



**UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y BIOFÍSICA DE LAS CUENCAS
DE APORTE DE LAS CAPTACIONES DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE
DE LOS CANTONES QUE CONFORMAN LA MANCOMUNIDAD CAÑARI**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTORES:

DIEGO WILFRIDO ORTIZ MOLINA
C.I. 0302879218

JASSON RUBÉN SÁNCHEZ CALLE
C.I. 1400967715

DIRECTOR:

ING. DIEGO ESTEBAN MORA SERRANO PhD.

C.I. 0102423506

CUENCA – ECUADOR
SEPTIEMBRE 2018



Resumen

El estudio de una cuenca hidrográfica permite generar medidas de protección de los recursos naturales, en especial el agua. La disponibilidad del agua se encuentra íntimamente relacionada a factores como la vegetación, el suelo, la fauna y el grado de degradación de la cuenca a causa de actividades humanas. El objetivo de esta investigación fue realizar la caracterización geomorfológica y biofísica de las cuencas de aporte de las captaciones de los sistemas de agua potable de los cantones Biblián, Cañar, El Tambo y Suscal, que conforman la Mancomunidad Cañari. Con el propósito de determinar el estado actual de los sistemas de abastecimiento de cada cantón, se realizó una inspección de las captaciones y plantas de tratamiento. Mientras que, para el desarrollo de la caracterización geomorfológica y biofísica se utilizaron métodos basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Posterior a ello, en base a los resultados obtenidos, se generaron propuestas de manejo integral, a través del análisis del tipo de suelo, uso de suelo y cobertura vegetal y el mapa de pendientes de cada cuenca de aporte. Se constató que el cantón Suscal cuenta con dos fuentes de captación subterráneas, a diferencia de los otros cantones que cuentan con fuentes de captación superficiales. Además, se determinó que las cuencas de los cantones Biblián y El Tambo son las de mayor área (38.5 y 21.5 km², respectivamente). Por último, las propuestas de manejo integral están encaminadas a la conservación de la cobertura vegetal nativa y la recuperación de las áreas degradadas.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, degradación de cuencas, Mancomunidad Cañari, caracterización geomorfológica y biofísica, manejo integral de cuencas, páramo.



Abstract

The study of a watershed allows the generation of measures to protect natural resources, especially water. The availability of water is closely related to factors such as vegetation, soil, fauna and the degree of degradation of the basin due to human activities. The objective of this research was to perform the geomorphological and biophysical characterization of the basins for the intake of the drinking water systems of the cantons of Biblián, Cañar, El Tambo and Suscal, which make up the Cañari Commonwealth. In order to determine the current status of the supply systems of each canton, an inspection of the catchments and drinking water treatment plants was carried out. While, for the development of geomorphological and biophysical characterization, methods based on Geographic Information Systems (GIS) were used. After that, based on the results obtained, integral management proposals were generated, through the analysis of the type of soil, land use and vegetation cover and the slope map of each contribution basin. It was found that the Suscal canton has two underground catchment sources, unlike the other cantons that have surface catchment sources. In addition, it was determined that the basins of the Biblián and El Tambo cantons are those with the largest area (38.5 and 21.5 km², respectively). Finally, the proposals for integral management are aimed at the conservation of the native vegetation cover and the recovery of the degraded areas.

Keywords: watershed, degree of degradation of basins, Cañari Commonwealth, geomorphological and biophysical characterization, integral management of basins, paramo.



Contenido

Resumen..... 2

Abstract..... 3

Capítulo 1: Introducción 16

1.1. Antecedentes 16

1.1.1. Importancia del estudio de cuencas hidrográficas 16

1.1.2. Factores que influyen en la capacidad de cosecha hídrica de una cuenca 18

1.1.3. Manejo integral de cuencas hidrográficas..... 19

1.2. Justificación..... 21

1.3. Objetivos 23

1.3.1. Objetivo general..... 23

1.3.2. Objetivos específicos 23

1.4. Hipótesis..... 23

Capítulo 2: Materiales 24

2.1. Área de estudio..... 24

2.2. Topografía 25

Cantón Cañar 25

Cantón Biblián..... 25

Cantón El Tambo..... 25

Cantón Suscal 25

2.3. Cobertura del suelo..... 25

Cantón Cañar 25

Cantón Biblián..... 25

Cantón El Tambo..... 26

Cantón Suscal 26

2.4. Geología y geomorfología..... 26

Cantón Cañar 26

Cantón Biblián..... 26

Cantón El Tambo..... 26

Cantón Suscal 26

2.5. Tipos de suelo..... 27

Cantón Cañar 27



| | |
|--|-----------|
| Cantón Biblián..... | 27 |
| Cantón El Tambo..... | 27 |
| Cantón Suscal | 27 |
| 2.6. Hidrografía | 27 |
| Cantón Cañar | 27 |
| Cantón Biblián..... | 27 |
| Cantón El Tambo..... | 27 |
| Cantón Suscal | 27 |
| 2.7. Cartografía disponible e información de estaciones hidrometeorológicas..... | 29 |
| 2.8. Software | 30 |
| Capítulo 3: Métodos..... | 32 |
| 3.1. Determinación del estado actual de los sistemas de abastecimiento de agua potable.... | 32 |
| 3.2. Delimitación de las cuencas de aporte | 32 |
| 3.3. Caracterización morfológica | 33 |
| 3.3.1. Parámetros de forma | 33 |
| 3.3.2. Parámetros de relieve..... | 35 |
| 3.3.3. Parámetros de drenaje | 36 |
| 3.4. Caracterización biofísica | 37 |
| 3.4.1. Edafología..... | 37 |
| 3.4.2. Hidrología y climatología | 38 |
| 3.4.3. Clasificación de las cuencas de aporte según la zona agroecológica..... | 41 |
| 3.5. Determinación de los principales factores que influyen en la capacidad de cosecha hídrica de las cuencas hidrográficas..... | 41 |
| 3.6. Alternativas de manejo integral de cuencas | 42 |
| Capítulo 4: Resultados y Discusión | 43 |
| 4.1. Estado actual de las captaciones y plantas de tratamiento de agua potable | 43 |
| 4.1.1. Cantón Cañar | 43 |
| 4.1.2. Cantón Biblián | 46 |
| 4.1.3. Cantón El Tambo | 50 |
| 4.1.4. Cantón Suscal..... | 54 |
| 4.2. Caracterización Morfológica..... | 57 |
| 4.2.1. Cantón Cañar | 57 |



| | | |
|--|---|-----------|
| 4.2.2. | Cantón Biblián | 60 |
| 4.2.3. | Cantón El Tambo | 61 |
| 4.2.4. | Cantón Suscal..... | 63 |
| 4.3. | Caracterización Biofísica | 65 |
| 4.3.1. | Edafología..... | 65 |
| 4.3.2. | Hidrología y climatología | 72 |
| 4.3.3. | Clasificación de las cuencas de aporte según la zona agroecológica..... | 77 |
| 4.4. | Principales factores que influyen en la capacidad de cosecha hídrica de las cuencas hidrográficas..... | 78 |
| | Factor morfológico | 78 |
| | Factores biofísicos | 78 |
| | Impacto de la deforestación..... | 79 |
| | Impacto de la quema de pajonales | 79 |
| | Impacto de los cultivos | 79 |
| | Impacto del sobrepastoreo | 79 |
| 4.5. | Alternativas de manejo integral de cuencas | 80 |
| | Alternativa 1: Conservación ambiental en las cuencas de aporte de los cantones Cañar y El Tambo | 80 |
| | Alternativa 2: Recuperación de las áreas degradadas en las cuencas de aporte de los cantones Biblián y Suscal | 81 |
| Capítulo 5: Conclusiones, Observaciones y Recomendaciones | | 89 |
| | Conclusiones | 89 |
| | Observaciones | 91 |
| | Recomendaciones..... | 91 |
| | <i>Digitalización del uso de suelo y cobertura vegetal a partir de una ortofoto.....</i> | <i>92</i> |
| Referencias bibliográficas | | 94 |
| Anexos | | 98 |



Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2. 1 Mapa de ubicación geográfica de los cantones de la Mancomunidad Cañari y sus captaciones..... | 28 |
| Figura 2. 2 Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas usadas en el proyecto. | 31 |
| Figura 3. 1 Curvas Hipsométricas modelo..... | 36 |
| Figura 4. 1 Estructura de captación estándar del cantón Cañar. | 44 |
| Figura 4. 2 Reservorio de Patococha. | 45 |
| Figura 4. 3 Equipos disponibles en el laboratorio. | 46 |
| Figura 4. 4 Tanque de almacenamiento de 600 m ³ de capacidad. | 46 |
| Figura 4. 5 Captación de rejilla de fondo..... | 47 |
| Figura 4. 6 Rejilla de fondo. | 47 |
| Figura 4. 7 Desarenador del Sistema Cachi. | 48 |
| Figura 4. 8 Presencia de ganado cerca del desarenador..... | 48 |
| Figura 4. 9 Módulo A, planta de tratamiento compacta. | 49 |
| Figura 4. 10 Planta de tratamiento convencional..... | 49 |
| Figura 4. 11 Tanque de almacenamiento de 277 m ³ de capacidad. | 50 |
| Figura 4. 12 Equipos disponibles en el laboratorio. | 50 |
| Figura 4. 13 Captación del Río San Antonio. | 51 |
| Figura 4. 14 Presencia de ganado cerca del lugar de captación..... | 51 |
| Figura 4. 15 Planta de tratamiento compacta..... | 52 |
| Figura 4. 16 Planta de tratamiento convencional..... | 52 |
| Figura 4. 17 Equipos disponibles en el laboratorio. | 53 |
| Figura 4. 18 Tanque de almacenamiento de 300 m ³ de capacidad. | 54 |
| Figura 4. 19 Captación 1 (GAD Suscal, 2015). | 54 |
| Figura 4. 20 Tanque de carga de la captación 1 (GAD Suscal, 2015). | 55 |
| Figura 4. 21 Captación 2 (GAD Suscal, 2015). | 55 |
| Figura 4. 22 Tanque de carga captación 2 (GAD Suscal, 2015). | 55 |
| Figura 4. 23 Tanque de cloración. | 56 |
| Figura 4. 24 Tanque de 450 m ³ de capacidad. | 56 |
| Figura 4. 25 Presencia de ganado vacuno en los alrededores de la captación. | 56 |
| Figura 4. 26 Curvas hipsométricas de las cuencas de aporte de Cañar. | 58 |



Figura 4. 27 Cuencas de aporte de las captaciones del cantón Cañar..... 59

Figura 4. 28 Curva hipsométrica de la cuenca de aporte del cantón Biblián..... 60

Figura 4. 29 Cuenca de aporte de la captación del cantón Biblián..... 61

Figura 4. 30 Curva hipsométrica de la cuenca de aporte del cantón El Tambo..... 62

Figura 4. 31 Cuenca de aporte de la captación del cantón Biblián..... 63

Figura 4. 32 Curvas hipsométricas de las cuencas de aporte del cantón Suscal..... 64

Figura 4. 33 Cuencas de aporte de las captaciones del cantón Suscal..... 65

Figura 4. 34 Mapa de tipos de suelo de las cuencas de aporte de las captaciones de Cañar. 66

Figura 4. 35 Mapa de tipos de suelo de la cuenca de aporte de la captación de Biblián 67

Figura 4. 36 Mapa de tipos de suelo de la cuenca de aporte de la captación de El Tambo. 67

Figura 4. 37 Mapa de tipos de suelo de las cuencas de aporte de la captación de Suscal. 68

Figura 4. 38 Mapa de pendientes de las cuencas de aporte de las captaciones de Cañar. 69

Figura 4. 39 Mapa de pendientes de la cuenca de aporte de la captación de Biblián..... 70

Figura 4. 40 Mapa de pendientes de la cuenca de aporte de la captación de El Tambo..... 70

Figura 4. 41 Mapa de pendientes de las cuencas de aporte de la captación de Suscal. 71

Figura 4. 42 Mapa de uso de suelo de la cuenca de aporte del cantón Biblián. 72

Figura 4. 43 Precipitación mensual según estación Biblián. 74

Figura 4. 44 Precipitación mensual según estación Cañar..... 74

Figura 4. 45 Precipitación mensual de la estación Suscalpamba..... 75

Figura 4. 46 Uso de suelo de la zona degradada de la cuenca de aporte de Biblián..... 83

Figura 4. 47 Pendientes de la zona degradada de la cuenca de aporte de Biblián. 84

Figura 4. 48 Capacidad agrícola de la zona degradada de la cuenca de aporte de Biblián. 85

Figura 4. 49 Recomendaciones de uso de suelo óptimo en la zona degradada de la cuenca de aporte de Biblián. 86

Figura 4. 50 Terrazas de formación lenta (Algeet, 2008)..... 86

Figura 4. 51 Capacidad agrícola de las cuenca de aporte de Suscal..... 87

Figura 4. 52 Recomendaciones de uso de suelo óptimo para las cuencas de aporte de Suscal. .. 88

Figura 4. 53 Polígono de muestra para un cuerpo de agua. 93



Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1 Información cartográfica necesaria y sus fuentes. | 29 |
| Tabla 2.2 Descripción de las estaciones meteorológicas usadas en el estudio. | 30 |
| Tabla 3. 1 Información de los componentes de abastecimiento y sus fuentes. | 32 |
| Tabla 3. 2 Valores de Kc y su representación. | 34 |
| Tabla 3. 3 Clasificación de la pendiente. | 38 |
| Tabla 3. 4 Coeficientes de escorrentía. | 40 |
| Tabla 4. 1 Captaciones del cantón Cañar. | 44 |
| Tabla 4. 2 Resumen de los parámetros morfológicos de las cuencas de aporte de las captaciones del cantón Cañar. | 59 |
| Tabla 4. 3 Resumen de los parámetros morfológicos de la cuenca de aporte del Cantón Biblián. | 60 |
| Tabla 4. 4 Resumen de los parámetros morfológicos de la cuenca de aporte del cantón El Tambo. | 62 |
| Tabla 4. 5 Resumen de los parámetros morfológicos de las cuencas de aporte del cantón Suscal. | 64 |
| Tabla 4. 6 Datos de precipitación considerados en el análisis (INAMHI, 2015) | 73 |
| Tabla 4. 7 Caudales de las cuencas de aporte de Cañar. | 76 |
| Tabla 4. 8 Uso de suelo recomendado y la capacidad agrícola. | 84 |
| Tabla 4. 9 Uso de suelo recomendado y la capacidad agrícola. | 87 |



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Diego Wilfrido Ortiz Molina en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y BIOFÍSICA DE LAS CUENCAS DE APOORTE DE LAS CAPTACIONES DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE DE LOS CANTONES QUE CONFORMAN LA MANCOMUNIDAD CAÑARI”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, septiembre de 2018.

Diego Wilfrido Ortiz Molina

C.I: 0302879218

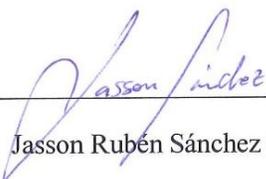


Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Jasson Rubén Sánchez Calle en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y BIOFÍSICA DE LAS CUENCAS DE APOORTE DE LAS CAPTACIONES DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE DE LOS CANTONES QUE CONFORMAN LA MANCOMUNIDAD CAÑARI”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, septiembre de 2018.



Jasson Rubén Sánchez Calle

C.I: 1400967715



Cláusula de Propiedad Intelectual

Diego Wilfrido Ortiz Molina, autor del trabajo de titulación **“CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y BIOFÍSICA DE LAS CUENCAS DE APOORTE DE LAS CAPTACIONES DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE DE LOS CANTONES QUE CONFORMAN LA MANCOMUNIDAD CAÑARI”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, septiembre de 2018.

A handwritten signature in blue ink, reading "Diego Ortiz", written over a horizontal line.

Diego Wilfrido Ortiz Molina

C.I: 0302879218



Cláusula de Propiedad Intelectual

Jasson Rubén Sánchez Calle, autor del trabajo de titulación “**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y BIOFÍSICA DE LAS CUENCAS DE APORTE DE LAS CAPTACIONES DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE DE LOS CANTONES QUE CONFORMAN LA MANCOMUNIDAD CAÑARI**”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, septiembre de 2018.



Jasson Rubén Sánchez Calle
C.I: 1400967715



Agradecimientos

A Dios, por ser la luz que guía el rumbo de mi vida y a mis padres por darme la oportunidad de ser un profesional, con su ayuda ha sido posible alcanzar las metas planteadas en mi vida.

Diego

A mis padres y hermanos, quienes han sido mi soporte a lo largo de mi vida estudiantil.

A mis amigos, con quienes he compartido momentos de estudio, alegrías y decepciones. Con su cariño y apoyo han hecho que siempre me sienta en casa. ¡Si no lo sabemos nos lo inventamos!

¡Gracias a todos!

Jasson



Dedicatoria

Este trabajo está dedicado con amor a mis padres José y Sonia, por ser el pilar fundamental, y saber sostenerme siempre en cada uno de los momentos difíciles de mi vida. A mis hermanos, por la fraternidad que tienen conmigo, por ser esa compañía y apoyo en mi vida.

Diego

Desde niño, mis padres me han enseñado que el regalo más valioso que se puede heredar a las generaciones futuras es la educación. He sido testigo de su cariño y motivación, así como el gran esfuerzo que han realizado para que mis hermanos y yo podamos lograr nuestras metas. ¡Esto es para ustedes!

Jasson



Capítulo 1: Introducción

1.1. Antecedentes

1.1.1. Importancia del estudio de cuencas hidrográficas

Garantizar la disponibilidad de agua representa un objetivo fundamental para todos los países a nivel mundial, ya que el agua es un recurso imprescindible para el desarrollo de la vida (Rocha, 2011). En el año 1992 en la Conferencia sobre el Agua y el Medio Ambiente desarrollada en Dublín, Irlanda, ya se consideraba al agua como elemento esencial para la vida cuyo manejo requería de la regulación de los diferentes usos de suelo. Todo esto, mediante la participación directa de todos los usuarios y el establecimiento de políticas públicas que permitan asegurar el cumplimiento de las regulaciones planteadas (Perevochtchikova & Arellano, 2008).

Con el crecimiento de las poblaciones crece también el desarrollo de actividades encaminadas a satisfacer principalmente las necesidades alimenticias de las personas, lo que en definitiva representa un incremento en el uso de suelo en actividades afines a la agricultura y ganadería (Faustino & Jiménez, 2000). Para Ceccon, (2003) todas las actividades humanas generan repercusiones sobre el medio ambiente en especial en la calidad de los recursos hídricos. Pues se genera degradación en las cuencas hidrográficas, debido a que el avance ocupacional de las tierras tiende a superar su capacidad natural de carga (Barrios, 2003). Generalmente la sobreexplotación y agotamiento de los recursos están asociados a la falta de instituciones que permitan regular el uso de los recursos (Madrigal & Alpízar, 2008).

A criterio de Acosta, (2010) el Ecuador es un país con suficiente disponibilidad de agua si se lo compara con otros países latinoamericanos, pero el problema se encuentra en la disminución de la calidad y cantidad de esta, a causa de factores como la pérdida de los páramos y la creciente deforestación de los bosques. Precisamente para Gil, (2012) la principal fuente de agua para los países que se encuentran en la cordillera de los Andes es el páramo. En este ecosistema se ve afectada la biodiversidad vegetal y animal a causa del avance de las fronteras agrícola y ganadera. Por ejemplo, el reemplazo de vegetación nativa por otras especies exóticas como pino tiene un impacto en la cuenca pues esta especie consume mucha más agua que la vegetación nativa (Caguana, 2010).

La disponibilidad del recurso hídrico está íntimamente relacionada con otros elementos tales como la vegetación, suelo, fauna, medio ambiente y el grado de impacto generado por el hombre, a través de actividades agrícolas, ganaderas e industriales o por el avance de las urbanizaciones (Benavides & Burbano, 2001). En el futuro, esta disponibilidad de agua podría verse afectada a causa de las modificaciones que realiza el hombre a la naturaleza sin



considerar las limitaciones de esta para satisfacer sus necesidades. Con el fin de evitar problemas de abastecimiento de agua es conveniente establecer un plan de manejo integral de las cuencas hidrográficas para reducir el deterioro provocado y así asegurar la disponibilidad de agua a lo largo de los años (Pérez & Shinomi, 2005). Esta gestión ambiental requiere de la participación de diferentes actores tales como, la población afectada, gobiernos locales, instituciones estatales y organismos no gubernamentales (ONG) (Orozco, 2006).

La conservación de las cuencas hidrográficas también tiene repercusiones en el costo del tratamiento del agua cruda. De acuerdo a Ruiz, (2007) según datos de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), para el año 2007 el costo asociado al tratamiento de agua potable de fuentes provenientes de cuencas degradadas fue alrededor de 6 veces más caro que el tratamiento de agua de fuentes con mejores características de conservación.

Según Gaspari et al., (2013) una cuenca hidrográfica funciona como un colector que recibe la precipitación y la transforma en escurrimiento. Este proceso está relacionado con las condiciones climáticas y características físicas presentes en la cuenca, así pues para identificar los principales factores que influyen en este proceso, es necesario caracterizar una cuenca hidrográfica por su morfología, tipo de suelo, cobertura vegetal y uso de suelo (Gaspari et al., 2009), parámetros que también permiten establecer una descripción física-espacial de las características ambientales que presentan las zonas en estudio (García et al., 2015).

Desde el punto de vista ambiental, una cuenca hidrográfica es considerada como una unidad territorial para la gestión de los recursos hídricos (Dourojeanni et al., 2002). El estudio de esta unidad sirve como herramienta de planificación para establecer medidas que permitan la protección de los recursos naturales, especialmente el agua (Martínez, 2016). Lo que permite entender la importancia de la protección de las partes altas como zonas de recarga (López, 2014) con el fin de satisfacer la demanda de agua tanto para uso doméstico como industrial (Rodgers, 1978). Este enfoque de cuenca hidrográfica como unidad de gestión ambiental, permite también la comprobación de los progresos en el control de contaminación mediante el estudio de calidad del agua, pues los efectos negativos producidos por las actividades humanas es fácilmente detectable (Dourojeanni, 1994).

En Latinoamérica se ha establecido el Pago por Servicios Ambientales (PSA) como un modelo económico que permite el financiamiento de la protección de los recursos naturales. Este modelo puede ser aplicado a diferentes escalas, desde microcuencas hasta un programa nacional de conservación. Países como Costa Rica han optado por planes de reforestación y conservación de bosques existentes, mientras que, en Ecuador, el municipio de Pimamparo cobra a los usuarios del agua potable por la protección de sus fuentes de captación ubicadas en la zona del páramo (De Hek et al., 2004).

La caracterización geomorfológica y biofísica de las cuencas hidrográficas sirve como herramienta para un posterior establecimiento de un sistema de Pago por Servicios Ambientales (PSA). Además, este estudio permite determinar la capacidad de cosecha hídrica



de las cuencas hidrográficas (Gaspari et al., 2013), es decir la capacidad de las cuencas para captar y conducir agua hacia un punto de salida (García et al., 2015), algo que resulta de gran utilidad conocer, considerando que se pueden establecer por ejemplo, épocas para las cuales el caudal captado para las plantas de tratamiento de agua potable resultaría insuficiente para satisfacer las necesidades de las zonas de influencia de cada cuenca hidrográfica.

En la actualidad se han desarrollado métodos basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten el procesamiento de información digital primaria (datos topográficos, cobertura vegetal, etc.) para generar información derivada (Delgado & Gaspari, 2010) que proporciona la caracterización morfométrica y biofísica de las cuencas hidrográficas (Gaspari et al., 2009).

1.1.2. Factores que influyen en la capacidad de cosecha hídrica de una cuenca

Las características geomorfológicas y biofísicas de una cuenca, son las que identifican de una forma clara el funcionamiento de la misma, de esta forma la capacidad de regulación de caudales tanto de crecida como caudales base dependen del uso de suelo que tiene la cuenca (Hofstede, 2003).

El Ecuador, es un país que tiene recursos hídricos suficientes para satisfacer las necesidades de los habitantes, sin embargo, cada vez se altera la calidad de esta, la razón por la que ocurre esto es por la destrucción de áreas naturales y la degradación de tierras. Los páramos son los ecosistemas reguladores de agua más importantes en las cuencas andinas, pero estos se encuentran en un proceso acelerado de degradación (Hofstede, 2003).

Coello et al., (2012) mediante el estudio con el modelo Soil & Water Assessment Tool (SWAT), en las microcuencas del Río Grande, Pajonal y Pinos ubicados en el centro sur del Ecuador en alturas entre los 2230 y 3740 m.s.n.m., en donde la cobertura vegetal nativa consiste en chaparro, pastos, pino y pajonal, plantean distintos escenarios, en los cuales se analizan las cuencas con la cobertura vegetal nativa y con una cobertura vegetal proyectada a futuro es decir cambiando el tipo de vegetación. Los resultados obtenidos del estudio son:

La deforestación con la expansión agrícola e incrementos de pastos (cambio de vegetación), generan un incremento en la escorrentía superficial, es decir que en épocas de sequía el caudal base del Río disminuye drásticamente y en épocas lluviosas no regula los picos de crecidas.

La cobertura de pajonal (cobertura nativa), mantiene una adecuada regulación, y las coberturas de pinos consumen altas cantidades de agua, por lo que en épocas de verano el caudal del río es muy bajo.

El chaparro (vegetación nativa), por su parte presenta respuestas rápidas, pero ayuda a la conservación del agua en zonas de montaña.



De acuerdo a los resultados anteriormente presentados, se observa que el mejor escenario de cobertura es la vegetación nativa (pajonal y chaparro) ya que este ayuda a regular los caudales tanto en épocas de lluvia como de sequía, no así cuando se cambia el tipo de vegetación (cobertura con pino). En este escenario, se disminuye el caudal en el verano, y en época de invierno a causa de la deforestación y expansión de la frontera agrícola y ganadera se generan grandes crecidas.

En otro estudio, realizado por Crespo et al., (2014) en los páramos húmedos, en las microcuencas de Huagrahuma, Soroche, Quinahuaycu, Calluancay, Zhurucay, Marlanza 1 y Marlanza 2, ubicadas en las cuencas de los ríos Paute y Jubones, se muestran los efectos que causan los diferentes cambios de uso de suelo. El caudal de una cuenca cultivada es menor al caudal de una cuenca con cobertura nativa, y los caudales picos aumenta en las cuencas cultivadas, con lo que se pierde la capacidad de regulación de caudal de dichas cuencas. De igual forma, para realizar el cambio de vegetación a pastizales, los ganaderos usualmente queman los pajonales, esto provoca un aumento en la evapotranspiración, con lo que se disminuyen los caudales de salida de las cuencas. Sin embargo, los mayores impactos identificados son la disminución de los caudales bajos y medios de las cuencas hidrográficas.

1.1.3. Manejo integral de cuencas hidrográficas

De acuerdo a Ramsar, (2010) el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) define al manejo integral de cuencas hidrográficas como las acciones encaminadas a promover la conservación, el manejo y el desarrollo de los recursos hídricos y de la tierra con el fin de obtener beneficios tanto económicos como sociales, que a criterio de Madrigal et al., (2008) son los factores que mayor influencia tienen sobre el desarrollo de las personas.

Mientras que para Pérez et al., (2005) el manejo de cuencas hidrográficas se da primero con la identificación de los problemas existentes en estas, a causa del deterioro y mal uso de los recursos naturales que se dan con el propósito de lograr un mayor desarrollo de las poblaciones, para luego generar y aplicar soluciones técnicas que permitan reducir estos problemas.

Estas soluciones se representan a través de cuatro acciones principales:

1. Aumento de cobertura vegetal para reducir la erosión.
2. Mejorar la tasa de infiltración del agua en el suelo a través del control de los flujos de agua.
3. Control de la sedimentación al reducir el escurrimiento superficial.
4. Mantener la biodiversidad propia de las zonas en estudio.

Las cuales buscan mantener el equilibrio entre las actividades productivas desarrolladas por las poblaciones con la conservación de los recursos naturales afectados por dichas actividades.



Pero en la práctica resulta un tanto difícil lograr este objetivo porque muchas de las veces se produce sobreexplotación de los recursos debido a que no se considera la capacidad de producción de una cuenca hidrográfica (FAO, 2014). Por lo que los procesos de gestión de las cuencas requieren de la participación directa de las poblaciones que se asientan en las cuencas hidrográficas (World Vision, 2004).

Algunas de las soluciones planteadas en el manejo integral de cuencas hidrográficas tiene que ver con la reforestación, pues la recuperación de la cobertura vegetal es de gran importancia ya que permite incrementar la porosidad del suelo, mejorando así la capacidad de infiltración de éste. También permite disminuir la velocidad de la lámina de agua escurrida superficialmente, de igual forma favorece el flujo subsuperficial del agua en periodos de bastante precipitación (Gaspari et al., 2013). Según Célleri et al., (2004) en Ecuador los páramos son la fuente de agua más importante, ya que debido a su gran capacidad de retención de agua, son reservorios naturales, por tal motivo garantizar la cobertura vegetal nativa constituye una de las principales preocupaciones en estas zonas.

De igual forma, existen otro tipo de soluciones tales como la construcción de terrazas en zonas agrícolas, las cuales son construidas perpendicularmente a la pendiente del terreno, en dónde el agua se infiltra y en caso de precipitaciones intensas permite la conducción del agua con una importante reducción de la erosión del suelo. También existen medidas del tipo estructurales mediante diques que permiten la regulación de los caudales y en consecuencia la disminución de la erosión en los cauces (Gaspari et al., 2013).

La principal fuente de financiación de las soluciones encaminadas a mejorar las condiciones de las cuencas hidrográficas se encuentra en el Pago por Servicios Ambientales (PSA) en dónde básicamente se requiere el pago de los usuarios del servicio de agua potable por la conservación de las áreas naturales que permiten la regulación del sistema hídrico (Echavarría, 2003). Estos sistemas de compensación pueden ser diferentes pero todos ellos mantienen el objetivo de preservar los recursos hídricos de los ecosistemas de las zonas altas de las cuencas hidrográficas (Hofstede, 2003).

En el Ecuador los casos más conocidos son los de Quito, Cuenca y Pimampiro. En Quito se conformó un fondo de agua (FONAG) que es un fideicomiso que recibe dinero tanto del gobierno como de organizaciones privadas y ONG (Echavarría, 2003) y que permite a la empresa municipal de agua potable (EMAAPQ) y al Ministerio del Ambiente desarrollar actividades que permiten la protección de cinco áreas cercanas a la Cordillera Real, denominada “Bioreserva del Cóndor” (Hofstede, 2003). Mientras que Cuenca, a través de la empresa municipal ETAPA desde la década de los 80 ya invertía parte del fondo de recaudación de agua en la compra y protección de terrenos en las cuencas hidrográficas en dónde se encuentran sus captaciones (Echavarría, 2003). Actualmente posee más de 8 000 hectáreas y administra el Parque Nacional Cajas como parte de un comodato del Ministerio del Ambiente al municipio de esa ciudad. Así mismo, la municipalidad de Pimampiro cuenta con



un Fondo de Pago por servicios Ambientales con el cual se paga una compensación de \$1/ha/mes a los dueños de terrenos de bosque y páramo de la parte alta de la cuenca de captación por concepto de protección ambiental (Hofstede, 2003). Para ello este municipio incrementó el valor del servicio de agua potable en un 20% (Echavarría, 2003).

En todos estos casos resulta difícil determinar el valor del agua, a causa del diferente enfoque de estos casos de manejo. Por ejemplo, para Cuenca el costo del agua está asociado al costo de la tierra que regula el agua. En Pimampiro el costo asociado al agua es la compensación a las personas para no realizar actividades productivas en los bosques y páramos. Mientras que en Quito se financia los proyectos que permiten el manejo de las cuencas altas que permiten el abastecimiento de agua de la ciudad (Hofstede, 2003).

1.2. Justificación

El acceso al agua tanto en cantidad como en calidad es un derecho constitucional que debe ser garantizado por el Estado ecuatoriano. En el país se han planteado diferentes formas de inversión que permiten la provisión de servicios de agua potable, entre ellas la creación de empresas públicas como es el caso de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento Ambiental de Cuenca (ETAPA EP) o simplemente la delegación de servicios a operadores privados como es el caso de Guayaquil a través de la empresa INTERAGUA S.A de capital español (Martínez, 2017).

Adicional a estas formas de inversión, existe también un modelo alternativo, denominado Mancomunidad que permite la cooperación intermunicipal para la prestación de servicios. Un modelo de gestión que ha resultado satisfactorio en países como España, en dónde más del 70% de los municipios están asociados a mancomunidades (Riera, 2013).

En el Ecuador existe la denominada Mancomunidad del Pueblo Cañari constituida por los cantones Biblián, Cañar, El Tambo y Suscal que actualmente permite la prestación de servicios relacionados a la gestión de desechos sólidos en los cuatro cantones, mediante la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral del Pueblo Cañari (EMMAIPC-EP, s/f). El objetivo de esta forma de organización es desarrollar planes, programas y proyectos que permitan mejorar las condiciones actuales de los cantones miembros (Mancomunidad Cañari, s/f). Por lo que este modelo podría también ampliarse a la gestión del recurso hídrico.

Debido a la distribución geográfica de los cantones pertenecientes a la Mancomunidad Cañari sus fuentes de captación están dispersas, perteneciendo cada una de ellas a diferentes micro cuencas hidrográficas (ver Figura 2.1) lo que no sólo se traduce en que el origen de las mismas sea diferente, sino que también hace que un sistema de agua potable regional que abastezca a la población de todos los cantones no sea factible.



El cantón Cañar se abastece de 13 captaciones superficiales en alturas superiores a los 3800 m.s.n.m., ubicadas cerca del límite con el cantón Biblián en la zona del páramo de Patococha, la cual a su vez se encuentra dentro de las microcuencas hidrográficas del Río Chacapata y la Quebrada Shan Shan. El cantón Biblián capta agua del Río Cachi a una altura aproximada de 3065 m.s.n.m., perteneciente a la cuenca media del Río Burgay. La fuente de captación del cantón El Tambo se ubica en el Río San Antonio a 3805 m.s.n.m. en la zona de páramo, el cual a su vez se origina a partir de la Laguna Culebrillas que forma parte de la cuenca del Río Cañar. Mientras que el cantón Suscal se abastece de dos vertientes de origen subterráneo.

Además, a pesar de que las inversiones que permiten satisfacer las necesidades de agua potable siguen siendo requeridas en montos cada vez mayores, surge también la necesidad de establecer medidas para mejorar la gestión del recurso hídrico (Jouravlev, 2001). Dicha gestión está encaminada a solucionar problemas resultantes de la intervención del ser humano en las cuencas de captación de los sistemas de abastecimiento (Dourojeanni & Jouravlev, 1999).

En la actualidad se tiene mayor conciencia sobre los efectos que genera la degradación de las partes altas de las cuencas hidrográficas sobre los flujos hídricos. Esta degradación es propiciada por los usos de suelo orientados a actividades productivas que permiten el sustento de los habitantes y tiene consecuencias directas sobre los usuarios en la parte baja de las cuencas debido a la disminución de la oferta hídrica (Porrás, 2003).

De acuerdo a los representantes de los diferentes departamentos que están a cargo del manejo de los sistemas abastecimiento de agua potable de los cantones mancomunados, actualmente tres de los cuatro cantones (Biblián, Cañar y El Tambo) disponen de suficiente recurso hídrico a lo largo del año (captaciones de 30 l.s^{-1} de capacidad). Pero existen factores que en un futuro podrían afectar dicha disponibilidad. Mediante visitas a cada una de las fuentes de captaciones de los cuatro cantones se han identificado algunos de estos factores, tales como: avance de la frontera agrícola y ganadera y la quema de pajonales que afecta a los cuatro cantones y el caso específico de la modificación del curso del Río San Antonio en el cantón El Tambo. Por lo que resulta necesario el estudio de cada una de las cuencas hidrográficas, lo que, a criterio de Martínez, (2016) sirve como herramienta de planificación para establecer medidas que permitan la protección de los recursos naturales.

El estudio de las cuencas hidrográficas se realiza mediante su caracterización geomorfológica y biofísica, ya que estas características se encuentran directamente relacionadas con la capacidad de cosecha hídrica de las cuencas (Gaspari et al., 2013). Pérez & Shinomi, (2005) indican que es necesario establecer un manejo integrado de las cuencas, con el fin de evitar su deterioro y así asegurar la disponibilidad de agua a lo largo de los años.

Es así que la forma de garantizar la disponibilidad de agua en un futuro en los cantones de la mancomunidad es mediante la intervención en el origen de los sistemas de abastecimiento, esto es en las cuencas de aporte, a través de un plan de manejo integral de cuencas hidrográficas, el cual



puede ser administrado por un sistema mancomunal, ya que todos los cantones en estudio presentan problemas de degradación de cuencas similares.

En ese contexto, el estudio tiene como objetivo realizar la caracterización geomorfológica y biofísica de las cuencas de aporte de las captaciones de los sistemas de agua potable de los cantones Biblián, Cañar, Tambo y Suscal, que conforman la Mancomunidad Cañari, con el propósito de establecer las condiciones actuales de dichas cuencas y establecer posibles alternativas que permitan la recuperación o preservación de cada una de las cuencas hidrográficas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Caracterizar geomorfológica y biofísicamente las cuencas de aporte de las captaciones de los sistemas de agua potable de los cantones Biblián, Cañar, El Tambo y Suscal, que conforman la Mancomunidad Cañari.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar el estado actual de los sistemas de abastecimiento de agua potable de los cantones en estudio.
2. Caracterizar geomorfológica y biofísicamente las cuencas de aporte de los sistemas de abastecimiento de agua potable.
3. Determinar los principales factores que influyen en la capacidad de cosecha hídrica de las cuencas de aporte.
4. Definir alternativas de gestión integral del recurso hídrico en las cuencas de captación de los cantones de la Mancomunidad Cañari.

1.4. Hipótesis

La hipótesis planteada a probar es que: El estudio de las características geomorfológicas y biofísicas de las cuencas de aporte de los sistemas de abastecimiento sirve como herramienta para desarrollar planes de manejo integral. Los cuales permiten gestionar la regulación de caudales en las diferentes épocas del año para satisfacer las necesidades de agua de los cantones de la Mancomunidad Cañari.



Capítulo 2: Materiales

2.1. Área de estudio

La provincia de Cañar ubicada entre las latitudes 2°10' y 2°50' sur, limita al norte con la provincia de Chimborazo, al sur con la provincia del Azuay, al oriente con la provincia de Morona Santiago y al occidente con la provincia del Guayas y está constituida por 7 cantones: Azogues, Biblián, Déleg, Cañar, El Tambo y Suscal (GAD Cañar, 2015a). El área de estudio se limita a los cantones Biblián, Cañar, El Tambo y Suscal (ver Figura 2.1), pertenecientes a la denominada Mancomunidad del Pueblo Cañari.

El cantón Cañar es el cantón más grande de la provincia con el mismo nombre, posee una topografía accidentada ya que se ubica en la altiplanicie de la cordillera de los Andes por lo que presenta grandes variaciones de alturas a lo largo de su territorio. Su cabecera cantonal es la ciudad de Cañar que se encuentra a una elevación media de 3160 m.s.n.m. con una temperatura media anual de 11.8 °C y tiene alrededor de 16.000 habitantes. El mes más seco es agosto, con 34 mm de precipitación, mientras que la mayor precipitación se da en abril con 80 mm en promedio (GAD Cañar, 2015b). Sus captaciones se encuentran en la parte del páramo en el límite con el cantón Biblián en la microcuenca del Río Chacapatá y la microcuenca de la Quebrada Shan Shan y permiten satisfacer una dotación de 210 l/hab/día (GAD Cañar, 2010).

La cabecera cantonal del cantón Biblián se encuentra a una altura media de 2640 m.s.n.m. con una temperatura media de 14.5 °C. Al igual que en el cantón Cañar, el mes de menor precipitación ocurre en agosto con 35 mm y la mayor precipitación ocurre en abril con 105 mm (ClimateData.org, s/f). De acuerdo al censo poblacional del 2010 el cantón Biblián tenía una población urbana de 6.500 habitantes. Su captación se encuentra en la microcuenca del Río Burgay, en el Río Cachi y sirve para abastecer al 72% de la población urbana (GAD Biblián, 2016).

El cantón El Tambo posee una topografía variable entre los 2600 y 4300 m.s.n.m., recibe una precipitación media anual entre 500 a 1200 mm por año y su temperatura varía entre 6 y 16 °C (GAD El Tambo, 2016a). De acuerdo al Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del cantón El Tambo su población urbana para el año 2016 alcanzaba 5110 habitantes. Su captación se ubica en el Río San Antonio dentro del Parque Nacional Sangay (GAD El Tambo, 2016b).

El cantón Suscal presenta también una topografía accidentada con un rango altitudinal entre 1100 y 3800 m.s.n.m. con precipitaciones variables entre 500 y 1500 mm al año. Los meses más secos son julio y agosto y el periodo de mayor lluvia se registra entre enero y mayo. La temperatura varía entre 10 y 22 °C (GAD Suscal, 2014). Según el Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del cantón Suscal la población total del cantón para el año 2014 representaba 5742 habitantes. Sus dos captaciones se encuentran en la microcuenca del Río Capulí.



2.2. Topografía

Cantón Cañar

La microcuenca del Río Chacapata presenta una altitud variable que va desde los 1991 m.s.n.m. hasta los 3445 m.s.n.m., en dónde se evidencian pendientes desde suaves entre 5% y 12% hasta pendientes escarpadas entre 100% y 150% con desniveles altitudinales superiores a los 300 metros. Mientras que la microcuenca de la Quebrada Shan Shan se ubica en altitudes entre 2799 m.s.n.m. y los 4018 m.s.n.m. con pendientes entre 5% y 12% hasta pendientes fuertes entre 40% y 50% con desniveles altitudinales hasta los 300 metros (ver Anexo 2.1).

Cantón Biblián

La microcuenca del Río Burgay se ubica entre los 2487 m.s.n.m. y los 4197 m.s.n.m. y posee pendientes suaves entre 5% y 12% hasta pendientes escarpadas entre 100% y 150% con desniveles altitudinales superiores a los 300 metros (ver Anexo 2.2).

Cantón El Tambo

La microcuenca del Río San Antonio presenta una altitud variable entre los 2336 m.s.n.m. y los 4500 m.s.n.m. con pendientes suaves entre 5% y 12% hasta pendientes escarpadas entre 100% y 150% con desniveles altitudinales superiores a los 300 metros (ver Anexo 2.3).

Cantón Suscal

La microcuenca del Río Capulí se ubica entre los 1682 m.s.n.m. y los 4441 m.s.n.m. En esta microcuenca existen pendientes suaves entre 5% y 12% hasta pendientes escarpadas entre 100% y 150% con desniveles altitudinales superiores a los 300 metros (ver Anexo 2.4).

2.3. Cobertura del suelo

Cantón Cañar

Según el mapa de cobertura de suelo (ver Anexo 2.5) en la microcuenca del Río Chacapata el páramo es el tipo de cobertura preponderante (64%), mientras que las áreas destinadas a pastizales representan el 20%, se distinguen también otro tipo de cobertura en menor proporción como vegetación arbustiva, herbácea, bosques nativos y cultivos. En la microcuenca de la Quebrada Shan Shan las zonas dedicadas a pastizales representan el 62%, siendo la zona de páramo segunda de mayor influencia con el 17% de ocupación. De igual forma se definen zonas de plantaciones forestales, vegetación herbácea y cultivos.

Cantón Biblián

En la microcuenca del Río Burgay las zonas dedicadas a pastizales representan el 55% del área total y el páramo ocupa el 19%. También se distinguen zonas de plantaciones forestales, vegetaciones arbustivas y herbáceas y zonas dedicadas a cultivos en menores proporciones (ver Anexo 2.6).



Cantón El Tambo

En la microcuenca del Río San Antonio existe de manera general un área no intervenida (64%), así como zonas dedicadas a pastizales que representan el 21% del área total y el páramo ocupa el 4%. También se distinguen zonas de plantaciones forestales, vegetaciones arbustivas y herbáceas, bosques nativos y zonas dedicadas a cultivos en menores proporciones (ver Anexo 2.7).

Cantón Suscal

En la microcuenca del Río Capulí existen zonas dedicadas a pastizales que representan el 40% del área total, áreas no intervenidas (22%) y páramo (4%). También se distinguen zonas de plantaciones forestales, vegetaciones arbustivas y herbáceas, bosques nativos y zonas dedicadas a cultivos en menores proporciones (ver Anexo 2.8).

2.4. Geología y geomorfología

Cantón Cañar

Según el mapa de geomorfología (ver Anexo 2.9) en la microcuenca del Río Chacapata se distinguen dos formaciones, la formación Volcánicos de Saraguro (31%) y la formación Volcánicos de Pisayambo (69%). Mientras que la microcuenca de la Quebrada Shan Shan se encuentra asentada mayormente sobre la formación Turi (87%) y en menor medida en las formaciones Volcánicos de Saraguro y Volcánicos de Pisayambo.

Cantón Biblián

En la microcuenca del Río Burgay se encuentra en mayor medida sobre las formaciones Grupos Azogues, Chota y Ayancay (35%), Volcánicos de Pisayambo (29%), Turi (25%) y en menor proporción en las formaciones Biblián, Yunguilla y Volcánicos de Saraguro (ver Anexo 2.10).

Cantón El Tambo

En la microcuenca del Río San Antonio se distinguen dos formaciones, Volcánicos de Pisayambo (79%) y Turi (21%) (ver Anexo 2.11).

Cantón Suscal

La microcuenca del Río Capulí se asienta en mayor proporción sobre la formación Turi (50%) y la formación Volcánicos de Pisayambo (45%) y en menor proporción en la formación Volcánicos de Saraguro (ver Anexo 2.12).



2.5. Tipos de suelo

Cantón Cañar

De acuerdo al mapa de tipos de suelo (ver Anexo 2.13) en la microcuenca del Río Chacapata existe mayor presencia de suelos Inceptisoles (72%), así como suelos Entisoles y Molisoles. En la microcuenca de la Quebrada Shan Shan existen suelos Inceptisoles (43%), Vertisoles (41%) y Molisoles.

Cantón Biblián

En la microcuenca del Río Burgay existe mayor presencia de suelos Inceptisoles (48%), así como suelos Vertisoles, Molisoles y Alfisoles (ver Anexo 2.14).

Cantón El Tambo

En la microcuenca del Río San Antonio existe mayor presencia de suelos Inceptisoles (67%) y en menor medida suelos Vertisoles, Molisoles, Alfisoles y Entisoles (ver Anexo 2.15).

Cantón Suscal

En la microcuenca del Río Capulí existe mayor presencia de suelos Inceptisoles (51%) y en menor medida suelos Molisoles, Alfisoles, Entisoles e Histosoles (ver Anexo 2.16).

2.6. Hidrografía

Cantón Cañar

La microcuenca del Río Chacapata está formada por los Ríos Tablarumi, Sihuaycu, Cercapata, las quebradas Yullinhuaycu, Tullahuaycu, Trojecharina, Patococha y otras más de tipo perenne. Mientras que la microcuenca de la Quebrada Shan Shan está constituida por las quebradas Ugshapotrero, Tasqui, San Juan, Purupuc Shapitina, entre otras (ver Anexo 2.17).

Cantón Biblián

La microcuenca del Río Burgay está formada por los Ríos Tambo, Hierbabuena, Galohay, Cachi, las quebradas Yuvín, Yorayacu, Yanacocha, Tambo y otras más de tipo perenne (ver Anexo 2.18).

Cantón El Tambo

La microcuenca del Río San Antonio está formada por la laguna Culebrillas, los Ríos Sontzaguín, Huagraurcu, Culebrillas, las quebradas Yuyagyaca, Vaca Capina, Trenza y otras más de tipo perenne (ver Anexo 2.19).

Cantón Suscal

La microcuenca del Río Capulí está formada por el Río Guallicanga, las quebradas Tejaloma, Tambillo, Shullín, Porotopamba y otras más de tipo perenne (ver Anexo 2.20).

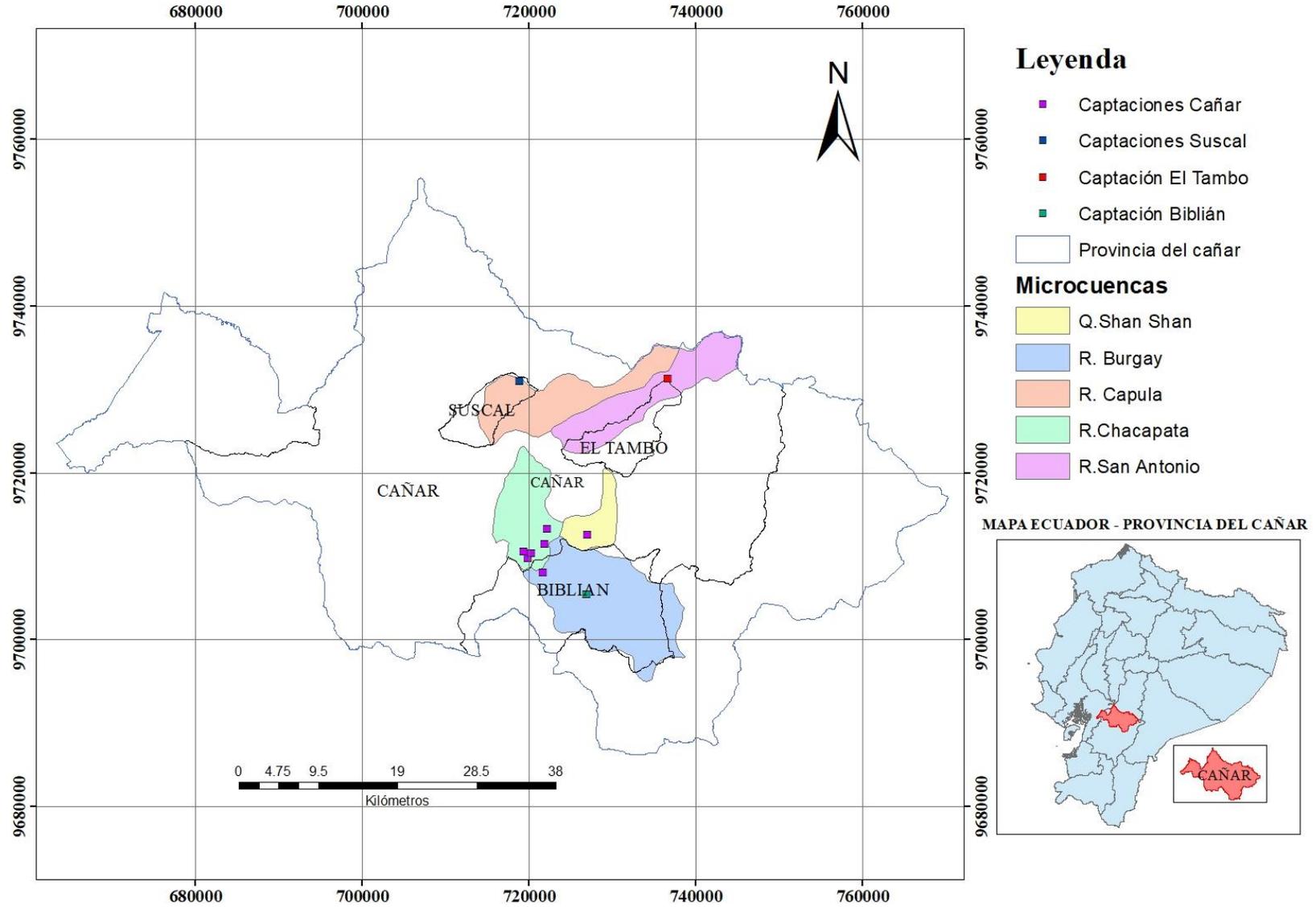


Figura 2. 1 Mapa de ubicación geográfica de los cantones de la Mancomunidad Cañari y sus captaciones.



2.7. Cartografía disponible e información de estaciones hidrometeorológicas

La información cartográfica necesaria para el estudio se encuentra disponible en diferentes fuentes como el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), Instituto Geográfico Militar (IGM), Oficina de Planificación de la Presidencia de la República (ODEPLAN), Sistema Nacional de Información (SNI) y el Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS). La información corresponde a archivos digitales de formato shapefile (SHP) que pueden ser procesados mediante software de Sistema de Información Geográfica (SIG).

Tabla 2.1 Información cartográfica necesaria y sus fuentes.

| Cartografía | Fuente | Año |
|--|---------------|------------|
| Mapa de división política por cantones de la provincia de Cañar escala 1:100000 | INEC | 2007 |
| Curvas de nivel cada 40m escala 1:50000 | IGM | 2011 |
| Mapa de clasificación de tipos de suelo escala 1:250000 | ODEPLAN | 2011 |
| Mapa de clasificación del uso de suelo en la Sierra escala 1:50000 | SNI | 2014 |
| Mapa de cobertura de suelo escala 1:25000 | SIGTIERRAS | 2016 |
| Mapas de geomorfología escala 1:25000 | SIGTIERRAS | 2017 |
| Mapas de geología escala 1:250000 | ODEPLAN | 2011 |
| Mapas de isoyetas e isotermas escala 1:250000 | ODEPLAN | 2011 |

La fuente de información de los datos hidrometeorológicas es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). El cual si bien es cierto maneja una red de estaciones hidrometeorológicas distribuidas a lo largo de la provincia del Cañar no dispone de estaciones que se encuentren cerca del área de cada una de las captaciones de los cantones de la Mancomunidad, por lo que es necesario utilizar información de estaciones cercanas a dichas áreas para realizar un análisis de precipitación y temperatura mediante interpolaciones (ver Figura 2.2).

Tabla 2.2 Descripción de las estaciones meteorológicas usadas en el estudio.

| No | Código | Nombre | Latitud (m) | Longitud (m) | cota (m.s.n.m.) | Provincia |
|----|--------|--------------------|-------------|--------------|-----------------|------------|
| 1 | M0141 | El labrado | 714218.9 | 9697771.8 | 3335 | Azuay |
| 2 | M1111 | Chanlud | 718862.9 | 9703970.1 | 3336 | Azuay |
| 3 | M0138 | Paute | 748714.9 | 9690276.1 | 2194 | Azuay |
| 4 | M0197 | Jacarin (solano) | 729741.3 | 9687975.9 | 2700 | Cañar |
| 5 | M0031 | Cañar | 728463 | 9717749.2 | 3083 | Cañar |
| 6 | M0137 | Biblián | 734397.3 | 9700380.2 | 2640 | Cañar |
| 7 | M0411 | Ingapirca | 736313.9 | 9719149.7 | 3100 | Cañar |
| | | Suscalpamba | | | | |
| 8 | M0412 | (Capilla dolorosa) | 715253.5 | 9727876.8 | 2763 | Cañar |
| 9 | M0414 | Chanin | 750472.1 | 9704622.4 | 3270 | Cañar |
| 10 | M906 | Solano-Cedege | 729741.3 | 9687975.9 | 2700 | Cañar |
| 11 | M0392 | Huigra | 724582.3 | 9747012.2 | 1255 | Chimborazo |
| 12 | M0397 | Compud | 729426 | 9741158.8 | 2402 | Chimborazo |
| | | Achupallas- | | | | |
| 13 | M0399 | Chimborazo | 748196.3 | 9747767 | 3178 | Chimborazo |

2.8. Software

Para el procesamiento de la información cartográfica y los datos de precipitación y temperatura necesarios para el estudio se utiliza el software de Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS 10.4.1, desarrollado por la empresa ESRI. De igual forma para el análisis de datos se emplea el programa Excel 2016 creado por Microsoft.

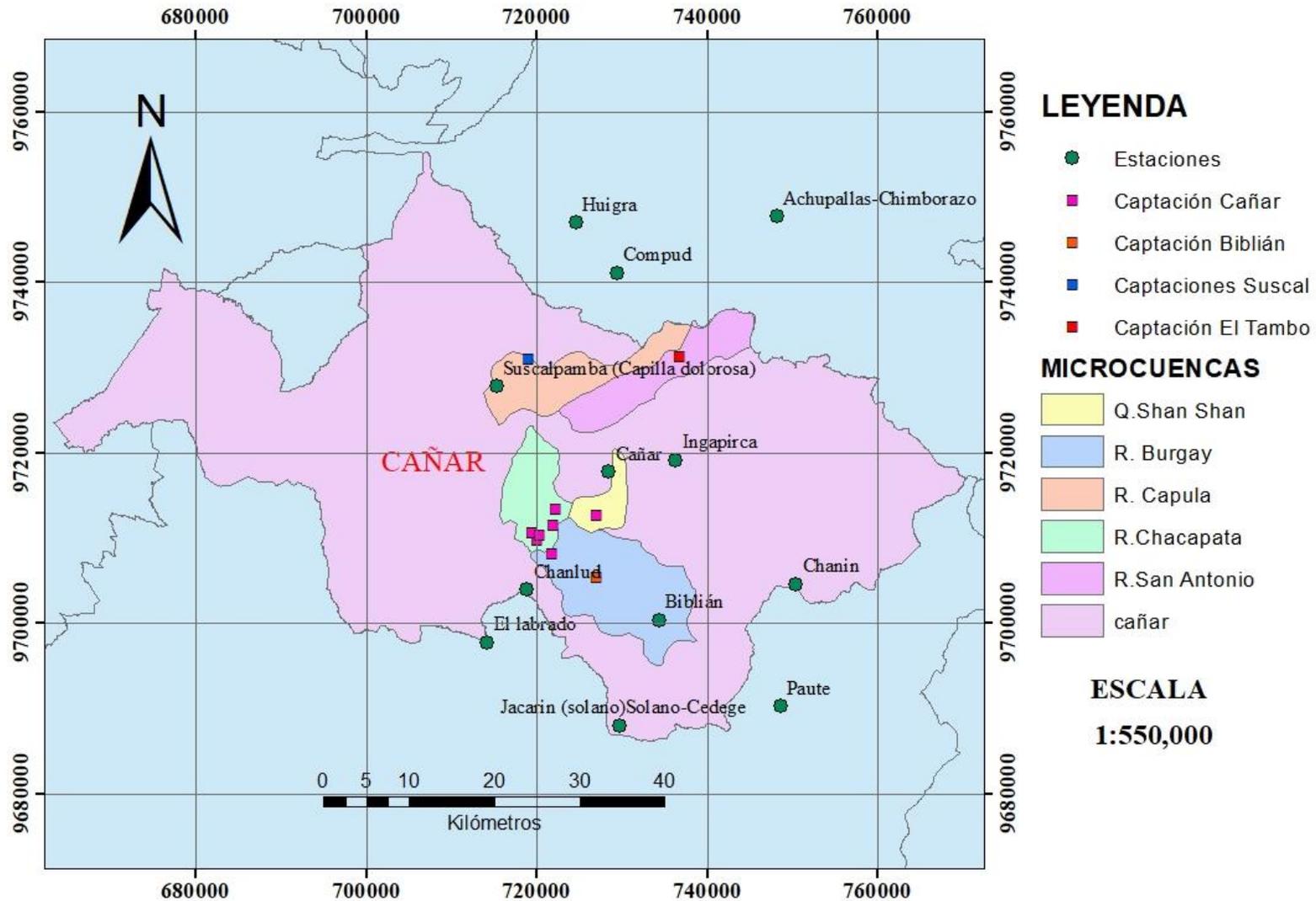


Figura 2. 2 Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas usadas en el proyecto.

Capítulo 3: Métodos

3.1. Determinación del estado actual de los sistemas de abastecimiento de agua potable

El estudio se enfoca en el estado actual de dos de los componentes más relevantes de un sistema de abastecimiento agua potable: captación y planta de tratamiento. Para ello es necesario realizar una inspección de dichos componentes con la guía de representantes de los diferentes departamentos que están a cargo del manejo de los sistemas abastecimiento de agua potable de los cantones mancomunados. En la Tabla 3.1 se detalla la información recopilada para cada componente, así como la fuente de información.

Tabla 3. 1 Información de los componentes de abastecimiento y sus fuentes.

| Componente | Información | Fuente |
|-------------------------------------|---|---|
| Captación | Coordenadas GPS | Levantada en campo |
| | Tipo de fuente | Inspección visual |
| | Caudal captado | Representantes de los departamentos de agua potable |
| | Estructura de captación | Inspección visual y Representantes |
| | Actividades productivas presentes en los alrededores de las captaciones | Inspección visual |
| Planta de tratamiento | Coordenadas GPS | Levantada en campo |
| | Tipo de planta | Inspección visual y Representantes |
| | Tipo de tratamiento | |
| | Estado de los componentes | Representantes de los departamentos de agua potable |
| | Control de la calidad del agua procesada | |
| Capacidad de los tanques de reserva | | |

3.2. Delimitación de las cuencas de aporte

Se define a una cuenca hidrográfica como el espacio territorial constituido por componentes bióticos (flora y fauna) y abióticos (agua, suelo, etc.) íntimamente relacionados entre sí (Gaspari et al., 2013) a través del cual de manera natural escurren las aguas provenientes de todos los



orígenes (superficiales y subterráneas), en su mayoría de la precipitación hasta un lugar de descarga principal (río, lago u océano) (Aguirre, 2011).

Una cuenca hidrográfica se encuentra delimitada por divisorias topográficas que no obedecen a las fronteras internas de un país. De igual forma representa el territorio en dónde se asientan poblaciones que requieren agua para realizar actividades productivas que permitan su desarrollo (Aguirre, 2011).

Utilizando como base información topográfica de curvas de nivel y los puntos correspondientes a cada captación en ArcGIS a través de la herramienta Hydrology se delimita cada una de las cuencas de aporte.

3.3. Caracterización morfológica

El estudio de las características morfométricas de una cuenca hidrográfica mediante parámetros de forma, relieve y red de drenaje permite determinar las características hidrológicas de ésta (Gaspari et al., 2009) citado por (Gaspari et al., 2013). De igual forma el análisis de estos parámetros brinda información física necesaria para realizar una comparación entre diferentes cuencas hidrográficas (Gaspari et al., 2013).

3.3.1. Parámetros de forma

Área (A) y Perímetro (P) de la cuenca

El área de una cuenca representa la medida de la superficie encerrada por una cuenca de drenaje, es decir la divisoria de aguas. Esta superficie es medida generalmente en km^2 . Mientras que el perímetro resulta de calcular la longitud de la línea que encierra al área de drenaje de una cuenca hidrográfica (Jardí, 1985).

Estos parámetros son obtenidos de la tabla de atributos de los archivos SHP de las cuencas ya delimitadas, con el uso de la herramienta Calculate Geometry.

Longitud del cauce principal (L)

Esta característica se define como la longitud calculada en línea recta entre el punto de descarga de la cuenca hasta el punto del perímetro más alejado de éste (Jardí, 1985). Se determina mediante el análisis de la tabla de atributos de un archivo SHP tipo línea que une los puntos antes mencionados, con la herramienta Measure.

**Ancho (W)**

Es la relación entre el área (A) y la longitud del cauce principal (L) (Ibáñez et al., 2011) expresada a través de la Ecuación 3.1.

$$W = \frac{\text{Área (km}^2\text{)}}{\text{Longitud (km)}} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Factor de forma (IF)

Esta variable adimensional establece la forma de la cuenca hidrográfica y se define con la Ecuación 3.2, a través de la cual se relaciona el área (A) de la cuenca con el cuadrado de la longitud (L) de ésta (Jardí, 1985).

$$IF = \frac{\text{Área (km}^2\text{)}}{\text{Longitud}^2 \text{ (km}^2\text{)}} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Valores de IF semejantes a 1 denotan cuencas hidrográficas con forma redondeada, mientras que las cuencas hidrográficas alargadas tendrán valores bajos de IF (Gaspari et al., 2013).

Coefficiente de compacidad (Kc)

Este índice adimensional compara el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo asociado (Jardí, 1985). Mediante la siguiente expresión:

$$Kc = \frac{\text{Perímetro}}{2(\pi * \text{Área (km}^2\text{)})^{1/2}} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Valores de Kc semejantes a 1 representan cuencas hidrográficas redondas y valores de Kc mayores o iguales a 1.75 corresponden a cuencas rectangulares oblongas (ver Tabla 3.2). Este índice es importante debido a que se asocia al tiempo de concentración que es el tiempo que tarda en llegar una gota de lluvia al punto de salida, desde el punto más lejano de la cuenca (Gaspari et al., 2013).

Tabla 3. 2 Valores de Kc y su representación (Gaspari et al., 2013).

| Kc | Clases de forma |
|----------|-----------------------------|
| 1-1.25 | Casi redonda a oval redonda |
| 1.25-1.5 | Oval oblonga |
| 1.5-1.75 | Rectangular oblonga |
| >1.75 | Casi rectangular (alargada) |



3.3.2. Parámetros de relieve

Los parámetros de relieve están relacionados con la duración de concentración del flujo, en la red de drenaje, Cardona, (2013) refiere a Navarrete, (2004) el cual expresa que a mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal.

Altitud media (H)

Este es un parámetro físico que permite conocer la distribución de las elevaciones del terreno de la cuenca, para ello se han establecido dos conceptos: la altitud media y la mediana de la altitud (Farfán et al, 2010)

La altura media de las cuencas, aplicando el método de las áreas elementales el cual se expresa en la Ecuación 3.4:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i \times A_i)}{A} \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

H: Altura media de la cuenca (m).

A_i: Área parcial entre curvas sucesivas (km²)

H_i: Altitud media entre curvas sucesivas (m)

A: Área total de la cuenca (km²)

La mediana de la altitud se obtiene dividiendo la curva hipsométrica en el 50% de la superficie y la ordenada correspondiente a este porcentaje es la mediana de la altitud (Mármol, 2006).

Pendiente media de la cuenca (PM)

La pendiente media de las cuencas, que según Argente, (2015) representa un índice de la velocidad media de la escorrentía. La pendiente media se obtiene con la Ecuación 3.5.

$$PM = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n L_i * E}{A} \quad \text{Ec. 3.5}$$

Donde:

L_i: Longitud de cada curva de nivel (km).

E: Equidistancia de las curvas de nivel (km)

A: Superficie de la cuenca (km²)

Para calcular este parámetro, primero es necesario crear un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) a partir del archivo de curvas de nivel para después elaborar un mapa de pendientes con el uso de la herramienta Slope. Con este archivo final se realiza el promedio de las pendientes a través de la herramienta Zonal Statistics Table.

Curva hipsométrica (CH)

La forma de la curva hipsométrica permite el estudio de las edades de las cuencas hidrográficas (ver Figura 3.1) (Ibáñez et al., 2011). Esta curva resulta al graficar las diferentes alturas encontradas en la cuenca respecto a los valores de áreas ubicadas encima de cada altura correspondiente, es decir la superficie drenada proyectada (Racca, 2007).

Este parámetro se obtiene al reclasificar en rangos de alturas el MDE de las cuencas de aporte mediante la herramienta Reclassify para finalmente hacer un análisis estadístico con la herramienta Zonal Statistics Table. Los valores que se obtienen pueden ser exportados para generar gráficas en Excel.

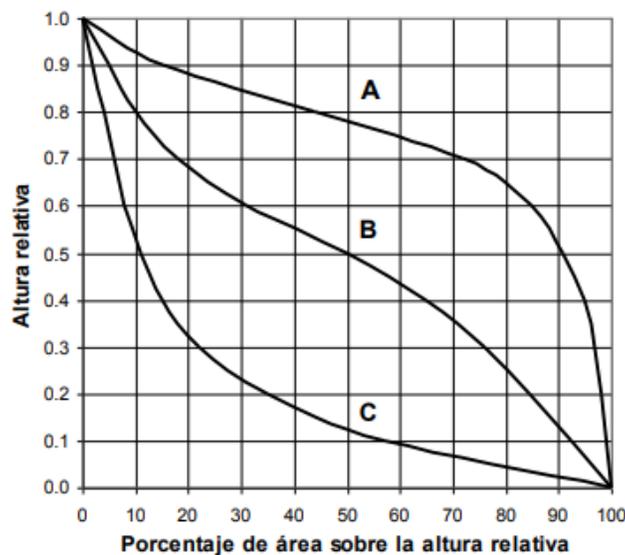


Figura 3. 1 Curvas Hipsométricas modelo.

A) cuenca joven, B) cuenca estable, C) cuenca sedimentaria (Strahler & Strahler, 2013)

3.3.3. Parámetros de drenaje

Densidad de drenaje (Dd)

La densidad de drenaje de las cuencas se obtiene mediante la aplicación de la ecuación establecida por Horton (Jardí, 1985), la cual expresa:



$$D$$
$$d = \frac{L_n}{A} \quad \text{Ec. 3.6}$$

Donde:

L_n : Sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua drenados por la cuenca (km)

A : Área total de la cuenca (km²)

De acuerdo a Gaspari et al., (2013) mientras mayor es la densidad de drenaje de una cuenca menor es el tiempo que le toma al agua evacuar, ya que es menor la longitud de terreno que debe recorrer.

Tiempo de concentración (T_c)

Se define como el tiempo que tarda en llegar una gota de lluvia al punto de salida, desde el punto más lejano de la cuenca (Gaspari et al., 2013). En la bibliografía existen muchas expresiones propuestas por diferentes autores (Rojo, 2008), pero para el estudio se considera la ecuación propuesta por SCS-Ransser:

$$T_c = 0.97 \left(\frac{L_c^3}{H} \right)^{0.385} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (h)

L : Longitud de cauce (km)

H : Diferencia entre la cota mayor y menor de la cuenca

3.4. Caracterización biofísica

3.4.1. Edafología

Para determinar la naturaleza de los suelos en relación con las plantas y el entorno en que se encuentran es necesario analizar algunas consideraciones como son:

Tipos de suelos

ODEPLAN ofrece una capa de tipo de suelo a nivel nacional a escala 1:250.000. Este tipo de información muestra datos de las unidades de suelo y la distribución espacial en el área de estudio, a través del uso del software ArcGIS (Ramírez, 2015).

Pendientes de suelo

Los mapas de pendientes se generan mediante el uso de la herramienta Reclassify del software ArcGIS a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (DEM). En la capa resultante se realiza



la clasificación de pendientes de acuerdo a su porcentaje, según la clasificación propuesta por el SNI, la cual se muestra en la siguiente tabla (SNI, s/f):

Tabla 3. 3 Clasificación de la pendiente.

| Pendiente (%) | Clasificación |
|---------------|------------------------------|
| 0-5 | Plano o casi plano |
| 5-12 | Suave o ligeramente ondulado |
| 12-25 | Moderadamente ondulado |
| 25-40 | Colinado |
| 40-70 | Escarpado |
| >70 | Montañoso |

Uso de suelo y cobertura vegetal

La identificación del uso de suelo y cobertura vegetal, se realiza mediante el análisis en el software ArcGIS del mapa de uso de suelo de la sierra, obtenido del Sistema Nacional de Información (SNI) a una escala de 1:50000, para cada una de las cuencas delimitadas.

3.4.2. Hidrología y climatología

El clima es un conjunto de propio de condiciones atmosféricas características de una región, y se encuentra relacionada con algunos parámetros tales como la precipitación y la temperatura media anual (Gutiérrez, 2014).

Precipitación

La cantidad de lluvia caída en una zona, representa la precipitación, los datos obtenidos de las diferentes estaciones meteorológicas nos permiten determinar la intensidad de la precipitación mediante el método de las isoyetas. La elaboración de las isoyetas se realiza mediante el uso de la herramienta Kriging del software ArcGIS (Ramírez, 2015).

Para calcular la precipitación media diaria que permita el cálculo de los caudales de cada cuenca delimitada, se utiliza la ecuación 3.8.

$$Pd = \frac{Pa}{360} \quad \text{Ec. 3.8}$$

Donde:

Pa: Precipitación anual obtenida del mapa de isoyetas (mm)

360: Constante de conversión a precipitación diaria



Adicional a esto, a partir del análisis de los gráficos que se consiguen a partir de los valores de precipitación presentados en el anuario meteorológico 2012 del INAMHI para las estaciones que se encuentran próximas a las zonas de captación, se determina el tipo de régimen de lluvia (unimodal o bimodal) en el que se encuentran las cuencas de aporte.

Temperatura media anual

Este parámetro se obtiene realizando un mapa de isotermas, utilizando la información de las estaciones meteorológicas (Ramírez, 2015). La creación del mapa de temperatura al igual que el mapa de las isoyetas, se realiza mediante la herramienta Kriging del software ArcGIS. En base al mapa de isotermas se definen las temperaturas medias anuales que influyen en las diferentes cuencas de aporte.

Determinación de zonas climáticas

Mediante la relación entre las isoyetas e isotermas, se definen las principales características climatológicas de cada cuenca de aporte y al compararlas con el estudio propuesto por Pourrut en el año 1983, se establecen las zonas climáticas a las que pertenece cada cuenca de aporte.

Determinación del caudal:

La determinación de los caudales de cada cuenca de aporte delimitada se realiza con el propósito de comprobar si estos son suficientes para satisfacer la demanda de agua en épocas de sequía en los cantones mancomunados. A causa de falta de información de aforos de las diferentes fuentes de captación, se utilizan dos métodos empíricos, detallados a continuación:

Método Racional

Para calcular el caudal de cada una de las cuencas de aporte, se utiliza el método racional, el cual se basa en coeficientes de escorrentía estimados en función de las características de pendiente, uso y tipo de suelo de cada cuenca. Este método es muy usado para cuencas con un área menor de 10 Km² y considera que la duración de la precipitación es igual al tiempo de concentración (Ministerio de Transportes y Comunicaciones Perú, 2008).

Según éste método, el caudal máximo o mínimo, se obtiene con la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C.I.A}{3.6} \quad \text{Ec. 3.8}$$

Donde:

Q: es el caudal calculado (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía (ver Tabla 3.4)

I: Intensidad de precipitación (máxima o mínima) horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca (Km²)

La intensidad de la lluvia se determina con la siguiente expresión:

$$I = \left(\frac{P}{24}\right) (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} \quad \text{Ec. 3.9}$$

Donde:

P: Precipitación media diaria (mm)

Tc: Tiempo de concentración (h)

En la Tabla 3.4 se presentan los valores de coeficientes de escorrentía típicos para diferentes tipos de suelo y cobertura vegetal.

Tabla 3.4 Coeficientes de escorrentía. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones Perú, 2008)

| Cobertura vegetal | Tipo de suelo | Pendiente del terreno | | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------------|------|-------|-------|--------------|
| | | Pronunciada | Alta | Media | Suave | Despreciable |
| | | >50% | >20% | >5% | >1% | <1% |
| Cultivos | Impermeable | 0.70 | 0.65 | 0.60 | 0.55 | 0.50 |
| | semipermeable | 0.60 | 0.45 | 0.50 | 0.45 | 0.40 |
| | permeable | 0.40 | 0.35 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |
| Pastos, vegetación ligera | Impermeable | 0.65 | 0.60 | 0.55 | 0.50 | 0.45 |
| | semipermeable | 0.55 | 0.50 | 0.45 | 0.40 | 0.35 |
| | permeable | 0.35 | 0.30 | 0.25 | 0.20 | 0.15 |
| Hierba, Grama | Impermeable | 0.60 | 0.55 | 0.50 | 0.45 | 0.40 |
| | semipermeable | 0.50 | 0.45 | 0.40 | 0.35 | 0.30 |
| | permeable | 0.30 | 0.25 | 0.20 | 0.15 | 0.10 |

Método de transposición de caudales

Este método permite, a partir de la información de área, precipitación y caudal conocido de una cuenca hidrográfica, determinar el caudal de otra cuenca con similares características (Duitama et al., 2015). Para la aplicación del método se parte de información de microcuencas hidrográficas con características conocidas que se encuentren dentro de



la misma cuenca hidrográfica que las cuencas de aporte delimitadas (área mayor a 10 km²). Debido a la falta de información pluviométrica en las cuencas de aporte delimitadas, la determinación de caudales se hace bajo la hipótesis de que, tanto en la cuenca con información como en la cuenca sin información, la precipitación es la misma.

$$Q_s = \left(\frac{A_s}{A_c}\right) \cdot Q_c \quad \text{Ec. 3.10}$$

Donde:

As: Área de la cuenca sin información (km²)

Ac: Área de la cuenca con información (km²)

Qc: Caudal de la cuenca con información (m³/s)

3.4.3. Clasificación de las cuencas de aporte según la zona agroecológica

A partir de la publicación de Dercon et al., (1998), se identifican las diferentes zonas agroecológicas a las que pertenecen las cuencas de aporte delimitadas, brindando una descripción del comportamiento hidrológico de cada zona, el tipo de suelo predominante, el uso de suelo típico y el potencial agrícola de cada zona en base a las variables climáticas y de tipo de suelo descritas.

3.5. Determinación de los principales factores que influyen en la capacidad de cosecha hídrica de las cuencas hidrográficas

Mediante revisión bibliográfica de casos de estudio en zonas de páramo, se realiza un análisis de los parámetros tanto morfológicos como biofísicos estudiados en esta investigación, para determinar aquellos que influyen en la capacidad de cosecha hídrica de las cuencas hidrográficas en general. Enlistando cada uno de ellos y describiendo su influencia directa dentro de la regulación de caudales.

Bajo la hipótesis de que el régimen de precipitaciones no es susceptible de cambio, se considera que los parámetros que mayor influencia tienen en la capacidad de cosecha hídrica están asociados a actividades humanas como la agricultura y ganadería. Esto debido a que, para que exista una variación considerable en los parámetros morfológicos, las cuencas deben estar sujetas a fenómenos en los que se produzcan grandes movimientos o desplazamientos de masas de tierra.

3.6. Alternativas de manejo integral de cuencas

Para la elaboración de alternativas de gestión de integral del recurso hídrico en las cuencas de captación de los cantones de la Mancomunidad Cañari se recomiendan acciones encaminadas a mejorar las características anteriormente identificadas como susceptibles de cambio, estableciendo principalmente medidas que permitan la recuperación o conservación de la vegetación nativa con la correspondiente justificación, objetivos y resultados esperados.

En base al estudio entre pendientes y uso de suelo actual de las cuencas de aporte en las que se desarrollen actividades productivas, se propone mantener el uso de suelo actual o la reforestación con especies que permitan el aprovechamiento del recurso hídrico. Para ello, se considera que zonas con pendientes hasta el 40% todavía son óptimas para el desarrollo de algún tipo de cultivo. Además, al comparar las pendientes con el tipo de suelo, de las cuencas antes expuestas, se definen tres tipos de zonas, como adaptación al estudio presentado por (Algeet, 2008) (ver Tabla 3.5).

Tabla 3. 5 Potencial agrícola según pendiente y tipo de suelo.

| Pendiente (%) | Clases edafológicas de suelos | | |
|---------------|-------------------------------|------------|-----------|
| | Inceptisoles | Histosoles | Entisoles |
| <12 | A1 | A3 | A1 |
| 12<P<25 | A2 | A1 | A2 |
| 25<P<40 | A2 | A2 | A2 |
| 40<P<70 | A3 | A3 | A3 |
| >70 | A3 | A3 | A3 |

Donde:

A1: Son suelos agrícolas con una gran profundidad, en los que se puede cultivar simplemente con la aplicación de buenas prácticas de labranza, medidas de conservación de suelos y control de riego, ya que son suelos con una gran aptitud agrícola.

A2: Suelos agrícolas que requieren prácticas de conservación de suelos.

A3: Suelos no productivos, que requieren la aplicación de medidas para su conservación, ya que están conformados por aportes fluviales y al no estar consolidados, son susceptibles de erosión. En este tipo de zonas es recomendable mantener la vegetación nativa o la siembra de bosques protectores con *Polylepis*.



Capítulo 4: Resultados y Discusión

4.1. Estado actual de las captaciones y plantas de tratamiento de agua potable

4.1.1. Cantón Cañar

Captaciones

En el cantón Cañar, las fuentes que abastecen al sistema de agua potable están ubicadas en las microcuencas del Río Chacapata o Patococha y de la Quebrada Shan Shan que forman parte de la cuenca alta del Río Cañar. Según el Plan Maestro de Agua Potable del cantón del año 2010, existen trece captaciones de fuentes superficiales, cuatro de afloramientos y una de embalse, considerando que el aprovechamiento de las fuentes de agua se realiza a través de un conjunto de estructuras e instalaciones cuyo objetivo es captar, recolectar, medir y encauzar el flujo hacia la línea de conducción.

Por el recurso tiempo en la visita se inspeccionó únicamente una captación principal que aporta un caudal de 15 l.s^{-1} , ubicada en el sector de Patococha en las coordenadas X: 718580.04; Y: 9710277.04, a una altura de 3805 m.s.n.m. y una captación de 5 l.s^{-1} de aporte, ubicada en el mismo sector, en las coordenadas X: 719238.97; Y: 9709796.01 a una altura de 3771 m.s.n.m. La información correspondiente a las demás captaciones fue obtenida del Plan Maestro de Agua Potable del año 2010.

Las captaciones del cantón Cañar constituyen estructuras de hormigón armado que fueron construidas en los años 80. Antes de cada estructura se encuentra un muro de hormigón ciclópeo con un agujero por el cual ingresa el agua desde el riachuelo (ver Figura 4.1 a) y después de este existe un canal de tierra que funciona como un desarenador (ver Figura 4.1 b). Al pie de la estructura de hormigón se encuentra una pared formada por piedras planas y delgadas dispuestas unas sobre otras, las cuales cumplen la función de pre filtros por donde ingresa el agua. Dentro de la estructura existen unos tanques (ver Figura 4.1 c) en los cuales se recolecta el agua que pasa por los pre filtros, posterior a ello, el agua pasa por un vertedero triangular (ver Figura 4.1 d) de cresta delgada al tanque de carga desde donde el agua ingresa a la tubería de conducción, para ser llevada hasta la planta de tratamiento. En la Tabla 4.1 se presenta el detalle de la ubicación de las obras de toma.

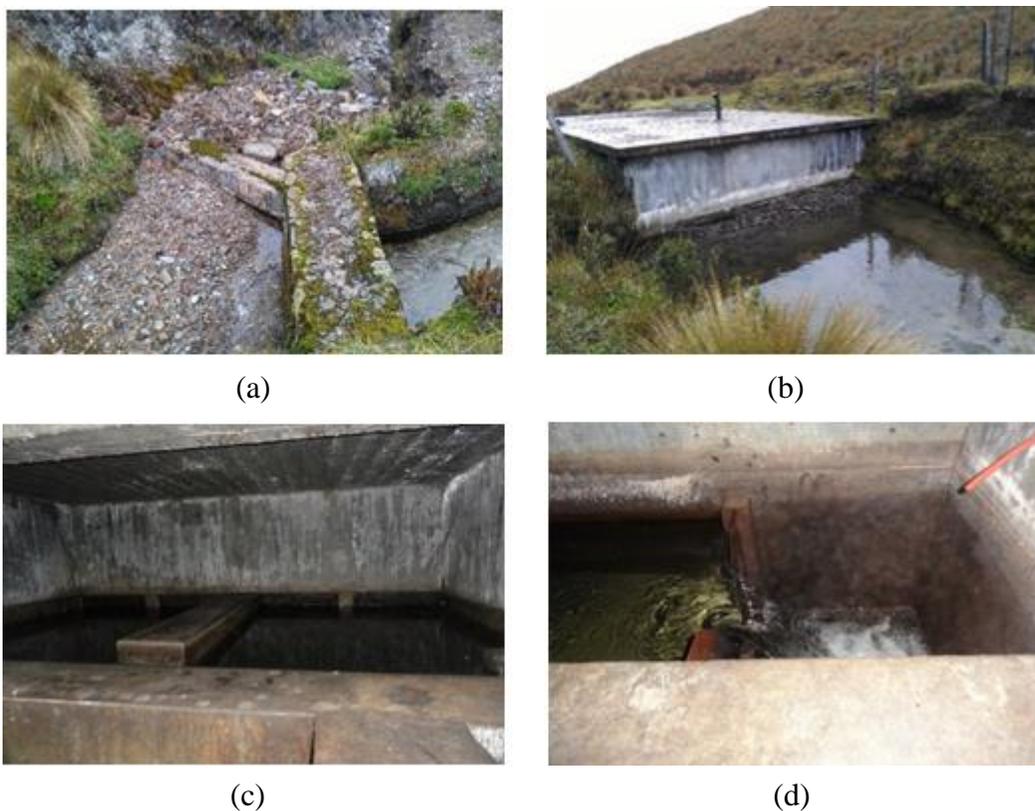


Figura 4. 1 Estructura de captación estándar del cantón Cañar.

(a) Muro de hormigón ciclópeo, (b) Estructura de hormigón,
(c) Tanque de retención, (d) Vertedero triangular.

Tabla 4. 1 Captaciones del cantón Cañar.

| Ubicación | Cantidad | Observaciones |
|---------------------|------------|--|
| Sector Juidán | 7 unidades | 1 fuera de servicio 3 para época de estiaje |
| Sector Tiojicharina | 3 unidades | |
| Sector Ayaloma | 2 unidades | |
| Patococha | 2 unidades | Embalse artificial 1 fuera de servicio |
| Sector El Estero | 2 unidades | |
| Sector Tinajeras | 1 unidad | |
| Sector Jirincay | 1 unidad | Toma del canal de riego Fuera de servicio |

Reservorio

Para cubrir la demanda de agua potable en los meses de estiaje existe un reservorio en la parte alta del sector Patococha (ver Figura 4.2) en las coordenadas X:721134.95 E; Y: 9709392.97 S. Este reservorio cuenta con una capacidad de 280000 m³, que a criterio del director del Departamento de Agua Potable y Alcantarillado del cantón Cañar en base a experiencia de años anteriores cubre la demanda de la población durante los tres meses de estiaje. Disponiéndose de un caudal de 37.90 l.s⁻¹ constante durante 3 meses o 28.44 l.s⁻¹ durante 4 meses.



Figura 4. 2 Reservorio de Patococha.

Planta de tratamiento de agua potable

La planta de tratamiento de agua potable del cantón Cañar, está ubicada en la parroquia Chorocopte ubicada a 10 minutos del centro de la ciudad de Cañar, esta planta es de tipo convencional la cual procesa un caudal de 30 l.s⁻¹. la planta se encuentra recientemente repotenciada, por lo que se encuentra funcionando en óptimas condiciones.

Para el control de calidad tanto del agua cruda como del agua procesada, el sistema cuenta con un laboratorio con equipamiento básico (ver Figura 4.3), en el que se analizan muestras tomadas diariamente en la entrada y salida de la planta, determinándose las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua. Asimismo, para la determinación del cloro residual presente en el agua se toman muestras en la planta luego del tratamiento y en la red de distribución en un punto alejado del sistema.

El tanque de almacenamiento del sistema se encuentra contiguo a la planta de tratamiento (ver Figura 4.4), tiene una capacidad de 600 m³ y garantiza el servicio 24 horas al día al 100% de la población de la ciudad de Cañar.



Figura 4. 3 Equipos disponibles en el laboratorio.



Figura 4. 4 Tanque de almacenamiento de 600 m³ de capacidad.

4.1.2. Cantón Biblián

Captación

El Río Cachi representa la principal fuente de captación del cantón Biblián con un aporte de 30 l.s⁻¹ al sistema de tratamiento de agua potable del cantón. El sistema denominado Cachi, está constituido por una captación de rejilla de fondo y un desripador, construidos en el año 2012 (ver Figura 4.5). El proyecto se encuentra emplazado en las coordenadas X:726909.95 E, Y:9705497 S a una altura de 3065 m.s.n.m., a partir del cual el agua es conducida a la planta de tratamiento de Cuitún ubicada a aproximadamente 11 km.

Actualmente la estructura se encuentra funcional, el agua ingresa a través de la rejilla de fondo, la cual impide el paso de gravas y material orgánico como ramas (ver Figura 4.6). Esta rejilla de fondo recibe mantenimiento con una periodicidad aproximada de dos veces por mes, con el propósito de retirar el material sedimentado sobre la rejilla que reduce el caudal de ingreso. Posteriormente, el agua es conducida a través del canal recolector, a partir del cual se toma un

caudal para ser conducido al desarenador ubicado a 28 m del sitio de captación, mientras que el exceso es devuelto al río.



Figura 4. 5 Captación de rejilla de fondo.



Figura 4. 6 Rejilla de fondo.

Se evidencia que el tanque desarenador se encuentra rebosando (ver Figura 4.7), al máximo de su capacidad, lo que sugiere que el caudal de ingreso al mismo es superior a su capacidad de tratamiento. Por lo que se puede establecer que muy probablemente esta estructura no esté cumpliendo con la finalidad para la cual fue diseñada. La turbulencia visible tanto en la cámara de sedimentación como en el vertedero de salida del desarenador indican que las velocidades de flujo estarían por encima de los valores requeridos para una correcta sedimentación del material. Adicionalmente, en las inmediaciones del tanque existe actividad ganadera (ver Figura 4.8), que podría resultar en un problema de contaminación por coliformes debido a que el desarenador se encuentra a nivel de superficie y no hay ninguna estructura que impida el ingreso de agua por escorrentía, así como también el contacto directo con el agua que ingresa y sale de dicha estructura.



Figura 4. 7 Desarenador del Sistema Cachi.



Figura 4. 8 Presencia de ganado cerca del desarenador.

Planta de tratamiento de agua potable

La planta de tratamiento se encuentra ubicada en la zona denominada Cuitún y es abastecida únicamente por el sistema Cachi. Se trata de dos unidades compactas capaces de tratar en conjunto un caudal de 20 l.s^{-1} que se encuentran en óptimas condiciones (ver Figura 4.9) y una planta de tratamiento convencional que procesa 10 l.s^{-1} (ver Figura 4.10), que se encuentra en un 40% de operatividad con claros problemas de deterioro en los paneles del floculador, los cuales son de madera y deben ser reemplazados por un material más duradero. Además, las unidades de filtración rápida se encuentran fuera de uso, a causa de la falta de mantenimiento.

Adicionalmente, dentro de las instalaciones se ubican tres tanques reservorios de 277, 201 y 17 m^3 (ver Figura 4.11) de capacidad respectivamente, que garantizan el servicio continuo para alrededor del 73% de los usuarios, concentrados en la cabecera cantonal y en las parroquias de Nazón y Sageo. Mientras que el resto de la población es abastecida por agua captada de otras fuentes y que no recibe ningún tipo de tratamiento.

El control de calidad de agua tanto cruda como potable se realiza diariamente en el laboratorio ubicado en las instalaciones de la planta de tratamiento (ver Figura 4.12), que cuenta con equipamiento básico para controles de características físicas, químicas y bacteriológicas del agua.



Figura 4. 9 Módulo A, planta de tratamiento compacta.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4. 10 Planta de tratamiento convencional.

(a) Ingreso agua, (b) Canal floculador, (c) Sedimentador, (d) Salida a filtros.



Figura 4. 11 Tanque de almacenamiento de 277 m³ de capacidad.



Figura 4. 12 Equipos disponibles en el laboratorio.

4.1.3. Cantón El Tambo

Captación

La única fuente de captación del cantón El Tambo es el Río San Antonio, el cual nace de la laguna Culebrillas, que forma parte del Parque Nacional Sangay, dentro del territorio del cantón Cañar. La estructura de captación se encuentra ubicada en las coordenadas X: 736640.96 E, Y:9731353 S a una altura de 3805 m.s.n.m. (ver Figura 4.13), a partir de la cual el agua es conducida a un sistema de pre filtro a aproximadamente 350 m aguas abajo de la captación, para su posterior conducción a la planta de tratamiento ubicada a 10.9 km de distancia.

El sistema de captación, construido en el año 2017, es una estructura que permite un pequeño embalse del río, mediante compuertas de madera, las cuales están pensadas para que colapsen en las épocas de crecidas a lo largo del año, permitiendo el flujo libre del río, sin causar daños en la estructura de captación. A partir de este embalse, el agua es conducida a un sistema de pre filtro.

Se ha identificado la presencia de ganado vacuno en las inmediaciones de la captación (ver Figura 4.14), lo que genera degradación de la cuenca, reduciendo la capacidad de almacenamiento del páramo, ya que la estructura del suelo se ve alterada por compactación. De igual forma, la presencia de ganado ocasiona la contaminación por coliformes.



Figura 4.13 Captación del Río San Antonio.



Figura 4.14 Presencia de ganado cerca del lugar de captación.

Actualmente, existe un plan de rehabilitación de meandros aguas arriba de la captación, los cuales han sido intervenidos en su curso, con el fin de reducir la longitud del recorrido del agua. Esta intervención, ha provocado que exista un mayor arrastre de sedimentos en perjuicio de la calidad de agua captada, lo que ha ocasionado que el sistema de pre filtros se colmate con mayor frecuencia, por lo que este sistema de pre filtro ya ha cumplido su vida útil y requiere el reemplazo del material filtrante.

Planta de tratamiento de agua potable

Se trata de un sistema de tratamiento de agua potable compuesto por dos plantas de tratamiento, una planta compacta (ver Figura 4.15) de $9 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ de capacidad, que se encuentra funcionando eficientemente con un proceso de desinfección mediante hipoclorito de calcio (HTH) y una planta convencional (ver Figura 4.16), la cual presenta graves deficiencias que se detallan a continuación:



Figura 4. 15 Planta de tratamiento compacta.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4. 16 Planta de tratamiento convencional.

(a) Ingreso agua, (b) Canal floculador, (c) Sedimentador, (d) Filtro rápido.

Esta planta de tratamiento convencional construida en 2007, presenta procesos de tratamiento ineficientes, ya que tiene una capacidad de 15 l.s^{-1} , pero en la actualidad procesa 17 l.s^{-1} , es decir es una estructura sobre utilizada. De igual forma, presenta malas condiciones en el canal floculador, con paneles de madera destruidos, por lo que se requiere el uso de sulfatos y polímeros para la formación de flóculos, mediante una dosificación manual. También los tableros de los sedimentadores se encuentran obsoletos, así como los cuatro filtros rápidos, que requieren ya el reemplazo del material filtrante y el empleo de antracita. Es así, que el agua cruda, ingresa a la planta de tratamiento y no recibe mayor proceso de mejoramiento físico. Además, el proceso de desinfección se realiza mediante cloro gas. Para una rehabilitación a un estado eficiente de la planta, se deberán realizar los mantenimientos respectivos respecto a los problemas antes mencionados.

El control de calidad de agua tanto cruda como potable se realiza diariamente en el laboratorio ubicado en las instalaciones de la planta de tratamiento (ver Figura 4.17), que cuenta con equipamiento básico para controles de características físicas, químicas y bacteriológicas del agua. Cabe recalcar que, según los técnicos encargados de la planta de tratamiento, a pesar de las deficiencias del sistema de tratamiento según resultados obtenidos en laboratorio, el agua cumple con los estándares regidos en la normativa INEN.

El sistema consta también de dos tanques de reserva, de 100 y 300 m^3 de capacidad (ver Figura 4.18), respectivamente, que permiten tener un servicio continuo y a partir de los cuales se distribuye a través de las redes de agua potable del cantón.



Figura 4. 17 Equipos disponibles en el laboratorio.



Figura 4. 18 Tanque de almacenamiento de 300 m³ de capacidad.

4.1.4. Cantón Suscal

Captaciones

A causa de la poca disponibilidad de tiempo del técnico a cargo del sistema de agua potable del cantón, en la visita se realizó únicamente un registro fotográfico de la planta de tratamiento y de los alrededores de las captaciones.

De acuerdo al Plan Maestro de Agua Potable del cantón Suscal del año 2015 el cantón se abastece de dos fuentes subterráneas, las cuales se encuentran en terrenos particulares. La captación 1 se encuentra en las coordenadas X: 718945 E, Y:973164 S a una altura de 3016.9 m.s.n.m. (ver Figura 4.19). El agua que surge de una vertiente es captada mediante una pantalla y material granular desde dónde es conducida hasta un tanque de carga (ver Figura 4.20). Mientras que, en la captación 2 ubicada en las coordenadas X:718830 E, Y: 9730935 S a una altura de 2978.1 m.s.n.m. (ver Figura 4.21) el agua de las vertientes es captada mediante un sistema de drenaje constituido por tuberías que conducen el agua hasta un tanque de carga (ver Figura 4.22).



Figura 4. 19 Captación 1 (GAD Suscal, 2015).



Figura 4. 20 Tanque de carga de la captación 1 (GAD Suscal, 2015).



Figura 4. 21 Captación 2 (GAD Suscal, 2015).



Figura 4. 22 Tanque de carga captación 2 (GAD Suscal, 2015).

Planta de tratamiento de agua potable

De acuerdo al Ing. Remigio Ojeda Director de Obras Públicas del cantón Suscal, al tratarse de fuentes subterráneas el agua presenta buenas características físicas, haciendo que para el tratamiento únicamente se requiera un proceso de desinfección, mediante cloro gas (ver Figura 4.23). Por lo que en la planta de tratamiento municipal se evidencia únicamente la presencia de una caseta de cloración, así como un tanque de reserva rectangular de 450 m³ de capacidad (ver Figura 4.24).



Figura 4. 23 Tanque de cloración.



Figura 4. 24 Tanque de 450 m³ de capacidad.



Figura 4. 25 Presencia de ganado vacuno en los alrededores de la captación.



Es importante recalcar que no se dispone de un laboratorio físico, químico y bacteriológico, por lo que el análisis de calidad de agua es realizado en el laboratorio del cantón El Tambo y con muestras se toman una vez por semana.

En las inmediaciones de las zonas de captación se evidencia actividad agrícola y ganadera que podría representar un problema de contaminación en las zonas de captación (ver Figura 4.25). El control de estas actividades se ve dificultado porque las fuentes están ubicadas en terrenos de personas particulares.

4.2. Caracterización Morfológica

4.2.1. Cantón Cañar

Para la delimitación de las cuencas de aporte del cantón Cañar, se seleccionaron cinco captaciones ubicadas dentro de la cuenca del Río Chacapata (ver Figura 4.27). En dónde se encontró que dos captaciones pertenecen a una misma cuenca de aporte. Las cuatro cuencas delimitadas presentan una forma alargada, de acuerdo a los valores de factor de forma presentados en la Tabla 4.2. Por otro lado, sus coeficientes de compacidad representan dos rangos diferentes, las cuencas 1, 2 y 3 tienen una forma oval oblonga, a diferencia de la cuenca 4 que tiene una forma casi redonda.

Las cuencas 1,2,4 presentan mejores características de drenaje que la cuenca 3, ya que esta posee una densidad de drenaje moderada. A pesar de que las cuencas 3 y 4 poseen áreas similares, el coeficiente de compacidad refleja dos formas diferentes, por lo que a pesar de que la cuenca 3 posee una densidad de drenaje menor, presenta un tiempo de concentración menor al de la cuenca 4. Mientras que en las cuencas 1 y 2 que poseen una forma semejante, la cuenca 2 con una mayor densidad de drenaje presenta un tiempo de concentración menor al de la cuenca 1, ya que una densidad de drenaje menor, representa una respuesta hidrológica también menor.

Además de las características antes mencionadas, estas cuencas se presenta una similitud en sus altitudes, ya que se encuentran dentro de la misma zona de estudio. Estas alturas corresponden a un rango comprendido entre las cotas 3804.2 y 4268.5 m.s.n.m. Sin embargo, la pendiente promedio de cada cuenca es diferente, por lo que desde el punto de vista del relieve estas cuencas son diferentes. La cuenca de aporte 1 posee una pendiente media del 56%, la cuenca 2 42%, la cuenca 3 36% y la cuenca 4 45%.

Si bien es cierto que las cuatro curvas hipsométricas presentadas en la Figura 4.26 se asemejan a las curvas de una cuenca hidrográfica estable en fase de madurez, esta característica es más marcada en las cuencas 1 y 4, mientras que las curvas hipsométricas de las cuencas 2 y 4 reflejan cuencas que se encuentran próximas a la fase de vejez.

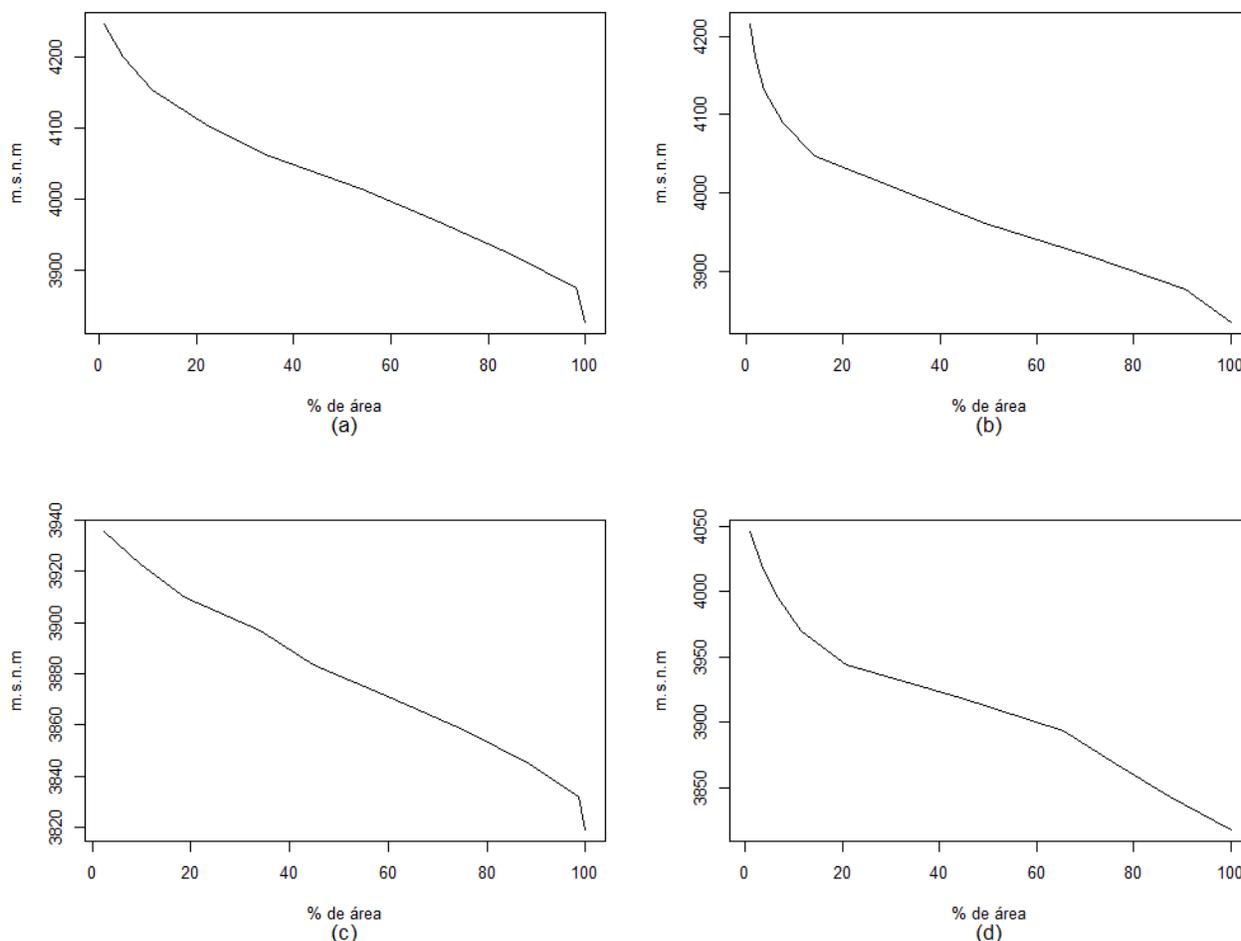


Figura 4. 26 Curvas hipsométricas de las cuencas de aporte de Cañar.

(a) cuenca 1, (b) cuenca 2, (c) cuenca 3, (d) cuenca 4

Tabla 4. 2 Resumen de los parámetros morfológicos de las cuencas de aporte de las captaciones del cantón Cañar.

| | | Cañar | | | |
|------------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | Cuenca 1 | Cuenca 2 | Cuenca 3 | Cuenca 4 |
| Parámetros de Forma | Área (Km ²) | 1.06 | 0.72 | 0.11 | 0.13 |
| | Factor de Forma | 0.34 | 0.32 | 0.38 | 0.19 |
| | Coefficiente de Compacidad | 1.40 | 1.35 | 1.32 | 1.21 |
| Parámetros de Relieve | Cota Máxima | 4268.5 | 4236.2 | 3941.9 | 4058.5 |
| | Cota Mínima | 3804.2 | 3813.7 | 3812.6 | 3805 |
| | Altitud media | 4005.1 | 3949.2 | 3875.1 | 3898.1 |
| | Mediana de la altitud (m.s.n.m.) | 4030 | 3983.7 | 3880.8 | 3915.4 |
| | Pendiente media de la cuenca (%) | 56 | 42 | 36 | 45 |
| Red | Densidad de Drenaje (km/km ²) | 4.54 | 4.74 | 2.41 | 5.56 |
| Hidrográfica | Tiempo de concentración (min) | 10.6 | 9.0 | 4.4* | 5.5 |

*Tiempo de concentración mínimo 5 min (Método Racional)

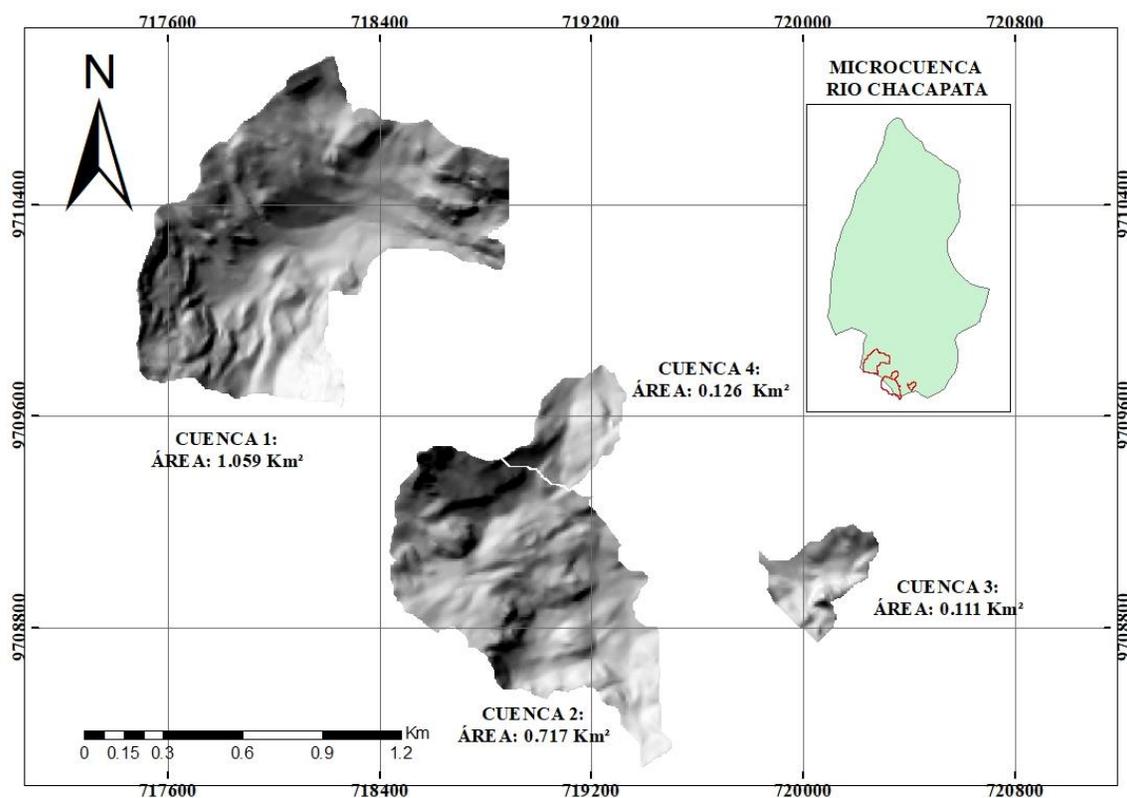


Figura 4. 27 Cuencas de aporte de las captaciones del cantón Cañar.

4.2.2. Cantón Biblián

La cuenca de captación del cantón Biblián tiene un área de 21.451 km² (ver Figura 4.29). Se ubica en altitudes comprendidas entre 3065 y 4100.8 m.s.n.m. y posee una altitud media de 3620.3 m.s.n.m. con una pendiente media del 41% (ver Tabla 4.3). Esta cuenca tiene un factor de forma de 1.18 que indica una forma alargada y un coeficiente de compacidad de 1.45 que representa una forma oval oblonga y a causa de su gran extensión, presenta un tiempo de concentración de 64 minutos. Además, posee una densidad de drenaje de 0.92 que se traduce en una cuenca con una baja capacidad de drenaje. En la curva hipsométrica presentada en la Figura 4.28 se puede observar que se trata de una cuenca estable en fase de madurez.

Tabla 4. 3 Resumen de los parámetros morfológicos de la cuenca de aporte del Cantón Biblián.

| | | |
|------------------------------|---|--------|
| Parámetros de Forma | Área (Km ²) | 21.45 |
| | Factor de Forma | 0.18 |
| | Coeficiente de Compacidad | 1.45 |
| Parámetros de Relieve | Cota Máxima | 4100.8 |
| | Cota Mínima | 3065 |
| | Altitud media | 3620.3 |
| | Mediana de la altitud (m.s.n.m.) | 3647.6 |
| | Pendiente media de la cuenca (%) | 41 |
| Red | Densidad de Drenaje (km/km ²) | 0.92 |
| Hidrográfica | Tiempo de concentración (min) | 63.8 |

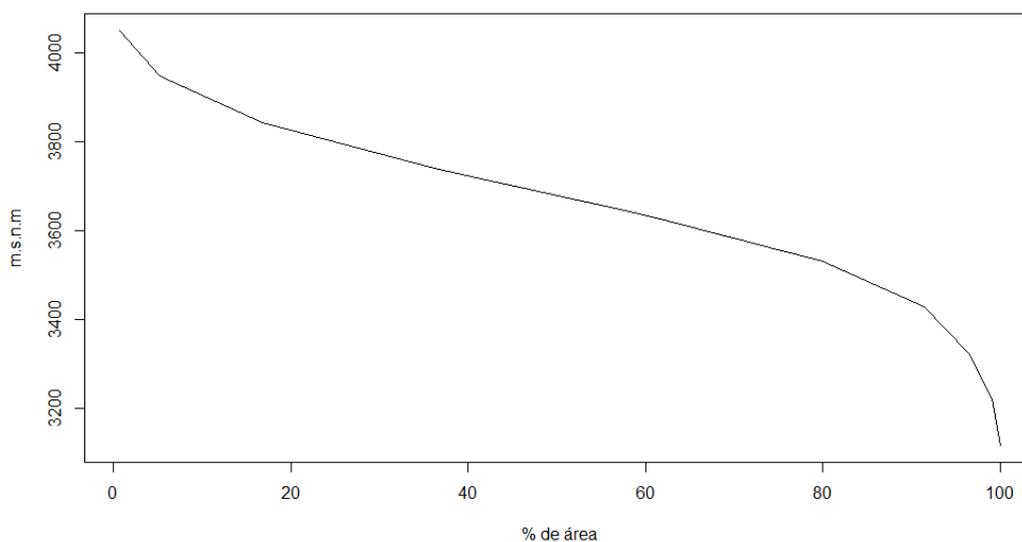


Figura 4. 28 Curva hipsométrica de la cuenca de aporte del cantón Biblián.

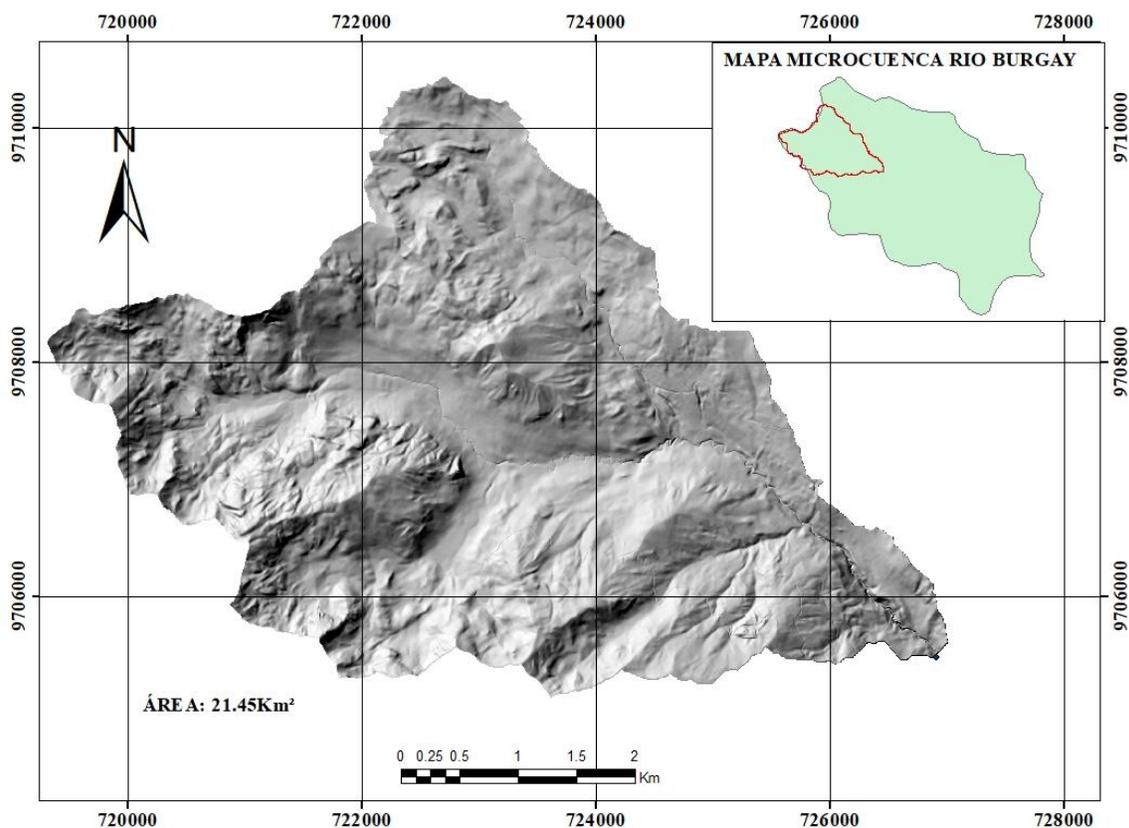


Figura 4. 29 Cuenca de aporte de la captación del cantón Biblián.

4.2.3. Cantón El Tambo

La cuenca del cantón El Tambo tiene un área de 38.52 Km² (ver Figura 4.31) y se encuentra ubicada en alturas entre 3805.1 y 4432.5 m.s.n.m. con una altitud media de 4087.2 m.s.n.m. y una pendiente media del 36% (ver Tala 4.4). Esta cuenca posee un factor de forma de 0.24, el cual indica una forma alargada y un coeficiente de compacidad de 1.43 que representa una forma oval oblonga. Además, se trata de una cuenca de mayor área que la cuenca del cantón Biblián, por lo que, a pesar de tener una densidad de drenaje similar, presenta un tiempo de concentración de 90 minutos. La curva hipsométrica de esta cuenca (ver Figura 4.30), indica que es una cuenca estable.

Tabla 4. 4 Resumen de los parámetros morfológicos de la cuenca de aporte del cantón El Tambo.

| | | |
|------------------------------|---|--------|
| Parámetros de Forma | Área (Km ²) | 38.53 |
| | Factor de Forma | 0.25 |
| | Coefficiente de Compacidad | 1.44 |
| Parámetros de Relieve | Cota Máxima | 4432.5 |
| | Cota Mínima | 3805.1 |
| | Altitud media | 4087.2 |
| | Mediana de la altitud (m.s.n.m.) | 4118.6 |
| | Pendiente media de la cuenca (%) | 36 |
| Red | Densidad de Drenaje (km/km ²) | 0.9 |
| Hidrográfica | Tiempo de concentración (min) | 90.0 |

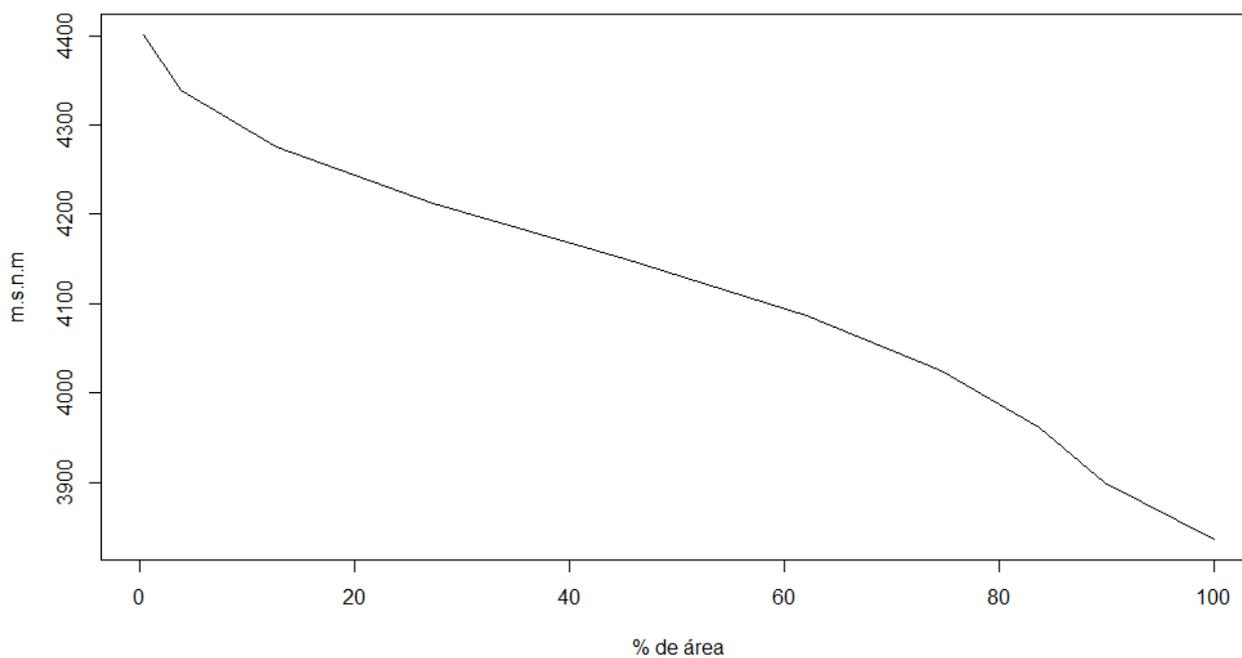


Figura 4. 30 Curva hipsométrica de la cuenca de aporte del cantón El Tambo.

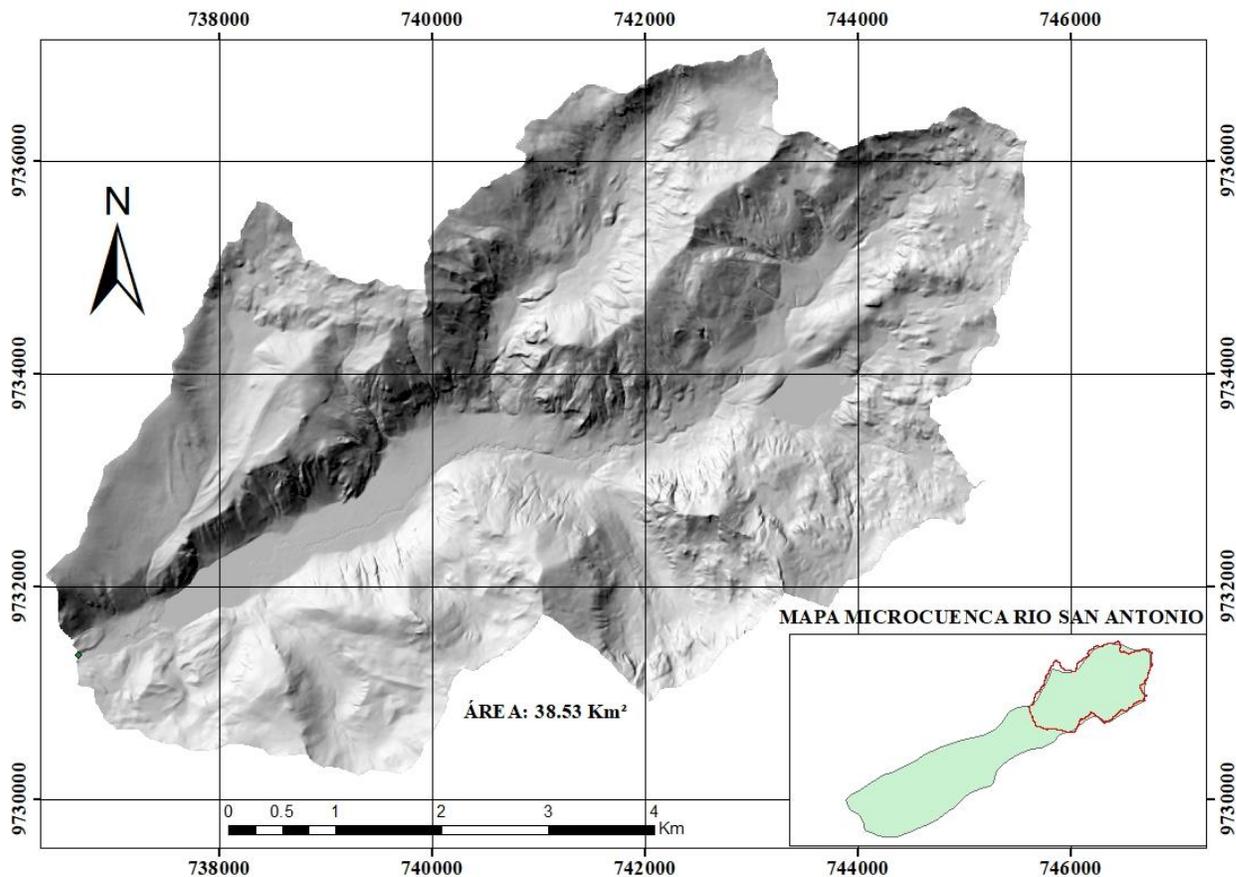


Figura 4. 31 Cuenca de aporte de la captación del cantón Biblián.

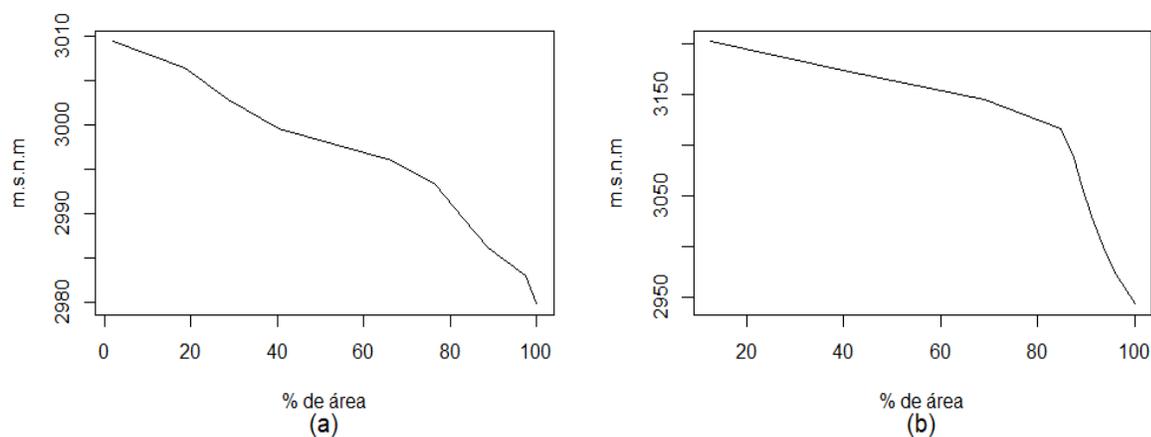
4.2.4. Cantón Suscal

El cantón Suscal tiene como fuentes de abastecimiento dos fuentes subterráneas, por lo que las características morfológicas no son representativas, ya que las cuencas no están delimitadas desde un punto sobre un curso de agua, sino que los puntos de delimitación son las ubicaciones de las vertientes subterráneas. Es así que tanto la forma como las curvas hipsométricas de estas cuencas no presentan una forma típica (ver Figuras 4.32 y 4.33). De igual forma, se evidencian incongruencias entre la correspondencia entre la densidad de drenaje y el tiempo de concentración, pues la cuenca 2 a pesar de tener una densidad de drenaje mucho más grande que la cuenca 1, tiene un tiempo de concentración mayor.

Las dos cuencas de aporte delimitadas se encuentran en el borde de la microcuenca del Río Capulí, por lo que la extensión de éstas es muy pequeña, en consecuencia, sus tiempos de concentración son bajos (ver Figura 4.33).

Tabla 4. 5 Resumen de los parámetros morfológicos de las cuencas de aporte del cantón Suscal.

| Suscal | | Cuenca 1 | Cuenca 2 |
|------------------------------|---|-----------------|-----------------|
| Parámetros de Forma | Área (Km ²) | 0.007 | 0.013 |
| | Factor de Forma | 0.214 | 0.039 |
| | Coeficiente de Compacidad | 1.35 | 2.77 |
| Parámetros de Relieve | Cota Máxima | 3011.7 | 3213.7 |
| | Cota Mínima | 2978.1 | 3117.4 |
| | Altitud media | 2996.4 | 3134.7 |
| | Mediana de la altitud (m.s.n.m.) | 2997.5 | 3142.6 |
| | Pendiente media de la cuenca (%) | 24 | 47 |
| Red | Densidad de Drenaje (km/km ²) | 5.85 | 28.38 |
| Hidrográfica | Tiempo de concentración (min) | 2.2 | 3.5 |


Figura 4. 32 Curvas hipsométricas de las cuencas de aporte del cantón Suscal.

(a) Cuenca 1, (b) Cuenca 2

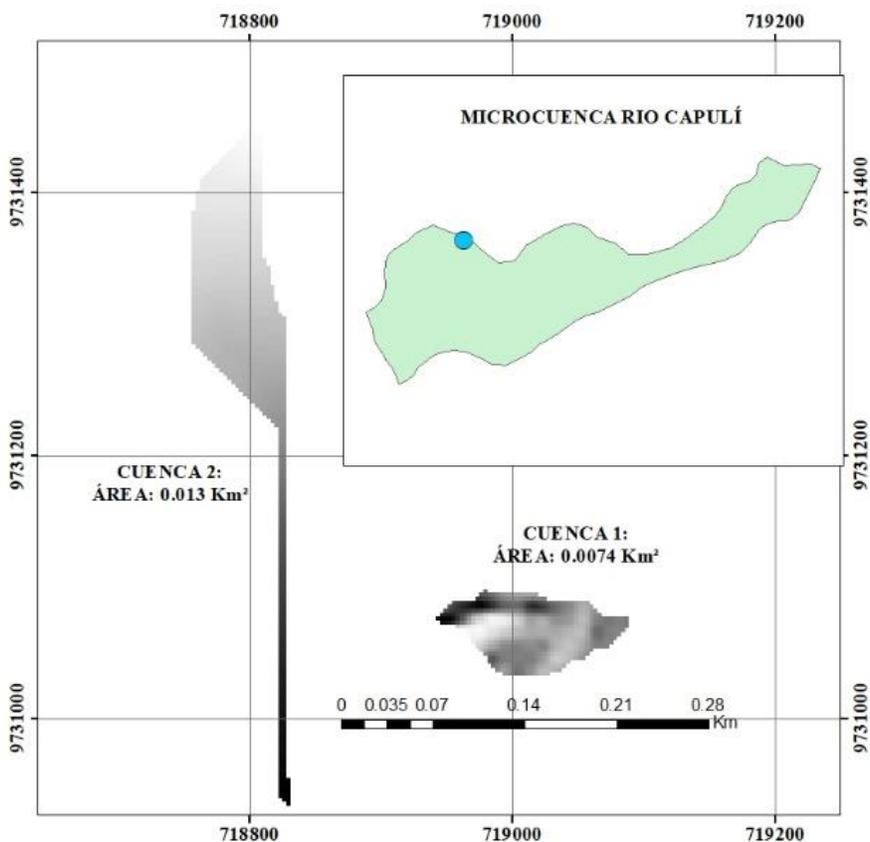


Figura 4. 33 Cuencas de aporte de las captaciones del cantón Suscal.

4.3. Caracterización Biofísica

4.3.1. Edafología

Tipos de suelo

Cantón Cañar

Las cuencas de aporte de las captaciones del cantón Cañar están compuestas por Inceptisoles y una combinación de éstos y Entisoles (ver Figura 4.34).

Cantón Biblián

La cuenca de aporte de la captación del cantón Biblián está compuesta por Inceptisoles y una combinación de éstos y Entisoles (ver Figura 4.35).

Cantón El Tambo

La cuenca de aporte de la captación del sistema de abastecimiento del cantón El Tambo está compuestas por Histosoles e Inceptisoles (ver Figura 4.36).

Cantón Suscal

Las cuencas de aporte de las captaciones del sistema de abastecimiento del cantón Suscal están compuestas por Histosoles e Inceptisoles (ver Figura 4.37).

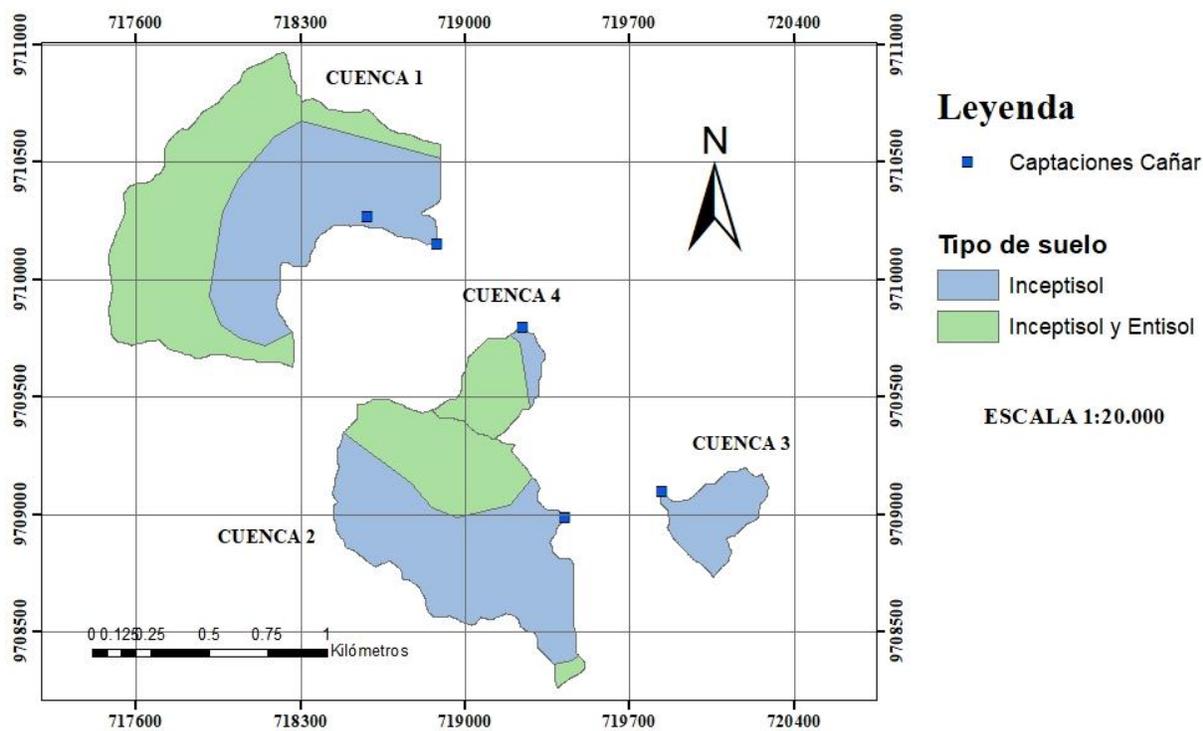


Figura 4. 34 Mapa de tipos de suelo de las cuencas de aporte de las captaciones de Cañar.

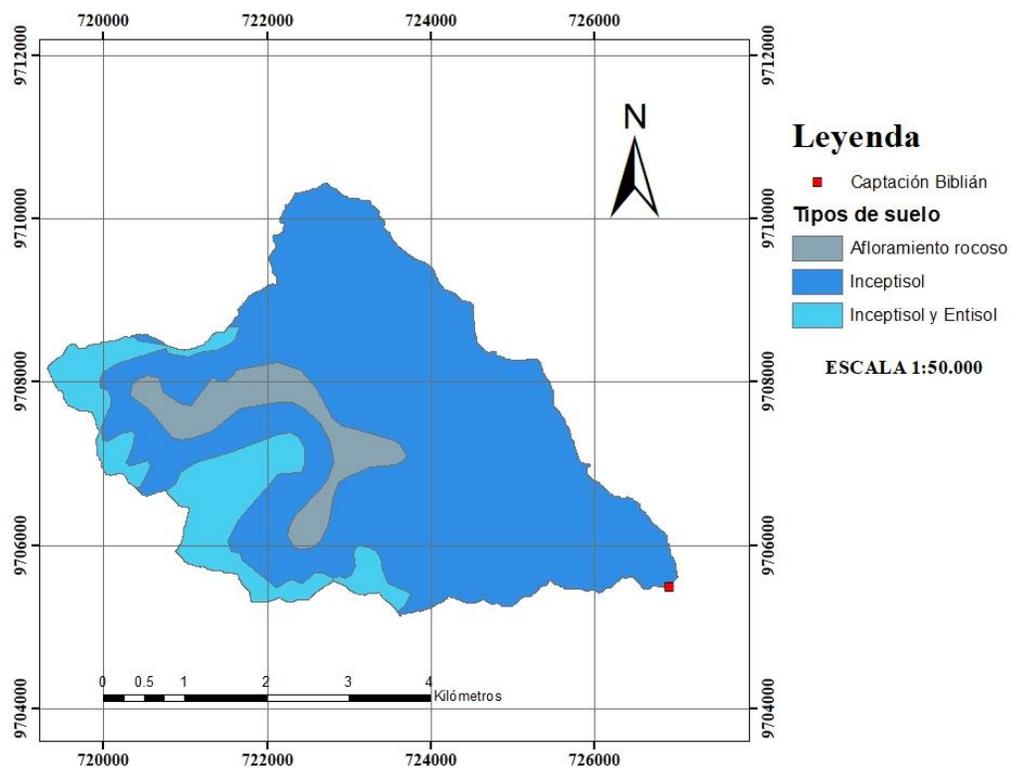


Figura 4. 35 Mapa de tipos de suelo de la cuenca de aporte de la captación de Biblián

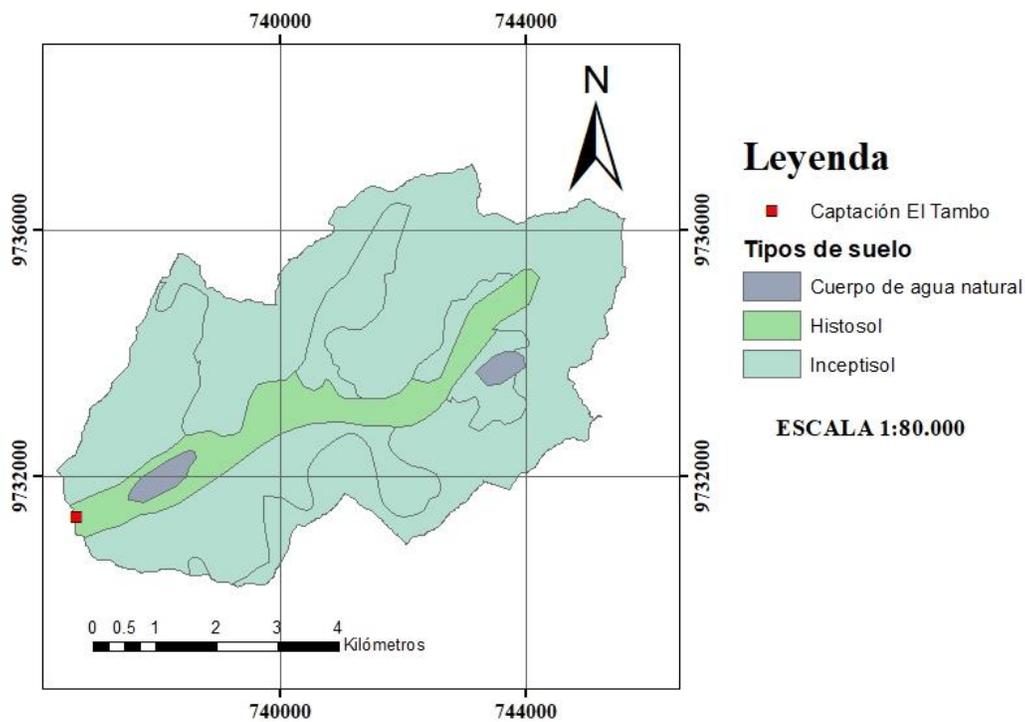


Figura 4. 36 Mapa de tipos de suelo de la cuenca de aporte de la captación de El Tambo.

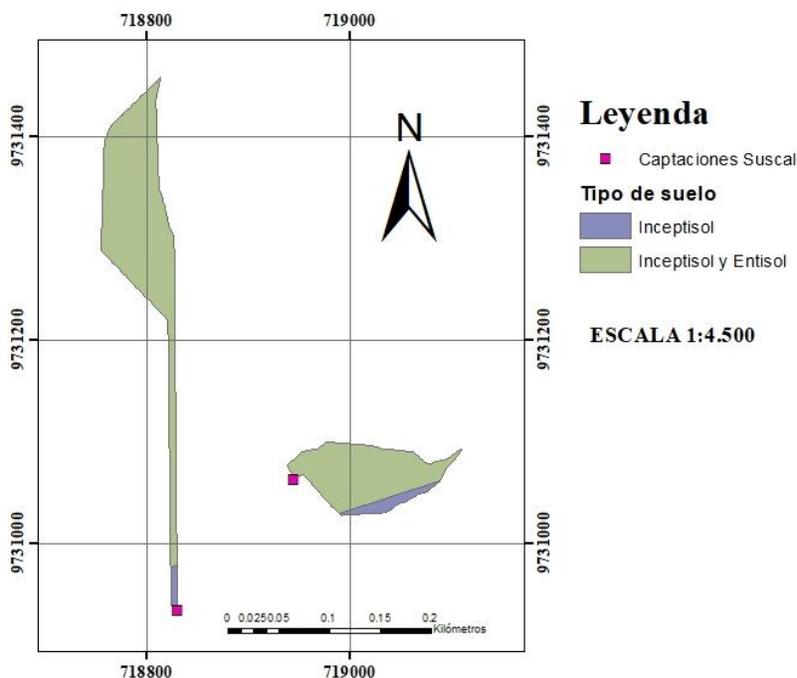


Figura 4. 37 Mapa de tipos de suelo de las cuencas de aporte de la captación de Suscal.

Pendientes de suelo

Cantón Cañar

En la cuenca 1 de estudio existe una mayor presencia de pendientes escarpadas y montañosas (41 y 26%, respectivamente), en rangos mayores al 40%. En la cuenca 2 existen en mayor proporción pendientes moderadamente onduladas (23%), colinadas (23%) y escarpadas (32%), en el rango de 25-70%. La cuenca 3 presenta pendientes moderadamente onduladas (32%) y de tipo colinado (24%) en el rango de 12-40, así como pendientes montañosas (24%). Mientras que la cuenca 4 consta en su mayoría de pendientes moderadamente onduladas (21%) en el rango de 12-25% y pendientes de tipo colinado (18%), escarpado (30%) y montañoso (22%) en rangos mayores a 25% (ver Figura 4.38).

Cantón Biblián

En la cuenca de aporte, se evidencia una mayor presencia de pendientes moderadamente onduladas (18%), colinadas (31%) y escarpadas (35%), en el rango de 12-70% y en menor proporción el resto del rango de pendientes (ver Figura 4.39).

Cantón El Tambo

En el área de estudio existe una mayor presencia de pendientes moderadamente onduladas (21%), colinadas (24%) y escarpadas (32%), en el rango de 12-70% (ver Figura 4.40).

Cantón Suscal

La cuenca de aporte 1 consta en su mayoría de pendientes suaves (21%), moderadamente onduladas (32%) y colinadas (27%), en el rango de 5-40%. Mientras que la cuenca 2 presenta principalmente pendientes colinadas (23%) y escarpadas (72%) en el rango de 25-70% (ver Figura 4.41).

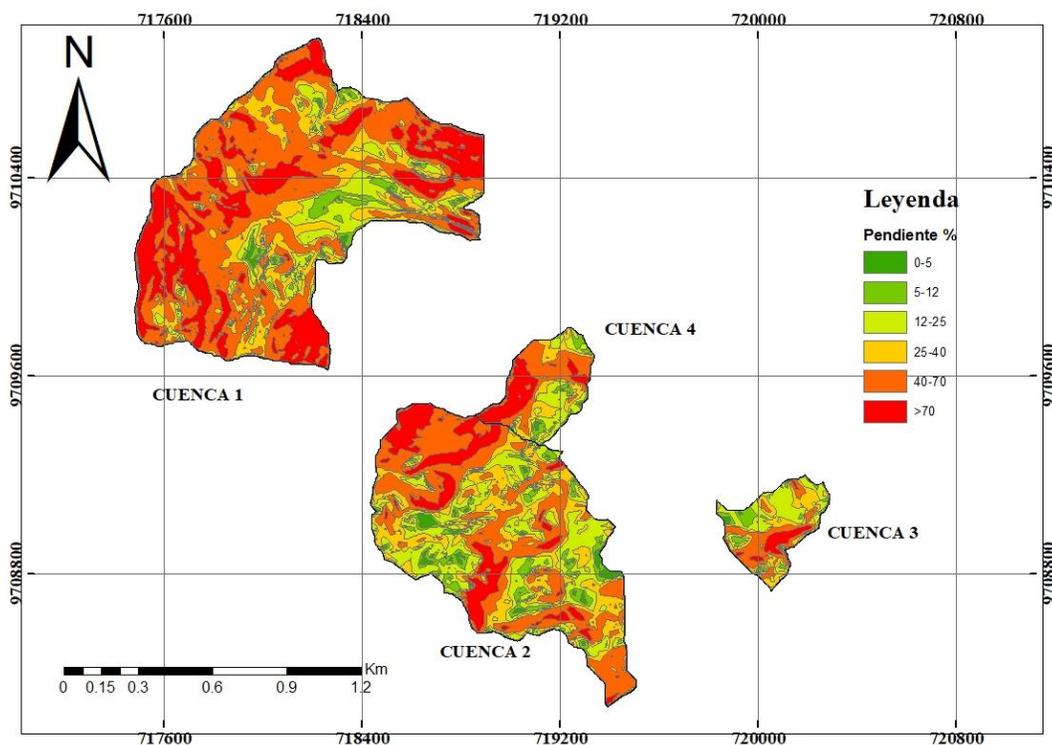


Figura 4. 38 Mapa de pendientes de las cuencas de aporte de las captaciones de Cañar.

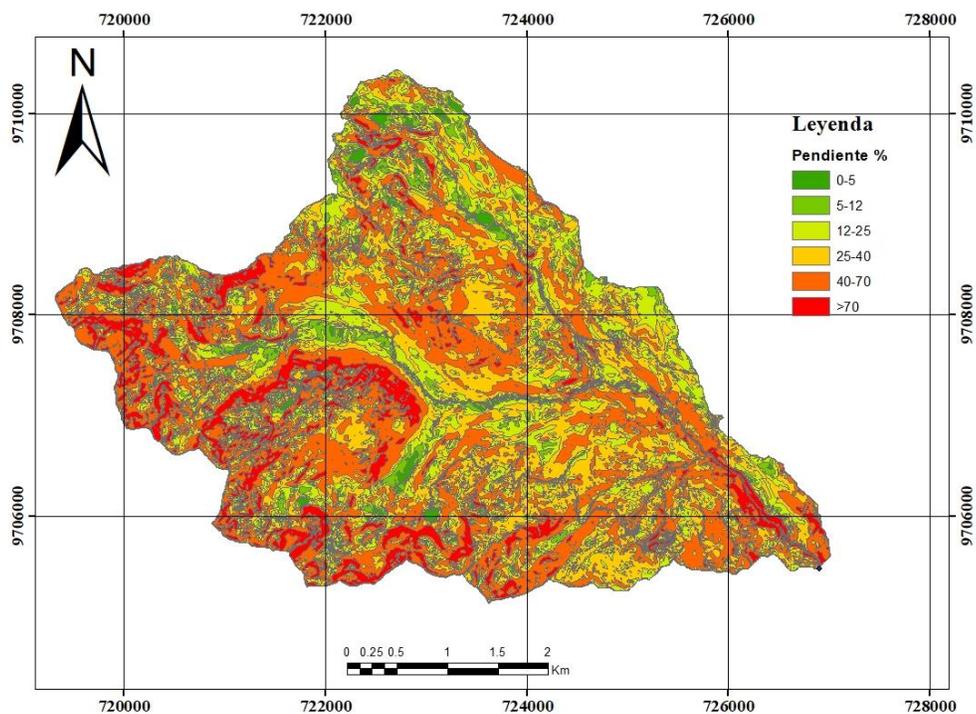


Figura 4. 39 Mapa de pendientes de la cuenca de aporte de la captación de Biblián.

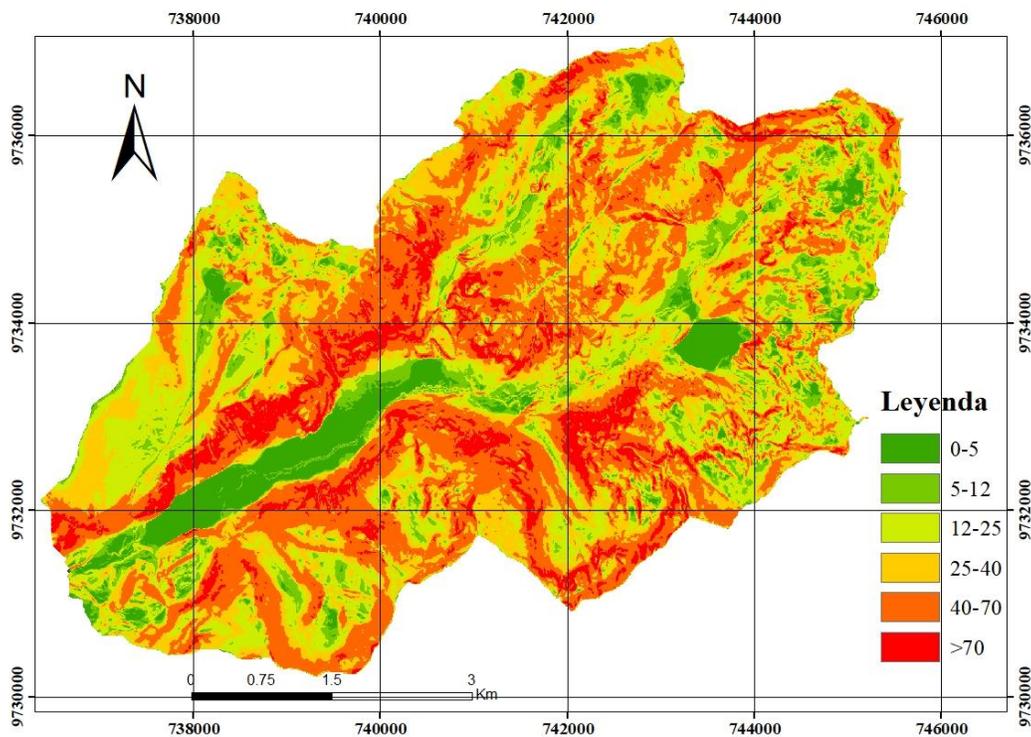


Figura 4. 40 Mapa de pendientes de la cuenca de aporte de la captación de El Tambo.

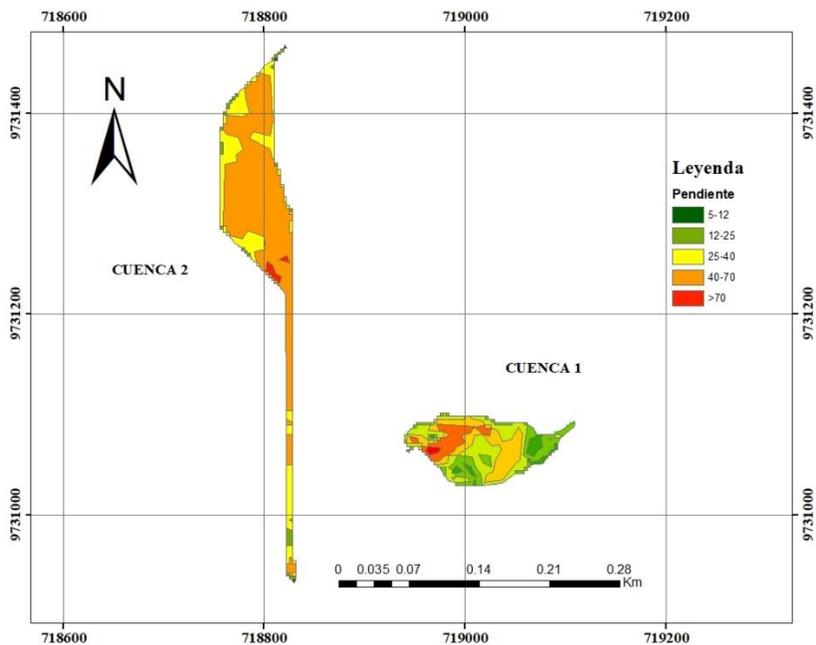


Figura 4. 41 Mapa de pendientes de las cuencas de aporte de la captación de Suscal.

Uso de suelo y cobertura vegetal

Cantón Cañar

De acuerdo al mapa presentado en el Anexo 2.5 la cuenca de aporte presenta una cobertura de páramo en toda su área.

Cantón Biblián

La cuenca de aporte delimitada posee en su mayoría una cobertura vegetal de páramo (93%) y si bien es cierto en menor medida zonas de pasto y cultivos de ciclo corto, éstos se ubican en las inmediaciones de la zona de captación (ver Figura 4.42).

Cantón El Tambo

La cuenca de aporte en su totalidad se encuentra cubierta por páramo (ver Anexo 2.7).

Cantón Suscal

De acuerdo al mapa presentado en el Anexo 2.8 las cuencas delimitadas poseen una cobertura compuesta por 70% vegetación arbustiva y 30% pasto cultivado.

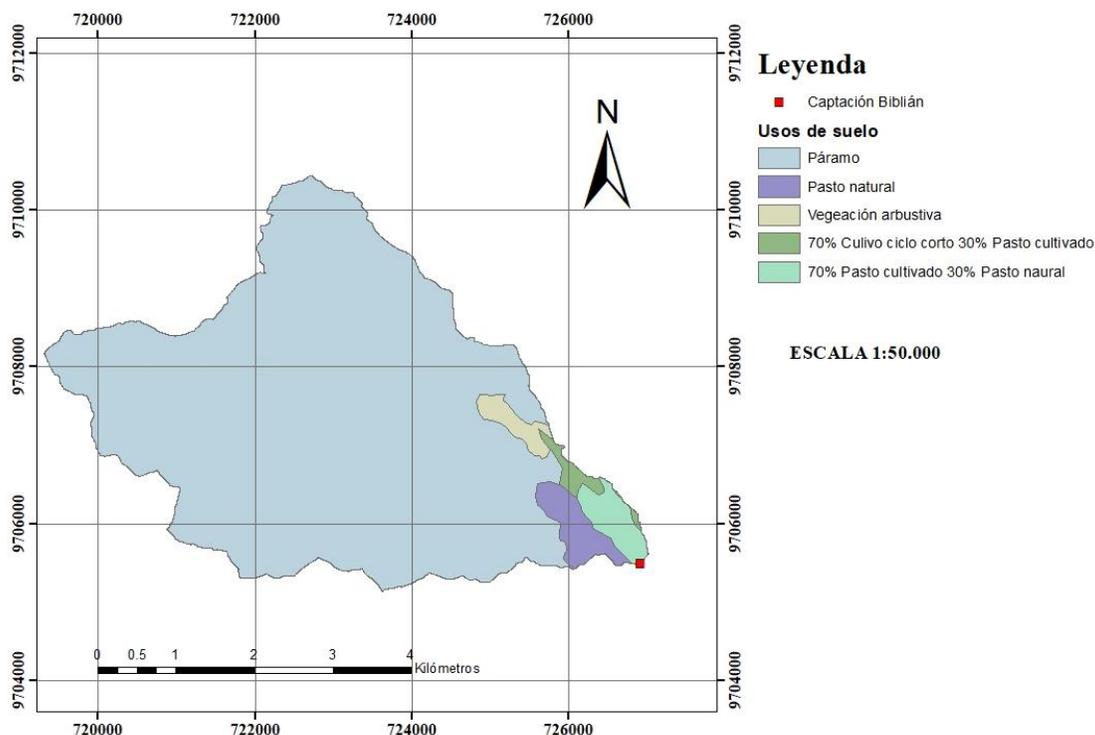


Figura 4. 42 Mapa de uso de suelo de la cuenca de aporte del cantón Biblián.

4.3.2. Hidrología y climatología

Precipitación

Cantón Cañar

Según mapa de Isoyetas obtenido para la microcuenca del Río Chacapata y la Quebrada Shan Shan, las cuencas de aporte de las captaciones estudiadas presentan una precipitación media anual en el rango de los 1000 y 1250 mm, representando una zona de gran pluviosidad (ver Anexo 4.1).

Cantón Biblián

La cuenca de aporte de la captación de estudio presenta una precipitación media anual en el rango de los 750 y 1250 mm, representando una zona de gran pluviosidad (ver Anexo 4.2).

Cantón El Tambo

En la cuenca de aporte de la captación del sistema de abastecimiento del cantón El Tambo existe una precipitación media anual en el rango de los 750 y 1000 mm, representando una zona de gran pluviosidad (ver Anexo 4.3).

Cantón Suscal

La cuenca de aporte delimitada posee una precipitación media anual en el rango de los 1000 y 1250 mm, representando una zona de gran pluviosidad (ver Anexo 4.4).

En base a los datos de precipitación correspondientes al año 2012 del INAMHI de las estaciones meteorológicas más próximas a las cuencas de aporte delimitadas (ver Tabla 4.6), las cuencas de aporte de los cantones Cañar y Biblián se encuentran influenciadas por un régimen de precipitaciones bimodal, en donde existe un periodo de mayor precipitación entre los meses de enero y abril y entre octubre y noviembre y un periodo de menor precipitación en los meses de mayo hasta septiembre (ver Figuras 4.42 y 4.43). La cuenca de aporte del cantón Suscal pertenece a un régimen unimodal, en donde el periodo de lluvias se presenta entre los meses de enero y junio y el resto del año es un periodo de menor precipitación.

Este análisis no se puede realizar para la cuenca de aporte del cantón El Tambo, ya que la estación más cercana (Compud) se encuentra en la provincia de Chimborazo a una altura de 2402 m.s.n.m. que representa una diferencia altitudinal muy grande, ya que la captación de este cantón se ubica a 3805 m.s.n.m. aproximadamente, por lo que esta zona podría verse influenciada por factores climáticos diferentes al registrado por la estación disponible.

Tabla 4. 6 Datos de precipitación considerados en el análisis (INAMHI, 2015)

| Mes | Estación | | |
|------------|-----------------------------------|--------------|--------------------|
| | Biblián | Cañar | Suscalpamba |
| | Precipitación mensual (mm) | | |
| 1 | 159.3 | 100.9 | 353.4 |
| 2 | 100.1 | 74.7 | 286.5 |
| 3 | 88.1 | 44.3 | 250.7 |
| 4 | 96.8 | 75.2 | 156.5 |
| 5 | 44 | 19.6 | 147.2 |
| 6 | 43.1 | 19.6 | 38.8 |
| 7 | 45.4 | 19.2 | 0 |
| 8 | 26.5 | 15.3 | 14.6 |
| 9 | 6 | 14.5 | 20.6 |
| 10 | 91.9 | 48.6 | 67.9 |
| 11 | 93.4 | 105.4 | 69.7 |
| 12 | 29.1 | 23.1 | 55.6 |

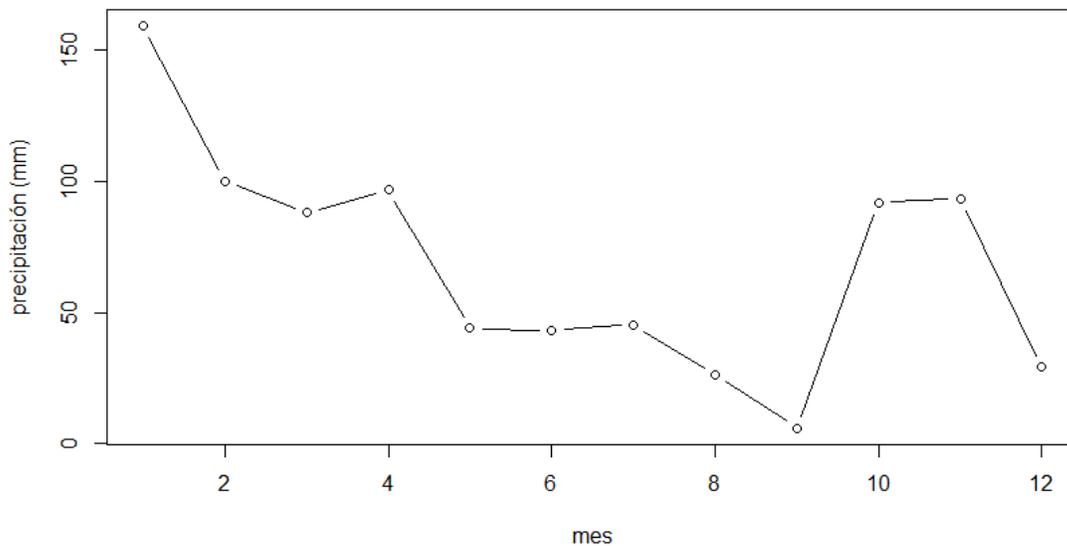


Figura 4. 43 Precipitación mensual según estación Biblián.

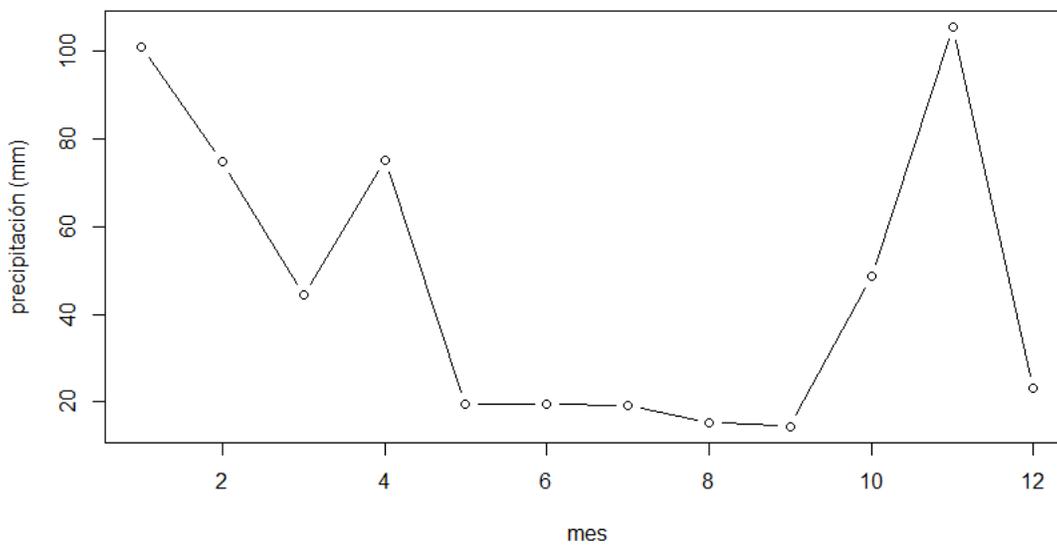


Figura 4. 44 Precipitación mensual según estación Cañar.

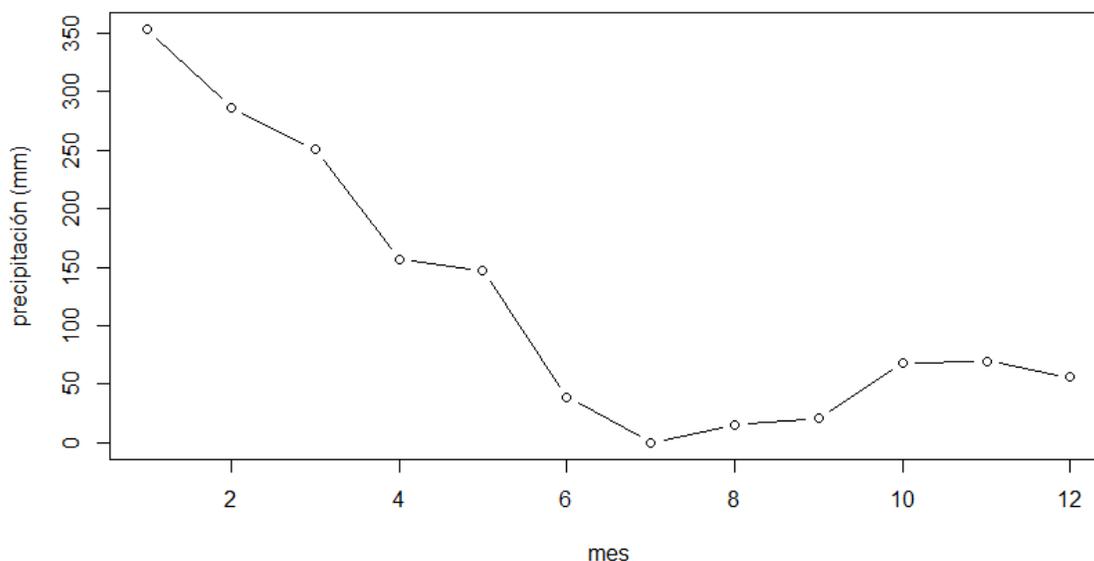


Figura 4. 45 Precipitación mensual de la estación Suscalpamba.

Temperatura

Cantón Cañar

Según el mapa de Isotermas mostrado en el Anexo 4.5, las cuencas de aporte de las captaciones presentan temperaturas bajas, entre 2 y 6 °C, temperaturas típicas de la zona de páramo.

Cantón Biblián

La cuenca de aporte de la captación en estudio presenta temperaturas promedio anuales bajas, que varían entre 4 y 8 °C, temperaturas que corresponden a una zona de páramo (ver Anexo 4.6).

Cantón El Tambo

En la cuenca de aporte delimitada las temperaturas promedio anuales son bajas y presentan una variación entre 2 y 6 °C al igual que en el caso de las cuencas de aporte del cantón Cañar (ver Anexo 4.7).

Cantón Suscal

Las temperaturas promedio anuales presentes en las cuencas delimitadas, son más altas que las cuencas de los demás cantones, pues estas varían entre 10 y 12 °C (ver Anexo 4.8).

Zonas climáticas

Según el estudio propuesto por Pourrut en 1983, todas las cuencas de aporte delimitadas pertenecen a un clima ecuatorial frío de alta montaña, debido a que estas se ubican por encima



de los 3000 m.s.n.m. y presentan un rango alto de precipitación y bajas temperaturas medias anuales. Esta zona climática se caracteriza por tener precipitaciones de larga duración, pero de baja intensidad, con humedades relativas superiores al 80% y posee una cobertura de páramo que tiene una gran capacidad de absorción de agua.

Caudal

Cantón Cañar

Para el cálculo de los caudales medios diarios de cada una de las cuencas de aporte se considera una precipitación promedio diaria de 3.13 mm, valor que se obtiene del mapa de isoyetas. En la Tabla 4.7 se muestran los valores de caudal obtenidos para cada una de las cuencas, obteniendo un total de $0.61 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. En el Anexo 4.9 se detallan los diferentes valores del coeficiente C tomados en función del uso de suelo y la pendiente del terreno.

Tabla 4. 7 Caudales de las cuencas de aporte de Cañar.

| Cuenca | Q (m^3/s) |
|--------|-----------------------------|
| 1 | 0.28 |
| 2 | 0.23 |
| 3 | 0.05 |
| 4 | 0.05 |
| Total | 0.61 |

Cantón Biblián

La cuenca de aporte del cantón Biblián posee un área mayor a 10 km^2 , por lo el caudal se determina mediante el método de transposición de caudales. El río Tabacay, al igual que la cuenca delimitada se encuentra dentro de la microcuenca del río Burgay y de acuerdo a aforos realizados por el Programa para el Manejo del Agua y del Suelo (PROMAS) en diferentes épocas y secciones sobre este río en el año 2017, en el mes de noviembre se produjeron los caudales mínimos en las secciones medidas.

Con un caudal de $0.097 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ correspondiente a un área de aporte de 17.60 km^2 , se obtiene un caudal de la cuenca de aporte de $0.12 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, el cual permite garantizar un caudal suficiente a la capacidad del sistema Cachi, el cual requiere $0.03 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

Cantón El Tambo

El plan maestro de agua potable del cantón, correspondiente al año 2016, presenta los resultados de aforos realizados en el mes de noviembre de ese año, mes que de acuerdo a este informe representa el mes de sequía de la zona. El caudal medido en la zona de captación representa $1.36 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Caudal suficiente para garantizar la disponibilidad de agua en la ciudad de El Tambo.



Cantón Suscal

Para el cálculo de los caudales medios diarios de las cuencas de aporte se utiliza una precipitación promedio diaria de 3.13 mm. De acuerdo a los resultados presentados en el Anexo 4.10, combinadas las dos cuencas poseen un caudal de escorrentía de $0.015 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

A pesar de que las dos cuencas de aporte analizadas presentan pendientes medias del 24 y 47% respectivamente, que favorecen a la escorrentía, la extensión de las cuencas, representa el principal factor para la generación de un bajo caudal de escorrentía.

Al tratarse de dos captaciones de aguas subterráneas, para la correcta determinación de caudales en las diferentes épocas del año, se debe realizar un estudio hidrogeológico, para determinar la relación entre la capacidad de infiltración del suelo y la real capacidad de cosecha hídrica de estas dos cuencas de aporte.

4.3.3. Clasificación de las cuencas de aporte según la zona agroecológica

En base al Anexo 4.11 (Zonas Agroecológicas del Austro ecuatoriano), se presentan las principales características tanto hidrológicas como del tipo de suelo y su potencial uso, de las zonas en las que se encuentran las diferentes cuencas de aporte en estudio.

Cantón Cañar

Las cuencas de aporte del cantón Cañar se ubican en la zona 23, que es un trópico frío y en la cuenca del río Cañar corresponde a sectores con alturas superiores a los 3200 m.s.n.m. Esta zona presenta un período húmedo de 7 a 12 meses con precipitaciones anuales entre 1000 y 2000 mm, con evapotranspiraciones bajas por la influencia de las bajas temperaturas.

El principal tipo de suelo es el Vitric Andosol y la vegetación corresponde a páramo. A causa de las bajas temperaturas y la topografía inclinada la práctica de actividades agrícolas se ve limitada.

Cantón Biblián

Al igual que las cuencas de aporte del cantón Cañar, la cuenca de aporte de este cantón se encuentra en la zona 23, que en la cuenca del río Paute se encuentra en alturas superiores a los 3600 m.s.n.m.

Cantón El Tambo

La cuenca de aporte de este cantón se ubica en la zona 21, en alturas superiores a los 3600 m.s.n.m. en la cuenca del río Cañar. En esta zona existe un período húmedo entre 5 a 10 meses y las precipitaciones se encuentran influenciadas por la altura con lluvias orográficas y bajas evapotranspiraciones.

El tipo de suelo preponderante es también el Vitric Andosol y al igual que el caso de la zona 23, la principal cobertura de suelo es el páramo y las temperaturas bajas y la topografía inclinada limita la actividad agrícola en las partes altas.



Cantón Suscal

Las cuencas de aporte del cantón Suscal se encuentran en la zona 7, la cual se encuentra en alturas entre 2400 y 3200 m.s.n.m. Esta zona posee un periodo húmedo que dura entre 4 y 6 meses con un régimen de precipitación similar al de la Costa, con la presencia de extremos fuertes y una gran diferencia entre las precipitaciones máximas y mínimas.

En la parte alta de esta zona, existe mayor presencia de suelos de tipo Vitric Andosol. En general, esta zona se encuentra cubierta por pastos naturales y sembrados, así como cultivos de ciclo corto como el maíz. El potencial agrícola de la parte alta de esta zona se reduce principalmente a la papa y al pasto.

4.4. Principales factores que influyen en la capacidad de cosecha hídrica de las cuencas hidrográficas

Factor morfológico

El principal factor morfológico que influye en la capacidad de cosecha hídrica de una cuenca hidrográfica es el área de la cuenca en estudio. Esta se encuentra delimitada por la línea divisoria de aguas, por lo que se requerirían actividades humanas de gran impacto, como, por ejemplo, la minería a cielo abierto para generar una variación en su magnitud. Este parámetro tiene una relación directa con la generación de caudales de una cuenca hidrográfica, pues si se considera una precipitación constante a lo largo de toda la cuenca, a mayor área, mayor caudal generado.

Factores biofísicos

Los principales factores biofísicos son:

- Pendientes del suelo
- Cobertura vegetal y uso de suelo

Las diversas pendientes de una cuenca hidrográfica, tienen también influencia en la generación de caudales, pues pendientes altas generan una velocidad de escorrentía mayor, respecto a zonas con pendientes bajas, lo que en definitiva se traduce en un mayor poder erosivo del agua de escorrentía. Mientras zonas con bajas pendientes tienen una baja velocidad de escorrentía, por lo que permite una mayor tasa de infiltración del agua, respecto a zonas de mayor pendiente, considerando de igual forma que la precipitación es similar en ambas zonas (Cervantes, 1999).

De acuerdo a lo expuesto en la sección 1.1.2 de esta investigación, el principal factor que está relacionado con la regulación de caudales en una cuenca hidrográfica es el uso de suelo, pues se observa que un suelo que conserva su cobertura nativa, en épocas de lluvia minimiza las crecidas y almacena de mejor manera el agua, mientras que en épocas de verano el agua almacenada permite que el caudal base de los ríos no presenten una disminución brusca, al contrario de zonas que presentan algún tipo de variación en su uso de suelo y cobertura vegetal, en donde se genera un mayor caudal de escorrentía y una menor capacidad de almacenamiento de agua, con lo que en épocas de sequía la disponibilidad del recurso hídrico es más limitado, comparando con una cuenca



no intervenida, por lo que, en el caso de zonas de captaciones para sistemas de agua potable, la capacidad de cosecha hídrica se relaciona directamente con la capacidad de regulación de caudales de una cuenca, esto debido a que se debe garantizar una disponibilidad constante del recurso hídrico para satisfacer las necesidades de dotación de las poblaciones.

El cambio de uso de suelo y cobertura vegetal, también genera una perturbación en la erosión de los suelos, esto debido a que la vegetación nativa permite la intercepción de las gotas de lluvia, lo que reduce la energía con la que estas llegan al suelo, generando una disminución en la velocidad de escorrentía del agua, en consecuencia, reduciendo el poder erosivo de esta sobre el suelo de mejor manera que zonas de cultivos de ciclo corto, en donde el suelo permanece desnudo hasta que estos cultivos alcancen su máximo desarrollo. Adicionalmente, si estos cultivos se encuentran en zonas de alta pendiente se ve incrementado el poder erosivo del agua de escorrentía (Cervantes, 1999).

Las principales actividades que generan un cambio de uso de suelo son la deforestación, quema de pajonales, producción de cultivos y el sobrepastoreo.

De acuerdo a taller propuesto por Angulo et al., (2015) basado en las publicaciones de Bert De Bievre, Boris Ochoa y Luis Acosta para el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), las actividades antes mencionadas generan las siguientes consecuencias sobre los Servicios Ecosistémicos Hídricos (SEH):

Impacto de la deforestación

Genera una reducción en la capacidad natural de infiltración del suelo, lo que en consecuencia produce una pérdida de capacidad de almacenamiento de agua por parte del suelo.

Impacto de la quema de pajonales

Fomenta el secado del suelo, debido a la exposición de éste a radiación solar directa. Se produce también un incremento en la erosión del suelo, ya que aumenta la velocidad de escorrentía, a causa de esto, se produce también pérdida de suelo que es arrastrado como sedimentos.

Impacto de los cultivos

Con el cambio de uso de suelo de vegetación nativa a la producción de cultivos de ciclo corto, se produce un incremento de los flujos picos en hasta un 20%, lo que ocasiona que el flujo base en épocas de sequía se vea disminuido hasta en 50% de su capacidad en condiciones normales.

Al igual que en el caso de la deforestación, con la producción de cultivos se da la destrucción de la estructura del suelo, ocasionando la pérdida de la capacidad de almacenamiento de éste hasta en un 40% a causa de la generación de hidrofobicidad.

Impacto del sobrepastoreo

La principal consecuencia del sobrepastoreo, sobre los ecosistemas andinos es que se da la compactación del suelo, propiciando así un mayor caudal de escorrentía. Se estima que para zonas con ganadería extensiva la densidad aparente del suelo en páramos naturales aumenta desde valores de 0.2-0.31 g.cm⁻³ a 0.34-0.41 g.cm⁻³.



4.5. Alternativas de manejo integral de cuencas

Según el análisis realizado en el apartado anterior, los principales factores que influye en la capacidad de regulación del recurso hídrico en las cuencas es el uso de suelo y la cobertura vegetal. La mayor parte de cuencas de aporte estudiadas se encuentran en la zona de páramo, que para autores como Céleri et al., (2004) representa un reservorio natural de agua, que garantiza la disponibilidad del agua en épocas de poca precipitación. En ese contexto, las principales medidas de protección ambiental están enfocadas en mantener la cobertura nativa de estas zonas, para así evitar perturbaciones en la capacidad natural tanto del suelo como del páramo para almacenar agua y permitir la regulación de caudales a través del caudal base de una cuenca.

En base a la delimitación de las distintas cuencas de aporte de los cantones de la Mancomunidad Cañari y sus respectivos mapas de uso de suelo, las cuencas de aporte de los cantones Cañar y El Tambo aún no presentan degradación a causa del cambio de vegetación, contrario a lo que sucede con las cuencas de los cantones Biblián y Suscal. A pesar de ello, mediante las visitas técnicas realizadas, se constató que en todos los casos existe actividad tanto agrícola como ganadera que afecta a las zonas ubicadas aguas abajo de las cuencas de aporte. De igual forma, la actividad ganadera en el caso específico de los cantones Biblián y El Tambo se desarrolla dentro de las cuencas delimitadas. Es por ello, que se deben restringir el tipo de actividades que se desarrollan en las diferentes cuencas de aporte, para evitar el avance de las fronteras agrícolas y ganaderas que aquejan a las zonas aledañas a estas. Esta limitación de actividades, permitiría también la recuperación del páramo ante un posible sobrepastoreo, principalmente en los cantones Biblián y El Tambo.

A continuación, se proponen dos alternativas de manejo de las cuencas de aporte analizadas en este estudio, con el propósito de garantizar principalmente la conservación de la cobertura vegetal nativa en los cantones Cañar y El Tambo y la recuperación de las áreas degradadas en los cantones Biblián y Suscal.

Alternativa 1: Conservación ambiental en las cuencas de aporte de los cantones Cañar y El Tambo

Objetivos

- Conservar la cobertura vegetal nativa de las cuencas de aporte, mediante la limitación del desarrollo de actividades productivas en estas zonas.
- Promover el desarrollo de actividades de investigación que permitan mejorar el conocimiento de la respuesta hídrica de cuencas de aporte.
- Garantizar la perdurabilidad de los recursos naturales de las cuencas de aporte para futuras generaciones, a través del planteamiento de actividades que permitan generar ingresos a



las personas que desarrollan las actividades productivas en las zonas de influencia a las cuencas de aporte de las captaciones.

Resultados esperados

- Garantizar la conservación de la cobertura vegetal nativa de las cuencas de aporte.
- Concienciación en los pobladores de las zonas de influencia de que una cuenca de aporte de los sistemas de abastecimiento de agua potable representa un componente muy importante para la disponibilidad tanto con calidad como en cantidad del recurso hídrico, por lo que es necesario generar medidas que permitan su protección.
- Planes que permitan la limitación de actividades agrícolas y ganaderas en las cuencas de aporte identificadas.
- Atraer inversión de instituciones tanto públicas como privadas para generar programas de investigación sobre el comportamiento hidrológico de las diferentes cuencas identificadas.

Estrategias de la propuesta

Para cumplir con los objetivos planteados con esta propuesta, se presentan las siguientes estrategias a manera de recomendaciones:

- Generar un mapa actualizado de uso de suelo y cobertura vegetal de las cuencas identificadas. Lo que permitirá corroborar si evidentemente el total del área de las cuencas de aporte corresponde a una cobertura de páramo o si existen algún tipo de degradación.
- Establecer una organización encargada de las estrategias para el manejo de los recursos naturales de las cuencas de aporte, con el fin de preservarlos, esta puede ser a nivel comunitario, cantonal o mancomunal entre los municipios.
- La compra de terrenos por parte de la organización creada es el escenario más favorable para la conservación ambiental. De no ser esto posible, se deben generar planes de incentivos monetarios a los dueños de los terrenos en los que se encuentran las cuencas de aporte de cada captación, para ello se puede plantear el cobro de una tarifa extra a los usuarios del agua potable.

Alternativa 2: Recuperación de las áreas degradadas en las cuencas de aporte de los cantones Biblián y Suscal

Objetivos

- Generar propuestas sobre los tipos de cultivos que deben desarrollarse en áreas ya intervenidas, en función de la pendiente y el tipo de suelo.



- Incentivar el desarrollo de programas de revitalización hidrológico forestal en las cuencas de aporte.
- Involucrar a la comunidad con la estrategia de uso de suelo óptimo en las áreas degradadas de cada cuenca.

Resultados esperados

- Participación de los habitantes de las comunidades en programas de reforestación y cambio de actividades productivas que tienen menor impacto.
- Mejorar la capacidad de regulación hídrica de las áreas degradadas de las cuencas de aporte, mediante la reforestación de zonas con vegetación típica del páramo.
- Actividades de investigación que permitan conocer el comportamiento hídrico de las zonas degradadas en las diferentes épocas del año.

Estrategias de la propuesta

- Generar un mapa de uso de suelo y cobertura vegetal de las cuencas identificadas a una escala de mejor resolución, por ejemplo 1:5000, para determinar con mejor precisión la cantidad y magnitud de las zonas que presenten algún tipo de degradación y requieran actividades para su recuperación.
- Establecer una organización encargada de las estrategias para el manejo de los recursos naturales de las cuencas de aporte. Para preservar las zonas que mantienen una cobertura vegetal nativa y recuperar las zonas que presenten degradación. Esta organización puede ser a nivel comunitario, cantonal o mancomunal entre los municipios.
- Identificar el tipo de actividad productiva que se desarrolla en las zonas de influencia de las captaciones (cuenca de aporte y a los alrededores), sean estas agrícolas y/o ganaderas.
- En zonas agrícolas identificar el tipo de cultivo y la forma de cultivo, para en base a esto proponer cultivos y técnicas de cultivo que tengan un menor impacto sobre el páramo.
- En zonas ganaderas, proponer el cambio del tipo de ganado de bovino a ganado camélido (alpacas y vicuñas).
- En zonas que requieran reforestación, primero generar un plan de vinculación de los pobladores de las comunidades para la implementación de viveros con especies preferentemente nativas o aquellas que permitan un mayor aprovechamiento del recurso hídrico como el Polylepis.

En caso de que ninguna de estas alternativas sea posible, mediante socialización con los dueños de los terrenos, es necesario negociar la compra de los terrenos, al menos que se encuentran dentro de la delimitación de cada una de las cuencas identificadas, cuyo costo debe ser financiado por los usuarios del servicio de agua potable.

Usos de suelo óptimos en las áreas con degradación

En las cuencas de los cantones Biblián y Suscal que presentan ya degradación a causa de actividades agrícolas, es necesario evaluar el tipo uso de suelo y cobertura vegetal actual en función de las pendientes para generar escenarios de uso óptimo de suelo.

• **Cantón Biblián**

La zona de estudio de la cuenca de aporte del cantón Biblián, se limita a la parte baja de esta, en los alrededores de la zona de captación (1.5 km²), ya que el resto de cobertura corresponde a páramo. Se distingue vegetación arbustiva, pasto natural, pasto cultivado y cultivos de ciclo corto (ver Figura 4.46), los cuales se encuentran dispersos sobre pendientes que van desde planas hasta montañosas (ver Figura 4.47). Las pendientes más fuertes, en su mayoría, se encuentran alrededor del curso del río San Antonio.

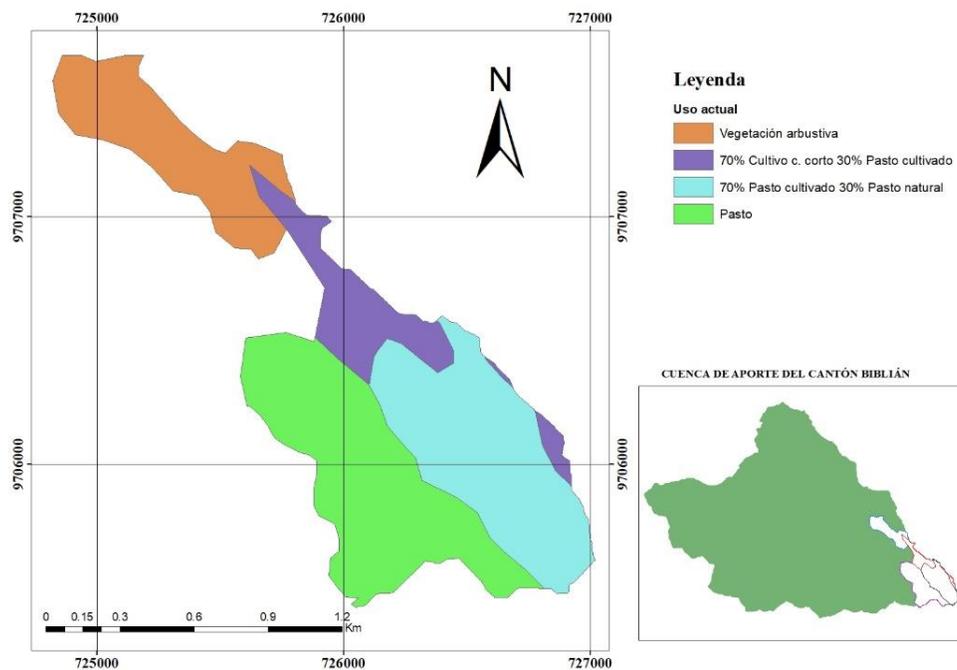


Figura 4. 46 Uso de suelo de la zona degradada de la cuenca de aporte de Biblián.

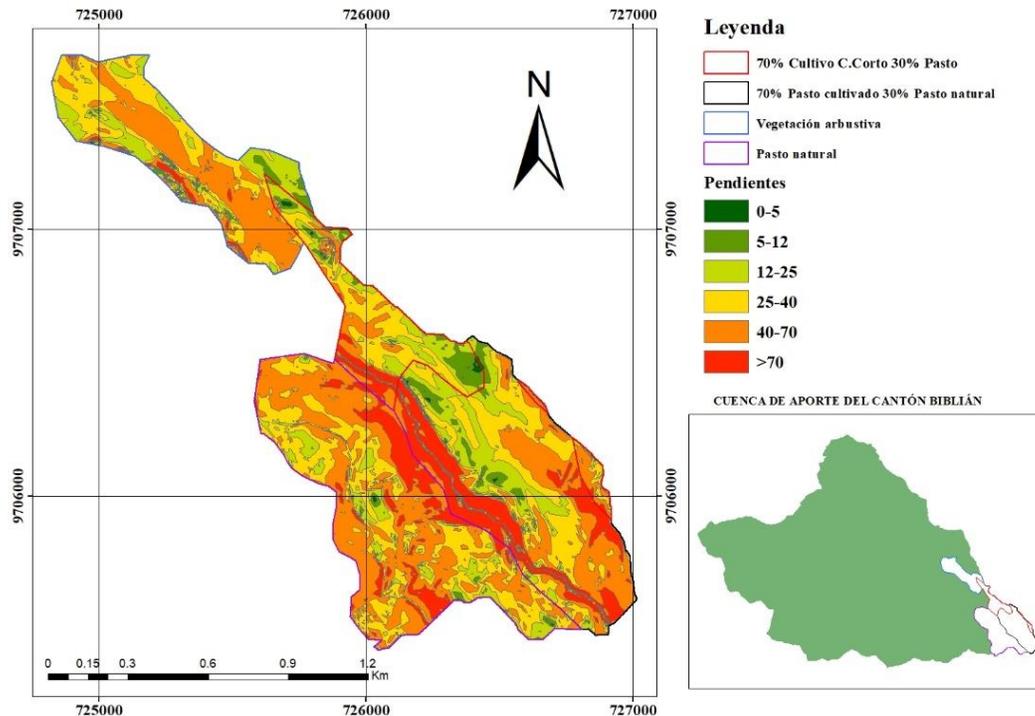


Figura 4. 47 Pendientes de la zona degradada de la cuenca de aporte de Biblián.

Toda el área degradada posee un tipo de suelo Inceptisol (ver Figura 4.35), que según la clasificación presentada en la Tabla 3.5, áreas con pendientes menores al 40% tienen todavía una capacidad agrícola favorable (ver Figura 4.48), por lo que se establece que para estas zonas el uso actual puede ser mantenido (ver Figura 4.49), mientras que, en zonas con pendientes superiores, existe baja capacidad agrícola, ya que se vuelven difíciles las labores de agricultura, a causa de posibles deslizamientos, por lo que en estas zonas se recomienda la reforestación con vegetación arbustiva y bosques de *Polylepis*, que se sabe, permite el aprovechamiento hídrico en cuencas de páramo.

Tabla 4. 8 Uso de suelo recomendado y la capacidad agrícola.

| Uso suelo propuesto | | Capacidad agrícola | |
|---|-----|--------------------|-----|
| Mantener uso actual | 51% | A1 | 4% |
| Reforestación con <i>Polylepis</i> y vegetación arbustiva | 49% | A2 | 47% |
| | | A3 | 49% |

En ese contexto, el 49% del área total debe ser reforestada con vegetación de tipo arbustiva o *Polylepis*, siendo factible la utilización de la especie antes mencionada en pendientes grandes para ayudar con la estabilización de los suelos y reducir el arrastre de sedimentos y con ello la erosión

del suelo. De igual forma, para el desarrollo de la agricultura, en las zonas catalogadas como A2 (47%) se requiere el uso de algún tipo de estabilización de suelos (ver Tabla 4.8).

Se propone, que en las zonas A2, se utilicen terrazas de formación lenta (ver Figura 4.50), que son muros de baja altura ubicados en las zonas de cultivos, que permiten la acumulación de materiales a causa del transporte de sedimentos, reduciéndose así las pendientes de los terrenos. En pendientes menores al 25% estos muros pueden ser de madera, mientras que, para el caso de muros con pendientes más grandes, los muros deben ser construidos con piedras (Algeet, 2008).

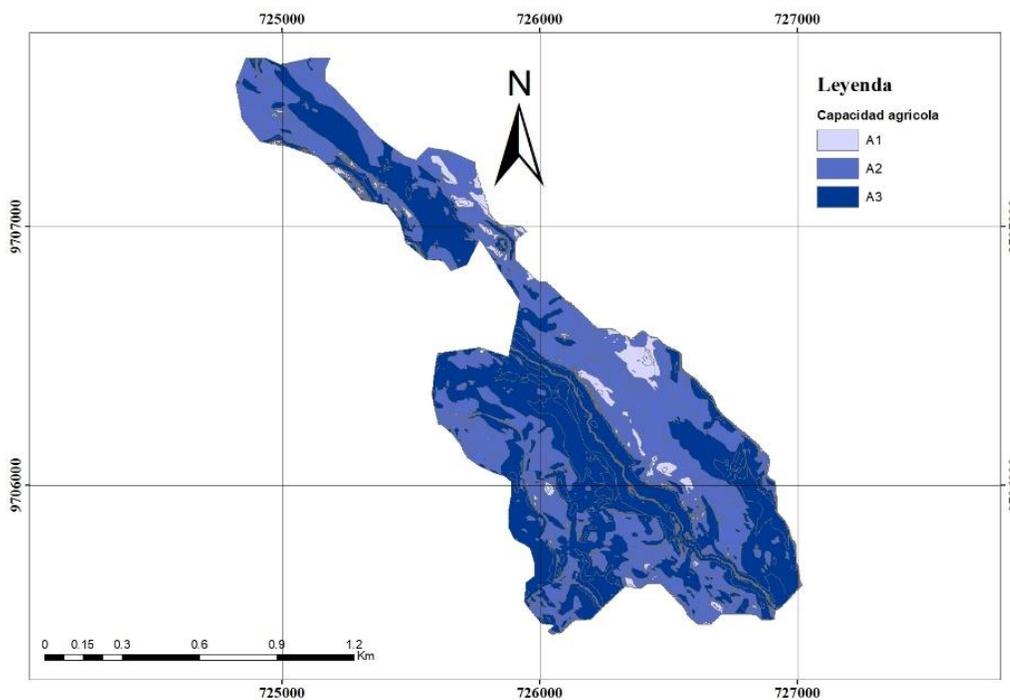


Figura 4. 48 Capacidad agrícola de la zona degradada de la cuenca de aporte de Biblián.

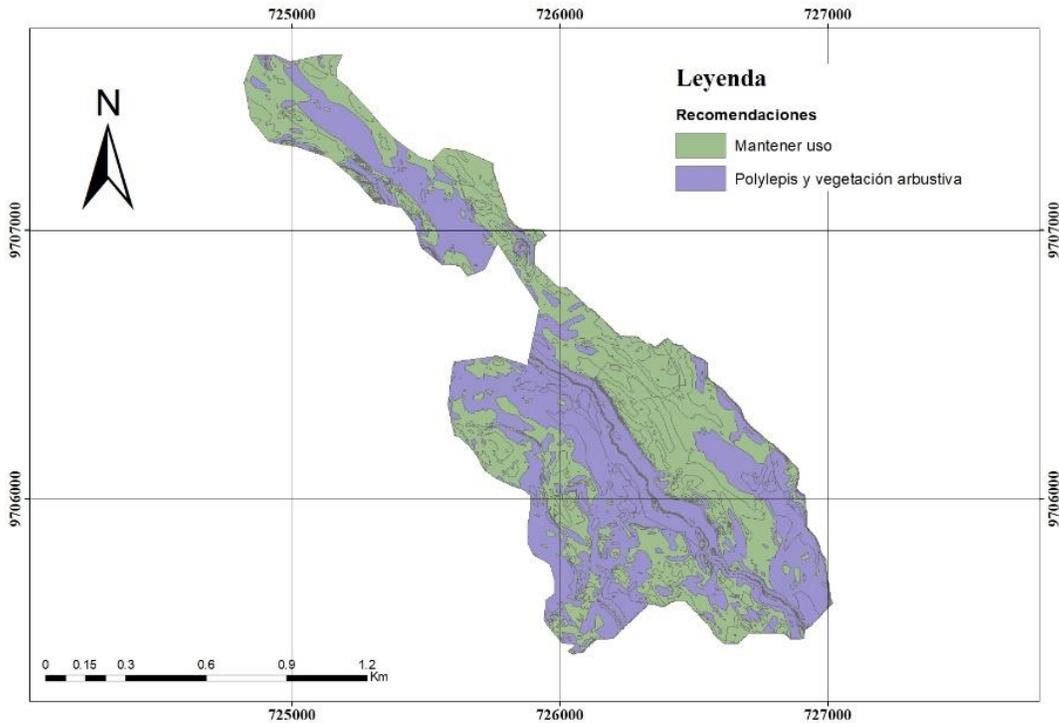


Figura 4. 49 Recomendaciones de uso de suelo óptimo en la zona degradada de la cuenca de aporte de Biblián.

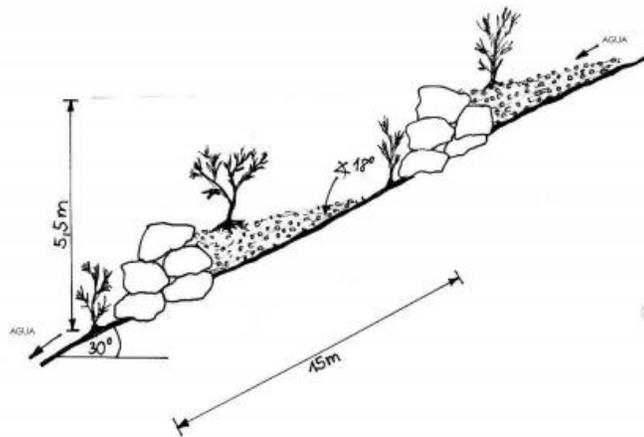


Figura 4. 50 Terrazas de formación lenta (Algeet, 2008).

- **Cantón Suscal**

Las dos cuencas de aporte delimitadas del cantón Suscal se encuentran degradadas, pues en éstas existe una cobertura correspondiente a 70% vegetación arbustiva y 30% pasto cultivado, sobre pendientes desde planas hasta montañosas (ver Figura 4.41). Las dos cuencas de aporte poseen dos tipos de suelos diferentes (Histosoles e Inceptisoles), pero poseen una clasificación

de capacidad agrícola similar (ver Tabla 3.5), es así que al igual que el caso del cantón Biblián, para zonas con pendientes menores al 40% se recomienda la mantención del uso de suelo y la reforestación con vegetación arbustiva y Polylopis para zonas con pendientes mayores. De igual forma, se plantea el uso de terrazas de formación lenta para estabilizar los suelos con capacidad agrícola A2. En la Tabla 4.9 se presentan los porcentajes de área de las dos cuencas que requieren reforestación y medidas de estabilización de suelos.

Tabla 4. 9 Uso de suelo recomendado y la capacidad agrícola.

| Cuenca 1 | | | | Cuenca 2 | | | |
|----------------------------------|-----|--------------------|-----|----------------------------------|-----|--------------------|-----|
| Uso de suelo | | Capacidad agrícola | | Uso de suelo | | Capacidad agrícola | |
| Mantener uso | 86% | A1 | 26% | Mantener uso | 25% | A1 | 0% |
| Polylepis y vegetación arbustiva | 14% | A2 | 60% | Polylepis y vegetación arbustiva | 75% | A2 | 25% |
| | | A3 | 14% | | | A3 | 75% |

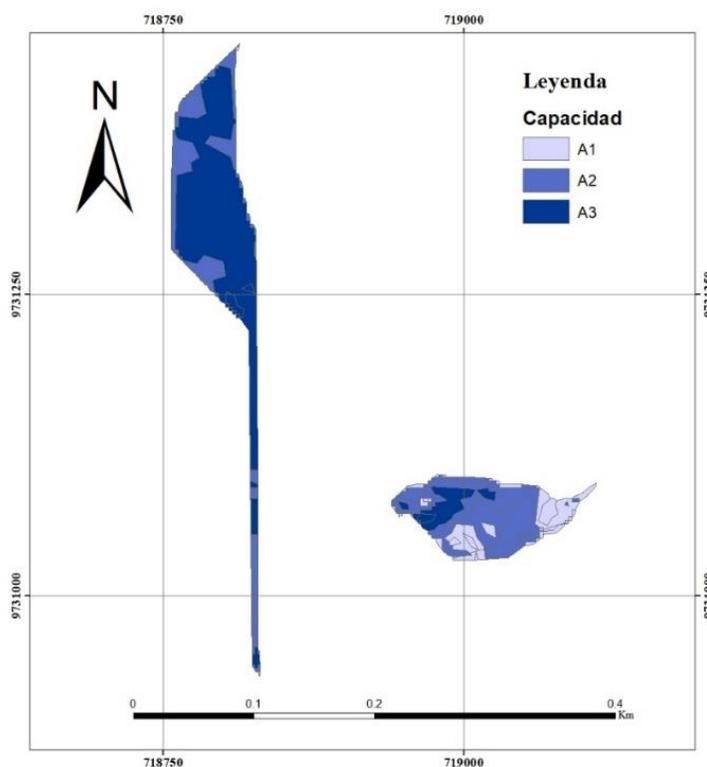


Figura 4. 51 Capacidad agrícola de las cuenca de aporte de Suscal.

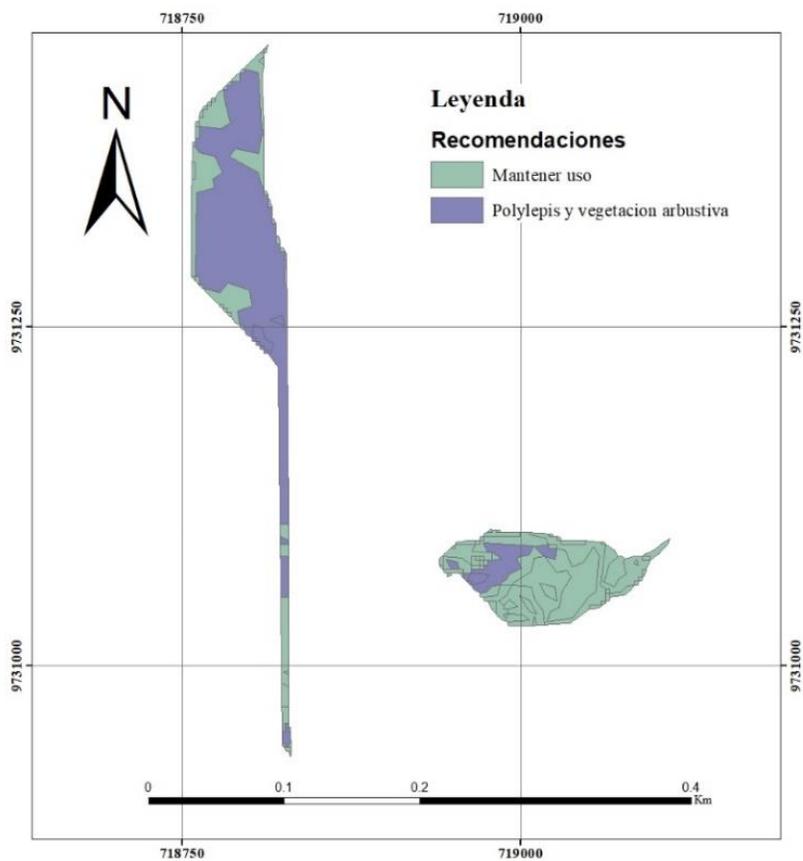


Figura 4. 52 Recomendaciones de uso de suelo óptimo para las cuencas de aporte de Suscal.



Capítulo 5: Conclusiones, Observaciones y Recomendaciones

Conclusiones

El estudio de las cuencas de aporte de los sistemas de abastecimiento representa una herramienta importante para desarrollar planes que permitan garantizar la disponibilidad de agua tanto en cantidad como en calidad para las generaciones futuras. En ese contexto, es necesario conocer el estado actual tanto de las cuencas como de los sistemas de abastecimiento, representado por la evaluación de las captaciones y plantas de tratamiento, así como la caracterización geomorfológica y biofísica desarrollada en este estudio. Con el propósito de establecer un punto de partida a través del cual se puedan evaluar las mejoras que se implementen tanto a nivel de sistemas de abastecimiento como en el manejo de las cuencas de aporte y así satisfacer las necesidades de dotación de las poblaciones con agua de calidad.

En las visitas técnicas realizadas a cada uno de los cantones de la Mancomunidad Cañari, se pudo observar que en todos los casos existen actividades agrícolas y ganaderas que cada vez se adentran más en las cuencas de captación. Esto representa una amenaza a la disponibilidad de agua en el futuro, puesto que se cambian las condiciones naturales de los suelos, afectando directamente al equilibrio hídrico de las zonas entre precipitación, infiltración y escorrentía. Es así que se ve necesaria la estructuración de planes de ordenamiento territorial que controlen las actividades que se desarrollan en las inmediaciones de las zonas de captación, con el fin de evitar la degradación de las cuencas y a su vez permitir la recuperación de éstas en las zonas que se requieran.

El cantón Cañar a pesar de contar con estructuras de captación construidas en los años 80 cuenta con un sistema de abastecimiento de agua potable bueno, ya que en el año 2010 entró en vigencia el Plan Maestro de Agua Potable lo que ha permitido que se ejecuten obras encaminadas a solucionar problemas relacionados a captación, conducción y tratamiento de agua potable.

El sistema de abastecimiento de agua potable del cantón Biblián sirve al 73% de los usuarios, concentrados en la cabecera cantonal y en las parroquias de Nazón y Sageo, por lo que el resto de la población consume agua sin ningún tipo de tratamiento. El sistema de tratamiento de agua potable del cantón se encuentra en un estado medio, debido a que cuenta con dos plantas de tratamiento compactas de 20 l.s⁻¹ de capacidad en conjunto que funcionan bien y una planta convencional que requiere una rehabilitación para que cumpla óptimamente los procesos de tratamiento. Por lo que se ve necesaria la creación de un Plan Maestro de Agua Potable que considere la ampliación de las zonas de cobertura, así como la repotenciación de la planta de tratamiento existente.

El cantón El Tambo cuenta también con un sistema combinado de una planta de tratamiento compacta y convencional. La planta compacta se encuentra en buenas condiciones, pero la planta convencional presenta deficiencias en el proceso de tratamiento dado que varios de sus componentes requieren mantenimiento para su funcionamiento óptimo, de igual forma esta planta



se encuentra procesando mayor agua de su capacidad real, por lo que se concluye que el sistema de tratamiento de agua potable es regular.

El cantón Suscal es abastecido por dos vertientes, por lo que el agua presenta buenas características físicas, siendo necesario únicamente un proceso de desinfección, el cual se lo hace mediante cloración con dosificación manual. Además, en las instalaciones de la planta de tratamiento no se cuenta con un laboratorio para el control de calidad de agua, por lo que en general el sistema de tratamiento es regular.

A partir de la caracterización morfológica se obtienen las principales características topográficas y parámetros asociados a la forma de las cuencas de aporte. También de manera indirecta se obtiene la capacidad de respuesta hidrológica de las cuencas, ya que, al comparar dos cuencas de aporte con similares áreas y formas, aquella cuenca con una alta densidad de drenaje ($>3.5 \text{ km.km}^{-2}$) representa una cuenca muy bien drenadas, por lo que posee un tiempo de concentración más bajo que aquella cuenca que tiene una densidad de drenaje menor, la cual presenta una respuesta hidrológica más lenta (tiempo de concentración mayor). Esto tiene incidencia directa en la capacidad de cosecha hídrica de una cuenca, pues mientras menor sea el tiempo de concentración, mayor es el caudal pico de la cuenca es mayor.

Del análisis de las curvas hipsométricas, se determina que todas las cuencas de aporte estudiadas (a excepción de Suscal) representan cuencas maduras que se encuentran en fase de madurez, en dónde existe un equilibrio en el transporte de caudales y sedimentos.

Conocer las características hidrológicas de cada cuenca de aporte resulta de gran utilidad para establecer el comportamiento de las diferentes cuencas de aporte en cuanto a su capacidad de cosecha hídrica en diferentes periodos.

De los factores que influyen en la capacidad de cosecha hídrica, los que se consideran más influyentes son aquellos que son susceptibles a cambios a causa del desarrollo de actividades humanas como la agricultura y ganadería. Debido a que, si bien es cierto que los factores morfológicos también influyen de manera directa en la capacidad hídrica de una cuenca hidrográfica, estos son modificados ante eventos naturales de gran magnitud o actividades humanas de gran degradación como la minería a cielo abierto, por lo que son difíciles de controlar o modificar.

En las cuencas de estudio la principal cobertura vegetal es el páramo que permite almacenar el agua en épocas de lluvia para aportar al caudal base de los cursos de agua en época de sequía. En ese contexto, conservar la cobertura vegetal nativa representa la alternativa más importante para garantizar la disponibilidad de agua a lo largo de los años.

Cuando la cobertura de páramo es deteriorada a causa de las actividades humanas, se genera una modificación en la repuesta hídrica natural las cuencas, principalmente en las épocas de sequía, ya que se pierde la capacidad de regulación del agua. Es así que en estos casos resulta favorable la implementación de planes de reforestación de las zonas degradadas para reducir así el impacto hídrico generado con el cambio de vegetación nativa.



Observaciones

Los caudales de las cuencas de aporte son obtenidos a partir de métodos empíricos (a excepción de El Tambo) que además de los errores de aproximación propios de los métodos, se utilizan valores de precipitación promedio diaria obtenidos a partir del mapa de isoyetas, que no necesariamente representan la precipitación de cada zona estudiada, por lo que estos valores de caudales se encuentran sujetos a errores.

La delimitación de las cuencas de aporte del cantón Suscal se realiza mediante un punto sobre la captación, por lo que el área generada representa la zona que escurre superficialmente hacia ese punto, es así que el análisis morfológico y biofísico realizado en este estudio no son suficientes para caracterizar a las zonas de aporte hídrico a las captaciones. De igual forma, el caudal obtenido para estas cuencas delimitadas representa un caudal de escorrentía, por lo que no es totalmente representativo, pues se debe determinar también la capacidad de infiltración del suelo y la zona específica de recarga.

De igual forma, no existe la suficiente información hidrológica en las zonas estudiadas, a causa de la falta de estaciones hidrometeorológicas, por lo que la descripción de los regímenes de precipitación se realiza con datos obtenidos de estaciones que son cercanas, pero que se encuentran en alturas menores a las zonas estudiadas.

La caracterización de zonas climáticas y la descripción hidrológica obtenida de la Zonificación Agroecológica del Austro ecuatoriano, representan una descripción de manera muy general de la precipitación y temperatura existente en las zonas estudiadas, a nivel regional.

En este estudio, se identifican las principales consecuencias del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal nativa en base a estudios realizados en zonas de páramo de los Andes, ya que no se poseen estudios realizados en las zonas degradadas de las cuencas en estudio.

Para el desarrollo de medidas que permitan conservar o recuperar las cuencas de aporte estudiadas, es necesario realizar una socialización con los pobladores de las comunidades que sean propietarias de las zonas identificadas, con el fin de dar a conocer la importancia de estas medidas en función de garantizar la disponibilidad de agua para las futuras generaciones.

Además, el plan de conservación propuesto presenta lineamientos muy generales, pues es necesario establecer estudios más profundos tanto en el ámbito social como en el aspecto biofísico, para establecer medidas de preservación más específicas.

Recomendaciones

Es necesario realizar trabajos de mantenimiento continuo en las plantas de tratamiento, con el fin de garantizar la total operatividad de estas plantas a lo largo de su vida útil, para así brindar a los usuarios un servicio de distribución permanente de agua potable en cantidad y calidad suficiente.



La descripción del estado de las captaciones y plantas de tratamiento de los diferentes cantones, debe ser complementado con estudios de calidad de agua, para así realizar una comparación entre la calidad del agua captada en las cuencas de aporte sin degradación, respecto a las cuencas que presentan degradación. Esto puede ser considerado también para realizar un análisis cuantitativo entre el estado actual de la cantidad y calidad del agua en las cuencas que presentan degradación y el estado futuro, aplicando las medidas de recuperación propuestas.

Las cuencas estudiadas pertenecen a regímenes pluviométricos diferentes, haciendo que un análisis desde el punto de vista netamente del abastecimiento de agua no sea factible analizar todas estas cuencas en conjunto, pues en cada una de ellas existen periodos diferentes de lluvia y sequía a lo largo del año. Es así que es recomendable que el manejo mancomunado de estas cuencas esté limitado a planes de conservación y/o recuperación, pues las actividades productivas desarrolladas en las inmediaciones de cada cuenca son similares.

Es recomendable realizar estudios que permitan conocer las repercusiones que tienen las actividades que actualmente generan degradación en la capacidad hídrica de cada cuenca delimitada, para conocer las consecuencias locales.

En este estudio se propone la utilización de vegetación arbustiva y bosques de *Polylepis* para la reforestación, pero se debe hacer un estudio forestal con especies nativas de cada zona, para determinar si es factible utilizar las especies propuestas o a su vez fomentar la recuperación de especies nativas.

Es necesario realizar un estudio de proyección de usos de suelo, esto comparando el uso de suelo de varios años y determinando la variación en porcentaje de un año respecto a otro, para lo cual se recomienda levantar este tipo de información cada cierto periodo de tiempo, con un mayor grado de detalle al actualmente disponible. De igual forma, se recomienda realizar un estudio de susceptibilidad de erosión y deslizamientos de los suelos, para así establecer medidas que permitan contrarrestar estos problemas.

Finalmente, de manera general este estudio sirve como base para el desarrollo de futuros trabajos de investigación a nivel hidrológico forestal, que se debe extender más allá de las cuencas de aporte delimitadas, para generar planes de manejo a nivel de microcuencas hidrográficas.

Digitalización del uso de suelo y cobertura vegetal a partir de una ortofoto

A continuación, se plantean los pasos requeridos para realizar la digitalización del uso de suelo y cobertura vegetal a partir de una ortofoto y el shapefile de delimitación de cada cuenca, con el uso del software ArcGIS 10.4.1:

Mediante la herramienta “Extract by Mask”, se recorta la ortofoto para obtener únicamente el contorno de la cuenca en estudio, en dónde se identifican los diferentes tipos de cobertura vegetal

existentes en ésta área a través de la creación de polígonos de muestra, a los cuales se les asigna un valor numérico único para cada clase identificada (ver Figura 4.53).

Posteriormente, se crea un archivo que contiene las firmas espectrales de cada tipo de cobertura vegetal identificadas con el proceso anterior, ingresando como archivos de entrada la ortofoto recortada y el shapefile de los polígonos de muestra de cada clase en la herramienta “Create Signatures”.

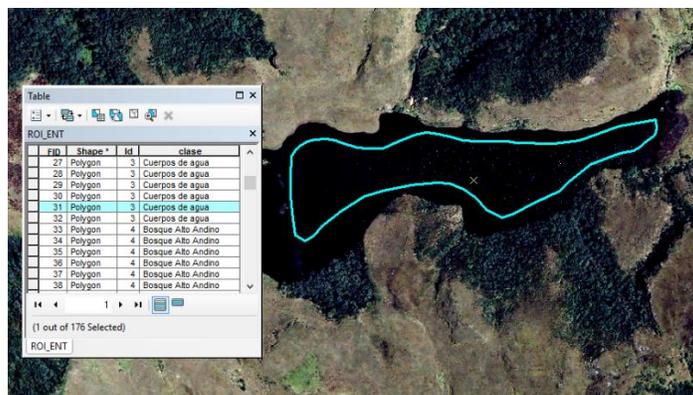


Figura 4. 53 Polígono de muestra para un cuerpo de agua.

Con el archivo de firmas espectrales listo, el siguiente paso es realizar la clasificación de la cobertura vegetal, utilizando la herramienta “Maximum Likelihood Classification”, ingresando la ortofoto recortada y el archivo de firmas espectrales anteriormente generado. Mediante este proceso se obtiene un archivo raster, en donde cada color representa un tipo de cobertura vegetal único, para los valores que fueron asignados en el polígono de muestra.

Después, con el uso de la herramienta Raster to Polygon se procede a transformar este archivo raster en un archivo de polígonos (vectorial), éste puede ser mejorado para obtener una correcta clasificación de la cobertura vegetal de las cuencas en estudio, utilizando las herramientas “Editor” y “Topology Edit Tool”.



Referencias bibliográficas

- Acosta, A. (2010). Agua un derecho humano fundamental. A. Acosta & E. Martínez (Comp.). *Universidad Politécnica Salesiana*.
- Aguirre Núñez, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista virtual REDESMA*, 5, 9–9.
- Algeet, N. (2008). *Ordenación hidrológico forestal de la cuenca del río Guabalcón, Ecuador*. Madrid. Recuperado de <http://oa.upm.es/1141/>
- Angulo, O., Acosta, L., & Gil, J. (2015). Impacto del Cambio de Uso de la Tierra sobre los Servicios Ecosistémicos Hídricos. *CONDESAN*.
- Argente, J. C. (2015). *Estudio del comportamiento hídrico de una cuenca hidrológica en Angola*.
- Barrios, A. (2003). Introducción a la planificación y formulación de proyectos de manejo de cuencas hidrográficas. *Material Didáctico. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT) Mérida-Venezuela*, 29–40.
- Benavides, O., & Burbano, L. L. (2001). Caracterización biofísica de la cuenca media del río Pasto, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 18(1), 181–193.
- Caguana, M. (2010). La situación actual del páramo de Culebrillas, Cañar. *FLACSO*.
- Cardona, B. L. (2013). Conceptos Básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. *Maestría en Energía y Ambiente, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala*.
- Ceccon, E. (2003). Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias*, (072).
- Célleri, R., De Bièvre, B., & Iñiguez, V. (2004). Efectos de la cobertura vegetal en la regulación hidrológica de microcuencas de páramo.
- Cervantes, R. (1999). Disminución de la escorrentía superficial debido a variaciones en el uso del suelo.
- ClimateData.org. (s/f). Clima Biblián: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Biblián - Climate-Data.org. Recuperado el 11 de mayo de 2018, de <https://es.climate-data.org/location/25378/>
- Coello, C., Correa, A., & Cisneros, F. (2012). Análisis de Escenarios en Microcuencas de Diferente Cobertura Vegetal Mediante la Aplicación del Modelo Hidrológico SWAT. *XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica San José, Costa Rica, 9 al 12 de septiembre de 2010*.
- Crespo, P., Célleri, R., Buytaert, W., Ochoa, B., Cárdenas, I., Iñiguez, V., ... De Bièvre, B. (2014). Impactos del cambio de uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos. *Avances En Investigación Para La Conservación de Los Páramos Andinos. CONDESAN*, 288–304.
- De Hek, S., Kiersch, B., & Mañon, A. (2004). Aplicación de Pagos por Servicios Ambientales en manejo de Cuencas Hidrográficas: lecciones de experiencias recientes en América Latina.



Comunicación presentada al Taller en Pago por servicios Ambientales. Barcelona, septiembre.

- Delgado, M., & Gaspari, F. (2010). Caracterización morfométrica geoespacial, estudio de caso: Arroyo Belisario, Argentina. *Tecnociencia Chihuahua*, 4(3), 154–163.
- Dercon, G., Bossuyt, B., De Bievre, B., Cisneros, F., & Deckers, J. (1998). *Zonificación agroecológica del Austro Ecuatoriano*. UEdiciones.
- Dourojeanni, A. (1994). La gestión del agua y las cuencas en América Latina. *Revista de la CEPAL*.
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (1999). Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A., & Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica* (Vol. 1). United Nations Publications.
- Duitama, F., Moreno, L., & Zamudio, E. (2015). Estimación de caudales en la cuenca media del Río Magdalena empleando el método de transposición de caudales. *Revista Tekhnê*, 39–48.
- Echavarría, M. (2003). Algunas lecciones sobre la aplicación de pagos por la protección del agua con base en experiencias en Colombia y Ecuador.
- EMMAIPC-EP. (s/f). Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral de los cantones Cañar, Biblián, El Tambo y Suscal - Noticias. Recuperado el 13 de mayo de 2018, de <http://www.emmaipc-ep.gob.ec/index.php/blog>
- FAO. (2014). Experiencias de Manejo y Gestión de Cuencas en el Ecuador.
- Farfán, F., Urbina, L., Ferreira, S., & Brandan, M. (2010). Caracterización y red de drenaje de la subcuenca del río Tin-Tin, PN Los Cardones, Salta. *Revista Científica de Educación, Catamarca*, 5(16), 7–21.
- Faustino Manco, J., & Jiménez Otárola, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas.
- GAD Biblián. (2016). *Diagnóstico del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Cantón Biblián*.
- GAD Cañar. (2010). *Plan Maestro del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para la Ciudad de Cañar*.
- GAD Cañar. (2015a). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia del Cañar*.
- GAD Cañar. (2015b). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cañar*.
- GAD El Tambo. (2016a). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón El Tambo*.
- GAD El Tambo. (2016b). *Plan Maestro de Agua Potable de la Ciudad de El Tambo*.
- GAD Suscal. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Suscal*.
- GAD Suscal. (2015). *Plan Maestro de Agua Potable del cantón Suscal*.
- García, A. G. R., León, A. C., García, P. S., & Rivas, A. I. M. (2015). La caracterización morfométrica de la subcuenca del Río Moctezuma, Sonora: ejemplo de aplicación de los sistemas de información geográfica. *Revista de Geografía Agrícola*, (55), 27–43.
- Gaspari, Fernanda J., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., Rodríguez Vagaría, A. M., & Besteiro, S. I. (2009). Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas. *Gaspari. La Plata*, 321.



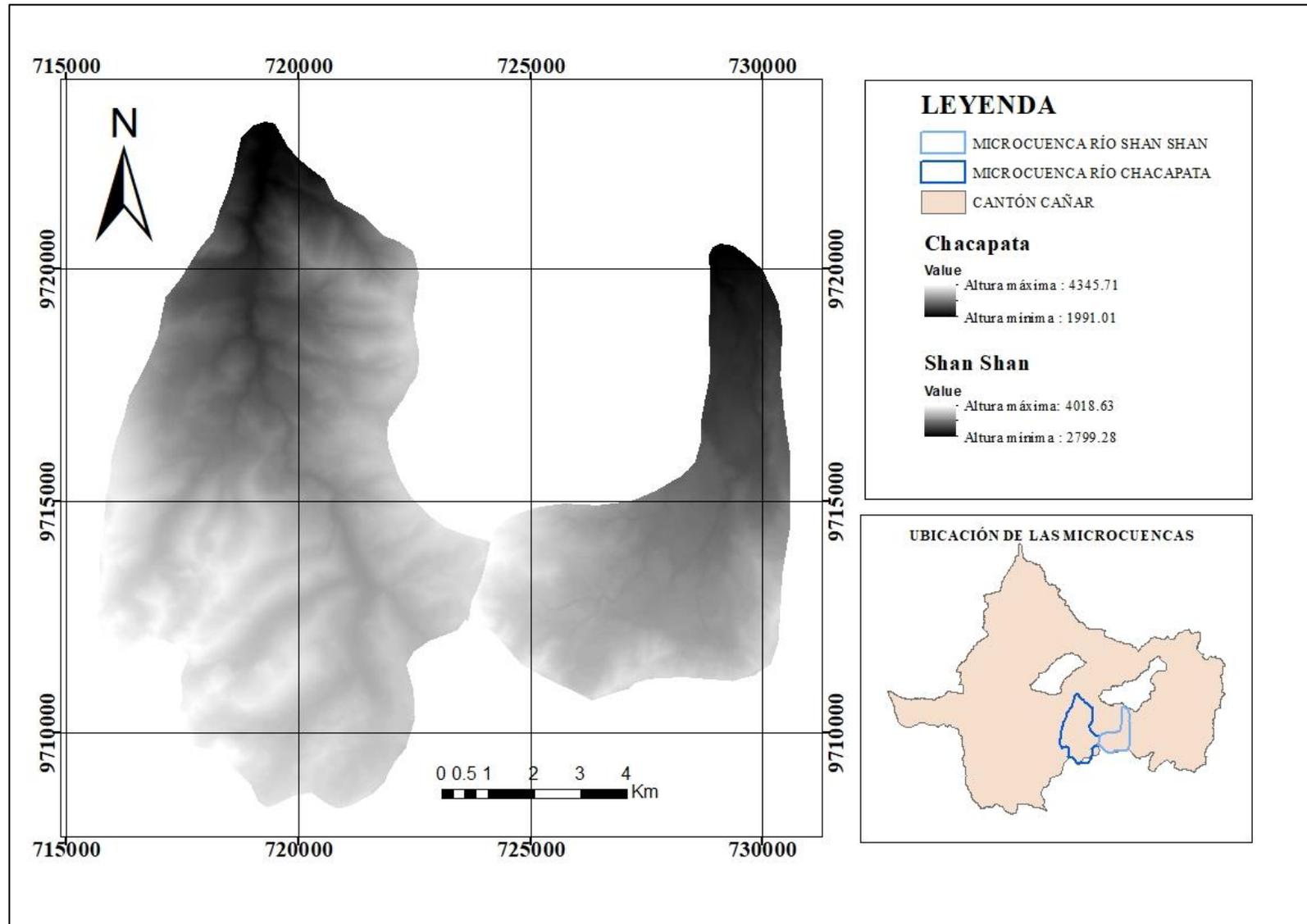
- Gaspari, Fernanda Julia, Vagaría, A. M. R., Senisterra, G. E., Denegri, G. A., Delgado, M. I., & Besteiro, S. I. (2013). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 4, 143–158.
- Gil Morales, E. G. (2012). Páramos: potencia vulnerable en las alturas. *CAMBIUM. Boletín Informativo del Centro de Investigación en Ecosistemas y Cambio Climático. Carbono y Bosques--C&B*, 9(1), 6–12.
- Gutiérrez Caiza, C. (2014). Hidrología básica y aplicada.
- Hofstede, R. (2003). Gestión de servicios ambientales y manejo de áreas naturales en cuencas andinas. *Memorias del Foro Regional Sobre Pago de Servicios Ambientales*.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). Morfología de las cuencas hidrográficas. *Universidad politécnica de Valencia*.
- INAMHI. (2015). Recuperado el 6 de agosto de 2018, de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>
- Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*, 19(1), 41–68.
- Jouravlev, A. (2001). *Administración del agua en América Latina y el Caribe en el umbral del siglo XXI*. CEPAL.
- López Báez, W. (2014). Análisis del Manejo de Cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de Recursos Naturales. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 13(2).
- Madrigal Ballesteros, R., & Alpízar Rodríguez, F. (2008). El pago por servicios ecosistémicos y la acción colectiva en el contexto de cuencas hidrográficas.
- Mancomunidad Cañari. (s/f). Mancomunidad Cañari. Recuperado el 11 de mayo de 2018, de <http://mancomunidadcanari.gob.ec/nosotros/>
- Mármol, L. A. (2006). Introducción al manejo de Cuencas Hidrográficas y Corrección de Torrentes. *Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente*.
- Martínez Moscoso, F. A. (2017). El derecho al agua en el Ecuador. Un análisis desde la Ciencia Política y el Derecho Público.
- Martínez, V. J. B. (2016). Análisis del ordenamiento territorial de las cuencas hidrográficas, desde la perspectiva del desarrollo sostenible. *REVISTA FACCEA*, 5(2), 146–159.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones Perú. (2008). *MANUAL DE HIDROLOGÍA*.
- Orozco Bucardo, P. P. (2006). Experiencias organizativas para el manejo de cuencas y propuesta metodológica para incorporar el enfoque de cogestión: el caso de las subcuencas de los ríos Cálico y Jucuapa, Nicaragua.
- Perevochtchikova, M., & Arellano-Monterrosas, J. L. (2008). Gestión de cuencas hidrográficas: experiencias y desafíos en México y Rusia. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(3), 313–325.
- Pérez Castillo, C., & Shinomi, Y. (2005). Manejo integral de cuencas hidrográficas. Conceptos básicos.



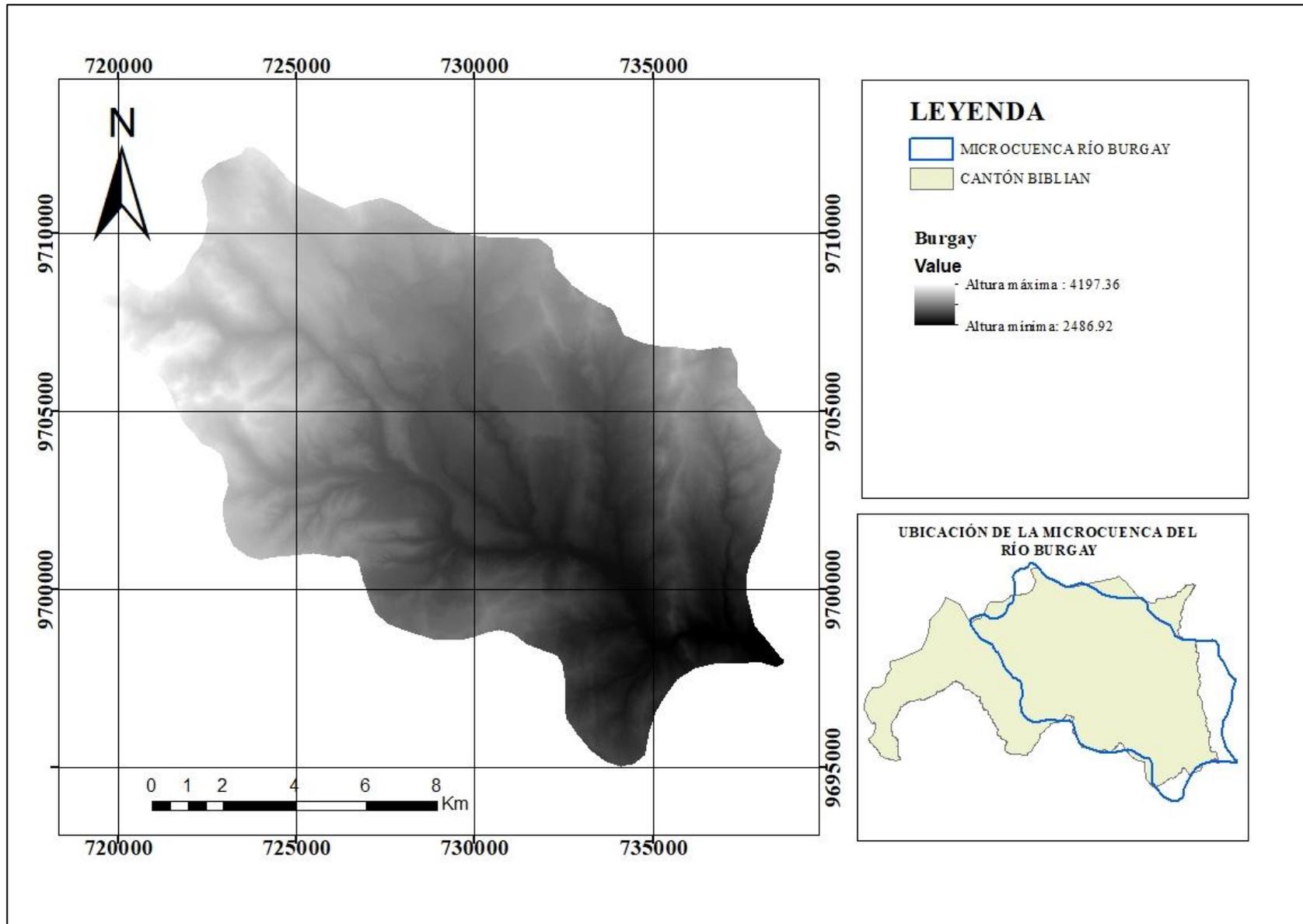
- Porras, I. (2003). Valorando los servicios ambientales de protección de cuencas: consideraciones metodológicas. *Foro Regional Sistemas de Pago por Servicios Ambientales en Cuencas Hidrográficas*, 9.
- Pourrut, P. (1983). Los climas del Ecuador: fundamentos explicativos. *ORSTOM y Programa Nacional de Regionalización Agraria del Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Quito, Ecuador.
- Racca, J. M. (2007). Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales del terreno.
- Ramírez, J. (2015). *Alternativas de manejo sustentable de la subcuenca del río Pitura, provincia de Imbabura, Ecuador*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- Ramsar. (2010). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Manuales Ramsar.
- Riera Figueras, P. (2013). Las mancomunidades en España.
- Rocha Felices, A. (2011). El Agua Virtual y la Huella Hídrica en el siglo XXI.
- Rodgers, K. P. & C., Roberto. (1978). *Calidad ambiental y desarrollo de cuencas hidrográficas: un modelo para planificación y análisis integrados*.
- Rojo, J. (2008). Morfometría de cuencas.
- Ruiz Soto, J. P. (2007). Servicios ambientales, agua y economía. *Revista de ingeniería*, (26).
- SNI. (s/f). Archivos de Información Geográfica - Sistema Nacional de Información. Recuperado el 13 de mayo de 2018, de <http://sni.gob.ec/coberturas>
- Strahler, A. N., & Strahler, A. H. (2013). *Geografía física*. Barcelona: Omega.
- World Vision. (2004). *Módulo 5: Planificación para el Manejo de Cuencas*. World Vision.

Anexos

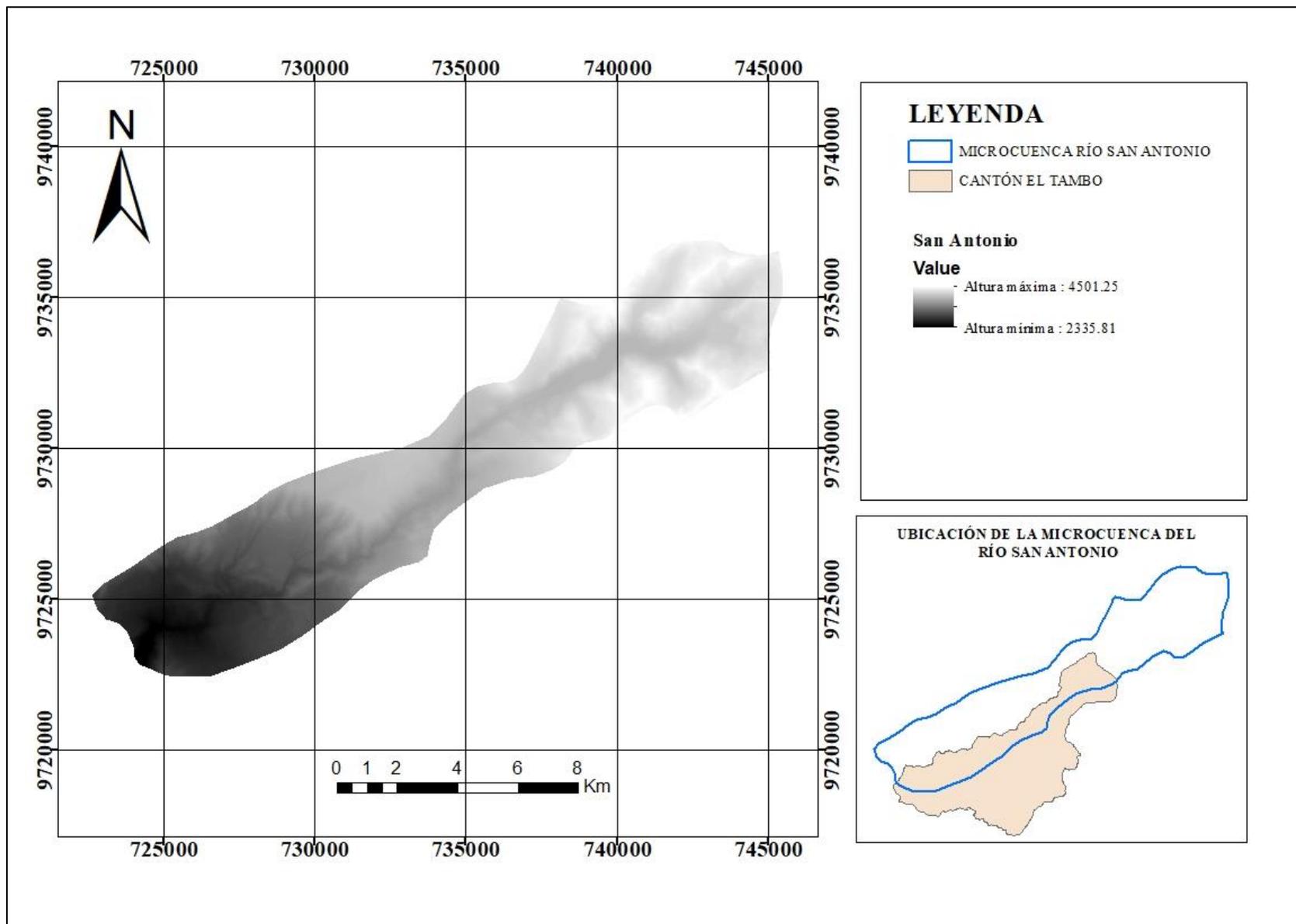
Anexo 2. 1 Modelo digital de elevaciones de la Microcuenca del Río Chacapata y la Microcuenca de la Quebrada Shan Shan.



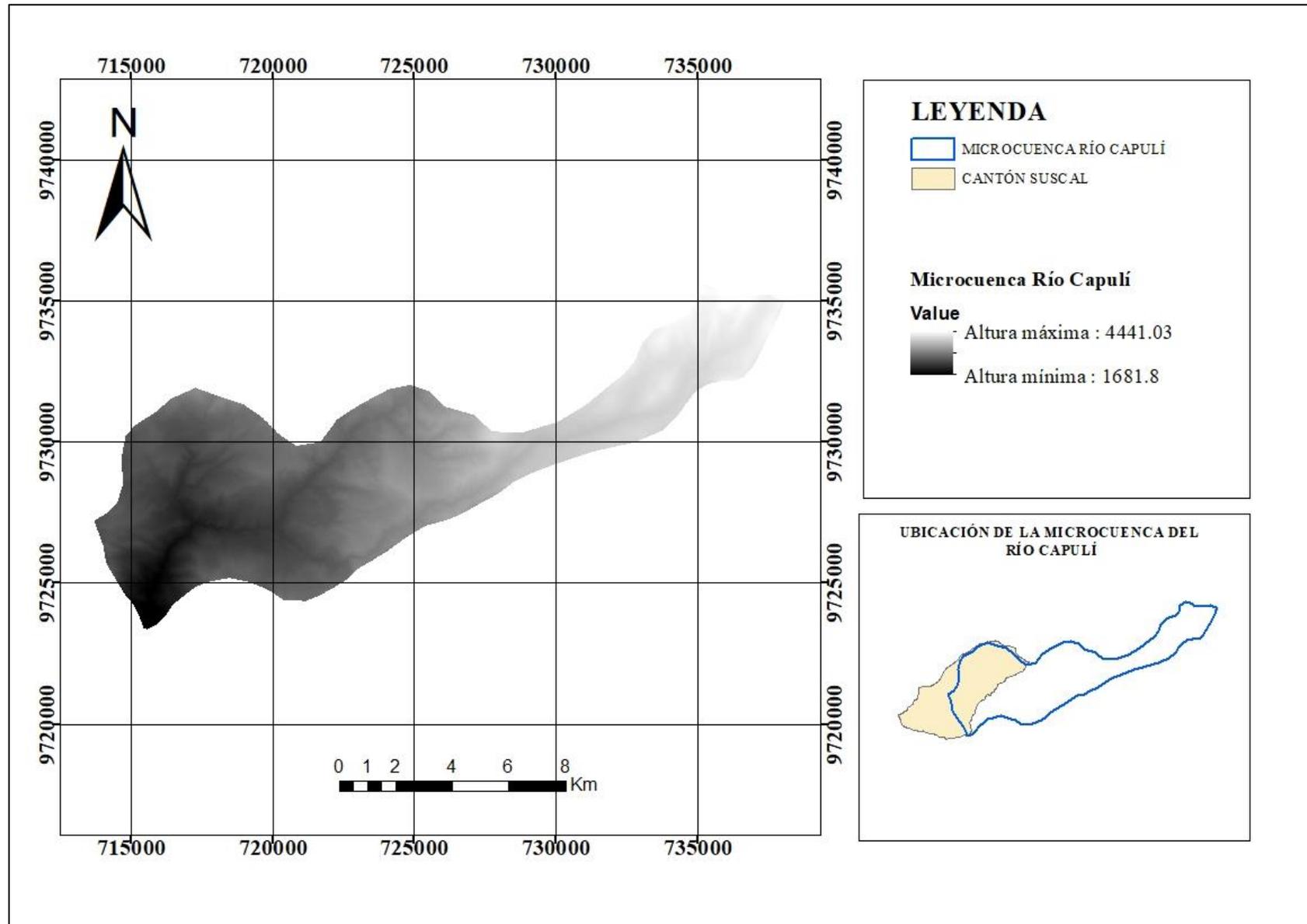
Anexo 2. 2 Modelo digital de elevaciones la Microcuenca del Río Burgay



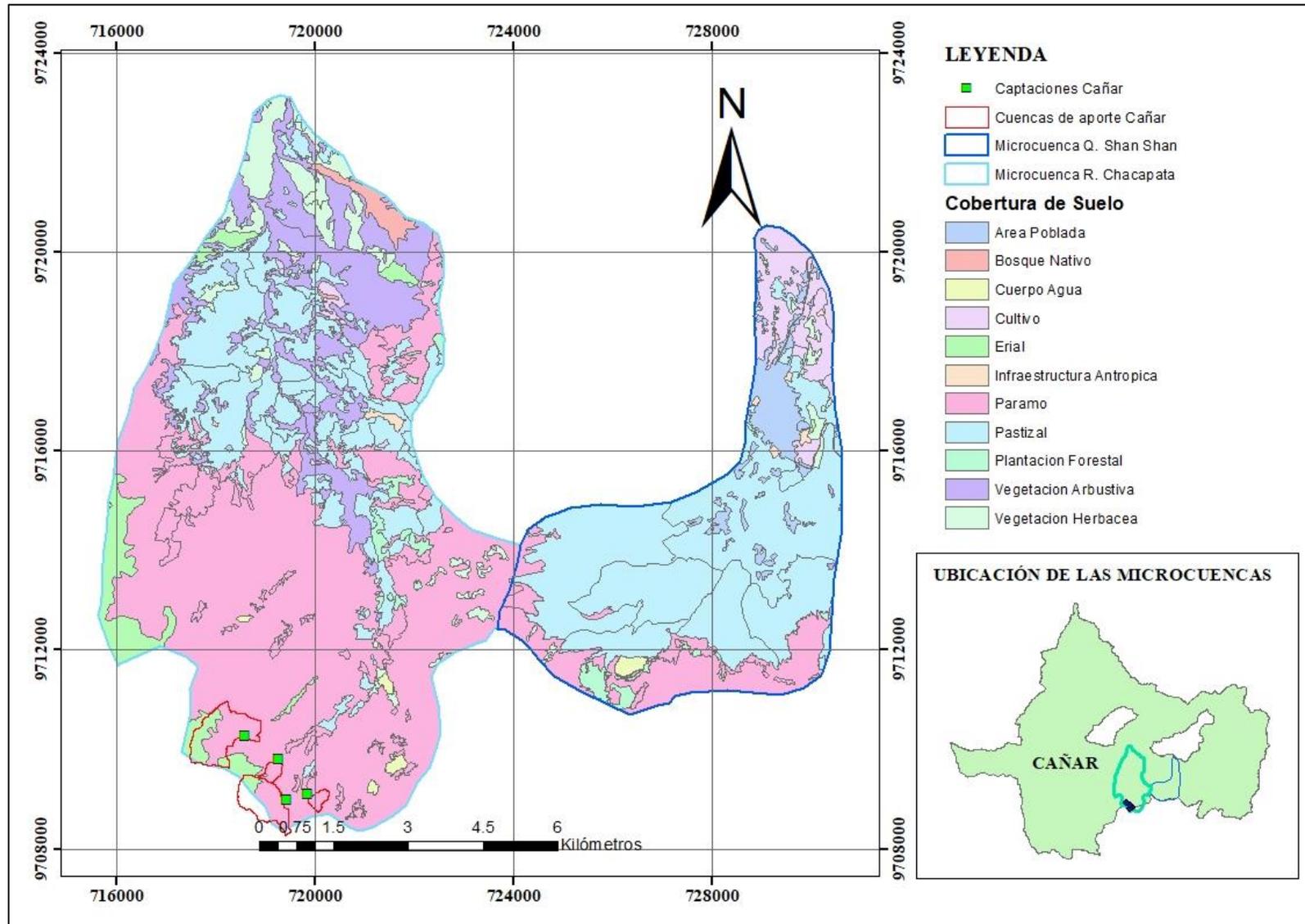
Anexo 2. 3 Modelo digital de elevaciones del Río San Antonio.

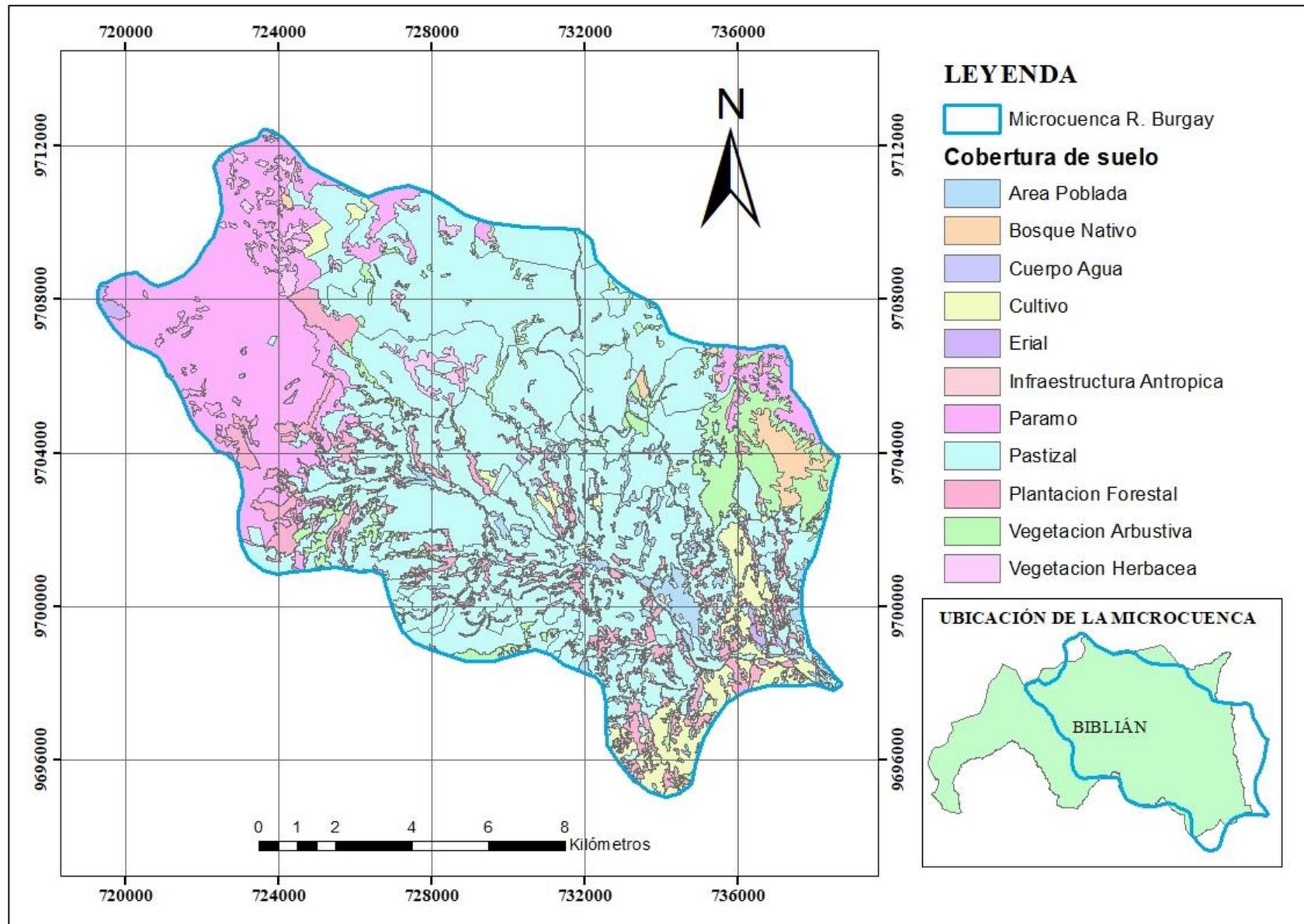


Anexo 2. 4 Modelo digital de elevaciones de la Microcuenca del Río Capulí.

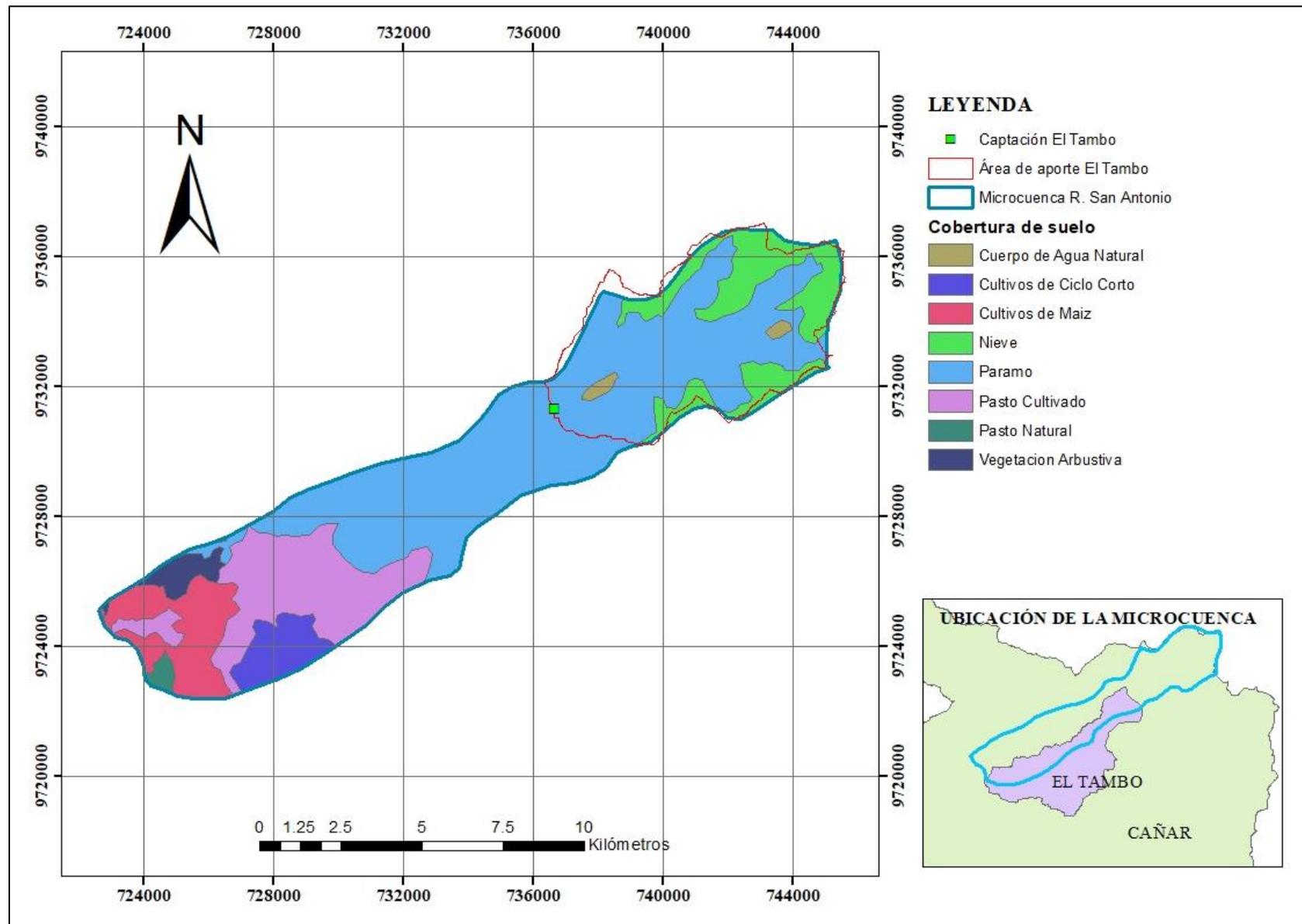


Anexo 2.5 Mapa de la cobertura de suelo de la Microcuenca del Río Chacapata y la Microcuenca de la Quebrada Shan Shan.

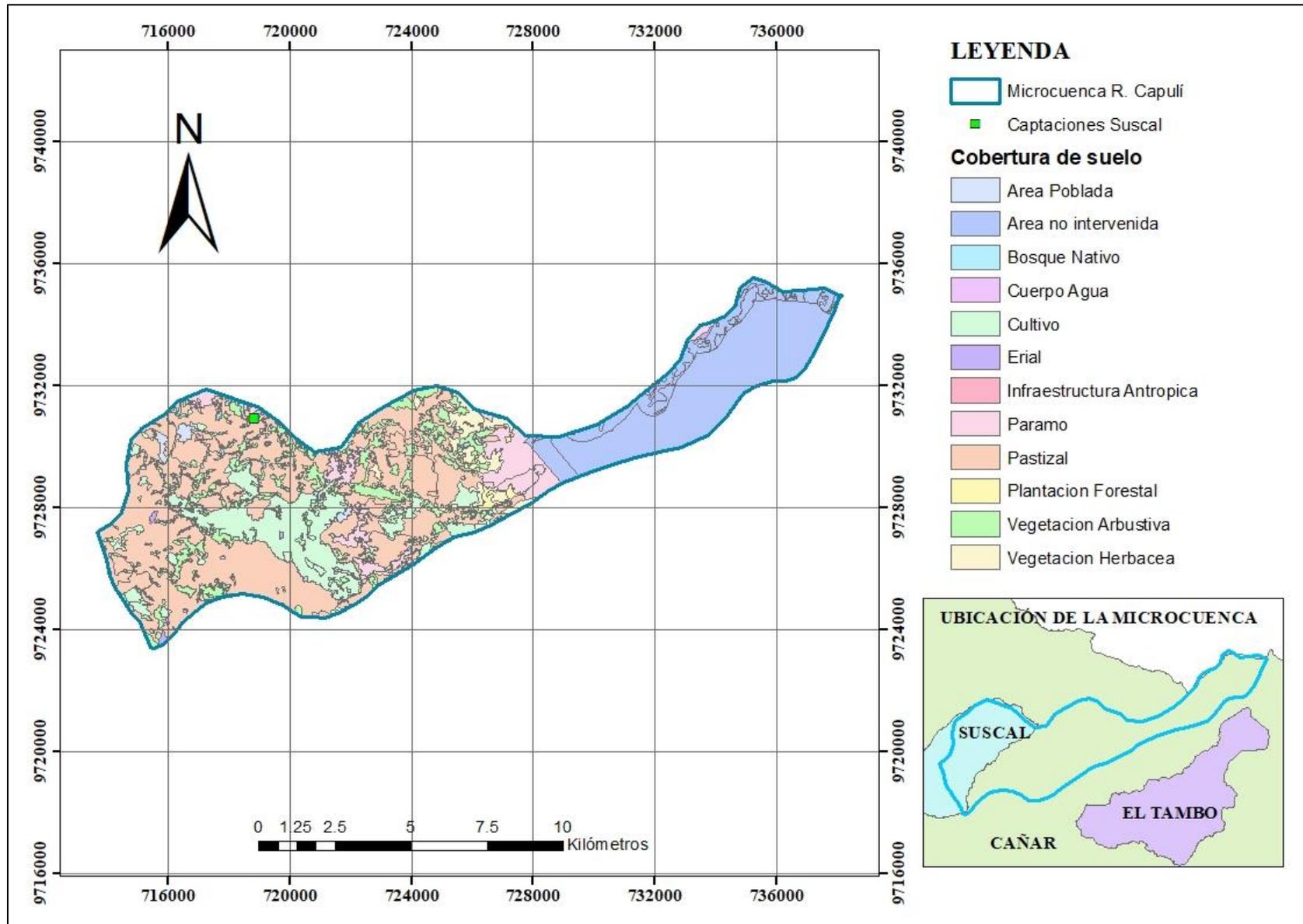


Anexo 2. 6 Mapa de la cobertura de suelo de la Microcuenca del Río Burgay.

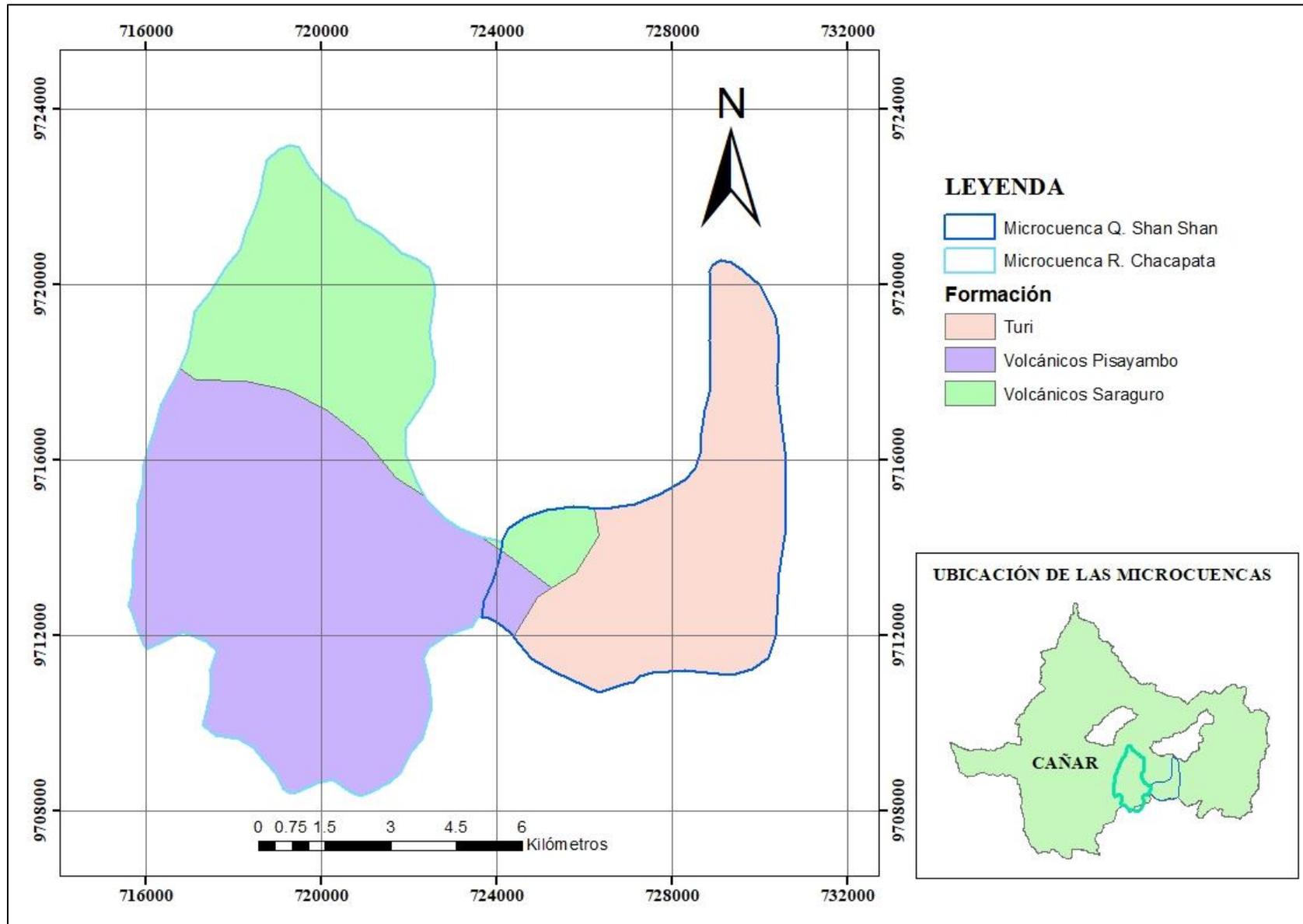
Anexo 2. 7 Mapa de la cobertura de suelo de la Microcuenca del Río San Antonio.



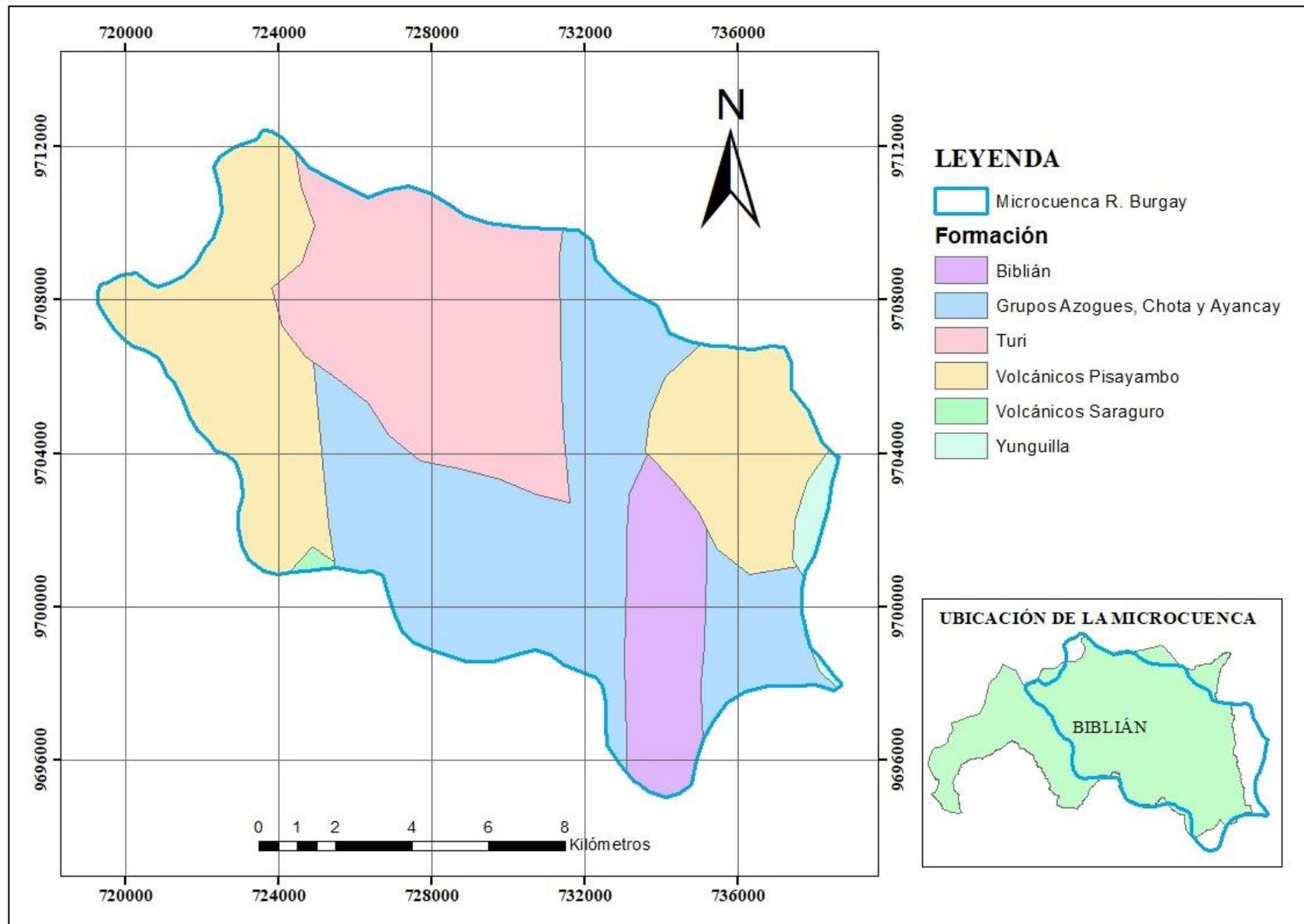
Anexo 2. 8 Mapa de la cobertura de suelo de la Microcuenca del Río Capulí.



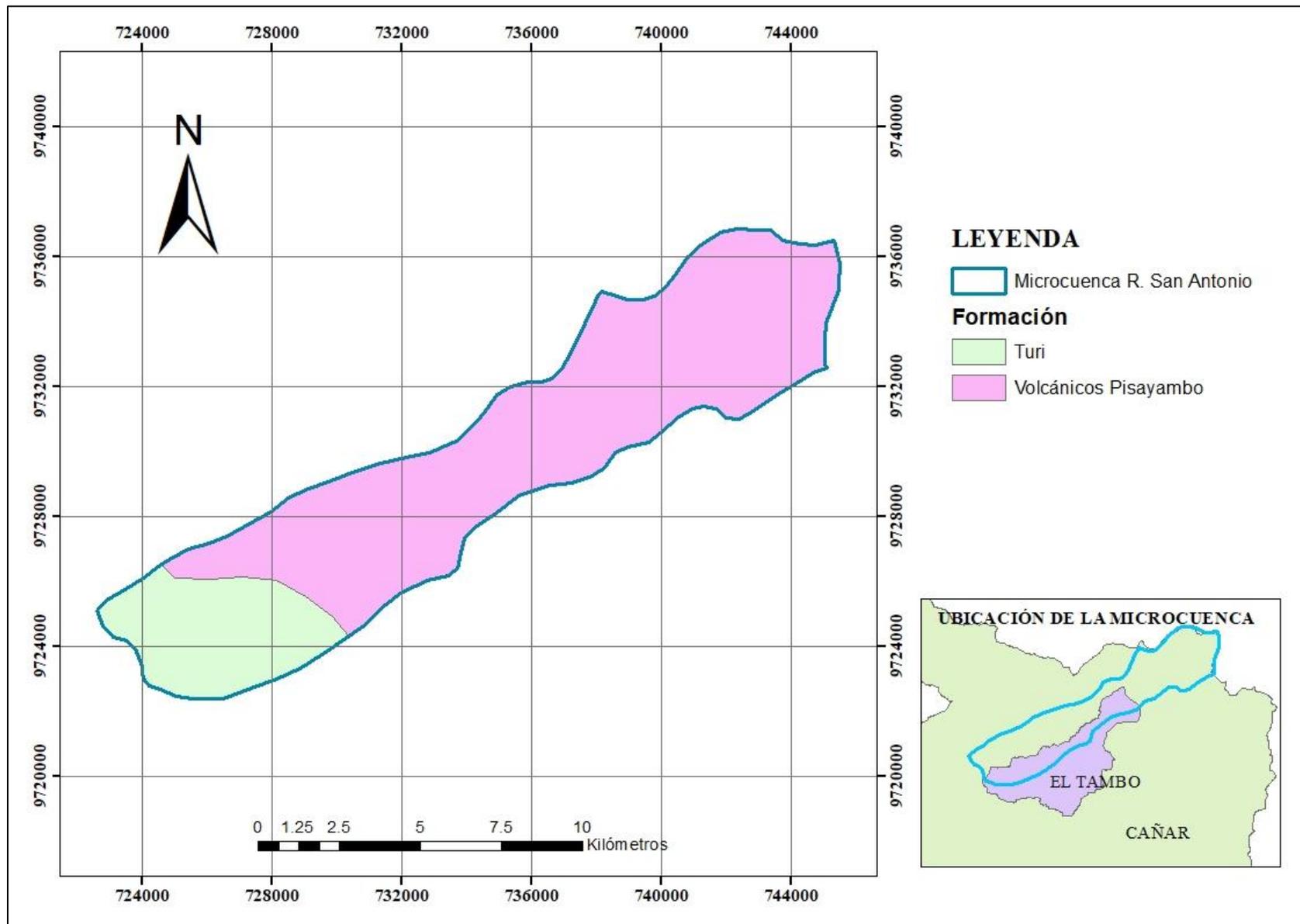
Anexo 2. 9 Mapa geológico de la Microcuenca del Río Chacapata y la Microcuenca de la Quebrada Shan Shan.



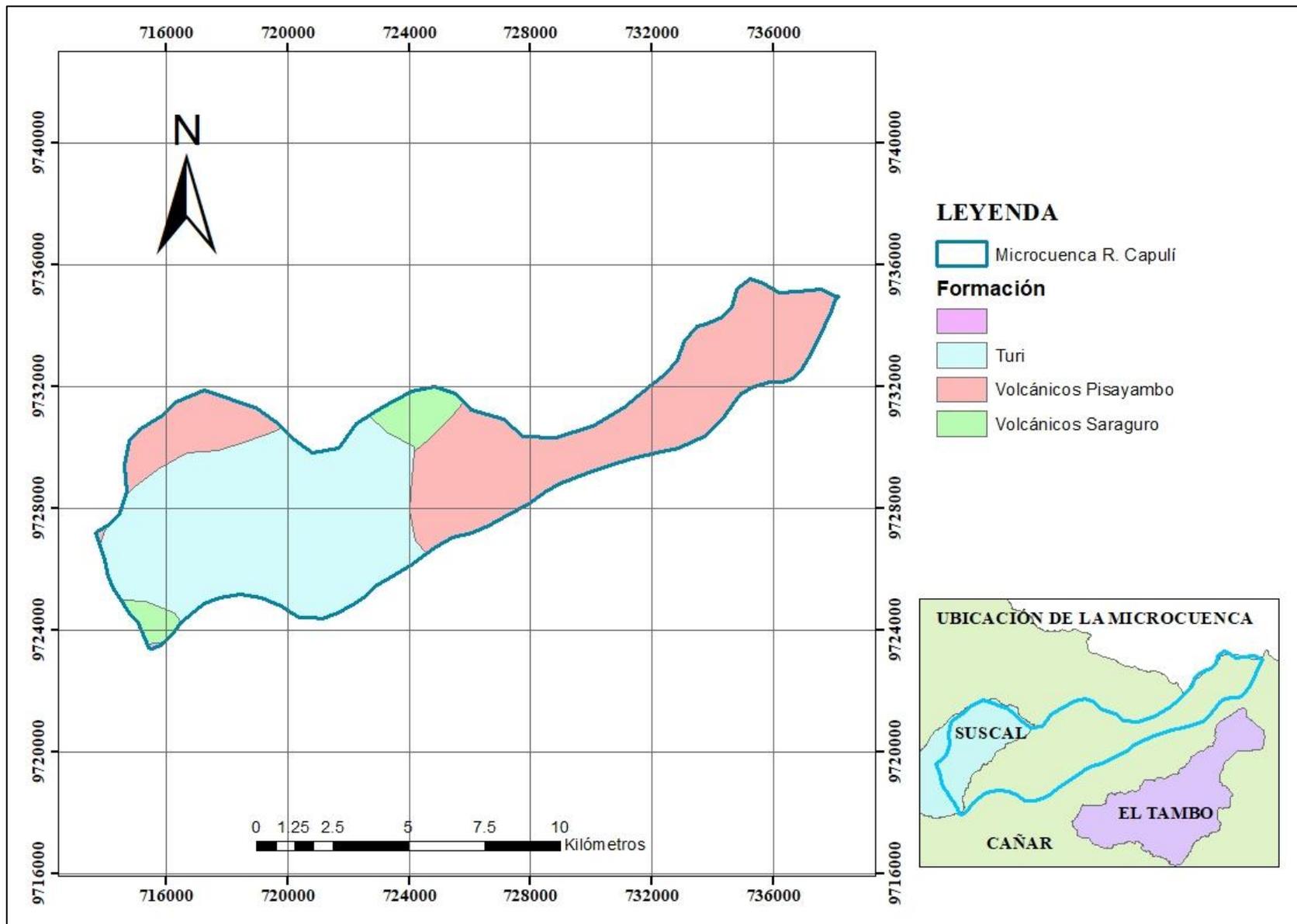
Anexo 2. 10 Mapa geológico de la Microcuenca del Río Burgay.



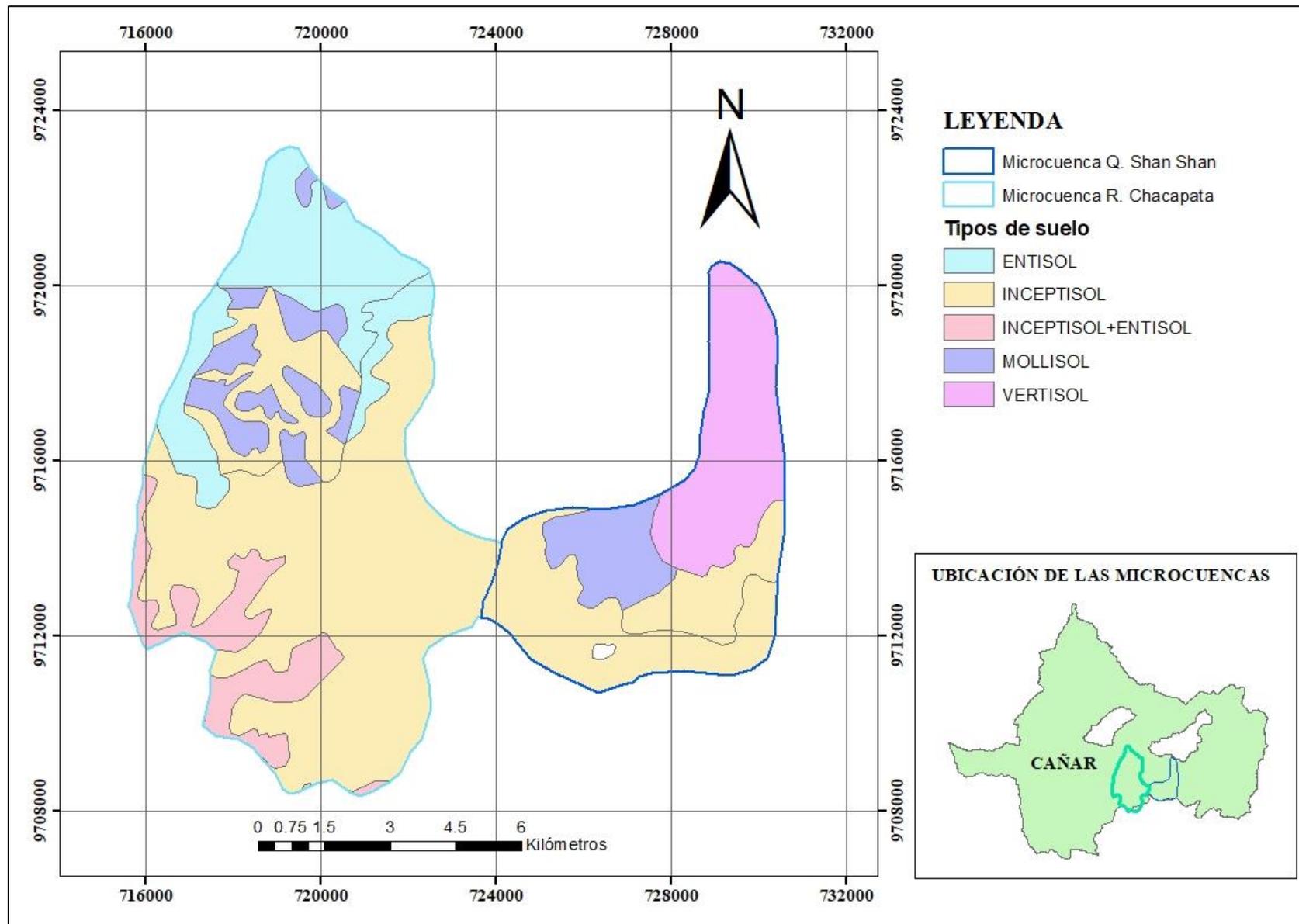
Anexo 2. 11 Mapa geológico de la Microcuenca del Río San Antonio.



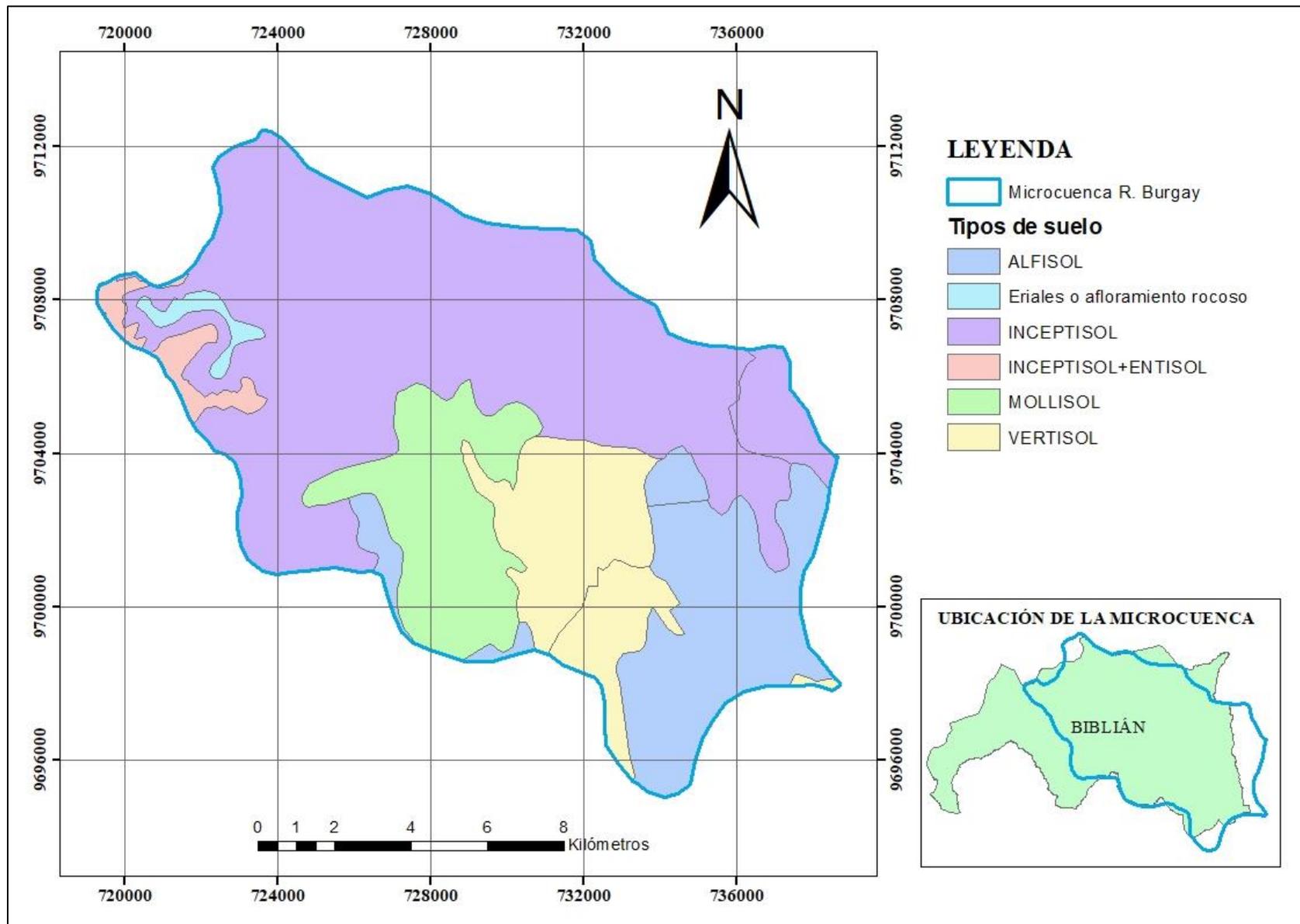
Anexo 2. 12 Mapa geológico de la Microcuenca del Río Capulí



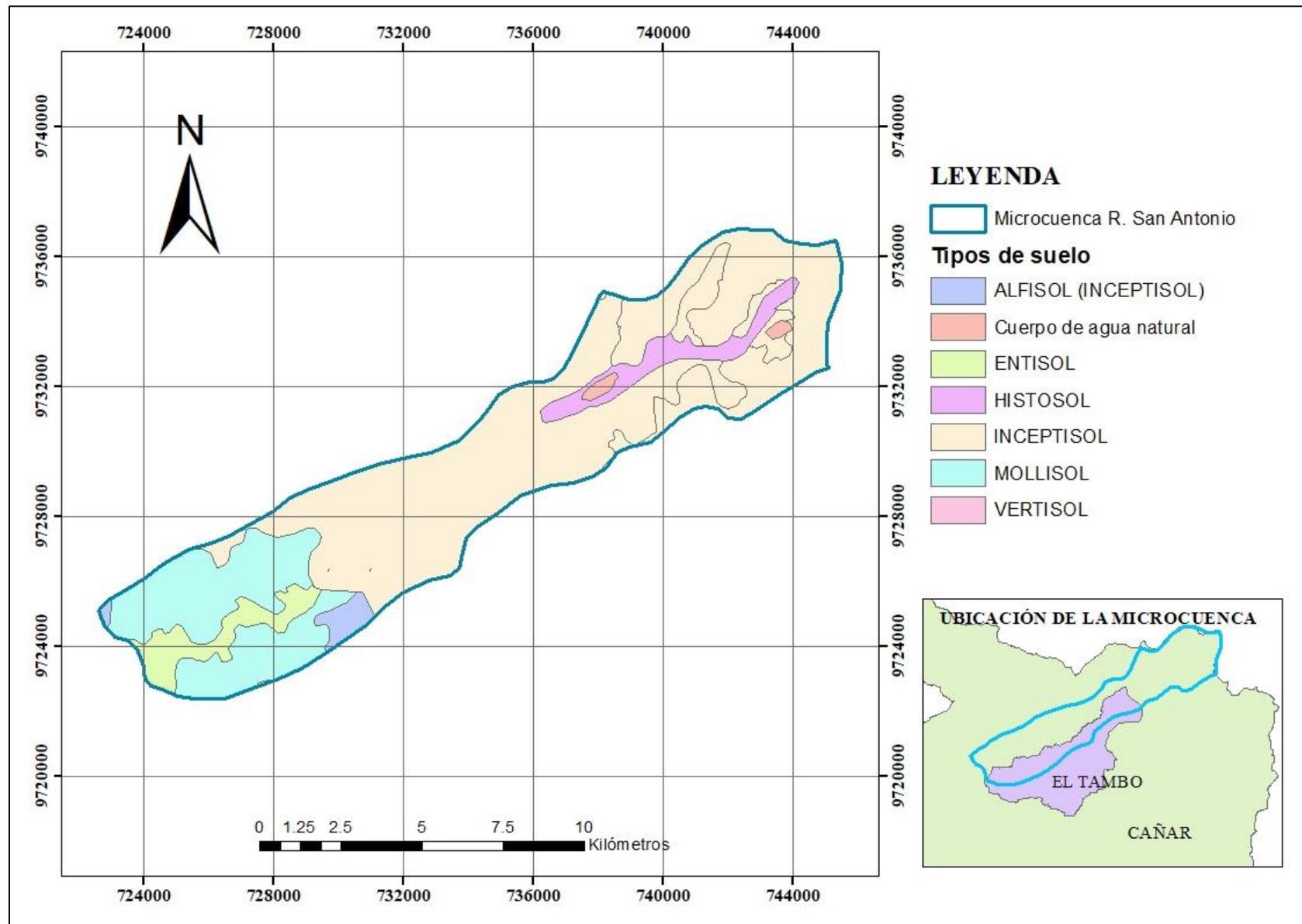
Anexo 2. 13 Mapa de tipos de suelo de la Microcuenca del Río Chacapata y la Microcuenca de la Quebrada Shan Shan.



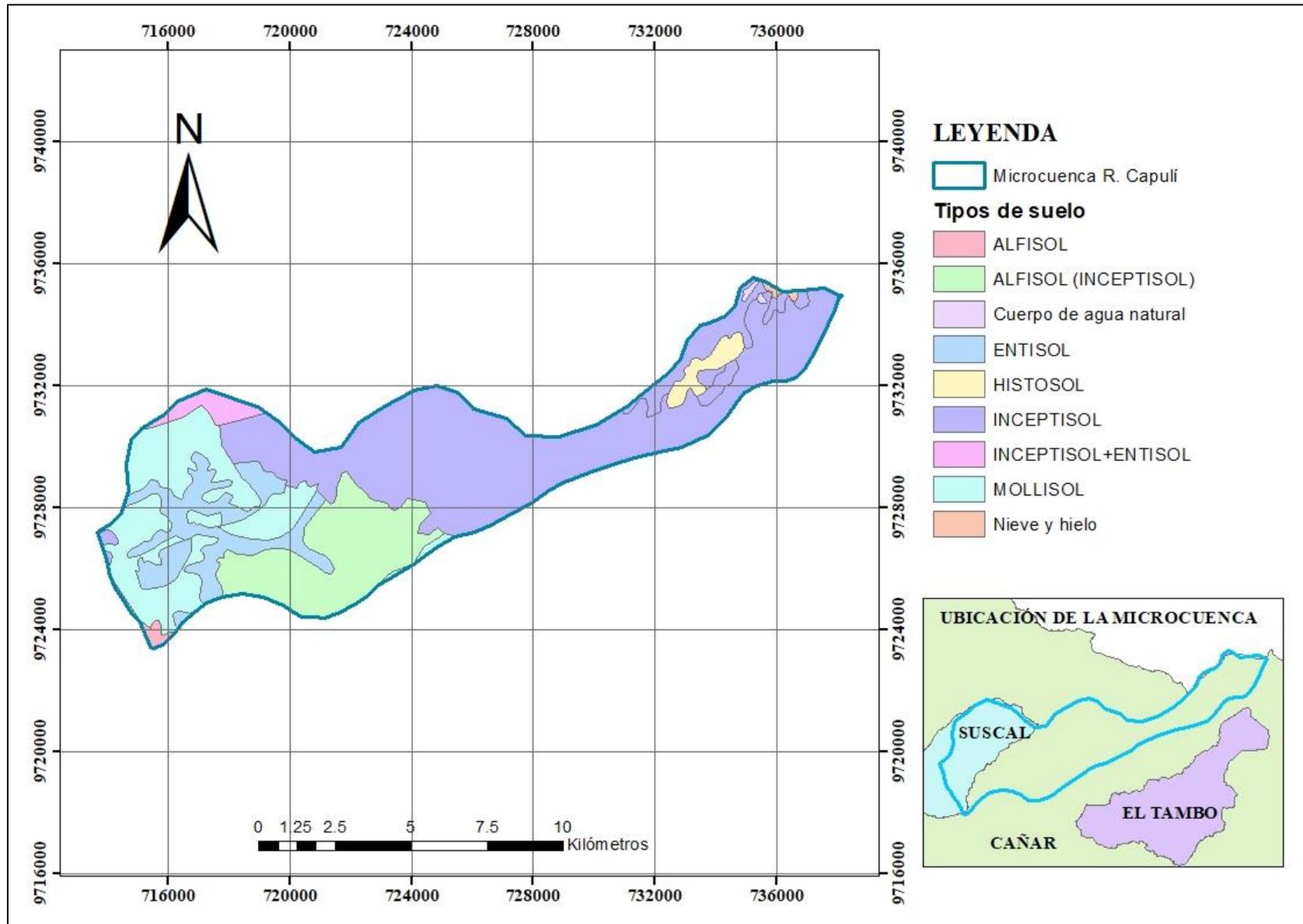
Anexo 2. 14 Mapa de los tipos de suelo de la Microcuenca del Río Burgay



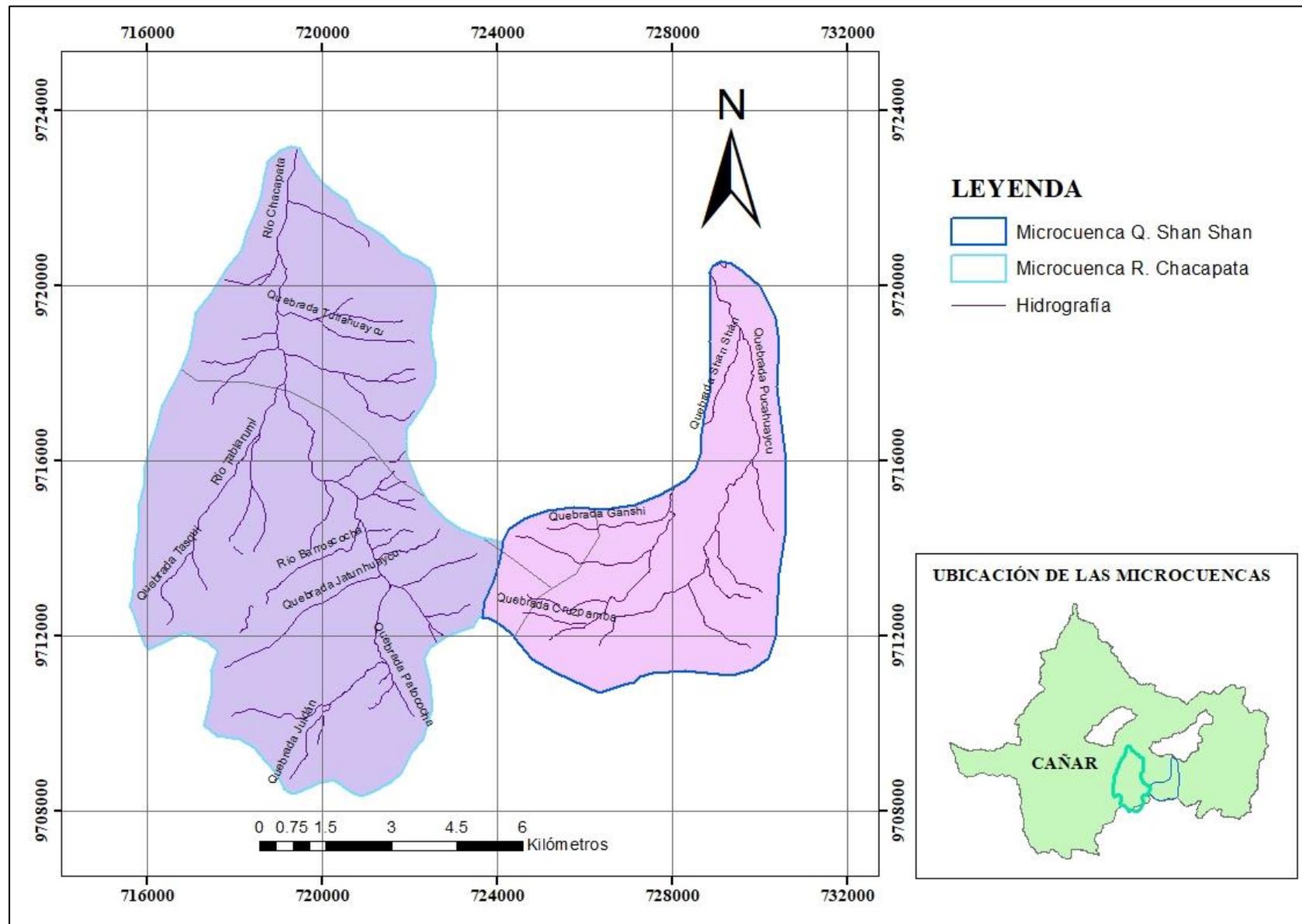
Anexo 2. 15 Mapa de los tipos de suelo de la Microcuenca del Río San Antonio



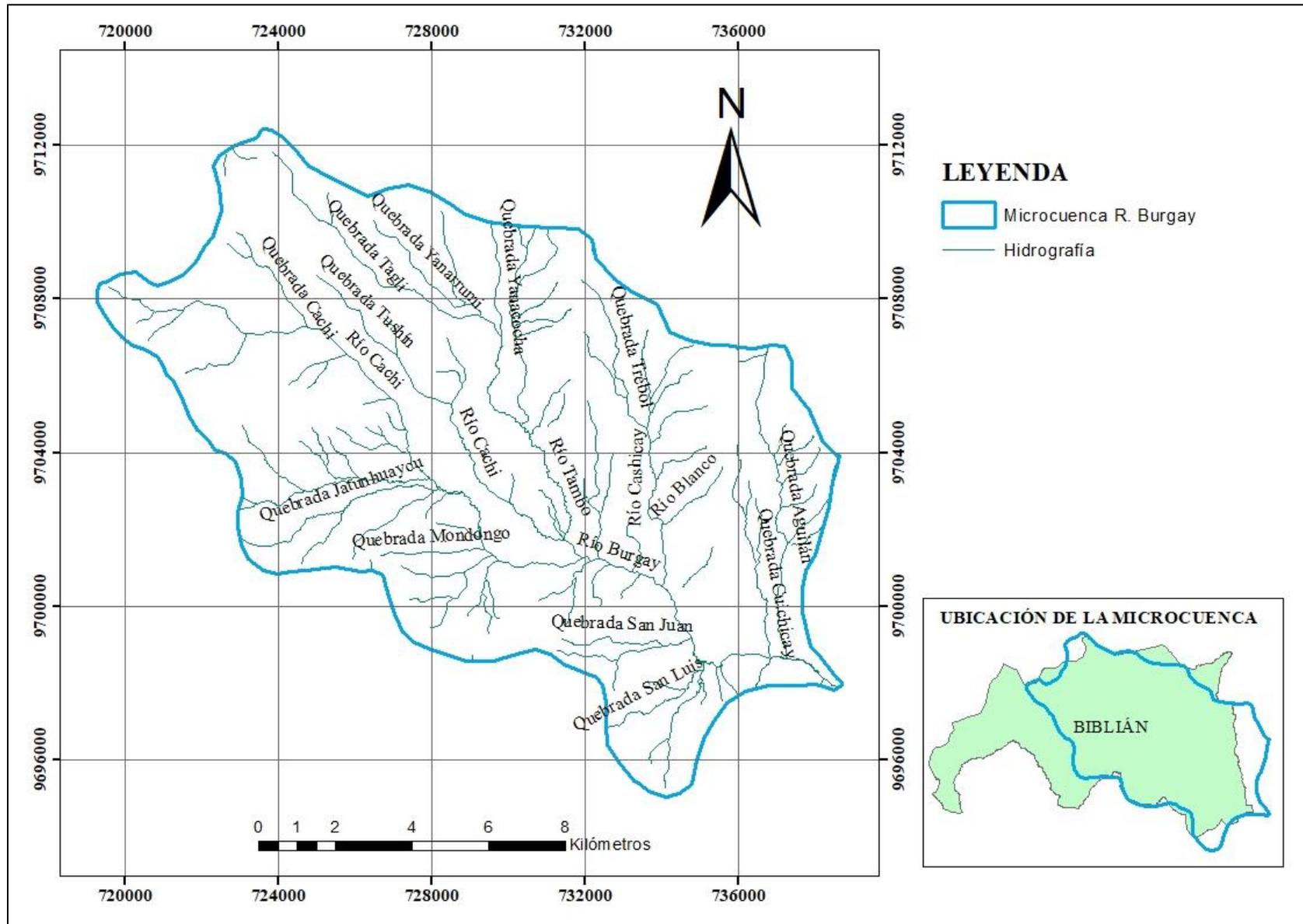
Anexo 2. 16 Mapa de los tipos de suelo de la Microcuenca del Río Capulí.



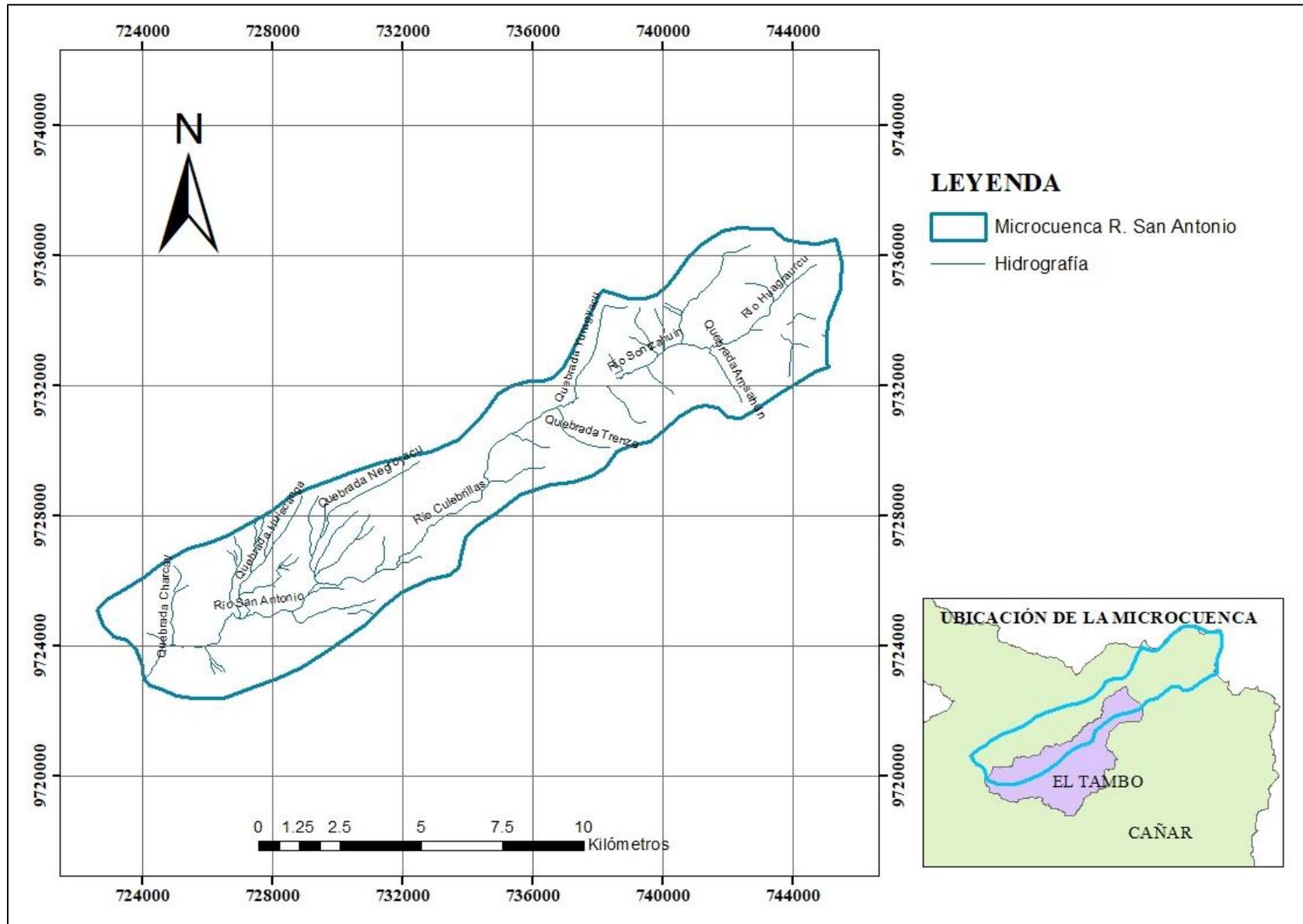
Anexo 2. 17 Mapa de la hidrografía de la Microcuenca del Río Chacapata y la Microcuenca de la Quebrada Shan Shan.



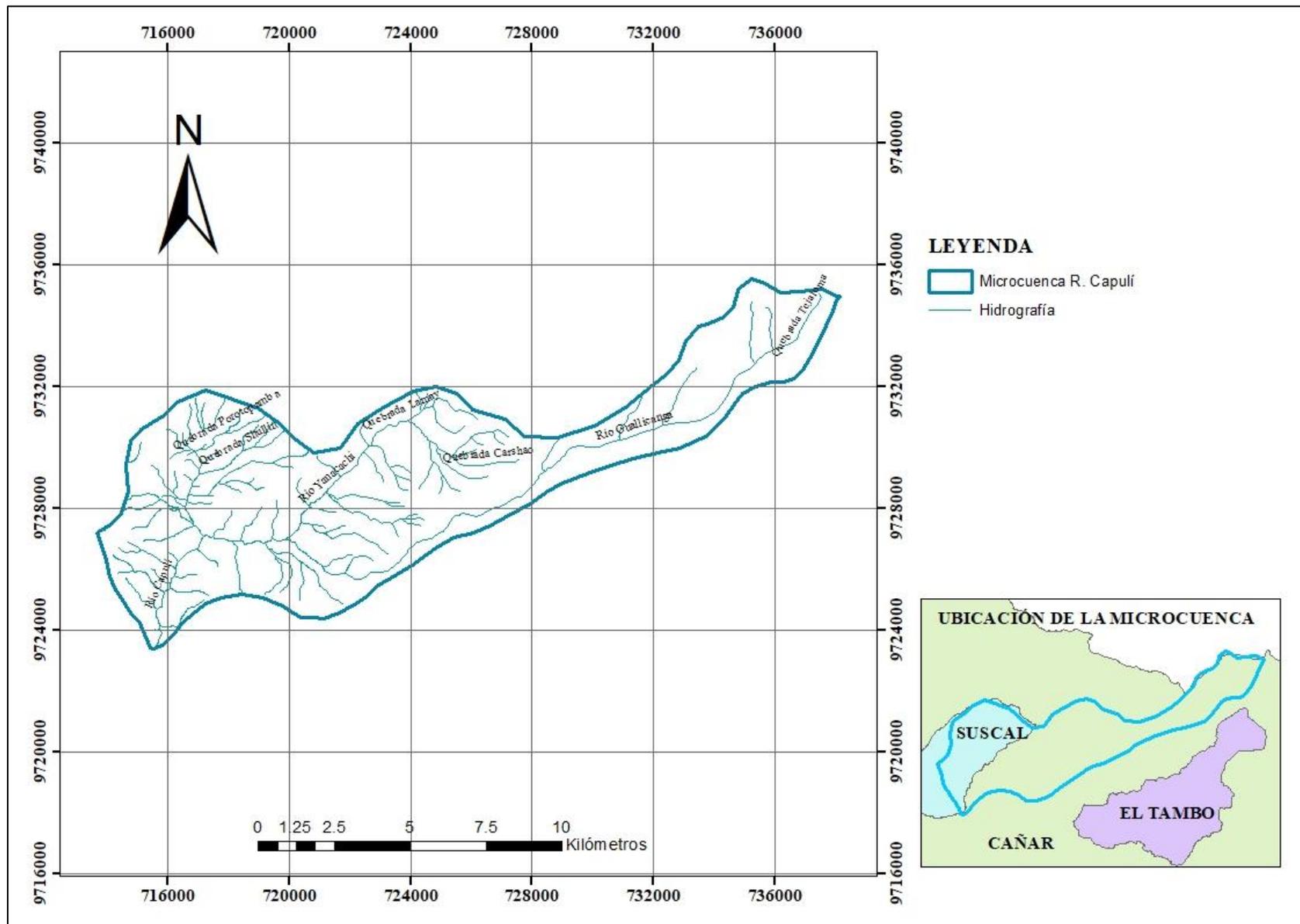
Anexo 2. 18 Mapa de la hidrografía de la Microcuenca del Río Burgay



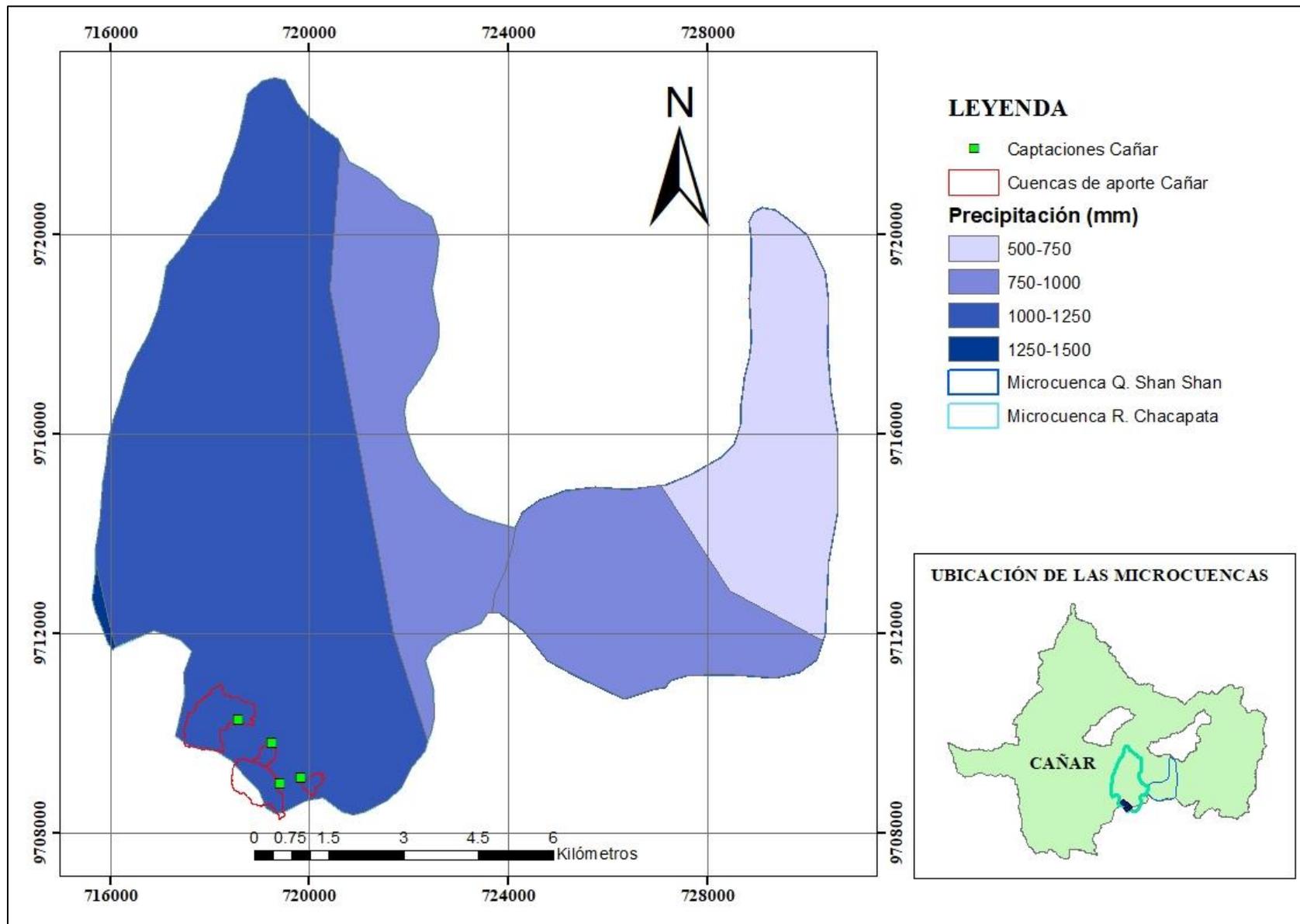
Anexo 2. 19 Mapa de la hidrografía de la Microcuenca del Río San Antonio



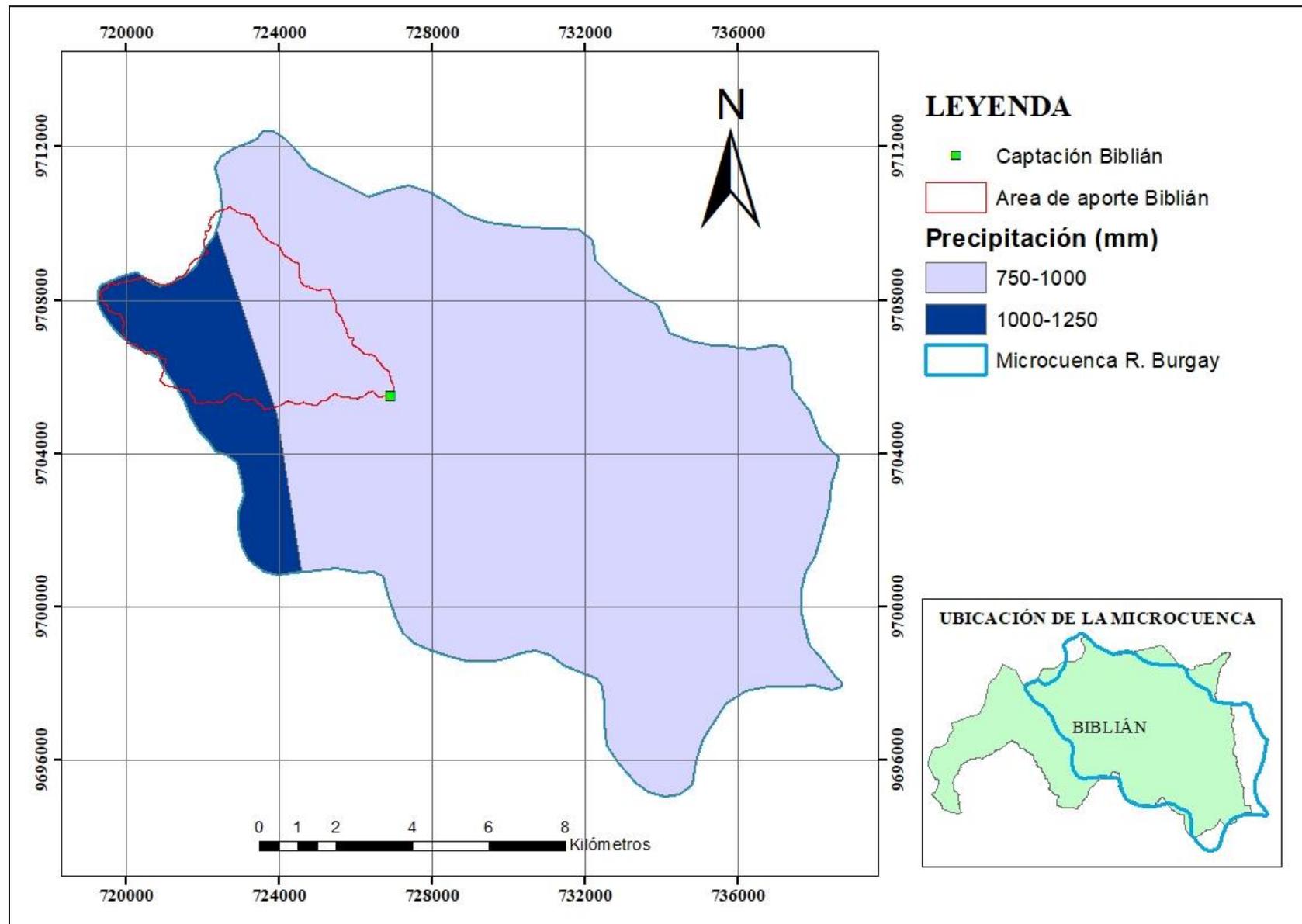
Anexo 2. 20 Mapa de la hidrografía de la Microcuenca del Río Capulí.



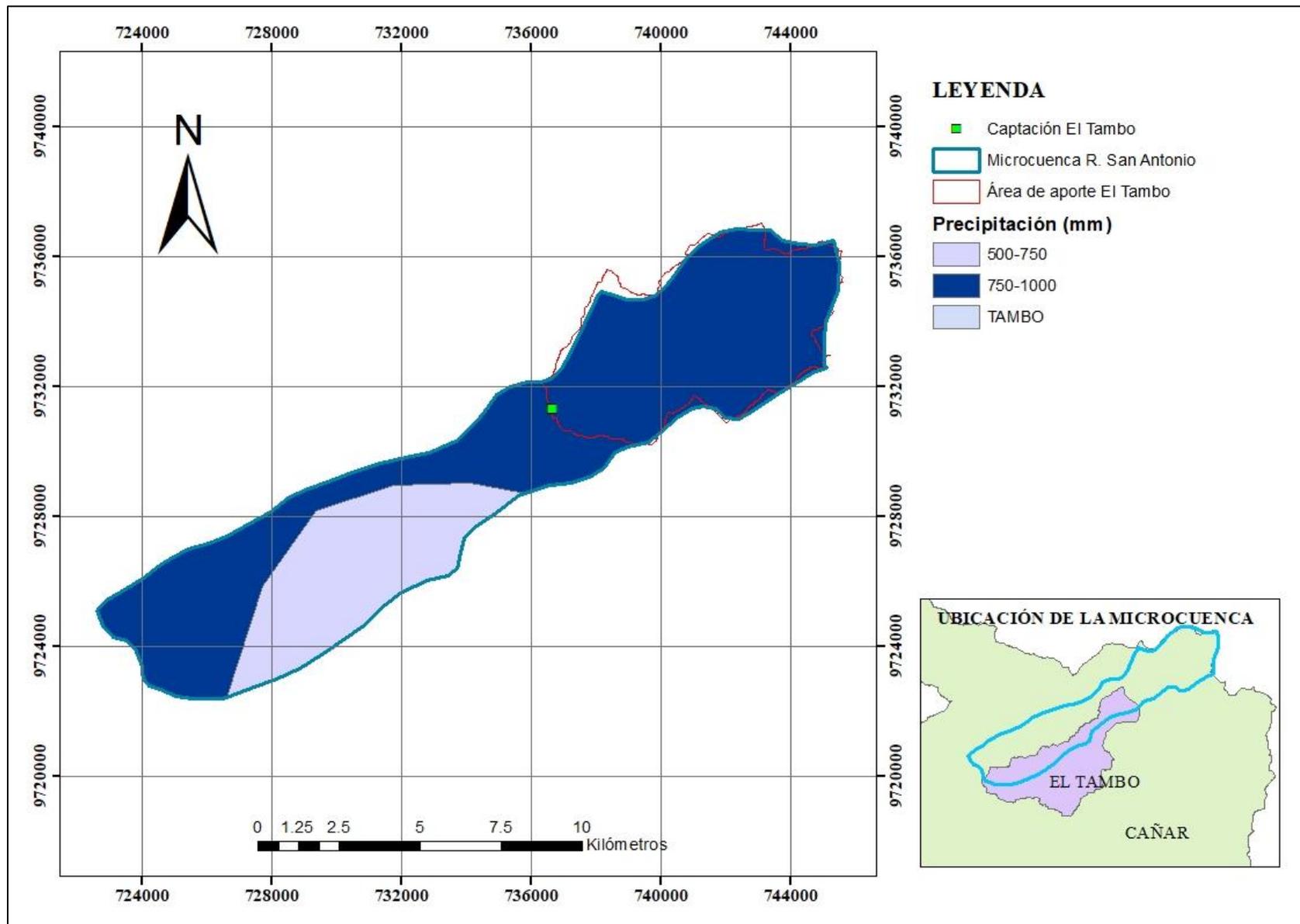
Anexo 4. 1 Mapa de Isoyetas de la Microcuenca del Río Chacapata y la Quebrada Shan Shan.



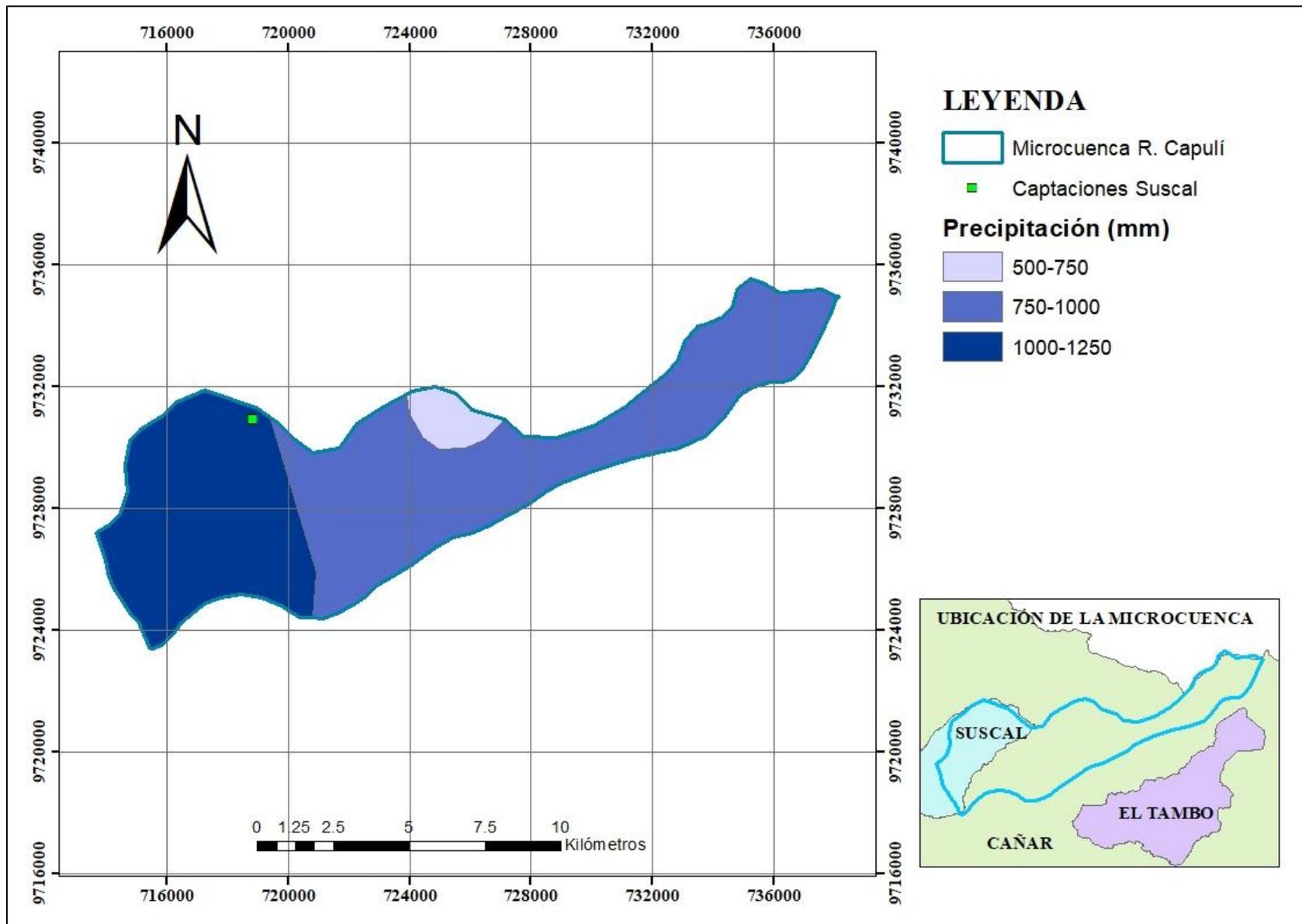
Anexo 4. 2 Mapa de Isoyetas de la Microcuenca del Río Burgay.



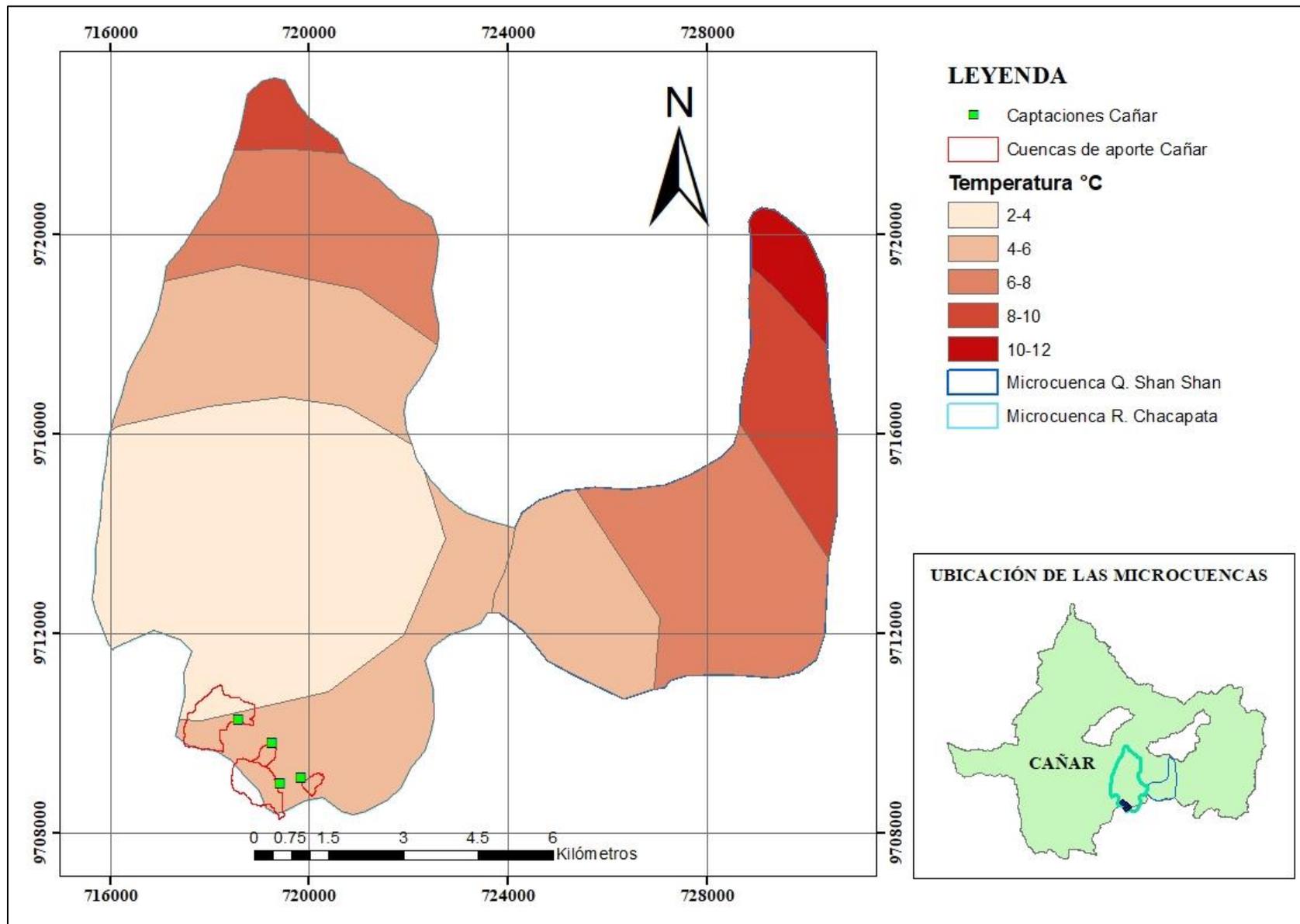
Anexo 4. 3 Mapa de Isoyetas de la Microcuenca del Río San Antonio.



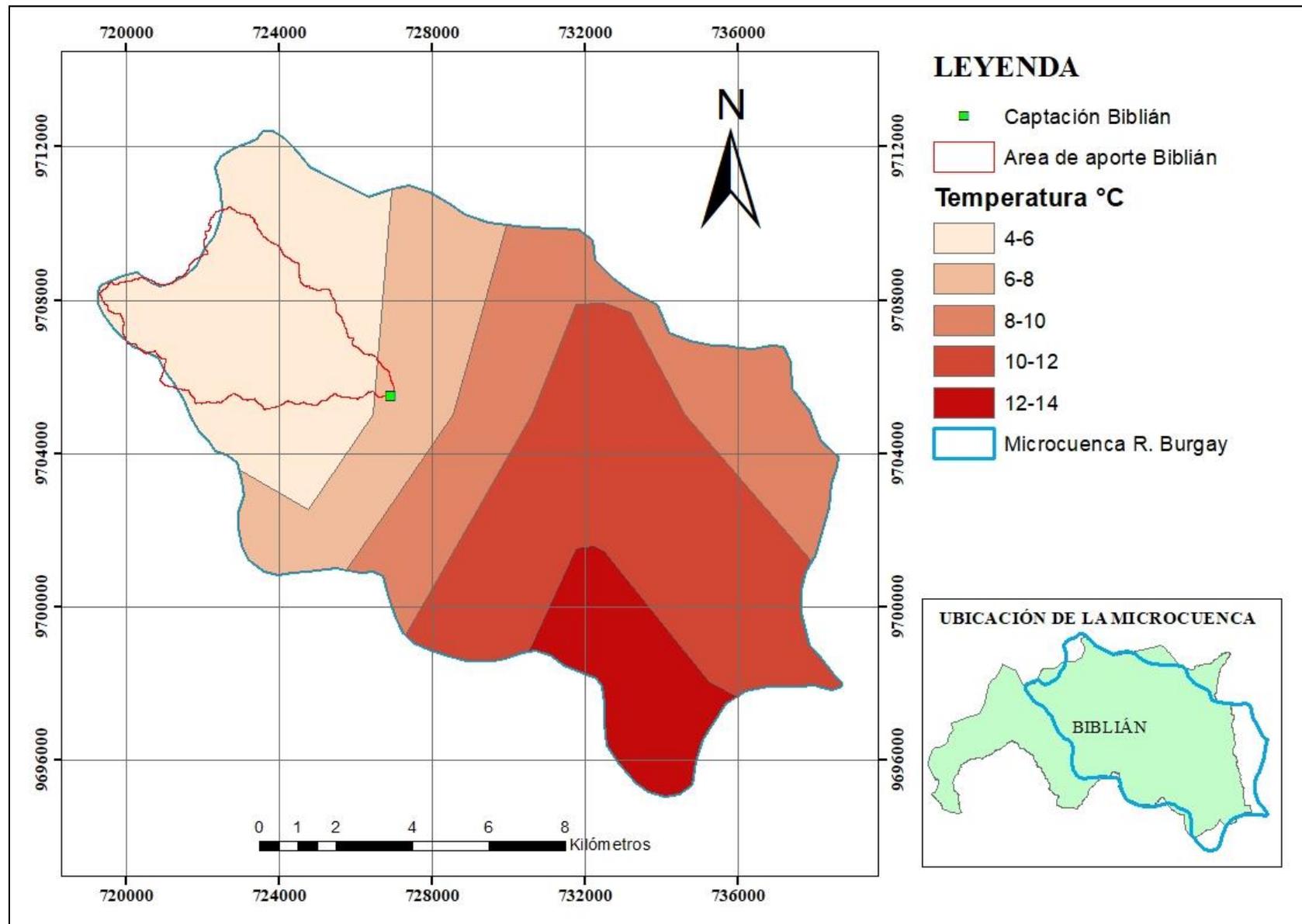
Anexo 4. 4 Mapa de Isoyetas de la Microcuenca del Río Capulí.



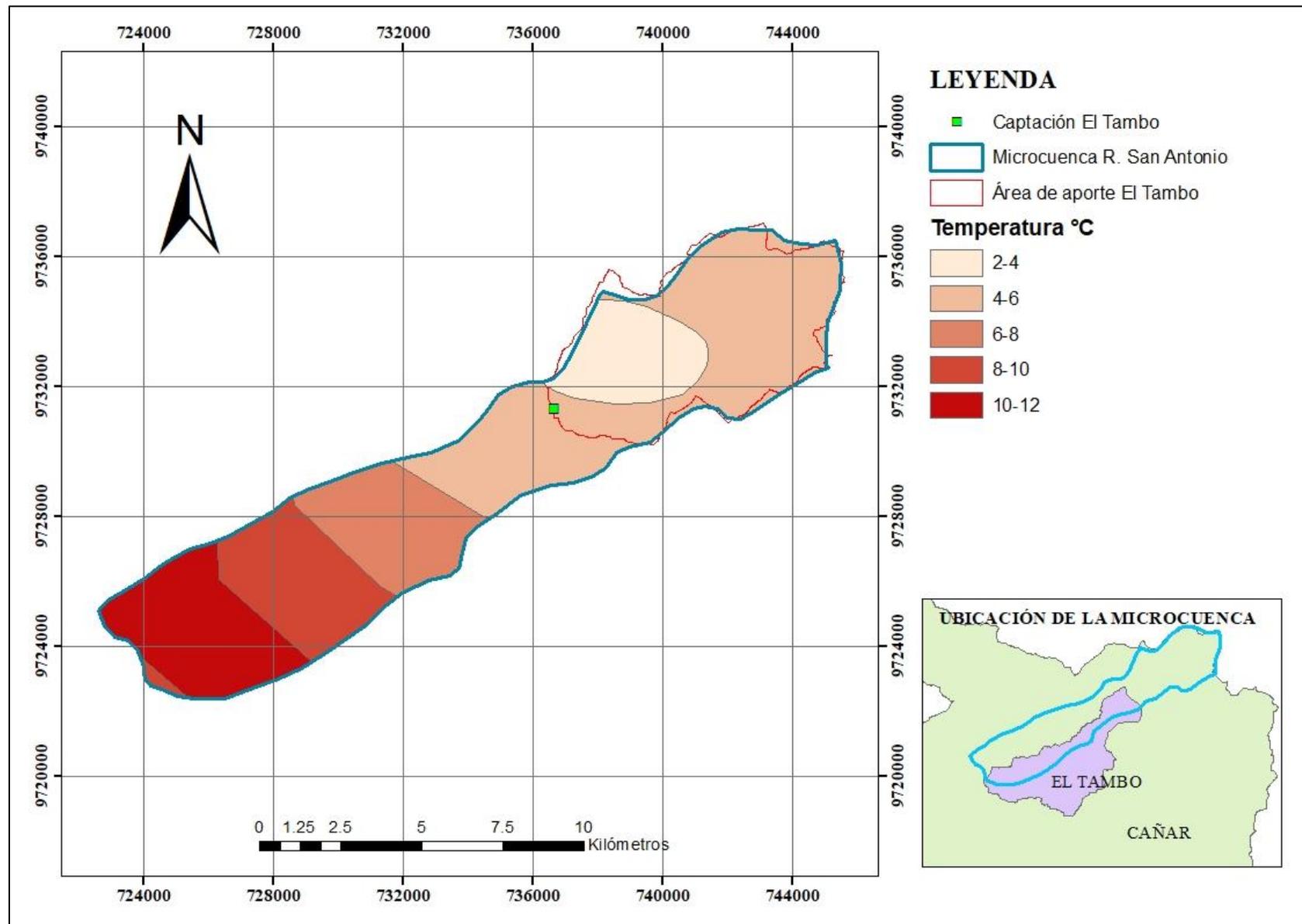
Anexo 4. 5 Mapa de Isotermas de la Microcuenca del Río Chacapata y la Quebrada Shan Shan.



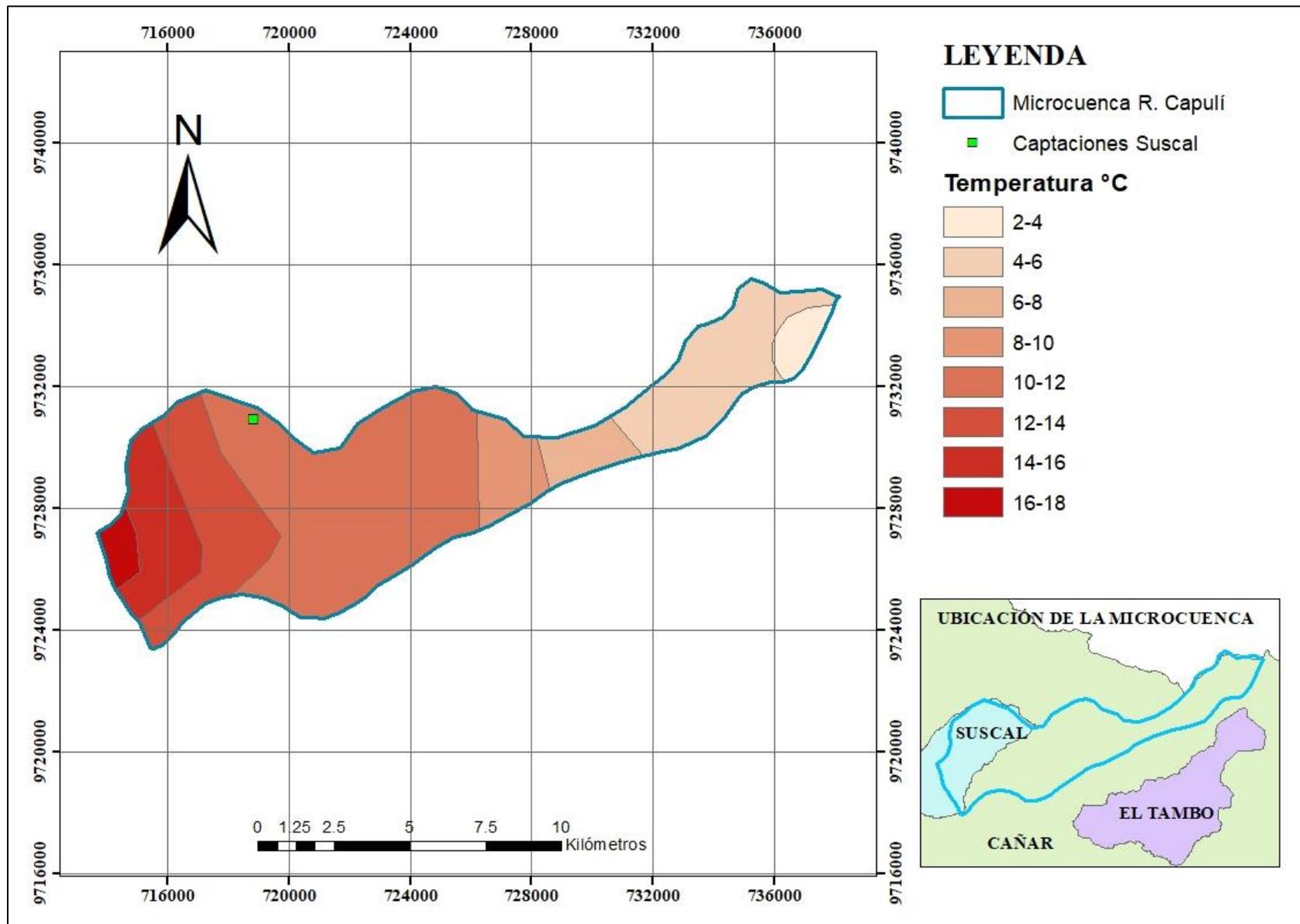
Anexo 4. 6 Mapa de Isotermas de la Microcuenca del Río Burgay.



Anexo 4. 7 Mapa de Isotermas de la Microcuenca del Río San Antonio.



Anexo 4. 8 Mapa de Isotermas de la Microcuenca del Río Capulí.





Anexo 4. 9 Tabla resumen del cálculo de caudales de escorrentía de las cuencas de aporte de Cañar.

| Cuenca de aporte Cañar 1 | | | | Cuenca de aporte Cañar 2 | | | |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------|-------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|------|
| Uso | Pendiente | Área (km ²) | C | Uso | Pendiente | Área (km ²) | C |
| Páramo | Muy Fuerte (70-100) | 0.05 | 0.3 | Páramo | Muy Fuerte (70-100) | 0.17 | 0.3 |
| Páramo | Fuerte (40-70%) | 0.79 | 0.3 | Páramo | Fuerte (40-70%) | 0.26 | 0.3 |
| Páramo | Media a Fuerte (25-40) | 0.22 | 0.25 | Páramo | Media a Fuerte (25-40) | 0.05 | 0.25 |
| C ponderado | | | 0.29 | Páramo | Media (>12-25) | 0.25 | 0.25 |
| A cuenca (Km ²) | | | 1.06 | C ponderado | | | 0.28 |
| P (mm) | | | 3.13 | A cuenca (Km ²) | | | 0.72 |
| Tc (h) | | | 0.18 | P (mm) | | | 3.13 |
| I (mm/h) | | | 3.76 | Tc (h) | | | 0.15 |
| Q (m ³ /s) | | | 0.28 | I (mm/h) | | | 4.07 |
| | | | | Q (m ³ /s) | | | 0.23 |
| Cuenca de aporte Cañar 4 | | | | Cuenca de aporte Cañar 3 | | | |
| Uso | Pendiente | Área (km ²) | C | Uso | Pendiente | Área (km ²) | C |
| Páramo | Muy Fuerte (70-100) | 0.04 | 0.3 | Páramo | Muy Fuerte (70-100) | 0.00 | 0.3 |
| Páramo | Fuerte (40-70%) | 0.03 | 0.3 | Páramo | Fuerte (40-70%) | 0.00 | 0.3 |
| Páramo | Media a Fuerte (25-40) | 0.01 | 0.25 | Páramo | Media a Fuerte (25-40) | 0.00 | 0.25 |
| Páramo | Media (>12-25) | 0.04 | 0.25 | Páramo | Media (>12-25) | 0.00 | 0.25 |
| C ponderado | | | 0.30 | C ponderado | | | 0.30 |
| A cuenca (Km ²) | | | 0.13 | A cuenca (Km ²) | | | 0.11 |
| P (mm) | | | 3.13 | P (mm) | | | 3.13 |
| Tc (h) | | | 0.09 | Tc (h) | | | 0.08 |
| I (mm/h) | | | 5.20 | I (mm/h) | | | 5.78 |
| Q (m ³ /s) | | | 0.046 | Q (m ³ /s) | | | 0.05 |

Anexo 4. 10 Tabla resumen del cálculo de caudales de escorrentía de la cuenca de aporte de Suscal.

| Cuenca de aporte Suscal 1 | | | |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------|-------|
| Uso | Pendiente | Área (km ²) | C |
| 70% | | | |
| Vegetación arbustiva y 30% Pasto | Media a Fuerte (25-40) | 0.0074 | 0.45 |
| P (mm) | | | 3.13 |
| Tc (h) | | | 0.08 |
| I (mm/h) | | | 5.44 |
| Q (m ³ /s) | | | 0.005 |
| Cuenca de aporte Suscal 2 | | | |
| Uso | Pendiente | Área (km ²) | C |

| | | | |
|---|------------------------|-----------------------|------|
| 70% Vegetación arbustiva y 30% Pasto | Muy Fuerte (70-100) | 0.0127 | 0.50 |
| | | P (mm) | 3.13 |
| | | Tc (h) | 0.08 |
| | | I (mm/h) | 6.43 |
| | | Q (m ³ /s) | 0.01 |

Anexo 4. 11 Zonificación Agroecológica del Austro ecuatoriano

