



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**“DETECCIÓN DE RIESGOS HIDROGRÁFICOS A CAUSA DE LA MINERÍA  
ILEGAL. CUENCA DEL RÍO LORO, SECTOR DE SANTA ROSA DE AGUA  
CLARA, CANTÓN CHILLANES, PROVINCIA DE BOLÍVAR.”**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión Integral de  
Cuencas Hidrográficas

**AUTORA:**

Ing. Ivonne Elizabeth Chávez Guevara.

**DIRECTORA:**

MSc. Piedad Maribel Jarrín Puente

**IBARRA - ECUADOR**

2022



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003095708		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chávez Guevara Ivonne Elizabeth		
DIRECCIÓN:	Atuntaqui – Bolívar y Rocafuerte		
EMAIL:	ivonnecheg@yahoo.es		
TELÉFONO FIJO:	062906072	TELÉFONO MÓVIL:	0991173111

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Detección de riesgos hidrográficos a causa de la minería ilegal. Cuenca del río Loro, sector de Santa Rosa de Agua Clara, cantón Chillanes, provincia de Bolívar
AUTOR (ES):	Ivonne Elizabeth Chávez Guevara
FECHA: DD/MM/AAAA	03 de junio de 2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Magister en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
ASESOR /DIRECTOR:	Maribel Jarrín, MSc.

### 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) 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 (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 03 días del mes de junio de 2022

EL AUTOR:

Nombre: Ivonne Elizabeth Chávez Guevara

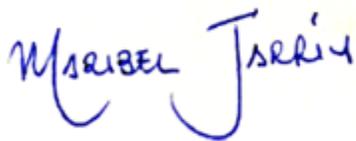
## **MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

“DETECCIÓN DE RIESGOS HIDROGRÁFICOS A CAUSA DE LA MINERÍA ILEGAL.  
CUENCA DEL RÍO LORO, SECTOR DE SANTA ROSA DE AGUA CLARA, CANTÓN  
CHILLANES, PROVINCIA DE BOLÍVAR”

**Trabajo de titulación revisado por Miembros del Tribunal, por lo cual se autoriza la  
presentación como requisito para obtener el título de:**

## **MAGÍSTER EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**APROBADO**



MSc. Piedad Maribel Jarrín Puente  
Tutor de trabajo de titulación

Ibarra – Ecuador

2022

## **DEDICATORIA**

El presente documento, cuyo contenido ha sido elaborado con un gran sacrificio, la demostración más clara del profundo amor que siento por la profesión que alguna vez escogí, la misma que a lo largo de este tiempo me ha llenado de sabiduría, de alegrías, me ha hecho adquirir las mejores habilidades para ser una gran profesional, pero nada de esto hubiese sido posible sin el apoyo incondicional de toda mi familia, quienes nunca dejaron de creer en mí, en mi sueño que desde niña tuve, por esto la presente tesis va dedicada a todos ellos, como una muestra de amor y de respeto hacia los valores que me inculcaron desde casa.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, dador de vida y fuente de toda sabiduría, por mostrarme el camino que tenía preparado para mi vida y por darme su mano poderosa para vencer los obstáculos, levantarme de las caídas y acompañarme a caminar con más fuerzas para conseguir mis sueños, a mi Madre, por enseñarme el verdadero sentido de la vida, por inculcarme los valores y la educación necesaria para ser una persona de bien, a mi hermano por ser más que mi sangre, un amigo incondicional, con el cual siempre he podido contar, demostrándome el verdadero vínculo que une a la familia.

A la Universidad Técnica del Norte, por abrirme las puertas de esta gran casa de estudios y forjar en mi un espíritu humanista, de profunda entrega al servicio de la colectividad, a sus maestros que me han transmitido toda su sabiduría y conocimientos, para acrecentar mi espíritu profesional.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Chillanes, por haberme permitido formar parte de esta gran institución, lo cual ha logrado que pueda relacionarme directamente con la población y adquirir de ellos los conocimientos, entender sus necesidades, y ser parte activa de la solución de los problemas y conflictos del área de estudio.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## Contenido

CAPÍTULO I.....	16
1. INTRODUCCIÓN .....	15
1.1. Problema de investigación .....	16
1.2. Objetivos de la investigación .....	20
1.3. Justificación .....	20
CAPÍTULO II .....	23
2. MARCO REFERENCIAL .....	23
2.1 Antecedentes .....	23
2.2 Referentes teóricos.....	25
2.2.1 Minería Ilegal.....	25
2.2.2. Riesgos hidrológicos en cuencas hidrográficas.....	26
2.2.3. Riesgos hidrológicos con herramientas SIG.....	28
2.2.4. Deforestación en cuencas hidrográficas.....	28
2.2.5. Crecidas en cuencas hidrográficas.....	30
2.2.6. Erosión del suelo en cuencas hidrográficas .....	32
2.2.7. Sedimentación en cuencas hidrográficas.....	34
2.2.8. Impactos ambientales en cuencas hidrográficas.....	37
2.3. Marco legal .....	39
CAPÍTULO III.....	46
3. MARCO METODOLÓGICO.....	46
3.1 Descripción del área de estudio.....	46
3.2. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Loro.....	47
3.3. Diseño y tipo de investigación .....	49
3.4. Procedimiento de investigación .....	49
CAPÍTULO IV.....	56
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN O PROPUESTA .....	56
4.1. Caracterización morfométrica de la microcuenca del río Loro .....	56
4.2. Estimación de caudales de crecida .....	60
4.3. Análisis de la deforestación en la hidrología de la cuenca del río Loro .....	63
4.4. Pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Loro.....	66
4.5. Identificación de los riesgos hidrológicos e impactos ambientales producidos por actividades de minería ilegal.....	70

4.6. Zonificación de la cuenca del río Loro considerando los riesgos hidrográficos causados por la minería ilegal.....	76
CAPÍTULO V.....	
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Potencialidades y problemas del componente biofísico.....	18
Tabla 2. Comparación histórica de deforestación y regeneración en la provincia de Bolívar.....	30
Tabla 3. Parámetros morfométricos e hidrográficos de la cuenca del río Loro.....	48
Tabla 4. Cálculo del coeficiente de esorrentía.....	51
Tabla 5. Clasificación de cobertura y uso del suelo utilizada .....	52
Tabla 6. Indicadores ambientales para la zonificación.....	55
Tabla 7. Caudales medios mensuales del año 2000 (l/s).....	56
Tabla 8. Caudales medios mensuales del año 2018 (l/s).....	56
Tabla 9. Precipitación media mensual del año 2000 (mm).....	58
Tabla 10. Precipitación media mensual del año 2018 (mm).....	58
Tabla 11. Área, longitud y cotas del cauce principal .....	61
Tabla 12. Frecuencias para las intensidades máximas .....	61
Tabla 13. Intensidades máximas de la Estación Bucay (M0039).....	61
Tabla 14. Erosión hídrica en la cuenca del río Loro, año 2000.....	69
Tabla 15. Erosión hídrica en la cuenca del río Loro, año 2018.....	69
Tabla 16. Erosión media hídrica en la cuenca del río Loro.....	69
Tabla 17. Categorías de Impactos ambientales .....	72
Tabla 18. Impactos negativos y positivos de la cuenca del río Loro.....	74
Tabla 19. Actividades del proyecto con mayor afectación.....	75
Tabla 20. Zonas de la cuenca .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Amenaza, vulnerabilidad y riesgos en cuencas.....	27
Figura 2. Soluciones o aspectos a incorporar en relación al análisis de la peligrosidad por inundaciones .....	34
Figura 3. Flujo de trabajo simplificado del proceso metodológico propuesto, aspectos considerados para la gestión territorial .....	36
Figura 4. Ubicación de la cuenca del río Loro en el cantón Chillanes, provincia de Bolívar .....	46
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso metodológico .....	50
Figura 6. <i>Modelo generado en Model Builder de ArcGIS para la</i> .....	54
Figura 7. Caudales medios mensuales del río Loro.....	57
Figura 8. Mapa de precipitación media anual del año 2000.....	59
Figura 9. Mapa de precipitación media anual del año 2018.....	60
Figura 10. Uso del suelo y cobertura vegetal del año 2000 .....	65
Figura 11. Uso del suelo y cobertura vegetal del año 2018 .....	65
Figura 12. Erosión hídrica del año 2000 .....	67
Figura 13. Erosión hídrica del año 2018 .....	68
Figura 14. Catastro minero por concesiones de la cuenca del río Loro.....	70
Figura 15. Matriz de impactos ambientales según la metodología de Leopold.....	73
Figura 16. Zonificación de la cuenca del río Loro. ....	76

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**INSTITUTO DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA**

**“DETECCIÓN DE RIESGOS HIDROGRÁFICOS A CAUSA DE LA MINERÍA ILEGAL. CUENCA DEL RÍO LORO, SECTOR DE SANTA ROSA DE AGUA CLARA, CANTÓN CHILLANES, PROVINCIA DE BOLÍVAR”**

**Autora: Ivonne Elizabeth Chávez Guevara**

**Tutora: MSc. Piedad Maribel Jarrín Puente**

**Año: 2022**

**RESUMEN**

La cuenca del río Loro, en el transcurso del tiempo, se ha visto afectada por actividades de minería ilegal produciendo cambios de uso y cobertura vegetal que han incidido en la ocurrencia de riesgos hidrográficos. Se realizó la identificación de los riesgos hidrológicos e impactos ambientales producidos por actividades de minería ilegal en la cuenca hidrográfica ubicada en el cantón Chillanes de la provincia de Bolívar. El objetivo general fue proponer una zonificación de la cuenca a partir de la identificación de los riesgos hidrográficos causados por la minería ilegal en el sector de Santa Rosa de Agua Clara. Para identificar los riesgos hidrológicos se aplicaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica para la determinación del coeficiente de escorrentía y caudal medio, el cálculo de la precipitación media anual de la cuenca, el cálculo del coeficiente de escorrentía, la estimación de caudales de crecida, el análisis de la deforestación en la hidrología de la cuenca, la estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica, y la identificación de impactos ambientales producidos por las actividades de minería ilegal. Se obtuvieron caudales medios anuales de 374,54 l/s y 268,20 l/s para los años 2000 y 2018 respectivamente, la precipitación media anual fue de 1692,72 mm para el 2000 y de 1416,01 mm para el año 2018, los caudales estimados de crecida fueron de 14,75 m<sup>3</sup>/s y 36,21 m<sup>3</sup>/s para los años 2000 y 2018 respectivamente, la tasa promedio anual de deforestación fue de 41,62 has/año para el periodo 2000-2018; la cantidad de suelo que se pierde por erosión hídrica laminar bajo diferentes combinaciones de uso y manejo para el año 2000 fue de 1,89 t/ha/año aumentando para el año 2018 a 9,59 t/ha/año evidenciando los efectos negativos del crecimiento acelerado de la minería legal e ilegal existente, afectando al suelo, al agua superficial y al bosque y vegetación arbustiva.

Palabras clave: Minería, riesgos hidrográficos, impactos ambientales, deforestación, erosión.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**INSTITUTO DE POSGRADO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA**

**“DETECCIÓN DE RIESGOS HIDROGRÁFICOS A CAUSA DE LA MINERÍA  
ILEGAL. CUENCA DEL RÍO LORO, SECTOR DE SANTA ROSA DE AGUA  
CLARA, CANTÓN CHILLANES, PROVINCIA DE BOLÍVAR”**

**Autora: Ivonne Elizabeth Chávez Guevara**

**Tutora: MSc. Piedad Maribel Jarrín Puente**

**Año: 2022**

**ABSTRACT**

The Loro river basin, over time, has been affected by illegal mining activities that have produced changes in use and vegetation cover that have affected the occurrence of hydrographic risks. The identification of hydrological risks and environmental impacts produced by illegal mining activities in the hydrographic basin located in the Chillanes canton of the Bolívar province was carried out. The general objective was to propose a zoning of the basin based on the identification of hydrographic risks caused by illegal mining in the Santa Rosa de Agua Clara sector. To identify the hydrological risks, techniques were applied through Geographic Information Systems to determine the runoff coefficient and average flow, the calculation of the average annual precipitation of the basin, the calculation of the runoff coefficient, the estimation of flood flows, the analysis of deforestation in the hydrology of the basin, the estimation of soil loss due to water erosion, and the identification of environmental impacts produced by illegal mining activities. Average annual flows of 374.54 l/s and 268.20 l/s were obtained for the years 2000 and 2018 respectively, the average annual rainfall was 1692.72 mm for 2000 and 1416.01 mm for 2018, the estimated flood flows were 14.75 m<sup>3</sup>/s and 36.21 m<sup>3</sup>/s for the years 2000 and 2018 respectively, the average annual deforestation rate was 41.62 has/year for the period 2000-2018; the amount of soil that is lost due to laminar water erosion under different combinations of use and management for the year 2000 was 1.89 t/ha/year, increasing for the year 2018 to 9.59 t/ha/year showing the negative effects of the accelerated growth of existing legal and illegal mining, affecting the soil, surface water and forest and shrub vegetation.

**Keywords:** Mining, hydrographic risks, environmental impacts, deforestation, erosion.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En el Capítulo I se expone ampliamente los problemas que causa la minería ilegal a nivel global, regional y en el lugar de estudio que es la cuenca del río Loro ubicada en el sector de Santa Rosa de Agua perteneciente al cantón Chillanes, provincia de Bolívar; se describen los impactos a nivel social, económico y ambiental; se presenta la formulación del problema delimitada en espacio y tiempos; además, se exponen las preguntas directrices que guiarán la investigación.

En el Capítulo II se mencionan las definiciones, teorías, categorías, técnicas y resultados de investigaciones anteriores sobre riesgos hidrológicos y que respaldan el presente estudio, la información que se utiliza ha sido seleccionada, analizada e interpretada de fuentes documentales impresas y digitales.

En el Capítulo III se detallan el diseño, el tipo de investigación, las técnicas y los instrumentos de recolección de información y que, se centran en el cumplimiento de los objetivos específicos de acuerdo las preguntas directrices planteadas.

En el Capítulo IV se presenta los resultados que arrojó la investigación sobre los riesgos hidrográficos causados por la minería ilegal en la cuenca del río Loro, sector de Santa Rosa de Agua Clara, cantón Chillanes de la provincia de Bolívar.

En el Capítulo V se formulan las conclusiones y recomendaciones de la investigación señalando los resultados con relación a los objetivos planteados, exponiendo la importancia e indicando sus implicaciones teóricas y prácticas.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. Problema de investigación

En el Ecuador a finales del siglo XX se produjeron una serie de inundaciones que impactaron negativamente en el aspecto económico y social al causar una gran cantidad de daños y damnificados debido a fenómenos naturales únicos y de carácter imprevisible. Los datos de inundaciones se utilizan para planificar el uso del suelo en zonas inundables y los riesgos potenciales de inundación; las inundaciones pasadas constituyen la mejor evidencia de la probabilidad de que un determinado evento pueda repetirse en el futuro, teniendo en cuenta los escenarios posibles tanto hidrológicos como climáticos. [Baker (como se citó en Fernández, 2012), p. 175]

Para una correcta planificación del uso de los recursos hídricos, es primordial evaluar los riesgos ambientales en las cuencas de aporte a los ríos, entendiendo que la definición de riesgo es la consecuencia eventual en situaciones en que algo de valor está en peligro y su desenlace es incierto, en tanto que el término impacto se refiere a las consecuencias o resultados de los efectos en los sistemas naturales y humanos.[ IPCC (como se citó en Maillard, Salinas, Angulo y Vides-ALmocid, 2019, p. 84)]

“La extracción minera en algunos lugares data del año 1600, ocasionando disturbios al medioambiente y generando suelos con limitaciones físicas, químicas y biológicas para el establecimiento de vegetación y riesgos a la salud” (Puga, Sosa, Toutcha, Quintana y Campos, 2006, p.1).

Para Ulloa (2019) los derechos de la naturaleza se ven vulnerados por la minería ilegal por cuanto no es una explotación responsable y enmarcada a la normativa que la regula por lo que la naturaleza se ve completamente afectada y también las comunidades o pueblos que viven en las zonas en donde esta actividad se desarrolla. (p. 9)

Quezada (como se citó en Ulloa, 2019) afirma que "La minería ilegal en el Ecuador, como en todos los países latinoamericanos subdesarrollados, ha causado serios daños a la salud, no sólo de quienes laboran por las condiciones de inseguridad y explotación sino por los daños al medio ambiente de los sectores cercanos a las minas. En la provincia de Esmeraldas en la zona norte ha sido tradicional la minería. El interés por el oro a gran escala fortaleció verdaderas empresas sin control, lo que determinaba su ilegalidad con las consecuencias destructivas hacia la naturaleza. (p. 6)

En los últimos años la minería industrial, artesanal como la ilegal están siendo consideradas como una actividad comúnmente practicada en la comunidad de Santa Rosa de Agua Clara Cantón Chillanes, Provincia Bolívar. Según el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Chillanes (GAD-CHILLANES, 2019, la Agencia de Regulación y Control Minero-ARCOM presenta un registro de 55 Concesiones Mineras entre explotación de minerales metálicos como oro, plata y cobre; no metálicos como arcillay feldespatos; y materiales de construcción como cascajo, ripio y arena, representando el 52,51% del total del territorio del cantón. (p.20).

*Los deslizamientos catalogados como una amenaza socio – natural, provocan afectaciones serias a las vías, con probabilidades de afectar entre el 100% al 50% de la infraestructura vial; también podría generar entre 50% y 20% de pérdidas económicas o en la producción. Dentro de las comunidades más vulnerables y que están consideradas como zona de riesgo esta (...) Santa Rosa de Agua Clara (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San José del Tambo, GAD-SAN JOSE DE TAMBO, 2015, p. 40)*

El área de estudio presenta una geomorfología conformada por cerros de mediana altura con fuertes pendientes, las rocas presentan un comportamiento mecánico corriente que, en combinación con otros factores como deforestación, pendientes altas, y severos fenómenos meteorológicos originan las causas fundamentales para el desarrollo de deslizamientos en toda la vía que conduce de Chillanes a Santa Rosa de Agua Clara.

Existen recursos naturales bajo presión o degradados como especies forestales nativas porque se produce una deforestación indiscriminada de las montañas con fines de comercialización de madera, aumento de superficie de cultivos; aperturas, lastrados y mantenimiento de vías rurales, deslizamiento del suelo.

El cantón Chillanes dentro de la matriz de potencialidades y problemas del componente biofísico presenta diferentes potencialidades y problemas que se presentan en la Tabla 1.

*Tabla 1* Potencialidades y problemas del componente biofísico

<b>Variable</b>	<b>Potencialidades</b>	<b>Problemas</b>
Recursos no renovables	Aprovechamiento de material pétreo en las riveras de ríos cascadas	Explotación ilegal de minas
Recursos naturales degradados	Vegetación arbórea natural	Comercialización de madera, ampliación de la frontera agrícola, escaso conocimiento de la normativa ambiental, mal manejo de los recursos naturales por falta de capacitación a la población,
Ecosistemas para servicios ambientales	Bosques naturales, microcuencas hidrográficas	Deforestación. Débil gestión del territorio bajo esquema de manejo de cuencas hidrográficas.
Relieve	Moderados	No existen planes de manejo para conservar estos recursos.

Descripción de las variables, potencialidades y problemas que presenta el cantón Chillanes con relación al componente biofísico.

*Nota:* Adaptado de PDOT 2019

Las concesiones para explotación de minería artesanal metálica y no metálica se han realizado de manera intensiva, de tal manera que el impacto de este tipo de minería pareciera ser no muy significativo comparada con la minería a mediana y gran escala; este tipo de minería genera un impacto más dañino y agresivo con el ambiente, porque se emplean tanto prácticas y técnicas que usan maquinaria que no están acorde a las actividades adecuadas de extracción como: retroexcavadoras, succionadoras y volquetas que se usan sin ningún criterio técnico, así como químicos no autorizados, lo que finalmente termina en una minería con bajos porcentajes de extracción mineral con altos grados de contaminación del agua y del suelo; las actividades mineras artesanales demandan de trabajos forzados y poco tecnificados, ocasionando un gran desgaste energético y efectos negativos al ambiente debido a la

precariedad en la ejecución de los trabajos como el mal uso en el tipo de herramientas, equipos y maquinarias.

No existe una legislación lo suficientemente clara y explícita que regule los procedimientos y formas extractivas de menor impacto con el ambiente con el fin de minimizar los impactos ambientales que estas prácticas pudieran desencadenar, por lo regular la Ley de minería expedida en el año 2009 mediante Registro Oficial N° 517 determina el tipo de minería por el número de hectáreas, pero eso no es suficiente para entender los impactos de esta actividad. Según Alvarado (2017) existe un escenario en el que no se toman las medidas necesarias para proteger el ambiente, ocasionando como resultado únicamente contaminación y destrucción. Esto significa que la producción o la realización de actividades mineras no son negativas desde una perspectiva económica, pero, cuando el Estado se enfoca únicamente en la producción, queda de lado la protección de los derechos de la naturaleza, poniendo en riesgo el sistema ambiental.

Las operaciones minero extractivas que realizan las poblaciones de la cuenca media del río Loro ha provocado conflictos socio ambientales entre familias; la cultura de la población nativa y de los mineros artesanales que trabajan en el sector hace que las actividades mineras sean consideradas de alto riesgo para el bienestar y salud integral de quienes practican y ejecutan este tipo de minería; entre las consecuencias y daños colaterales se añade la pobreza crónica que genera la minería ilegal, debido a las actividades económicas que no son controladas por el Estado como la evasión de impuestos, contrabando de insumos para la minería, redes de servicios, tráfico de personas, explotación laboral, explotación infantil, fuga y blanqueo de capitales, internación de maquinaria sin registro, entre otras.

La falta oportuna de gestión por parte de las autoridades, así como la falta de investigaciones asociadas a la identificación de los riesgos hidrográficos causados por la minería ilegal, impide establecer un marco conceptual sólido de soluciones a la problemática que presenta la cuenca hidrográfica del río Loro de Santa Rosa de Agua Clara en el cantón Chillanes

## **Formulación del problema de investigación**

¿Cuáles son los riesgos hidrográficos causados por la minería ilegal en la cuenca del río Loro, sector de Santa Rosa de Agua Clara, cantón Chillanes de la provincia de Bolívar?

### **1.2. Objetivos de la investigación**

#### *1.2.1 Objetivo general*

- Proponer una zonificación de la cuenca del río Loro a partir de la identificación de los riesgos hidrográficos causados por la minería ilegal en el sector de Santa Rosa de Agua Clara, Cantón Chillanes, Provincia de Bolívar.

#### *1.2.2 Objetivos específicos*

- Identificar los riesgos hidrológicos e impactos ambientales producidos por actividades de minería ilegal en el sector de Santa Rosa de Agua Clara, Cantón Chillanes, Provincia de Bolívar.
- Determinar las zonas de riesgos en la cuenca del río Loro a causa de la minería ilegal.
- Diseñar una zonificación para la cuenca del río Loro, considerando los riesgos hidrográficos causados por la minería ilegal en el sector de Santa Rosa de Agua Clara, Cantón Chillanes, Provincia de Bolívar.

### **Preguntas de investigación**

- ¿Cuáles son las zonas vulnerables a riesgos de deforestación, crecidas, erosión y sedimentación en la cuenca del río Loro, sector de Santa Rosa de Agua Clara, cantón Chillanes de la provincia de Bolívar?

### **1.3. Justificación**

El desarrollo de esta investigación se justifica porque está dentro de la Línea de investigación 3: Biotecnología, energía y recursos naturales renovables; además se cumple la misión del Instituto de Posgrado: “ *formar profesionales de cuarto nivel, desarrollar investigación, programas de educación continua y servicios académicos a base de una planificación técnica, diseñada con criterios de calidad, en la perspectiva de encontrar soluciones pertinentes a los problemas que presentan los entornos contemporáneos, utilizando instrumentos teóricos y metodológicos que contribuyan a desarrollar la ciencia, la técnica, las artes y el humanismo*”.

La Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2017) menciona que los resultados de este trabajo de investigación aportarán para contribuir al cumplimiento de programas y/o proyectos enmarcados en los pilares de sustentabilidad ambiental y desarrollo territorial equitativo del Plan Nacional de Desarrollo del Ecuador 2017-2021; enmarcado en los compromisos internacionales de desarrollo global, como la Agenda 2030 y sus objetivos de Desarrollo Sostenible:

Eje 1: Derechos para todos durante toda la vida

Objetivo 3

3.3 Precautelar el cuidado del patrimonio natural y la vida humana por sobre el uso y aprovechamiento de recursos naturales no renovables (objetivos de Desarrollo Sostenible: 3 Salud y bienestar; 11ciudadades y comunidades sostenibles y 12producción y consumo responsable). (p. 66)

La presente investigación permitirá identificar los riesgos hídricos e impactos ambientales causados por la minería ilegal y el cambio de uso del suelo en el sector Santa Rosa de Agua Clara al determinar el área de crecimiento minero alrededor de la cuenca y estableciendo un análisis de los últimos 10 años, los resultados de esta caracterización permitirán establecer una zonificación donde existen evidencia de actividades de minería ilegal, la cual está generando pasivos e impactos ambientales significativos directos e indirectos en la cuenca hidrográfica, la misma que es la fuente principal de agua para consumo humano. Además, se determinará crecidas, deforestación, erosión del suelo y sedimentación del suelo, ocasionados por del mal manejo de la extracción minera en el sector.

Además, se brindará a los GADs cantonales y parroquiales información sobre la preservación y la conservación de áreas en la cuenca del río Loro, que permitan actualizar los PDOTs para el adecuado manejo de las actividades mineras a través de los procesos idóneos de explotación; contribuyendo así al bienestar y mejora de la calidad de vida de la población de la cuenca hidrográfica.

Los resultados obtenidos de esta investigación permitirán a los organismos locales, nacionales e internacionales que trabajan en la cuenca del río Loro tomar medidas para regularizar la producción del sector minero de la zona, además de la remediación y control de la minería ilegal.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Antecedentes

Los ecosistemas de las cuencas hidrográficas son relativamente estables y firmes. A lo largo de la historia hay pocos casos de colapso de una cuenca debido a las actividades humanas. Sin embargo, a partir del siglo XX el desarrollo insostenible ha puesto en peligro la ecología de cuencas hidrográficas en diferentes partes del mundo. (FAO, s.f., p.1)

Gaspari, Rodríguez, Delgado, Senisterra y Denegri (2011) mencionan que “La combinación de factores antrópicos y ambientales, en conjunción con las características morfométricas de la cuenca hidrográfica como el relieve, la red de drenaje y la forma pueden generar vulnerabilidad en el ambiente” (p. 5).

El concepto de vulnerabilidad, aplicado a cuencas hidrográficas, se manifiesta cuando se presentan fenómenos de carácter hidrometeorológico extremo (granizadas, lluvias torrenciales, huracanes, inundaciones, sequías, tornados) y escenarios morfométricos críticos (alta pendiente, geomorfología abrupta, suelos poco profundos, uso del suelo sin medidas conservacionistas). Existen estudios que han abordado la zonificación de la amenaza hidrometeorológica utilizando las bondades que ofrecen los SIG y los sensores remotos [Van Westen & Soeters (como se citó en Gaspari, Rodríguez, Delgado, Senisterra y Denegri, 2011, p.5)]

La evaluación del riesgo hidrológico en cuencas hidrográficas se basa en el análisis de datos para correlacionar la causa y el efecto de eventos antrópicos y la influencia climática (Masters & Ela, 2006). Teniendo en cuenta el análisis de riesgos hidrológicos producidos por actividades mineras, la simulación es cada vez más utilizada como un

medio para reducir la incertidumbre de las evaluaciones basadas en la información interpolada [Goovaerts (como se citó en Gaspari, Rodríguez, Delgado, Senisterra y Denegri, 2011, p.6)]. Con estos antecedentes en el año 2008 la minería fue declarada sector estratégico clave por el Gobierno de Ecuador y se aprobó el Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero (PNDSM). Desde entonces, la actividad se ha fomentado en todas sus fases bajo la premisa del respeto a las políticas de responsabilidad social y ambiental. El potencial minero de Ecuador es innegable ya que el país cuenta con unas condiciones geológicas favorables y únicamente se ha explorado el 10% del territorio (Plan Nacional en Desarrollo del Sector Minero, 2016).

La minería no sostenible representa un riesgo para el Derecho Humano de “Acceso al Agua Potable y Saneamiento” reconocido por las Naciones Unidas en la , al poner en peligro la cantidad y calidad de las fuentes hídricas. De igual forma, al afectar la calidad del agua, la minería viola además otros derechos como el Derecho Humano a la Salud y a un Ambiente Sano. (Paz, 2012)

"Las compañías mineras enfrentan riesgos hídricos sustanciales provenientes de la amenaza de desastres potenciales al impacto financiero directo que tienen inundaciones extremas y escasez de agua sobre sus operaciones. Estos son riesgos físicos que serán exacerbados por el cambio climático".(Morgan, 2020)

Por otro lado, Vera y Albarracín (2017), indican que la gestión del riesgo es un componente fundamental para la ordenación de cuencas hidrográficas y en general para la gestión integral del territorio; sin embargo, los ejercicios de gestión de riesgos han sido hegemonizados desde las visiones parciales de las ciencias naturales y aplicadas, por lo que se han centrado principalmente en el análisis de amenazas, dando menor importancia a los componentes de la vulnerabilidad.

Fikir et al, (2009) realizaron un estudio, donde determinaron el impacto del manejo integrado de cuencas del uso de suelo que se ha generado con el empleo de la teledetección y los SIG; con la ayuda de las imágenes satelitales (teledetección) se ha podido determinar el impacto que tienen la minería en el suelo.

Debido a la carencia de información histórica referencial, se empleó información satelital histórica multitemporal procedente de sensores pasivos tales como Landsat-5 (TM), Landsat-7 (ETM) y Landsat-8 (OLI), con el fin de identificar los riesgos hidrológicos e impactos ambientales producidos por las actividades de minería ilegal en la cuenca del río Loro; la zonificación de áreas de riesgo permitió identificar los posibles impactos ambientales generados por las actividades mineras mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Teledetección; finalmente la información generada será de gran utilidad para la gestión ambiental a largo plazo y el monitoreo de la recuperación y rehabilitación de áreas mineras intervenidas (Charou, et al., 2010).

## **2.2 Referentes teóricos**

### **2.2.1 Minería Ilegal**

La Pontificia Universidad Católica sede Esmeraldas (PUCESE) realizó el estudio de impacto de la actividad minera en la zona norte de la provincia de Esmeraldas, donde se identificó las afectaciones de la minería ilegal en los ríos debido a la contaminación por actividades de extracción de oro. Otro de los problemas identificados es el desbordamiento de los ríos y las consecuentes inundaciones, causados por la acumulación de sedimentos y en ocasiones por el desvío del curso de algunos cuerpos de agua. El estudio realizado menciona que la actividad minera tiene una fuerte influencia en el deterioro de las condiciones de vida de la población (CAMAREN, 2014).

“A la minería se la define como a una actividad económica que comprende el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan en la superficie terrestre con fines comerciales. En Ecuador esta actividad se la ha realizado por mucho tiempo como pequeña minería y minería artesanal”. (Reporte Minero, BCE. 2017)

De acuerdo al Ministerio de Economía y Finanzas (2019), el aprovechamiento responsable de los recursos que posee el Ecuador, tendrá un impacto positivo en la inversión productiva (empleos), ya que prevé inversiones de alrededor de USD 3.800 millones hasta el 2021; razón por la cual, el Gobierno Nacional impulsa una minería

responsable, ambiental, económica; haciendo frente a las actividades ilegales que provocan pérdidas al país.

La Ley de Minería (2009) hace mención que la minería ilegal es la “explotación ilegal de sustancias minerales quienes realicen las operaciones, trabajos y labores de minería en cualquiera de sus fases sin título alguno para ello o sin el permiso legal correspondiente”; en el año 2019, el ENAMI estimó una pérdida de USD 200 millones para el país por motivos de la extracción ilegal producida en la zona de Buenos Aires.

### ***2.2.2. Riesgos hidrológicos en cuencas hidrográficas***

Moreno, Mondragón, Cáceres y Carias (2016) realizaron un estudio para identificar los riesgos por desastres naturales en las cuencas hidrográficas Matasnillo (Panamá) y Goascorán (Honduras), y su relación con el cambio climático utilizando Tecnologías de Información Geográfica, el estudio permitió desarrollar una metodología para facilitar la identificación, el análisis y la clasificación de riesgos hidrológicos mediante la identificación de amenazas y vulnerabilidades en el área de las cuencas seleccionadas, elaborando propuestas y recomendaciones para minimizar riesgos identificados como altos en base a la amenaza.

Según Parada, Zárate, Arévalo y Kuiper (2015) “El riesgo es producto de una amenaza y de vulnerabilidad frente a dicha amenaza, se identifican varios fenómenos locales y globales que afectan por distintas razones y presentan diferentes grados de vulnerabilidad para las comunidades, sectores productivos y ecosistemas” (p. 21). Existen tres tipos de riesgos hídricos (Figura 1):

1. Riesgos físicos
2. Riesgos de regulación
3. Riesgos de reputación.

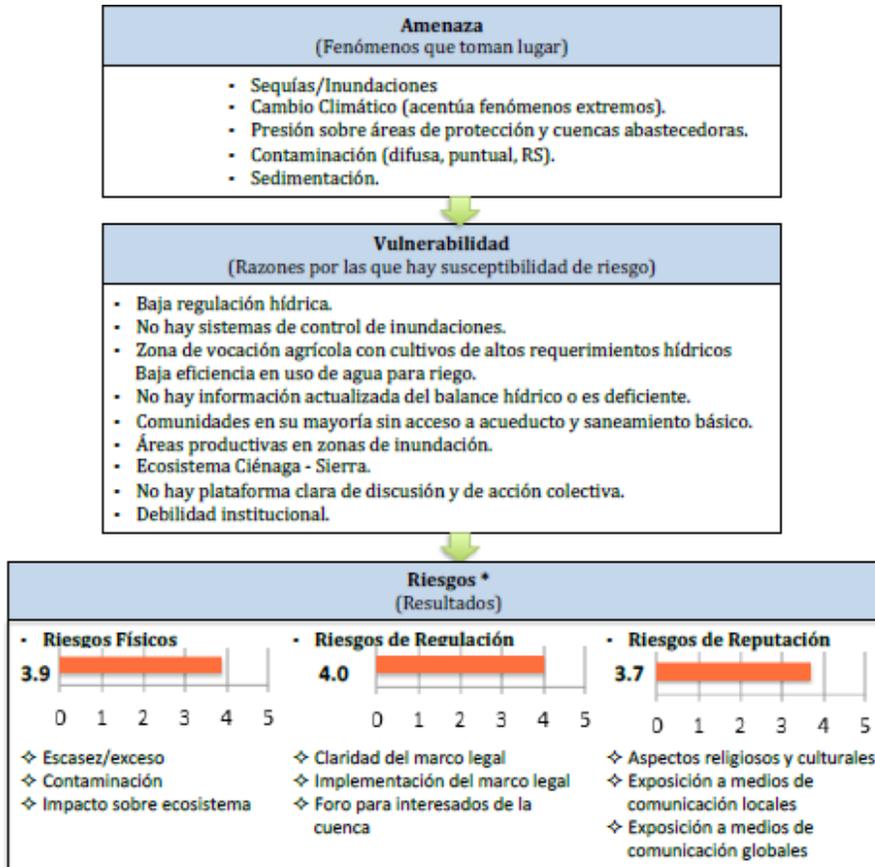


Figura 1. Amenaza, vulnerabilidad y riesgos en cuencas.

Nota: Tomado de Parada et al., 2015

Los riesgos relacionados con el agua podrían incrementarse por varios motivos. Por un lado, debido a las actividades humanas como la deforestación, el drenado de ríos, almacenamiento y liberación de agua en embalses y la construcción de diques; y como resultado de la variabilidad y cambio climáticos aumente la probabilidad de que sucedan eventos extremos que produzcan grandes impactos en la sociedad. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, La Ciencia y la Cultura-UNESCO, 2020)

Conesa, García, Brinckmann, García y Pérez (2008) afirman que la reducción de la peligrosidad natural, desde una doble perspectiva de planificación del peligro y gestión de las emergencias, comienza a cobrar el protagonismo que merece en las leyes del suelo, ordenación del territorio, agua, impacto ambiental y protección civil de rango

estatal o regional aprobadas en los últimos años, aunque la peligrosidad natural todavía no preocupa como debiera a la Administración en sus diversas escalas. (p. 66)

### **2.2.3. Riesgos hidrológicos con herramientas SIG**

Loaiza (2020) realizó el estudio hidrológico de la cuenca del río Santa Rosa en las provincias ecuatorianas de Bolívar y Los Ríos, en el análisis se emplearon herramientas SIG para determinar el balance hídrico de la cuenca. Se determinó mediante la técnica de análisis multicriterio que la cuenca presenta un superávit hídrico en el periodo de enero a abril y un déficit hídrico en el periodo de mayo a diciembre.

Dumas (2016) menciona que en los últimos años gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías de información geográfica (TIG) varias investigaciones utilizan estos sistemas (SIG y Teledetección en su mayoría) para realizar análisis de erosión a diferentes escalas. Los sistemas de información geográfica presentan grandes ventajas a la hora de implementar un modelo para el análisis de erosión, ya que permiten:

- Procesar y operar gran cantidad de datos que permiten el cálculo de las distintas variables implicadas en el modelo, pudiendo obtener como resultado una capa para cada factor de la ecuación matemática.
- Ejecutar operaciones y análisis entre capas.
- Observar la distribución espacial de los resultados.
- Crear escenarios posibles.
- Visualizar y generar cartografía que muestre de forma clara y concisa los resultados obtenidos. (p.15)

### **2.2.4. Deforestación en cuencas hidrográficas**

Gonzales y Llanos (2015) realizaron la evaluación de los efectos de la deforestación en la hidrología de la cuenca del Alto Mayo en Perú, en el estudio se analizaron las tendencias históricas de caudales en las subcuencas del río Mayo y la relación con las tasas de deforestación. Se determinó que no existe una relación directa del patrón de

tendencias de los caudales con el porcentaje de área deforestada en las subcuencas. Sin embargo, se encontró que los caudales de las subcuencas pequeñas parecen responder más rápidamente a los cambios de cobertura vegetal, pero, en general, la respuesta hidrológica de las cuencas a la deforestación resulta compleja y depende de la estructura de la cuenca y sus patrones de carga, almacenamiento y descarga hídrica, por lo que se requieren estudios más detallados de la interacción de la vegetación, clima y estructura de la cuenca.

Ministerio del Ambiente de Ecuador (2017) afirma que la información sobre deforestación es un insumo para la toma de decisiones respecto a la forma de incidir sobre los cambios de la cobertura forestal, el ordenamiento territorial, la conservación de la biodiversidad y el manejo integral de los recursos forestales, a través de la creación de políticas.

Según Sabattini, Sione, Ledesma, Sabattini y Wilson (2016) “El crecimiento y desarrollo de la población han sido identificados como las principales causas de deforestación, los bosques nativos están asociados a un constante cambio en el uso de la tierra, acentuándose en los últimos años el destino agrícola” (p.1).

El UNIVERSO (2019) **menciona** que la tala del follaje primario no se ha detenido. En 2018 Ecuador registró 12,5 millones de hectáreas (ha) de bosque nativo, lo que demuestra una disminución constante desde la década del 90 cuando había 14,5 millones de hectáreas. Los incendios forestales, la expansión urbana, actividades extractivas como la minería y el petróleo, sumado al avance de la frontera agropecuaria, son las causas de este indicador.

Ministerio del Ambiente (MAE, 2017) realizó el monitoreo continuo de los bosques en cumplimiento de la Constitución de la República que reconoce los derechos de la naturaleza y en base al lineamiento estratégico 7.3 del Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 (...) por otra parte se constituye en el indicador del compromiso país sobre la reducción de emisiones por deforestación en el marco del Plan de Acción REDD+ del Ecuador “Bosques para el Buen Vivir” (2016-2025). Esta información permite analizar espacialmente la expansión de la frontera agrícola, principal causa de la

deforestación y es un insumo que permite una gestión integral del patrimonio natural a través del ordenamiento territorial. Los resultados obtenidos para el periodo 2014-2016 en el Ecuador continental son:

- Deforestación bruta anual promedio 94.353 ha/año,
- Deforestación neta anual promedio 61.112 ha/año,
- Regeneración anual promedio 33.241 ha/año. (p.5)

En la Tabla 2 se indica la comparación histórica de deforestación y regeneración en la provincia de Bolívar.

*Tabla 2.* Comparación histórica de deforestación y regeneración en la provincia de Bolívar

Período	1990-2000	2000-2008	2008-2014	2014-2016
Deforestación bruta anual promedio (ha/año)	4.414	4.195	3.217	572
Regeneración anual promedio (ha/año).	1.777	2.128	288	183

Se presenta la deforestación bruta anual de la provincia de Bolívar y la regeneración bruta anual promedio por hectárea y por año.

*Nota:* Adaptado de MAE (2017)

### **2.2.5. Crecidas en cuencas hidrográficas**

Volonté, Gil y Campo (2018) realizaron el estudio de la vegetación y sus efectos en la dinámica fluvial en cuencas serranas de Argentina. El objetivo del estudio fue presentar un análisis de la vegetación a través de un esquema metodológico en el cual se utilizaron imágenes satelitales aplicadas a la dinámica fluvial en cuencas pequeñas sin información hidrométrica. Se consideró como caso de análisis la cuenca del arroyo San Bernardo localizada en el sistema de Ventania. La cuenca presentó eventos de crecidas torrenciales en los cuales la vegetación cumple una importante función. Se determinó que en el caso de la cuenca de estudio la vegetación ribereña actúa como diques reteniendo el agua y elevando su altura, condicionando así los picos de crecida del hidrograma unitario.

Para Lázaro (2010) “Una crecida es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que con el flujo medio de éste. Durante la crecida, el cauce puede resultar insuficiente y, entonces, el agua desborda e invade la planicie de inundación” (p. 19).

El estudio de inundaciones se viene abordando desde dos disciplinas, la hidrología y la hidráulica. La primera trata de determinar el volumen y la intensidad del caudal que puede ocurrir por un punto o zona, el tiempo que duración del fenómeno, tiempo de respuesta, diferencias que se producen con determinados estados, diferentes desarrollos en la forma en la forma y distribución de la precipitación y la probabilidad o frecuencia de que ocurra un determinado suceso. La segunda disciplina trata de determinar con precisión las características de la corriente, velocidad, profundidad, zonas inundadas, entre otras. (Lázaro, 2010, p. 20)

“En el análisis de *variabilidad* del fenómeno de crecidas, se llevan a cabo simulaciones que, partiendo de lluvias teóricas, permiten realizar comparaciones de los resultados variando los parámetros de los modelos” (Lázaro, 2010, p. 29).

“En el análisis de *evolución* de las crecidas, las simulaciones también son con lluvias teóricas y en ellas se puede observar la génesis de las crecidas y su evolución a través de la cuenca” (Lázaro, 2010, p. 29).

La simulación de episodios y aplicación de modelos se realiza a través de modelos digitales del terreno (MDT) que permiten realizar la delimitación de las cuencas y el establecimiento de la red de drenaje, así como la obtención de diversos parámetros hidrológicos.

Para Quezada y Waylen (2004) señalan que existe poco interés práctico en las inundaciones que exceden el nivel mínimo, pero dado el limitado número de datos de registro, se muestran aquellos pocos casos que exceden los niveles altos en la distribución de probabilidades, por lo tanto, es recomendable usar el mayor número de eventos que exceden cierto umbral para estimar crecidas asociadas con niveles mucho más altos y menos frecuentes. (p. 5)

Según Gallegos (2015) el modo de hacer frente a las problemáticas que caracterizan la producción del riesgo de inundación en el ámbito espacial de trabajo nos puede llevar a actuar desde dos frentes diferentes pero complementarios:

1. Desde el análisis de la peligrosidad: cartografía de la peligrosidad, considerado como un aspecto prioritario y necesario antes de realizar cualquier otra propuesta de análisis o gestión de riesgo.
2. Desde el análisis de la vulnerabilidad y la gestión del riesgo: cartografía de la vulnerabilidad y medidas de gestión y adaptación normativas. (p. 183)

#### ***2.2.6. Erosión del suelo en cuencas hidrográficas***

Huerta y Loli (2014) realizaron el estudio sobre la erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche en Perú. Se analizó la pérdida de suelo y la incidencia de las precipitaciones pluviales como factor en la erosión hídrica, y se cuantificaron la esorrentía superficial y la pérdida de suelo bajo condiciones de uso del suelo. Se determinaron los caudales de los ríos y se utilizó el registro de lluvias de un período de 24 años (1988-2011) de la Estación Meteorológica del SENAMHI para estimar el efecto erosivo de las precipitaciones como factor determinante de la erosión en términos de degradación específica en t/ha/año mediante el método de Fournier, basado en la función fundamental del coeficiente  $p^2/P$ , siendo  $p$  la precipitación del mes más lluvioso y  $P$  la precipitación total anual. Se registró pérdidas de suelo por erosión hídrica en el orden de 7,29 y 33,40 t/ha/año, éstas pérdidas por erosión fueron consideradas valores altos, comparados con el rango permisible por la FAO (0,4 – 1,8 t/ha/año).

Según FAO- GTIS (2016) “Los suelos son fundamentales para la vida en la Tierra, pero las presiones humanas sobre el recurso suelo está llegando a límites críticos” (p.1).

“La erosión constituye uno de los problemas medioambientales y socioeconómicos más importantes a nivel global del siglo XXI. Se estima que una sexta parte del suelo mundial se encuentra afectado por erosión hídrica” (Walling y Fang, 2003). “El problema de la erosión requiere el reconocimiento de los procesos erosivos y el estudio de sus factores causales, para establecer políticas de conservación” (Fournier, 1972).

Dumas (2012) manifiesta que la erosión geológica es un proceso natural y normalmente presenta tasas bajas, el inconveniente surge cuando debido a la intervención del hombre empieza a producirse una erosión acelerada impidiendo que el suelo se regenere. Esto

puede suponer un peligro para el aprovechamiento de un territorio influyendo además de forma determinante en el riesgo de desertificación. (p. 6)

“El agua que no se infiltra y por lo tanto fluye sobre la superficie del suelo es el agente para la erosión hídrica del suelo y para el transporte de los componentes solubles del mismo incluyendo los contaminantes” (FAO-GTIS, 2016, p. 17).

La erosión del suelo es la remoción del suelo de la superficie de la tierra por el agua, viento o labranza. La erosión hídrica ocurre cuando el flujo superficial transporta partículas del suelo desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia o la escorrentía superficial, a menudo dando lugar a canales claramente definidos, tales como surcos o cárcavas. La erosión eólica ocurre cuando el suelo seco, suelto, sin cobertura es sometido a fuertes vientos y las partículas de suelo se desprenden de la superficie del suelo y son transportadas a otro lugar. La erosión por labranza es el movimiento directo del suelo pendiente abajo por los implementos de labranza y resulta en la redistribución del suelo dentro de un campo. La erosión es un proceso natural pero la tasa de erosión es típicamente incrementada (o acelerada) por la actividad humana. (FAO, 2016, p. 3)

En la Figura 2 se muestra las soluciones o aspectos a incorporar en relación al análisis de la peligrosidad por inundaciones

Aspectos a incorporar en la propuesta metodológica de análisis cartográfico adaptado al objeto espacial de análisis:	Problemas y debilidades con los que se relacionan:	Circunstancias que originan dichos problemas y debilidades:
<p>Cuantificar e incorporar al comportamiento sistémico del flujo la producción de residuos sólidos por erosión de suelos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abundante pérdida de suelos e incorporación al caudal de residuos sólidos.</li> <li>- Alta peligrosidad sobre personas y bienes por la carga sólida que transporta.</li> <li>- Colapso y socavación de infraestructuras.</li> <li>- Formación de presas naturales que generan inundaciones locales.</li> <li>- Rotura de presas naturales que provocan puntas de crecida.</li> <li>- Reducción de la sección hidráulica y aumento de la lámina de inundación.</li> <li>- Procesos de inestabilidad de las laderas del cauce por la alta capacidad erosiva del flujo (posibilidad de movimientos en masa).</li> <li>- Disminución de la velocidad del flujo, y su consecuente aumento de altura de la lámina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada torrencialidad (precipitaciones de corta duración pero muy intensas).</li> <li>- Condiciones climáticas áridas o semiáridas (escasa cubierta vegetal).</li> <li>- Coincidencia de la estación seca con lluvias torrenciales.</li> <li>- Escasa precipitación anual (alta evapotranspiración, ausencia de cubierta vegetal y frecuentes incendios forestales).</li> <li>- Elevada proporción de carga sólida del flujo y socavación de orillas (retroalimentación).</li> <li>- Pendientes muy elevadas.</li> <li>- Suelos poco desarrollados.</li> <li>- Crisis de la agricultura tradicional (abandono de tierras) y prácticas agrícolas inadecuadas.</li> <li>- Neorelieves con baja compacidad y alto porcentaje de suelo urbanizable no consolidado (movimientos de tierras o existencia de depósitos, excavaciones y rellenos).</li> <li>- Frecuentes rupturas de equilibrio de laderas (por ejemplo, por alteraciones geomorfológicas para</li> </ul>

Figura 2. Soluciones o aspectos a incorporar en relación al análisis de la peligrosidad por inundaciones

Nota: Tomado de Gallegos (2015)

### 2.2.7. Sedimentación en cuencas hidrográficas

Galvis (2009) realizó en Colombia el estudio sobre la estimación de la generación de sedimentos en la cuenca hidrográfica del río Sisga con base en la Ecuación Universal de pérdida de suelo. En el análisis se emplearon herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se determinó que la cuenca del río Sisga por su configuración morfométrica, tiene potencial en la generación de sedimentos y se estimó mediante la aplicación de la USLE que la tasa media de aporte de sedimentos de la cuenca hidrográfica es de 1.007,4 ton/ha/año.

Según Orbes y Peralta (2017) en los Andes tropicales se estima que la erosión a causa del agua sobre los campos agrícolas es la que aporta mayor cantidad de sedimentos a las cuencas hidrográficas, por prácticas agrícolas inadecuadas, así también la distribución espacial de las fuentes de sedimentos influye directamente en los cambios y la respuesta geomorfológica del uso del suelo en grandes cuencas. (p. 25)

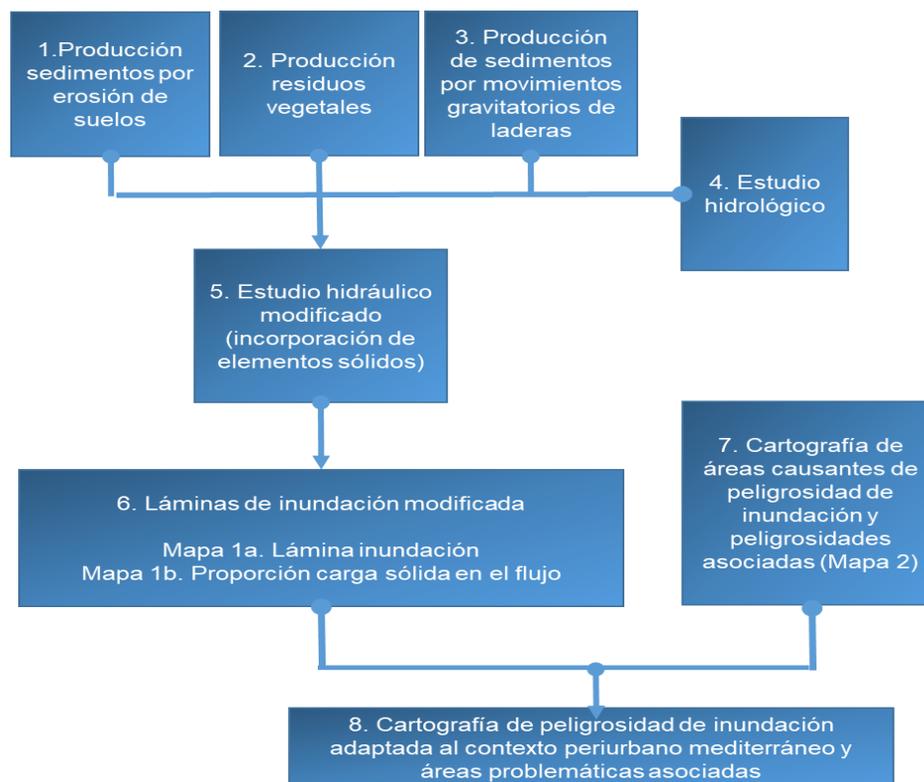
Andreazzini, Degiovanni, Spalletti y Irigoyen (2014) mencionan que “la producción de sedimentos en una cuenca, sintetiza la compleja interrelación entre aspectos geológico-geomorfológicos, climáticos, bióticos y de uso del territorio, y es una de las principales variables que definen la morfo dinámica de los cursos colectores” (p. 38).

Según FAO-GTIS (2016) La vinculación entre la erosión actual del suelo y la sedimentación en las llanuras de inundación y embalses es frecuente, sin embargo, compleja: la deposición de sedimentos y nutrientes en las grandes llanuras de inundación no está directamente vinculada a la erosión agrícola del suelo, siendo los sedimentos en la mayoría de los casos proporcionados por otras fuentes (erosión natural, deslizamientos), y el tiempo de residencia de tales sedimentos en grandes sistemas fluviales es de varios miles de años. (p. 18)

La cantidad de sedimentos entregados por una cuenca hidrológica en la unidad de tiempo se define como producción de sedimentos. No todo el material movilizado por procesos erosivos en una cuenca alcanza la red de drenaje, por lo que se considera como producción de sedimentos al volumen que se transporta hacia los colectores principales. En cuencas montañosas dicha producción se puede asociar fundamentalmente a dos fuentes, una relacionada a la erosión superficial generalizada del sustrato, y otra a los procesos de remoción en masa en sitios puntuales. La cantidad de sedimentos generados en una determinada cuenca hídrica y, consecuentemente, el grado de erosión de la misma, pueden evaluarse en forma indirecta a través de relevamientos topo-batimétricos de los vasos de lagos y embalses o mediante la utilización de mediciones sistemáticas de caudales sólidos en los cursos de agua. (Andreazzini, Degiovanni, Spalletti y Irigoyen, 2014, p. 39)

Según Peralta (2018) expone que realizar modelamientos de la distribución geoquímica de metales pesados en suelos, agua o sedimentos fluviales hoy en día permite establecer la movilidad de los elementos en un medio contaminante; ya sea por la presencia de actividades antrópicas o naturales y establecer el origen de la presencia de estos; alrededor del mundo se están realizando estudios de análisis de suelos en zonas mineras artesanales hasta análisis de toxicidad de metales pesados en sedimentos de ríos por actividades industriales. (p. 30).

En la Figura 3 se indica el flujo de trabajo simplificado del proceso metodológico propuesto, aspectos considerados para la gestión territorial.



*Figura 3.* Flujo de trabajo simplificado del proceso metodológico propuesto, aspectos considerados para la gestión territorial

*Nota:* Tomado de Gallegos (2015)

En la cuenca hidrográfica del río Paute el 35 % de cuencas están expuestas a amenaza alta y máxima de deslizamiento, como consecuencia los embalses afectan a los cauces tanto aguas arriba como aguas abajo, con efectos de degradación derivados del ejercicio

natural del río de sobrepasar el desbalance generado como el emplazamiento de la represa; tanto del caudal líquido como del caudal sólido natural del cuerpo de agua Calderón (como se citó en Orbes y Peralta, 2017. Una vez realizada la simulación (SWAT), se percibe que la cantidad de sedimento generado estimado varía entre 0.2 a 6 x10<sup>5</sup> ton año-1 en las cuencas de la parte alta, en la cuenca media y baja se tiene mayor aporte de sedimentos, con 14.9 x 10<sup>5</sup> ton año-1 a 53.13 x 10<sup>5</sup> ton año-1 Para evitar la pérdida de vida útil del embalse y modificaciones en los sistemas de los mismos, se plantean acciones como la conservación del suelo y la cobertura vegetal que reducirían el aporte de sedimentos, así como también disminuirían la producción de sedimentos. (Orbes y Peralta, 2017, p. 22)

El volumen de sedimento acumulado en el lecho se cuantifica a partir del ancho y la longitud de la cama formada por los sedimentos depositados, estas mediciones fueron realizadas a intervalos de longitud de 5 metros. El volumen de sedimento acumulado en cada segmento *i* del lecho (*V<sub>i</sub>*) se calcula como se muestra:

$$V_i = L_i * W_i + W_{i+1} / 2 * (D_i + D_{i+1}) \quad \text{Ecuación 2-2}$$

$$V_{Ui} = V_i / L_i \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Donde:

*i* = Número de segmento de medición *L<sub>i</sub>* = Longitud del segmento (m)

*W<sub>i</sub>* = Ancho de sedimentos en el comienzo del segmento (m)

*D<sub>i</sub>* = Profundidad del sedimento en el comienzo del segmento (m)

*V<sub>i</sub>* = Volumen de la cama formada por los sedimentos depositados en el segmento de medición *i* (m<sup>3</sup>)

*V<sub>Ui</sub>* = Volumen de deposición de sedimentos por unidad de longitud barranco (m<sup>3</sup>)

### **2.2.8. Impactos ambientales en cuencas hidrográficas**

Según la FAO (2011) La Evaluación del Impacto Ambiental es una herramienta para que los tomadores de decisiones identifiquen los posibles impactos ambientales de los proyectos propuestos, a fin de evaluar los enfoques alternativos, y de diseñar e incorporar medidas adecuadas de prevención, mitigación, gestión y monitoreo. La evaluación del impacto ambiental no puede separarse del impacto social del proyecto y

por lo tanto este último se considera como una dimensión fundamental del proceso de la EIA. (p. 7)

La evaluación ambiental puede ser bastante compleja, especialmente si se aplican exhaustivas políticas y programas de sectores amplios.

Para el Banco Interamericano de Desarrollo y Centro de Estudios para el Desarrollo (BID-CED, 2002) los propósitos de la Evaluación de Impacto Ambiental son:

- Asegurar que los recursos de un proyecto en particular sean utilizados de manera más eficaz y eficientemente posible.
- Favorecer la interacción entre actores a través de un enfoque común que acerque agendas divergentes y desarrolle el sentido real del propósito y finalidad de la EIA
- Desarrollar una base sólida de conocimiento para obtener la cantidad y tipo de información adecuada y necesaria para tomar una decisión, incluyendo un conocimiento institucional multidimensional que aprovecha las ventajas y oportunidades que presentan los temas ambientales.
- Conducir al desarrollo de habilidades para llegar a un consenso y a la resolución de conflictos, donde muchos problemas ambientales pueden ser abordados de mejor manera cuando se entienden todos los ángulos del problema y se conduce a una solución razonable y práctica
- Buscar la prevención y alivio de problemas relacionados con la degradación ambiental, que demandan el uso de recursos gubernamentales.
- Aplicar de manera eficaz y eficiente las exigencias ambientales establecidas por los propios países. (p. 4)

Romero, Buitrago, Quintero y Francés (2018) afirma que “las proyecciones más confiables del cambio climático muestran un incremento en la frecuencia de los eventos extremos, estas pueden generar consecuencias negativas para el desarrollo de la humanidad” (p. 64).

La evaluación del impacto potencial del cambio climático en el ciclo hidrológico es uno de los principales temas de investigación en la comunidad hidrológica. El procedimiento a escala de cuenca hidrográfica consiste en implementar modelos de lluvia-escorrentía forzados con escenarios climáticos regionales re-escalados de modelos de clima global

para evaluar el impacto del cambio climático sobre la oferta hídrica. Sin embargo, debido a la complejidad y alta no linealidad de los procesos, se presentan muchas fuentes de incertidumbre. (Romero, Buitrago, Quintero y Francés, 2018, p. 64)

### **2.3. Marco legal**

La Constitución de la República del Ecuador elaborada por la Asamblea Nacional e instalada en Montecristi y aprobada mediante referéndum por el pueblo ecuatoriano y publicado posteriormente en el Registro Oficial No 449 del 20 de octubre de 2008, dispone una responsabilidad ambiental en la conservación de los recursos territoriales del Ecuador.

Asamblea Nacional del Ecuador (2008) afirma que:

En el TITULO II de los Derechos, CAPITULO SEGUNDO Derechos del buen vivir en la Sección segunda de Ambiente sano enuncia el Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, SUMAK KAWSAY. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Además, en el Capítulo séptimo de Derechos de la naturaleza en el Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. (p. 55)

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los

recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas. (p. 55)

En el Título VII del Régimen del Buen Vivir, CAPÍTULO SEGUNDO de la Biodiversidad y recursos naturales en la SECCION PRIMERA de la Naturaleza y ambiente el artículo. 395 de la Constitución de la República del Ecuador reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.
3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
4. En caso de duda sobre el alcance de las 33 disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

1. Permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en materia ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental materia de litigio. La carga de la prueba sobre la inexistencia de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de actividad o el demandado.
2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.
3. Regular la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente.
4. Asegurar la intangibilidad de las áreas naturales protegidas, de tal forma que se garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas. El manejo y administración de las áreas naturales protegidas estará a cargo del Estado.
5. Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia. (p. 177)

La SECCIÓN SEXTA del Agua en el Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua. (p. 178)

La actividad Minera Nacional en nuestro país está bajo el control de la Agencia de Regulación y Control Minero ARCOM, el proceso de desarrollo está enmarcado bajo los parámetros del Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, entre sus políticas garantizan la información, procedimientos y el uso de tecnologías y el control del Estado, promoviendo el diálogo en territorios en conflicto por la exploración y explotación minera, políticas que llegan hasta determinar el cierre de las minas que se

encuentran en estado ilegal de explotación, mediante acuerdos sociales que den beneficio en partes iguales, esto es comunidad y Estado. (Romero, 2014, p.77)

El Código Orgánico Integral Penal (COIP) (2014) en el Artículo 260.- Actividad ilícita de recursos mineros, menciona lo siguiente: La persona que, sin autorización de la autoridad competente, extraiga, explote, explore, aproveche, transforme, transporte, comercialice o almacene recursos mineros, será sancionada con pena privativa de libertad de cinco a siete años. En caso de minería artesanal será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años. Si producto de este ilícito se ocasionan daños al ambiente, será sancionada con pena privativa de libertad de siete a diez años.

El Código Orgánico del Ambiente en el Artículo 109 de la Ley de Minería menciona lo siguiente: "No obstante los efectos señalados en los literales precedentes, en caso de declaratoria de caducidad, subsistirá la responsabilidad del ex titular, por daños ambientales que implica además la obligación de restauración de los ecosistemas y reparación integral a las personas y comunidades, si hubiera lugar a ello". En el Artículo 115 de la Ley de Minería menciona lo siguiente: "La calificación del daño ambiental se efectuará de conformidad con las disposiciones del Código Orgánico del Ambiente. Cuando haya afectación de recursos hídricos a causa de las actividades mineras, la calificación de daño ambiental deberá considerar el pronunciamiento de la autoridad única del agua".

## REGLAMENTO DE ACTIVIDADES MINERAS

En su artículo 17 indica que "La declaratoria de impacto ambiental debe incluir el correspondiente **plan de manejo ambiental**, que contemple los programas y acciones requeridas para prevenir, mitigar, controlar, compensar, corregir y reparar los posibles efectos o impactos ambientales negativos, o maximizar los impactos positivos causados en el desarrollo de la actividad minera, con su respectivo cronograma y presupuesto"; y, de conformidad en el artículo 58 se indica que "Los titulares mineros **serán responsables de la ejecución e implementación de los planes de manejo ambiental y están obligados a cumplir los términos** de dichos planes con sujeción a la normativa ambiental vigente en el país"

Es importante indicar que el titular minero está obligado a: realizar sus actividades de prospección, exploración inicial o avanzada, explotación, beneficio, procesamiento, fundición y refinación empleando métodos que prevengan, minimicen o eliminen los daños al suelo, al agua, al aire, a la biota, y a las concesiones y poblaciones colindantes (artículo 59); presentar como parte de los documentos habilitantes de la licencia ambiental, un plan de reducción, eliminación y/o reemplazo de dichas sustancias (artículo 60).

De conformidad al artículo 64 “queda **prohibido** obstaculizar o generar cualquier afectación a los cursos de agua temporales y permanentes existentes con el material removido” y en su artículo 74 “está **prohibida** la contaminación de cuerpos de agua y suelos por desechos peligrosos”

En el artículo 79 indica que todo plan de manejo ambiental deberá contar con **su respectivo plan de contingencias** detallado, en el cual se determinen los tiempos de respuesta para su aplicación y responsables.

#### Reglamento de Seguridad y Salud en el trabajo minero

De conformidad al artículo 6 el titular minero, entre sus obligaciones se encuentran las siguientes:

- a) Garantizar condiciones seguras y saludables en todos los espacios de trabajo.
- b) Asegurar permanentemente el bienestar laboral y la salud física y mental de los trabajadores mineros, contratistas permanentes o temporales y visitantes.
- c) Implementar el servicio permanente de seguridad y salud en el trabajo, en concordancia con los requerimientos establecidos en el artículo 10 del presente Reglamento.
- d) Empoderar al profesional a cargo del servicio permanente de seguridad y salud en el trabajo para que oriente la gestión preventiva con autonomía, eficiencia y línea directa de reporte a la máxima autoridad de la compañía.
- e) Propiciar la participación de todas las áreas de la empresa en el proceso de identificación de peligros, evaluación de riesgos y establecimiento de controles.
- g) Implementar instalaciones adecuadas para hospedaje en campamentos permanentes y/o temporales de trabajo, de conformidad con lo establecido en la legislación vigente y los compendios internacionales de buenas prácticas relacionados.

- h) Ejecutar las labores mineras precautelando la salud laboral y la integridad de los concesionarios colindantes, o terceros.
- j) Proporcionar todos los recursos necesarios para la gestión de seguridad y salud en el trabajo y vigilancia epidemiológica ocupacional.
- k) Suministrar a sus trabajadores en forma completamente gratuita, la ropa de trabajo en cantidad y calidad óptimas, junto con el equipo de protección personal homologado y certificado, en función de los riesgos asociados a cada puesto de trabajo.
- l) Controlar el cumplimiento tanto de la prohibición de toda clase de trabajo, por cuenta ajena los niños, niñas y adolescentes menores de quince años; como la prohibición del trabajo de adolescentes menores de dieciocho años en minas, canteras e industrias extractivas de cualquier
- m) Realizar controles permanentes, labores de prevención y sensibilización ante casos de trata de personas en los sectores mineros a su cargo.

De acuerdo al artículo 11, el titular minero deberá garantizar la disponibilidad de instalaciones administrativas y médicas adecuadas para que las contratistas puedan desarrollar sus actividades en ambientes confortables y brindar un servicio apropiado a sus trabajadores

En el Título VII de los Riesgos Asociados a la fase de exploración en su artículo 28 indica que “la planificación y ejecución de los trabajos de exploración, **considerará los factores de riesgo** existentes en el área donde se prevea realizar el trabajo. Con la participación de un equipo interdisciplinario, se realizará la identificación, evaluación, medición y control de los riesgos a los que se encuentra expuesto el personal, a través del uso de herramientas y métodos desarrollados por organizaciones nacionales o internacionales reconocidas. Se deberá considerar además la identificación de los escenarios con riesgo de accidentes mayores, los protocolos y el equipamiento para la respuesta oportuna ante situaciones de emergencia”.

En el Título VII de los Riesgos Asociados a la fase de explotación en su artículo 39 indica que el titular minero deberá cumplir los siguientes requerimientos:

- a) Diseños del proyecto, de acuerdo con características geomecánicas del depósito, considerando altura y talud de bancos, gradientes y ancho de rampas, taludes de operación y final del tajo, ancho mínimo de bermas de seguridad, ubicación y diseño de botaderos y pilas de mineral, condiciones de tránsito de equipos y trabajadores.

- b) Que las gradientes de las rampas sean consideradas en función de estudios técnicos que incluyan todos los aspectos necesarios para su estabilidad y la circulación segura de los vehículos y equipos mineros a utilizar.
- c) Construir rampas o vías de acuerdo con un diseño realizado por el profesional competente.
- d) Controlar la generación de polvo en las vías mediante la hidratación u otros métodos con efectividad comprobada y mantener limpias las cunetas.
- e) Construir vías de alivio en las de circulación vehicular en superficie con pendientes mayores a 12% (rampas, accesos o zigzag), diagonales a las vías existentes y ubicadas en lugares preestablecidos. Estas vías deben servir para reducir la velocidad de la maquinaria, hasta detenerla

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO ADMINISTRATIVO

#### 3.1 Descripción del área de estudio

El cantón Chillanes, está ubicado en la parte sur de la provincia Bolívar (Figura 4). Tiene una superficie de 12.04 km<sup>2</sup>. La economía del cantón es netamente agrícola en un 90.16%, además posee cinco pisos climáticos. Su cabecera cantonal se denomina como Chillanes y posee una parroquia rural llamada San José de Tambo. En el área de estudio existen 7 concesiones mineras: La Victoria, Vista Alegre, San Gabriel, Viadil, sofia, Génesis y Mirador (Senplades, 2017).

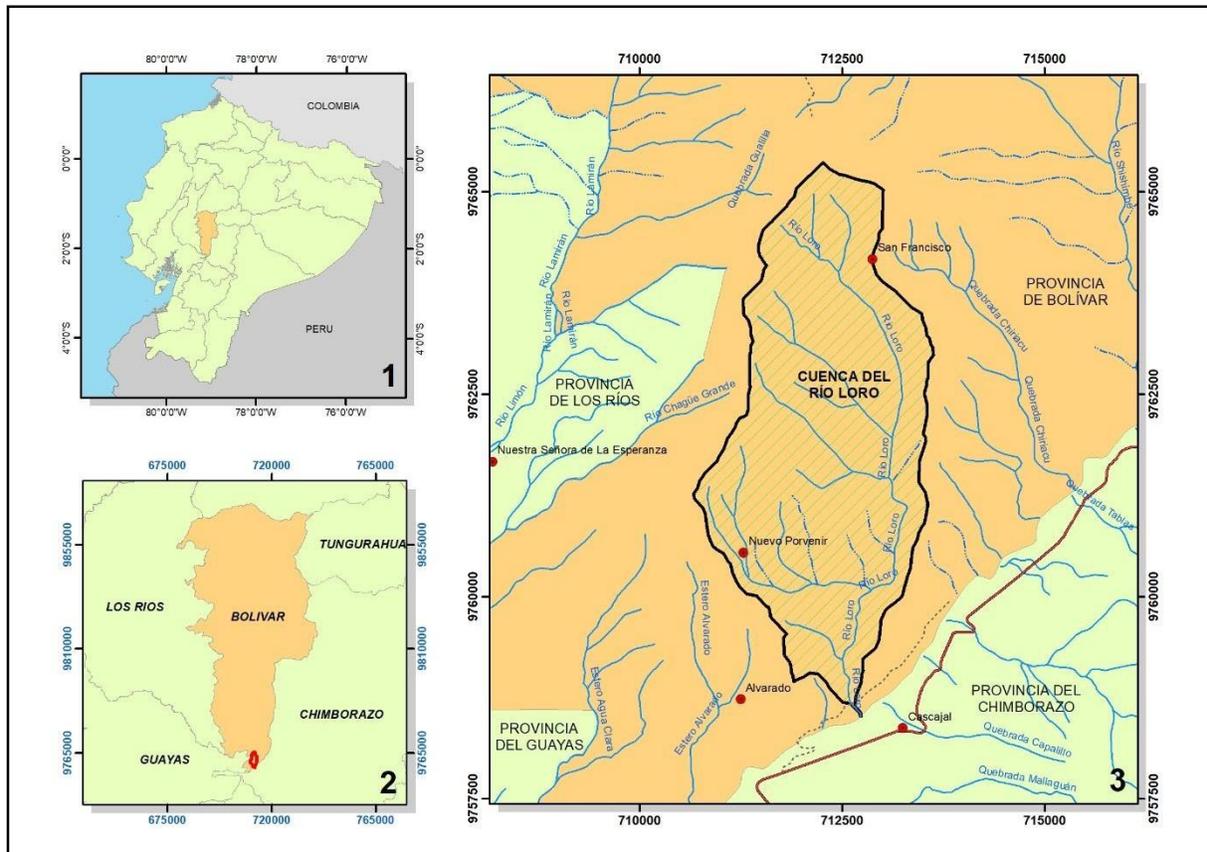


Figura 4. Ubicación de la cuenca del río Loro en el cantón Chillanes, provincia de Bolívar

En la parte rural de la cabecera cantonal de Chillanes se encuentra la comunidad de Santa Rosa de Agua Clara, la cual está situada al extremo sur de la provincia de Bolívar, cuya ubicación se encuentra en el área limítrofe entre las provincias Guayas, Chimborazo. La cuenca del río Loro está en la zona tropical ya que recibe la influencia de los vientos del Pacífico y corresponde a las estribaciones de la Cordillera Occidental se encuentra en una altitud de 300 msnm y con temperaturas sobre 19 °C. Esta zona se caracteriza por altas temperaturas; cuentan con ondulaciones suaves hasta los comienzos de los relieves montañosos, formando un ecosistema rico y biodiverso del cantón Chillanes.

Existe una importante actividad comercial que se dedicada a la agricultura, ganadería y piscicultura; siendo una de las comunidades con un alto potencial económico del cantón Chillanes ya que en este sector se realiza la trasferencia de productos tanto de la zona tropical como de la sierra.

La cabecera cantonal de Chillanes tiene una población urbana y rural de 18292 según el Censo de Población y Vivienda 2010. (SENPLADES-INEC, 2014), la proyección para el 2020 es de 16.850 personas. Dos tercios de la población viven en condiciones de pobreza, mientras que la mitad de esta población se encuentra en condiciones de extrema pobreza. En la comunidad existen 442 viviendas particulares ocupadas, de estas apenas 64 viviendas se encuentran en condiciones de habitabilidad aceptable.

El abastecimiento de agua por tubería en su interior, representa el 28,73%, lo que significa que apenas 127 viviendas cuentan con este servicio. El abastecimiento de agua por red pública en su interior es de 23,53%, que en términos reales son 104 viviendas. Según el “Anuario de Estadísticas Hospitalarias: camas y egresos 2013” del INEC, la diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso constituye la cuarta causa de morbilidad a nivel nacional. Santa Rosa de Agua Clara no es la excepción, siendo la segunda causa de morbilidad de la parroquia la parasitosis intestinal Enfoque y tipo de investigación.

### **3.2. Parámetros morfométricos de la cuenca del río Loro**

Los parámetros morfométricos de la cuenca tienen relación directa con la infiltración de la precipitación en el suelo, el aporte del agua subterránea al flujo base, y el aporte del

agua sub-superficial a la escorrentía. Los parámetros de forma, de relieve e hidrológicos controlan el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los drenajes superficiales, y tienen una importancia directa en relación a la ocurrencia de riesgos hidrológicos. En la Tabla 3 se muestra los cálculos de los parámetros morfométricos obtenidos mediante la herramienta ArcHydro de ArcGIS.

*Tabla 3.* Parámetros morfométricos e hidrográficos de la cuenca del río Loro

<b>Parámetros de forma</b>	
1. Área	$A = 12,04 \text{ km}^2$
2. Perímetro	$P = 16,76 \text{ km}$
3. Longitud axial	$La = 6,92 \text{ km}$
4. Ancho promedio	$Ap = 1,74 \text{ km}$
5. Coeficiente de compacidad	$Kc = 1,35$
<b>Parámetros de relieve</b>	
1. Altitud mínima	$H_{\text{mín}} = 417 \text{ msnm}$
2. Altitud máxima	$H_{\text{máx}} = 2052 \text{ msnm}$
3. Desnivel altitudinal	$D = 1635 \text{ msnm}$
4. Altitud media	$H_{\text{med}} = 1140 \text{ msnm}$
5. Pendiente media	$P_{\text{med}} = 51,20\%$
<b>Parámetros hidrológicos</b>	
1. Longitud del río principal	$L = 7,48 \text{ km}$
2. Pendiente media del río principal	$P_{\text{mr}} = 19,34\%$
3. Densidad de drenaje	$Dd = 2,26 \text{ km/km}^2$
4. Tiempo de concentración	$Tc = 0,59 \text{ h}$

La tabla 3 describe el parámetro y el resultado de los parámetros morfométricos e hidrográficas de la cuenca del río Loro.

De acuerdo a los parámetros morfométricos e hidrográficos la forma de la cuenca se relaciona con las características del hidrograma de descarga del río, especialmente en los eventos de avenidas máximas. El coeficiente de compacidad de la cuenca del río Loro tiene un valor de 1,35, el mismo que indica que la cuenca tiene forma oval redonda a oval oblonga. Los parámetros de relieve son determinantes en la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo de la cuenca. El desnivel altitudinal influye en gran medida en la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas. La densidad de drenaje de la cuenca del río Loro tiene un valor de  $2,26 \text{ km/km}^2$ , lo que significa que es medianamente drenada, y muestra una capacidad moderada para resistir la erosión e indica

que el suelo es poco permeable. El tiempo de concentración tiene un valor de 0,59 h y es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida o punto de aforo en la confluencia con el río Chimbo.

### **3.3. Diseño y tipo de investigación**

#### ***Enfoque cuantitativo***

El enfoque cuantitativo fue el que dirigió la investigación porque se trabajó realizando cálculos obtenidos de diferentes fuentes en consideración con las variables en estudio.

#### ***Investigación descriptiva***

Se utilizó investigación de tipo descriptivo para caracterizar los parámetros morfométricos e hidrológicos la cuenca del Río Loro, también se realizó la identificación de los riesgos hidrológicos e impactos ambientales producidos por actividades de minería ilegal, estimación de caudales de crecidas, deforestación, pérdida de suelo.

Según sus fuentes de información, se considera documental y de campo. Se realizó la revisión, análisis e interpretación de conceptos, teorías y criterios de diferentes investigadores sobre temas concretos de los riesgos hidrológicos, con base en documentos de fuentes primarias y libros, revistas científicas, artículos científicos, tesis de grado, postgrado y doctorado e información de tipo general y especial.

### **3.4. Procedimiento de investigación**

En la Figura 5 se presenta el diagrama de flujo del proceso metodológico para la identificación de los riesgos hidrológicos e impactos ambientales producidos por actividades de minería ilegal.

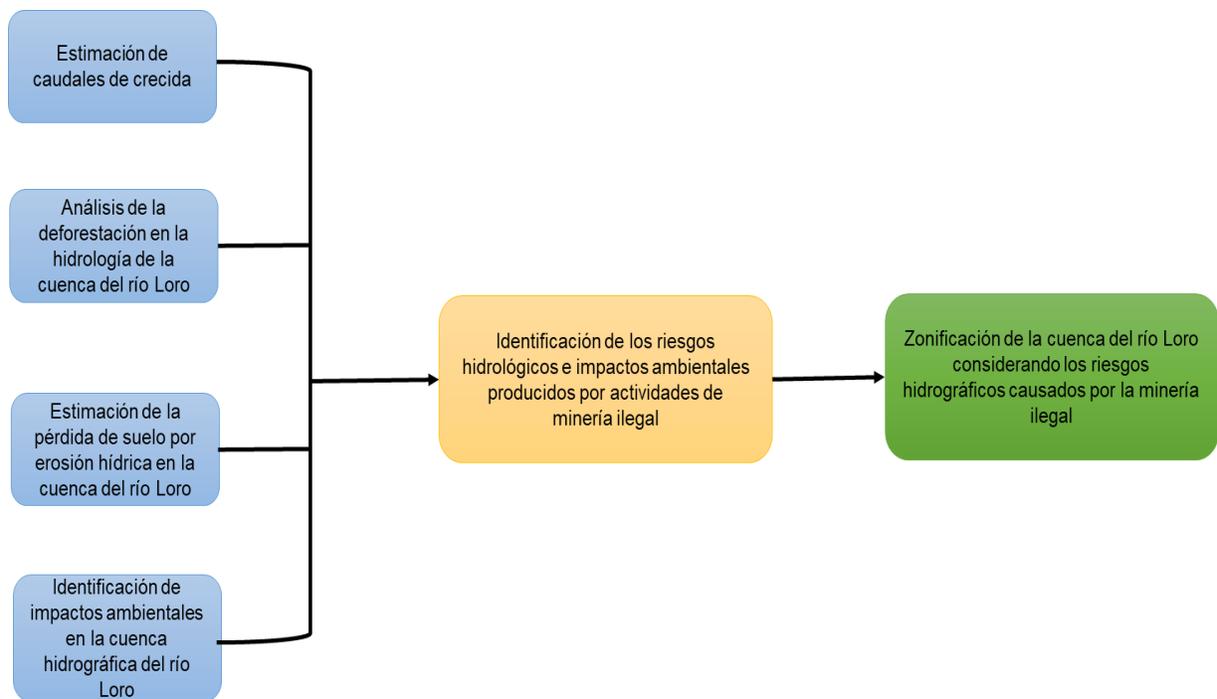


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso metodológico

### 3.3.1. Identificación de los riesgos hidrológicos e impactos ambientales producidos por actividades de minería ilegal

#### a) Determinación del coeficiente de escorrentía y caudal medio

A partir de la combinación de las ecuaciones de Zhelezniakov, Negovskaya y Ovcharov (1984), y considerando un equilibrio de masas, o volúmenes, se empleó una ecuación lógica para evaluar los principales parámetros hidrológicos de la cuenca del río Loro.

El volumen promedio de precipitaciones anuales en cualquier cuenca hidrográfica, expresado en  $m^3/s$ , es igual a:

$$V = 1000 * P_m * A$$

Donde,

P = promedio de precipitaciones anuales de la cuenca (mm)

A = área de la cuenca en  $km^2$

El volumen escurrido para el mismo período es igual a:

$$V_e = 31,536 * Q_o * 10^6$$

Donde,

$Q_o$  = caudal medio de la cuenca

Estas dos ecuaciones se igualan a través del coeficiente de escorrentía C:

$$1000 * P_m * A * C = 31,536 * Q_o * 10^6$$

Donde resulta que:

$$Q_o = (31,71 * P_m * A * C) / 10^6$$

### ***b) Precipitación media anual de la cuenca***

Para este cálculo se adquirieron datos de precipitación media mensual y media anual del INAMHI para los años 2000 y 2018.

### ***c) Cálculo del coeficiente de escorrentía***

La determinación del coeficiente de escorrentía para los años 2000 y 2018 se realizó mediante la tabla de Raws (Universidad Politécnica de Valencia, 2014) (Tabla 4).

*Tabla 4.* Cálculo del coeficiente de escorrentía

Uso del suelo y relieve	C
Bosque. Relieve ondulado	0,18
Bosque. Relieve escarpado	0,21
Pasto. Relieve ondulado	0,36
Pasto. Relieve escarpado	0,42
Cultivos. Relieve ondulado	0,60
Cultivos. Relieve escarpado	0,72

Tipos de uso de suelo y relieve de la cuenca del río Loro.

### ***d) Estimación de caudales de crecida***

La estimación de caudales de crecida se realizó mediante la determinación de caudales máximos con el Método Racional, es el que más se utiliza para la determinación de caudales máximos a partir de la siguiente ecuación (Schmidth, 1986):

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde:

Q: Caudal máximo [m<sup>3</sup>/s]

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de la lluvia con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno [mm/h]

A: Área de la cuenca. [Ha]

*e) Análisis de la deforestación en la hidrología de la cuenca del río Loro*

El análisis de la deforestación se realizó por medio de técnicas de percepción remota. La selección y obtención de imágenes de satélite de las fechas seleccionadas se obtuvieron del portal de del servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey – USGS).

Se aplicó una clasificación supervisada de las imágenes de satélite para obtener las clases de cobertura y uso del suelo del periodo 1990-2019 (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de cobertura y uso del suelo utilizada

Clases	Categorías
1	Bosque
2	Pastos
3	Cultivos

Descripción de clases y categorías de cobertura y uso del suelo

La tasa promedio anual de deforestación (TMAD) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$TMAD_{jt1-t2} = \frac{(AB_{jt1} - AB_{jt2})}{n}$$

Donde:

TMAD<sub>jt1-t2</sub>, es la tasa promedio anual de deforestación de la cuenca, entre los momentos t1 (1990) y t2 (2019).

AB<sub>jt1</sub>, es la superficie cubierta por bosque en el momento t1 (1990 sin minería).

AB<sub>jt2</sub>, es la superficie cubierta por bosque en el momento t2 (2019 con minería).

n, es la diferencia de años entre el momento t1 y el momento t2, en este caso 30.

***f). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Loro***

Se aplicó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos RUSLE, que es un método que utiliza seis factores: erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), longitud de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cobertura vegetal (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos promedio (A) para el período de tiempo por años.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Dónde:

A: Es la pérdida de suelos en toneladas (t/ha/año).

R: El factor lluvia y escurrimiento es el número de unidades de índice de erosión pluvial (EI).  
El EI para una tormenta es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I).

K: El factor susceptibilidad de erosión del suelo es la tasa de pérdida de suelos, medido en una parcela de terreno estándar (22.13 m de largo, 9% pendiente, en barbecho y labranza continua).

L: El factor de longitud de la pendiente es la proporción de pérdida de suelos en la longitud de la pendiente específica con respecto a una pendiente estándar (22,13 m).

S: El factor de magnitud de la pendiente es la proporción de pérdida de suelo con una pendiente específica con respecto a la pendiente estándar de 9%.

C: El factor cubierto vegetal es la proporción de pérdida de suelo en una superficie con cubierta y manejo específico con respecto a una superficie idéntica en barbecho y con labranza continua.

P: El factor de prácticas de conservación es la proporción de pérdida de suelo con una práctica como: cultivo en contorno, barreras vivas, o cultivo en terrazas.

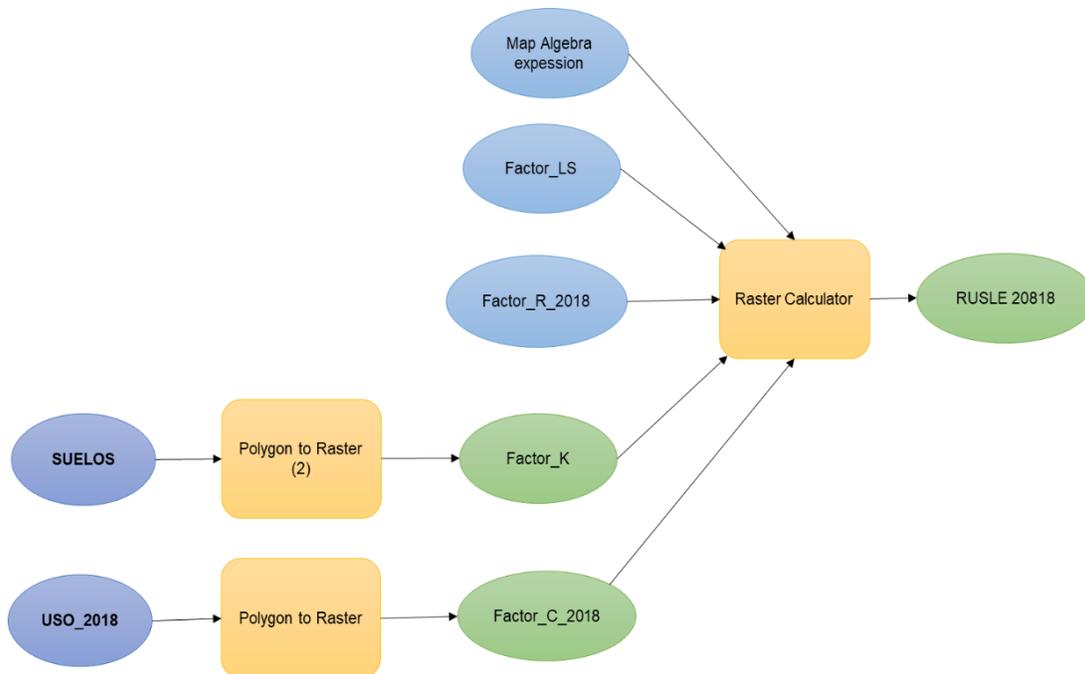


Figura 6. Modelo generado en Model Builder de ArcGIS para la obtención de la erosión hídrica del suelo.

**g). Identificación de impactos ambientales en la cuenca hidrográfica del río Loro**

La identificación y evaluación de impactos de la minería ilegal se realizó a través de la matriz de Leopold (Figura 6), que constó de los siguientes procesos:

1. Identificación de las acciones de la minería y de los componentes del medio afectado;
2. Estimación subjetiva de la magnitud del impacto, en una escala de 1 a 10, siendo el signo + un impacto positivo y el signo – uno negativo, y
3. Evaluación subjetiva de la importancia en una escala de 1 a 10. Se definió la magnitud como el grado, extensión o escala del impacto; y la importancia como la significación humana del impacto (Leopold et al., 1971).

**h). Zonificación de la cuenca del río Loro considerando los riesgos hidrográficos causados por la minería ilegal**

A continuación, se presenta los indicadores utilizados según las variables y sectores considerados prioritarios para definir la zonificación de la cuenca (Tabla 6).

Tabla 6. Indicadores ambientales para la zonificación

Sector	Variable	Indicador
<b>Indicadores de Presión</b>		
Social	Población	Población rural Población urbana
	Desarrollo Socioeconómico	Actividades mineras
Agropecuario	Agricultura y Alimentación	Tierras Agrícolas usadas adecuadamente Tierras sobre utilizadas
<b>Indicadores de Estado</b>		
Forestal	Bosques	Suelos de vocación forestal
Biodiversidad	Biodiversidad	Cobertura vegetal Presiones antrópicas y amenazas
Hidrología	Aguas	Caudales en ríos y drenajes
<b>Indicadores de Respuesta</b>		
Agropecuario	Agricultura	Tierras agrícolas subutilizadas
Biodiversidad	Biodiversidad	Conservación de la cobertura vegetal
Hidrología	Aguas	Monitoreo Hidrometeorológico

Indicadores ambientales utilizados para la zonificación de la cuenca del río Loro según los sectores, variables e indicadores.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN O PROPUESTA

#### 4.1. Caracterización morfológica de la microcuenca del río Loro

La microcuenca del río Loro tiene un área de 12,04 km<sup>2</sup>, un perímetro de 16,76 km, longitud axial de 6,92 km, ancho promedio de 1,74 km, según el coeficiente de compacidad 1.35 tiene una forma oval redonda a oval oblonga, presenta el desnivel altitudinal de 1635 msnm considerando que la altura máxima es de 2053 msnm y mínima es de 417 msnm. La morfometría hídrica tiene una longitud de 7,48 km, y la densidad de drenaje es de 2,26 km/km<sup>2</sup>, que corresponde a medianamente drenada. Los resultados obtenidos establecen la importancia de la morfometría de la cuenca, ya que según Lux (2012) es el primer proceso para determinar el comportamiento hidrológico de la misma ante eventos climatológicos.

#### *Caudales medios mensuales*

En el análisis de los caudales medios mensuales se evaluó el comportamiento de la precipitación en la cuenca del río Loro para un periodo de dieciocho años 2000-2018.

En las Tablas 7 y 8 se observa que los caudales medios presentan variación, para el año 2000 tiene un total de 374,54 l/s, mientras que para el año 2018 un total de 268,20 l/s, se puede mencionar que las actividades mineras promedio,

*Tabla 7. Caudales medios mensuales del año 2000 (l/s)*

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
418,57	783,97	1593,03	1334,32	364,32	0,086	0,013	0,015	0,033	0,010	0,016	0,082	374,54

*Tabla 8. Caudales medios mensuales del año 2018 (l/s)*

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
396,99	677,98	924,13	631,90	421,41	0,102	0,043	0,050	0,055	0,075	0,063	165,60	268,20

La Figura 5 contiene el hidrograma de caudales medios mensuales en el punto de aforo de la cuenca, la figura muestra el período de registros de 2000 y 2018, el hidrograma refleja la conducta de los caudales que discurren por el cauce, para el año 2000 el valor mínimo es de 0,010 l/s y un máximo de 1593,3 l/s para el mes de marzo; para el año 2018 el valor mínimo es de 0,043 l/s en el mes de julio y un máximo de 924,13 l/s para el mes de marzo.

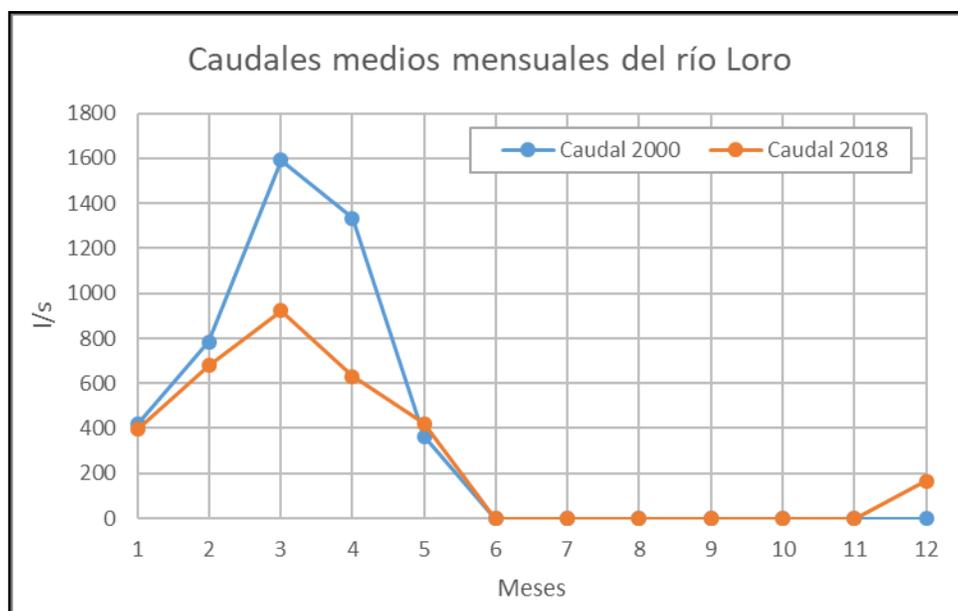


Figura 7. Caudales medios mensuales del río Loro

Al realizar la comparación de los valores totales de los caudales medios mensuales del río Loro del año 2000 y 2018, se puede observar que existe una disminución de 106,34 l/s en el periodo de 18 años, como consecuencia de la deforestación, cambio de uso del suelo y explotación minera legal e ilegal sobre el agua produciendo un impacto en el balance total del recurso, y en general cuando baja el caudal de un curso de agua empeora su calidad.

Los datos obtenidos corroboran la afirmación de González y Ortigón (2016) quienes mencionan que la velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua depende de la pendiente de los cauces fluviales. A medida que este valor aumenta mayor será la posibilidad de generar crecidas, ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal en caso de tormentas se incrementa en aquellas cuencas que presenten valores altos de pendientes y concluyen que a mayor pendiente mayor velocidad de escurrimiento.

### ***Precipitación media anual***

En la estimación de datos de precipitación total en la cuenca del río Loro para los años 2000 y 2018 se utilizaron datos puntuales pluviométricos de la Estación M0039 Bucay ubicada en la parte baja de la cuenca hidrográfica, los años 2000 y 2018 corresponde al período de actividad minera detectada en la cuenca. Los datos de precipitación media de la cuenca corresponden a la relación de los datos pluviométricos de la estación meteorológica con el área total de la cuenca. En la Tabla 9 se observa los valores medios mensuales y el total anual de la precipitación para el año 2000 que corresponde a 1.692,72 mm, las lluvias son más abundantes en los meses de marzo con 450,40 mm y abril con 379,46 mm, los meses más secos son julio con 13,10 mm y octubre con 9,94 mm; en la Tabla 10 se observa que para el año 2018 la precipitación total es 1416,01 mm, los índices altos de precipitación continúan siendo los meses de marzo 301,59 mm y abril 228,24 mm y los más secos julio con 17,43 mm y agosto 20,09 mm. Tomando en cuenta los resultados totales de precipitación media mensual para el período 2000-2018 se observa que disminuye presentando una diferencia de 276,71 mm.

*Tabla 9.* Precipitación media mensual del año 2000 (mm)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
189,12	243,95	450,40	379,46	177,05	85,45	13,10	14,73	32,45	9,94	15,92	81,15	1692,72

*Tabla 10.* Precipitación media mensual del año 2018 (mm)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
184,32	222,65	301,59	228,24	189,75	41,27	17,43	20,09	22,12	30,32	25,39	132,84	1416,01

El área de estudio es la Estación meteorológica Bucay ubicada a 8,5 km de la cuenca y los polígonos de Thiessen (no se tomaron en consideración Pallatanga y Chunchi debido a que no están activas las estaciones)

La precipitación media anual de la cuenca está representada por el mapa de Isoyetas Medias Anuales, en el mapa de precipitación media anual al año 2000 (Figura 8) se identifica 3 rangos de precipitación donde hace referencia a los datos de precipitaciones anuales del INAMHI y procesados por el software ArcGIS a escala 1:25.000. Los rangos de precipitación



La precipitación media anual de la cuenca está directamente relacionada con la escorrentía y el número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo, como lo establecen Gaspari, Senisterra y Marlats (2006) en el estudio de cuenca modal del sistema serrano de La Ventana en Argentina.

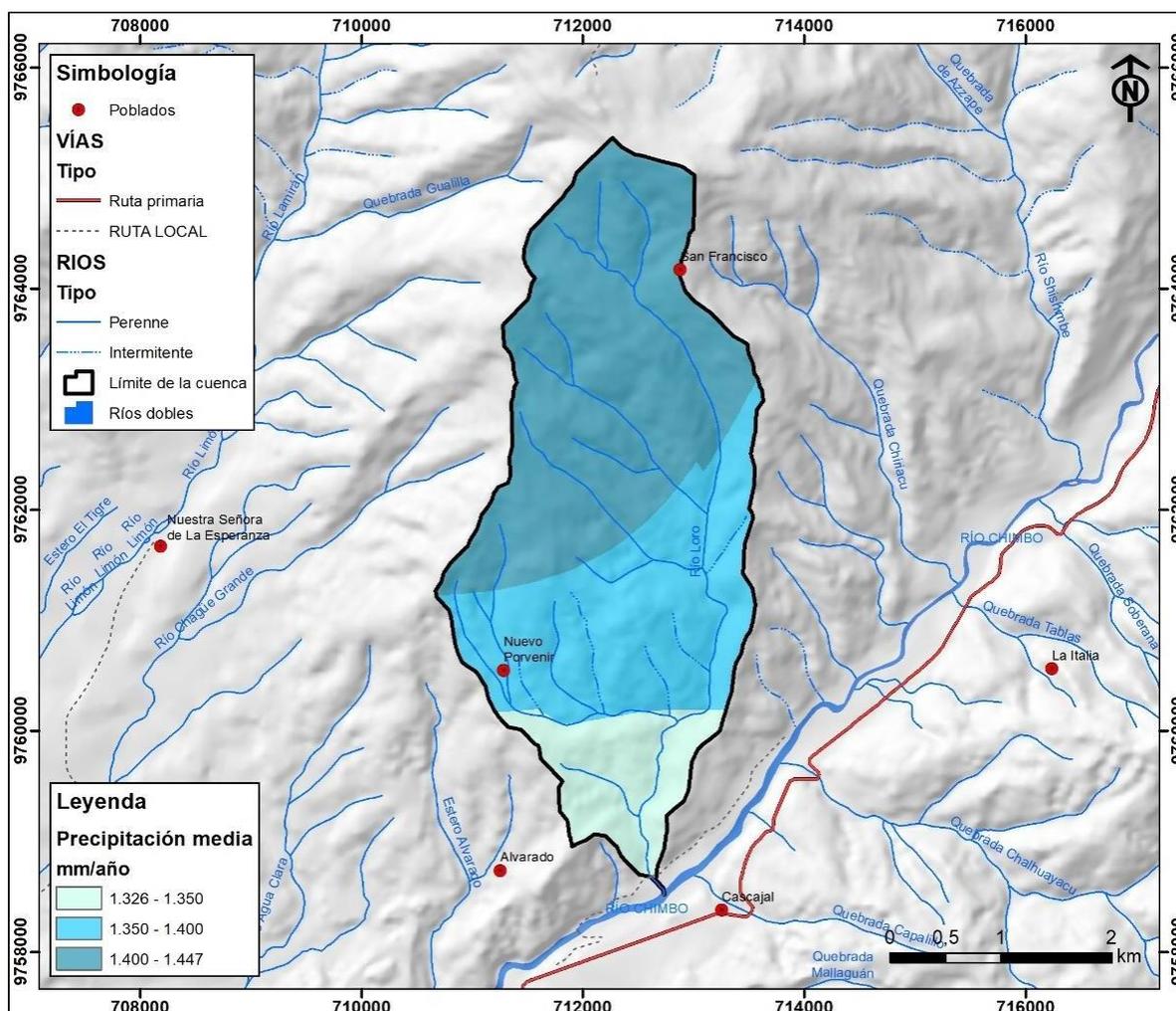


Figura 9. Mapa de precipitación media anual del año 2018

#### 4.2. Estimación de caudales de crecida

Empleando la fórmula del método racional, el caudal máximo en la cuenca en los años 2000 y 2018 determina un retorno de 18 años como se presenta en la tabla 11:

*Tabla 11. Área, longitud y cotas del cauce principal*

Área	12.04 km <sup>2</sup>
Longitud del Cauce Principal	7.48 km
Cota Máxima Cauce Principal	1855 msnm
Cota Mínima Cauce Principal	418 msnm

El estudio de frecuencias para las intensidades máximas se calculó mediante la siguiente expresión para las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia en la región donde se encuentra la cuenca del río Loro (Tablas 12 y 13):

*Tabla 12. Frecuencias para las intensidades máximas*

Duración (minutos)	Intensidad
5<30	$I = 197.6537 * T^{0.1482} * t^{-0.4591}$
30<120	$I = 185.4531 * T^{0.1621} * t^{-0.4374}$
120<1440	$I = 1172.3878 * T^{0.1621} * t^{-0.8152}$

Cálculo de frecuencias para las intensidades máxima, Estación M0039 Bucay

*Tabla 13. Intensidades máximas de la Estación Bucay (M0039)*

TR (Años)	5	10	15	20	30
2	99.26	81.41	72.49	66.77	59.46
5	125.90	103.26	91.95	84.69	75.42
10	141.80	116.30	103.56	95.38	84.94
25	160.27	131.45	117.06	107.81	96.01

En el presente estudio se obtuvieron datos de caudales máximos y medios mediante ecuaciones aplicables a cuencas con escasa información hidrométrica, fundamentados en el equilibrio volumétrico de las masas de agua. Los caudales máximos corresponden a diferentes períodos de retorno para cuencas con áreas menores o iguales a 45 km<sup>2</sup>, coincidiendo con las recomendaciones para la aplicación de la Formula Racional propuesta por Sandoval y Aguilera (2014). Los caudales máximos para cuencas pequeñas son directamente proporcionales al área y a la precipitación media de la cuenca.

### ***Determinación del Coeficiente de Escorrentía Ponderado***

Debido a la presencia de los usos del suelo y cobertura vegetal en la cuenca fue necesario establecer el Coeficiente de Escorrentía Ponderado en función de las superficies, en el cual el valor del Coeficiente de Escorrentía Ponderado fue de 0,22 y 0,54 para el año 2000 y 2018 respectivamente (Tablas 14 y 15).

*Tabla 14. Coeficiente de escorrentía ponderado para el año 2000*

<b>Uso del suelo y relieve</b>	<b>Área parcial (has)</b>	<b>C</b>	<b>C * Ai</b>
Bosque nativo. Relieve escarpado	1.171,96	0,21	246,11
Cultivo anual. Relieve escarpado	29,43	0,72	21,19
Pastizal. Relieve escarpado	2,35	0,42	0,99
Valor de C promedio			0,22

Coeficiente de escorrentía ponderado en función de las superficies de uso del suelo y cobertura vegetal para el año 2000

*Tabla 15. Coeficiente de escorrentía ponderado para el año 2018*

<b>Uso del suelo y relieve</b>	<b>Área parcial (has)</b>	<b>C</b>	<b>C * Ai</b>
Bosque nativo. Relieve escarpado	422,83	0,21	88,79
Cultivo anual. Relieve escarpado	780,92	0,72	562,26
Pastizal. Relieve escarpado	0	0,42	0
Valor de C promedio			0,54

Coeficiente de escorrentía ponderado en función de las superficies de uso de suelo y cobertura vegetal para el año 2018

La cobertura vegetal y uso del suelo fueron factores determinantes en el balance hidrológico y la generación de escorrentía en la cuenca hidrográfica, tal como lo mencionan González, Álvarez y Aguirre (2016) en el estudio sobre la influencia de la cobertura vegetal en los coeficientes de escorrentía de la cuenca del río Catamayo en Ecuador.

### ***Determinación de la Duración de la Lluvia***

Para el cálculo de crecidas fue necesario conocer la duración de la lluvia asociada. Para ello, el Método Racional estima que la duración de la lluvia es igual al Tiempo de Concentración de la cuenca en estudio, el cual es el tiempo que se tarda una gota de agua en recorrer el trayecto desde el punto más alejado de ella hasta el punto de aforo.

El Tiempo de Concentración calculado con la ecuación de Kirpich fue de 0,59 h. Este valor será el período de retorno especificado de 18 años, con el cual se estableció el valor de la intensidad de lluvia (Tabla 16).

*Tabla 16.* Caudal de crecida

<b>Intensidad</b>	<b>Duración</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Caudal de crecida 2000</b>	<b>Caudal de crecida 2018</b>
20,05 mm/h	360 min	18 años	14,75 m <sup>3</sup> /s	36,21 m <sup>3</sup> /s

Una de las causas del deterioro de la calidad de agua en la cuenca del río Loro es la presencia de la actividad minera porque los insumos utilizados para la extracción de minerales son especialmente el mercurio y cianuro que van a parar al río y al entorno, también como consecuencia de las descargas de los procesos de cianuración las concentraciones de cianuro total y cianuro libre exceden los criterios ambientales para la protección de la vida acuática

Bentancor, Silveira y García (2014) en el estudio sobre la incidencia de la intensidad de lluvia en el tiempo de concentración de microcuencas del Uruguay, mencionan que los métodos de diseño hidrológico buscan representar la respuesta de una cuenca hidrográfica frente a una tormenta, determinando el hidrograma de crecida. El tiempo de concentración ( $t_c$ ) es un parámetro que refleja la distribución temporal del hidrograma de caudal y los valores característicos como el máximo caudal.

### **4.3. Análisis de la deforestación en la hidrología de la cuenca del río Loro**

En la Figura 10 se observa que para el año 2000 la cobertura de bosque nativo tenía un área de 1.171,96 hectáreas disminuyendo a 422,83 hectáreas para el año 2018 (Figura 11), presentando una tasa promedio anual de deforestación de 41,62 hectáreas/año. Los cultivos

anuales para el año 2000 presentaban un área de 29, 43 hectáreas extendiéndose en 780,92 hectáreas para el 2018.

En el cantón Chillanes existe un total de 3.095 hectáreas de terrenos con cobertura vegetal natural que representa el 4,62% del territorio y se encuentran declaradas como reserva ambiental de manera legal, las que junto con programas de reforestación de cuencas hídricas representa un uso potencial del suelo del cantón (PDOT, 2019). Dentro de la cuenca del río Loro existen áreas declaradas como bosque protector del MAE, sin embargo, la presión humana sobre el espacio y los recursos naturales han venido provocando la pérdida de biodiversidad, en el período de 18 años, es evidente el grado de alteración de la cobertura forestal natural llegando a alcanzar un promedio de 41,62 ha/año de áreas deforestadas donde la actividad minera es una de las principales causas. La minería ilegal continua en ascenso debido a la carencia de instrumentos de manejo y control ambiental inclusive a cierres preventivos (PDyOTChillanes, 2019), la deforestación en la zona de estudio inclusive ha generado un impacto visual negativo, *la montaña tan linda que era nosotros íbamos a pasear por allá y ¿ahora qué? ya no, no podemos ni llegar allá, el problema estructural es la minería (testimonio de habitante de Santa Rosa de Agua Clara)*. Se puede visualizar deforestación de bosques y montañas que se encuentran en la rivera de los ríos y fuentes de agua de todas las vertientes que se forman los ríos. El ecosistema Bosque natural en la cuenca es considerado como un ecosistema frágil por el grado de amenaza que sufre a causa de la intromisión humana presentando prioridad de conservación según del PDOT-Chillanes, 2020.

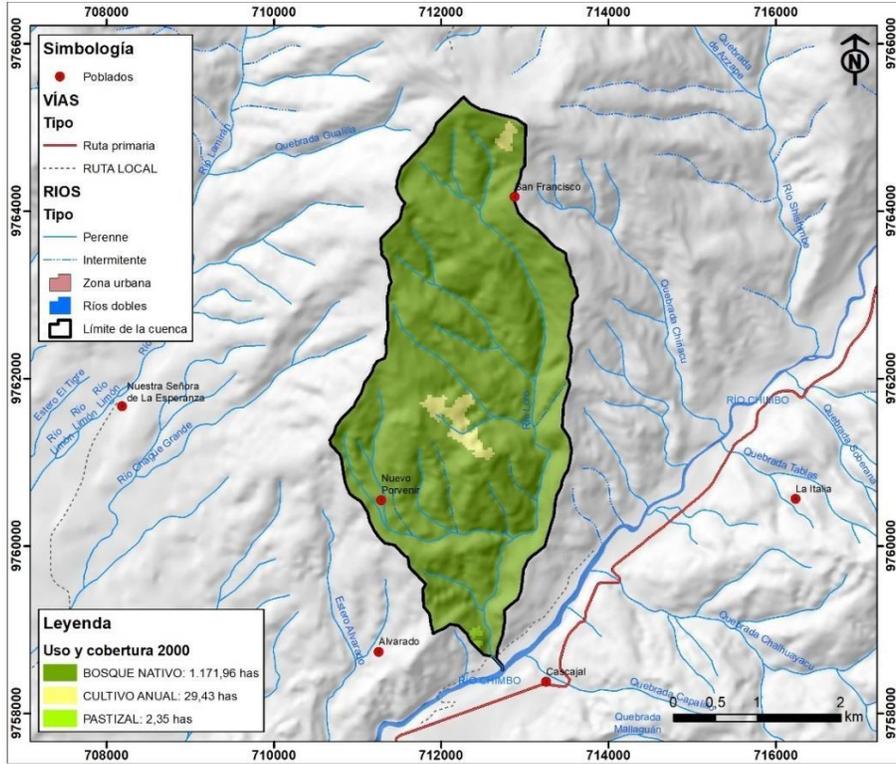


Figura 10. Uso del suelo y cobertura vegetal del año 2000

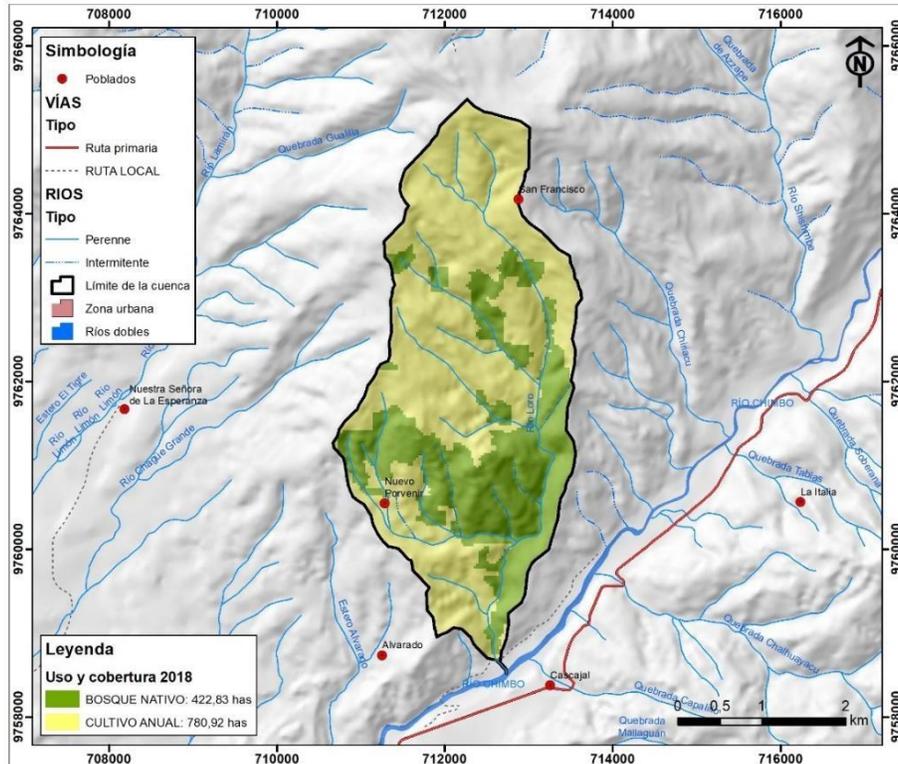


Figura 11. Uso del suelo y cobertura vegetal del año 2018

En la Tabla 17 se indica las áreas de uso del suelo y cobertura vegetal de los años 2000 y 2018 de la cuenca del río Loro. Los cambios de uso del suelo se deben a las actividades agropecuarias sumadas a las actividades de minería, ya que la actividad minera ilegal fue más intensa en el periodo 2000-2018, causando graves problemas en la salud y la seguridad alimentaria por la contaminación de los ríos, el MAE en el documento “Línea de base nacional para la minería artesanal y en pequeña escala de oro en Ecuador” menciona que en el cantón Chillanes los mineros artesanales adicionan 3 onzas de mercurio para recuperar unos 5 gramos de oro de 18 kilates (MAE, 2020).

Tabla 17. Cambios de uso del suelo 2000-2018

Uso del suelo y cobertura vegetal	Año 2018 (has)	Año 2000 (has)	Variación (has)
Bosque nativo	422,83	1.171,96	-749,13
Cultivo anual	780,92	29,43	751,49
Pastizal	0	2,35	-2,35
<b>Tasa promedio anual de deforestación: TMAD = 41,62 has/año</b>			

Áreas de uso del suelo y cobertura vegetal de los años 2000 y 2018 de la cuenca del río Loro

Lozada (2016) menciona que la deforestación total en la Amazonía Venezolana podría calcularse en 2.600.000 hectáreas, de ésta superficie se estima que unas 200.000 hectáreas corresponden a la minería que representa el 8%. La minería tiene fuertes impactos ambientales que requieren un tratamiento técnico para su evaluación y control, de tal manera que cumplan con la normativa ambiental.

#### 4.4. Pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Loro

En la cuenca del río Loro se observa que la cantidad de suelo que se pierde por erosión hídrica laminar bajo diferentes combinaciones de uso y manejo, para el año 2000 es 1,89 t/ha/año aumentando para el año 2018 a 9,59 t/ha/año los efectos negativos que han llevado a tipo de erosión es el crecimiento acelerado de la minería legal e ilegal existente, según Quiñonez (2016) las operaciones mineras están estrechamente ligadas a la gestión y desarrollo de los

procesos de prospección, exploración, explotación y finalmente comercialización, donde el Ministerio de Minería impulsa el desarrollo de minería metálica en el Sector Santa Rosa de Agua Clara justificándose que se debe mejorar los procesos operativos de recuperación de metales preciosos.

Las prácticas extractivas de minería en el sector han generado más daño que beneficio por el uso abusivo de químicos para la extracción de metales preciosos causando daños irreversibles al ambiente; al observar las Figuras 12 y 13 es evidente que en el período de 18 años gran parte de la cuenca presenta erosión alta debido que las áreas localizadas en las parte más alta son las más afectadas y donde las precipitaciones son mayores al igual que las pendientes; además toda la vía que conduce de Chillanes a Santa Rosa de Agua Clara presenta zonas de deslizamiento.

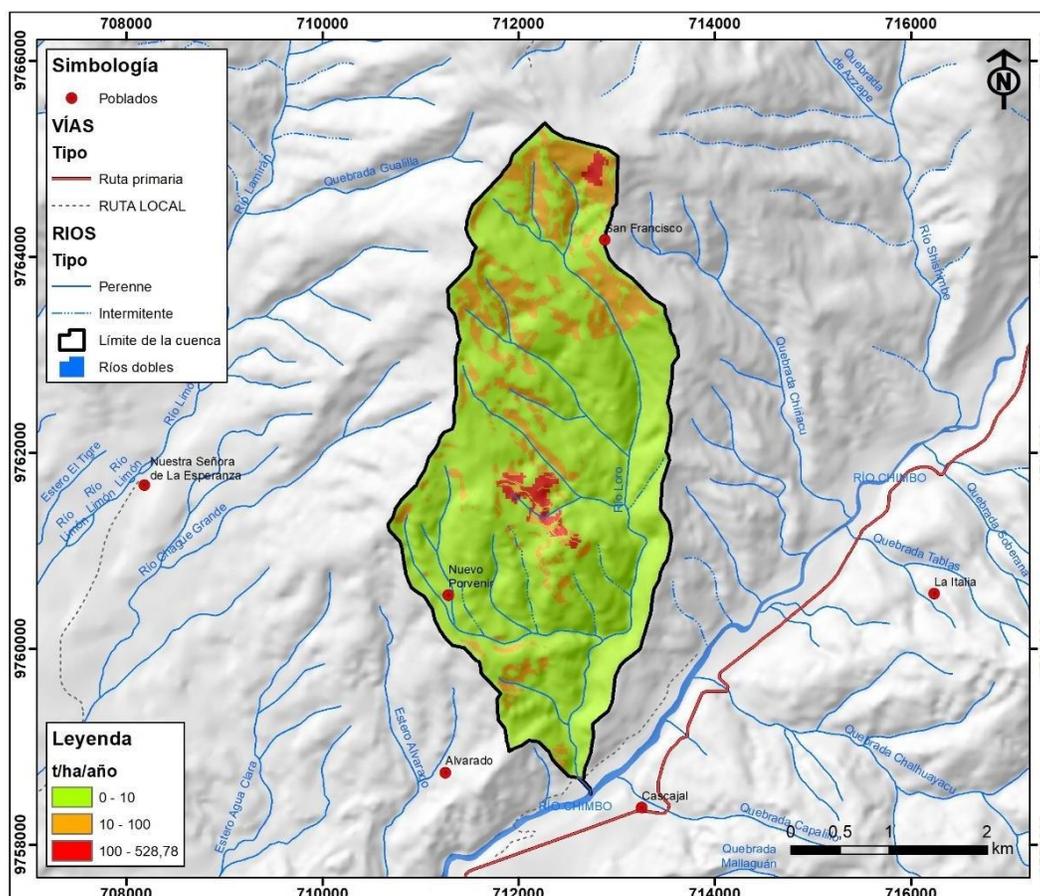


Figura 12. Erosión hídrica del año 2000

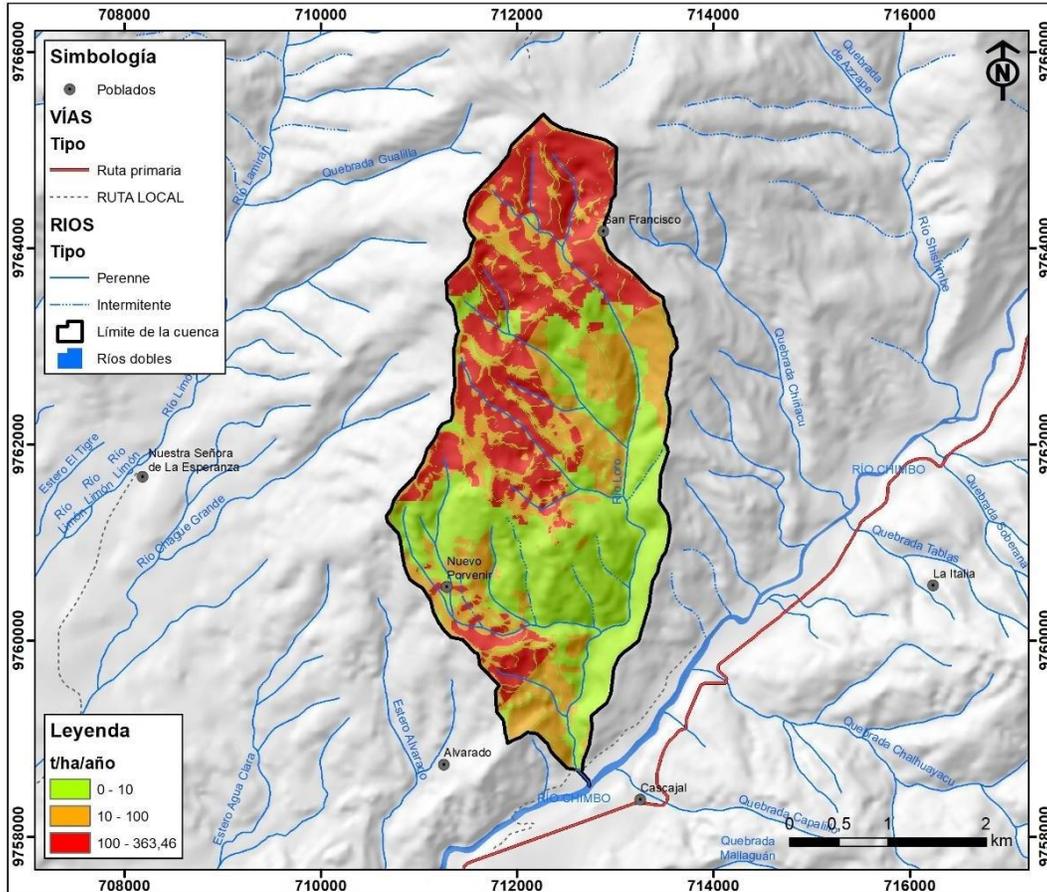


Figura 13. Erosión hídrica del año 2018

Se observa que en cuanto a la superficie afectada para el año 2000 el 80,98% de la cuenca del río Loro presenta erosión hídrica baja, el 16,80% está expuesta a una erosión media y el 2,22% de superficie esta potencialmente expuesta a una erosión hídrica importante (alta) (Tabla 18). Para el año 2018 la superficie de erosión hídrica media en la cuenca aumenta al 28,49% reflejándose en 343 hectáreas y la superficie con erosión alta presenta 367,26 hectáreas es evidente el aumento excesivo en el periodo de 18 años (Tabla 19); se puede considerar que las zonas localizadas en las partes altas son las más afectadas esto se debe a diferentes factores que están presentes en los análisis que se han realizado en la cuenca del río Loro, es necesario recalcar que los datos de  $TMAD = 41,62$  has/año en los cambios de uso de suelo y cobertura vegetal de bosque nativo y cultivos anuales es un factor significativo que incide en la erosión y superficie afectada de la cuenca.

Tabla 14. Erosión hídrica en la cuenca del río Loro, año 2000

<b>EROSIÓN (t/ha/año)</b>	<b>SUPERFICIE (Has)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Baja (0 – 10)	975,06	80,98
Media (10 – 100)	202,27	16,80
Alta (100 – 528,78)	26,67	2,22
Total	1204,00	100

Tipos de erosión, superficie afectada y porcentaje para el año 2000

Tabla 15. Erosión hídrica en la cuenca del río Loro, año 2018

<b>EROSIÓN (t/ha/año)</b>	<b>SUPERFICIE (Has)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Baja (0 – 10)	493,74	41,01
Media (10 – 100)	343,00	28,49
Alta (100 - 363,46)	367,26	30,50
Total	1204,00	100

Tipos de erosión, superficie afectada y porcentaje para el año 2000

En la Tabla 16 se indica la tasa de erosión media hídrica en la cuenca del río Loro para los años 2000 y 2018.

Tabla 16. Erosión media hídrica en la cuenca del río Loro

<b>Erosión hídrica 2000</b>	<b>Erosión hídrica 2018</b>
1,89 t/ha/año	9,59 t/ha/año

Mendoza (2013) identificó en la microcuenca de la presa Madín ubicada en el Estado de México el factor que afecta el funcionamiento hidrológico, el factor fue la pérdida de suelo por erosión hídrica, lo cual disminuye la calidad y cantidad del recurso agua captado por la microcuenca y almacenado en la presa Madín. El cambio de uso del suelo, en detrimento de la cobertura vegetal, fue la principal causa de erosión hídrica en la microcuenca. Se obtuvo una tasa promedio anual de erosión de 7,58 t/ha/año basándose en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).



Para categorizar los impactos calificados estableceremos un rango de calificación que va desde 5 hasta 20 o más, para poder representar una escala que represente el nivel de importancia, según la metodología de Leopold.

Según Guzmán (2014) presenta los siguientes rangos de categorías (Tabla 21):

- **Impacto Compatible.** - Es reconocible por presentar daños sobre recursos de bajo valor con carácter de irreversible o bien sobre recursos de un valor medio con posibilidad de recuperación fácil. Incluso se puede aplicar esta clasificación a impactos de baja intensidad en recursos de valor alto, con una recuperación inmediata y que, por lo tanto, presentan una extensión temporal reducida.
- **Impacto Moderado.** - Son de intensidad alta sobre recursos de valor medio con posibilidad de recuperación a medio plazo o mitigables, o de valor alto con recuperación a corto plazo.
- También se incluyen los impactos de intensidad baja, sin posibilidad en recursos de valor medio, cuando son reversibles a largo plazo.
- **Impacto severo.** - Se refiere a impactos ambientales de intensidad alta sobre recursos o valores de alta importancia con posibilidad de recuperación a medio plazo o mitigables, o bien impactos de intensidad alta sobre recursos de valor medio sin posibilidad de recuperación. También se incluyen en esta calificación los impactos de intensidad baja, sin posibilidad de recuperación sobre recursos de alto valor.
- **Impacto Crítico.** - Presenta una intensidad alta, sin posible recuperación, en recursos de alto valor y cuya presencia determina una exclusión en la viabilidad del proyecto (p. 76)

En la Tabla 21 se describe las categorías y rango de los impactos ambientales de la cuenca del río Loro y en la Figura 15 se presenta la Matriz de impactos ambientales según la metodología de Leopold.

Tabla 17. Categorías de Impactos ambientales

<b>Categoría</b>	<b>Rango</b>
Irrelevante	5-10
Moderado	11-15
Severo	16-20
Crítico	20 en adelante
Positivo	0-5

			ACCIONES DE MINERÍA ILEGAL QUE CAUSAN EFECTOS														Agregación de impactos
			1. Fase de Construcción				2. Fase de Operación						3. Fase de Abandono				
Valoración	Magnitud: 10 = Grande, 5 = Mediano, 1 = Pequeña	Importancia: 1 = Nada, 10 = Alta	Prospección y exploración de yacimientos	Desarrollo y preparación de las minas	Desboce de vegetación	Total Acción 1	Explotación de las minas	Transporte de material	Almacenamiento de material	Uso de productos químicos	Tratamiento de minerales	Eliminación de desechos	Total Acción 2	Cierre y abandono de minas	Revegetación	Total Acción 3	
																	Magnitud: 1-10
FACTORES AMBIENTALES	A. Características físicas y químicas	1. Tierra	Suelos	-8/5	-8/6	-9/6	-25/7	-6/3	-5/5	-8/8	-4/5	-30/8	8/9	16	-39		
		2. Agua	Superficial			-7/5	-7/7			-10/8	-9/7	-7/8	-35/6	6	-36		
		3. Atmósfera	Calidad del aire (gases, partículas)				0/-2	-2/6			-5/6	-5/6	-5/6	-19/4	-1	-20	
		4. Procesos	Erosión			-2/3	-2/3							-2/3	-2	-6	
	B. Condiciones	1. Vegetación	Bosque	-7/5	-6/5	-9/6	-22/8							-8/9	9	-21	
			Vegetación arbustiva	-6/5	-5/5	-7/5	-18/7								-7/9	9	-16
	C. Factores culturales	1. Uso de la tierra	Pastos	-5/5	-3/5		-8/8							0/2	0	-8	
			Cultivos	-4/5	-3/5		-7/7							0/8	0	-7	
			Minas e infraestructura				0/8						-6/8	2	0	2	
		2. Aspectos culturales	Patrones culturales (estilo de vida)	3/5	3/5		6/3							3/8	-4	5	
			Empleo	5/6	2/6		7/7					7/8		14/8	-8	13	
			Salud y seguridad	2/3	2/3		5/4							5/8	6	15	
		3. Facilidades y actividades humanas	Red de transporte	2/2	3/3		5/3	5/7	6/7					14/7	0	19	
Manejo de residuos						0/4	7/7	7/7			7/8	7/9	18	0	18		
Red de servicios						0/5	5/5						5	0	5		
Relaciones Ecológicas	Forestación y reforestación				0/10							0/10	10	10			
TOTALES						-67						-40	41	-66			

CATEGORÍA	RANGO
IRRELEVANTE	5 a 10
MODERADO	11 a 15
SEVERO	16 a 20
CRITICO	20 en adelante
POSITIVO	

Figura 15. Matriz de impactos ambientales según la metodología de Leopold

### ***Priorización de la agregación de impactos***

Según la matriz anterior los impactos negativos presentan un carácter entre irrelevantes y críticos, en la siguiente tabla se presenta su valoración:

*Tabla 18.* Impactos negativos y positivos de la cuenca del río Loro

<b>Impactos Negativos</b>	<b>Rango</b>	<b>Categoría</b>
Suelos	-39	Crítico
Agua Superficial	-36	Crítico
Bosque	-21	Crítico
Calidad del aire	-20	Severo
Vegetación arbustiva	-16	Severo
Pastos	-8	Irrelevante
Cultivos	-7	Irrelevante
Erosión	-6	Irrelevante
<b>Impactos Positivos</b>	<b>Rango</b>	<b>Categoría</b>
Red de transporte	19	Positivo
Manejo de residuos	18	Positivo
Salud y seguridad	15	Positivo
Empleo	13	Positivo
Forestación y reforestación	10	Positivo
Red de servicios	5	Positivo
Patrones culturales (estilo de vida)	5	Positivo
Minas e infraestructura	2	Positivo

Impactos negativos y positivos de la cuenca del río Loro, rangos y categorías

De los valores que se presenta en la tabla anterior se concluye que los factores ambientales que tienen mayores impactos negativos con categoría crítica son afectaciones al componente físico como suelos, agua superficial y bosques; la calidad del aire y la vegetación arbustiva presentan impacto severo. Como impacto positivo se encuentran Red de transporte con un valor de 19, manejo de residuos con valor de 18, salud y seguridad con valor de 15 y

empleo con valor de 13. En la Tabla 23 se indica las actividades del proyecto con mayor afectación.

*Tabla 19. Actividades del proyecto con mayor afectación*

<b><i>Impactos Negativos</i></b>	
<b>Actividades del proyecto</b>	<b>Valoración</b>
Fase de construcción/Acción 1	-67
Fase de operación/Acción 2	-40

Las acciones que mayor impacto ambiental negativo presentan son la fase de construcción y la fase de operación.

Cano y Chilan (2018) en el estudio sobre impactos de la deforestación en la cuenca alta del río Ayampe de la provincia de Manabí, mencionan que los resultados de la evaluación de impactos ambientales son importantes para considerar las acciones que deben tomarse en cuenta de manera prioritaria en el plan de manejo ambiental de la cuenca y los bosques húmedos de las cordilleras de la costa en el Ecuador, ya que poseen la tasa de deforestación anual promedio más alta del país. El proceso conllevó la valoración de los impactos a través de una matriz de causa-efecto de Leopold que analizó la naturaleza, extensión, probabilidad, magnitud y duración de los impactos identificados; constituyéndose en la base para proponer el Plan de Restauración de las áreas intervenidas y degradadas en la cuenca alta del río Ayampe.

#### 4.6. Zonificación de la cuenca del río Loro considerando los riesgos hidrográficos causados por la minería ilegal

La zonificación de la cuenca permitirá la actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) y formará parte del sistema de planificación territorial regional, junto a la Estrategia de Desarrollo Regional y las Políticas Públicas Regionales. Las características de los suelos, la pendiente del terreno, los riesgos de la actividad minera y la cobertura vegetal definieron la aptitud del territorio de la cuenca, se definió las siguientes zonas: 1) Minería sustentable, 2) Zona de uso agropecuario, y 3) Forestación, reforestación y conservación de la cobertura vegetal (Figura 16 y Tabla 24).

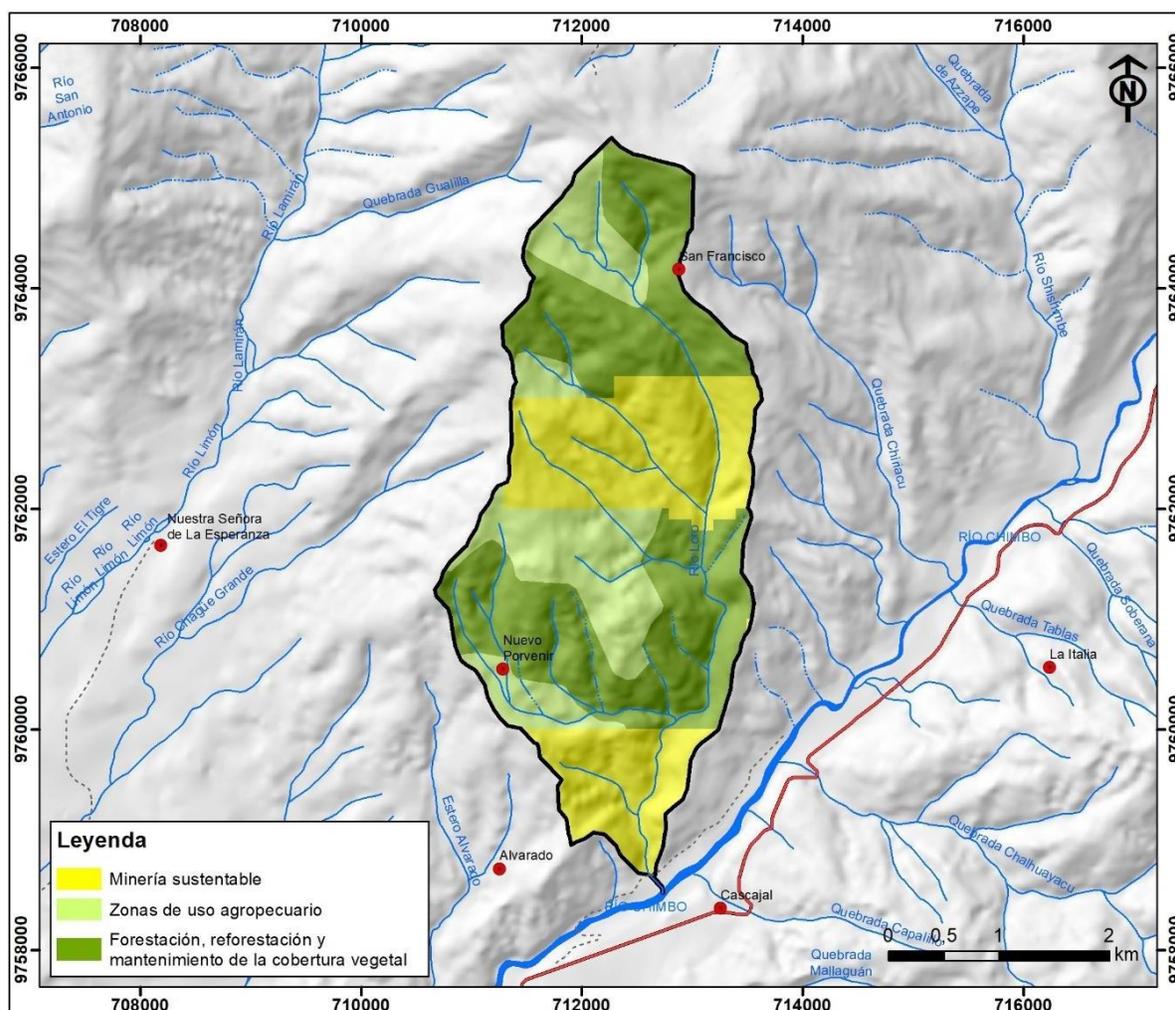


Figura 16. Zonificación de la cuenca del río Loro.

Mediante la zonificación ambiental de la cuenca se estableció zonas que conforman espacios claramente delimitados donde interactúan variables abióticas, bióticas y socioeconómicas, que definen las limitaciones de uso y la protección de los recursos naturales. La zonificación ambiental es el resultado de la superposición cartográfica mediante un Sistema de Información Geográfica de los medios biótico, abiótico y social, considerando los riesgos hidrográficos causados por la minería ilegal. La zonificación de la cuenca será el soporte geográfico de lineamientos, determinaciones o acuerdos sobre lo que se quiere mantener, mejorar, o potenciar para minimizar el impacto de las actividades mineras. En la Tabla 24 se indica que la superficie para realizar actividad minera sustentable ocupa 384,97 has que equivale al 31,97% del total.

*Tabla 20. Zonas de la cuenca*

<b>Zonas</b>	<b>Superficie (Has.)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Minería sustentable	384,97	31,97
Zona de uso agropecuario	282,23	23,61
Forestación, reforestación y conservación de la cobertura vegetal	536,44	44,55
Total	1204,00	100

Zonas de la cuenca del río Loro, superficie y porcentaje.

Las diferentes actividades socioeconómicas que pueden realizarse en las zonas de la cuenca con enfoque de desarrollo sustentable, permitirán aportar con información para fortalecer y actualizar el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Chillanes de la provincia de Bolívar.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

- El análisis del conflicto del uso del suelo causado por actividades agropecuarias y mineras y los riesgos generados en la cuenca, basado en la capacidad de uso del suelo,

permitió conocer de forma cualitativa y cuantitativa las zonas que deben ser priorizadas para la minería sustentable, uso agropecuario, y forestación, reforestación y conservación de la cobertura vegetal, debido a que todas las actividades antrópicas ocasionan impactos negativos ambientales y socioeconómicos.

- Durante los últimos 18 años la cuenca presenta una tasa de deforestación de 41,62 has/año, evidenciándose que los suelos de uso forestal presentan altos grados de degradación por actividades agropecuarias y mineras, especialmente en las áreas de concesión de minera de la cuenca hidrográfica. Los caudales máximos estimados fueron de 14,75 m<sup>3</sup>/s para el año 2000 y 36,21 m<sup>3</sup>/s para el año 2018, existiendo un incremento de 59,26% en la esorrentía media anual.
- Según informes del MAE y los resultados del análisis multitemporal, el cambio de uso del suelo en la cuenca se debe a las actividades agropecuarias sumadas a las actividades de minería ilegal, ya que la actividad minera alcanzó su máximo desarrollo en el periodo 2000-2018, y fue la causa de problemas para la salud de los pobladores y la seguridad alimentaria por la contaminación de los ríos.
- El análisis de los riesgos hidrográficos causados por la deforestación y actividades de la minería ilegal, permitió la identificación de áreas potenciales para el desarrollo de actividades agropecuarias localizadas en la parte media y alta de la cuenca, y áreas de minería sustentable ubicadas en la parte baja y media de la cuenca, sin causar la degradación del recurso suelo y fomentando la conservación de la cobertura vegetal existente.

## **5.2. Recomendaciones**

- Implementar una práctica de reforestación y conservación de árboles nativos, por lo cual, es importante realizar mesas territoriales con los actores involucrados; y, suscribir un convenio entre el MAE, GAD Chillanes y la comunidad. Las actividades a ejecutarse deben estar descritas en el convenio tanto de forma descriptiva como en un cronograma valorado.

Este convenio es la base para realizar el monitoreo sobre el cumplimiento del plan de reforestación en las comunidades aledañas del río Loro.

- Fortalecer prácticas agroforestales a las comunidades que se encuentran en la cuenca del río Loro a través del **Programa Socio Bosque**, que tiene como principal objetivo “la entrega de incentivos económicos a campesinos y comunidades indígenas que se comprometen voluntariamente a la conservación y protección de sus bosques nativos, páramos u otra vegetación nativa.”
- Para el año 2018 la superficie de erosión hídrica media en la cuenca aumentó al 28,49% (erosión alta 367,26 hectáreas); por lo cual, es necesario realizar un aislamiento de todos los depósitos de materiales generadores de químicos ocupados para la extracción minera artesanal.
- Realizar un plan de mitigación con la Municipalidad para estabilizar y regularizar el control de las áreas erosionadas utilizando suelo superficial y reforestación para limitar movimientos y filtraciones.
- En los riesgos hidrológicos e impactados ambientales producidos por la minería ilegal, se obtuvo los resultados con la matriz de Leopold, que en la fase de construcción tenemos un -67 y en la fase de operación un -40; para solventar esta problemática se debe realizar un monitoreo y el mantenimiento que garanticen el control de la minería ilegal para evitar el contacto de elementos contaminantes con la cuenca del río Loro.
- Fortalecer mecanismos para la prevención de la contaminación y erosión a causa de la minería ilegal.
- Cumplir con la norma establecida en la “Ley de Minería” al igual que a su respectivo “Reglamento ambiental de actividades mineras”.
- La propuesta de zonificación establece tres subcategorías de carácter técnico que podrían contribuir con el desarrollo sostenible de la cuenca, la propuesta de zonificación deberá ser socializada para la búsqueda de un consenso por parte de los actores involucrados. Desarrollando una estrategia de negociaciones para el cambio de uso actual del suelo y/o el desarrollo de actividades mineras sustentables, teniendo en cuenta beneficios sociales y económicos para aumentar las posibilidades de adopción y sostenibilidad en el uso actual de los recursos de la cuenca

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreazzini, M., Degiovanni, S., Spalletti, P. e Irigoyen, M. Producción de Sedimentos en una Cuenca de Sierras Pampeanas, Córdoba, Argentina: Estimación para Distintos Escenarios. *Aqua-LAC*, 6(1), 38-49. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/AqualacVol6N1-Andreazzini.pdf>
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO – CENTRO DE ESTUDIOS PARA EL DESARROLLO. (2002). *Gestión y fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Recuperado de <http://www.ced.cl/ced/wp-content/uploads/2009/03/gestion-y-fundamentos-de-eia.pdf>
- Dumas, A. (2012). *RIESGO DE EROSION HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RIO MUNDO*. (Tesis de Maestría). Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España
- Conesa, C., García, L., Brinckmann, W., García, R. y Pérez, A. (2008). El estudio de los riesgos con origen hidrológico en el sureste de la península Ibérica. Enfoque geográfico y planificación territorial. *REDES-Revista de Desarrollo Regional*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/5520/552056853004.pdf>
- Ecuador es el país con la mayor tasa de deforestación de Latinoamérica en comparación con su tamaño, incluso más que Brasil. (24 de noviembre, 2019). *EL UNIVERSO*. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/11/24/nota/7616396/estado-bosques-nativos-ecuador-deforestacion>
- Fernández, G. (2012). Riesgos hidrológicos. *Ciencia y Medio Ambiente*. Recuperado de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/128224/1/Riesgos%20hidrol%C3%B3gicos389%28G.%20Benito%29.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Chillanes. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Chillanes, Provincia de Bolívar 2014-2019*. Recuperado de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0260000410001\\_LUCAS\\_16-04-2016\\_17-25-54.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0260000410001_LUCAS_16-04-2016_17-25-54.pdf)
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Chillanes. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Actualización 2019*. Recuperado de

[https://www.chillanes.gob.ec/wpontent/uploads/2020/04/Diagnostico\\_PDyOT\\_Chillanes\\_2020\\_Def.pdf](https://www.chillanes.gob.ec/wpontent/uploads/2020/04/Diagnostico_PDyOT_Chillanes_2020_Def.pdf)

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de San José del Tambo. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural San José del Tambo del Cantón Chillanes provincia de Bolívar*. Recuperado de [http://app.sni.gob.ec/sniink/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0260013150001\\_Actualizacion%20PDyOT%20San%20Jose%20del%20Tambo\\_15-10-2015\\_18-55-25.pdf](http://app.sni.gob.ec/sniink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0260013150001_Actualizacion%20PDyOT%20San%20Jose%20del%20Tambo_15-10-2015_18-55-25.pdf)

Guzmán, L. (2014). *Estudio de Impacto ambiental Expost y Plan de Manejo del Área Minera TARABITA*. Recuperado de [https://maeazuay.files.wordpress.com/2014/11/eia\\_tarabita\\_expost\\_octu\\_2014.pdf](https://maeazuay.files.wordpress.com/2014/11/eia_tarabita_expost_octu_2014.pdf)

Lázaro, J. (2010). *Hidrología de crecidas en pequeñas y medianas cuencas. Aplicación con modelos digitales del terreno*. (Tesis de doctorado). Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España. Recuperado de <https://zagan.unizar.es/record/5750/files/TESIS-2011-031.pdf>

Ministerio del Ambiente (2017). *Deforestación del Ecuador Continental periodo 2014-2016*. Recuperado de [redecuador.ambiente.gob.ec/redd/wp-content/uploads/2019/12/Anexo-5.-Informe-de-Deforestación-Ecuador-Continental-periodo-2014-2016.pdf](http://redecuador.ambiente.gob.ec/redd/wp-content/uploads/2019/12/Anexo-5.-Informe-de-Deforestación-Ecuador-Continental-periodo-2014-2016.pdf)

Orbes, J. y Peralta, T. (2017). Estado de arte en Manejo de Sedimentos en Cuencas Andinas en el Ecuador, caso de estudio: Cuenca del río Paute. (Tesis de grado), Univeridad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28553/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (2012). *Evaluación del impacto ambiental*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i2802s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental de Suelos. (2016). Estado Mundial del Recurso Suelo. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, La Ciencia y la Cultura-UNESCO, 2020. *Desastres relacionados con el agua y cambios hidrológicos*. París. Recuperado de <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/desastres-cambios-hidrologicos/riesgos>

- Parada, G., Zárate, E., Arévalo, D. y Kuiper, D. (2015). *Evaluación de Riesgos y Oportunidades de Agua para las cuencas de los ríos Frío y Sevilla en “La Zona Bananera”* Colombia. Recuperado de [https://www.goodstuffinternational.com/images/PDF/Evaluacion\\_Riesgos\\_Oportunidades\\_de\\_Agua\\_Frio\\_Sevilla\\_Colombia\\_WWF\\_GSI\\_03072015.pdf](https://www.goodstuffinternational.com/images/PDF/Evaluacion_Riesgos_Oportunidades_de_Agua_Frio_Sevilla_Colombia_WWF_GSI_03072015.pdf)
- Peralta, A. Determinación de la dispersión geoquímica de PB en sedimentos de afluentes del área de incidencia del proyecto minero Loma Larga. (Tesis de grado). Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. Recuperado de file:///C:/Users/dell/Downloads/13950.pdf
- Puga, S., Sosa, M., Toutcha, L., Quintana, C. y Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada.*, 5 (1, 2), 149-155. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v5n1-2/a20v5n1-2.pdf>
- Quezada, M. y Waylen, P. (Julio-septiembre, 2004). Ocurrencia de crecidas en dos cuencas hidrográficas ubicadas en vertientes opuesta en Costa Rica. *Tecnología y Ciencias del Agua.* Recuperado de <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/994/690>
- Romero, J., Buitrago, A., Quintero, T. y Francés, F. (2018). Simulación hidrológica de los impactos potenciales del cambio climático en la cuenca hidrográfica del río Aipe, en Huila, Colombia. *Ribagua*, 5:1, 63-78. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/23863781.2018.1454574>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida.* Recuperado de [https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL\\_0K.compressed1.pdf](https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf)
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Proyecciones referenciales de población a nivel cantonal-provincial* Recuperado de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/ESTADISTICA/Proyecciones\\_y\\_estudios\\_demograficos/Proyecciones%202010/PROYECCIONES\\_REFERENCIALES%20\\_A\\_NIVEL\\_CANTONAL\\_PROVINCIAL\\_2010-2030.xlsx](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/ESTADISTICA/Proyecciones_y_estudios_demograficos/Proyecciones%202010/PROYECCIONES_REFERENCIALES%20_A_NIVEL_CANTONAL_PROVINCIAL_2010-2030.xlsx)
- Ulloa, K. 2019. *LA MINERIA ILEGAL Y LA VULNERACIÓN DE LOS DERECHOS DE LA NATURALEZA.* (Tesis de grado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.