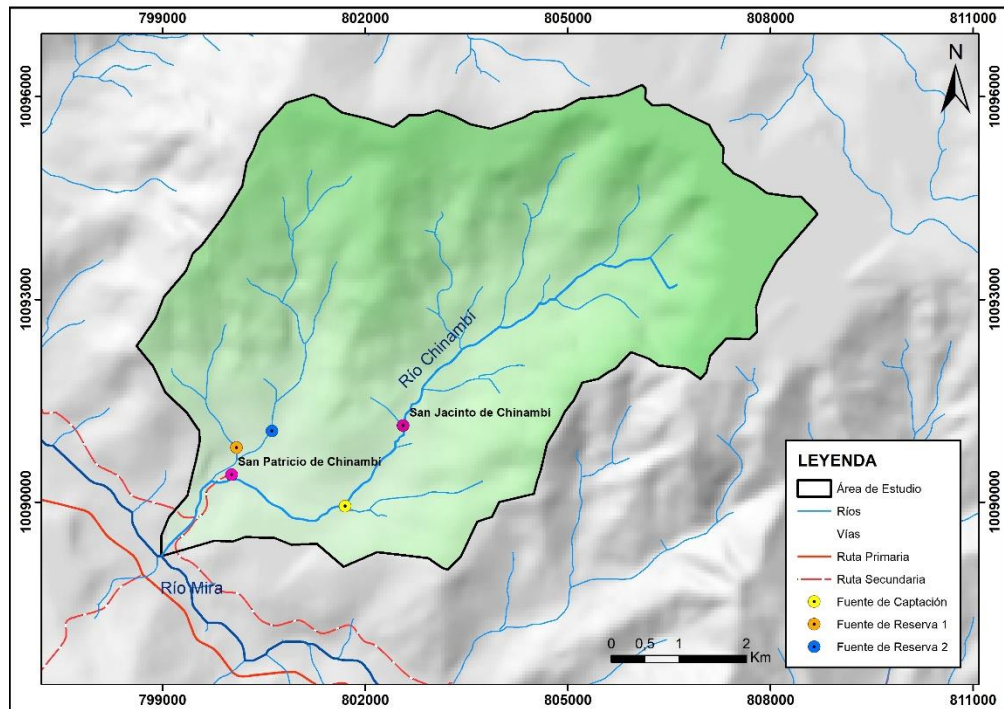
El análisis espacial permitió conocer el caudal específico de cada microcuenca en función de la superficie, esto concuerda por Fuentes (2018) donde menciona que el caudal específico representa el valor máximo con el área de drenaje. Por otra parte, Carrera (2019) menciona que el caudal específico determina las características propias de la microcuenca por unidad de superficie las que determinan el valor, sin importar la magnitud de la misma, esto concuerda con el presente trabajo porque resulta de mucha utilidad permitiendo establecer análisis comparativos entre microcuencas de diferentes áreas.

#### **4.3. Propuesta de zonas de protección hídrica en la microcuenca Chinambí**

En este apartado se presentan la propuesta de zonas de protección hídrica de la microcuenca Chinambí y se consideran de interés público para garantizar la soberanía alimentaria en el área de estudio.

##### ***4.3.1. Identificación de las fuentes de agua a ser declaradas de interés público***

Las fuentes de agua identificadas en el área de estudio son de interés público debido a que son usadas por los pobladores de San Patricio y San Jacinto de Chinambí para actividades como: uso doméstico, ganadería y agricultura. Se identificó 2 áreas de reserva de agua y 1 de captación de agua para consumo doméstico (Figura 18).

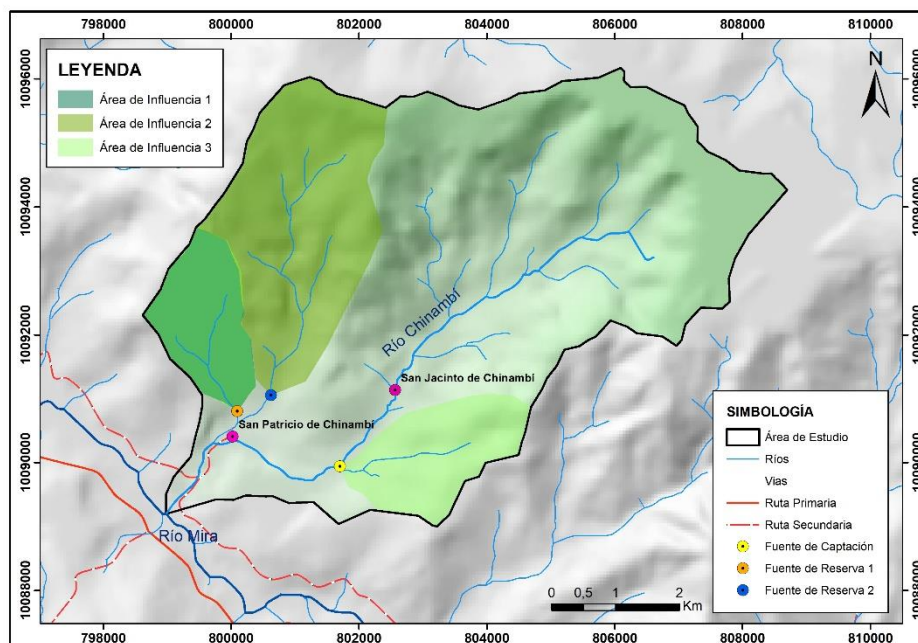


**Figura 18.** Puntos de aforo de fuentes de agua de interés público del área de estudio

Las áreas de protección hídrica son los territorios donde existan fuentes de agua declaradas de interés público para su mantenimiento, conservación y protección que abastezcan el consumo humano o garanticen la soberanía alimentaria, las mismas formaran parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (LORHUAA, 2014).

#### **4.3.2. Delimitación de las áreas de influencia de las fuentes de agua**

La delimitación de las áreas de influencia de las fuentes de interés público fue importante debido a que se puede regularizar las actividades antrópicas y usos que se daban en los predios con la finalidad de evitar amenazas potenciales en la fuente. Se identificó 3 fuentes de interés público por lo que derivó en la delimitación de 3 áreas de influencia (Figura 19). Es decir, cada fuente tubo su área de influencia en donde se condicionó el uso y actividades de los habitantes.



**Figura 19.** Áreas de influencia para cada fuente de interés público

La fuente de reserva de interés público más grande es la número 2 debido a que concentra la mayor superficie con 880 hectáreas, seguida de la fuente de reserva número 1 con 285 hectáreas y finalmente la fuente más pequeña es la de captación con 156 hectáreas (Tabla 25).

**Tabla 25.** Superficies de las áreas de influencia de la microcuenca del río Chinambí

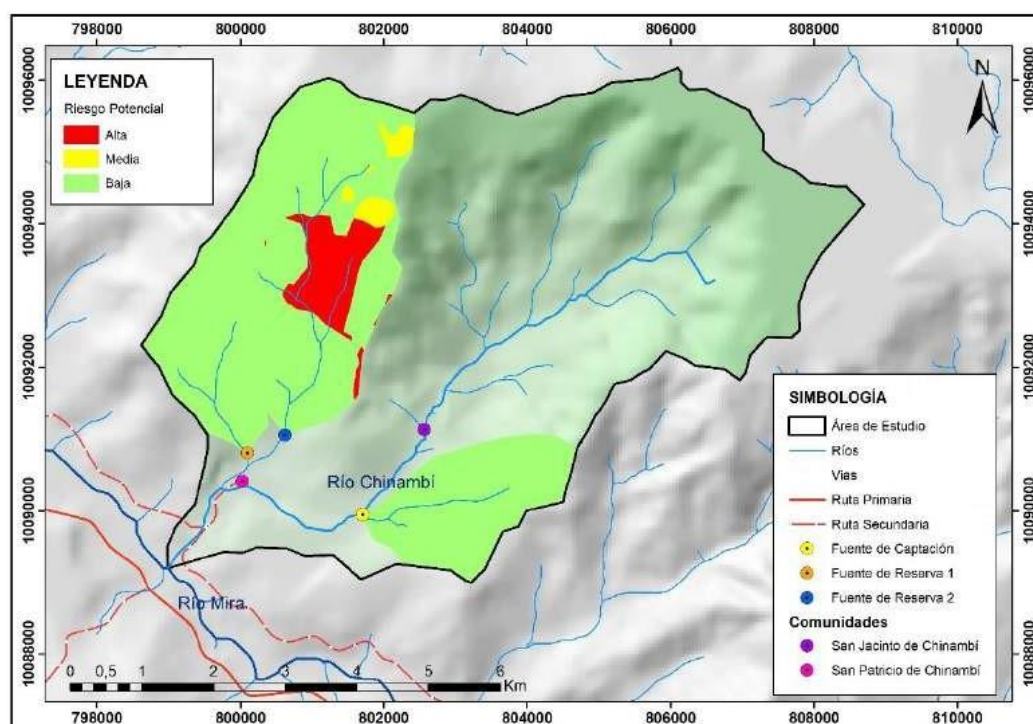
Tipo de fuente	Lugar	Área de influencia Superficie (ha)
Reserva	Fuente de reserva 1	285.29
Reserva	Fuente de reserva 2	880.44
Captación	Fuente de captación	156.44

En su momento SENAGUA (2018) manifestó que los territorios delimitados como área de influencia, se deberán condicionar los usos y actividades que se realicen, a fin de evitar amenazas potenciales sobre la fuente (labores que puedan producir alteración en la calidad y/o cantidad del recurso, como remoción de suelos o minería subterránea aguas abajo del punto a proteger, que puedan

disminuir el nivel freático irreversiblemente), para el efecto se debe coordinar con los gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales en concordancia con sus competencias sobre la regulación de uso y ocupación del suelo establecidas en el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización.

#### 4.3.3. Clasificación del riesgo potencial de degradación del suelo

El riesgo potencial de degradación del suelo en la microcuenca del río Chinambí no es alto, sin embargo en la fuente de reserva 2 es la que presenta un potencial de degradación medio y alto, por lo tanto, se propuso estrategias que regulen las actividades antrópicas en el área de estudio y en especial en el área de influencia de la fuente de reserva 2 (Figura 20).

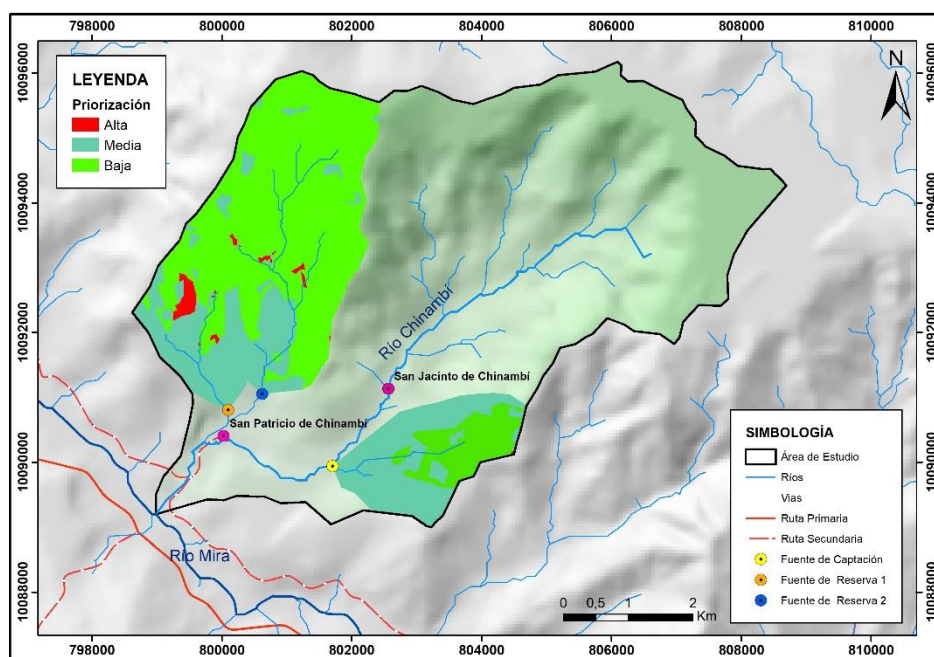


**Figura 20.** Riesgo potencial de degradación del suelo en el área de influencia

La categoría alta es un territorio que presenta mayores amenazas en cuanto a conservación de estas áreas, desde el punto de vista hidromorfológico teniendo en cuenta la pendiente del terreno, las categorías media y baja presentan mínimas amenazas de conservación, la SENAGUA (2018) realizó una adaptación en conservación de modo que se distribuyan con los parámetros considerados en el

#### 4.3.4. Evaluación del uso de las tierras para su priorización

Dentro de las áreas de influencia se priorizó espacios donde la implementación de estrategias debió ser de forma acelerada debido al tipo de actividades que se llevaban a cabo en el área de investigación. El área de influencia donde se registró con mayor prioridad para implementar las estrategias fue la fuente de reserva 1 y es positivo que el área de influencia de la fuente de captación no tenga muchas áreas con prioridad. Es decir, que las actividades que se realizan en dicha área no causan alto impacto para su conservación (Figura 21).



**Figura 21.** Usos de tierras para su priorización en el área de estudio

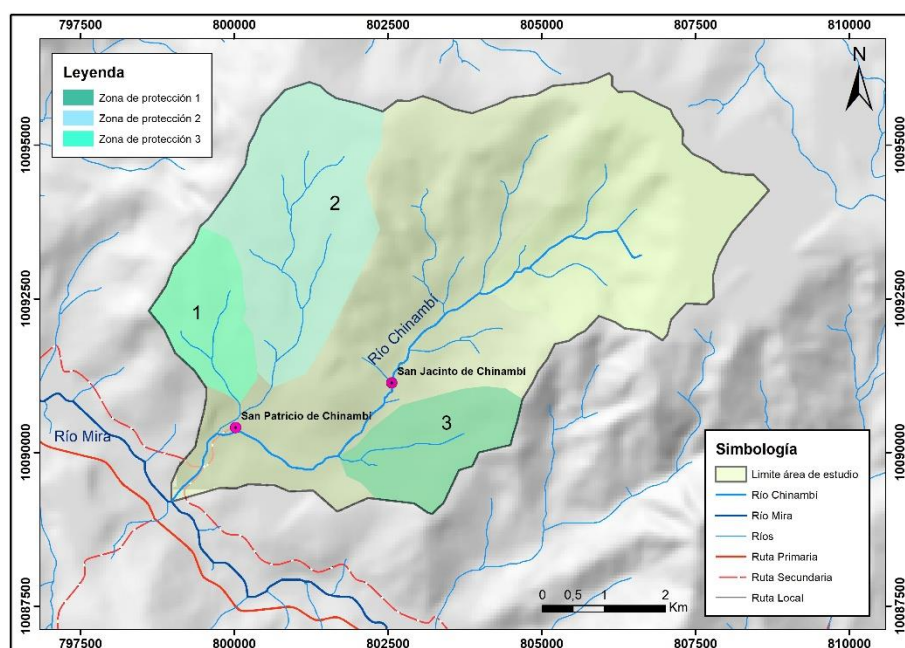
Los territorios que presenta la categoría alta significan alta prioridad para la realización de actividades de restauración, sostenibilidad o protección al ser más vulnerables a la degradación, mediante este criterio la Autoridad Única del Agua podrá evaluar las actividades de protección más idóneas a aplicar en territorio o la figura de protección más acorde con estas características. La categoría media y baja tienen menos prioridad para la aplicación de acciones de recuperación o restauración, las actividades se orientarán a la protección y conservación del estado de los territorios o mantenimiento de la cobertura vegetal y de ser requeridos aplicar



acciones de orden productivo orientados a la conservación.

#### 4.3.5. Delimitación de las zonas protección hídrica

De acuerdo con la metodología de la Guía Técnica para la Delimitación de Áreas de Protección Hídrica de SENAGUA (2018) se obtuvo 3 zonas de protección (Figura 22) hídrica que sirven de almacenamiento y retención de agua dulce, las cuales se deben proteger y conservar para un beneficio mutuo en el mejoramiento de la seguridad hídrica para salvaguardar el acceso sostenible al agua en cantidad y calidad, adecuada para los medios de vida el bienestar humano y desarrollo socio económico.



**Figura 22.** Delimitación de las zonas de protección hídrica

La microcuenca del río Chinambí presentó tres áreas de protección hídrica aquellas que se deben mantener, conservar y proteger ya que son fuentes que abastecen para el consumo humano de las comunidades San Patricio y San Jacinto de Chinambí, las mismas que permitirán la soberanía alimentaria y la conservación del dominio hídrico público. Además, alberga gran cantidad de hábitat con una elevada biodiversidad, esto es gracias al cuidado del bosque nativo de la parte alta y media de la montaña que favorece la generación de los caudales, por ello es de gran importancia el bosque como un factor que regula el régimen hidráulico de las

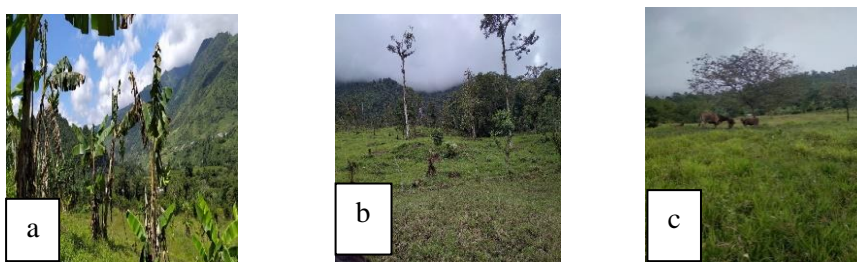
corrientes superficiales y subterráneas de la microcuenca.

La microcuenca es un Área de Conservación y Uso Sustentable Provincial, por lo que se dispone a proteger el patrimonio natural reconociendo el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza. Además, se debe conservar los bosques, fuentes, zonas de recarga y espacios hídricos para asegurar la integridad de los ecosistemas, prestación de bienes y servicios ambientales y la protección de su riqueza biológica.

#### ***4.3.6. Propuesta de estrategias de conservación y protección de las áreas de protección hídrica***

Esta propuesta se enfocó en aspectos de diversa índole, de modo que las medidas que se aplicaron en la fuente de agua y su área de influencia integren actuaciones necesarias para que la protección del recurso hídrico sea efectiva y el establecimiento de esta figura de protección pueda ser viable a largo tiempo.

Se identificaron tres actividades antrópicas susceptibles a contaminar las aguas subterráneas que son la agricultura, ganadería y deforestación, suponen un riesgo potencial de contaminación ya que estas actividades se realizan a pocos metros de las vertientes (Figura 23).



**Figura 23.** Actividades antrópicas susceptibles de contaminar las vertientes: a) Agricultura, b) Deforestación y c) Ganadería

El Instituto Geológico y Minero de España (2012) señala que las actividades domésticas generan aguas residuales, las cuales producen lixiviados y constituyen la amenaza para la calidad del agua subterránea. Parra (2007) menciona que la

agricultura y la ganadería se relacionan con la contaminación por nitratos de agua subterránea que es producida por el uso masivo de fertilizantes nitrogenados y por la mala gestión de purines en la actividad ganadera.

Según la FAO (2009) las actividades agropecuarias intensivas traen consecuencias negativas sobre el territorio, debido a que las deyecciones del ganado se concentran hasta tal punto que superan la capacidad de absorción del suelo. Cabe destacar que la ganadería utiliza el 30% de la superficie terrestre y el 70% de la superficie es agrícola. Gaudín (2010) menciona que la producción agraria y ganadera en las últimas décadas tuvo un incremento a gran escala sin control y sin visión de las consecuencias negativas sobre el ambiente.

Se identificó seis organizaciones competentes en el área de manejo de los recursos naturales (Tabla 26), quienes son una parte fundamental para el desarrollo y planificación de las estrategias. Las partes interesadas se encuentran los pobladores que viven en las cercanías a las vertientes como también el sector público que tiene la competencia de realizar y ejecutar políticas públicas que logran cumplir las estrategias.

**Tabla 26.** Actores involucrados

Actores Internos	Actores Externos
Comunidad San Patricio de Chinambí	GAD Municipal Mira
Comunidad San Jacinto de Chinambí	GAD Provincial Carchi
	GAD Parroquial Jacinto Jijón y Caamaño
	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE)

Se propone las siguientes tres estrategias para la conservación y protección de las vertientes: 1) Programa de protección de las vertientes de captación y reserva, 2) Programa de prácticas agroecológicas para las comunidades San Patricio y San Jacinto de Chinambí y 3) Programa de capacitación ambiental.

#### **4.3.6.1. Estrategia 1. Programa de protección de las vertientes de captación y reserva**

La ausencia de información hidrogeológica afecta la manera en la que los ciudadanos y los actores de la microcuenca conocen sobre el agua subterránea, lo cual limita la percepción de su importancia y en varios casos genera conflictos socioambientales (Cossío, 2019). Por lo cual es preciso que los esfuerzos educativos, de comunicación y de toma de decisiones por parte de las comunidades se realicen para una mejor sensibilización del tema en la gestión del recurso hídrico.

Montaño et al. (1998) mencionan la calidad que adquiere el estudio de los acuíferos para la gestión del territorio y para conservar las condiciones de vida de los habitantes. Por lo cual, se debe fortalecer la gestión de las fuentes hídricas que abastecen de agua a las comunidades rurales del cantón Mira. Se propone implementar que en el área de gestión de recursos hídricos del GAD Mira, se establezca la creación y aplicación de políticas públicas con una visión ecosistémica de prácticas sustentables que integren el desarrollo sustentable y la protección de los ecosistemas aledaños a las vertientes (Tabla 27).

Según Cossío (2019) se ha mejorado la base científica y tecnológica para la gestión de las aguas subterráneas, lo que ha conducido a avances en la comprensión general de los acuíferos y facilitando la identificación de los acuíferos. Identificar y desarrollar estrategias de minería sustentable. A través de él es posible determinar la forma y extensión de los acuíferos, el área de recarga y el volumen de agua almacenada, así como estimar y monitorear las propiedades físicas y químicas del agua almacenada, incluyendo el movimiento de contaminantes naturales o actividades humanas. Definir técnica y eficazmente el perímetro de protección.

Así, algunos países latinoamericanos consideran estos desarrollos científicos en el desarrollo de marcos regulatorios y en la creación de estrategias de gestión de recursos hídricos, ya que definir el perímetro de protección permitiría considerar los riesgos o vulnerabilidades de las aguas subterráneas, así como el área óptima para protección. Desde las cuencas hidrográficas, analizando el estado

físico de la superficie circundante a las cuencas, la hidrología y los embalses subterráneos, la distancia a las fuentes de contaminación y la importancia de los recursos económicos y sociales.

Esta estrategia tiene como principales responsables a GAD municipal de Mira, GAD provincial del Carchi, GAD parroquial Jijón y Caamaño, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y está dirigida a las comunidades rurales San Jacinto y San Patricio de Chinambí para alcanzar una gestión completa del recurso con la formulación e implementación de políticas públicas para la gestión de los recursos hídricos, con lo cual se pretende gestionar el uso del agua subterránea, asimismo garantizar el uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales relacionados con los acuíferos y la distribución equilibrada del recurso a las comunidades beneficiarias.

### **Objetivo general**

Integrar la gestión de los recursos hídricos en el GAD Mira a nivel de cuenca hidrográfica.

### **Objetivos específicos**

- Fomentar leyes que regulen las actividades dentro de los perímetros de las áreas de protección de las vertientes de la microcuenca.
- Establecer un reglamento comunal para el control, uso y aprovechamiento del suelo en áreas aledañas a las vertientes para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas.
- Promover por medio de políticas públicas la gestión, el aprovechamiento sustentable de las vertientes y el manejo de los recursos naturales de la microcuenca.

**Tabla 27.** Programa de protección de las vertientes de captación y reserva

Proyectos	Actividades	Presupuesto Estimado	Responsables
Proyecto de señalización de perímetros de protección	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar las zonas de recarga de los acuíferos</li> <li>- Analizar la morfología de los acuíferos, unidades geológicas, la divisoria de aguas subterráneas y dirección de flujo.</li> <li>- Determinar los perímetros de protección de la calidad de agua mediante métodos físico- químicos de los acuíferos.</li> </ul>	\$5.230	
Proyecto de regulación de las actividades humanas cercanas a las vertientes de agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejorar los sistemas de control y monitoreo de las actividades agrícolas ganaderas para conocer la eficacia del entorno.</li> <li>-Proponer ordenanzas que restrinjan y/o prohíban actividades antrópicas susceptibles de contaminar el agua subterránea en los perímetros de protección.</li> <li>Caracterización física, química y microbiológica de los acuíferos con el fin de ejecutar decisiones adecuadas que beneficien a las comunidades San Patricio y San Jacinto de Chinambí.</li> <li>-Creación de un grupo líder comunitario que difunda y desarrolle actividades que involucren a todos los actores de la cuenca.</li> <li>-Análisis de problemas y propuestas de soluciones, establecimiento de metas, viabilidad legal, política ambiental y administrativa.</li> <li>-Formular un plan de acción de política pública que regule el uso y desarrollo de los suelos y el manejo de los recursos naturales relacionados, que incluya los siguientes aspectos:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas que regulen los contaminantes no puntuales (como fertilizantes y pesticidas).</li> </ul> </li> </ul>	\$ 4.250	GAD municipal de Mira, GAD provincial Carchi, GAD parroquial Jijón y Caamaño Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MATE).

---

Proyecto de gestión integrada de las vertientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas de seguimiento e investigación de la calidad del agua</li> <li>• Políticas de zonificación y manejo integrado de cuencas</li> <li>• Políticas con principios de precaución en la gestión de la calidad del agua.</li> </ul> <p>-Cooperar con investigadores e instituciones que fomenten la mejora de las políticas ambientales.</p> <p>-Asignar recursos para promover investigaciones que incluyan la necesidad de implementar políticas públicas.</p> <p>-Crear espacios que refuercen la necesidad de políticas públicas focalizadas para la gestión del agua.</p> <p>-Comunicar a las partes interesadas para cumplir con las políticas del departamento utilizando un lenguaje que sea comprensible y esté disponible públicamente para mejorar la confianza en las agencias responsables.</p>	\$35.000

---

#### **4.3.6.2. Estrategia 2. Programa de prácticas agroecológicas para las comunidades San Patricio y San Jacinto de Chinambí**

Los contaminantes de difusión se transmiten por fenómenos hidrológicos, donde los sólidos disueltos o suspendidos, incluidos sedimentos, nutrientes, productos químicos y contaminantes patógenos, se transfieren a las aguas subterráneas, lo que conduce a un cambio en su calidad. Dado que es difícil regular los contaminantes directamente, se sugiere controlar o regular las actividades que los generan. Campling et al. (2020) establece que las prácticas agrícolas son las mejores prácticas de gestión para el mantenimiento de las áreas de impacto de los acuíferos, además de ser sostenibles al contrarrestar los impactos negativos en la calidad del agua, como la erosión del suelo, el uso de productos químicos (fertilizantes y pesticidas), la transferencia de residuos no deseados. residuos y enriquecimiento Nutrientes (fósforo o nitrógeno) y otros contaminantes.

Por lo tanto, con el fin de tomar medidas para prevenir problemas futuros de contaminación de fuentes difusas, se recomienda implementar estrategias de prácticas agrícolas en áreas cercanas a las fuentes de agua, donde pueden afectar la calidad del agua debido a malas prácticas agrícolas, así como acuíferos kársticos altamente permeables que permiten que los nutrientes se filtren en el acuífero y se muevan a grandes distancias. Estas medidas se pueden adoptar fácilmente ya que no requieren grandes inversiones ni una gran adaptabilidad al sistema agrícola y brindan claras ventajas a los agricultores como un aumento de los rendimientos. Se propondrán diversos programas que permitan la participación de todos los sectores de la sociedad ya que juegan un papel fundamental en la implementación (Tabla 28).

Esta estrategia, liderada por GAD municipal de Mira, GAD provincial Carchi, GAD parroquial Jijón y Caamaño, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) está dirigida a las poblaciones que viven en áreas cercanas a fuentes de agua, para ser implementada de forma voluntaria la prevención del cambio en la calidad de las aguas subterráneas.



**Objetivo general**

Difundir prácticas agroecológicas para disminuir el impacto antrópico sobre los acuíferos en las comunidades de San Patricio y San Jacinto de Chinambí, para evitar la contaminación de las vertientes de agua de consumo humano.

**Objetivos específicos**

- Definir prácticas sostenibles para la conservación de los acuíferos de las áreas cercanas a las fuentes de agua.
- Disminuir el riesgo de contaminación de las vertientes de agua para consumo humano.
- Monitorear las prácticas agrícolas en las áreas de influencia de los acuíferos.

**Tabla 28.** Prácticas agroecológicas para la conservación de zonas próximas a los acuíferos

Proyectos	Actividades	Presupuesto Estimado	Responsables
Proyecto de Buenas Prácticas Agrícolas en cultivos de ciclo corto	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Determinar las técnicas adecuadas para el área de estudio:</li> <li>• Labranza ecológica del terreno para reducir la erosión y la escorrentía de sedimentos.</li> <li>• Fertilización orgánica y compost.</li> <li>. Realizar barreras vivas para evitar la erosión del suelo.</li> <li>• Rotación adecuada de cultivos.</li> <li>• Asociación de cultivos para evitar la compactación del suelo.</li> <li>. Pastoreo alternativo.</li> <li>• Realizar la fermentación de estiércol animal, para mejorar la fertilidad del suelo.</li> </ul>	\$2.300	GAD municipal de Mira, GAD provincial Carchi, GAD parroquial Jijón y Caamaño Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MATE).
Proyecto de implementación de un manual de técnicas agroecológicas en las fincas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Realizar un manual de técnicas agroecológicas para la conservación y manejo del suelo</li> <li>-Buscar financiamiento para la implementación de las técnicas agroecológicas.</li> <li>Aplicar las diferentes técnicas agrícolas en las zonas próximas a los acuíferos.</li> </ul>	\$6.450	

#### **4.3.6.3. Estrategia 3. Programa de capacitación ambiental**

La calidad del agua subterránea se ve amenazada debido a varios factores, como el cambio de uso de la tierra, el crecimiento de la población, la actividad agrícola- ganadero y otras actividades humanas que amenazan la calidad de los recursos hídricos, además de la presión y el daño a los recursos naturales, el daño ambiental y los próximos cambios locales y globales. La educación ambiental es fundamental porque es el medio por el cual las personas adquieren conocimientos, valores, actitudes, habilidades y competencias que posibilitan acciones responsables en la protección del medio ambiente y optan por conservar y proteger el patrimonio natural de manera sostenible (MAE, 2018).

Esta estrategia tiene como objetivo aumentar la conciencia ambiental para la atención de agua para el conocimiento y el análisis de comportamiento, creencias, principios, acciones y prácticas en el país. Asegurar una mejor comprensión de los diferentes problemas, mediante la creación y la difusión de programas relacionados con los contenedores de agua, además, que involucren afectaciones producidas por el uso histórico del uso de la tierra, la presión causada por las actividades humanas, uso pesticidas y fertilizantes, liberación directa de agua, la importancia de conservación y protección de los servicios de los ecosistemas, con énfasis en las fuentes de agua subterránea. Con esta implementación de la estrategia, tiene como objetivo mejorar la participación de individuos y colectivos en el estudio y la contribución de soluciones para promover el desarrollo de la conciencia ambiental, para el permiso de la protección del agua, la conservación y fortalecer el apoyo de las partes locales relevantes (Tabla 29).

Esta estrategia tiene como responsables principales (MAATE), GAD-Mira, GPC, GAD-Jijón y Caamaño e instituciones educativas, su planificación y realización pretende lograr una amplia difusión y acogida de los temas de educación ambiental impartidos a los habitantes para proporcionar una concienciación del cuidado del recurso hídrico.

## **Objetivo general**

Promover el desarrollo de la concienciación ambiental en las comunidades locales para la protección y preservación de los acuíferos.

## **Objetivos específicos**

- Generar información sobre educación ambiental para los actores locales de la microcuenca.
- Determinar los factores sociales, culturales y políticos locales en los que se requiere programas de educación ambiental.
- Proponer metodologías, técnicas y recursos para difundir y socializar temas de educación ambiental.

**Tabla 29.** Educación ambiental

Proyectos	Actividades	Presupuesto Estimado	Responsables
Proyecto de educación ambiental dirigido a las comunidades e instituciones educativas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaborar material dinámico, didáctico y participativo de las estrategias de educación ambiental.</li> <li>-Desarrollar programas de educación ambiental:               <ul style="list-style-type: none"> <li>•Protección del recurso hídrico.</li> <li>•Impacto en las aguas subterráneas como resultado del uso de pesticidas y fertilizantes.</li> <li>•Alteraciones del cambio de uso del suelo.</li> </ul> </li> <li>-Fortalecer la coordinación con los participantes.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Brindar charlas participativas</li> <li>- Realizar exposiciones que promuevan una educación ambiental.</li> <li>- Organizar caminatas.</li> </ul> </li> <li>Realizar encuestas para verificar el nivel de conocimiento adquirido durante las charlas que se realizaran en las comunidades.</li> </ul>	\$3.200	GAD municipal de Mira, GAD provincial Carchi, GAD parroquial Jijón y Caamaño Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MATE). instituciones educativas, comunidades, agricultores e investigadores.
Proyecto de capacitación técnica	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Contar con el personal idóneo para impartir las charlas.</li> <li>-Capacitación al personal que se encarga de operar las juntas de agua en temas de manejo y cuidado de las vertientes.</li> </ul>	\$1.545	

## Capítulo V

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

Los resultados mostraron tres categorías con potencial de recarga hídrica: alta con 6 570 mm que representa el 39% del área del bosque nativo, media con 3 990 mm que equivale al 30% del área de bosque nativo y pastizal, y la categoría baja con 1 701 mm con un 31% del área de pastizales y cultivos, lo que se relacionó con los factores biofísicos de textura de suelo, geología, pendientes, y uso y cobertura del suelo con la dinámica hídrica de la microcuenca del río Chinambí.

Los meses con máxima precipitación fueron abril (353.7 mm) y mayo (438.7 mm), y los meses con menor precipitación fueron julio (107 mm), agosto (172 mm) y septiembre (149 mm). En la medición de la infiltración en órdenes taxonómicos de suelo se determinó que en el orden Entisoles se infiltró en un tiempo de 1 minuto una cantidad de agua de 55 mm, siendo la infiltración de agua en este suelo la más rápida en relación a los demás órdenes de suelo.

En la cuantificación de la descarga hídrica en la parte alta se registró un caudal de 1 680 lt/s (época seca) y 2 520 lt/s (época lluviosa), en la parte media un caudal de 2 800 lt/s (época seca) y 4 200 lt/s (época lluviosa) y en la parte baja 7 000 lt/s (época seca) y 9 100 lt/s (época lluviosa). El río mantiene un caudal mínimo en época seca, y en época lluviosa el caudal del río tiene una forma exponencial aumentando proporcionalmente el flujo de agua.

Se identificaron tres zonas de protección hídrica: Fuente de reserva 1 (285.29 hectáreas), Fuente de reserva 2 (880.44 hectáreas) y la Fuente de captación 3 (156.44 hectáreas). Las estrategias de sostenibilidad del área de protección hídrica Chinambí, permitirán manejar el recurso hídrico de manera organizada con participación comunitaria, y garantizar la sostenibilidad ambiental. Se elaboró el Programa de protección de las vertientes de captación y reserva, el Programa de prácticas agroecológicas en las comunidades San Patricio y San Jacinto de Chinambí y el Programa de capacitación ambiental.

## **5.2. Recomendaciones**

Realizar análisis de laboratorio mensuales de la calidad de agua de las vertientes de captación y reserva que son fuentes de abastecimiento para el consumo humano de las dos comunidades San Jacinto y San Patricio de Chinambí para fortalecer el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Mira, provincia del Carchi.

Crear e implementar políticas públicas basadas en la gestión integrada de los recursos hídricos que contribuye al uso de agua sostenible. Con base a los resultados del presente estudio, forjar investigaciones para conocer la proyección de cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal a periodos futuros de 10 y 20 años de la microcuenca del río Chinambí.

Motivar a los actores locales sobre la protección y conservación de las fuentes hídricas, bosques y zonas de recarga de la parte alta y media de la microcuenca Chinambí para asegurar la integridad de los ecosistemas, debido a que son áreas primordiales y fuentes de abastecimiento de agua para el consumo humano de las dos comunidades que se encuentran en la parte baja.

Utilizar el manual de identificación de zonas potenciales de recarga hídrica propuesto por la entidad pública Senagua y la metodología propuesta en la presente investigación, con la finalidad de proponer áreas de captación hídrica para uso doméstico.

## REFERENCIAS

- Amorim, S., Corominas, J., Baeza, C., Portilla, M. y Angulo, C. (2009). *Análisis comparativo de técnicas estadísticas y de aprendizaje: Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. Barcelona, España.
- Anbazgan, S. Ramasamy, SM, Sukla, Das.G, (2015). *Remotos sensores y SIG para el estudio de recargas artificiales, la estimación de la escorrentía y la planificación en la cuenca de Ayyar*. Tamil Nadu. India. *Reinar. Geol.* 48, [158- 170. http://dx.doi.org/10.1007s00254-005-1284-4](http://dx.doi.org/10.1007s00254-005-1284-4).
- Andrade, H., Ibrahi, M y Ríos, N. (2008). Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 183-186.
- Auge, M. (2006). *Agua Subterránea deterioro de calidad y reserva*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Departamento de Ciencias Geológicas.
- Ávila, C. (2021). Infiltración de agua y medición de caudal de arroyos en la sierra de Quila. *Revista Mexicana en Ciencias Forestales*. Vol 5, 24.
- Asurza, F., Ramos, C., y Lavado, W. (2018). *Evaluación de los productos Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) y Global Precipitation Measurement (GPM) en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huancané*. Perú
- Berhane, G., Kebede, M., Alfarah, N., Hagos, E., Grum, B., Giday, A., y Abera, T. (2020). Landslide susceptibility zonation mapping using GIS-based frequency ratio model with multi-class spatial data-sets in the Adwa-Adigrat mountain chains, northern Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, 164, 103795. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103795>
- Blarasin, M., Cabrera, A., Matteoda, E., Felizzia, J., Maldonado, L., Bécher, F. y Giuliano, J. (2014). *El agua subterránea y la actividad ganadera-Tambera*. Argentina: UniRio Editora.
- Bueso M. (2010). *Identificación y caracterización de las zonas con mayor potencial de recarga hídrica en las subcuencas de los ríos Taco y Shusho*. Municipio de Chiquimula. Guatemala.



- Burbano, N., Becerra, S. y Pasquel, E. (2015). *Introducción a la Hidrogeología del Ecuador*. Quito, Ecuador: INAHMI.
- Bustamante, G. Otoya, L. y Vásquez, G. (2008). Estimación de la oferta hídrica con información escasa en ecosistemas estratégicos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4366-4380.
- Campling, P., Joris, I., Calliera, M., Capri, E., Marchis, B., Kuczyńska, A., Vereijken, T., Majewska, Z., Belmans, E., Borremans, L., Dupon, E., Pauwelyn, E., Mellander, P., Fennell, C., Fenton, O., Burgessh, E., Puscas, A., Gil, E., Lopez, M., Francés, G., Andersen, E., Lajer, A., Nowakowska, M. y Suciú, N.(2020). A multi-actor, participatory approach to identify policy and technical barriers to better farming practices that protect our drinking water sources. *Science of the Total Environment*. 16-51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142971>.
- Cano, E. (2011). *Geodinámica reciente del relieve: geo pronóstico de desastres naturales y de cambios geo ecológicos seculares*. En: Geodinámica y riesgos naturales, IV encuentro de geógrafos de américa latina, Mérida, Venezuela.
- Cárdenas, L., y Muñoz, A. (2010). *Conservación y uso sostenible de los bosques de roble en el corredor de conservación Guantiva- La Rusia*. Iguaqué, departamento de Santander y Boyacá. Colombia.
- Carrasco, W.d. (2011). *Manejo y protección de zona de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zaratí*. Panamá. Turrialba, Costa Rica.
- Carrera, C. (2019). Estimación de caudales medios y máximos de la cuenca del río Checra mediante ecuaciones sintéticas y racionales. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalúrgica y Ciencias Geográficas*. Vol. 22, 44.
- Carrillo, J. (2013). *Análisis geoestadístico de los índices de calidad de agua y su representación cartográfica en el río Armería, en el período comprendido desde el año 2000 al 2006*. [Tesis de maestría, Universidad de Colima]. Colombia 117p.

- Carvajal, A. y Gutiérrez, S. (2013). Estudio de la influencia del fenómeno El niño-oscilación del sur en la oferta hídrica de la cuenca hidrográfica del río Dagua. *Entre Ciencia e Ingeniería*, pp 26- 33.
- Castillo, A y Peña, J. (2015). Métodos de investigación social: fundamentos, técnicas y aportaciones para el entendimiento de las relaciones sociedad- vida silvestre. En S. Gallina. *Manual de técnicas del estudio de fauna* pag.194. Xalapa, Veracruz. México: Instituto de Ecología, A.C. Central, 23, 43-55  
Obtenido de <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/viewFile/8579/8102>
- Chamorro, K. (2017). *Identificación y caracterización de las zonas de recarga hídrica mediante herramientas de sig de los acuíferos de la carbonería, guaraczapas, yuyucocha, y santa clara para la protección de las fuentes de aprovisionamiento de agua en la zona urbana de Ibarra*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Código Orgánico de Organización Territorial [COOTAD] (2015). Quito- Ecuador. Registro oficial N° 303 de 19-oct.
- Código Orgánico del Ambiente [COA] (2017). Quito- Ecuador. Registro Oficial N° 983 de (12 de abril del 2017).
- Comisión Nacional del Agua (2011). *El agua en el mundo - Estadísticas del agua en México*.
- Constitución de la República del Ecuador (2008). Quito- Ecuador. *Registro Oficial No.449*. (20 de octubre del 2008).
- Corponariño. (2007). *Plan de acción en biodiversidad*. Bogotá. Colombia
- Cossío Klüver, MAD (2019). Un recurso natural invisible: los acuíferos transfronterizos. *Agenda Internacional*, 26(37), 137-157.
- Cotler, H. (2004). *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. México D.F: Instituto Nacional de Ecología (INE- SEMARNAT).
- Custodio, E. (2001). *Effects of groundwater development on the environment*. Bol.

- Llamas M. (2001). *Hidrología subterránea*. Ediciones Omega. Barcelona. 2 Volu.1-2350.
- Custodio, G. I. (1998). Recarga a los acuíferos: aspectos generales sobre el proceso, la evolución y la incertidumbre. *Boletín Geológico y Minero*, 109-4:13-29.
- Delgadillo, O. (2016). *Evaluación y predicción de la infiltración en un andosol bajo diferentes usos de suelo*. México. CP.67700.
- Elmahdy, S.I y Mohamed. M.M. (2014). *Probabilístico Modelo de Relación de Frecuencia para el mapeo de potencial de agua subterránea en Al Jaw Llano, UAE (Probabilistic Frequency Ratio Model For Groundwater Potential Mapping in Al Jaww Plain, UAE)*.
- Espinoza, H. (2016). *Propuesta para homologar metodologías en el aforo de caudales*. Guatemala.
- Estrategia Nacional de Calidad del Agua [ENCA] (2016). Planificación Hídrica. Quito, Ecuador.
- Faustino, J. (2006). *Identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica (notas de clase)*. San Salvador: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Fernández, J. I. P. (2010). Las partes interesadas en la gestión turística de los parques naturales andaluces. Identificación de interrelaciones e intereses. *Revista de estudios regionales*, (88), 147-175.
- Foro de los Recursos Hídricos. (abril de 2013). *La Consulta Prelegislativa sobre el proyecto de Ley de Aguas: Una oportunidad para solucionar viejos problemas*. <http://www.camaren.org/files/2013/04/consultapreleg.pdf>
- Foster, S. (2006). *Protección de la calidad del agua subterránea definición de estrategias y establecimiento de prioridades*. Banco Mundial. 6p
- Fuentes, J. (2018). Caudal específico y su aplicación en el análisis regional de series máximas. *Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado*. Vol 9 No. 1, año. ISSN 2518-4725.

- Gacitúa, P. (2007) *Caracterización físico-química del agua potable en la comuna de María Pinto*. Región Metropolitana, Chile, D - Universidad de Chile. ProQuest EbookCentral,
- Gamir, A., Ruiz, M. y Segui, J. M. (1995): *Prácticas de análisis espacial*. Ed.
- García J. M. (2009). *Aplicación del enfoque de sistema a la gestión integrada de los recursos hídricos en Cuba*. Proyecto IWCAM- GEF.
- García, P., Puppo, M., Hayashi, L., Morales, R., (2012). *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo*: Facultad de agronomía, Departamento de suelos y aguas: Montevideo 780, 12900.
- Gárfias, J., Expósito, J. y Llanos, H. (2008). Delimitación de las zonas de protección mediante métodos analíticos y un modelo numérico de agua subterránea, acuífero Margarita, Cuba. *Boletín Geológico y Minero*, 119 (1), 7-20.
- Gaudín G, (2010) *Agricultura a gran escala afectan equilibrio ecológico*. Noticias Aliadas. Cambio climático: Seguridad Alimentaria, agua y protección de bosques. Buenos Aires. Geolog. Minero, Madrid, 111(6): 107–120.
- Geotecnia. (2018). Definición de acuífero. Recuperado de: <http://geotecniafacil.com/que-es-un-acuifero/>
- Gillespie, J., Nelson, S. T., Mayo, A. L., y Tingey, D. G. (2012). Why conceptual groundwater flow models matter: a trans-boundary example from the arid Great Basin, western USA. *Hydrogeology Journal*, 20(6), 1133-1147.
- Guarochico, M. y Guishca, A. (2018). Evaluación de la variabilidad en la calidad y cantidad del agua mediante bioindicadores del río Calope, en el área de influencia de la hidroeléctrica Enermax S.A del cantón La Mana.
- Guru, B., Karthik, S., y Somnath, B. (2016). *Modelo de relación de frecuencias para el mapeo del potencial de las aguas subterráneas y su gestión sostenible en el desierto frío*. India
- Guru, B., Seshan, K., y Bera, S. (2017). Frequency ratio model for groundwater potential mapping and its sustainable management in cold desert, India. *In Journal of King Saud University- Science* (Vol. 29, Issue 3, pp.333-347). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jkus.2016.98.003>

- Gutiérrez Hernández, O., Cámara Artigas, R., Senciales González, J. M., y García L. V. (2018). Modelos predictivos en Biogeografía: aplicación para la modelización de nichos ecológicos en Geografía Física. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 88–126.
- Heagerty, P. y Zheng, Y. (2005). Survival model predictive accuracy and roc curves. *Biometrics*, 61:92–105.
- Hernández, J. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de farmacología y terapéutica*. Volumen 37, número 5.
- Hernández, R., Martínez, L., Peñuela, L., y Rivera, S. (2020). Identificación de zonas potenciales de recarga y descarga de agua subterránea en la cuenca del río Ayuquila-Armería mediante el uso de SIG y el análisis multicriterio. *Investigaciones Geográficas*, 101, 1-19.
- Herraiz, A. S. (2009). La importancia de las aguas subterráneas. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), 97-114.
- Herrera, F. (2017). *Identificación hidrológica de zonas de recarga de las fuentes de abastecimiento de agua en la comuna la esperanza, provincia del Carchi*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Hogesteger, J. y Wester, P. (2018). Gestión del agua subterránea de uso agrícola: Los retos de la sostenibilidad socio-ambiental y la equidad. *Cuadernos de geografía*, (101), 51-70. doi: 10.7203/CGUV.101.13720
- Instituto de Estudios Ecuatorianos [IEE] (2015). Estudio de impacto ambiental preliminar para la Ecuador.
- Instituto Geológico y Minero de España [IGME] (2012). *Las aguas subterráneas en la planificación hidrológica*. Madrid: Loreto Fernández Ruiz. [https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/AGUAS%20SUBTERRAN EAS%201de7\\_tcm30-215716.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/AGUAS%20SUBTERRAN EAS%201de7_tcm30-215716.pdf)
- Instituto Nacional de Bosques [INAB] (2003). *Metodología para determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural*. Manual técnico. GT, INAB, 106.

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI] (2012). *Boletín meteorológico*. Ingeniería del agua, 1(3), 31-40. doi: <https://doi.org/10.4995/ia.1994.2642>
- Israil M. AL-hadithi M, Singhal DC, Kumar B, Rao MS y Verma K. (2006). Evaluación de recursos hídricos subterráneos en la zona de Piamonte de Árabe J Geosci.
- Izurieta, R., Campaña, A., Calles, J., Estévez, E. y Ochoa, T. (2017). *Calidad del Agua en las Américas Riegos y Oportunidades*. Obtenido de <https://www.ianas.org/images/books/wb09.pdf>
- Jácome, G. (2015). *Propuesta de gestión de los conflictos socioambientales generados por el agua de consumo humano dentro de la microcuenca de la Laguna de Yahuarcocha*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador].
- Jácome, G. (2016). *Aplicación del modelo SWAT en la microcuenca del Río Bobo en tres escenarios para la estimación de caudales y sedimentos, provincia del Carchi*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Jiménez, F. (2004). Análisis integral de la vulnerabilidad a amenazas naturales en cuencas hidrográficas de américa central. Turrialba: CR, CATIE. 31.
- Junker, M. (2005). *Metodología RAS para determinar la recarga de agua subterránea*. San Salvador: FORGAES.
- León, P. C. (2010). *Gestión territorial para la protección colectiva del agua. Demarcación participativa de la zona productora de agua*. Carrizalón, Honduras, Turrialba, CR, CATIE.
- León, P. García, E. y Sandoval, G. (2011). Análisis espacial y temporal del índice de escasez de agua en la cuenca del río Quindío. *Rev. Invest. Univ Quindío* (22):70-82.
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014) Obtenido de Registro Oficial N°305 de 63 de agosto del 2014.
- Lincoln, Z., Michael, D. y Kelly, T. (2016). Interpretación del contenido de la humedad para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en

suelos arenosos y arcillosos utilizando sensores de humedad: UF extensión: University of Florida.

- Losilla, M. (1986). Protección de las zonas de recarga de los acuíferos. In curso bases hidrológicas para el manejo de cuencas. Turrialba: CR, CATIE.
- Madrucci, V. y Taioli F. (2008). Favor de agua subterránea- mapa de capacidad utilizando análisis de datos multicriterio GIS en cristalinos Terreno, Estado de Sao Paulo, Brasil, J Hydrol 357:153-173.
- Matus, O. (2007). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua* [Tesis de maestría]. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba.
- Matus, O. Faustino, J. y Jiménez, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua*. Turrialba Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). Manual N° 5 Medición de Agua. Segunda Edición. San Isidro, Lima-
- Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE] (2018). Estrategia Nacional de Educación Ambiental para el Desarrollo Sostenible 2017 - 2030. Primera edición Quito- Ecuador.
- Montaño, J., Tujchneider, O., Auge, M., Fili, M. y Paris, M. (1998). Acuíferos regionales en América Latina: Sistema Acuífero Guaraní; capítulo argentino-uruguayo. Argentina: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá.
- Muñoz, M. (2006). Enfoques generales y métodos para la planificación territorial.
- Naghi, SA, Pourghasemi, HR. y Dixon, B, (2016). Aguas subterráneas potencial de primavera utilizando árbol de regresión potenciado, árbol de clasificación y regresión de modelos de aprendizaje automático forestal aleatorio en Iran. Reinar. Monit Evaluar. 188,44 <http://dx.doi.org/10.100/s10661015-5049-6>.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2009). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. La ganadería, a examen. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2005). *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la epidemiología de fiebre aftosa en Argentina*: Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo [FAO] (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS)*. Resumen Técnico Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. Roma, Italia.
- Palacio, P. y Betancur, T. (2007). Identificación de fuentes y zonas de recarga aun sistema acuífero a partir de isótopos estables del agua. Caso de estudio bajo Cauca Antioqueño. *Gestión y ambiente*, 10(1), 167-181.
- Parra, M. (2007). La contaminación del agua subterránea por prácticas ganaderas.
- PDOT (2011). Actualización del Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial de la Parroquia Jacinto Jijón y Caamaño 2011- 2031.
- Peñuela, L., y Carrillo, J. (2013). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: centro – sur de la Mesa central, México. *Investigaciones Geográficas*, 81, 18-31. policy and technical barriers to better farming practices that protect our drinking water sources. *Science of the Total Environment*. 16-51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142971>.
- Pérez de Madrid, M. Navarro, M. y Saborío, M. (2015). Protección, conservación y gestión de las zonas de recarga hídrica. UICN. OikosTau. Barcelona
- Pourrut, P. (1995). Los Climas del Ecuador Fundamentos explicativos ORSTOM. Quito.



- Rao, Y. y Jugran KD. (2003). Delineación de zonas de potencial de agua subterránea y zonas de calidad de agua subterránea aptas para uso doméstico mediante teledetección y SIG. *Hydrogeol Scij* 48:821- 833.
- Rengifo, J. y Puerta, R. (2011). ArcGIS Básico 10. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Perú
- Rodríguez, DM y Pérez, P. (2014). *Determinación de la recarga hídrica potencial en la cuenca hidrográfica Guara*. Cuba
- Rojas, H. (2009). *Identificación de las áreas de recarga hídrica en la parte media alta de las microcuencas Palo Marín y San Rafaelito*. [Tesis de maestría. Costa Rica].
- Rojas, L. y Otálvaro, M. (2008). Vulnerabilidad a la contaminación, zona sur acuífero del valle del cauca, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (23), 69-84.
- Samy I, Mohamed M. (2012) Mapeo de susceptibilidad a peligros naturales en Kuala Lumpur, Malasia: una evaluación utilizando sensores remotos e información geográfica (SIG). *Geomática, peligros naturales y riesgo* 2012; 1-21.
- Sandoval-Moreno, A. y Günther, M. G. (2013). La gestión comunitaria del agua en México y Ecuador: otros acercamientos a la sustentabilidad. *Ra Ximhai*, 9 (2), 165-179. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46128964012>
- Sauquillo, A. (1994). La contaminación de las aguas subterráneas. Situación en España.
- Schosinsky, G. y Losilla, M. (2000). Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. *Revista Geológica de América*
- Secretaría Nacional de Planificación (2021). Plan de Creación de Oportunidades 2021- 2025. Quito.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SNPD] (2014). Proceso para la Elaboración de Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Quito, Ecuador.
- Secretaría Nacional del Agua [SENAGUA] (2018). Guía técnica para la delimitación de áreas de protección hídrica.

- Senra, J. B. (2005). Gestión de los recursos hídricos en las cuencas transfronterizas. Plan nacional de recursos hídricos en Perú (pág. 75). Lima: Limusa.
- Skaggs, R., Huggins, E. Monke y Foster, G. (1983) Experimental evaluation of infiltration. Trans ASAE. 12: 822-828. *Tierra y tecnología: Revista de información geológica*, (32), 103-117.
- Soto, R., Vanegas, E y García, N. (2014). Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula. Guatemala.
- Vilca, L. (2008). *Caracterización de las principales fuentes hídricas y lineamientos de conservación en la cuenca baja del río Mira, provincia del Carchi*. [Tesis de pregrado. Ibarra, Ecuador].
- World Water Assessment Programme [WWAP] (2015). Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos Hídricos en el mundo. Agua para un Mundo Sostenible.
- Younger, P.L. 2007. Groundwater in the environment, an introduction. Blackwell Publ. Oxford: 1–317.
- Zhicay, J. (2020). *Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo*. Cuenca, Ecuador

## ANEXOS

### Anexo 1 salidas de campo

#### Anexo 1.1. Reconocimiento del área de estudio



#### Anexo 1.2. Instalación de los pluviómetros métricos de plástico claro



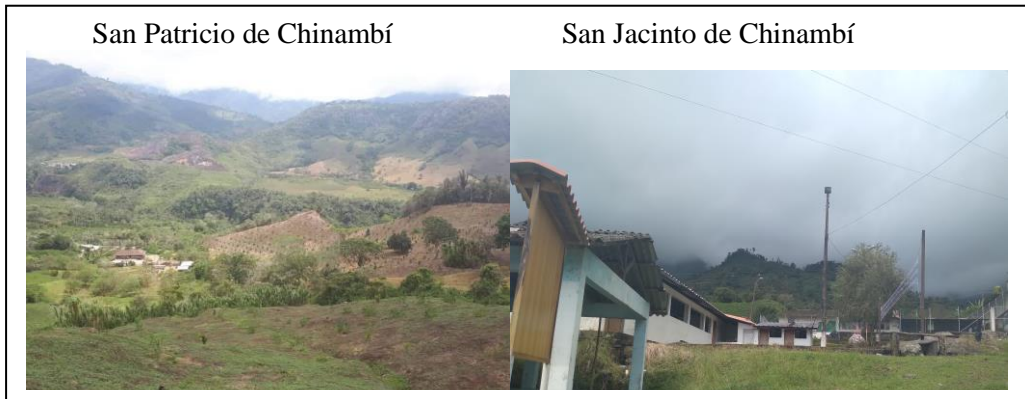
#### Anexo 1.3. Medición de los datos



#### Anexo 1.4. Medición de la infiltración



#### Anexo 1.5. Comunidades de la zona



#### Anexo 1.6. Presencia de señaléticas



**Anexo 1.7.** Identificación de zonas de recarga y descarga hídrica



**Anexo 1.8.** Medición de caudales



**Anexo 1.9.** Obtención de muestras de suelo (CC)



**Anexo 1.10.** Obtención de muestras de suelo (CC)



## Anexo 2. Registro de datos

### Anexo 2.1. Registro de los datos de precipitación (limón)

<b>Pluviómetro N° 1 Limón</b>						
<b>Días</b>	<b>Septiembre (2019)</b>	<b>Octubre (2019)</b>	<b>Noviembre (2019)</b>	<b>Diciembre (2019)</b>	<b>Enero (2020)</b>	<b>Febrero (2020)</b>
1		22.5	15.7	18	20	
2					20	
3			4.6	14.6	12.3	
4		34	10	18.2	12	
5			68.2	18.4	11	
6			22.2	15.7		
7			24.7	15.4		
8				13.4		23
9			25.5	15.6		11.5
10				10.7	20	10
11			1.4		15.2	11.5
12			16.5		11.4	
13				8.6	10	14
14					8	12
15				12.5		13
16		48.7	10.3			14
17		47	5.5			27
18		20				
19	10.8			18.6		
20	20.2			12.3		
21						
22						
23		22.2				
24						8.8
25		25.5		12.3	15	
26	32.3		10.4		10	14
27						
28			5	15.6		
29	40.5	18.2	1.3			
30	45.3	24.5		18.2	18.2	11.5
31		13.5		16.4		11.5
<b>Suma</b>	<b>149.1</b>	<b>276.1</b>	<b>238.3</b>	<b>254.5</b>	<b>183.1</b>	<b>181.8</b>

**Anexo 2.2.** Registro de los datos de precipitación (limón)

<b>Pluviómetro N°1 Limón</b>						
<b>Días</b>	<b>Marzo (2020)</b>	<b>Abril (2020)</b>	<b>Mayo (2020)</b>	<b>Junio (2020)</b>	<b>Julio (2020)</b>	<b>Agosto (2020)</b>
1	15	20.4	10.5	12	8.6	
2	15	22.3	13.4	10.8	6.3	
3	16.3		10.4	13.2		
4			11	11.5	5.5	
5		18.2	15	10.8	6.8	
6		15.3	2.1	13.2	5.4	16.2
7			12.3	13.2		
8	12	20.5	14	10.4		
9	10	18.3	20.2	10.2		
10		19.2	13.5	10.7	6.70	
11		12	13.4	11.4	18	
12	12	13.4	14.5	18		18.9
13	10		12	11.2	9.3	
14	18		20.5	12.6	6.9	
15		14.5	17.7			13.7
16		18.2	16.6			1.,6
17		12.4	15.5	12.2		
18		22	10.4			12.8
19	12.4		12	15.3		16.1
20		12.6	18.7	13.6		
21	11.6	18.5	14.3	10.8	5.2	
22	10		20	12.1	5.1	12.40
23		18.2	17.5			
24		11.6	11			14.7
25			16.4		6.2	
26		12.5	18.4	13.7	12.1	14.1
27	10		13	12.4		14.9
28			16.3			
29		18.4	10		5.2	10.3
30	18	18.5	12	12.3		16.9
31		16.7	16.1			
<b>Suma</b>	<b>170.3</b>	<b>353.7</b>	<b>438.7</b>	<b>271.6</b>	<b>107.3</b>	<b>172.6</b>

**Anexo 2.3.** Registro de los datos de precipitación (Guanábana)

<b>Pluviómetro N°2 Guanábana</b>						
<b>Días</b>	<b>Septiembre (2019)</b>	<b>Octubre (2019)</b>	<b>Noviembre (2019)</b>	<b>Diciembre (2019)</b>	<b>Enero (2020)</b>	<b>Febrero (2020)</b>
1		11.2	15.3	10.6	13.6	
2					15.5	
3			8.2	8.3	18.3	
4		33	16.8	15.2	16	
5			18.3	20	14	
6			18.7	15.3		
7			19.2	10.4		
8				15.5		10
9			16.8	10.3		8
10				13.2	10.2	5
11			18		18.3	4
12			18.2		16.9	
13				15.6	12.2	8
14					10	8
15				1.3		10
16		44.7	14.3			12
17		28.2	14.2			8
18		17.1				
19	20.5			15		
20	20.6			14.2		
21						
22						
23		18.6				
24						15.7
25		24.5		14.6	11	
26	30.2		15.3		10.2	23
27						
28			18.8	15.4		
29	35.8	29.1	15.2			
30	37.3	28.9		15	11.3	29
31		20.5		12.4		28
<b>Suma</b>	<b>144.40</b>	<b>255.80</b>	<b>227.30</b>	<b>236.30</b>	<b>177.50</b>	<b>168.70</b>



**Anexo 2.4.** Registro de los datos de precipitación (Guanábana)

<b>Pluviómetro N°2 Guanábana</b>						
<b>Días</b>	<b>Marzo (2020)</b>	<b>Abril (2020)</b>	<b>Mayo (2020)</b>	<b>Junio (2020)</b>	<b>Julio (2020)</b>	<b>Agosto (2020)</b>
1	12.3	18.3	14.4	10.3	7	
2	10	18	15	11.1	12.2	
3	8		12.3	11.7		
4			15.4	12.4	5	
5		8.4	12	13.3	8.3	
6		20	10.3	14.5	10.1	15.1
7			12	12.3		
8	10	19.2	15.4	13.2		
9	18	15	10	12.4		
10		12	9.5	10	7.3	
11		21.2	20.5	12.3	5	
12	8	18.4	16.8	12		13.5
13	12		15.3	10.8	4.5	
14	15		18.2	10.2	6.9	
15		20.3	18.2			15.7
16		15.2	20			14.8
17		15.4	15	12.7		
18		10.2	12.2			16.2
19	10		10.2	11.3		1.3
20		21.2	26.7	13		
21	13	14	10	12	8.9	
22	9.8		12.8	10.5	5	18.2
23		14	10.2			
24		13	11.3			11.2
25			12		5	
26		19.5	16.2	14.3	5	12.3
27	11.4		15.3	12.6		10
28			16.6			
29		13.2	10.3		5	12.8
30	15	20	8.4	16		17.3
31		12.1	15.2			
<b>Suma</b>	<b>152.50</b>	<b>338.60</b>	<b>437.70</b>	<b>268.90</b>	<b>95.20</b>	<b>171.40</b>

### Anexo 2.5. Registro de los datos de infiltración época lluviosa

C_X	C_Y	Altitud	16-20/01/21 (mm)	Tiempo (min)	20- 24/02/21 (mm)	Tiempo (min)	20-24/03/21 (mm)	Tiempo (min)
805062	10093196	1412	13	15	12	15	10	15
805061	10093070	1408	14	15	12	15	11	15
803991	10092620	1298	10	15	10	15	11	15
801181	10092625	1224	3	15	5	15	7	15
805116	10092827	1453	4	15	6	15	7	15
804003	10092501	1294	8	15	9	15	8	15
804545	10092976	1373	7	15	6	15	7	15
802330	10092727	1624	11	30	10	30	8	30
801185	10092499	1203	4	30	4	30	5	30
803292	10092394	1226	9	15	8	15	9	15
803932	10092301	1284	13	15	13	15	12	15
804200	10092825	1341	12	15	11	15	12	15
804188	10092790	1335	15	15	13	15	12	15
804898	10092814	1407	12	15	10	15	11	15
805166	10092546	1575	5	30	4	30	7	30
803585	10092076	1224	13	15	12	15	11	15
802679	10091880	1204	10	15	8	15	9	15
802303	10091584	1203	11	15	10	15	11	15
801590	10092082	1364	12	15	11	15	13	15
800184	10091428	1066	8	15	9	15	11	15
803245	10091452	1191	9	15	8	15	11	15
803292	10091766	1200	10	15	10	15	12	15
803793	10091929	1276	12	15	11	15	12	15
804945	10092185	1635	4	30	6	30	7	30
800409	10090636	905	6	15	7	15	8	15
800151	10090892	913	5	15	7	15	8	15
803017	10091289	1192	10	15	11	15	9	15
801738	10090737	1120	8	15	9	15	9	15
800810	10090764	980	8	15	6	15	6	15
802803	10090985	1146	12	15	14	15	12	15
799555	10091300	1099	11	15	13	15	11	15
799578	10091219	1074	12	15	11	15	10	15
799730	10090951	1024	13	15	10	15	12	15
799741	10090695	940	11	15	10	15	11	15
802454	10091382	1161	14	15	12	15	13	15
802139	10090986	1148	12	15	10	15	11	15
801988	10090695	1077	10	15	10	15	13	15
801779	10091079	1195	12	15	11	15	12	15
801488	10090893	1172	12	15	10	15	11	15
799745	10089689	919	55	1	40	10	25	10

**Anexo 2.6.** Registro de los datos de infiltración época lluviosa

C_X	C_Y	Altitud	17- 21/04/21 (mm)	Tiempo (min)	22- 26/05/21 (mm)	Tiempo (min)
805062	10093196	1412	12	15	14	15
805061	10093070	1408	10	15	12	15
803991	10092620	1298	12	15	15	15
801181	10092625	1224	8	15	9	15
805116	10092827	1453	9	15	10	15
804003	10092501	1294	8	15	9	15
804545	10092976	1373	9	15	10	15
802330	10092727	1624	12	30	13	30
801185	10092499	1203	6	30	8	30
803292	10092394	1226	8	15	7	15
803932	10092301	1284	11	15	13	15
804200	10092825	1341	11	15	12	15
804188	10092790	1335	13	15	14	15
804898	10092814	1407	14	15	15	15
805166	10092546	1575	8	30	9	30
803585	10092076	1224	12	15	11	15
802679	10091880	1204	10	15	12	15
802303	10091584	1203	12	15	13	15
801590	10092082	1364	13	15	14	15
800184	10091428	1066	12	15	13	15
803245	10091452	1191	14	15	15	15
803292	10091766	1200	13	15	12	15
803793	10091929	1276	15	15	14	15
804945	10092185	1635	9	30	10	30
800409	10090636	905	10	15	12	15
800151	10090892	913	11	15	13	15
803017	10091289	1192	14	15	15	15
801738	10090737	1120	13	15	14	15
800810	10090764	980	8	15	10	15
802803	10090985	1146	13	15	15	15
799555	10091300	1099	10	15	13	15
799578	10091219	1074	11	15	12	15
799730	10090951	1024	13	15	14	15
799741	10090695	940	13	15	15	15
802454	10091382	1161	14	15	15	15
802139	10090986	1148	13	15	12	15
801988	10090695	1077	12	15	14	15
801779	10091079	1195	11	15	15	15
801488	10090893	1172	12	15	16	15
799745	10089689	919	30	15	32	15

**Anexo 2.7.** Medición de caudales (partes del río Chinambí época lluviosa)

<b>Parte alta</b>								
<b>Altitud</b>	<b>CX</b>	<b>CY</b>	<b>Lanzamientos (s)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>		
1250	805116	10092625	Tiempo 1	3	1	1.3	3	1.2
			Tiempo 2	3.5	2	1.3		
			Tiempo 3	3.5	3	1.2		
			Tiempo 4	3.3	4	1.1		
			Tiempo 5	3.1	5	1.3		
			<b>Promedio</b>	<b>3</b>		<b>1.2</b>		
<b>Parte media</b>								
877	802491	10091079	Tiempo 1	2.5	1	1.3	4	1.5
			Tiempo 2	2.7	2	1.7		
			Tiempo 3	2.3	3	1.5		
			Tiempo 4	2.5	4	1.4		
			Tiempo 5	2.7	5	1.5		
			<b>Promedio</b>	<b>2.5</b>		<b>1.5</b>		
<b>Parte baja</b>								
825	799514	10089779	Tiempo 1	1	1	1.4	10	1.3
			Tiempo 2	0.8	2	1.4		
			Tiempo 3	1	3	1.1		
			Tiempo 4	0.9	4	1.5		
			Tiempo 5	1	5	1.3		
			<b>Promedio</b>	<b>1</b>		<b>1.3</b>		

**Anexo 2.8.** Medición de caudales (partes del río Chinambí época seca)

<b>Parte alta</b>								
<b>Altitud</b>	<b>CX</b>	<b>CY</b>	<b>Lanzamientos (s)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>		
1250	805116	10092625	Tiempo 1	2.7	1	0.5	4	0.6
			Tiempo 2	2.5	2	0.7		
			Tiempo 3	2.5	3	0.9		
			Tiempo 4	2.3	4	0.5		
			Tiempo 5	2.3	5	0.6		
<b>Promedio</b>			<b>2.5</b>	<b>0.6</b>				
<b>Parte media</b>								
877	802491	10091079	Tiempo 1	2.1	1	0.7	5	0.8
			Tiempo 2	2	2	0.9		
			Tiempo 3	2	3	0.6		
			Tiempo 4	2	4	1		
			Tiempo 5	2.1	5	0.8		
<b>Promedio</b>			<b>2.0</b>	<b>0.8</b>				
<b>Parte baja</b>								
825	799514	10089779	Tiempo 1	1	1	1.4	10	1
			Tiempo 2	0.8	2	1.4		
			Tiempo 3	1	3	1.1		
			Tiempo 4	0.9	4	1.5		
			Tiempo 5	1	5	1.3		
<b>Promedio</b>			<b>1</b>	<b>1.3</b>				

**Anexo 2.9.** Medición de caudales (principales cuerpos hídricos época lluviosa)

<b>Chinambí 1</b>								
<b>Altitud</b>	<b>CX</b>	<b>CY</b>	<b>Lanzamientos (s)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>		
1068	803991	10092620	Tiempo 1	3	1	0.12	3	0.14
			Tiempo 2	4.1	2	0.15		
			Tiempo 3	4.4	3	0.15		
			Tiempo 4	4.1	4	0.12		
			Tiempo 5	4	5	0.14		
			<b>Promedio</b>	<b>4</b>		<b>0.14</b>		
<b>Chinambí 2</b>								
1245	805062	10093196	Tiempo 1	5.5	1	0.12	2	0.13
			Tiempo 2	4.5	2	0.16		
			Tiempo 3	4.4	3	0.11		
			Tiempo 4	4.1	4	0.14		
			Tiempo 5	4	5	0.11		
			<b>Promedio</b>	<b>5</b>		<b>0.13</b>		
<b>Chinambí 3</b>								
889	800409	10090636	Tiempo 1	3	1	0.88	3	0.87
			Tiempo 2	4	2	0.85		
			Tiempo 3	4	3	0.89		
			Tiempo 4	4.5	4	0.86		
			Tiempo 5	4.3	5	0.85		
			<b>Promedio</b>	<b>4.0</b>		<b>0,87</b>		

**Anexo 2.10. Medición de caudales (principales cuerpos hídricos época lluviosa)**

<b>Chinambí 4</b>								
<b>Altitud</b>	<b>CX</b>	<b>CY</b>	<b>Lanzamientos (s)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>		
895	800151	10090892	Tiempo 1	5	1	0.12	2	0.11
			Tiempo 2	4	2	0.1		
			Tiempo 3	5	3	0.1		
			Tiempo 4	6	4	0.1		
			Tiempo 5	5	5	0.11		
			<b>Promedio</b>	<b>5</b>		<b>0.11</b>		
<b>Chinambí 5</b>								
1149	801181	10092625	Tiempo 1	2,5	1	0,12	4	0.12
			Tiempo 2	2,5	2	0,14		
			Tiempo 3	2,5	3	0,12		
			Tiempo 4	2,5	4	0,1		
			Tiempo 5	2,5	5	0,14		
			<b>Promedio</b>	<b>2,5</b>		<b>0,12</b>		
<b>Chinambí 6</b>								
1067	805116	10092827	Tiempo 1	3	1	0.12	3	0.14
			Tiempo 2	4	2	0.16		
			Tiempo 3	4.5	3	0.16		
			Tiempo 4	4.1	4	0.11		
			Tiempo 5	4	5	0.14		
			<b>Promedio</b>	<b>4</b>		<b>0.14</b>		

**Anexo 2.11. Medición de caudales (principales cuerpos hídricos época seca)**

<b>Chinambí 1</b>								
<b>Altitud</b>	<b>CX</b>	<b>CY</b>	<b>Lanzamientos (s)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>		
1068	803991	10092620	Tiempo 1	3	1	0,1	3,3	0.10
			Tiempo 2	2,5	2	0,11		
			Tiempo 3	2,6	3	0,1		
			Tiempo 4	2,2	4	0,11		
			Tiempo 5	2,8	5	0,1		
			<b>Promedio</b>	<b>3</b>		<b>0,10</b>		
<b>Chinambí 2</b>								
1245	805062	10093196	Tiempo 1	4,8	1	0,11	2	0.10
			Tiempo 2	4,5	2	0,1		
			Tiempo 3	4,6	3	0,11		
			Tiempo 4	4,1	4	0,1		
			Tiempo 5	4,8	5	0,1		
			<b>Promedio</b>	<b>5</b>		<b>0,10</b>		
<b>Chinambí 3</b>								
889	800409	10090636	Tiempo 1	3	1	0,75	3.2	0.7
			Tiempo 2	2,9	2	0,7		
			Tiempo 3	3,5	3	0,64		
			Tiempo 4	3,4	4	0,74		
			Tiempo 5	2,9	5	0,70		
			<b>Promedio</b>	<b>3,1</b>		<b>0,75</b>		



**Anexo 2.12.** Medición de caudales (principales cuerpos hídricos época seca)

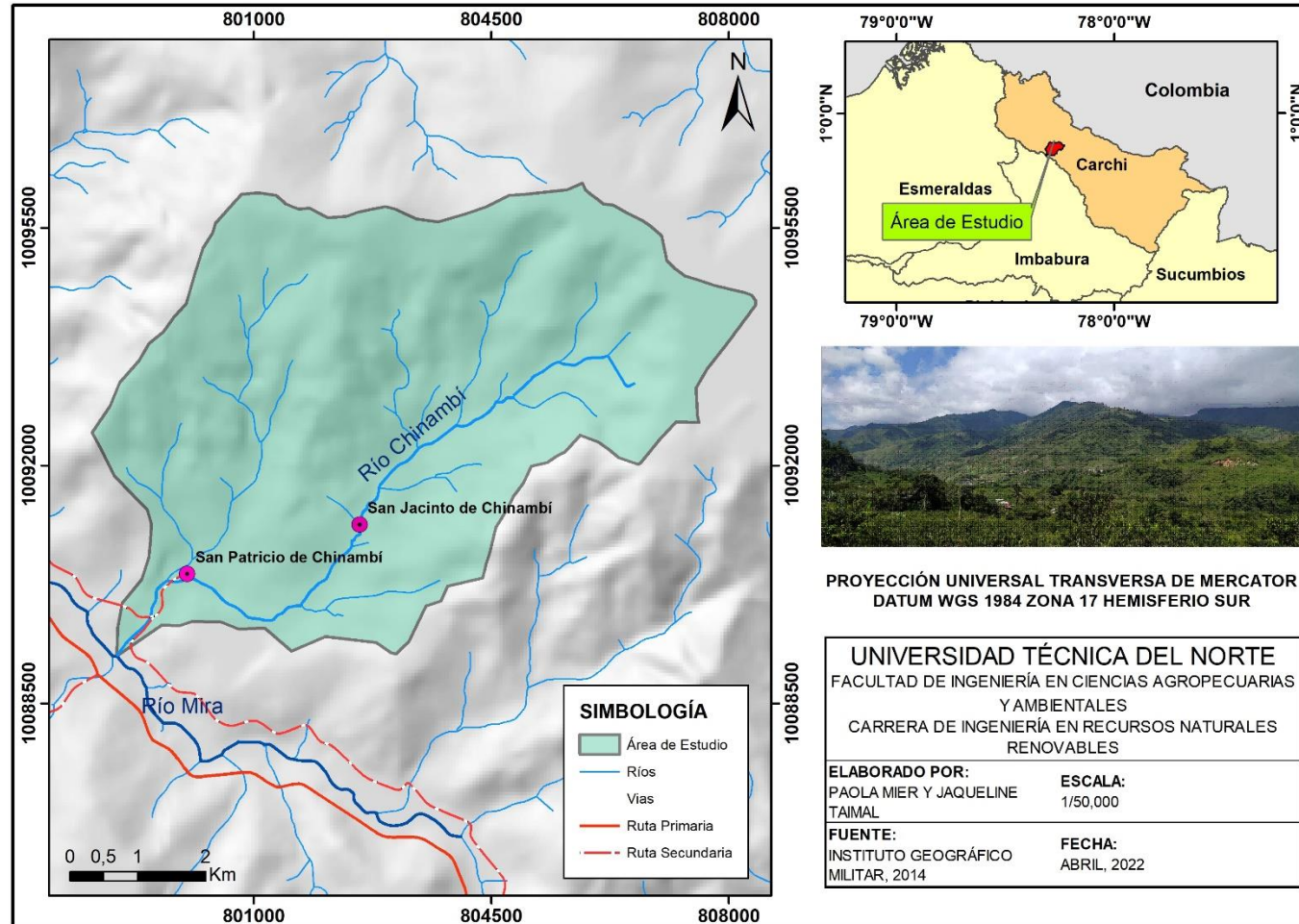
<b>Chinambí 4</b>								
<b>Altitud</b>	<b>CX</b>	<b>CY</b>	<b>Lanzamientos (s)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>		
895	800151	10090892	Tiempo 1	5	1	0,1	2,1	0.10
			Tiempo 2	3,5	2	0,1		
			Tiempo 3	5	3	0,1		
			Tiempo 4	5,5	4	0,1		
			Tiempo 5	5	5	0,11		
			<b>Promedio</b>	<b>4,8</b>		<b>0,10</b>		
<b>Chinambí 5</b>								
1149	801181	10092625	Tiempo 1	2,5	1	0,12	3	0.10
			Tiempo 2	2,5	2	0,14		
			Tiempo 3	2,8	3	0,12		
			Tiempo 4	2,5	4	0,1		
			Tiempo 5	2,5	5	0,14		
			<b>Promedio</b>	<b>3,3</b>		<b>0,12</b>		
<b>Chinambí 6</b>								
1067	805116	10092827	Tiempo 1	3,5	1	0,12	3	0.12
			Tiempo 2	3,2	2	0,16		
			Tiempo 3	3,8	3	0,16		
			Tiempo 4	2,9	4	0,11		
			Tiempo 5	3,3	5	0,14		
			<b>Promedio</b>	<b>3,3</b>		<b>0,14</b>		

### Anexo 2.13. Validación de la capacidad de campo

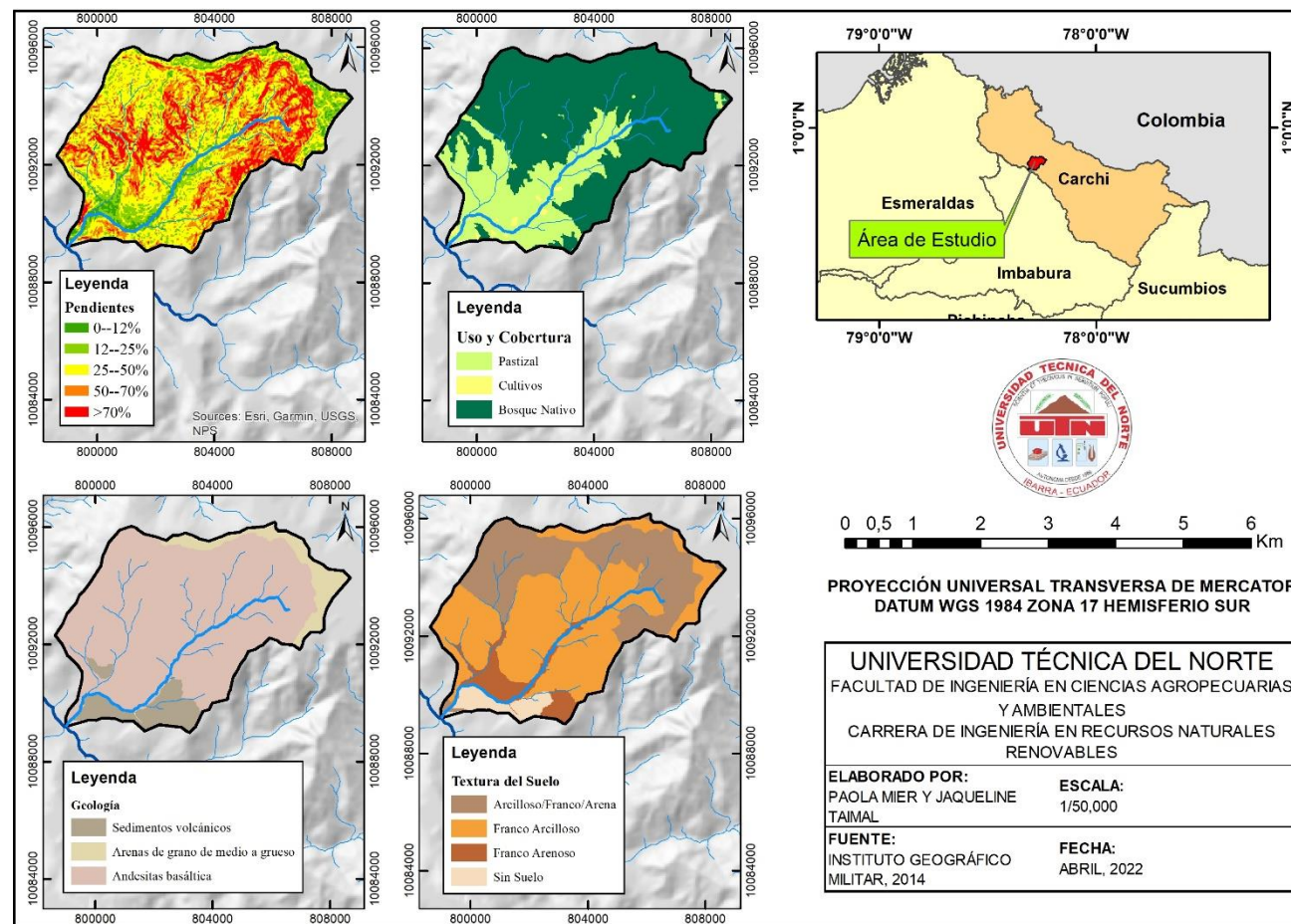
Nº	Tipo de Suelo	Altitud	Recarga	Validación
1	Franco Arcilloso	1412	12,2	1
2	Franco Arenoso	1298	11,6	1
3	Franco	1224	6,4	0
4	Franco	1453	7,2	0
5	Franco Arcilloso	1294	8,4	1
6	Franco Arenoso	1373	7,8	0
7	Franco	1203	5,4	0
8	Franco Arcilloso	1226	8,2	1
9	Franco Arcilloso	1284	12,4	1
10	Franco Arcilloso	1341	11,6	1
11	Franco Arcilloso	1335	13,4	1
12	Franco	1575	6,6	0
13	Franco Arcilloso	1224	11,8	1
14	Franco Arcilloso	1204	9,8	1
15	Franco Arcilloso	1066	10,6	1
16	Franco Arcilloso	1191	11,4	1
17	Franco Arcilloso	1200	11,4	1
18	Franco Arcilloso	1276	12,8	1
19	Franco	1635	7,2	0
20	Franco Arcilloso	1192	11,8	1
21	Franco Arcilloso	1120	10,6	1
22	Franco Arenoso	980	7,6	0
23	Franco Arcilloso	1146	13,2	1
24	Franco Arcilloso	1074	11,2	1
25	Franco Arcilloso	1024	12,4	1
26	Franco Arcilloso	940	12	1
27	Franco Arcilloso	1161	13,6	1
28	Franco Arcilloso	1148	11,6	1
29	Franco Arcilloso	1195	12,2	1
30	Franco Arcilloso	1172	12,2	1
31	Franco Arcilloso	1100	9,2	1
32	Franco Arenoso	900	8,8	1
33	Franco Arenoso	1000	8,4	1
34	Franco Arenoso	900	11	1
35	Franco Arenoso	977	11,4	1
36	Franco Arcilloso	975	11,6	1
37	Franco Arenoso	977	9,4	0

### Anexo 3. Mapas

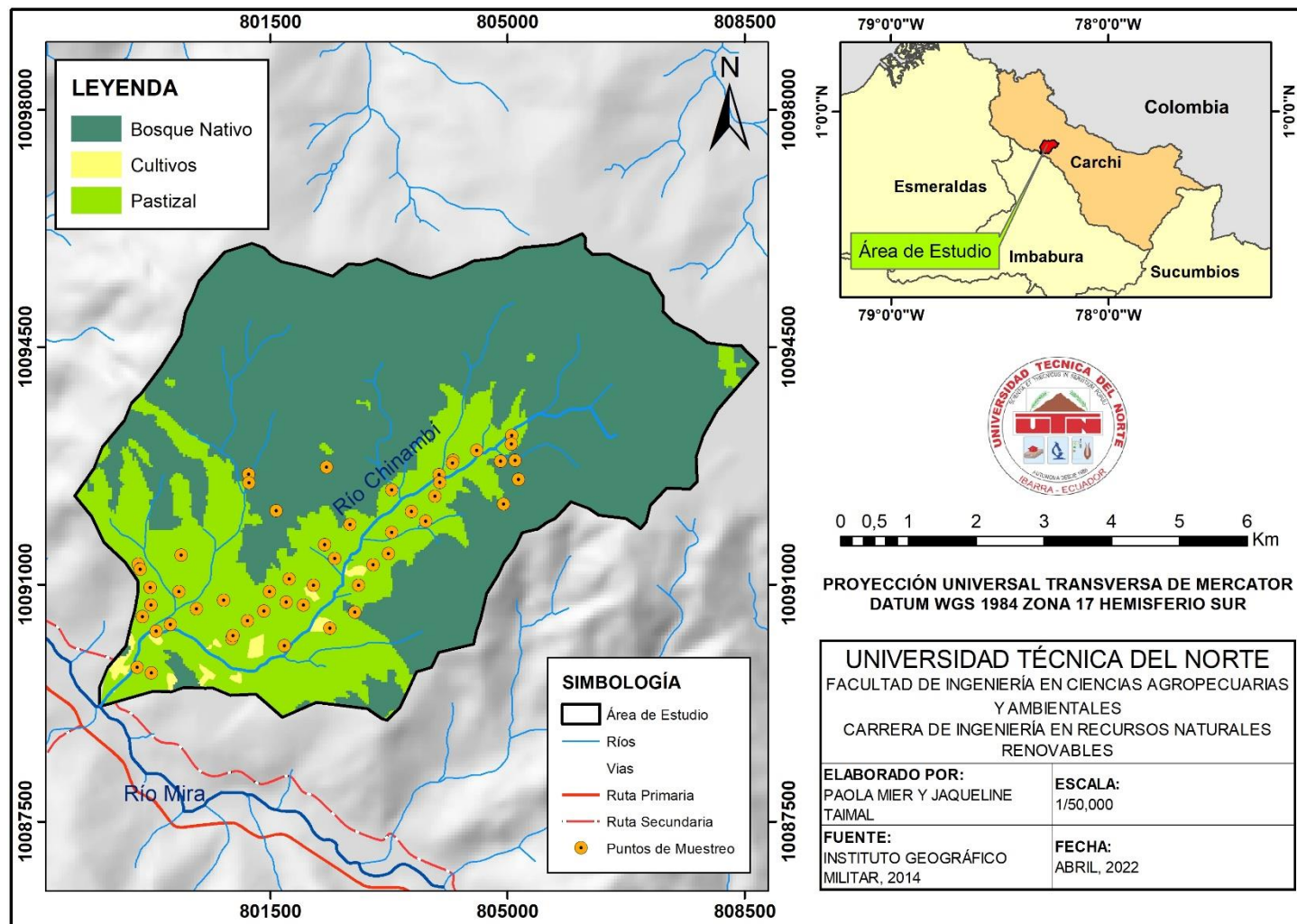
Anexo 3.1. Ubicación de la microcuenca del río Chinambí



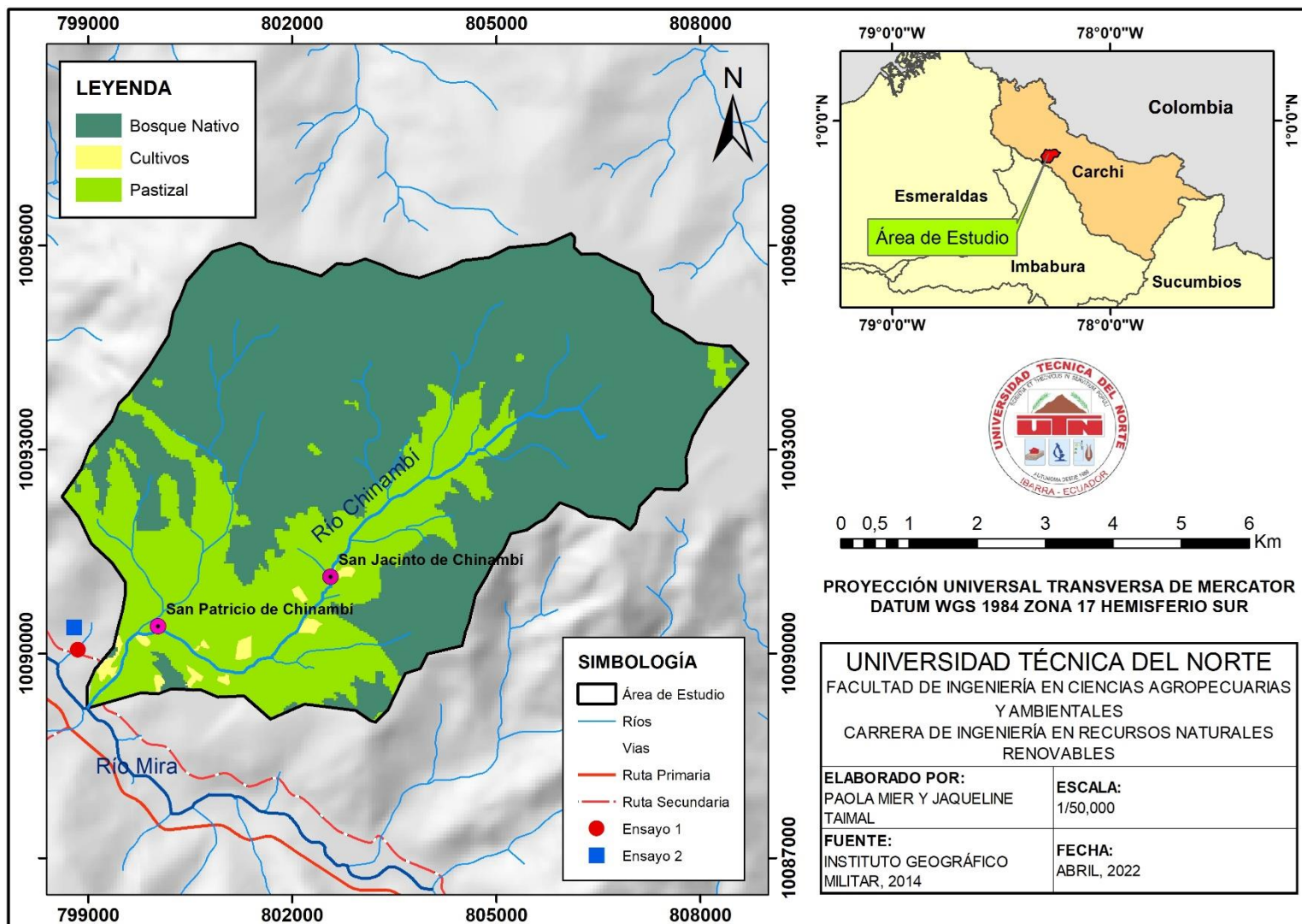
**Anexo 3.2.** Insumos usados para el análisis del Frequency Ratio Model (pendientes, uso y cobertura del suelo, geología y textura del suelo)



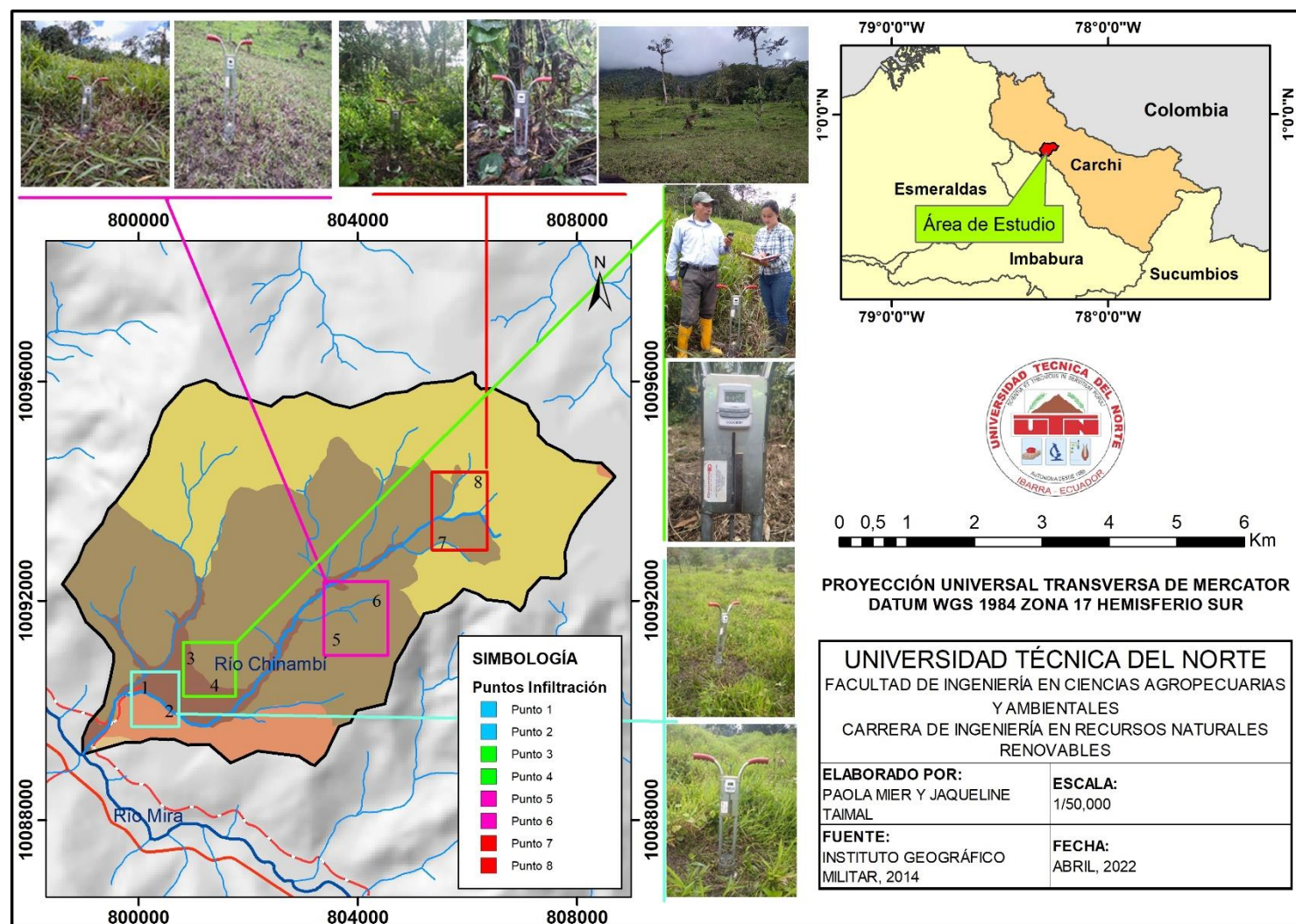
### Anexo 3.3. Puntos de muestreo de la infiltración



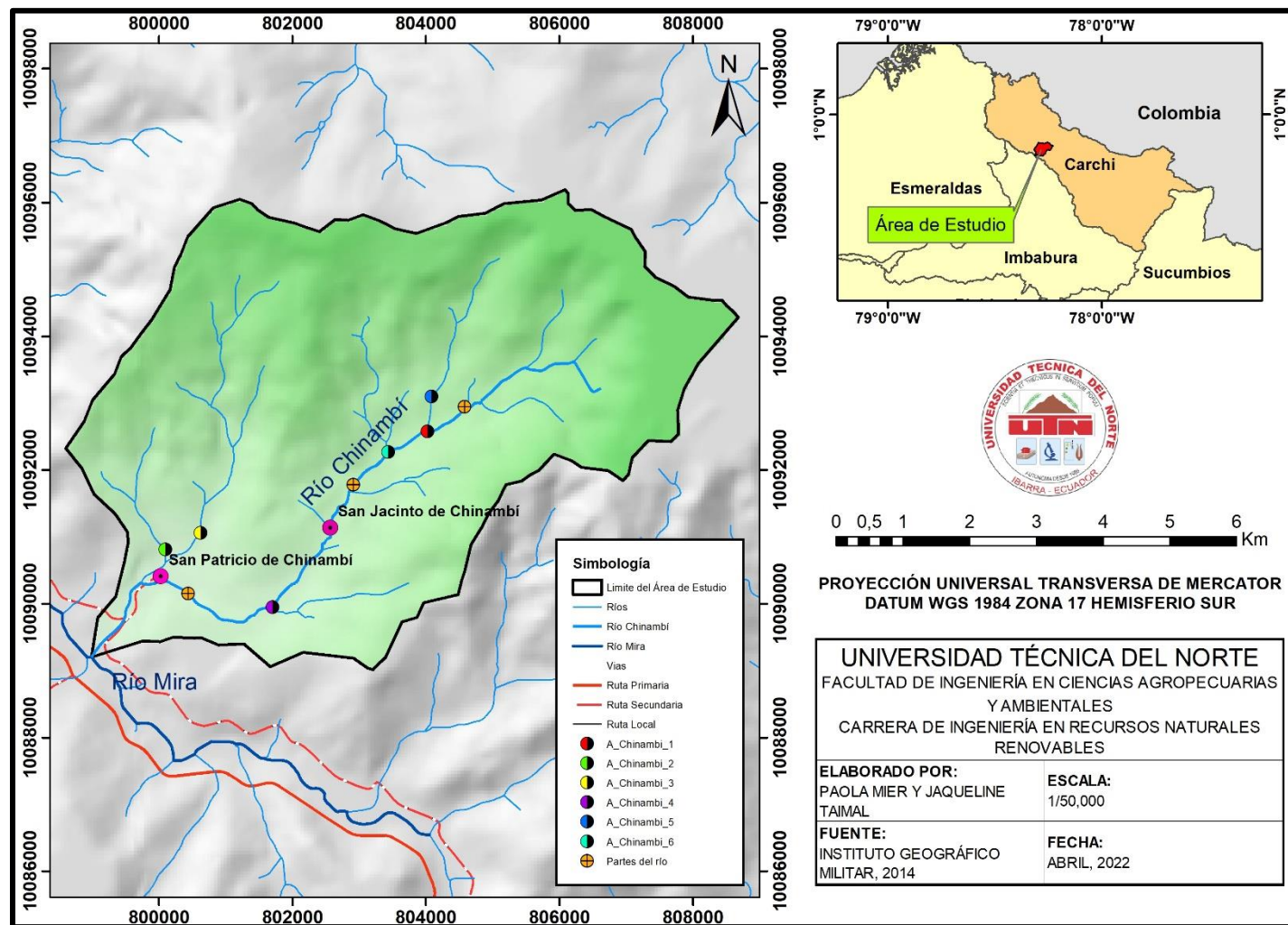
### Anexo 3.4. Ubicación de los pluviómetros



### Anexo 3.5. Ubicación de los puntos de muestreo (Infiltración)

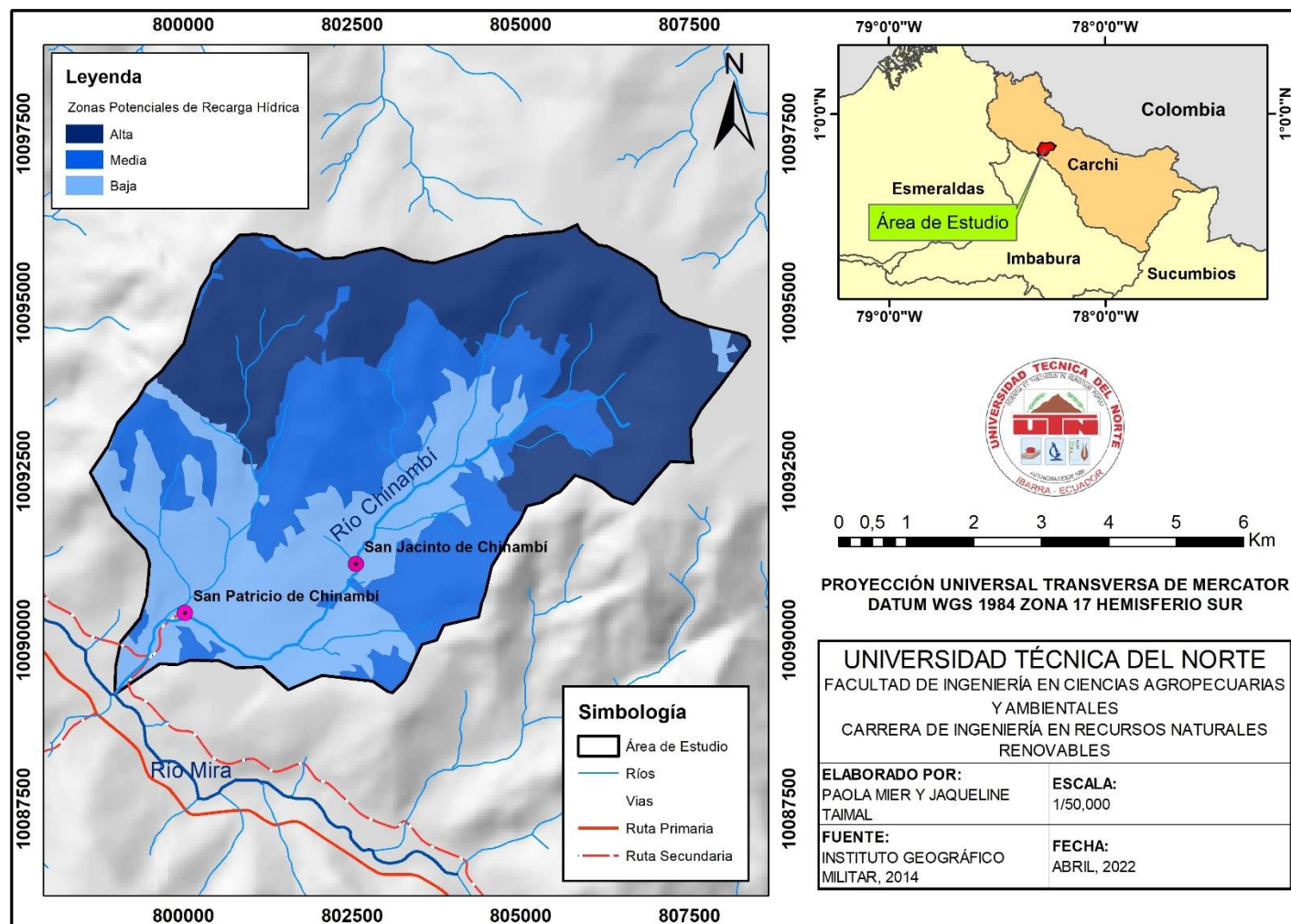


**Anexo 3.6.** Ubicación de las partes del río y cuerpos hídricos de la microcuenca

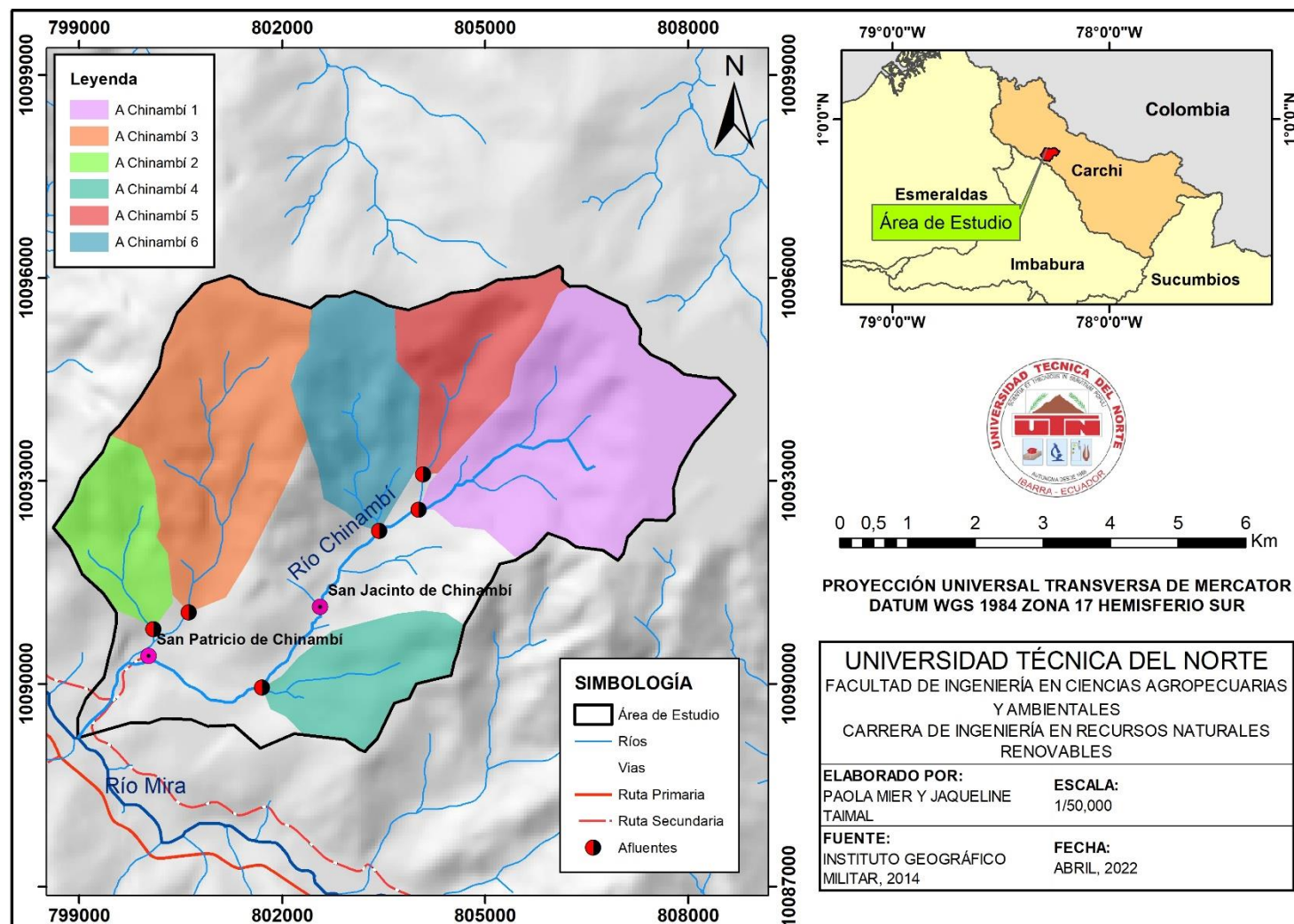




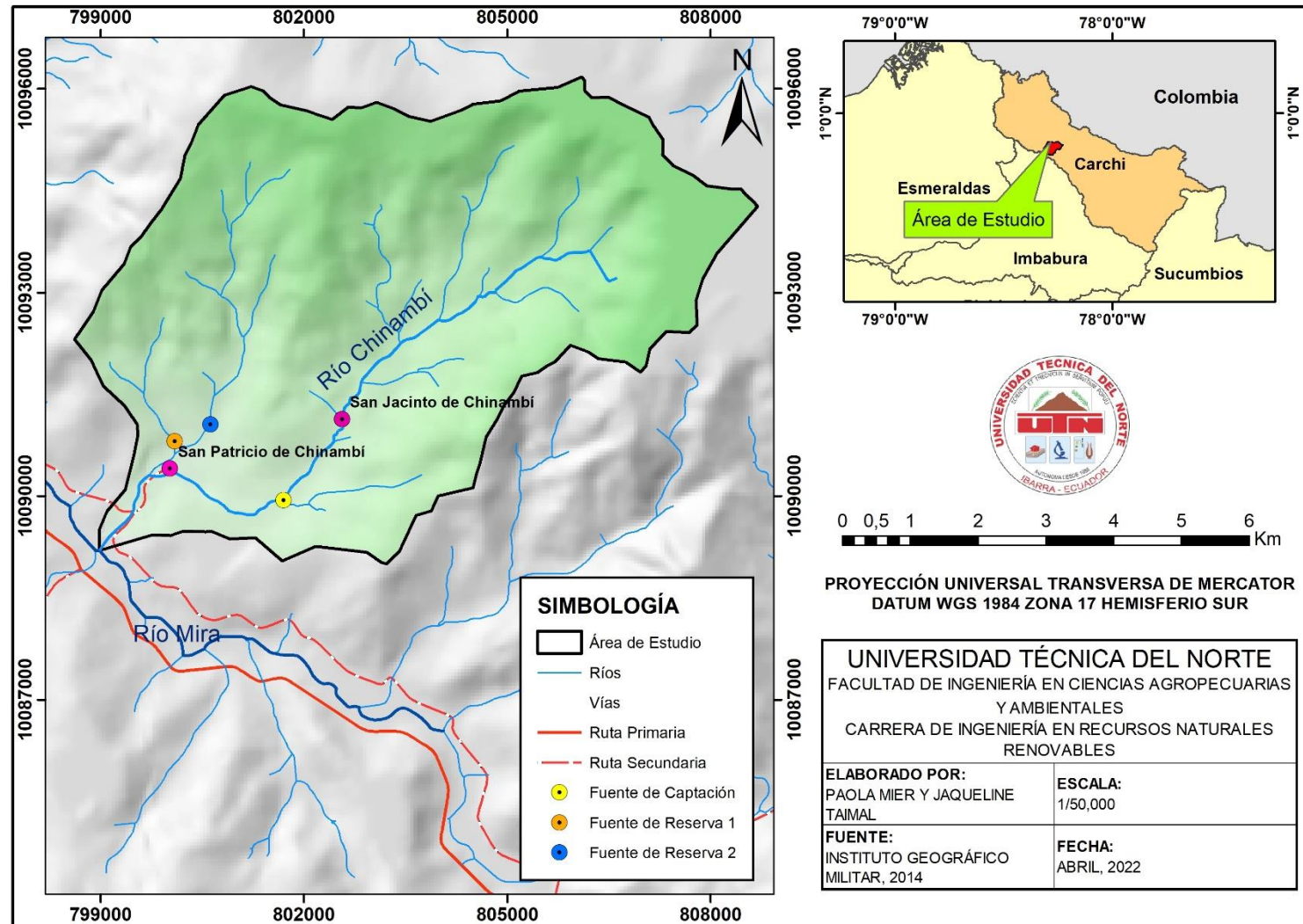
### Anexo 3.7. Zonas potenciales de recarga hídrica



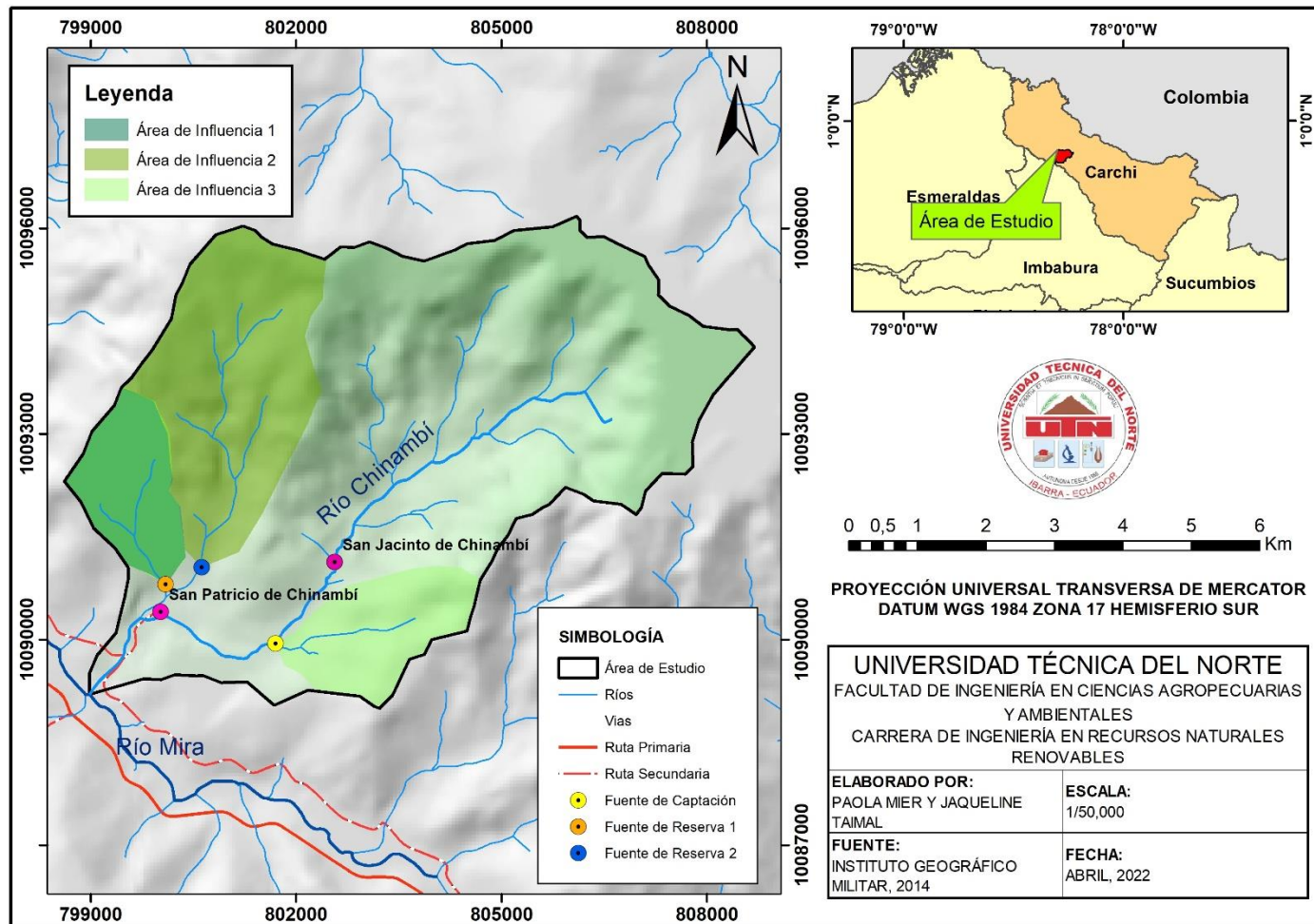
### Anexo 3.8. Superficies de los afluentes del río Chinambí



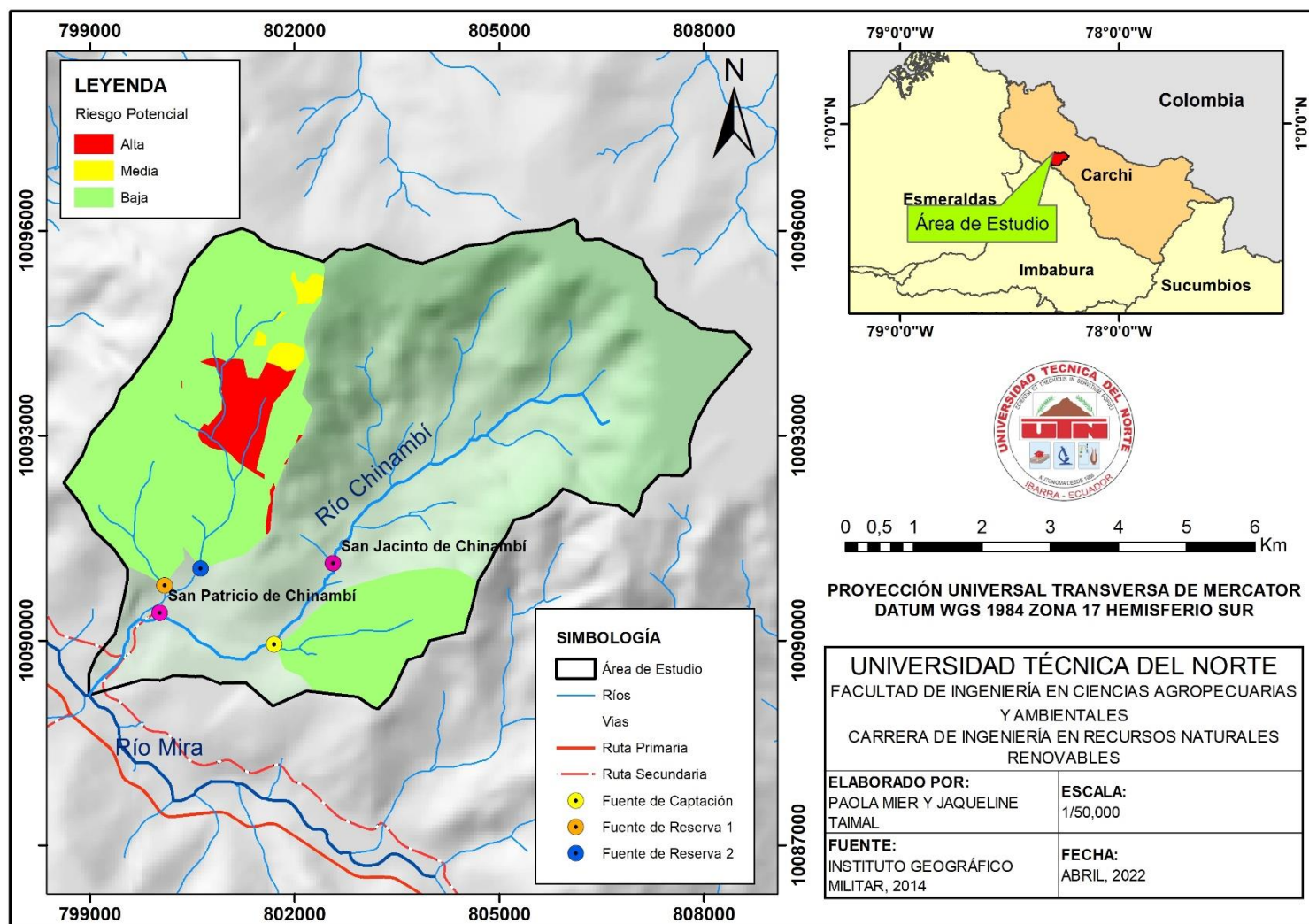
**Anexo 3.9.** Puntos de aforo de fuentes de agua de interés público del área de estudio



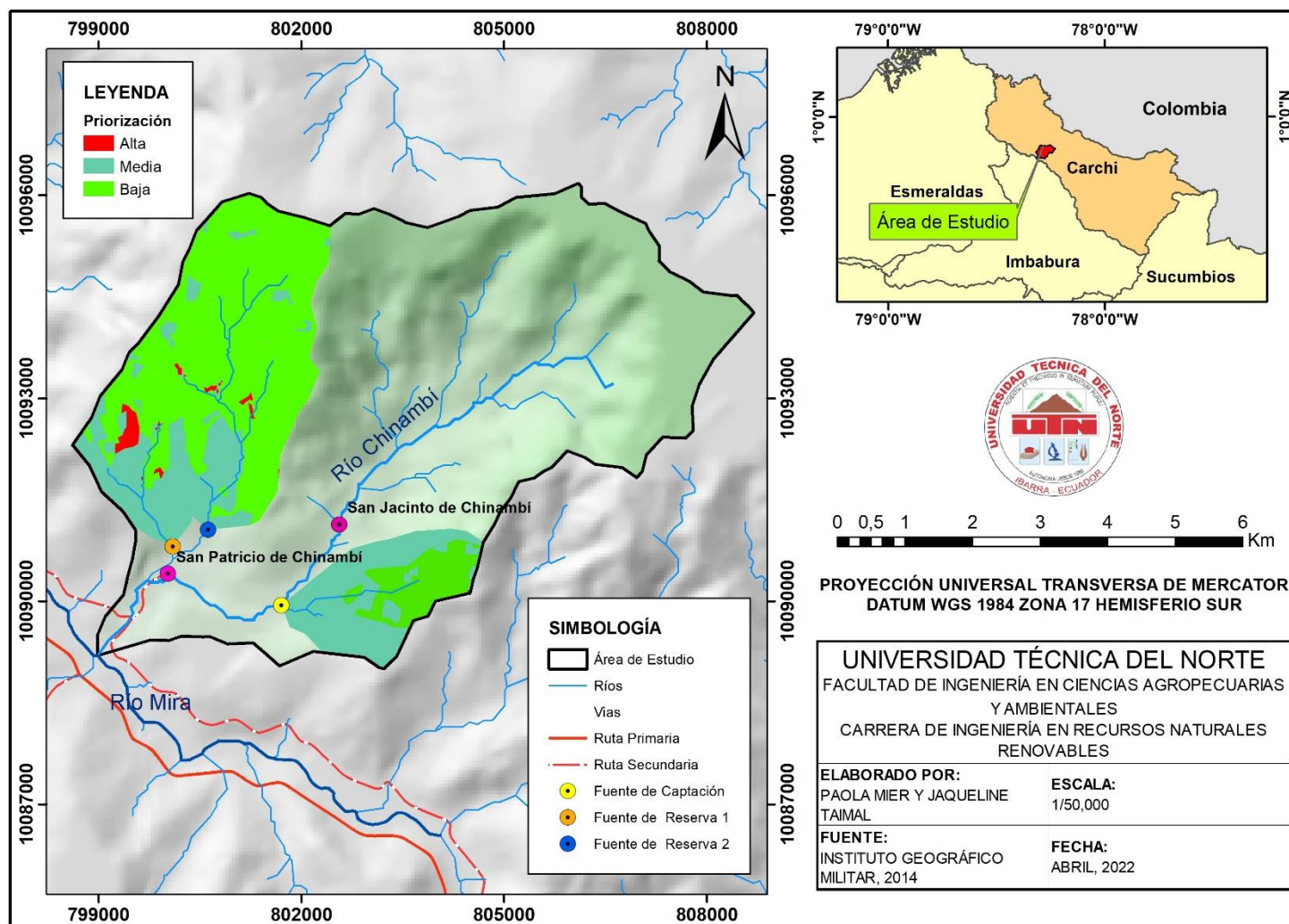
Anexo 3.10. Áreas de influencia para cada fuente de interés público



**Anexo 3.11.** Riesgo potencial de degradación del suelo en el área de influencia



**Anexo 3.12.** Usos de tierras para su priorización en el área de estudio



**Anexo 3.13.** Delimitación de las zonas de protección hídrica

