



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL RECURSO HÍDRICO Y
ESTADO ACTUAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHORLAVÍ**

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

AUTOR:

RIOFRIO HUMANANTE STEEVEN ARIEL

DIRECTOR:

Ing. Layana Bajaña Eleonora Melissa MSc.

IBARRA, 2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1725202236	
APELLIDOS Y NOMBRES	Riofrio Humanante Steeven Ariel	
DIRECCIÓN:	Tabacundo-Pichincha	
EMAIL:	mr.arielle@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0991916414

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL RECURSO HÍDRICO Y ESTADO ACTUAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHORLAVÍ
AUTORES:	Riofrio Humanante Steeven Ariel
FECHA:	09 de julio 2023
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Melissa Layana MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 9 días del mes de julio de 2023

EL AUTOR:



Steeven Ariel Riofrio Humanante

1725202236



CERTIFICACIÓN ENTREGA TRABAJO TITULACIÓN
TRIBUNAL TUTOR

Ibarra, 07 de julio del 2023

Para los fines consiguientes, CERTIFICAMOS que el señor RIOFRIO HUMANANTE STEEVEN ARIEL, autor/a del trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL RECURSO HÍDRICO Y ESTADO ACTUAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHORLAVÍ.", estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** entrega el documento en digital.

Atentamente,

TRIBUNAL DE GRADO

FIRMA

MSc. Melissa Layana
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. Gabriel Jácome
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Santiago Cabrera
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ibarra, 07 de julio del 2023

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "EVALUACION DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL RECURSO HÍDRICO Y ESTADO ACTUAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHORLAVÍ.", de autoria del señor /ita RIOFRIO HUMANANTE STEEVEN ARIEL, estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el/la autor/a o autores ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

MSc. Melissa Layana
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. Gabriel Jácome
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Santiago Cabrera
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyeron de manera significativa en la realización de esta tesis. Su apoyo y generosidad fueron fundamentales para el éxito de este proyecto.

En primer lugar, quiero agradecer a mi directora MSc. Melissa Layana, por su guía experta, paciencia y dedicación a lo largo de todo el proceso de investigación. Sus valiosos consejos, comentarios y motivación constante fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

También deseo agradecer a los miembros del comité académico, Ing. Gabriel Jácome MSc., Ing. Santiago Cabrera MSc., por su tiempo y esfuerzo en la revisión de esta tesis. Sus comentarios y sugerencias enriquecieron enormemente el contenido y calidad del trabajo.

Mi gratitud se extiende al Gobierno Provincial de Imbabura, al Ing. Jorge Castro, por su colaboración y apoyo en la recolección de datos y provisión de los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación.

No puedo pasar por alto el apoyo incondicional de mi familia. A mis Padres, Darwin, Eugenia y Nuvia les agradezco por su amor, paciencia y aliento constante a lo largo de todos estos años. Su apoyo emocional y su confianza en mí han sido mi mayor fortaleza.

Ariel Riofrío Humanante

DEDICATORIA

A ti, mi amado Creador, te dedico esta tesis como muestra de gratitud por todas las bendiciones y oportunidades que me has otorgado. Tu luz y dirección han iluminado mi camino, inspirándome a alcanzar mis metas y superar los desafíos. Agradezco por las enseñanzas y lecciones de vida que he recibido a través de este proceso de investigación. Tu presencia constante me ha dado paz en momentos de incertidumbre y me ha recordado que nada es imposible cuando tengo fe en ti.

A mí papá, mamá, y hermanas quienes siempre creyeron en mí y me brindaron su amor incondicional. Su constante aliento y sacrificio han sido el motor que me impulsó a seguir adelante y alcanzar mis metas. Esta tesis es un testimonio de su amor y dedicación.

A mis queridos amigos, Lady, Vale, Anderson, Alen y Galo, quienes han sido mi fuente de alegría, motivación y aliento durante todo este proceso. Sus palabras de ánimo, sesiones de estudio conjuntas y risas compartidas han hecho que este camino sea más significativo y memorable.

Ariel Riofrío Humanante

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Páginas
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema de investigación y justificación	3
1.3. Pregunta directriz.....	5
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO II	6
REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Cuencas hidrográficas	6
2.1.1 <i>Características de las cuencas hidrográficas</i>	6
2.5. Marco legal.....	11
2.5.1. <i>Constitución de la República del Ecuador 2008</i>	11
2.5.2. Convenio de Estocolmo	12
2.5.3. Código Orgánico del Ambiente.....	12
2.5.4. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.....	12
2.5.5. Plan Nacional de Creación de Oportunidades 2021, 2025	13
2.5.6. Objetivos de Desarrollo Sostenible	13
CAPÍTULO III	14
METODOLOGÍA	14
3.1. Área de estudio	14
3.2. Métodos	16
3.3. Caracterización de la Microcuenca.....	20
3.4.1. Caracterización morfológica y delimitación de unidades ambientales en la microcuenca mediante el diseño del mapa actual del territorio.....	22
3.4.3. Determinación del escenario deseado y estrategias de conservación en la microcuenca	24
3.4.4. Diseño de estrategias dirigidas a la gestión del recurso hídrico y el manejo de la microcuenca hidrográfica.	25

CAPÍTULO IV	27
RESULTADOS.....	27
4.1. Caracterización de la microcuenca.....	27
4.1.1. Parámetros asociados a la forma de la cuenca.....	27
4.1.2 Estado Actual de la Microcuenca	28
4.1.3 Problemas Tendenciales	31
4.1.4. Modelo territorial deseado.....	34
4.2 Parámetros físicos y químicos.....	36
4.2.1.1 Temperatura.....	36
4.2.1.2 Turbidez.....	37
4.2.1.3. Sólidos Totales Disueltos	39
4.2.1.4. Oxígeno Disuelto.....	40
4.2.1.5. Conductividad	42
4.2.2.1. Potencial de Hidrógeno	43
4.2.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	44
4.2.2.3. Nitratos	45
4.2.2.4. Fósforo total	46
4.2.2.5. Nitrito	48
4.2.3.1 Coliformes fecales.....	49
4.2. Relación entre variables de calidad de agua.....	52
4.3.1 Mejora y modernización del sistema de alcantarillado.....	60
4.3.2. Implementación de buenas prácticas agrícolas.....	60
4.3.3. Plan de recuperación hídrica	62
CAPÍTULO V	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1 Conclusiones	63
5.2 Recomendaciones.....	64
REFERENCIAS	65
ANEXOS.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de la calidad del agua.....	17
Tabla 2 Rangos de pendientes de acuerdo con el tipo de relieve.....	20
Tabla 3 Parametros de forma.....	27
Tabla 4 Área Unidades Ambientales.....	28
Tabla 5 Conflicto uso del suelo.....	31
Tabla 6 Comparación Nitritos y LMP.....	48
Tabla 7 Resultados ICA-NSF obtenidos en los puntos de muestreo.....	50
Tabla 8 y 9 Resultados del CCME-CWQI obtenidos en los puntos de muestreo.....	52

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Mapa de Ubicación	15
Figura 2 Modelo Actual del territorio de la microcuenca del Río Chorlaví.....	30
Figura 3 Modelo Tendencial del territorio.....	33
Figura 4 Modelo Deseado del territorio.....	35
Figura 5 Variación de Temperatura.....	36
Figura 6 Variación de los valores de turbidez y LMP	38
Figura 7 Variación de los valor de SDT y LMP.....	39
Figura 8 Variación de los valores de Oxígeno Disuelto y LMP.....	41
Figura 9 Variación de los valores de Conductividad y LMP.....	42
Figura 10 Variación de los valores de pH y LMP.....	44
Figura 11 Variación de los valores de DBO ₅ y LMP.....	45
Figura 12 Variación de los valores de Nitratos y LMP.....	46
Figura 13 Variación de los valores de Fósforo Total y LMP.....	47
Figura 14 Comparación de los valores de Coliforme Fecales y LMP.....	49
Figura 15 Contribución relativa de cada variable original.....	53

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍAS EN CIENCIAS AGROPECUARIOS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL RECURSO HÍDRICO Y
ESTADO ACTUAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHORLAVÍ

Steeven Ariel Riofrio Humanante

RESUMEN

Hoy en día, los recursos hídricos están bajo presión debido al crecimiento de la población, el aumento de las actividades ganaderas y el establecimiento de asentamientos humanos en áreas inadecuadas. Esto ha llevado a la competencia por los limitados recursos de agua dulce. En este estudio realizado en la microcuenca del río Chorlaví, provincia de Imbabura, se investigaron las principales actividades antrópicas que se realizan y la implementación de los índices de calidad en el río, además se utilizó el sistema de información geográfica para evaluar el estado actual de la microcuenca y proponer estrategias de conservación. Los resultados obtenidos revelan tres conflictos principales: la contaminación del recurso hídrico debido al mal estado del alcantarillado, las prácticas agrícolas inadecuadas y la falta de conocimiento por parte de la sociedad. Además, la calidad del agua del río se clasifica como "media", lo que indica que aún tiene niveles aceptables, pero puede contener contaminantes o impurezas. Basados en estos resultados, se proponen tres estrategias: mejorar la infraestructura del alcantarillado en mal estado, implementar buenas prácticas agrícolas y desarrollar un plan de recuperación hídrica.

Palabras clave: Estrategias, calidad de agua, índices, actividades antrópicas

ABSTRACT

Today, water resources are under pressure due to population growth, increased livestock activities, and the establishment of human settlements in unsuitable areas. This has led to competition for limited freshwater resources. In this study conducted in the micro-watershed of the Chorlaví River, Imbabura province, the main anthropogenic activities carried out and the implementation of quality indexes in the river were investigated. The geographic information system was also used to evaluate the current state of the micro-watershed and propose conservation strategies. The results obtained reveal three main conflicts: contamination of the water resource due to the poor state of the sewage system, inadequate agricultural practices, and lack of knowledge on the part of society. In addition, the water quality of the river is classified as "medium", which indicates that it still has acceptable levels, but may contain contaminants or impurities. Based on these results, three strategies are proposed: improve the sewage infrastructure in poor condition, implement good agricultural practices, and develop a water recovery plan.

Keywords: Strategies, water quality, indices, anthropic activities

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El recurso hídrico es esencial para la vida en nuestro planeta, siendo una necesidad primordial para la supervivencia humana y desempeña un papel crucial en varios aspectos de nuestra existencia (Llorente et al., 2009). Desde la agricultura y la fabricación de suministros hasta la generación de energía, el agua juega un papel fundamental en sectores clave de nuestra sociedad, pero también puede servir como vehículo para una serie de enfermedades en el ser humano. Sorprendentemente, se han identificado alrededor de 20 enfermedades en las que el agua es un factor directo o indirecto en su aparición, algunas de las cuales tienen un significativo en la movilidad y mortalidad (Rodríguez, 2007).

El aumento de la población, la expansión ganadera y los asentamientos de personas en lugares inapropiados han intensificado la competencia por los suministros disponibles de agua, lo que ha generado un impacto perjudicial en la calidad del agua (Siles, 2003). La falta de medidas para controlar la contaminación compromete el uso sostenible del agua, lo que provoca una alteración de los parámetros físicos y químicos del agua (Otero, 2002).

En el contexto de Ecuador, la administración adecuada de los recursos acuáticos adquiere una gran importancia debido a los elevados niveles de contaminación presentes en las masas de agua superficial. La contaminación puede provenir de diversas fuentes, como la descarga de desechos industriales y domésticos sin tratar, la agricultura intensiva y el uso inadecuado de productos químicos. Por lo que es necesario obtener información precisa que permita desarrollar medidas concretas de protección y recuperación de las zonas que abastecen del recurso hídrico. (Pagiola, 2004).

En los ecosistemas acuáticos altoandinos, la biodiversidad se ve fuertemente influenciada por una serie de factores, entre ellos la altitud, la geología, el clima y las transformaciones fisicoquímicas del agua. El estudio de la calidad de agua en los ecosistemas acuáticos altoandinos tiene una relevancia muy significativa en la toma de decisiones relacionadas con la conservación de estos ecosistemas y así brindar información fundamental sobre el estado de los ecosistemas acuáticos, su funcionamiento y su capacidad para mantener la biodiversidad (Liévano y Ospina, 2007; Villamarín, 2008).

En el Ecuador según Torres et al., (2010) el Índice de Calidad de Agua (ICA) desempeña un papel fundamental, no solo como medida de evaluación de la calidad del agua, sino también como un criterio crucial para certificar el suministro de agua dulce. El ICA permite regular el suministro de agua disponible, evaluando el grado de peligro asociado con el incumplimiento de las características fisicoquímicas requeridas para el consumo humano, incluso después de haber sido tratada y purificada mediante técnicas específicas (CONAGUA, 2016).

La calidad del agua es esencial para preservar la salud de los seres vivos, la disposición de aguas residuales en cuerpos de agua puede alterar su composición y contaminarla con microorganismos, que, al ser ingeridos por las personas, pueden causar enfermedades gastrointestinales graves si no se tratan adecuadamente (Agudelo, 2015). Sin embargo, en zonas rurales y urbanas, la inspección de la calidad del recurso agua es limitado. De hecho, según la Organización Panamericana de la Salud (2012), sólo el 52% de los residentes urbanos de América cuenta con un sistema efectivo de seguimiento de la calidad del agua, y esto se reduce al 24% en América Latina y el Caribe.

Y esto se agrava por la deforestación y el monocultivo en las microcuencas, que han provocado daños ambientales irreparables. La ausencia de vegetación ha eliminado diversos hábitats y ha aumentado la erosión, lo que provoca la eliminación de sedimentos y rocas de las zonas más elevadas de la microcuenca hacia las vertientes. La realización de esta actividad ha resultado en una escasez de agua para el riego, lo cual ha resultado en el abandono del cultivo (Domínguez, 2019).

Los desafíos asociados con los recursos hídricos son cada vez más indiscutibles alrededor del mundo, la degradación gradual, la contaminación creciente, el crecimiento económico y demográfico, junto con estilos de vida que favorecen el consumo excesivo y la producción de residuos, han aumentado la demanda de agua (ADTI, 2003). Además, una mezcla de problemas económicos, socioculturales y la falta de programas de desarrollo ha llevado los seres humanos a explotar los recursos naturales de forma excesiva, lo que afecta categóricamente la calidad del agua (Rodier, 2005). Dado a las dificultades de contaminación que existen hoy en día y la carencia de procesos de supervisión de la contaminación también son factores que dificultan el uso sostenible del agua (Otero, 2002).

1.2. Problema de investigación y justificación

En muchas partes del mundo, incluyendo Ecuador, la escasez al agua dulce y alcantarillado es una dificultad importante. De acuerdo con la Política Nacional de Agua y Saneamiento, más de un tercio de la ciudadanía ecuatoriana no cuenta con agua dulce y casi la mitad carece de conexión a la red de alcantarillado. La cobertura de agua potable varía regionalmente, siendo del 68,50% en la Sierra, 55,20% en la Costa y 35,20% en el Oriente, mientras que la cobertura de alcantarillado es del 51,90% en la Sierra, 42,60% en la Costa y 24,70% en el Oriente (Gonzales, 2013). La situación es alarmante y es necesario implementar soluciones sostenibles y urgentes para garantizar el uso de agua y saneamiento en el país.

La expansión de las actividades agrícola y ganaderas, así como la urbanización de zonas no aptas, han ejercido una presión significativa sobre el recurso hídrico actualmente (Peña, 2013). Por lo tanto, la protección y conservación del agua dulce es imprescindible debido al aumento de la competencia por este recurso. En la microcuenca del río Chorlaví, las aguas residuales sólidas y líquidas provenientes de fuentes domesticas afectan los recursos hídricos, modificando las propiedades fisicoquímicas del agua (López, 2013).

De acuerdo con López (2013), la contaminación del agua en la microcuenca del río Chorlaví representa un peligro para la higiene y la hidrosfera, lo que exige la

adopción de medidas urgentes para reducir los riesgos a corto y mediano plazo. La descarga de desechos orgánicos e inorgánicos en el recurso hídrico causa un impacto negativo, aumentando la cantidad de sólidos disueltos y la contaminación del recurso hídrico (Sandoval y Günther, 2013). Los residuos de origen doméstico y agropecuario son los principales responsables de esta situación, según los autores.

En la microcuenca del río Chorlaví, el desconocimiento ambiental por parte de la población está causando un deterioro en la vegetación y vida silvestre de la zona, debido al manejo inadecuado de la microcuenca (Tituaña, 2012). La utilización de productos químicos, la generación de restos pecuarios, la incorrecta disposición de basura y la disposición de efluentes sólidos y líquidos en masas de agua están provocando alteraciones fisicoquímicas, bacteriológicas y biológicas en los ríos y quebradas, lo que coloca en riesgo el saneamiento ambiental. Por lo tanto, es crucial fomentar la conciencia ambiental en la población y establecer medidas efectivas para frenar el impacto negativo en la Microcuenca del Río Chorlaví.

Para abordar esta problemática, es fundamental examinar y comprobar la calidad del agua a través de su gestión y las tensiones sociales que surgen de las actividades tanto naturales como humanas. Con el fin de lograr esto, resulta crucial llevar a cabo la cartografía del grado de evolución del entorno que ha sido modificado por la intervención humana, tal como indica el estudio de Lee et al., (2015). El objetivo de esta indagación fue reconocer las actividades antrópicas mediante el análisis del índice de calidad en el río Chorlaví. Para ello, se emplearon técnicas de campo, observación, análisis estadístico, así como el uso de imágenes satelitales y la percepción remota, según los procedimientos y metodologías desarrolladas por Turner y Gardner (2015).

El estudio en cuestión ofrecerá información valiosa sobre el estado de la calidad del agua y la disponibilidad de las fuentes de agua en la microcuenca hidrográfica. Esta información es crucial para llevar a cabo un tratamiento adecuado del recurso agua, reducir los impactos negativos causados por las actividades antrópicas y garantizar un manejo sostenible del agua. En consecuencia, es primordial realizar una planificación del recurso hídrico basadas en los resultados del estudio.

Es importante resaltar que este estudio se ajusta con los objetivos del Plan

Nacional de Creación de Oportunidades 2021 - 2025, que incluye el eje de transición ecológica. El Objetivo 13 de dicho plan se centra en fomentar la gestión integral de los recursos hídricos que instituye que el Estado es responsable de garantizar un manejo responsable de los recursos hídricos en beneficio de la comunidad, y promover la protección, conservación y saneamiento del recurso hídrico (SENPLADES, 2021).

1.3. Pregunta directriz

- ¿Qué actividades antrópicas desarrolladas en la microcuenca del río Chorlaví están alterando la calidad del agua y su morfología?
- ¿Qué estrategias propuestas ayudarán a la gestión y manejo del recurso hídrico en el corto, mediano y largo plazo?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Analizar la calidad del agua de la microcuenca del río Chorlaví mediante indicadores físicos y químicos, relacionándolas con el manejo y ordenamiento de la cuenca.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la microcuenca del río Chorlaví con base en su estado de manejo y ordenamiento territorial.
- Determinar la calidad del agua a través de los resultados de los parámetros físico y químicos obtenidos y compararlos con la normativa ICA y TULSMA.
- Proponer estrategias dirigidas a la gestión del recurso hídrico y el manejo de la microcuenca hidrográfica.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cuencas hidrográficas

2.1.1 *Características de las cuencas hidrográficas*

Las cuencas hidrográficas desempeñan un papel esencial para la disponibilidad del agua en el planeta y el desarrollo económico de las comunidades. En consecuencia, es esencial realizar la caracterización de estas cuencas para comprender su funcionamiento y gestionar adecuadamente su uso y conservación (Bruckmann, 2017). Se determina que una cuenca hidrográfica es un área geográfica limitada por la topografía, en la que todas las precipitaciones fluyen hacia un punto central y se unen en un río o lago (CISPDR, 2016). La caracterización de una cuenca hidrográfica involucra varios aspectos tales como la geología, geomorfología, clima, hidrología, vegetación, uso del suelo y aspectos socioeconómicos (Friedman, 2017).

La presencia y calidad del agua aprovechable en una microcuenca es afectada por diversos elementos geológicos y climáticos. La geología es influenciada significativamente en la cantidad y calidad del agua disponible, a diferencia de la geomorfología describe la forma y la composición de la cuenca, como la elevación y topografía de las montañas, llanuras y valles. El clima es un elemento esencial para considerar, ya que influye en la cantidad de precipitaciones y la temperatura del recurso hídrico (ONU, 2015). Además, es fundamental comprender la hidrología de la cuenca para estudiar la cantidad y movimiento del agua, incluyendo aspectos como la velocidad y dirección del flujo y el tiempo de retención. De modo que, es necesario considerar todos estos factores en conjunto para comprender el comportamiento y disponibilidad del agua en una cuenca determinada (Rosas, 2017).

2.1.2 Uso del Suelo

En las cuencas hidrográficas se observa una variedad de utilidades que se le dan al suelo que incluyen actividades agrícolas, ganaderas, forestales, urbanas y de conservación. La agricultura y la ganadería son comunes, al igual que la explotación sostenible de los recursos. En las zonas urbanas, se encuentra el uso del suelo para fines residenciales, comerciales y empresariales (Olmos et al., 2017). También se implementan medidas de conservación en algunas microcuencas. Es esencial aplicar una gestión adecuada del suelo y promover prácticas sostenibles para mitigar los efectos nocivos en la calidad de las fuentes de agua, la diversidad biológica y el ciclo hidrológico (Rosa, 2009).

2.1.3 Causas de la alteración del uso del suelo

De acuerdo con Flamenco (2017), las causas de la alteración del uso del suelo incluyen la extensión agrícola, la urbanización y el desarrollo, la explotación forestal no sostenible, la actividad minera a gran escala, la crisis climática y la contaminación de los ríos. Según estudios recientes, se ha comprobado que la contaminación de los ríos es una de las consecuencias directas de las actividades antrópicas (Camacho et al., 2017). La disposición de desechos industriales y domésticos sin tratar, los vertidos de productos químicos y la erosión del suelo contaminado por pesticidas y fertilizantes agrícolas son algunos de los elementos responsables de la contaminación de las fuentes de agua (Verdugo, 2009).

2.2. Índices de calidad de Agua

El índice de calidad de agua "Water Quality Index" (WQI) es un indicador

multiparamétrico que se basa en tres estudios previos. Primeramente, se evaluaron 35 parámetros de contaminación para desarrollar la metodología presente desarrollada por la NSF (Reascos, 2010). En un segundo estudio, se identificaron las 9 variables más importantes, incluyendo el oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, turbidez, temperatura y sólidos totales. Por último, se formaron curvas de función o relaciones funcionales para cada variable en función del nivel de contaminación, y se utilizó una categoría de 0 a 100 para definir los diferentes niveles de calidad del agua. (Samboni et al., 2017).

Actualmente, hay varios índices de calidad de agua que se emplean para medir la idoneidad de las fuentes de agua para un uso determinado (Valcarcel et al., 2009). El número de índices disponibles varía según la región geográfica y la aplicación específica, pero algunos de los índices más manejados son:

- Índice de Calidad de Agua (WQI)
- Índice Biológico de Integridad (IBI)
- Índice trófico de las Aguas (TWI)
- Índice de la Calidad del Agua de la Unión Europea (UWQI)
- Índice de Calidad de Agua Nacional de los Estados Unidos (NPI)
- Índice de Calidad del Agua para Ríos y Arroyos (WQI-R)
- Índice de Calidad de Agua de la Comunidad de la UNESCO (UNESCO WQI)
- Índice de Calidad de Agua para Reservorios (WQI-R)
- Canadian Water Quality Index (CWQI)

Estos índices son solo algunos ejemplos de los muchos disponibles en la actualidad. Aunque cada índice puede variar en su enfoque y los parámetros que incluye, todos tienen como objetivo valorar la aptitud del agua para un uso específico y proteger la salud pública y ambiental (Sucoshañay et al., 2015). Es sustancial tener

presente que la estimación de la calidad del agua no se limita solo al uso de índices, sino que también involucra otros factores como la gestión adecuada del agua y el seguimiento constante de la calidad a lo largo del tiempo para garantizar que el agua sea segura y saludable (Pamplona, 2005).

La valoración del ICA consta de una ponderación de cero a uno y se dividen en cinco categorías: muy pobre, entre 0,00 y 0,25 (indicado en rojo); pobre, 0,26 a 0,50 (naranja); promedio 0,51 a 0,70, 0,71 a 0,90 (verde), regular 0,71 a 0,90 (verde) y bueno 0,91 a 1,00 (azul) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2011).

En conclusión, los índices son herramientas valiosas para valorar la aptitud del recurso agua para su uso específico y para monitorear la salud del ecosistema acuático a lo largo del tiempo (Torres et al., 2009). Estos índices permiten a los profesionales del medio ambiente y a los reguladores tomar decisiones informadas sobre cómo proteger y optimizar el agua para la salud ambiental y humana (Iram et al., 2006).

2.3 Aplicación de los sistemas de información geográfica al estudio de cuencas hidrográficas

Los SIG son materiales valiosos para el análisis de datos geoespaciales afines con el manejo de las fuentes de agua en las microcuencas hidrográficas. Esto proporciona un conocimiento más adecuado en la dinámica de las cuencas y ayuda a los investigadores y profesionales a tomar decisiones informadas sobre el manejo del agua y la planificación del uso del suelo (Ruiz, 2014). Además, los SIG pueden utilizarse para crear modelos hidrológicos que simulan el comportamiento de las cuencas ante diferentes escenarios (Sánchez, 2012). Estos modelos son útiles para evaluar la disponibilidad de agua, identificar zonas vulnerables a la contaminación y planificar la infraestructura hidráulica (Arango et al., 2005). En resumen, la ejecución de los SIG en las investigaciones de cuencas hidrográficas es esencial para el manejo del agua y la ordenación del uso del suelo, lo que permite una mejor comprensión de

las cuencas y la toma de decisiones informadas (Valdez et al., 2016).

Además, los SIG también pueden ayudar en la identificación de áreas críticas en la cuenca hidrográfica que requieren una atención especial para prevenir la erosión del suelo, la polución del agua y la pérdida de la diversidad biológica (Jácome et al., 2018). La capacidad de los SIG para integrar y analizar datos de diferentes fuentes, como la topografía, la hidrología y las características del agua, permite una valoración más completa de los problemas ambientales en las cuencas hidrográficas (Warner, 2005). Esto puede proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en la gestión de la cuenca hidrográfica y contribuir a la mejora del estado de las fuentes de agua y la conservación del entorno (Ramos et al., 2006).

2.4 Ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas

2.4.1 Ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial de una cuenca hidrográfica busca regular y planificar el aprovechamiento de la tierra y del recurso natural presente en una cuenca determinada. Según lo mencionado por Sánchez et al., (2014) este proceso implica la detección de zonas primordiales, la definición de zonas de protección de los recursos hídricos y la planificación de actividades humanas. Además, según lo mencionado por González et al., (2018) el ordenamiento territorial de una cuenca hidrográfica es importante porque permite un manejo más eficaz y sostenible de los recursos hídricos y naturales en la cuenca. La utilización de herramientas como los SIG es útil en este proceso ya que admite la visualización y recopilación de datos geoespaciales, lo que facilita la toma de decisiones (González et al., 2018). Además, según lo mencionado por Romero et al., (2016) la colaboración activa de las entidades locales y la sociedad es primordial para el buen funcionamiento de un proceso de ordenamiento territorial de la cuenca hidrográfica. Esto garantiza la inclusión de las necesidades y preocupaciones de todas las partes involucradas en el manejo de los recursos hídricos y naturales en la cuenca (Romero et al., 2016).

2.4.2 Manejo de las cuencas hidrográficas

La gestión de las cuencas hidrográficas es crucial para salvaguardar y tener un desarrollo sostenible de los recursos naturales e hídricos. Esta gestión implica la investigación, estudios, diagnóstico y cumplimiento de medidas multidisciplinarias dentro de un cuerpo de agua delimitado por cuencas hidrográficas naturales (Sánchez et al., 2016). El objetivo del manejo integral de las cuencas hidrográficas es tomar medidas que permitan la conservación, la ordenación y el manejo de los recursos naturales que fluyen hacia los ríos (Romero et al., 2016).

2.5. Marco legal

2.5.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

La actual investigación se basa en las disposiciones vigentes de la Constitución ecuatoriana de 2008, Artículo 264, Numeral 4, Capítulo IV, Capítulo V de la Constitución, que obliga a los municipios a promover los recursos públicos hídricos, el agua potable, el tratamiento de aguas residuales, por otro lado, el manejo de residuos sólidos, las actividades sanitarias están definidas en el Título VI, Capítulo 1, Artículo 276, párrafo 4, deben promover y proteger la naturaleza y proporcionar a las personas un bienestar justo, permanente y de alta calidad. acceso de calidad al agua (Constitución del Ecuador, 2008).

El artículo 411 del Capítulo II del Título VII establece que el Estado garantizará la protección, restauración y manejo de los recursos hídricos y regulará todas las actividades que puedan afectar la calidad del agua. Por otra parte, el artículo 412 del mismo título y capítulo establece que las unidades estructurales correspondientes deben realizar la regulación y planificación (Constitución del Ecuador, 2008).

2.5.2. Convenio de Estocolmo

Es importante recalcar el Convenio de Estocolmo, que muestra la importancia de reducir o eliminar los contaminantes orgánicos persistentes en el medio ambiente, iniciado por la ONU en Ecuador a través del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y luego de varios estudios, se identificaron como principales fuentes de compuestos orgánicos persistentes (COPs) la agricultura, el sistema eléctrico actual y la gestión de residuos, lo que motivó esfuerzos para su control mediante el fortalecimiento de la normativa ambiental en nuestro país (ONU, 2004).

2.5.3. Código Orgánico del Ambiente

Conforme con el artículo 191 del Capítulo V de la Ley del Medio Ambiente Ecológico, “Monitoreo de la Calidad del Aire, Agua y Suelos”, que rige desde 2017, corresponde a la Autoridad Nacional del Ambiente o a un Gobierno Autónomo Descentralizado, según el cual están obligados, en su caso, a monitorear la calidad del aire, del agua y del suelo a través de las reglas reglamentarias propuestas para lograr los efectos de las sanciones (COA, 2017).

2.5.4. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

En el Artículo 3, Libro 1, Tomo 1, se menciona que los objetivos del Ministerio de Medio Ambiente, Agua y Transición Ecológica son conservar y optimizar la cantidad y calidad del agua y gestionar adecuadamente las cuencas hidrológicas. Por otra parte, en el apartado segundo, el artículo 209 de la calidad del agua, se determina que la evaluación y control de la calidad del agua debe realizarse mediante procedimientos de muestreo o seguimiento, y los lineamientos se describen en el Anexo 1 (TULSMA, 2003).

2.5.5. Plan Nacional de Creación de Oportunidades 2021, 2025

En el objetivo 13, del Plan Nacional de Desarrollo, 13.2. en la política se promueve la gestión sostenible de todas las formas de uso y aprovechamiento del recurso hídrico, de manera que se gestionen de manera integral y se asegure la disponibilidad de agua de calidad y continua para su uso. uso requerido (PND, 2021).

2.5.6. Objetivos de Desarrollo Sostenible

El Objetivo 6, titulado Agua limpia y saneamiento, pretende garantizar el acceso a agua segura y asequible (agua potable) y, cuando sea ineludible, ejecutar inversiones apropiadas en infraestructura, instalaciones de tratamiento y promoción de la higiene y el saneamiento (ONU, 2021).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

La parroquia de San Antonio de Ibarra ocupa el 47,06% de la microcuenca del río Chorlaví. La quebrada de Tanguarín, situada en esta parroquia, es una fuente de agua importante y es la principal corriente en la microcuenca hidrológica del río Chorlaví (Vallejos, 2022). En términos generales, la microcuenca del río Chorlaví tiene una red hidrográfica temporal, lo que significa que la mayoría de sus corrientes solo tienen flujo de agua durante las épocas de lluvia (Guamán et al., 2022). Este patrón de flujo de agua limitado puede tener un impacto en las reservas y en el cambio de características del agua en la microcuenca (GAD San Antonio, 2012).

Según GAD SanAntonio (2012), la microcuenca del río Chorlaví tiene un territorio de 57,61 km², una longitud de 15,78 km y una periferia de 38,12 km. Esta microcuenca presenta una susceptibilidad casi nula a crecidas, sin embargo, su factor de compacidad (1,41) muestra que tiene forma elíptica circular y rectangular, lo que la hace vulnerable a inundaciones en época de precipitaciones (GAD San Antonio, 2012). Adicionalmente, la pendiente promedio del río (24,85%) indica que el área es accidentada, lo cual es consistente con la topografía de la parroquia de San Antonio. La densidad de drenaje es baja (2,10 km/km²), lo que significa que el agua fluye lentamente durante la temporada de lluvias (Villamarín et al., 2014).

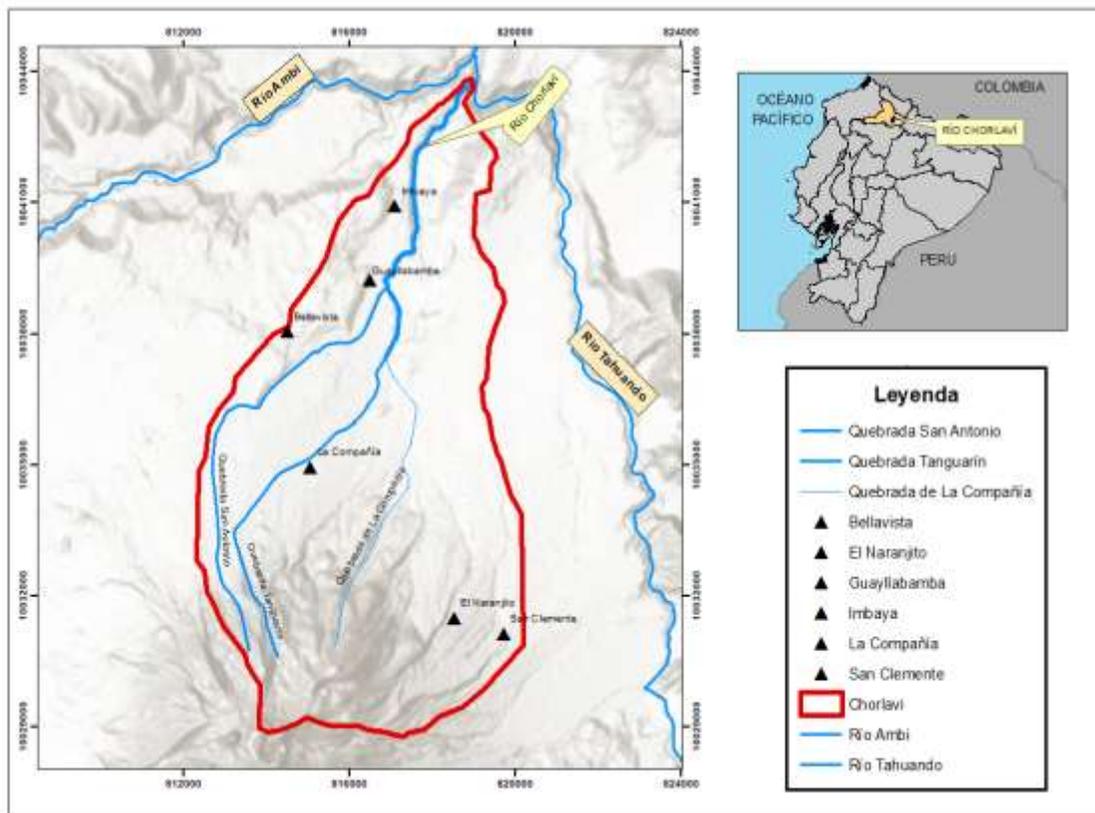
La microcuenca del río Chorlaví abarca una superficie entre 4000 y 10000 hectáreas, siendo considerada una microcuenca según la clasificación ecuatoriana (Aguirre, 2007). Según su forma, la microcuenca es alargada y expuesta a crecidas medianas durante la época de lluvia, aunque presenta poca erosión del suelo (Gaspari et al., 2009). El factor de Gravelius indica que la microcuenca posee buen drenaje, forma ovalada y pocos problemas de estancamiento de agua (Ramírez, 2015). En cuanto a su altitud, la microcuenca del río Chorlaví se encuentra entre los 1800 y 4560

m.s.n.m con una altura media de 2608 metros, correspondiente al piso altitudinal de Arbustal Siempreverde Montano en el norte de los Andes (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013).

La estabilidad climática en la región andina mantiene una temperatura constante en la microcuenca del río Chorlaví durante todo el año, sin grandes variaciones según lo indicado por Buytaert et al. (2006). La temperatura es más elevada en las zonas bajas de la microcuenca y más baja en las zonas altas (Jácome, 2015). En cuanto a la vegetación, actualmente prevalece los cultivos en la microcuenca del río Chorlaví debido a la disminución de la densidad de bosques, extensión de la frontera agrícola e infraestructura en la zona, tal como señala (GAD Provincial de Imbabura, 2015).

Figura 1

Ubicación de la microcuenca del río Chorlaví



3.2. Métodos

El desarrollo del muestreo se realizó cumpliendo con los requerimientos y normativas determinados por las normas técnicas ecuatorianas, incluyendo NTE INEN-ISO 5667-1 y NTE INEN-ISO 5667-3. Se llevaron a cabo los siguientes métodos para obtener las muestras:

- Se precisó la posición exacta del lugar donde se recolectaron las muestras utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS).
- Antes de recolectar la muestra, se enjuagaron los envases con agua del río para garantizar una homogeneización y prevenir una contaminación por parte de elementos externos.
- Se utilizaron botellas con capacidad de 1L para recolectar el volumen necesario para los análisis fisicoquímicos, y se colocó la etiqueta correspondiente en cada botella.

Se efectuaron mediciones in situ en conformidad con las normas descritas por Arce (2012) que recomienda el uso de un multiparámetro para evaluar los parámetros fisicoquímicos del agua. En particular, se midieron la temperatura del agua, el pH y los sólidos disueltos totales (SDT). Antes de realizar las mediciones, se tomó nota de la temperatura ambiente mediante el uso de un termómetro y se llevó a cabo la calibración del multiparámetro. Según la Asociación Americana de Salud Pública [APHA] (1999), los parámetros fisicoquímicos que se deben realizar mediante análisis de laboratorio son: DBO₅, oxígeno disuelto, nitratos, coliformes fecales, fosfatos y turbidez. Estas mediciones in situ proporcionaron información importante sobre la calidad del agua del río Chorlaví y permitieron una valoración más completa de su estado (Brown et al., 1970).

Para establecer el Índice de Calidad ICA-NSF se manejó la siguiente fórmula de promedio aritmético ponderado, la ecuación utilizada a continuación se detalla (Pamplona, 2005):

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

Donde:

$WQI = \text{Índice de calidad del agua}$

$SI_i = \text{Subíndice del parámetro } i$

$W_i = \text{Factor de ponderación para el subíndice } i$

También se utilizó el método CWQI cuya fórmula es la siguiente:

$$WQI = 100 - \frac{\sqrt{(F_1^2 + F_2^2 + F_3^2)}}{1,732}$$

Donde:

F_1 es el porcentaje de parámetros que exceden la norma (alcance)

F_2 el porcentaje de pruebas individuales de cada parámetro que excede la norma (frecuencia)

F_3 la magnitud en la que excede la norma cada parámetro que no cumple.

Para determinar la calidad del agua según ICA-NSF y CWQI, se compararon los resultados de la media aritmética ponderada con los resultados correspondientes a la clasificación ICA en la Tabla 1 y en el “Texto Uniforme de Legislación Ambiental Secundaria”, específicamente del Tomo VI. Apéndice 1. Estándares de calidad ambiental y disposición de aguas residuales: recursos hídricos.

Tabla 1

Clasificación de la calidad del agua

Calidad de Agua	Criterio	Color
Excelente	91-100	Blue
Buena	71-90	Green
Media	51-70	Yellow
Mala	26-50	Light Green
Muy Mala	0-25	Red

Fuente: (Brown et al., 1970)

Se empleó el Análisis de Componentes Principales (ACP) para simplificar y sintetizar los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, según lo recomendado por Guzmán et al. (2011). Los pasos por seguir para realizar un análisis de componentes principales con datos de parámetros fueron establecidos por Helena et al. (2000) y Wunderlin et al. (2003).

- Preparación de los datos: Primeramente, se elaboró una matriz de datos que incluyó todos los parámetros físicos y químicos analizados.
- Normalización de los datos: fue necesario normalizar los datos para que todos los parámetros tengan el mismo peso en el análisis.
- Cálculo de la matriz de covarianza: Se calculó la matriz de covarianza, que muestra la relación entre las diferentes variables.
- Cálculo de los autovectores y autovalores: en este punto se calculó los autovectores y autovalores, que representan los componentes principales y su importancia, respectivamente.
- Determinación del número de componentes principales: En el análisis de componentes principales, es importante decidir cuántos componentes se deben mantener con el fin de conservar la cantidad valiosa de información. La elección del número de componentes a mantener dependerá del grado de información que se quiera conservar en el análisis.
- Representación gráfica de los resultados: Se representó los resultados en un gráfico de dispersión para visualizar la correlación de los componentes principales y los datos originales.
- Interpretación de los resultados: Permitió establecer la relación que existe entre cada uno de los parámetros fisicoquímicos.

El ACP proporciona una valiosa herramienta para entender y analizar los datos relacionados con parámetros físicos y químicos del agua, lo que puede mejorar significativamente la gestión de su calidad.

3.2.1 Muestreo

Durante la inspección del río Chorlaví, ubicado en el cantón Ibarra, se identificaron los puntos de recolección de muestras necesarias para llevar a cabo un estudio representativo del cuerpo de agua. Se seleccionaron cinco puntos, los cuales permitieron caracterizar de manera general las características del río y detectar cualquier posible vertido (Correa, 2016). En situaciones que involucren arroyos, ríos, pantanos, lagos o aguas subterráneas, se disponen como mínimo dos lugares de muestreo (uno aguas arriba y otro aguas abajo) para poder determinar la presencia de un vertido líquido y tener una referencia de la calidad del agua en ambos extremos (Bolaños, 2010). Esto aseguró la representatividad del estudio y la detección oportuna de posibles contaminantes en el río Chorlaví.

Durante esta investigación de campo, se reconocieron los factores que influyen en el cambio de características del agua del río Chorlaví. Con este fin, se eligieron cinco puntos de muestreo cuidadosamente ubicados para obtener datos precisos y representativos. Se eligió un punto de muestreo aguas arriba lejos de fuentes potenciales de contaminación para asegurar que no hubiera influencia de descargas de efluentes líquidos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.). Por otro lado, el punto de referencia aguas abajo se situó en una zona que se encontrara alejado de cualquier posible fuente de contaminación y en el que la descarga pudiera mezclarse con el agua del río, aproximadamente a 100 metros aguas abajo. La ubicación de estos puntos permitió obtener una representación precisa y se detectó cualquier posible vertido que pudo afectar la calidad del agua del río Chorlaví (Hernández, 2005).

En síntesis, se seleccionaron los puntos de muestreo considerando la influencia potencial de descargas en el cambio de características del agua, con la intención de obtener información precisa y representativa de las características del río Chorlaví. Este enfoque concedió la identificación de los elementos que afectan su calidad y proporcionó datos precisos para su posterior análisis (Montoya et al., 2008).

3.3. Caracterización de la Microcuenca

Se planteó una metodología para la caracterización de zonas susceptibles mediante la evaluación multicriterio (EMC), utilizando sistemas de información geográfica. La EMC implica la ponderación de variables como la pendiente, la cobertura del suelo, las precipitaciones, los drenajes y los tipos de suelo a través de la herramienta de Weighted Overlay en ArcGIS (Yáñez et al. 2017). Además, la delimitación de la cuenca se realizó manipulando las cartas geográficas del IGM y los cálculos se realizaron utilizando la geometría que ofrece ArcGIS (Fallas, 2007).

3.3.1 Relieve – topografía

Para identificar las características del relieve se utilizó una técnica que combinó información de las isolíneas y del Modelo Digital de Elevación (DEM). La integración de estos datos permitió crear un mapa preciso y fiable de las pendientes. Para ello, se empleó el software ArcGIS y las herramientas "*Slope*" y "*Reclassify*" para generar una capa de datos que representara los valores de la pendiente del terreno y luego se agruparon en diferentes categorías. De esta manera, se logró una interpretación detallada del relieve del área de estudio.

Tabla 2

Rangos de pendientes de acuerdo con el tipo de relieve

Relieve	Pendiente (%)
Plano o casi plano, con o sin rugosidad	0-6
Moderadamente ondulado o cóncavo	6-15
Ondulado	15-45
Escarpado	45-65
Fuertemente escarpado	>65

3.3.2. Tipo de suelo

La determinación de la composición estructural del suelo en la microcuenca del río Chorlaví se basó en información previa proporcionada por el MAGAP acerca de sus características. A través del portal web del SNI puedes acceder a la información que necesitas en una escala de 1:50.000

Los valores máximos y mínimos de textura fueron obtenidos luego del procesamiento con el software ArcGIS 10.8, a través del *shapefile* de uso del suelo. A partir del uso de los datos recopilados se logró establecer las diferentes categorías del suelo presente en la microcuenca tomando como base los porcentajes respectivos a cada componente (arena, arcilla y limo) (Braz et al., 2020).

Además de la información de la textura, también se realizó una investigación climática de la zona. Para ello, se consultaron las estaciones climáticas cercanas y se seleccionaron los datos de precipitación, temperatura y humedad relativa en un tiempo de 30 años (Ibáñez et al., 2021). Estos datos se procesaron y analizaron con el fin de obtener una información más profunda del clima de la zona y cómo pueden afectar el funcionamiento de la microcuenca y su potencial de conservación. La información obtenida de este análisis se empleó para complementar los mapas temáticos y las estrategias de conservación propuestas.

3.3.3. Cobertura vegetal y uso del suelo

Para caracterizar la cobertura vegetal en la microcuenca del río Chorlaví, se siguieron varios pasos. En primer lugar, se descargaron imágenes satelitales LANSAT 8 OLI/TIRS. Estas imágenes fueron procesadas utilizando el software ArcGIS 10.8 para generar un mapa que mostrara la distribución de la cobertura vegetal. Se utilizó una herramienta de clasificación supervisada para identificar y separar las diferentes clases de cobertura vegetal presentes en el área (Escandón-Calderón et al., 2018). La precisión de esta clasificación se verificó mediante la comparación con imágenes de satélite y fotografías aéreas. Finalmente, se elaboraron mapas temáticos de cobertura vegetal que serían utilizados para el ordenamiento territorial. Estos pasos permitieron

obtener una representación gráfica precisa de la cobertura vegetal en el área de estudio (Sánchez-López et al., 2017).

3.4.1. Caracterización morfológica y delimitación de unidades ambientales en la microcuenca mediante el diseño del mapa actual del territorio

Para la preparación del mapa actual del territorio, se utilizó la técnica de clasificación supervisada en el software ArcGIS. Esta técnica permite clasificar cada píxel de una celda mediante el conocimiento previo de las clases de uso del suelo presentes en la zona de investigación (Carrera et al., 2017). Para ello, es necesario seleccionar puntos representativos de cada clase y asignar un valor numérico utilizando la biblioteca ESRI (2015). Es importante contar con una imagen ráster y un archivo *shapefile* de puntos para realizar el proceso de clasificación.

Firmas espectrales. Para la elaboración de firmas espectrales se procedió a realizar los siguientes pasos según (Fajardo, 2019):

1. Adquisición de imágenes: Para la adquisición de imágenes, en primer lugar, se utilizaron imágenes de satélite de las aéreas que cubren el área de interés. Estas imágenes fueron georreferenciadas y preprocesadas con el fin de eliminar errores de registro y de escala
2. Selección de las áreas de interés: Se inició con la selección de las zonas de investigación, utilizando la herramienta de entidades poligonales, es decir, se dibujaron los polígonos en la imagen para delimitar las unidades ambientales a caracterizar.
3. Extracción de datos: Una vez seleccionadas las áreas de interés, se extrajeron los valores de los diferentes canales espectrales en esas áreas para cada píxel de la imagen.
4. Creación de las firmas espectrales: Con los valores extraídos, se calcularon las firmas espectrales promedio para cada tipo de área seleccionada, estas firmas representaron la característica espectral media de cada tipo de área, y pueden utilizarse para identificar

automáticamente ese tipo de área en otras imágenes.

5. Validación de las firmas: Por último, se realizó la validación de las firmas espectrales con el objetivo de asegurarse de que representen adecuadamente las áreas seleccionadas y que puedan ser utilizadas para identificar esos tipos de áreas en otras imágenes.

Es relevante señalar que la calidad de las firmas espectrales está estrechamente asociada con la calidad de las imágenes y la representatividad de las áreas seleccionadas. Por consiguiente, conviene tomar medidas para garantizar que las imágenes y las áreas escogidas sean apropiadas para la generación de las firmas espectrales (Fajardo, 2019).

Clasificación del tipo de cobertura vegetal. Para realizar una clasificación de la cobertura vegetal de la microcuenca mediante el uso de la herramienta "*Maximum Likelihood Classification*" en ArcGIS (Fajardo, 2019). Se combinó un archivo de firmas espectrales con una imagen satelital para generar una capa tipo ráster que reflejara los diferentes tipos de cobertura vegetal presentes en la zona de estudio (Anrango Gutiérrez et al., 2005). Esta identificación permitió una evaluación detallada del estado actual de la microcuenca.

3.4.2. Análisis de los problemas tendenciales en la microcuenca

Para crear un mapa de los problemas tendenciales en una cuenca hidrográfica en ArcGIS, se prosiguieron a seguir los siguientes pasos según (Forero et al., 2021):

1. Adquisición de datos: Se inició con la adquisición de información relevante para la cuenca hidrográfica, tales como mapas de elevación, información sobre suelos y datos climáticos. También se incluyó información sobre la topografía de la cuenca, aspectos que afectan la hidrología y el funcionamiento de la cuenca hidrográfica, como la alteración en la cobertura vegetal, la urbanización, la contaminación, la alteración en el uso de suelo y el control humano.
2. Análisis de problemas tendenciales: Una vez que se preprocesaron los

datos, se procedió al análisis de los problemas tendenciales en la microcuenca hidrográfica. Esto incluyó análisis de erosión, inundaciones, escasez de agua y puntos críticos de contaminación.

3. Creación de mapas temáticos: A partir de los resultados logrados del análisis, se procedió a la creación de un mapa temático que indica la distribución espacial de los problemas tendenciales detectados en la microcuenca.
4. Integración de mapas temáticos: Por último, se integraron varias capas de información geográfica con el fin de obtener un mapa más complejo y detallado. Cada capa puede representar un aspecto diferente, como la vegetación, las zonas urbanas, las concesiones mineras, entre otros.

Es importante destacar que la precisión de los mapas depende de la calidad y relevancia de los datos utilizados, por lo que es necesario tomar precauciones para asegurarse de que los datos sean adecuados para la creación de los mapas de los problemas tendenciales en la cuenca hidrográfica (Forero et al., 2021).

3.4.3. Determinación del escenario deseado y estrategias de conservación en la microcuenca

Para diseñar el mapa deseado con estrategias de conservación, se realizaron procesos que incluyen la adquisición y preprocesamiento de datos, la integración de mapas temáticos, análisis y modelación de la información, y la representación y visualización de los resultados (Chávez-Gonzalez et al., 2015).

1. Adquisición y preprocesamiento de datos: Se recopiló información relevante como la topografía, la geografía, la vegetación, entre otros aspectos, para poder realizar un análisis detallado lo cual se consiguió con los datos analizados anteriormente.
2. Integración de mapas temáticos: Se integró los diferentes mapas

temáticos para obtener una visión global de la microcuenca hidrográfica y poder identificar las áreas de conservación y de manejo.

3. Evaluación y modelación de los datos obtenidos: Con los datos integrados, se realizó un análisis de los mapas descritos anteriormente como la modelación hidrológica, la identificación de problemas tendenciales.
4. Representación y visualización de los resultados: Finalmente, se representó los resultados en un mapa y se visualizó las estrategias de conservación necesarias para garantizar la sostenibilidad de la cuenca hidrográfica.
5. Estos procesos fueron llevados a cabo en ArcGIS mediante la utilización de herramientas de análisis y modelación, como las herramientas de análisis espacial, la herramienta de modelación de flujo de agua y de visualización de mapas.

De tal modo, mediante los mapas se mostró información proporcionada a:

- Relaciones de los intérpretes sociales
- Factores medioambientales
- Priorizar las zonas afectadas o áreas con impacto inmediato.

3.4.4. Diseño de estrategias dirigidas a la gestión del recurso hídrico y el manejo de la microcuenca hidrográfica.

A fin de gestionar y manejar la microcuenca generados por las actividades antrópicas que se obtuvieron con la medición del índice de calidad y la caracterización de la cuenca, se elaboraron las propuestas de estrategias en base a una investigación bibliográfica siguiendo los lineamientos de sistematización de las base de datos de revistas científicas, y en base de las entidades gubernamentales nacionales encargados de la conservación, control, organización, gestión y uso sostenible de los recursos hídricos.

Para desarrollar estos lineamientos se utilizó la matriz de marco lógico, como herramienta estructurada que permite planificar y documentar todos los aspectos

relevantes de la investigación. Según Navarro (2003), consta de cuatro filas y cuatro columnas, donde en cada fila se detalla la meta o propósito general, la meta o propósito específico, los resultados del proyecto y las actividades a realizar de acuerdo con su presupuesto correspondiente; todo ello se considera en el resumen narrativo y se centra en la primera columna. Las siguientes tres columnas detallan los indicadores objetivamente verificables, los métodos de verificación y las hipótesis o supuestos requeridos para cada fila

Se enfatizó en la búsqueda de información precisa y confiable para este estudio, centrándose en artículos científicos, documentos e informes de investigación relacionados en distintas cuencas hidrográficas en estudio. Estos recursos se consideran útiles como herramientas de gestión y manejo vigente. Algunos ejemplos de estos son:

- Planificación del uso del suelo
- Reforestación
- Manejo de residuos
- Control de la erosión
- Regulación de la agricultura y actividad pecuaria
- Uso eficiente del agua

Algunas estrategias mencionadas pueden ser útiles para asegurar la sostenibilidad de una cuenca hidrográfica, pero la selección y priorización de estas deben basarse en las circunstancias particulares de cada cuenca. En el marco de este estudio y en cumplimiento de las medidas gubernamentales correspondientes, se diseña el cumplimiento a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) como una medida para regular el uso y la gestión sostenible de los recursos acuáticos, terrestres y naturales, con el objetivo de buscar el bienestar socioeconómico de manera equitativa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Caracterización de la microcuenca

4.1.1. Parámetros asociados a la forma de la cuenca.

Esper & Perucca (2014) indican que las características morfológicas de la microcuenca tienen una influencia directa en la precipitación y la escorrentía. Por lo tanto, se realizaron los cálculos de los valores correspondientes para evaluar su comportamiento ante posibles eventos pluviales. Los parámetros obtenidos se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Parámetros de forma

Parámetros	Resultado
Área (ha)	7769,78
Perímetro (km)	39,31
Ancho (km)	4,80
Longitud (Km)	17,76
Factor de forma	0,26

El área de una cuenca hidrográfica es una medida importante, ya que influye en la cantidad total de agua que puede fluir y ser almacenada en ella, una mayor área generalmente significa un mayor volumen potencial de agua (Braz et al., 2020). Estas medidas presentes en la Tabla 3 indican que la microcuenca tiene una forma alargada y presenta una extensión considerada, esto podemos verificar en el estudio realizado por (Vallejo Suarez, 2022). Según la investigación realizada por Freire et al. (2011) un factor de forma cercano a 1 indica que la cuenca es más circular, mientras que un factor de forma menor a 1 indica que la cuenca es más alargada. En el caso de la microcuenca del río Chorlaví, el factor de forma es del 0,26 lo que indica que tiene una forma alargada.

4.1.2 Estado Actual de la Microcuenca

El resultado del modelo territorial actual indica la existencia de varias unidades ambientales en la microcuenca. La Figura 2 muestra estas unidades y la Tabla 4 indica su área en km² dentro de la microcuenca. Es importante destacar que la construcción de viviendas en el área rural no está regulada, lo que resulta en una construcción empírica sin ningún tipo de planificación. Esto significa que el volumen edificable en un terreno se construye sin tener en cuenta criterios como la altura, dimensionamiento, ubicación, forma y otros aspectos morfológicos.

Tabla 4

Unidades ambientales

Unidades	Área km
Bosque	7,18
Páramo	0,55
Vegetación Arbustiva	6,61
Pastos	36,62
Cultivos	9,94
Zona Urbana	16,62

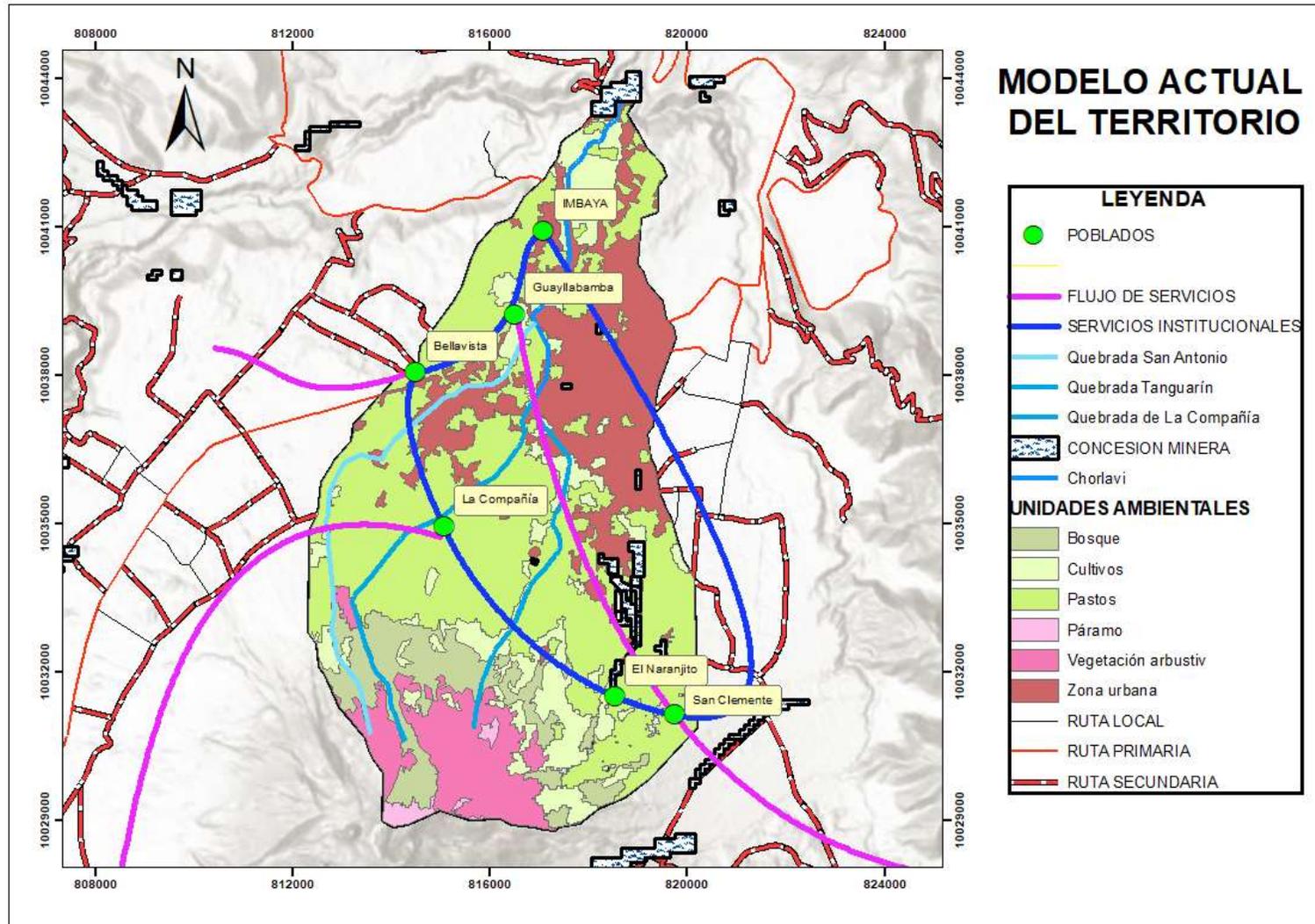
Se presenta la identificación de las características geográficas y económicas de una microcuenca. Se señala la existencia de diversas unidades ambientales y se hace hincapié en la falta de regulación en el uso del suelo rural. También se identifican las principales vías y rutas de transporte, siendo la vía principal la de mayor importancia. Además, se mencionan las importantes actividades económicas de la zona, siendo la agricultura la más destacada. Se menciona la minería como actividad secundaria y se resaltan algunos de sus efectos negativos, como la despoblación forestal, la erosión, la disminución de suelo fértil, entre otros.

Asimismo, el estudio de Gaspari (2011) destaca que la degradación del suelo en las cuencas hidrográficas puede provocar graves daños en la diversidad y afectar las condiciones de vida de la población. La minería ilegal, por su parte, puede causar

la contaminación de los suelos y los acuíferos, lo que afecta gravemente la salud y su acceso a agua potable. Según Ramón (2017), es importante desarrollar normas y planes de conservación y rehabilitación de tierras para garantizar un desarrollo agrícola sostenible y reducir los efectos adversos en la biodiversidad y la salud de la población.

La pérdida del suelo y el acrecentamiento de las minerías ilegales en la microcuenca puede afectar negativamente la calidad del agua del río Chorlaví. La erosión y la pérdida de suelo fértil pueden liberar sedimentos y nutrientes en el agua, aumentando su turbidez y su carga de materia orgánica (Ramírez et al., 2015). Además, la minería ilegal puede liberar materiales tóxicos en el agua, como metales pesados, que son perjudiciales para la salud humana y el ecosistema (Bouma, 2019). La alteración de los procesos de ladera y el aumento de la escorrentía también pueden contribuir a la disminución de la calidad del agua del río Chorlaví. En consecuencia, es trascendental que se tomen medidas para prevenir la degradación del suelo y la minería ilegal en la microcuenca del río Chorlaví para proteger la calidad del agua y garantizar un desarrollo agrícola sostenible.

Figura 2
Modelo actual del territorio de la microcuenca del río Chorlaví



4.1.3 Problemas Tendenciales

La expansión agrícola y el sobreuso de los pastizales son problemas graves que afectan el equilibrio ambiental en la microcuenca. Además, el aumento de la demanda de suministros y fibras agrava la situación, ya que conduce a un aumento de la superficie agrícola y, en consecuencia, a la degradación de la biodiversidad y la emisión de gas de efecto invernadero (Orrellana, 2018). Es necesario buscar alternativas de desarrollo para satisfacer la demanda de suministros sin afectar negativamente el medio ambiente y la biodiversidad.

En el estudio de González et al. (2018) se halló que la expansión de la agricultura en una microcuenca del norte de México ha generado un aumento en la erosión del suelo, lo que a su vez ha afectado la calidad del agua y la diversidad de la zona. Además, autores como Tilman et al. (2011) han señalado la importancia de buscar alternativas de desarrollo agrícola sostenible para satisfacer la demanda de alimentos sin afectar negativamente el medio ambiente y la biodiversidad.

En su estudio, Tilman y sus colaboradores encontraron que las buenas prácticas agrícolas sostenibles, como la agricultura de conservación y la agroforestería, pueden reducir significativamente la degradación del suelo y la emisión de gas de efecto invernadero.

Tabla 5

Conflictos uso del suelo

Uso del suelo	Área (Km ²)
Bosque	7,182
Cultivos	0,03
Expansión urbana	16,62
Páramo	0,54
Pastos	9,71
Sobreuso agrícola	9,11
Sobreuso pastizal	24,91
Subuso agrícola	1,51
Subuso pastizal	2,05
Vegetación arbustiva	5,89

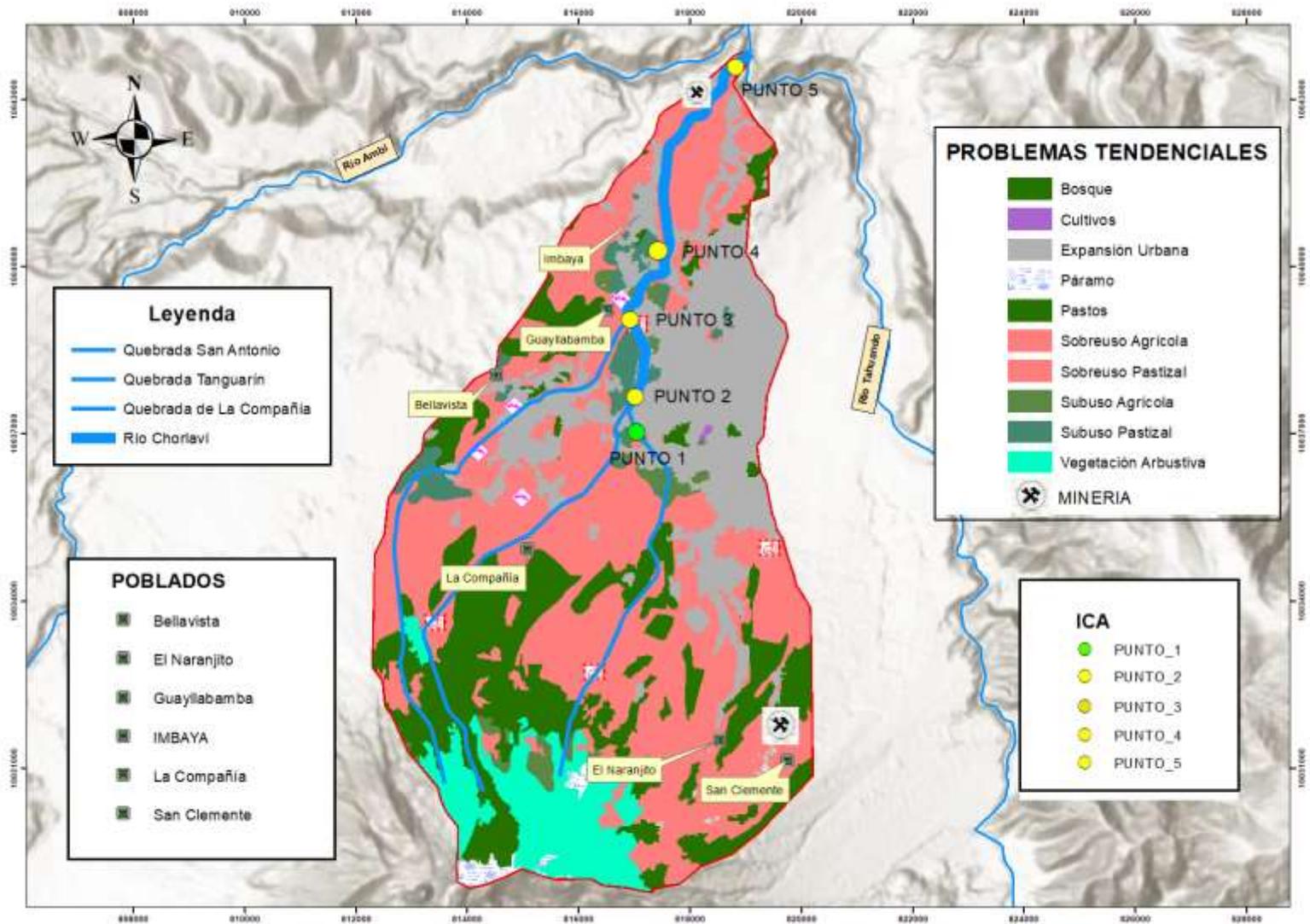
En la Tabla 5 se indican los datos donde se presenta un desequilibrio en el uso del suelo y que se requiere de una gestión más eficaz y sustentable de los recursos naturales para preservar su capacidad y aptitud para el perfeccionamiento de actividades fructíferas (Orellana, 2018). Al mismo tiempo, el sobreuso de los suelos agrícolas puede tener graves consecuencias en la biodiversidad, en la calidad del agua y en la estabilidad del clima, afectando la calidad de vida de la sociedad y a la economía de la región.

Según Orellana (2018) y Meyer (2012), es esencial considerar los efectos negativos que las actividades antrópicas pueden tener en el medio y en los recursos naturales. La degradación de la vegetación y del suelo, la tala de bosques y la contaminación son algunos de los efectos negativos que surgen de un uso inadecuado y descontrolado de los recursos. Por lo tanto, es importante buscar alternativas de desarrollo sostenible para preservar los recursos naturales y satisfacer las necesidades humanas (Orellana, 2018; Meyer, 2012). Además, esto puede generar conflictos socioambientales, lo que indica la necesidad de efectuar políticas y prácticas sostenibles.

Se puede mencionar que uno de los problemas identificados se relaciona con el estado deficiente del sistema de alcantarillado, lo cual puede tener efectos perjudiciales en el ambiente acuático, incluyendo la contaminación del agua y el desgaste de hábitats acuáticos. Esto puede ser causado por la eutrofización, un proceso en el cual los nutrientes se acumulan en exceso en el agua y pueden provocar un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, lo que puede agotar el oxígeno en el agua y dificultar la supervivencia de otros organismos acuáticos. Además, la contaminación por residuos orgánicos y químicos puede alterar los ciclos naturales de nutrientes en el agua y afectar la estabilidad y la productividad del ecosistema acuático (Heisler et al., 2008).

Con esto se logró identificar tres principales conflictos como es: contaminación del recurso hídrico por el mal estado del alcantarillado, las malas prácticas agrícolas, falta de conocimiento por parte de la sociedad.

Figura 3
Modelo Tendencial del territorio de la microcuenca del Río Chorlaví



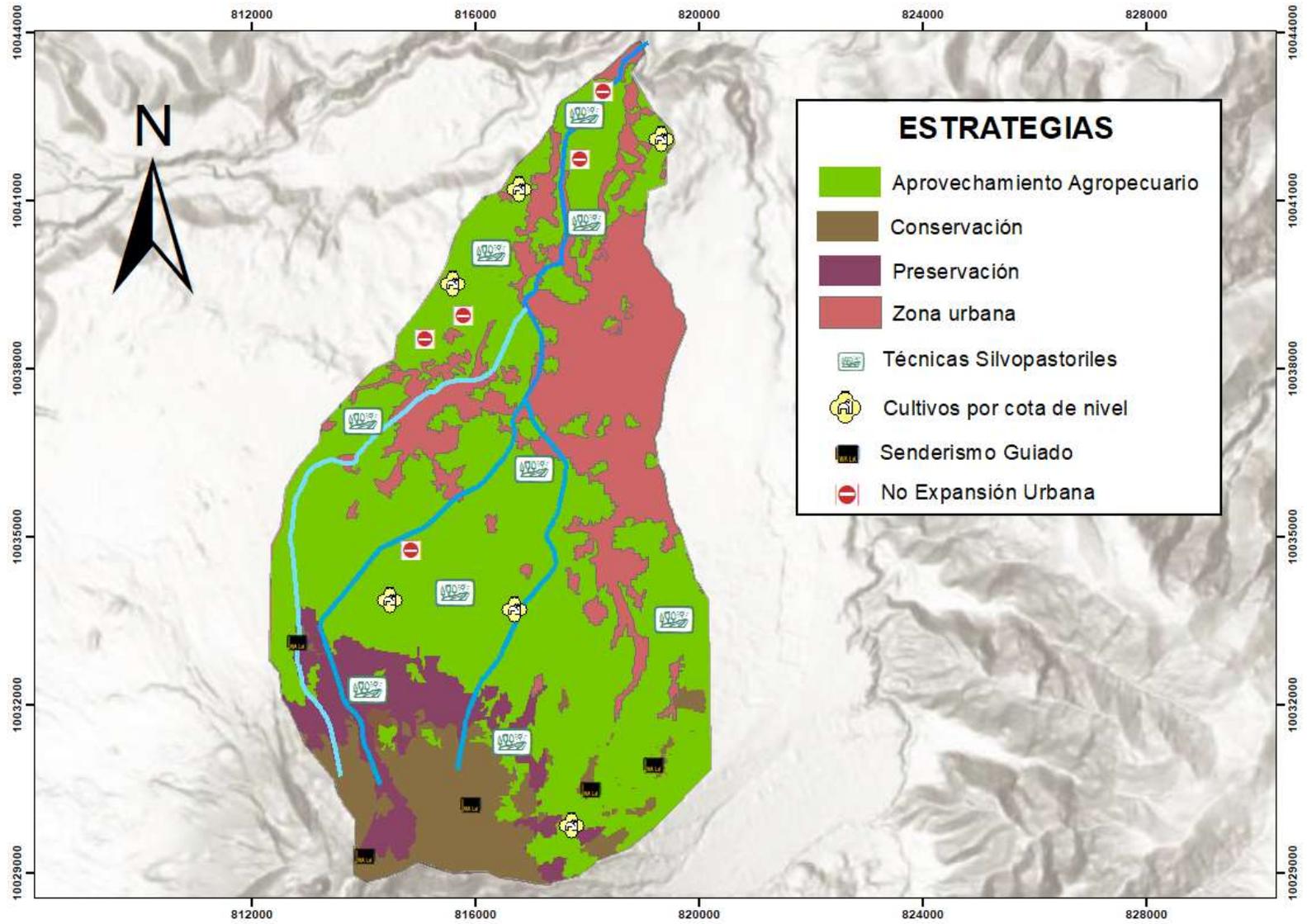
4.1.3. Modelo territorial deseado

La Figura 4 muestra el modelo deseado que busca conservar y preservar los recursos naturales, así como aprovechar de manera sostenible la agricultura. Para alcanzar este objetivo se proponen diversas estrategias como, por ejemplo:

- Minimizar la contaminación ambiental y maximizar el uso adecuado de los recursos naturales en una microcuenca hidrográfica requiere una cuidadosa planificación del uso del suelo y del desarrollo urbanístico.
- Puede lograrse una disminución importante del nivel de contaminación en las cuencas hidrográficas si se invierte en mejorar su infraestructura mediante el uso de sistemas más modernos para el tratamiento del agua residual.
- Para asegurar la sostenibilidad a largo plazo de las microcuencas hidrográficas se requiere una adecuada educación y concientización acerca de su importancia.
- Para garantizar la salud y disponibilidad a largo plazo del agua es fundamental fomentar prácticas sostenibles en la ganadería y minería.
- Hacer un adecuado monitoreo a los cuerpos hídricos es esencial para identificar oportunamente los problemas que puedan afectar su calidad.
- La colaboración y el compromiso de la comunidad son necesarios para asegurar que las cuencas hidrográficas sean sostenibles en el futuro.

Estas estrategias pueden ser implementadas por las autoridades y la población para garantizar la preservación y protección de las microcuencas hidrográficas, y asegurar su disponibilidad a futuro.

Figura 4
Modelo deseado del territorio de la microcuenca del río Chorlaví



4.2 Parámetros físicos y químicos

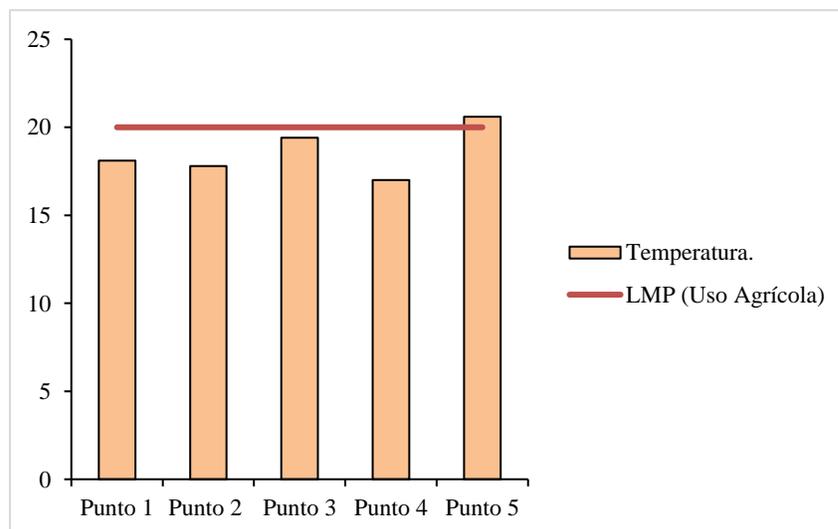
4.2.1 Parámetros físicos

A continuación, se muestran los resultados de los parámetros físicos obtenidos en campo y laboratorio para determinar la calidad de agua, estos parámetros pueden variar dependiendo del sitio geográfico y fuentes de contaminación.

4.2.1.1 Temperatura

El uso del río Chorlaví en actividades agrícolas o para la conservación de flora y fauna es posible debido a que tiene una temperatura media dentro del rango aceptable de 19°C. Además, al observar la Figura 5 se puede distinguir claramente una importante diferencia entre los valores térmicos presentados incluyendo un punto con registro alto (punto número cinco). Hay diversos elementos que pueden explicar esta disparidad entre ellas están incluidas nuestras acciones humanas que han impactado negativamente sobre nuestros recursos naturales como son: El desmonte acelerado de bosques así también como una utilización inadecuada e irresponsable del agua. Se puede observar cómo estas actividades afectan las temperaturas dentro del río Chorlaví.

Figura 5
Comparación de los valores de temperatura y LMP

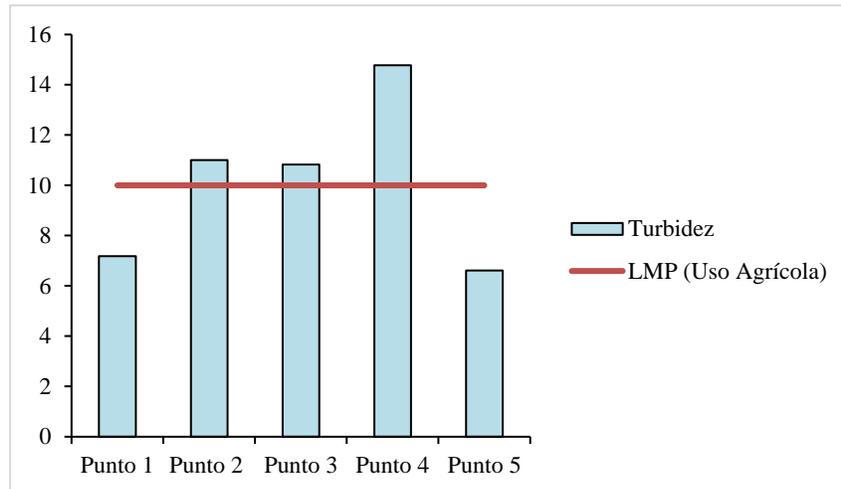


En la investigación realizada por Rojas et al. (2009) se realizó un estudio exhaustivo para estudiar el impacto de las actividades humanas en la temperatura del agua. Para ello, se compararon las temperaturas actuales con las registradas en el pasado, con el objetivo de identificar patrones y tendencias a lo largo del tiempo. Los resultados obtenidos revelaron que las actividades antrópicas, la deforestación, la intensificación de la agricultura y la urbanización, han tenido un efecto significativamente negativo en el aumento de la temperatura de los ríos altoandinos. Estos hallazgos respaldan la creciente evidencia científica que señala la influencia humana en los sistemas acuáticos y resaltan la importancia de implementar medidas de mitigación y conservación para preservar la salud y la integridad de estos ecosistemas.

4.2.1.2 Turbidez

Considerando que la turbidez está relacionada con la cantidad de macropartículas en suspensión, la turbidez media en el río Chorlaví se fijó en 10 NTU (unidades nefelométricas de turbidez). Este valor se encuentra dentro del Límite Máximo Permisible (LMP) establecido para garantizar un uso adecuado en actividades agropecuarias, zootécnicas. El cálculo de la turbidez es esencial para evaluar la calidad del agua, ya que un elevado nivel de turbidez indica la presencia de sedimentos, materia orgánica o contaminantes en el agua. Por lo tanto, mantener un bajo nivel de turbidez en el río Chorlaví es fundamental para asegurar su uso adecuado en diferentes áreas y proteger su ecosistema acuático.

Figura 6
Comparación de los valores de turbidez y LMP



Los resultados obtenidos al analizar la Figura 6 revelan una marcada diferencia en los niveles de turbidez, especialmente en los puntos dos, tres y cuatro, donde se observan los valores significativamente más altos. Esta disparidad se atribuye a una sucesión de actividades antrópicas, como la minería, la agricultura intensiva, la erosión del suelo y la liberación de partículas. De manera particular, se asemeja que la pérdida de vegetación es uno de los problemas que mayor contribuyen a la turbidez, ya que reduce la habilidad de la vegetación para retener el suelo.

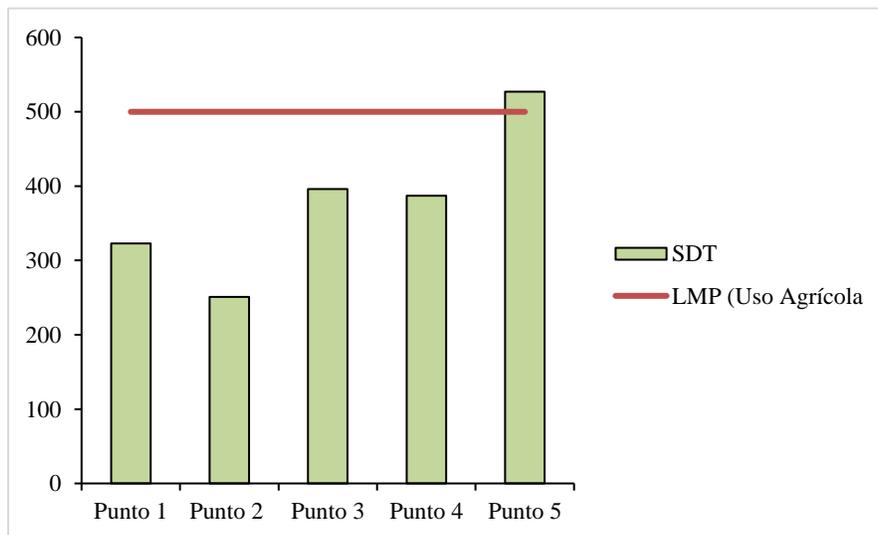
Los hallazgos de este estudio concuerdan con los resultados presentados en el artículo de investigación publicado por Carrillo et al. (2018) en dicha investigación se llevó a cabo una evaluación de la calidad del agua en el río Ambí y sus tributarios en la cuenca hidrográfica de Quito. Los resultados alcanzados indican una clara correlación entre las actividades antrópicas y los niveles de turbidez presentes en las fuentes de agua.

En el estudio de Carrillo et al. (2018) se encontró una asociación directa entre la turbidez del agua y actividades humanas como la agricultura intensiva y la urbanización. Estos hallazgos muestran una idea de que las acciones humanas, en particular la alteración del paisaje y la modificación de los ecosistemas acuáticos, tienen un impacto muy alto en la calidad del agua y contribuyen a la turbidez observada en los puntos mencionados.

4.2.1.3. Sólidos Totales Disueltos

Dado que los Sólidos Disueltos Totales (SDT) son mediciones de la cantidad de sólidos disueltos, que incluyen nutrientes, sales minerales y otros componentes orgánicos e inorgánicos, se determinó que el valor medio es de 376 (mg/l). Esta cifra se encuentra del rango óptimo dispuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), que insta un límite inferior de 500 mg/l para asegurar el uso adecuado en la agricultura y ganadería, y para proteger la fauna y la flora. Cabe destacar que mantener los niveles de sólidos disueltos dentro de estos parámetros es fundamental para mantener las características del agua y asegurar la rentabilidad en los distintos sectores mencionados.

Figura 7
Comparación de los valores de SDT y LMP



Con relación a los análisis conseguidos en la Figura 7, se consigue comprobar una situación preocupante en cuanto a los niveles de sólidos totales, especialmente en el punto cinco, donde se excede el límite máximo permitido. Esta situación es atribuible a diversas actividades antrópicas, entre las que recalcan la agricultura, la minería y la construcción. Estas actividades contribuyen a la erosión del suelo, la mala gestión de aguas residuales y la liberación de agroquímicos y otros contaminantes, lo

que a su vez se refleja en la presencia de sólidos totales disueltos.

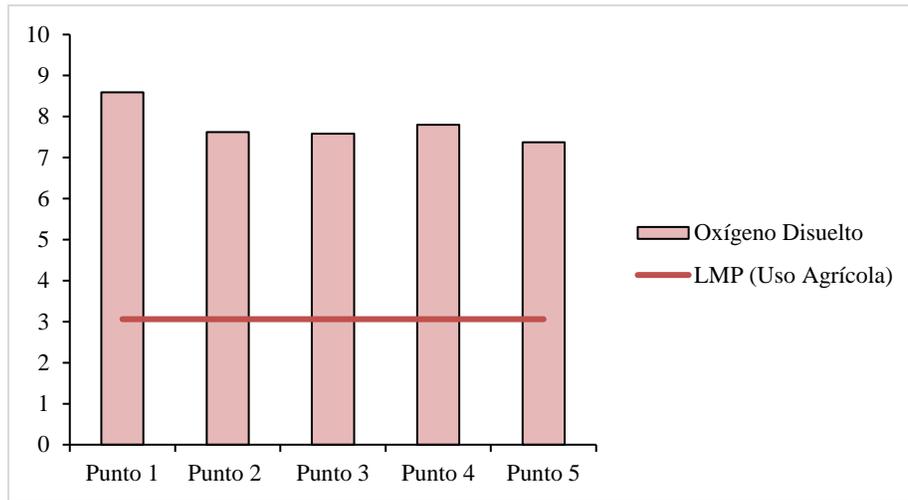
En concordancia con los hallazgos presentados, en la investigación realizado por Gutiérrez et al. (2017) abordó la evaluación de parámetros fisicoquímicos, incluyendo los sólidos totales disueltos, en el río Machángara. En efecto se mostraron que los niveles de sólidos totales disueltos superaron los límites máximos establecidos por la normativa ambiental de Ecuador. Además, se evidenció una clara relación entre estos niveles elevados y la actividad agrícola y la erosión del suelo en dicha área.

Otra investigación relevante es el realizado por López et al. (2019) quienes investigaron la presencia de sólidos totales disueltos en los ríos de la cuenca hidrográfica del país. Sus resultados respaldan la preocupación respecto a la aparición de sólidos totales disueltos en el agua, indicando que la actividad agrícola intensiva y la falta de buenas prácticas adecuadas de manejo de suelos son los factores que favorecen a la contaminación por sólidos totales disueltos en los ríos.

4.2.1.4. Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es una medida de la disponibilidad de oxígeno presente en el agua para el sustento y supervivencia de los organismos acuáticos, el valor medio de OD en el río Chorlaví se estimó en 7,79 (mg/l). Este valor supera (LMP) especificados. La presencia de niveles óptimos de oxígeno disuelto en el agua es fundamental para el sustento de los organismos acuáticos ya que les permite respirar y realizar sus funciones vitales correctamente. Sin embargo, es importante recordar que un exceso de OD puede indicar la presencia de contaminantes u otras fuentes de perturbación en el ecosistema acuático, lo que requiere atención y monitoreo continuos para garantizar las características del agua y la salud de los organismos dependientes del este.

Figura 8
Comparación de los valores de OD y LMP



Tras examinar detenidamente la Figura 8, se constata que en todos los puntos de interés se registran niveles de OD que exceden los límites máximos permitidos. Sin embargo, es importante señalar que es posible que esta situación no tenga repercusiones negativas directas ni para la salud de los organismos acuáticos ni para la calidad del agua en sí. Los niveles elevados de oxígeno disuelto podrían ser atribuibles a procesos de aireación mecánica, implementados con la intención de mejorar su calidad, así como a la liberación de oxígeno por parte de algas o plantas acuáticas durante el proceso de fotosíntesis.

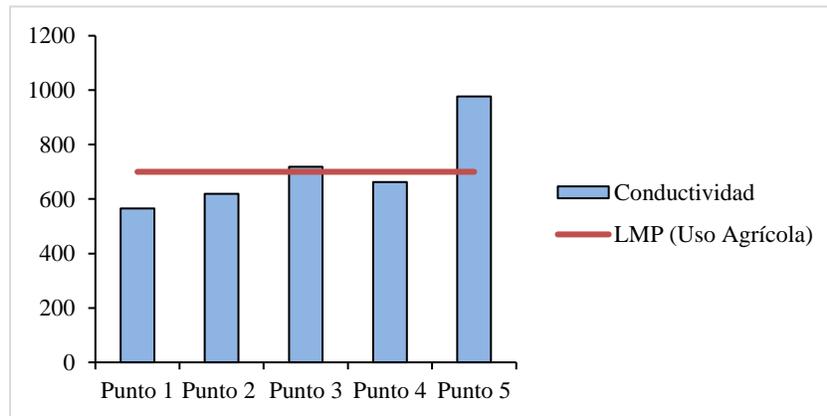
Según Rodríguez et al. (2017) la liberación de oxígeno por las macrófitas y las algas puede ser una razón significativa de los altos niveles de oxígeno disuelto. Carvajal et al. (2016) efectuaron una investigación sobre la calidad del agua en la cuenca del río Mira y encontraron que, en ciertos puntos de muestreo, los niveles de oxígeno disuelto excedieron los límites permitidos, lo que se relacionó con la actividad de la fotosíntesis que realizan las plantas acuáticas.

4.2.1.5. Conductividad

Como es bien sabido, la conductividad eléctrica (CE) es una medición del potencial que tiene el agua para transportar electricidad y está correlacionada con la presencia de sólidos en suspensión en el agua. En el caso del río Chorlaví se obtuvo un valor de 708 (S/cm) en promedio para la CE, superando los Niveles Máximos Permitidos (LMP) establecidos. Este hallazgo apunta a una elevada concentración de sales solubles en el agua, lo que podría tener efectos adversos en los sistemas acuáticos y los organismos que dependen de ellos. La alta conductividad eléctrica puede estar relacionada a la presencia de contaminantes y a los efectos de las actividades como la industria, la agricultura intensiva y la minería, que pueden ayudar a incrementar las sales en el agua.

Figura 9

Comparación de los valores de conductividad y LMP



Al adentrarnos en el análisis de la Figura 9, nos encontramos con una revelación los puntos tres y cinco exceden los límites máximos permitidos, establecidos en 700 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), esta evidencia inquietante nos incita a reflexionar sobre los diversos factores, tanto naturales como antropogénicos, que podrían estar asociados a esta situación preocupante. Entre ellos se encuentran la presencia de sales y minerales disueltos, la actividad agrícola, la industria, la minería y la erosión del suelo. Un ejemplo destacado de estos factores es la presencia de iones de nitrato y fosfato en los

fertilizantes agrícolas, los cuales actúan como electrolitos y pueden tener un impacto alto en la conductividad eléctrica del agua (UNAM, 2010). Ante este panorama, es fundamental profundizar en el análisis y discutir las implicaciones que estos hallazgos pueden tener en el equilibrio y la calidad de nuestros recursos hídricos.

El desgaste del suelo es una transformación que libera sales y minerales que son llevados por el agua de lluvia hacia lagos, ríos y acuíferos. Cuando se colocan en agua, estos compuestos pueden aumentar las sales y minerales disueltos, lo que aumenta la conductividad. En general, un aumento en la conductividad indica la presencia de contaminantes (Torres et al. 2010). Cabe destacar que la presencia de sales minerales en el agua puede ser un resultado natural de la erosión del suelo, pero también puede ser causada por las actividades antrópicas.

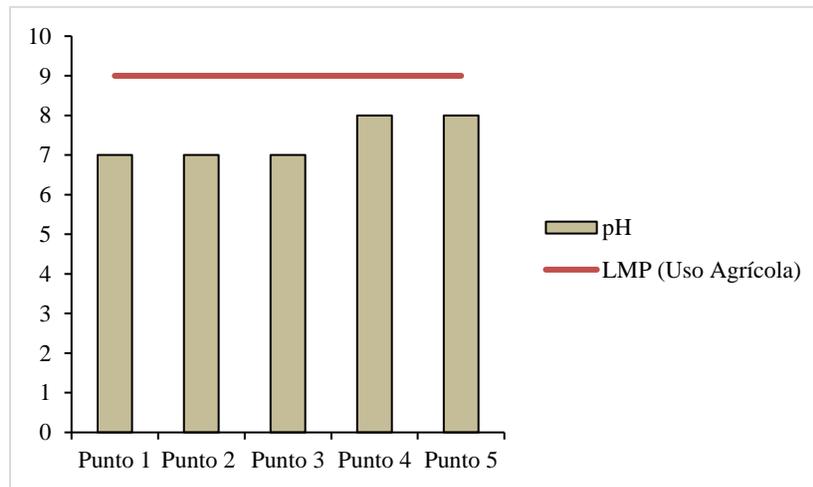
4.2.2. Parámetros químicos

A continuación, se presentan los resultados de los parámetros químicos obtenidos en laboratorio, cabe mencionar que los parámetros químicos se evalúan para determinar la composición y características químicas del agua, lo cual es importante para evaluar su calidad y posibles impactos en diferentes usos y aplicaciones.

.4.2.2.1. Potencial de Hidrógeno

El valor de pH promedio registrado en el río Chorlaví es de 7, que se encuentra dentro del rango recomendado para una variedad de usos, incluidos la agricultura, la ganadería. Los datos respaldan la afirmación de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2015) de que el rango de pH ideal para el agua limpia está entre seis y nueve. El pH puede tener un impacto significativo en la existencia de nutrientes, la calidad del agua y la vida acuática, el pH adecuado es esencial para garantizar un entorno saludable para los ecosistemas acuáticos en su conjunto, así como los cultivos.

Figura 10
Comparación de valores medios de pH y LMP



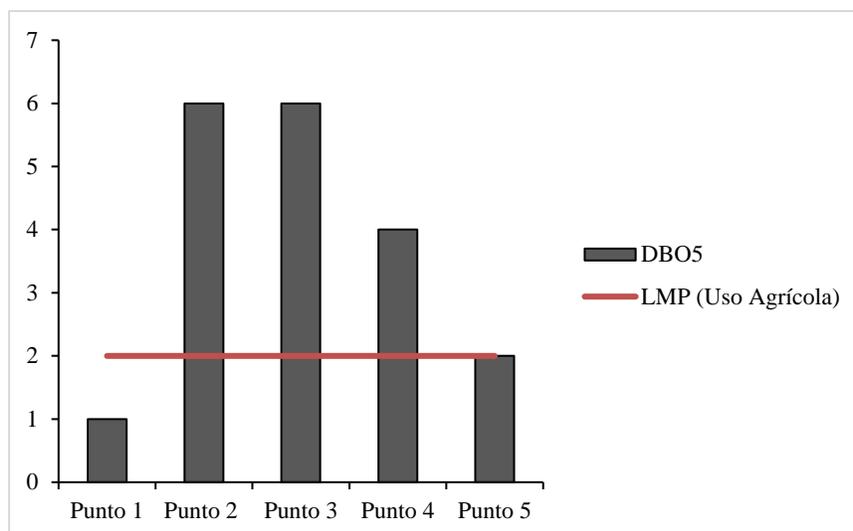
Analizando la Figura 10 no se observa que exista una diferencia notoria en los valores de pH, sin embargo, en el punto cuatro y cinco es superior, esto se debe a que existe una mayor concentración de oxígeno disuelto.

4.2.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Considerando que la DBO_5 es una medición de la cantidad de oxígeno en la descomposición biológica de sustancias orgánicas en el agua, se puede concluir que una alta DBO_5 puede indicar la presencia de compuestos orgánicos y un inferior nivel de OD en el agua. El valor promedio de DBO_5 del río Chorlaví es 3,8. Como parte del LMP, independientemente de que se utilice en agricultura, ganadería o protección animal y vegetal, este dato puede ser corroborado por la norma colombiana NTC 4589, donde el límite máximo permisible de DBO en agua es de 5 mg/L.

Figura 11

Comparación de valores de DBO₅ y LMP



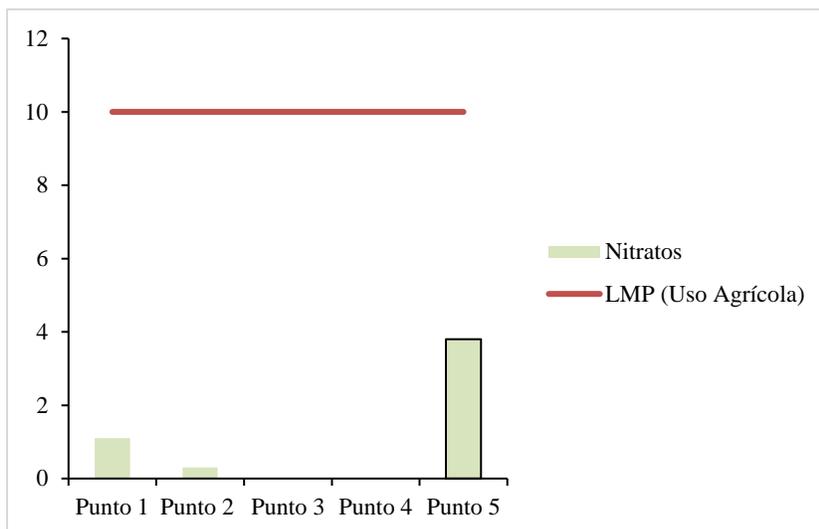
En la Figura 11 se puede ver una diferencia notoria en los valores de DBO₅, sin embargo, en el punto dos, tres y cuatro es superior, esto se debe por una variedad de factores, como la contaminación agrícola, la descomposición natural, descargas de efluentes sólidos y líquidos, lo cual podemos corroborar en la publicación de Cárdenas et al. (2011) que nos alude que la incidencia elevada de DBO₅ se debe por los factores como: la actividad agrícola, pecuaria y la disposición de aguas residuales.

4.2.2.3. Nitratos

Los nitratos son un signo de polución en las fuentes de agua, por lo que se realizaron mediciones para averiguar si estaban presentes en el río Chorlaví. A partir de los resultados, se descubrió que el número promedio de nitratos en el agua es de 1.4 (mg / L), la cual se encuentra dentro de los límites establecidos para uso agrícola. Estos hallazgos están en línea con los rangos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2010) que establece niveles aceptables de nitrato en el agua potable en (50 mg/L).

Figura 12

Comparación de valor de nitratos y LMP



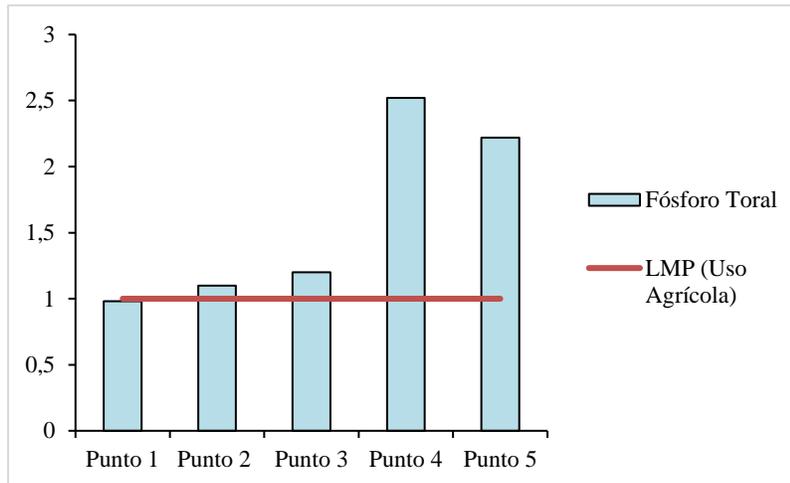
En la Figura 12, se puede ver que ningún punto de muestreo sobrepasa (LMP), lo que indica los niveles de nitratos del río Chorlaví se mantuvieron en el rango establecido para garantizar una calidad adecuada del agua para su uso agrícola.

4.2.2.4. Fósforo total

Considerando que el fósforo total es una medida significativa ya que nos indica la existencia de materia orgánica. Según los hallazgos, la focalización promedio de fósforo total es de 1,6 (mg /L), por encima de los LMP establecidos tanto para usos agrícolas y zoológicos como para la preservación de la flora y la vida silvestre. El hallazgo indica una elevada concentración total de fósforo en el río Chorlaví, puede tener efectos perjudiciales en los medios marinos y la calidad del agua. Para aminorar los efectos negativos sobre la biosfera y garantizar la protección de los recursos hídricos, es crucial tomar las medidas adecuadas para controlar y reducir la cantidad de heces en el agua.

Figura 13

Comparación de valor de fósforo total y LMP



La Figura 13 la cual nos revela una asombrosa disparidad en los datos de fósforo total. Es en esta figura donde se hace evidente que los puntos dos, tres, cuatro y cinco nos sorprenden con valores que exceden (LMP), establecidos con el fin de afirmar una calidad óptima para una variedad de usos al agua. Los factores son múltiples y complejos, incluyendo la disposición de efluentes residuales, la aplicación de fertilizantes, la erosión del suelo y la desintegración de materia orgánica. Al respecto, un estudio previo realizado por Rojas et al. (2014) en el río Machángara identificó estos mismos factores como fuentes de contaminación de fósforo total agua.

Los hallazgos de dicha investigación mostraron que la disposición de aguas residuales son potencialmente una fuente de contaminación de fósforo total en la región, lo que refuerza la importancia de implementar medidas para controlar y minimizar la disposición de aguas residuales. Por otro lado, podemos ratificar con la investigación elaborada por Torres et al. (2015) en la cuenca del río Babahoyo, se observó una correlación de la intensidad de la actividad agrícola y los niveles de fósforo total presentes en los ríos. En otras palabras, se encontró que en las áreas donde la actividad agrícola era más intensa, los niveles de fósforo total en los ríos eran mayores.

4.2.2.5. Nitrito

Teniendo en cuenta que los nitritos en el agua son indicadores de posibles contaminaciones por desechos orgánicos y químicos, se realizó un estudio exhaustivo para evaluar los niveles de nitritos en los diferentes puntos de muestreo seleccionados. Los datos obtenidos revelaron una media de 0,0004 (mg/L) de nitritos en el agua, lo cual se encuentra dentro del rango óptimo establecido por la TULSMA para su uso en actividades agrícolas. Este hallazgo sugiere que, en general, el nivel de nitritos es bajo, lo cual es una buena señal en términos de calidad del agua y minimización del impacto ambiental. Sin embargo, es importante continuar monitoreando regularmente los niveles de nitritos y llevar a cabo acciones preventivas para evitar posibles aumentos en la concentración de este compuesto en el futuro.

Tabla 6
Comparación de valores de Nitrito y LMP

Criterio TULSMA LIBRO VI	Límites permisibles	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Uso agrícola	1	0	0	0,002	0	0

Cuando los niveles de nitritos son bajos, se concluye que el agua está relativamente libre de polución por desechos orgánicos y otros compuestos nitrogenados. Sin embargo, niveles altos de nitritos pueden indicar la presencia de una gran cantidad de desechos orgánicos presentes en el agua, lo que obtiene propiciar el desarrollo de bacterias y otros microorganismos dañinos para la salud humana.

Es trascendental destacar que los nitritos pueden reaccionar con otros compuestos en el agua para formar nitrosaminas, los cuales son considerados compuestos tóxicos y potencialmente cancerígenos. Por tanto, los nitritos presentes en pueden ser una señal significativa de la calidad del agua, y niveles elevados de nitritos representan un peligro para el medio ambiente y la salud (Rubio et al., 2014).

4.2.3 Parámetros microbiológicos

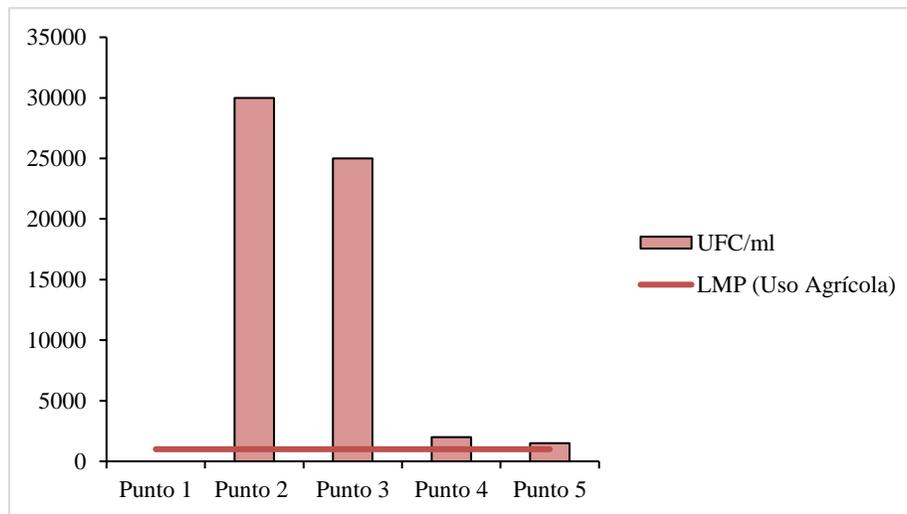
A continuación, se presentan los datos de los parámetros microbiológicos analizados en el laboratorio, es válido mencionar que los parámetros microbiológicos se evalúan para fijar la calidad y seguridad de agua en términos de presencia de microorganismos patógenos y contaminación fecal.

4.2.3.1 Coliformes fecales

A partir de los resultados obtenidos los valores de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) en el río Chorlaví superan ampliamente (LMP) establecidos por la normativa del TULSMA para el uso agrícola. Según el TULSMA esto indica una grave contaminación en el río, lo que pone en peligro el ecosistema y la salud de la población. El valor medio obtenido para coliformes fecales es de 11700 UFC/ML

Figura 14

Variación de UFC para coliformes fecales



Este resultado indica un alto peligro para la salud de la fauna y flora que pueda existir en el río Chorlaví, y también pone en duda la aptitud de sus aguas para su uso en actividades pecuarias y agrícolas ya que los resultados presentaron una concentración promedio de bacterias de coliformes fecales de 11700 UFC/ML, lo cual significa que es, 117 veces superior a la media para uso pecuario y agrícola.

A primera vista, se observa que los resultados de UFC de coliformes fecales obtenidos en este estudio difieren significativamente de los valores reportados en otras investigaciones. Sin embargo, esta variación se puede atribuir a la naturaleza inherente del método utilizado, que se basa en un principio de incertidumbre y proporciona límites de confianza. Es importante tener en cuenta que el grado de incertidumbre asociado con el método no proporciona certeza absoluta, pero puede ayudarnos a obtener estimaciones más precisas y confiables (Rice, 2012).

Los resultados de las UFC para coliformes fecales obtenidos en el sitio de estudio pueden ser atribuidos a la presencia de puntos de alcantarillado en mal estado, que incluyen tanto aguas servidas domésticas como industriales. Como resultado, la materia orgánica no se somete a los procesos de autodepuración típicos de los ríos. Esto es consistente con hallazgos previos en estudios similares realizados por otros autores que reportan la influencia de fuentes puntuales de contaminación en la calidad del agua de los ríos (González et al., 2017; Pérez et al., 2019).

Luego de obtener los valores físicos y químicos en el laboratorio, se evaluó la calidad del agua de cada punto de monitoreo utilizando los índices ICA-NSF y CCME utilizando los métodos descritos anteriormente. Los resultados de ICA-NSF y CCME se muestran en las Tablas siete, ocho y nueve. La Tabla 7 utiliza los límites permisibles establecidos por TULSMA CCME, mientras que la Tabla 9 utiliza los límites máximos permisibles establecidos por las normas europeas.

Tabla 7

Resultados del ICA-NSF obtenidos en los puntos de muestreo

Punto de Monitoreo	ICA	Calidad
Punto 1	84	BUENA
Punto 2	57	MEDIA
Punto 3	57	MEDIA
Punto 4	59	MEDIA
Punto 5	60	MEDIA
PROMEDIO	63	MEDIA

Se presentan a continuación los resultados del análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA) para cinco puntos de interés ubicados en los alrededores de la microcuenca del río Chorlaví. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede afirmar que la calidad del agua es moderada, dado que su valor es de 63.81. Se observó que el ICA es excelente en la fuente del río, pero a medida que se avanza de los puntos dos, tres, cuatro y cinco, el valor disminuye a medio. Esta disminución sugiere la presencia de contaminantes orgánicos y colonias de coliformes fecales, los cuales podrían ser causados por efluentes externos, como el alcantarillado cercano al río. Durante la visita realizada en el lugar, se pudo constatar que el sistema de alcantarillado se encuentra en condiciones deficientes.

Tabla 8

Resultados del CCME-CWQI obtenidos en los puntos de muestreo con los límites permisibles máximos establecidos en el Libro VI, Anexo I del TULSMA

Punto de Monitoreo	ICA	Calidad
Punto 1	94	EXCELENTE
Punto 2	76	BUENA
Punto 3	71	BUENA
Punto 4	79	BUENA
Punto 5	79	BUENA
PROMEDIO	79	BUENA

Es importante destacar que este estudio no contempla una toma de muestras espacial ni un seguimiento a largo plazo de la zona y sus actividades. Sin embargo, estos resultados pueden servir como base para identificar la contaminación en la zona, especialmente debido al mal estado del alcantarillado y la deforestación, la agricultura y la expansión de la frontera agrícola. En consecuencia, se hace necesario tomar medidas para controlar y mitigar la contaminación del agua en esta zona y evitar problemas futuros en la calidad del agua.

Tabla 9

Resultados del CCME-CWQI obtenidos en los puntos de muestreo con los límites permisibles máximos establecidos en los estándares europeos de calidad de agua para uso agrícola.

Punto de Monitoreo	ICA	Calidad
Punto 1	91	EXCELENTE
Punto 2	70	MEDIA
Punto 3	71	BUENA
Punto 4	65	MEDIA
Punto 5	70	BUENA
PROMEDIO	73	BUENA

Como se puede observar en las Tablas 8 y 9, los puntos dos y cuatro tienen valores ICA en el rango de 70 a 65, indicando calidad de agua promedio, y estos valores son más ajustados dentro de los límites permitidos en Europa., pero los recursos hídricos se encuentran en un nivel aceptable según el Índice Canadiense de calidad del agua (CWQI).

La calidad promedio del agua del río Chorlaví es de moderada a buena, según los estudios obtenidos aplicando el ICA en los cinco puntos evaluados por el método propuesto por NSF y CWQI. Sin embargo, según avanzaba el caudal, la calidad del agua del río Chorlaví se deterioró significativamente, lo que provocó una disminución en la capacidad del río para absorber la carga de contaminación y en su autodepuración.

4.2. Relación entre variables de calidad de agua

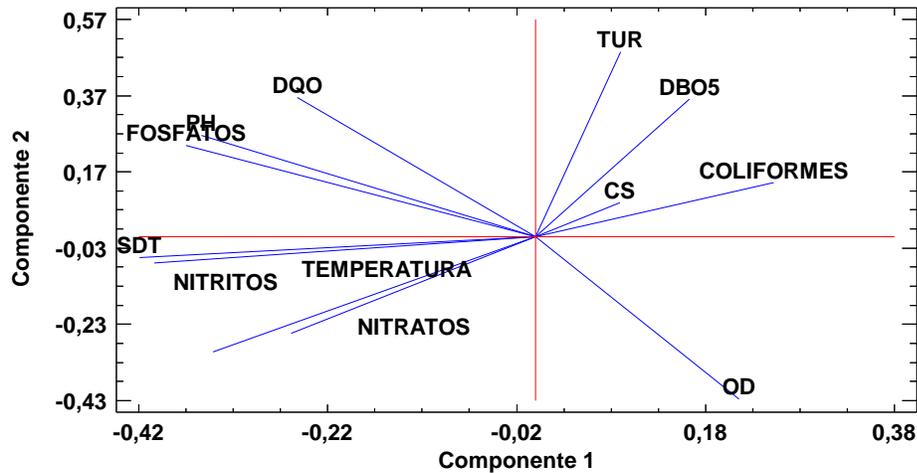
Para seleccionar el número de componentes principales (ACP) y para clasificar los efectos de las variables se usó la metodología indicada por Vieira et al. (2012) donde los primeros tres componentes con valores propios mayores a uno fueron seleccionados de acuerdo con la regla de selección de componentes del principio de Kaiser. Estos tres componentes principales representan el 93 % de la variación original, los valores correspondientes a cada componente principal se clasifican según la influencia de la variable y un valor $\geq 0,4$ que se considera el más significativo.

Como resultado, se identificó que once de las doce variables iniciales

contribuyeron en mayor medida. Estos hallazgos son consistentes con la investigación realizado por Singh et al. (2004) en el que, tras aplicar técnicas estadísticas multivariantes, se redujeron las variables de veinticuatro a veintitrés, y se explicó el 90% de la varianza total del conjunto de datos.

Figura 15

Contribución relativa de cada variable original en la formación de componentes principales.



La tasa de varianza acumulada del componente principal 2, que es del 93%, indica que los primeros componentes principales manifiestan la mayor parte de la información en los datos. En otras palabras, un pequeño número de componentes principales son comprometidas a la mayor parte de las características únicas y relevantes de los datos (Acosta et al., 2009).

En la Figura 15 los parámetros de turbidez, DBO y coliformes están correlacionados, lo que sugiere una alta probabilidad de contaminación del agua. La turbidez muestra la presencia de partículas suspendidas en el agua, que pueden incluir microorganismos como bacterias y virus. Los parámetros de calidad del agua CF, DBO y T tuvieron la mayor influencia y están estrechamente relacionados con la contaminación por materia fecal presente a lo largo de la cuenca. Las CF, se vinculan con residuos fecales de animales y humanos, pueden verse afectadas por microorganismos indicadores de contaminación fecal en suspensión en el agua. Esto se relaciona directamente con la contaminación de la cuenca (Gemmell y Schmidt,

2012; Tshibanda et al., 2014).

La relación entre sólidos totales disueltos, nitritos y temperatura pueden modificarse dependiendo de las circunstancias específicas del ambiente acuático. En general, los sólidos totales disueltos pueden afectar la capacidad del agua para retener el calor, lo que a su vez puede afectar la temperatura del agua. Por otro lado, los niveles de nitritos en el agua pueden ser afines a los procesos biológicos y químicos que pueden verse afectados por la temperatura, como la actividad microbiana. Además, se encontró una correlación significativa entre los sólidos totales disueltos y la turbidez del agua, lo que indica una mayor presencia de partículas suspendidas y sedimentos que afectan la transparencia y la calidad del agua..

La asociación entre sólidos totales disueltos y fosfatos están estrechamente relacionados de manera significativa debido a las actividades agrícolas intensivas o descarga de aguas residuales (Jain, 2022). Es posible que parte de estos fosfatos se encuentren en forma disuelta en el agua y se los incluyan en la categoría de sólidos totales disueltos y estos tienen efectos perjudiciales en el agua, contribuyen a la eutrofización, la estimulación para el crecimiento de algas, agotamiento del oxígeno y alteran el ecosistema acuático. En el estudio realizado por Smith et al. (2018) hallaron que los fosfatos y los sólidos totales disueltos presentan efectos negativos para la salud humana y el ecosistema acuático donde altos niveles de fosfatos están relacionados con el crecimiento desmesurado de las algas (Sarbu, 2005).

4.3. Estrategias dirigidas a la gestión del recurso hídrico y manejo de la microcuenca del río Chorlaví.

En la Tabla 10 se detalla de manera clara y precisa los objetivos, componentes, indicadores, medios de verificación y supuestos considerados para las estrategias dirigidas a la gestión del recurso hídrico y manejo de la microcuenca del río Chorlaví.

Resumen narrativo de objetivos	Indicadores	Medios de verificación	Supuestos
<p>FIN: Optimizar la calidad del agua y el manejo del recurso hídrico en la microcuenca del río Chorlaví mediante la implementación de buenas prácticas agrícolas, la mejora de la infraestructura de los alcantarillados en mal estado, y la educación ambiental.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados de los análisis de calidad del agua. - Verificación de las estructuras mejoradas. - Estado y nivel de los conflictos 	<ul style="list-style-type: none"> - Reporte de los análisis de calidad de agua. -Monitoreos de la cantidad de fertilizantes y pesticidas -Evaluación de la adopción de metodologías de conservación de suelo y agua. -Registro de diversificación de cultivos -Medición del conocimiento acerca la importancia de la preservación del ambiente y la adopción de prácticas sostenibles. -Registro de la participación ciudadana en iniciativas de conservación 	<p>Participación tanto de la sociedad como de las instituciones involucradas, las cuales trabajan de manera coordinada y enfocada en el manejo integral del recurso hídrico.</p>
<p>PROPÓSITO: Optimizar los escenarios de vida de la personas que se sustentan del río Chorlaví, garantizando el acceso a agua limpia y segura, fomentando el desarrollo sostenible de la cuenca y protegiendo la biosfera para las generaciones futuras.</p>	<p>Nivel de recuperación y restauración hídrica de la microcuenca del río Chorlaví</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reparación y mantenimiento del sistema de alcantarillado actual. - Socialización en temas de importancia de la ejecución de las buenas prácticas agrícolas a campesinos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Informe del proyecto de restauración ambiental. - Diseños y estudios definitivos del proyecto de reparación del sistema de alcantarillado - Registro de los agricultores que aplican las buenas prácticas agrícolas. 	<p>Se aplicarán los resultados de los procesos de mediación para lograr una repartición imparcial del caudal entre los diferentes usuarios de la microcuenca</p> <p>Las instituciones públicas brindan apoyo económico para la ejecución de proyectos técnicos y la implementación de las acciones correspondientes. Además, se espera que, aplicando las buenas prácticas agrícolas, por su mayor productividad y eficacia, sea favorecida en comparación con la agricultura convencional.</p>

Componente No. 1

Contaminación del recurso hídrico por el mal estado del alcantarillado.

Mejora de la infraestructura de los alcantarillados: se mejorarán los sistemas de alcantarillado en mal estado y se construirán nuevos sistemas de alcantarillado donde sea necesario.

Informes de avance

La Prefectura de Imbabura interviene en la ejecución del proyecto

Componente No. 2

Contaminación del recurso hídrico por malas prácticas agrícolas, sobre uso de suelo, aplicación de fertilizantes, etc.

Implementación de buenas prácticas agrícolas: se promoverán las buenas prácticas agrícolas para reducir la contaminación del agua y mejorar la productividad agrícola en la zona.

Informes de capacitación y registros de asistencia.

La Universidad Técnica del Norte lleva a cabo el proyecto de investigación, Gobierno Provincial Imbabura, Juntas de Agua Potables.

La decadencia de la demanda de agua es una estrategia clave para la recuperación hídrica donde reducir la demanda de agua mediante el uso eficiente y sostenible del agua de la zona.

Análisis de datos.
Monitoreos de pérdidas de agua.
Mediciones del uso del agua.

Componente No. 3

Plan integral de la recuperación hídrica.

Participación y sensibilización de la comunidad: La participación y la sensibilización de la comunidad son esenciales para la recuperación hídrica.

Monitoreos
Informes de Avance

La participación de la comunidad en la planificación y la implementación de las estrategias de recuperación hídrica, y la ampliación de la concientización sobre la importancia de los recursos hídricos y la necesidad de su gestión sostenible.

La Universidad Técnica del Norte lleva a cabo el proyecto de investigación, Gobierno Provincial Imbabura, Juntas de Agua Potables.
Agricultores de la zona

ACTIVIDADES

1. Mejora de la infraestructura de los alcantarillados:

- Identificación de los sistemas de alcantarillado en mal estado. Construcción de nuevos sistemas de alcantarillado.
 - Implementación de medidas para prevenir la contaminación del agua en los sistemas de alcantarillado.
 - Diseño e implementación de planes de mejora y modernización de la infraestructura existente para garantizar su adecuación y funcionalidad a largo plazo.
 - Implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo y control para mejorar la eficacia y el rendimiento del sistema de alcantarillado.
- Número de sistemas de alcantarillado mejorados o construidos.
 - Porcentaje de sistemas de alcantarillado que cumplen con los estándares de calidad.
 - Porcentaje de efectividad de las tecnologías avanzadas de monitoreo y control, medido en términos de reducción de fallas y tiempos de reparación.
 - Número y frecuencia de informes de mantenimiento y reparación.
 - Número y frecuencia de capacitaciones y formación del personal responsable del mantenimiento y operación del sistema de alcantarillado
- Registro fotográfico de los sistemas de alcantarillado mejorados o construidos.
 - Resultados de pruebas de calidad del agua antes y después de la implementación de las mejoras en la infraestructura de los alcantarillados.
 - Análisis de la capacidad y eficacia del sistema de alcantarillado, mediante mediciones de caudales, presiones y tiempos de retención, entre otros parámetros.
 - Registro de informes de implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo y control, incluyendo informes de pruebas y calibración de los equipos.
- La participación activa de los agricultores, la sociedad y las autoridades locales es fundamental para el éxito de las actividades.
 - Disponibilidad de recursos financieros suficientes para la construcción de los nuevos sistemas de alcantarillado.
 - Disponibilidad de los materiales y equipos necesarios para la implementación de las mejoras.
 - La implementación de tecnologías avanzadas puede mejorar la eficiencia y efectividad del sistema de alcantarillado, pero también puede requerir una inversión financiera significativa.

2. Implementación de buenas prácticas agrícolas:

-Capacitación a los agricultores sobre buenas prácticas agrícolas.
-Promoción del uso de técnicas de riego eficientes.

-Implementación de medidas para reducir la contaminación del agua por el uso de agroquímicos.

-Promoción del uso de tecnologías y prácticas agrícolas sostenibles

-Fomento del uso de agroquímicos orgánicos y biodegradables, en lugar de productos químicos dañinos para el medio ambiente.

-Porcentaje de agricultores capacitados en buenas prácticas agrícolas.
-Porcentaje de tierras agrícolas que utilizan prácticas agrícolas sostenibles.
-Reducción del uso de fertilizantes y pesticidas químicos en las tierras agrícolas.

-Porcentaje de residuos agrícolas gestionados adecuadamente mediante compostaje u otros sistemas de gestión.

-Niveles de contaminantes en los cuerpos de agua cercanas a las tierras agrícolas.

-Mejora en la calidad del suelo, medida por parámetros como el contenido de materia orgánica, la capacidad de retener agua y los niveles de nutrientes.

-Encuestas a los agricultores para evaluar el nivel de conocimiento y adopción de buenas prácticas agrícolas.

-Monitoreo y evaluación de las prácticas agrícolas en campo por parte de técnicos especializados.

-Análisis de los registros de ventas de fertilizantes y pesticidas para evaluar la reducción de su uso en las tierras agrícolas.

-Inspección y verificación del sistema de gestión de residuos agrícolas en las fincas.

-Monitoreo de la calidad del agua cercana a las áreas agrícolas.
-Análisis de la calidad del suelo en las tierras agrícolas. .

-Disponibilidad de recursos financieros suficientes para la capacitación de los agricultores y la implementación de las prácticas promovidas.

-Disposición de los agricultores a adoptar las nuevas técnicas de riego y reducción de uso de agroquímicos.

3. Plan integral de recuperación hídrica:

Identificación y evaluación de las oportunidades de recuperación hídrica como la captación de agua de lluvia, la recarga de acuíferos y la reutilización de aguas residuales tratadas.

Implementación de tecnologías de tratamiento de agua como la filtración y la desinfección, para garantizar la calidad del agua recuperada.

Promover un sistema de monitoreo y evaluación para medir el progreso y la efectividad de las actividades de recuperación hídrica y hacer ajustes en consecuencia.

Realización de una campaña de comunicación y educación para involucrar y educar a la comunidad sobre la importancia de la recuperación hídrica y fomentar la adopción de prácticas sostenibles de uso del agua.

- Número de personas capacitadas.
- Porcentaje de la población que reporta haber adoptado prácticas de recuperación hídrica.

- Niveles de tratamiento antes y después del tratamiento
- Fiabilidad y disponibilidad del sistema de tratamiento de agua.

- Cantidad de agua recuperada
- Calidad de agua recuperada
- Costos de inversión, operación y mantenimientos
- Porcentaje de reducción de la demanda de agua.

- Número de personas que participan en la campaña
- Cambios en el conocimiento sobre la recuperación hídrica y el uso sostenible del agua.
- Medios de comunicación utilizados

- Evaluaciones del conocimiento adquirido por los participantes de los talleres y charlas.
- Encuestas para medir el cambio de comportamiento de la población en relación con la recuperación hídrica.

- Monitoreo
- Pruebas de rendimiento
- Auditorias técnicas
- Registros
- Número de personas capacitadas.

- Evaluaciones periódicas
- Análisis de costos y beneficios.
- Monitoreos

- Encuestas antes y después de la campaña.
- Número de personas alcanzadas
- Participación activa de la comunidad en actividades relacionadas con la recuperación hídrica.

- Disponibilidad de los recursos necesarios para implementar las técnicas y tecnologías de recuperación hídrica están disponibles, tanto en términos de financiamiento como de mano de obra especializada.

- Disponibilidad de recursos financieros suficientes para la realización de las tecnologías de tratamiento.

- Las tecnologías de tratamiento de agua seleccionadas son efectivas para eliminar la contaminación y garantizar la calidad del agua recuperada.

- Disposición de la población a participar en las actividades de educación ambiental y a adoptar prácticas sostenibles.

4.3.1 Mejora y modernización del sistema de alcantarillado

La mejora y modernización del sistema de alcantarillado es una estrategia clave para abordar los desafíos relacionados con la gestión de la microcuenca del río Chorlaví y la calidad del agua. Esta estrategia tiene como objetivo principal optimizar la infraestructura existente, implementar nuevas tecnologías y mejorar los procesos de recolección, transporte y tratamiento de aguas residuales.

Los objetivos de esta estrategia son múltiples y están enfocados en mejorar la eficiencia del sistema de alcantarillado, implementar tecnologías avanzadas de tratamiento y promover la gestión sostenible del agua (Quiroz et al., 2018). La mejora de la eficiencia del sistema de alcantarillado implica identificar y corregir problemas de diseño, eliminar obstrucciones y optimizar la capacidad de transporte para evitar desbordamientos y fugas (Salazar Huánuco, 2020). Esto garantiza una recolección y transporte más efectivos de las aguas residuales, evitando su liberación directa al río sin tratamiento.

Además, la estrategia busca promover una gestión sostenible del agua en la microcuenca del río Chorlaví. Esto implica la implementación de prácticas y políticas que fomenten el uso responsable del agua, la reutilización de aguas tratadas y la reducción de la contaminación hídrica. Al adoptar estas medidas, se reduce la carga de contaminantes que ingresan al río y se preserva su calidad, beneficiando tanto a los ecosistemas acuáticos como a las comunidades que dependen del agua del río para diversas actividades (Sánchez, 2019).

Según Coaguilla (2020), las justificaciones de esta estrategia son sólidas, la protección de la salud pública es una de las principales, ya que un sistema de alcantarillado eficiente y adecuadamente mantenido evita la acumulación de aguas residuales y minimiza los riesgos de contaminación y propagación de enfermedades relacionadas con el agua.

4.3.2. Implementación de buenas prácticas agrícolas

Es una estrategia ampliamente reconocida y utilizada para mejorar la

sostenibilidad y minimizar los impactos negativos de la agricultura en el medio ambiente (Galán, 2021). En el contexto de la microcuenca del río Chorlaví, la adopción de estas prácticas se vuelve aún más relevante, ya que contribuirá al manejo adecuado de los recursos naturales y ayudará a preservar la calidad del agua y la biodiversidad en la zona.

Según Braz et al. (2020) el objetivo principal de la estrategia de implementación de buenas prácticas agrícolas es promover la adopción de prácticas sostenibles en la agricultura para mejorar el manejo de la microcuenca del río Chorlaví. Esto se logrará a través de una serie de objetivos específicos. En primer lugar, se busca conservar el suelo mediante prácticas como la siembra directa, la rotación de cultivos y la utilización de cobertura vegetal, con el fin de prevenir la erosión y la sedimentación en el río (EOS, 2020). Esto contribuirá a mantener la fertilidad del suelo y garantizará la productividad a largo plazo de las tierras agrícolas.

Otro objetivo clave es mejorar la calidad del agua en la microcuenca. Para lograrlo, se promoverá el uso responsable de fertilizantes y pesticidas, así como la implementación de sistemas de riego eficientes, con el fin de reducir la contaminación del agua por nutrientes y productos químicos (UNAM, 2013). Esta medida resultará fundamental para preservar la calidad del agua en el río Chorlaví y proteger los ecosistemas acuáticos presentes en la zona

Las justificaciones de esta estrategia son igualmente relevantes. En primer lugar, la protección de los recursos hídricos se considera esencial para asegurar el suministro de agua potable y preservar los ecosistemas acuáticos presentes en la microcuenca (Maderey et al., 2013). La implementación de buenas prácticas agrícolas contribuirá a reducir la erosión del suelo y la escorrentía de contaminantes, evitando así la degradación de la calidad del agua. La implementación de buenas prácticas agrícolas en la microcuenca del río Chorlaví es una estrategia fundamental para mejorar el manejo de los recursos naturales, preservar la calidad del agua y la biodiversidad, y promover una agricultura sostenible en la región (Santillán, 2013). Esta estrategia ayudará a mitigar los impactos negativos de la agricultura y a garantizar un equilibrio entre el desarrollo agrícola y la conservación ambiental en la microcuenca.

4.3.3. Plan de recuperación hídrica

Es una estrategia fundamental para abordar los desafíos asociados al manejo de la microcuenca del río Chorlaví y a la calidad del agua en dicha área geográfica. Su implementación implica una aproximación multidisciplinaria que busca proteger y conservar los recursos hídricos, mejorar la calidad del agua y promover la restauración de los ecosistemas acuáticos presentes (CONAGUA, 2020).

Uno de los objetivos primordiales de este plan es salvaguardar y preservar los recursos hídricos existentes en la microcuenca del río Chorlaví. Para lograrlo, se establecerán medidas encaminadas a prevenir la contaminación, controlar la extracción no sostenible de agua y fomentar prácticas sustentables que contribuyan a la conservación de los ecosistemas acuáticos y sus funciones vitales (PNUD, sf). Asimismo, el plan busca mejorar significativamente la calidad del agua en la microcuenca.

Se implementarán acciones concretas para controlar y reducir la contaminación generada por actividades agrícolas, industriales y urbanas. Además, se promoverán prácticas de manejo del suelo y uso responsable de productos químicos con el objetivo de prevenir la erosión y la lixiviación de contaminantes hacia los cuerpos de agua (Mejía, 2019). Otro objetivo relevante es la restauración y conservación de los ecosistemas acuáticos en la microcuenca (Montagut, 2016). Estas medidas contribuirán a mantener la biodiversidad, el equilibrio ecológico y la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos en el entorno de la microcuenca del río Chorlaví.

La justificación de esta estrategia radica en la importancia vital del recurso hídrico. Su preservación y correcto manejo resultan fundamentales para asegurar el suministro de agua a las comunidades locales, garantizar la sustentabilidad de las actividades agrícolas, industriales y turísticas, y salvaguardar la salud pública (IMTA, 2022). Además, la implementación de medidas de recuperación hídrica fortalecerá la sostenibilidad ambiental y socioeconómica de la microcuenca, al proteger los servicios ecosistémicos que brinda el agua y fomentar el desarrollo equilibrado de las comunidades locales.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Según la categorización de calidad del agua propuesta Brown, combinada con los resultados finales del Índice de Calidad del Agua de NSF y el Índice de Calidad del Agua CCME-WQI, la mayoría de las muestras obtuvieron una calificación de "Regular". Sin embargo, la primera muestra, que corresponde a la fuente donde nace el río, obtuvo una calificación de "Excelente". A pesar de esto, debido a la presencia de coliformes fecales y los niveles bajos de fosfato, no se puede afirmar con certeza absoluta que la calidad del agua sea buena.

La presencia de coliformes fecales en el agua indica un deterioro en su calidad, probablemente debido a problemas en la gestión del sistema de alcantarillado. Estos problemas podrían estar vinculados a las actividades agrícolas y ganaderas desarrolladas en los predios cercanos al río Chorlaví, según los hallazgos encontrados.

Se han detectado posibles problemas en la microcuenca del río Chorlaví, los cuales pueden atribuirse a la intensificación de las actividades agrícolas en la zona. Uno de los principales efectos negativos ha sido la disminución de las áreas de bosque y matorral debido al desarrollo y expansión de las fronteras agrícolas, esta situación ha generado la degradación del suelo en la microcuenca.

La solución integral a la contaminación del agua en la zona requiere abordar tres aspectos fundamentales. En primer lugar, es necesario mejorar y ampliar la infraestructura de los sistemas de alcantarillado para solucionar los problemas existentes. En segundo lugar, se debe enfocar en reducir la contaminación causada por las prácticas agrícolas inadecuadas, promoviendo el uso de técnicas sostenibles y responsables en el manejo del suelo y fertilizantes. Por último, se destaca la importancia de implementar un plan completo de recuperación del agua, que incluya estrategias para reducir la demanda, mejorar la calidad y promover la participación comunitaria en la gestión del recurso.

5.2 Recomendaciones

Se sugiere llevar a cabo un muestreo de tipo estacional y recopilar información detallada sobre los recursos naturales, así como también realizar estudios sobre las actividades comerciales y productivas en los predios, para poder diseñar un plan de trabajo integrado y coordinado. El objetivo principal de este plan debe ser promover el uso múltiple y la conservación de los recursos naturales, a través del desarrollo de estrategias adecuadas.

Para abordar la identificación y control de las fuentes potenciales de contaminación que afectan directamente la calidad del agua en el río Chorlaví, se propone realizar un estudio con la aplicación de macroinvertebrados como bioindicadores.

Mantener convenios por parte del Gobierno Provincial de Imbabura con los principales dirigentes de las zonas pobladas aledañas a esta microcuenca para mejorar el sistema de alcantarillado o la implementación de una planta de tratamiento de agua residual.

6. REFERENCIAS

- Acosta, R., B. Ríos, M. Rieradevall & N. Prat. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1): 35-64.
- ADTI. (Friends of the Earth International). 2010. Agua para la vida y el sustento. (En línea). Consultado 7 nov. Disponible en http://www.foei.org/esp/publications/pdfs/water_briefing_esp.pdf
- Agudelo, R. M. (2015) El agua, recurso estratégico del siglo XXI. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 23(1): 91–102.
- Aguirre, N. (2007). Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas. Universidad Nacional de Loja.
- APHA (1999) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Proceedings - AWWA Water Quality Technology Conference
- Arango Gutiérrez, M., Branch Bedoya, J. W., & Botero Fernández, V. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: “LANDSAT - ETM+”. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 39-55.
- Arce, A. L. (2012) Serie Autodidáctica de Medición de la Calidad del Agua. Comisión Nacional Del Agua. Mexico D.F., Mexico
- Braz, A. M., García, P. H. M., Pinto, A. L., Chávez, E. S., & Oliveira, I. J. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 69-85. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>
- Bouma, J., (2019). Digital soil mapping as a tool in soil erosion research: A review. *Earth-Science Reviews*, 193, 298-316. doi: 10.1016/j.earscirev.2019.04.012
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., and Tozer, R. G. (1970) A water quality index-do we dare? *Data and Instrumentation for Water Quality Management*: 339–343.
- Bolaños M. (2011). Estudio de Factibilidad para el Desarrollo de un Plan Maestro de

Redes de Distribución de Agua Potable del Sistema Urbano en la Ciudad de Urcuquí. Imbabura, Ecuador. Pp 200-207

Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., De Bievre, B., y Wyseure, G. (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of hydrology*, 329(3-4), 413-42

Bruckmann, M. (15 de junio de 2017). La centralidad del agua en la disputa global por recursos estratégicos. Obtenido de Rebelión: <http://rebellion.org/docs/147445.pdf>

Carrera, D., Sandoval, W., Andrade, V., Piedra, P., y Sánchez, V. (2017). Cálculo de caudales hidrológicos de la subcuenca de río Ambi utilizando el programa HECHMS para la comprobación de su aplicabilidad en el Ecuador.

Camacho-Sanabria, R., Camacho-Sanabria, J. M., Balderas-Plata, M. Á., & Sánchez-López, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y Bosques*, 23(3), 39-60. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>Chávez González, H., González Guillén, M. de J., & Hernández de la Rosa, P. (2015). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 2-15.

COA. (2017). Código Orgánico Ambiental. Quito: Lexis.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2020, 12 febrero). Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Gobierno de México. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-programa-nacional-hidrico-2019-2024-190499>

Correa-Araneda, F. J. (2016). Diseño muestral y métodos de muestreo en ríos, lagunas y humedales para el estudio de bioindicadores de calidad de agua. En B. Chatata, C. Talavera & F. Villasante (Eds.), *Estudio de comunidades biológicas como bioindicadores de calidad de agua* (pp. 81-88). Universidad Nacional de San Agustín-CONCYTEC.

Coagula Paredes, N. C. (2020). La contaminación de los ríos su impacto social y ambiental. Caso Río Lurín, 2017 (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Las Américas, Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.ulasamericas.edu.pe/bitstream/handle/upa/2352/TESIS%20-%20COAGUILA%20PAREDES%20NORMA.pdf?sequence=1>

- CISPDR. (2016). Plan Hidráulico Regional de Demarcación Hidrográfica Esmeraldas. Quito: SENAGUA
- DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental).2007. Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales, Dirección de Ecología y Protección del Ambiente, Área de Protección de los Recursos Hídricos, MINISTERIO DE SALUD.
- Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., and Sunkel, O. (2019) Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. Cepal.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). Constitución Política de la República del Ecuador. Registro Oficial 449. <https://www.cec-epn.edu.ec/wpcontent/uploads/2016/03/Constitucion.pdf>
- Environmental Systems Resource Institute - ESRI. 2008. ArcGIS. ESRI, Redlans, California, USA. Retrieved from <http://www.esri.com/>.
- ESRI (2010). “Editing tutorial”. Disponible en <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/editing-tutorial.pdf>, visitado en marzo 30 2015.
- EOS Crop Monitoring. (2020, 12 octubre). Agricultura Sostenible: La Aplicación Del Nuevo Concepto. Recuperado de <https://eos.com/es/blog/agricultura-sostenible/>
- Esper, M., y Perucca, L. (2014). Caracterización morfométrica de la Cuenca del río Seco a propósito de las fuertes precipitaciones de enero de 2013, Departamento Sarmiento, San Juan, Argentina. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 66(2), 235-245.
- Fallas, J. (2007). Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones. Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional, Costa Rica.
- Fajardo, L. A. (2019). Firmas Espectrales. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/334545971_Firmas_Espectrales
- Flamenco-Sandoval. 2007. Dinámica y escenarios sobre los procesos de cambio de cobertura y uso del terreno en el sureste de México: el caso de la selva el Ocote, Chiapas. Tesis de doctorado en ciencias. Universidad Autónoma de México. México, D.F.

- Forero, G., Valenzuela, L., & Saavedra-Rodríguez, C. A. (2021). Las especies paisaje como estrategia de conservación de la biodiversidad: evaluación cuantitativa de su efectividad. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 45(175), 555-568.
- Freire Velásquez, F. F., Silva Turner, D. F., & Tovar Páez, G. D. (2011). Manejo de Cuencas Hidrográficas: Usuarios del Agua de la Cuenca del río Valdivia-California [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio ESPO. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16052/1/Tesis%20Manejo%20de%20cuencas%20hidrograficas%2c%20usuarios%20de%20la%20cuenca.pdf>
- Friedman, M. (2000); “The god city: in defense of utopian thinking”. *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 24(2), pp. 460-472
- GAD Imbabura, y Prefectura de Imbabura. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Imbabura 2015-2035. In: Ibarra
- Gaspari, F.J..2011. *Vulnerabilidad Ambiental En Cuencas Hidrográficas Serranas Mediante Sig. Multequina* [en línea], no. 20, pp. 3-13. [Consulta: 20/11/2017]. ISSN 0327-9375, Disponible en: Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42824203001>
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., Rodríguez, A., y Besteiro, S. (2009). Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas. Gaspari. La Plata, 321.
- Galán, J. (2021, 1 enero). Agricultura sostenible. Economipedia. Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/agricultura-sostenible.html>.
- Gemmell, M. E., & Schmidt, S. (2012). Microbiological assessment of river water used for the irrigation of fresh produce in a sub-urban community in Sobantu, South Africa. *Food Research International*, 47(2), 300-305, DOI: 10.1016/j.foodres.2011.07.016
- González, V., Caicedo, O., Aguirre, N. 2017. Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, Dinius y BMWP en La Quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 16(1), 97-108. Medellín ISSN 0124.177X.
- González, M. I. (2013) Un futuro a favor de la protección del agua. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* 51(2): 126–12

- González, J., Manrique, R., Castro, L., & Juárez, E. (2018). Impacts of land use change on soil erosion in a small agricultural watershed in northern Mexico. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(2), 181-187. doi: 10.2489/jswc.73.2.181
- González, M., Araya, M., & Pérez, L. (2018). Ordenamiento territorial de cuencas hidrográficas: una herramienta para la gestión sostenible del agua. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 267-280.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Rural San Antonio de Ibarra. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial. Ibarra: Municipio.
- Guzmán-Colis, G. et al. (2011). Evaluación espaciotemporal de la calidad de agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 89-102.
- Guamán Caballero, B. I., & Rodas Velarde, D. S. (2022). Evaluación del balance hídrico en el ecosistema páramo de la cuenca alta del Río Tahuando [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13212>
- Heisler, J., Glibert, P. M., Burkholder, J. M., Anderson, D. M., Cochlan, W., Dennison, W. C., ... & Magnien, R. (2008). Eutrophication and harmful algal blooms: a scientific consensus. *Harmful Algae*, 8(1), 3-13.
- Helena, B.; Pardo, R.M; Vega, R.M.; Barrado, R.; Fernandez, J.; Fernandez, J. 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis *Wat. Res.* 34(3): 807-816
- INEN NTE INEN-ISO 5667-1. Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo (ISO 5667-1:2006, IDT). (2014). Ecuador: INEN.
- INEN NTE INEN-ISO 5667-3. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Conservación y manipulación de las muestras de agua (ISO 5667-3:2012, IDT). (2014). Ecuador: INEN
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2011). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de calidad del agua superficial. Bogotá: IDEAM

- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA]. (2022, 10 abril). Restauración hidrológica como base para la recuperación de nuestro capital natural. Gobierno de México. Recuperado de <https://www.gob.mx/imta/articulos/restauracion-hidrologica-como-base-para-la-recuperacion-de-nuestro-capital-natural>
- Iram, S. H. & Cronan, J. E. (2006). The beta-oxidation systems of *Escherichia coli* and *Salmonella enterica* are not functionally equivalent. *Journal of bacteriology*, 188(2), 599-607. doi: 10.1128/JB.188.2.599-608.2006
- Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2021). Morfología de las cuencas hidrográficas [Tesis]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Jain, A., Jain, R., & Jain, S. (2020). Physical, Chemical and Bacteriological Analysis of Water. En *Springer Protocols Handbooks*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9861-6_36
- Jácome, G. (2015). Propuesta de gestión de los conflictos socioambientales generados por el agua de consumo humano dentro de la microcuenca de la laguna de Yahuarcocha. (Tesis pregrado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra – Ecuador
- Jácome, G., Valarezo, C. & Yoo, C. Assessment of water quality monitoring for the optimal sensor placement in lake Yahuarcocha using pattern recognition techniques and geographical information systems. *Environ Monit Assess* **190**, 259 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6639-x>
- Kaiser, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23(3), 187-200. DOI: 10.1007/BF02289233
- La Hora. (2008). Todavía no logran descontaminar los ríos de Imbabura. <https://lahora.com.ec/noticia/691897/todava-no-logran-descontaminar-los-ros>
- Llorente, M., Díez, A., & Laín, L. (2009). Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones. *Instituto Geológico y Minero de España*, 37, 29–37.
- Liévano A, Ospina R. Guía Ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamón. 1 ed. Bogotá: Universidad del Bosque e Instituto Alexander von Humboldt; 2007. 130 p.

- Maderey Rascón, L. E., & Gutiérrez Hernández, J. E. (Coords.). (2013). Los problemas del agua y de las cuencas hidrológicas vinculados a las ciudades: Estudios de caso de Cuba y México. Instituto de Geografía, UNAM.
- Meyer, W. (2012). "Human population growth and global land use/cover change", *Annual Review of Ecology and Systematics*, no. 23, pp. 39–61.
- Mejía Delgado, I. C. (2019). Propuesta de plan de manejo ambiental para la recuperación de la ronda hídrica del Río Jordán (Tesis de pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. Recuperado de https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/3795/1/Propuesta_plan_manejo_ambiental.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2011). Las crecidas e inundaciones. San Salvador.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). Estimación de la Tasa de Deforestación del Ecuador continental. Ministerio del Ambiente del Ecuador, Quito.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. In: Subsecretaría de patrimonio natural Quito.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). Protocolos de muestreo, laboratorio y cálculo de índices. Recuperado el [fecha] de <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/programas-seguimiento/Protocolos-de-muestro-laboratorio-y-calculo-de-indices.aspx>
- Montoya, J., 2008, 'Caracterización de la biodiversidad acuática y calidad de las aguas de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia', *Revista Universidad Tecnológica del Chocó*, vol. 27, no. 1, pp. 85-91.
- Montagut Acosta, J. A. (2016). Recuperación Hídrica Social Gualí (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/20820/MontagutAcostaJulioAndres2016.pdf>
- Navarro, Hugo (2003). Esquema general para la evaluación de impacto de proyecto

y programa de lucha contra la pobreza. Curso internacional: uso de indicadores socioeconómicos en la evaluación de impacto de programas de lucha contra la pobreza. ILPES. Junio de 2003.

Orellana, J. (2018). Uso e importancia de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico. Caso Cantón Chilla, El Oro, Ecuador. Revista interamericana de ambiente y turismo, 14(1), 65-79. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-235X2018000100065>

Organización Panamericana de la Salud (2012) La Salud en las Américas. Publicación Científica Y Técnica 1(587): 1–3733.

Organización de las Naciones Unidas (2021) Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www1.undp.org/content/undp/es/home.html>

OMS (2015) Agua. Recuperado el 8 de febrero del 2023, de Google: <http://who.int/topics/water/es/>

Otero, SA. 2002. Creación y diseño de organismo de cuencas en la Subcuenca Río Copan Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATI

ONU. (2004). Convenio de Estocolmo. Convenio de Estocolmo.

Olmos, C., Ramirez, E., Saenz, H., Tejeiro, J., Peñaloza, S., Rojo, D., . . . Iturry, L. (2017). Guía para la Gestión de Recursos Hídricos en Cuencas de Montaña bajo el Efecto del Cambio Climático. Bolivia: Corporación Andina de Fomento.

Quiroz Fernández, L. S., Izquierdo Kulich, E., & Menéndez Gutiérrez, C. (2018). Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del Río Portoviejo, Ecuador. Centro Azúcar, 45(1), 73-82. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v45n1/caz08118.pdf>

Pagiola, S. 2004. Paying for Biodiversity Conservation Services in Agricultural Landscapes. Environment Department Paper No. 96. World Bank.

PND (2021). Plan Nacional de Desarrollo Quito: Lexis.

Pamplona, U. de (2005) Capítulo III: índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. In Índices De Calidad Y De Contaminación Del Agua (1st ed.). Colombia: Universidad de Pamplona.

Disuelto, No. 1. Guayaquil, Ecuador.

Percival, S. L., Yates, M. V., Williams, D., Chalmers, R., & Gray, N. (2014). *Microbiology of waterborne diseases: Microbiological aspects and risks* (2^a Ed.). LondonUK: Academic Press.

Peña, H., y Solanes, M. 2003 *La gobernabilidad efectiva del agua en las América*.

Peña, C. (2015). Estudio Morfométrico y Estimación de caudal de creciente de la quebrada La Caya hasta la desembocadura en río San Pablín del municipio de Guican-Boyacá utilizando el método racional.

Pérez, J., Nardini, A., y Galindo, A. 2019. Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia. *Información Tecnológica*, 29(3), 47-58. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300047>.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (s.f.). Plan de seguridad Hídrica. Recuperado de <https://www.undp.org/es/colombia/projects/plan-seguridad-hidrica>

Ramón Gallegos, G.R., 2017. *Metodología de gestión de microcuencas hidrográficas para el aprovechamiento de agua en forma permanente y de calidad en zonas rurales* [en línea]. Tesis de Magister. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/10597>.

Ramos, R.; Sepúlveda, R. & Villalobos, F. (2006). *El agua en el medio ambiente: Muestreo y análisis*. México: Universidad Autónoma de Baja California.

Ramírez, L., Alfieri, A., Rivas, G., and Sánchez, M. (2015) Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 4(2): 49

Ramírez, J. (2015). *Alternativas de manejo sustentable de la subcuenca del río Pitura, provincia de Imbabura, Ecuador*.

Reascos, Blanca. & YAR, Brenda. Evaluación de la calidad del agua para el consumo humano de las comunidades del cantón Cotacachi y propuesta de medidas correctivas. (Tesis). (Ingeniero en Recursos Naturales). Universidad Técnica

del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Escuela de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra-Ecuador. 2010. pp. 22-27.

Rice, E. (2012). Standard Methods. Washington: America Public Health Association

Rodríguez Vásquez, Eduardo, P. (2007). Problema por la contaminación del agua EPSA- Mc Graw Hill-Nueva Edición (1999). Jissel Urbieto.

Rodríguez, C., & López, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Aguapara el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. Recuperado el 19 de abril de 2020, de: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v12n2/1909-0455-pml-12-02-00035.pdf>

Rodier, J. (2005) Análisis de aguas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Madrid, España: TDX S.A

Rojas, O., 2009, 'Índices de Calidad del agua en fuentes de captación', Seminario Internacional sobre calidad del agua de consumo humano, Cali.

Rojas, O. J.; Liu, Y.; Stein, H. H., 2014. Concentration of metabolizable energy and digestibility of energy, phosphorus, and amino acids in lemna protein concentrate fed to growing pigs. J. Anim. Sci., 92 (11):5222-5229

Rosas L., UICN SUR. (21 de 08 de 2017). SENAGUA. Obtenido de SENAGUA: http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/Manual_de_procedimientos.pdf

Rosas, L., & UICN SUR. (2009). Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas, caso Ecuador. Quito: UICN SUR

Romero, J., López, A., & Ruiz, M. (2016). Participación ciudadana en el ordenamiento territorial de cuencas hidrográficas: experiencias en América Latina. Revista de Estudios Sociales, (58), 32-47.

Rubio, H et al. (2014). Índice de calidad de agua (ICA) en la presa la boquilla en chihuahua, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 1(2):139-150,2014 Recuperado el 23 de febrero de 2020, de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/era/v1n2/v1n2a5.pdf>

Ruiz, V. (2014). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropontente Nicaragua.

- Sarbu, C.; Pop, H. 2005. Principal component analysis versus fuzzy principal component analysis a case study: the quality of danube water (1985–1996) *Talanta* 65: 1215-1220
- Sandoval, A., and Günther, M. (2013) La gestión comunitaria del agua en México y Ecuador: otros acercamientos a la sustentabilidad. *Ra Ximhai* 9(2): 165–179
- Sánchez-Carvajal, J. P., Ron, L., & Fierro, D. (2016). Evaluación de la calidad de agua del río Ambi y su influencia en la generación de energía eléctrica. *Revista Tecnológica-Escuela Politécnica Nacional*, 29(2), 83-88.
- Sánchez, P. (2012). La teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales (Doctoral dissertation, Tesiss. Ing. Civil, Cuenca. Universidad de Cuenca).
- Sánchez, J., Gómez, J., & García, J. (2014). Ordenamiento territorial de cuencas hidrográficas: una revisión de la literatura. *Revista de Geografía Norte Grande*, (58), 27-43.
- Sánchez, A. (2019, 29 julio). Contaminación de lagos y ríos: causas, consecuencias y cómo evitarla. *EcologíaVerde*. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-de-lagos-y-rios-causas-consecuencias-y-como-evitarla-1936.html>.
- Salazar Huánuco, J. E. (2020). Evaluación del impacto de las aguas residuales sobre la calidad del agua del río Tarma en el período 2015-2019 (Tesis de pregrado). Universidad Continental, Huancayo, Perú. Recuperado de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7893>.
- Samboni, N. E., Carvajal, Y., and Escobar, J. C. (2017) A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. *Ingeniería e Investigación* 27(3): 172– 181.
- Santillán, M. L. (2013, 9 octubre). Manejo integral de cuencas hidrográficas para evitar problemas de agua. *Ciencia UNAM*. Recuperado de https://ciencia.unam.mx/leer/267/Manejo_integral_de_cuencas_hidrograficas_para_evitar_problemas_de_agua
- Siles, J; Soares, D. 2003. La fuerza de la Corriente: Gestión de Cuencas Hidrográficas con Equidad de Género. San José, CR. Hivos/IUCN. 266 p.

- Singh, K. P., Malik, A., Mohan, D., & Sinha, S. (2004). Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India). A case studies. *Water research*, 38(18), 3980-3992, doi: 10.1016/j.watres.2004.06.011
- Smith, J., Johnson, A., & Thompson, R. (2018). Assessment of Water Quality Parameters in a River Basin and Their Implications for Ecosystem Health. *Environmental Science Journal*, 45(3), 321-336.
- Sucoshañay, D. J., Gutiérrez, J. E., García, A. E., Ledesma, R., and Mira, J. M. (2015) Evaluación de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Puyo de la amazonia ecuatoriana a partir de un índice integrador (ICA_sp). *Ciencias de la Tierra y el Espacio*
- Tituaña, M. (2012) Evaluación comparativa de la gestión ambiental municipal de las aguas residuales en la provincia de Imbabura. *UTN*
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260-20264.
- Torres, P., Cruz, C., Patiño, P., Escobar, J. C., and Pérez, A. (2010) Aplicación de índices de calidad de agua -ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería e Investigación* 30(2010): 86–95.
- Torres, P.; Cruz, C. H. & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano una revisión crítica. *Revista Ingenierías*, 8(15), 79-94.
- Torres, P., Cruz, C., Patiño, P., Escobar, J.C., & Pérez, A. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua - ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería E Investigación*, 30(3), 86–95. Recuperado el 4 de agosto de 2020, de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3663927>
- UNAM. (2010). Agentes tensoactivos “ATA” o Surfactantes “S” y su aplicación industrial. Recuperado el 18 de abril de 2020, de: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/ata_10205.pdf
- Torres, J., Ochoa-Herrera, V., López-Lima, D., Mosquera-Losada, R., & Díaz-Ronquillo, M. (2015). Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Babahoyo, Ecuador. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(2), 213-225.

TULSMA (2003). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.

Quito. Lexis.

Tshibanda, J. B., Devarajan, N., Birane, N., Mwanamoki, P. M., Atibu, E. K., Mpiana, P. T., Prabakar, K., Ilunga, J. M., Wildi, W., & Poté, J. (2014). Microbiological and physicochemical characterization of water and sediment of an urban river: N'Djili River, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 3-4, 47-54. DOI: 10.1016/j.swaqe.2014.07.001

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2013, 9 octubre). Manejo integral de cuencas hidrográficas para evitar problemas de agua. *Ciencia UNAM*. Recuperado de https://ciencia.unam.mx/leer/267/Manejo_integral_de_cuencas_hidrograficas_para_evitar_problemas_de_agua

Vallejos Suarez, S. O. (2022). Metodología para el análisis de cobertura vegetal mediante imágenes obtenidas con drones en franjas de protección de ríos: Caso Río Chorlaví, ciudad de Ibarra (Tesis de postgrado). Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12997>

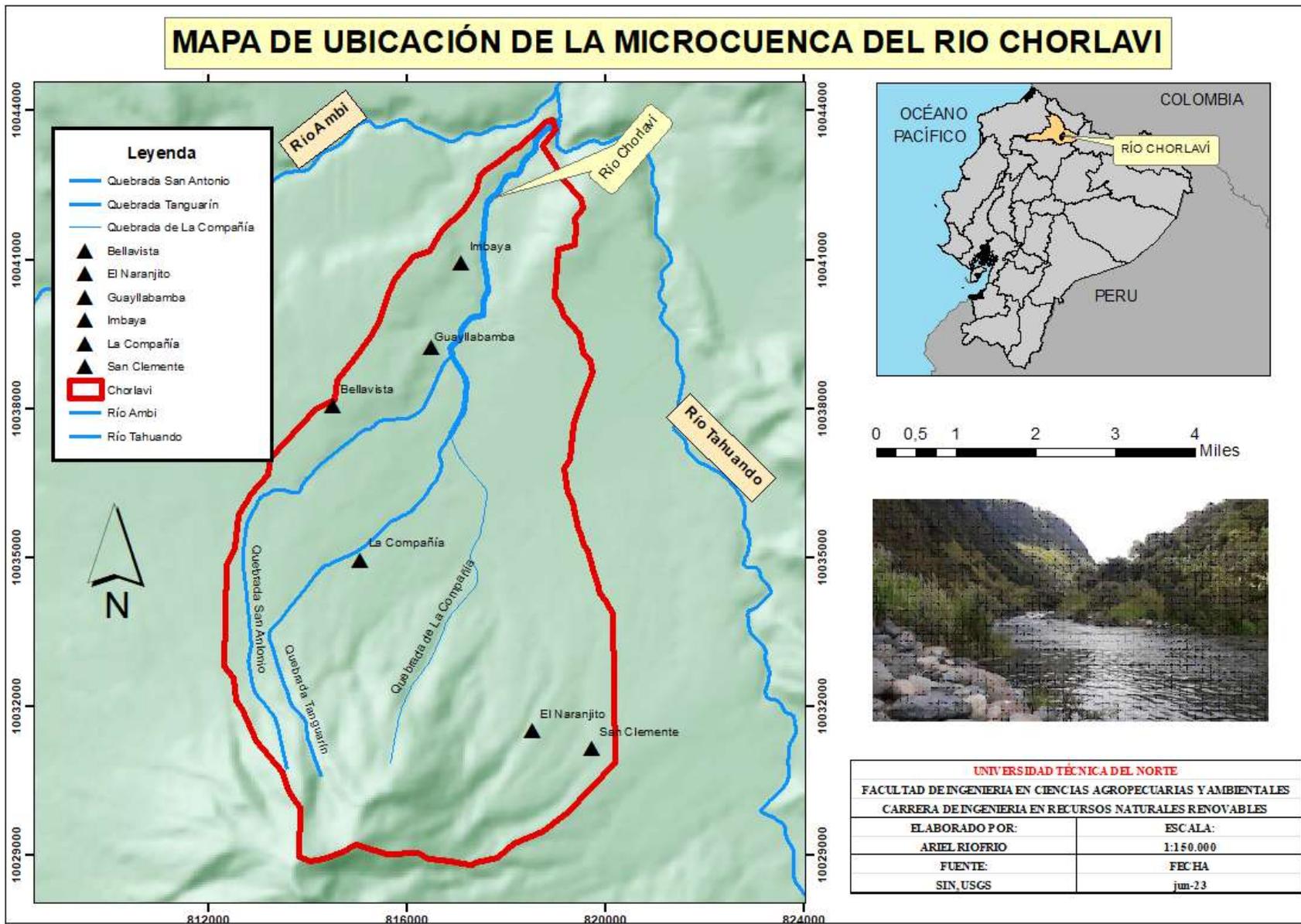
Valcarcel, L., Alberro, N., and Frías, D. (2009) El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente* (16): 1–5

Valdez, M., Perón, E. & Pérez, M.. (2016). EL MODELO DIGITAL DE TERRENO PARA EL DIAGNOSTICO MEDIOAMBIENTAL A ESCALA LOCAL, Mexico.

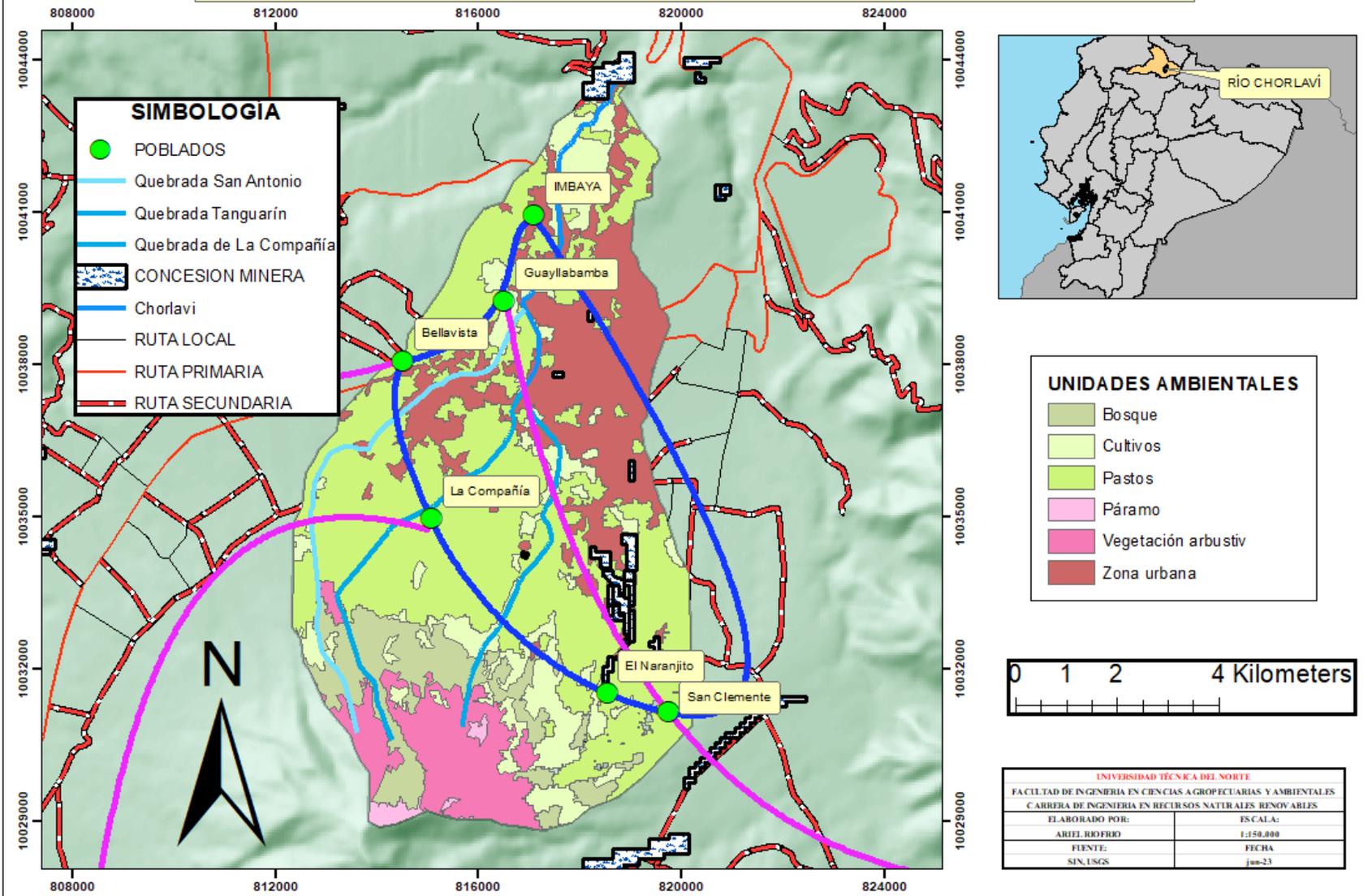
Verdugo, G.S. (2009). Análisis del proceso de cambio de uso y cobertura de suelo en la expansión urbana del gran Valparaíso, su evolución y escenarios futuros.

Villamarín CP. Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos del Ecuador y Perú. Diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos (tesis doctoral). Barcelona: Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona; 2008. 204 p. Disponible en: http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/83923/CPVF_TESIS.pdf?sequence=1. Citado: 8 Mar 2017.

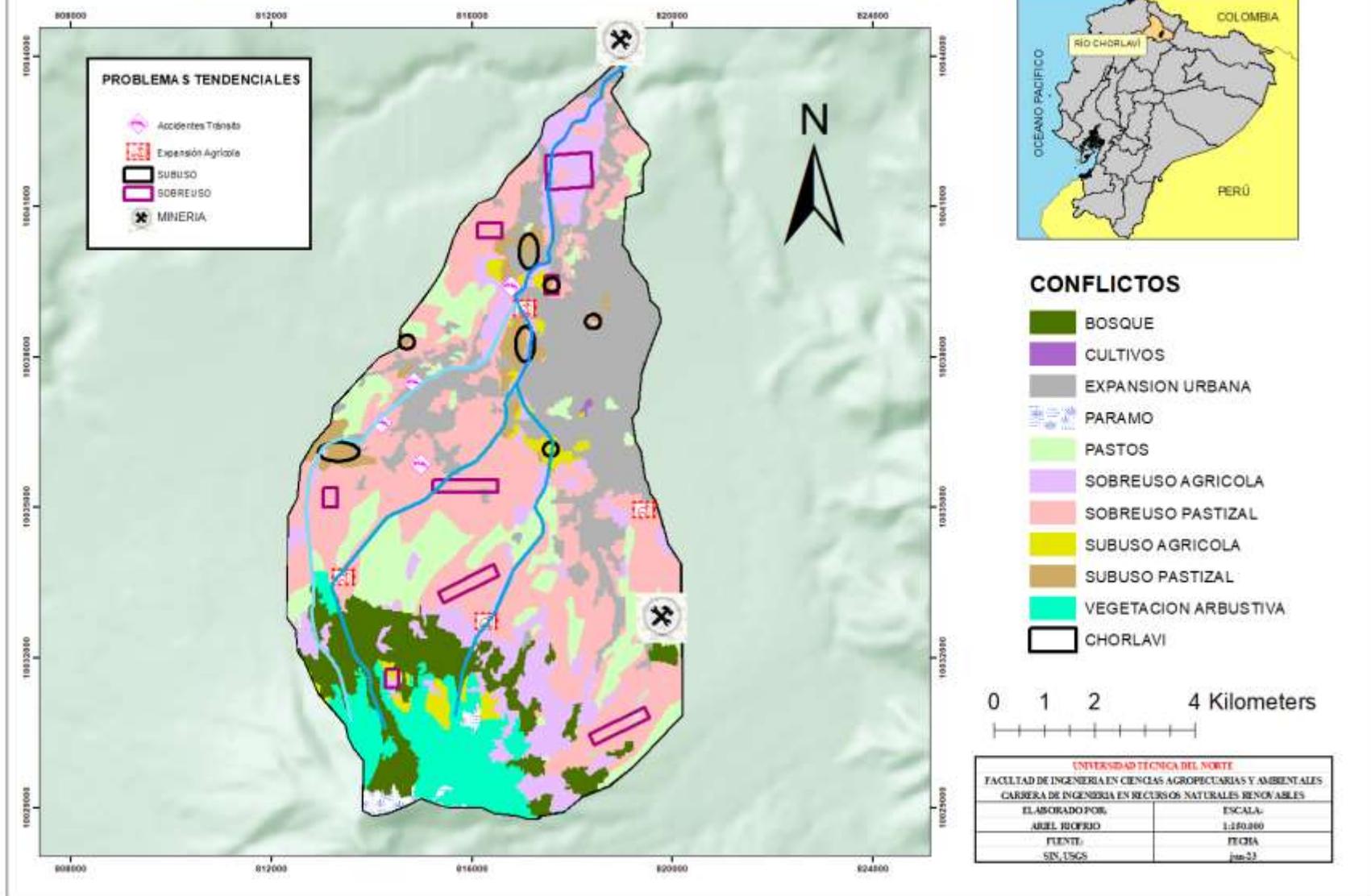
- Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(5), 1046-1068. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-12>
- Warner, J., & Moreyra, A. (2005). *Conflictos y Participación - Uso Múltiple del Agua*. Montevideo: Nordan-Comunidad.
- Wunderlin, D.A.; Diaz, M.P.; Ame, M.V.; Pesce, M. Hued, A.C. and BA.C., M.A. 2001. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquia river basin (Cordoba, Argentina). *Water Res.* 35: 2881-2894.
- Yáñez. D; Hurtado. J y Cando. M. (2017). Propuesta metodológica para la elaboración de cartografía de amenazas por inundación. Secretaria de Gestión de Riesgos.



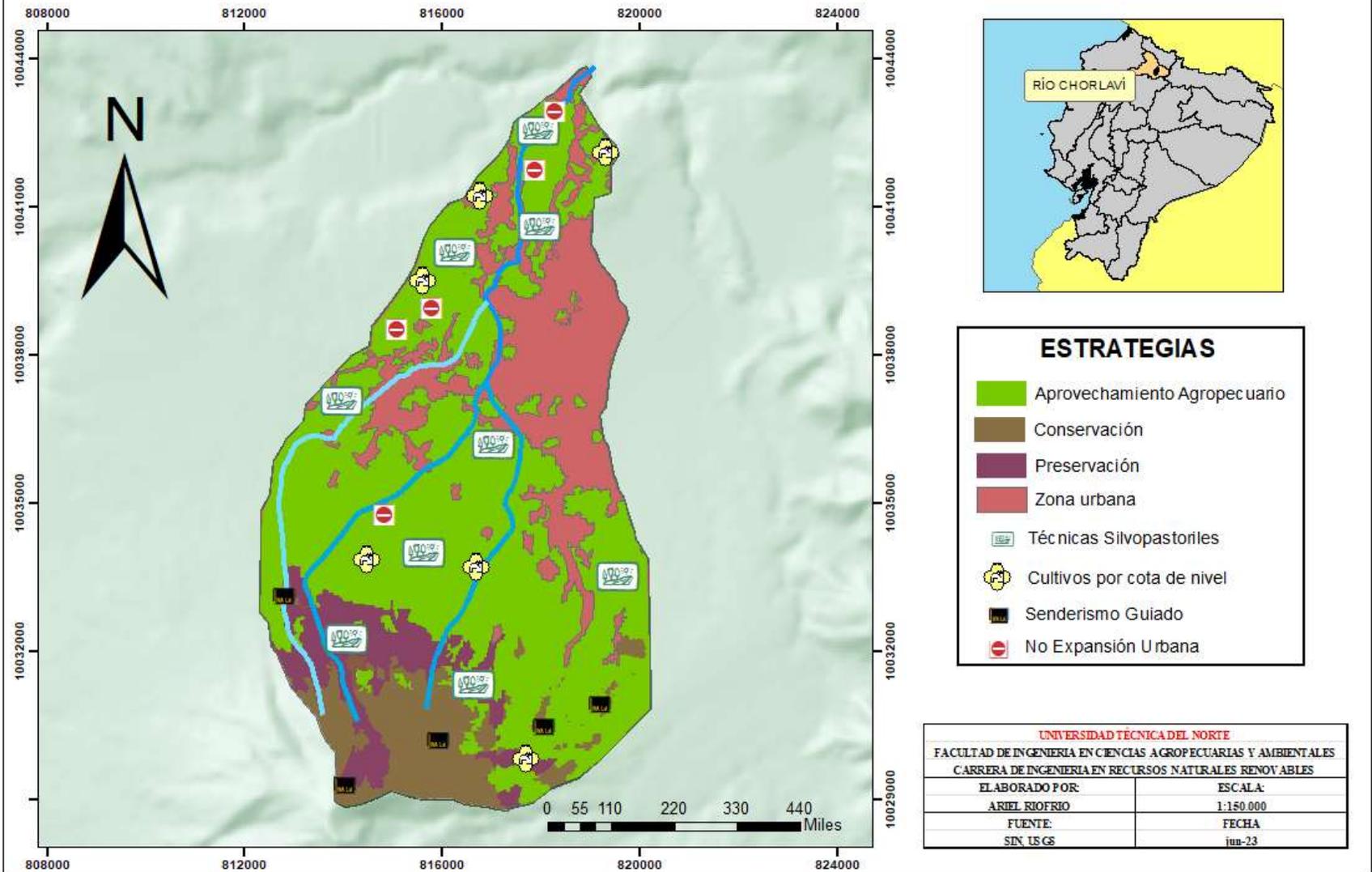
MODELO ACTUAL DE LA MICROCUENCA DEL RIO CHORLAVI



MODELO TENDENCIAL DE LA MICROCUENCA DEL RIO CHORLAVI



MODELO DESEADO DE LA MICROCUENCA DEL RIO CHORLAVI

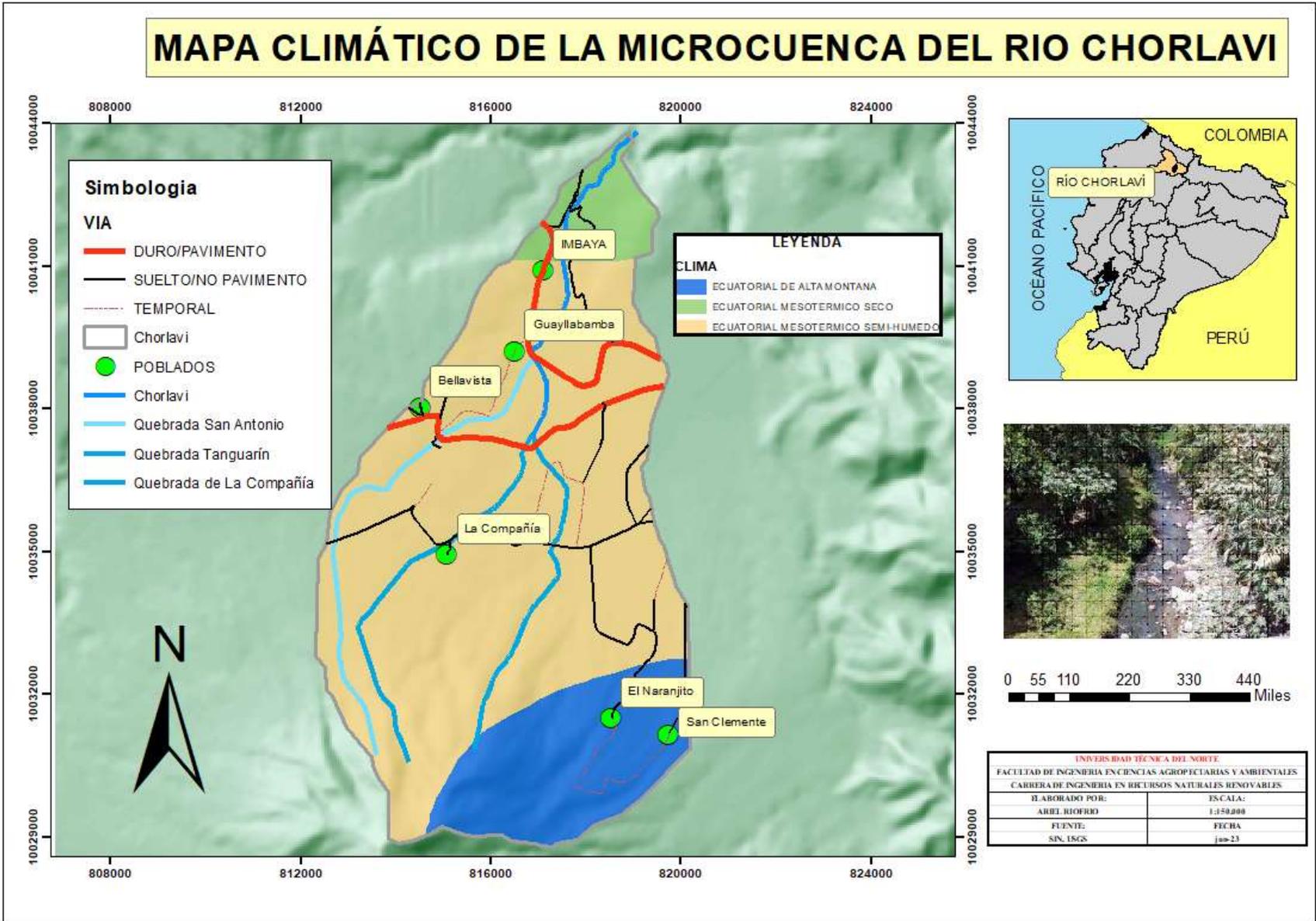


ESTRATEGIAS

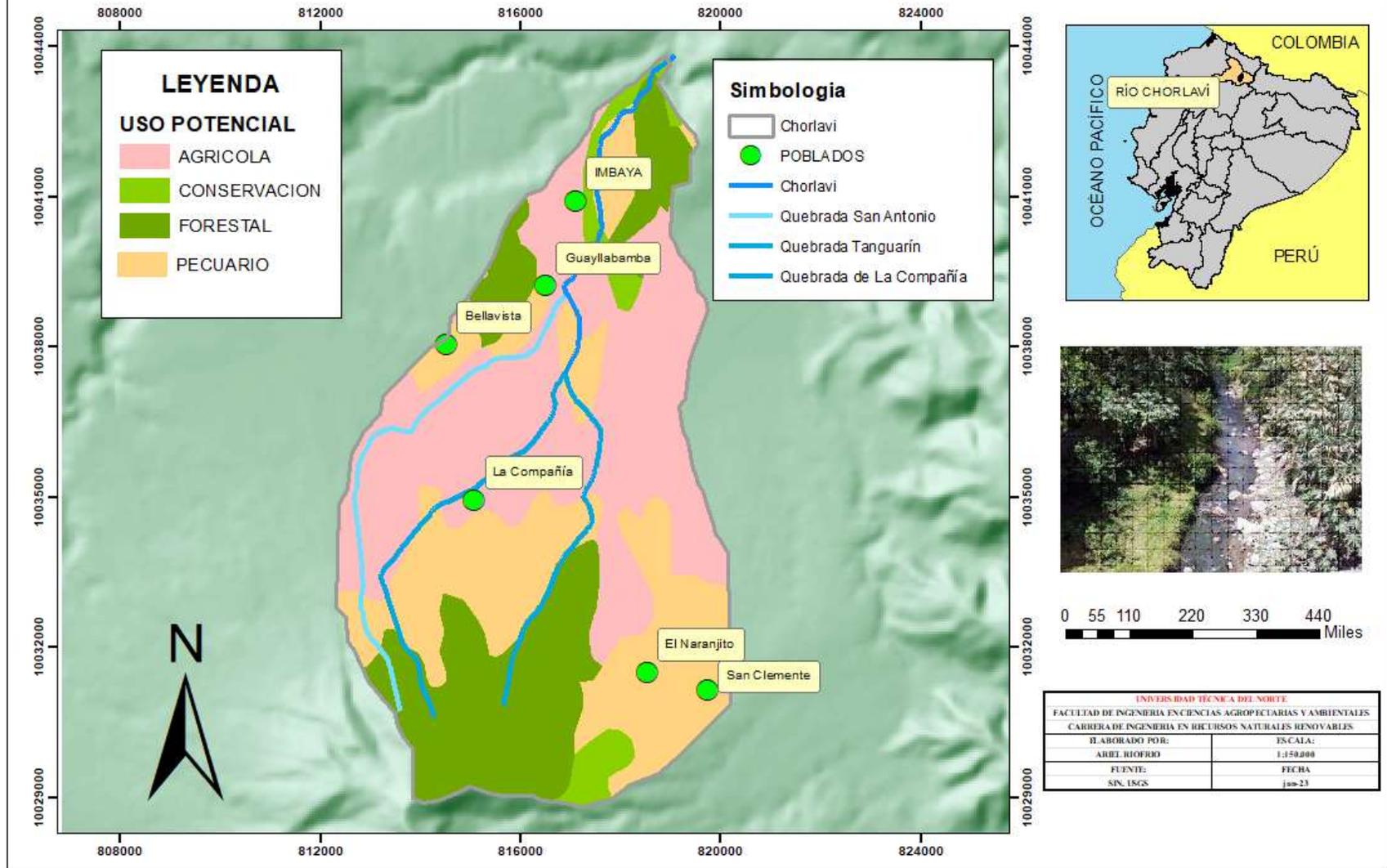
- Aprovechamiento Agropecuario
- Conservación
- Preservación
- Zona urbana
- Técnicas Silvopastoriles
- Cultivos por cota de nivel
- Senderismo Guiado
- No Expansión Urbana

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES	
CARRERA DE INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
ELABORADO POR:	ESCALA:
ARIEL RIOFRIO	1:150.000
FUENTE:	FECHA:
SIN USGS	jun-23

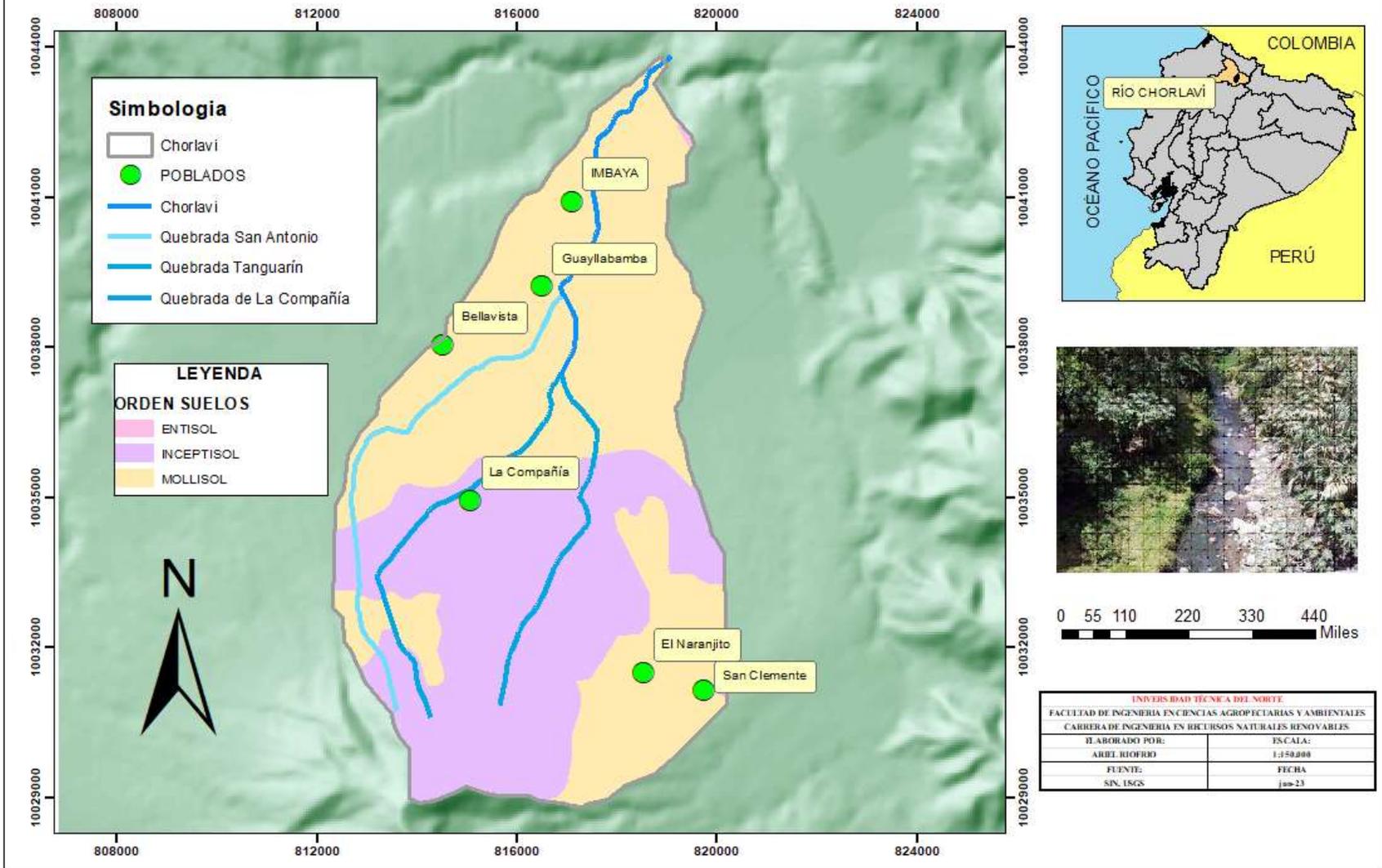
MAPA CLIMÁTICO DE LA MICROCUENCA DEL RIO CHORLAVI



MAPA USO POTENCIAL DEL SUELO DE LA MICROCUENCA DEL RIO CHORLAVI



MAPA ORDENES DE SUELO DE LA MICROCUENCA DEL RIO CHORLAVI



Anexo 2. Registro Fotográfico



