

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**GESTIÓN INTEGRADA Y BALANCE DE LOS RECURSOS  
HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO LACRAMARCA PARA UN  
APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. SARAVIA SUÁREZ, RONALD**

**Bach. VILCHEZ LECCA, GUSTAVO ALBERTO**

**ASESORES: DR. LÓPEZ SILVA, MAIQUEL**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres, abuelos, hermano y tíos quienes me brindaron consejos, apoyo y conocimientos a lo largo de mis años de estudio.

Saravia Suárez, Ronald

Esta tesis está dedicada a todos mis seres amados; quienes, en conjunto, han sido el soporte perfecto para nunca decaer y siempre mantenerme firme en cada etapa del proceso del desarrollo de esta tesis.

Vilchez Lecca, Gustavo

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento a mi alma mater, por haberme brindado los conocimientos de esta carrera maravillosa, a mis asesores por apoyarme en el desarrollo de la tesis y a mi gran amigo Aníbal que orientó mi formación profesional.

Saravia Suárez Ronald

Agradecimiento a la Universidad Ricardo Palma por mi formación académica y a mis asesores que me brindaron todo el apoyo que necesité.

Vilchez Lecca, Gustavo

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACION DEL PROBLEMA.....</b>	<b>14</b>
1.1. Formulación y delimitación del problema .....	17
1.1.1. Formulación del Problema .....	19
1.2. Objetivos de la Investigación .....	19
1.2.1. Objetivo General .....	19
1.2.2. Objetivos Específicos .....	19
1.3. Delimitación de la Investigación.....	19
1.3.1. Delimitación Temporal.....	19
1.3.2. Delimitación Espacial.....	20
1.4. Justificación e importancia .....	20
1.4.1. Justificación Teórica.....	20
1.4.2. Justificación Práctica .....	21
1.4.3. Justificación Social.....	21
1.4.4. Justificación Ambiental .....	21
1.4.5. Importancia .....	21
1.5. Limitaciones de la investigación .....	22
1.5.1. Limitación teórica .....	22
1.5.2. Limitación metodológica .....	22
1.5.3. Limitación de gestión .....	22
1.5.4. Limitación del entorno.....	22
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
2.1. Antecedentes del estudio de investigación .....	23
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	23
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	25

2.2. Bases teóricas .....	27
2.2.1. Topografía.....	27
2.2.2. Planimetría .....	28
2.2.3. Altimetría .....	29
2.2.4. Geomorfología .....	29
2.2.5. Ciclo Hidrológico .....	29
2.2.6. Componentes.....	30
2.2.7. Cuenca Hidrográfica.....	31
2.2.8. Parámetros de forma.....	31
2.2.9. Parámetros de Relieve de la cuenca .....	34
2.2.10. Parámetros de Drenaje de la cuenca .....	38
2.2.11. Precipitación .....	40
2.2.12. Análisis de Consistencia .....	45
2.2.13. Análisis de Doble Masa .....	45
2.2.14. Periodo de retorno.....	45
2.2.15. Tiempo de Concentración (Tc):.....	46
2.2.16. Hidrograma.....	46
2.2.17. Evaporación.....	48
2.2.18. Transpiración .....	51
2.2.19. Evapotranspiración .....	51
2.2.20. Balance hídrico .....	53
2.2.21. Escurrimiento .....	54
2.2.22. Infiltración .....	55
2.2.23. Gestión de Cuencas.....	57
2.3. Definición de términos básicos .....	60
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>61</b>
3.1. Hipótesis .....	61
3.1.1. Hipótesis General .....	61
3.1.2. Hipótesis Específica .....	61
3.2. Variables .....	61

3.2.1. Variable Independiente.....	61
3.2.2. Variable Dependiente .....	62
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>63</b>
4.1. Tipo y Nivel .....	63
4.1.1. Tipo de investigación .....	63
4.1.2. Nivel .....	63
4.2. Diseño de investigación.....	64
4.3. Población y muestra .....	64
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	65
4.4.1. Tipo de técnicas e instrumentos .....	65
4.4.2. Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos .....	65
4.4.3. Procedimientos para la recolección de datos .....	66
4.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	66
<b>CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>68</b>
5.1. Estudios generales de la zona.....	68
5.1.1. División Política Administrativa.....	68
5.1.2. Ubicación de la Cuenca .....	69
5.1.3. Clima .....	70
5.2. Estudios de Topografía .....	71
5.3. Aplicación del sistema de información geográfica (SIG).....	71
5.3.1. Creación de modelo TIN .....	71
5.3.2. Creación del modelo DEM .....	72
5.4. Delimitación de las corrientes.....	73
5.4.1. Dirección y acumulación del flujo .....	73
5.4.2. Cálculo de corrientes .....	74
5.5. Parámetros Fisiográficos de la Cuenca.....	76
5.5.1. Cálculo la longitud, área y perímetro .....	76
5.5.2. Cálculo del ancho, índice de Gravelius y factor de forma.....	76
5.6. Parámetros geomorfológicos de la Cuenca.....	78

5.6.1. Cálculo de áreas parciales .....	78
5.6.2. Cálculo de altura media .....	79
5.6.3. Polígono de frecuencia y curva Hipsométrica .....	80
5.7. Sistema de drenaje de la Cuenca .....	82
5.7.1. Cálculo de orden de corrientes .....	82
5.7.2. Cálculo de la longitud de la orden de corrientes .....	83
5.7.3. Cálculo de parámetros de drenaje .....	84
5.8. Precipitación y Temperatura .....	85
5.8.1. Modelo de precipitación .....	90
5.8.2. Isoyetas .....	90
5.8.3. Modelo de Temperatura.....	91
5.8.4. Isotermas .....	92
5.9. Balance Hídrico .....	93
5.9.1. Modelo de Evapotranspiración .....	93
5.9.2. Balance hídrico – Escorrentía .....	95
5.10. Análisis de Erosión del Suelo.....	96
5.10.1. Cálculo de factores.....	96
5.10.2. Cálculo de pérdida de suelo.....	104
5.11. ¿Dónde comenzar enfoque integrado?.....	107
5.12. Aspectos clave y leyes políticas para el manejo de cuencas .....	108
5.13. Marco para la gestión del agua.....	109
5.14. Planificación estratégica a largo plazo.....	110
5.15. Leyes y políticas con enfoque a la gestión del agua.....	111
5.15.1. Disposiciones generales .....	111
5.15.2. Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos .....	111
5.15.3. Los Consejos de Recursos Hídricos de la Cuenca.....	111
5.15.4. De los Operadores de Infraestructura Hidráulica Pública .....	112
5.15.5. Uso de Recursos Hídricos .....	112
5.15.6. Uso Primario del Agua.....	112
5.15.7. Derechos de uso de agua de las comunidades campesinas y nativas.....	112
5.15.8. Protección del Agua.....	113

5.15.9.Prevencción ante efectos de cambio Climático .....	113
5.15.10.Planificación de los Recursos Hídricos .....	114
5.15.11.Estudios y Obras de Infraestructura Hidráulica .....	114
5.15.12.Encauzamiento de cursos de Agua y Defensa Ribereña .....	115
5.15.13.De las Infracciones y Sanciones .....	115
5.16.Análisis de resultados de los parámetros geomorfológicos .....	116
5.17.Análisis de estimación del balance hídrico y erosión de suelos.....	117
5.18.Gestión de la Cantidad .....	118
5.19.Gestión de la Calidad .....	119
5.20.Adaptación al cambio climático y eventos extremos .....	120
5.21.Gestión de la cultura del agua .....	121
5.22.Gestión de la oportunidad .....	122
<b>CONSTRATACIÓN DE HIPÓTESIS.....</b>	<b>123</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>125</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>126</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>132</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Parámetros de la Cuenca.....	76
Tabla N° 2: Datos de la Cuenca. ....	77
Tabla N° 3: Áreas parciales. ....	79
Tabla N° 4: Cálculos de áreas y altitudes. ....	80
Tabla N° 5: Cálculos de áreas acumuladas y porcentajes. ....	81
Tabla N° 6: Cálculos de longitudes de la orden de ríos. ....	83
Tabla N° 7: Parámetros de drenaje.....	85
Tabla N° 8: Estación meteorológica Santa. ....	86
Tabla N° 9: Estación meteorológica La Rinconada. ....	86
Tabla N° 10: Estación meteorológica Puerto Chimbote.....	87
Tabla N° 11: Estación meteorológica San Jacinto. ....	87
Tabla N° 12: Estación meteorológica Buenavista.....	88
Tabla N° 13: Estación meteorológica Paraicoto. ....	88
Tabla N° 14: Estación meteorológica Cajamarquilla. ....	89
Tabla N° 15: Resultados finales de SIG de la cuenca. ....	96
Tabla N° 16: Clasificación de suelos. ....	99
Tabla N° 17: Valores de cobertura vegetal.....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Mapa de la Cuenca del río Lacramarca.....	20
Figura N°2: Representación de dos puntos topográficos. ....	27
Figura N°3: Levantamiento topográfico.....	28
Figura N°4: Ciclo Hidrológico.....	30
Figura N°5: Componentes de la Cuenca. ....	31
Figura N°6: Delimitación de una cuenca.....	32
Figura N°7: Área de una cuenca. ....	33
Figura N°8: Criterio de J.W. Alvord. ....	35
Figura N°9: Criterio de R.E. Horton. ....	36
Figura N°10: Pluviómetro.....	42
Figura N°11: Pluviógrafo. ....	42
Figura N°12: Trazo entre las estaciones pluviométricas. ....	43
Figura N°13: Áreas de los polígonos de la cuenca. ....	44
Figura N°14: Componentes del Hidrograma. ....	47
Figura N°15: Evaporación. ....	49
Figura N°16: Ábaco para determinar la presión de vapor. ....	50
Figura N°17: Clasificación de Acciones de Gestión a Nivel de Cuencas. ....	58
Figura N°18: Jerarquización de Acciones de Gestión a Nivel de Cuencas. ....	58
Figura N°19: El Ciclo de Gestión de la planificación e implementación. ....	60
Figura N°20: División Política Administrativa de Ancash. ....	68
Figura N°21: Ubicación del distrito de Chimbote - Ancash.....	69
Figura N°22: Ubicación de la cuenca Lacramarca.....	70
Figura N°23: Curvas de nivel. ....	71
Figura N°24: Elevación de superficie TIN de la cuenca. ....	72
Figura N°25: Elevación de superficies DEM de la cuenca.....	73
Figura N°26: Elevación de superficies DEM de la cuenca.....	74
Figura N°27: Red de drenaje de la cuenca.....	75

Figura N°28: Formato vectorial de la red de drenaje de la cuenca. ....	75
Figura N°29: Representación del río principal para la investigación.....	77
Figura N°30: Áreas parciales de la cuenca. ....	78
Figura N°31: Polígono de frecuencia y curva hipsométrica. ....	82
Figura N°32: Orden de las corrientes. ....	83
Figura N°33: Representación de la variación de las precipitaciones. ....	90
Figura N°34: Representación de las precipitaciones, Isoyetas cada 25 mm. ....	91
Figura N°35: Representación del modelo de temperatura. ....	92
Figura N°36: Representación las temperaturas, Isotermas cada 1°C. ....	93
Figura N°37: Representación la evapotranspiración potencial. ....	94
Figura N°38: Representación la evapotranspiración real. ....	94
Figura N°39: Representación de la escorrentía.....	95
Figura N°40: Pérdida de suelo de la longitud de la pendiente. ....	97
Figura N°41: Escarpado de la pendiente. ....	98
Figura N°42: Longitud y gradiente de la pendiente. ....	98
Figura N°43: Erodabilidad del suelo expresado en (ton/ha/año). ....	102
Figura N°44: Ráster del factor de cobertura vegetal. ....	103
Figura N°45: Erosión del suelo por zonas de la cuenca. ....	105
Figura N°46: Erosión del suelo. ....	106
Figura N°47: Diagrama de flujo para el inicio del enfoque integrado en cuencas. ....	107
Figura N°48: Diagrama de flujo de Aspectos clave para la gestión de cuencas.....	108
Figura N°49: Diagrama de flujo de marco para la gestión del agua. ....	109
Figura N°50: Diagrama de flujo para la planificación estratégica. ....	110
Figura N°51: Pérdida del suelo de la cuenca del río Lacramarca. ....	117
Figura N°52: Gestión de la Cantidad. ....	118
Figura N°53: Gestión de la Calidad. ....	119
Figura N°54: Adaptación al cambio climático y eventos extremos. ....	120
Figura N°55: Gestión de la cultura del agua. ....	121
Figura N°56: Gestión de la Oportunidad. ....	122

## RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo desarrollar la gestión integrada y balance hídrico para el aprovechamiento sostenible de la cuenca del río Lacramarca – Ancash. La investigación se empezó en una zona donde existen escasos estudios, poca información realizada por las autoridades superiores y necesidad en la población. La principal metodología que se utilizó fueron los sistemas de información geográfica (ArcGIS), las cartas nacionales fueron adquiridas en el geoservidor del Ministerio del Ambiente.

Se utilizó el Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas otorgada por el Global Water Partnership para la propuesta de gestión en el área de estudio, con lo mencionado se realizaron los parámetros morfométricos, se analizó la geomorfología del área de estudio, dando como resultado que la cuenca tiene poca probabilidad de recibir lluvias intensas, baja probabilidad de sufrir inundaciones, una moderada producción sostenible de caudal y un moderado potencial a crecientes, estando en su fase de vejez y siendo sedimentaria con una erosión favorable según métricas RUSTLE.

A su vez se hizo la estimación de balance hídrico para determinar la evapotranspiración potencial y escurrimiento, dando como resultado la cantidad de agua en  $m^3$  que sale de la cuenca con herramienta de tabla estadística, resultando una sumatoria total de  $4468868.62 m^3$ . Finalmente, se realizó la propuesta de la gestión integrada del recurso hídrico en el área estudiada siguiendo los pasos del Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, promoviendo a través de nuestro modelo de gestión políticas y normas en el gobierno del distrito de Ancash y fomentando la concientización a la población para el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico en la cuenca del río Lacramarca.

**Palabras clave:** Manejo Integrado, Recursos Hídricos, Río Lacramarca, Uso sostenible.

## ABSTRACT

The following work sought to apply an Integrated Management of Water Resources (IWRM) is necessary to make decisions related to water management, and that is more aimed at administrative entities and government officials, in order to make decisions that implement management systems to calm all the natural impacts that can become a danger, supply water for those productive and social purposes and protect our environment of the Lacramarca river basin.

To achieve the objective set out in this research, it was sought to determine the geomorphological characteristics of the Lacramarca river basin and, after that, determine the water balance of the Lacramarca river basin. And as a last objective, it was proposed to implement an integrated management model of the water resources of the river basin under investigation.

To consolidate the information and proceed from the proposal, applied research was covered and this sought, by way of results, to show that the basin adopts, according to Villón (2002), adopts a very elongated and very little flattened shape, due to the fact that our factor of the shape turned out to be 0.17, this indicates that it is less likely to receive heavy rains, less likely to suffer floods.

**Keywords:** Integrated Management, Water Resources, Lacramarca River, Sustainable use.

## INTRODUCCION

La implementación de una gestión integrada y un balance hídrico correctamente en el Perú ayudaran a mejorar la productividad, aprovechamiento sostenible y reducir diversos impactos ambientales. La actividad minera realizada en el Perú es de los principales causantes en la afectación del recurso hídrico y reclamo de la población. Por lo tanto, el correcto cuidado del recurso hídrico al realizar esta actividad es actualmente primordial para las empresas que existen en el sector productivo del Perú.

El departamento de Ancash, existen otro tipo de problemáticas que fueron dadas a partir de los eventos meteorológicos extremos, en este caso de bajas precipitaciones en meses acentuados en la zona. donde se desarrolla la presente investigación tiene una importante presencia de mineras en la zona alta. Estos focos repercuten en la calidad del agua del rio Lacramarca. Se tuvieron estudios de la degradación y perdida del suelo. El balance hídrico valora la evapotranspiración potencial, escorrentía de la cuenca.

La presente tesis se desarrolla de la forma siguiente:

En el Capítulo I se describe el planteamiento del problema, objetivos, justificación de la investigación, enfocada a obtener un adecuado balance hídrico y una propuesta de la gestión.

En el Capítulo II se describe el marco teórico, con los respectivos antecedentes internacionales y nacionales, las bases teóricas asociadas a las variables o variable y la definición de términos básicos.

En el Capítulo III se detallas la hipótesis general y específicas, tanto como las variables, dependiente e independiente.

En el Capítulo IV se explica la metodología que se realizó, con un enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo; siendo nuestra población la vertiente hidrográfica del Océano Pacifico y teniendo como muestra la cuenca del rio Lacramarca.

En el Capítulo V se presenta la propuesta o aplicación de la investigación, donde se detallan los cálculos y procesos realizados para el análisis hidrológico, balance hídrico y la gestión integrada del recurso hídrico.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACION DEL PROBLEMA**

## **1.1. Formulación y delimitación del problema**

Aplicar una Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) es necesaria para tomar decisiones relaciona a la gestión del agua, y que está más dirigido a las entidades administrativas y funcionarios gubernamentales, para así tomar decisiones que implementen sistemas de gestión para calmar todos los impactos naturales que puede llegar a ser un peligro, abastecer agua para aquellos fines productivos y sociales y proteger nuestro medio ambiente de la cuenca del rio Lacramarca.

El planteamiento incorporado va a coordinar la gestión del recurso hídrico en todo sector y grupo de interés. Hace hincapié en la colaboración en los desarrollos nacionales de formulación de leyes y políticas, fijando una buena gobernabilidad y fundando acuerdos normativos e institucionales efectivos en el cual se permita la toma de decisiones justa y sostenible. Toda una serie de herramientas como los instrumentos económicos, sistemas de información, monitoreos y evaluaciones sociales, amparan este proceso. (ANA, 2009).

En la cuenca del rio Lacramarca siempre fue productor de la actividad agrícola y ha sido la única vía de apoyo económico para los pobladores, además de que estos no tienen rentabilidad adecuada, por lo tanto, los pobladores no pueden superarse y quedan estancados con sus ingresos el cual conlleva a un deficiente desarrollo económico; las autoridades municipales no brindan el apoyo necesario y falta de sistematización. Por otra parte, la población es una vía de contaminación para la cuenca del rio Lacramarca, ya que según la Autoridad Nacional del Agua (ANA) han sido catalogadas como aguas no idóneas para el riego y para la ganadería, porque no cumplen con alcanzar los parámetros físicos, químicos y biológicos que se establecieron.

El río Lacramarca presenta coliformes fecales y no alcanzan los parámetros físicos, químicos y biológicos establecidos, consecuencia de la minería ilegal, del uso indiscriminado de insecticidas en los cultivos de las zonas aledañas, así como empresas pesqueras que segregan sus efluentes al río (Cerón, 2014).

La minería ilegal, es un problema medio ambiental que afecta a todo el país, siendo la actividad minera uno de los sectores más importantes de nuestro peculio, sin embargo, está mal regulada. En el río Lacramarca ha sido calificado como no aptas para el riego ni la crianza de animales, siendo el valle Lacramarca su principal medio económico la actividad agrícola.

Es importante reconocer los aspectos del agua, siendo de vital importancia para la vida humana, la vida silvestre y la vida vegetal, aprovechando las labores lucrativas como la agricultura, la pesquería, la producción de hidroeléctricas, riego, enriqueciendo la condición de vida de la población actual y de la población a futuro para que puedan tener un aprovechamiento deseable en un desarrollo económico generando un impacto positivo en los recursos hídricos, que mediante e cambio climático no afecte y no se tenga que llegar a la incertidumbre de falta de agua cuando se presenten menores precipitaciones con menores caudales de río.

La gestión del recurso hídrico implementada por varios países, desde antes que se fomente el enfoque de gestión integrada de recursos hídricos en el Perú, fue el modelo que inspiró a los otros para que tomen diseños de sus marcos legales, procedimientos e instrumentos. Esto, porque los países como Inglaterra, Alemania, Francia, Holanda, Israel, España y Estados Unidos (Cardoso, 2003), desarrollaron una implementación temprana y novedosa de un modelo de la gestión del agua. En el caso de Francia es el modelo base que usa Brasil para el diseño de las estrategias de la GIRH. (Prota, 2011). En el Perú, cada día es más complicado el poder implementar algún proyecto de desarrollo, sobre todo cuando están asociados a la explotación y aprovechamiento de los recursos naturales, originando disputas y movilizaciones sociales; requiriendo: institucionalizar una intervención efectiva de la sociedad civil organizada en las fases de ejecución de los programas, mayor seguridad y protección de los recursos naturales y medio ambientales. (Guevara y De la Torre, 2019).

Es de suma importancia contar con una gestión integrada de recursos hídricos, aplicación de normas y un análisis para la estimación del balance, de esta manera sanar las limitantes socioeconómicas y medio ambientales de la cuenca del río Lacramarca.

### 1.1.1. Formulación del Problema

#### - Problema General

¿Cómo establecer una gestión integrada del recurso hídrico y estimación del balance de la cuenca del río Lacramarca?

#### - Problemas Específicos

- a) ¿Cómo serán las características geomorfológicas de la cuenca?
- b) ¿Cómo se determinará el balance hídrico de la cuenca del río Lacramarca?
- c) ¿Qué metodología se implementará que nos permita tener un modelo de gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca del río Lacramarca?

## 1.2. Objetivos de la Investigación

### 1.2.1. Objetivo General

Implementar la gestión integrada y balance de los recursos hídricos de la cuenca del río Lacramarca para un aprovechamiento sostenible.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar las características geomorfológicas de la cuenca del río Lacramarca.
- b) Determinar el balance hídrico de la cuenca del río Lacramarca.
- c) Implementar un modelo de gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca del río Lacramarca.

## 1.3. Delimitación de la Investigación

### 1.3.1. Delimitación Temporal

La presente investigación se lleva a cabo en el año 2021, Perú; con un tiempo de realización de aproximadamente seis meses, desde inicios del mes de mayo hasta finales del mes de octubre.

### 1.3.2. Delimitación Espacial

La cuenca del río Lacramarca nace en las quebradas Totoral y Santa Ana, desembocando en el Océano Pacífico, se encuentra en la ciudad de Chimbote y Nuevo Chimbote, en el departamento de Ancash.

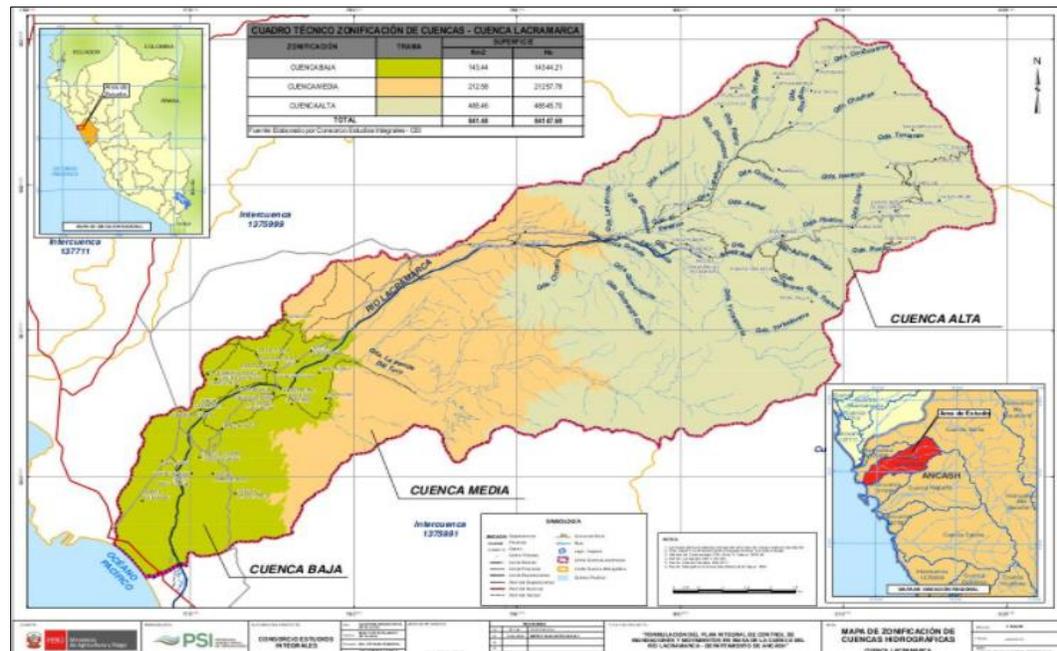


Figura N°1: Mapa de la Cuenca del río Lacramarca.

Fuente: Programa Subsectorial de Irrigaciones – PSI.

### 1.4. Justificación e importancia

#### 1.4.1. Justificación Teórica

La presente investigación muestra las características de la cuenca, en conjunto con su estudio hidrológico y el balance, que, son procesos que se tendrán para una gestión integrada de los recursos hídricos, con esta investigación se brinda a la cuenca del río Lacramarca un sistema de gestión eficiente de manera que se pueda manejar de forma correcta los recursos hídricos mediante la implementación, participación y estrecha relación del gobierno regional en conjunto con la población que será beneficiada para así tener un aprovechamiento sostenible. Esta investigación servirá como sustento teórico para futuras investigaciones.

#### 1.4.2. Justificación Práctica

El aporte práctico del presente estudio consiste en mejorar la explotación de la cuenca de río Lacramarca mediante una estrategia de gestión del recurso hídrico, se tendrá una diferencia en cambios positivos, con esta propuesta se va a cuantificar con exactitud el agua con la que contará toda la región que abarca la cuenca para su desarrollo sostenible.

#### 1.4.3. Justificación Social

La presente investigación permite beneficiar a todos los habitantes de la región en la que se encuentra la cuenca, conociendo la cantidad de volumen de agua con la que se contará en épocas de lluvia y en épocas de sequía, ayudando a tener un manejo administrativo y desarrollo de la cuenca de forma sostenible y a largo plazo, tomando intereses socioeconómicos y ambientales. Se contará con el desarrollo económico, productividad, reducción de la pobreza, mejora de regadíos, producción de alimentos, producción de energía, satisfaciendo las necesidades básicas de las personas y mejor calidad de vida.

#### 1.4.4. Justificación Ambiental

El beneficio que aporta la gestión integrada y el balance de los recursos hídricos de esta investigación es mejorar las condiciones medio ambientales del río, tomando en cuenta el cambio climático y las bajas precipitaciones.

#### 1.4.5. Importancia

Esta investigación se ubica en el departamento de Chimbote en la región de la Ancash, con una altura media de 1048 m.s.n.m. Esta investigación hace referencia implementar una gestión integrada y el balance hídrico para crecimiento y rentabilidad del río Lacramarca para la actualidad y que perdure en el tiempo. Esto dan un valor estratégico, para la ingeniería. Así mismo crear voluntad política, para poder contribuir implementando leyes o acuerdos que financien las instituciones públicas para que contribuyan en un desarrollo óptimo de la gestión de los recursos hídricos para la cuenca del río

Lacramarca. Con lo anteriormente mencionado, las autoridades con mayor poder sobre el agua obtendrán más posibilidades de funcionar de una manera eficaz para lograr la conservación de la fuente natural del río Lacramarca, beneficiando a todos los poblados de la región de Chimbote en Ancash.

## 1.5. Limitaciones de la investigación

### 1.5.1. Limitación teórica

Existen escasos artículos de investigación sobre la cuenca del río Lacramarca, en su mayoría solo obtenemos datos y parámetros dados por las máximas autoridades como por ejemplo el ANA y el SENAMHI, debido a que la cuenca se encuentra contaminada por la minería que ocurre en el distrito de Chimbote.

### 1.5.2. Limitación metodológica

En la zona estudiada, se contó con ausencia de las estaciones pluviométricas; por lo tanto, se optó por adquirir la información y datos de las cuencas aledañas a esta, para poder medir así la cantidad de lluvia que precipita entre dos mediciones que se realizaron consecutivamente.

### 1.5.3. Limitación de gestión

A pesar de realizarse movimientos de concientización en una armonía no despreciable, su impresión en la gestión del recurso hídrico para con los pobladores de la ciudad de Chimbote es limitado debido a que obedecen más a decisiones aisladas.

### 1.5.4. Limitación del entorno

En un ambiente envuelto por la pandemia iniciada en el año 2020, con el virus y sus demás variantes, se tuvo el obstáculo de visita a la zona estudiada, debido a las decisiones tomadas por las autoridades en el Perú, como por ejemplo salida y entrada de ciudadanos a provincia, pases laborales limitados a tener una prueba negativa antes de poder viajar exclusivamente por temas laborales o periodísticas, toques de queda en las diferentes provincias del Perú, etc.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio de investigación

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Amendaño (2018), en su tesis “Propuesta de gestión del recurso hídrico de la vertiente La Merced para el desarrollo sostenible” para optar por el título en Magíster tuvo como objetivo general la elaboración de una propuesta de gestión del agua, basándose su investigación en revisiones teóricas y obtención de datos de campo, es decir teórico-práctico creando una base de datos, considera enfoques sociales, funcionales urbanos, económicos y ambientales. Llegando a la conclusión que las precipitaciones presentan una variación bimodal, es decir que presentan un periodo de lluvias escasas y un periodo lluvioso, buscando reducir las condiciones que colocan a la población en pobreza extrema conservando los recursos naturales, reduciendo su mal uso.

Esta investigación propone una gestión del recurso hídrico llevado en conjunto con un plan de acción donde se busca proteger y aprovechar el recurso para las próximas generaciones, sin embargo, le faltó hacer uso de un programa adicional para ver más detalles de las delimitaciones de la cuenca, no solo el Google Earth, se pudo usar el ArcGis para hacer una buena delimitación de la vertiente y apreciar mediante mapas a la población beneficiada.

Villalejo y Martínez (2018), en su artículo de investigación “La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos” publicada en la revista Scielo, nos informa sobre la orientación del desarrollo de las políticas públicas en materias de recursos hídricos mediante la gestión integral del recurso hídrico, siguen pasos institucionales llegando hasta la gestión integrada del recurso hídrico, tomando en cuenta principalmente la situación actual y las intervenciones requeridas y establecimiento de monitoreo. Llega a la conclusión que, con las actuales condiciones en el país de Cuba, se precisa

usar un enfoque integrado de los recursos hídricos, teniendo como objetivo primordial la maximización del bienestar económico y social que presente un modo equitativo respetando el medio ambiente.

Este artículo propone que, un desarrollo sostenible de los recursos hídricos se debe presentar como una actividad integrada comprendiendo acciones de ingeniería y económicas, satisfaciendo la calidad y demanda poblacional cuidando el medio ambiente, sin embargo, le faltó presentar cuadros comparativos entre la situación actual y la futura con la implementación de la gestión integrada.

Flores (2014), en su tesis “Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de la cuenca Hidrológica del río Papagayo” para optar por el grado de Doctor, propone como objetivo final una metodología de Gestión de los Recursos Hídricos en cuencas Hidrológicas que incluyen a componentes como aguas superficiales y aguas subterráneas, evaluando la disponibilidad del agua. Realizó un análisis completo, basado en un análisis Institucional-Legal, otro análisis Físico-Hidrológico, también un análisis Social-Económico y Modelos de Gestión, según los resultados obtenidos, se analiza una relación de oferta y demanda basándose en la demanda hídrica que se desarrolla en la cuenca. Concluyeron que hay una tendencia creciente demográfica y usos diversos del agua, con la evaluación de las tendencias de las series simuladas en diferentes periodos se entrega mayores precipitaciones para un periodo intermedio.

Esta investigación es un documento orientativo donde propone que, según la simulación de los caudales y la disminución de las precipitaciones a futuro se tiene una baja disponibilidad de los Recursos Hídricos, no se aplica con firmeza la Ley y normas de control de Aguas de ese país que se debe trabajar en conjunto con los gobiernos regionales y las comunidades locales, sin embargo, se usó el programa WEAP para evaluar distintos esquemas de distribución de los recursos hídricos, pero con el uso del programa MODFLOW se pudo haber apreciado mejor el flujo de aguas subterráneas.

Fuster (2013), en su tesis “El estado de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Chile: Estudio de casos en la cuenca del río Limarí” para optar por el grado de Doctor, tiene como principal objetivo la evaluación empírica de gestión del agua del modelo Chileno tomando la gestión integrada de los recursos hídricos, realizaron una investigación donde incluyen métodos cualitativos y cuantitativos, su enfoque principal es una evaluación integrada participativa, llegando a la conclusión que la gestión integrada de los recursos hídricos en Limarí tiene un componente fuerte cultural que tomará tiempo de innovación en su gestión, no será posible trasladar los resultados de la investigación a otras cuencas por lo que cada territorio debe lidiar con los vacíos del sistema siendo un factor crítico para el actual modelo de gestión del agua en Chile.

Esta investigación es un documento orientativo sobre el modelo chileno de gestión de agua que muestra una clara carencia de elementos fundamentales sobre la gestión integrada de los recursos hídricos ya que presenta un enfoque muy antiguo basándose netamente en el crecimiento económico haciendo más difícil el acceso al agua ya que no se encuentran evidencias que se realicen mejoras orientadas a la mejora de estas condiciones, sin embargo, ese estudio se basa en la cuenca del río Limarí, por lo que, se debió presentar una propuesta de la situación actual de la cuenca en estudio mediante algún programa y en base a esos resultados, presentar una propuesta de solución.

#### 2.1.2. Antecedentes Nacionales

Gálvez (2015), en su tesis “Balance de los recursos hídricos de la laguna Rontococha en la subcuenca del río Mariño para la gestión integrada” para optar por el título profesional de Ingeniero Civil, tiene como objetivo general el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos de la laguna Rontococha implementando una gestión integrada de los recursos discutiendo distintos tipos de escenarios planteados estableciendo un balance hídrico en base al proceso hidrológico de la subcuenca. Concluyen que la gestión del recurso hídrico como integración puede reducir significativamente

los costos de los suministros del abastecimiento de agua, determinando la disponibilidad de agua en diferentes escenarios en los cuales se debe hacer un plan del manejo de este recurso hídrico.

Esta investigación propone detallar la importancia del desarrollo de un balance hídrico para diferentes escenarios, notando un plan de regulación que se emplee en épocas de lluvia, la cual proporciona la cantidad de agua con la que se contará a futuro, sin embargo, en la investigación se pudo elaborar mapas adicionales o planos en los que se detalle el comportamiento de la laguna y el balance para las diferentes situaciones a futuro.

Huaricallo (2014), en su tesis “Análisis de la Gestión del Recurso Hídrico para consumo humano en la microcuenca Huancho” para obtener el título de Ingeniero Agrícola, tiene como objetivo principal analizar la gestión del recurso hídrico para el abastecimiento y consumo humano, realizó una investigación con varias metodologías como la revisión de bibliografía, entrevistas, recorrido a campo y análisis social, también un análisis del marco normativo e institucional, gestión y gobernanza del agua. Llegando a la conclusión que de las siete estrategias la que más resalta es el fortalecimiento de las capacidades de actores locales, la junta administrativa de servicio de saneamiento no cuenta con una óptima capacidad de gestión que está encargada de administrar, mantener, operar y gestionar el sistema y la toma de decisiones.

Esta investigación es un documento orientativo que detalla que, a pesar de la no escasez de agua, el problema siempre radica en la mala gestión y pésima distribución del agua en nuestro país a pesar de tener una normativa vigente no se llega a cumplir ni el 50% de la ley de Recursos Hídricos, Sin embargo, faltan más detalles de mapas de las precipitaciones en los diferentes años a futuro ya que la investigación se basa en el uso del agua para consumo humano.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Topografía

La topografía es la ciencia geométrica que se aplica para describir una parte pequeña de la tierra mediante curvas de nivel, para el caso de levantamientos hidrográficos, a partir de ello se obtienen planos de masas de agua y relieves según la zona de estudio. (Fuentes, J, 2012, p. 3).

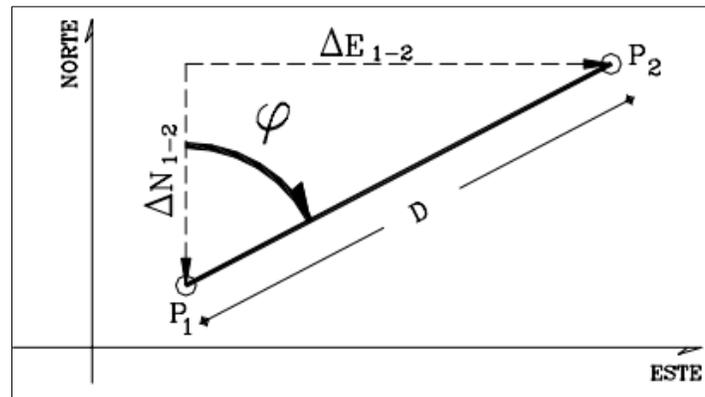


Figura N°2: Representación de dos puntos topográficos.

Fuente: Fuentes (2012).

$$\Delta N_{1-2} = D_{12} \cos \varphi$$

$$\Delta N_{1-2} = D_{12} \cos \varphi$$

- Para hallar la distancia entre los puntos 1 y 2:

$$D = KH \cos^2 \alpha$$

$$D = KH \sin^2 \theta$$

- Reemplazando 1 y 2 en 3 y 4:

$$\Delta N_{1-2} = KH \cos^2 \alpha \cos \varphi$$

$$\Delta N_{1-2} = KH \cos^2 \alpha \sin \varphi$$

- Para teodolitos con ángulos cenitales:

$$\Delta N_{1-2} = KH \sin^2 \theta \cos \varphi$$

$$\Delta N_{1-2} = KH \sin^2 \theta \sin \varphi$$

- Se usan las ecuaciones 5 y 6 para el cálculo de las coordenadas del P2:

$$N_2 = N_1 + \Delta N_{1-2}$$

$$E_2 = E_1 + \Delta E_{1-2}$$

- El desnivel entre P1 y P2 se calcula de la siguiente forma:

$$\Delta_{12} = KH \text{sen} \alpha \text{cos} \alpha + h_i - l_m$$

$$\Delta_{12} = KH \text{cos} \varphi \text{sen} \varphi + h_i - l_m$$

- La cota de P2 en función del P1 será:

$$Q_2 = Q_1 \pm \Delta_{12}$$

### 2.2.2. Planimetría

Es parte de la topografía que mide y representa una porción de superficie que será representada sobre una superficie plana horizontal, estudia los distintos métodos empleados, tomando una posición exacta de proyección, entre los distintos estudios de la planimetría hay: división de terrenos, cálculos de superficie, replanteos, planos, etc. (Gamez, W, 2015, p. 13).

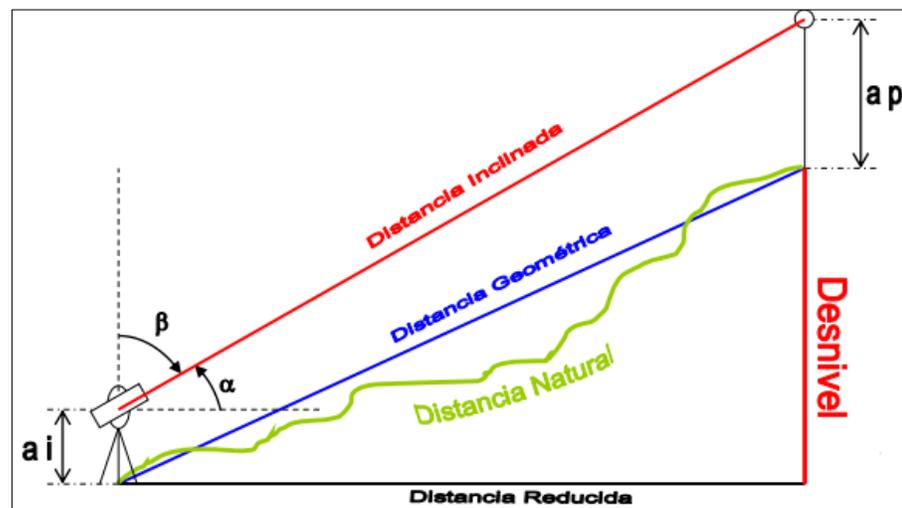


Figura N°3: Levantamiento topográfico.

Fuente: Taquimetría. Universidad de Sevilla.

- Distancia reducida:

$$DR = D \text{cos} \alpha$$

$$DR = D \text{sen} \beta$$

- Coordenadas relativas:

$$\Delta X = DR\text{sen}\beta$$

$$\Delta Y = DR\text{cos}\beta$$

- Coordenadas finales:

$$X_{\text{final}} = X_{\text{estac}} \pm \Delta X$$

$$Y_{\text{final}} = Y_{\text{estac}} \pm \Delta Y$$

### 2.2.3. Altimetría

Estudia las diferencias de elevación entre distintos puntos que se encuentran en el terreno sobre una superficie, para determinar los valores se consiguen mediante medidas de distancias verticales directa o indirectamente llamada nivelación. (Gamez, W, 2015, p. 13).

- Curvatura terrestre:

$$e = 0.5 - \frac{D^2}{R}$$

Donde:

E = error de altura

D = distancia

R = radio

### 2.2.4. Geomorfología

Es la ciencia que estudia las formas de relieve de la superficie terrestre. Es la rama de la geología y geografía, las formas de relieve empiezan a través de procesos de erosión, desgastando y transportando los materiales hacia otras zonas, dando como resultado distintas formas de rasgos de relieves de distintos órdenes. (Rodríguez, I, 2000, p. 2).

### 2.2.5. Ciclo Hidrológico

Se basa en el proceso de circulación del agua entre las diferentes capas que conforman la hidrósfera, en todos los estados del agua: sólido, líquido y gaseoso. Todos los mencionados se presentan en la naturaleza y son de suma

importancia en los recursos humanos, lo más importante es tomar en cuenta la relación entre el hombre con la naturaleza y como incluye en el ciclo del agua. (Bateman, A, 2007, p. 2)

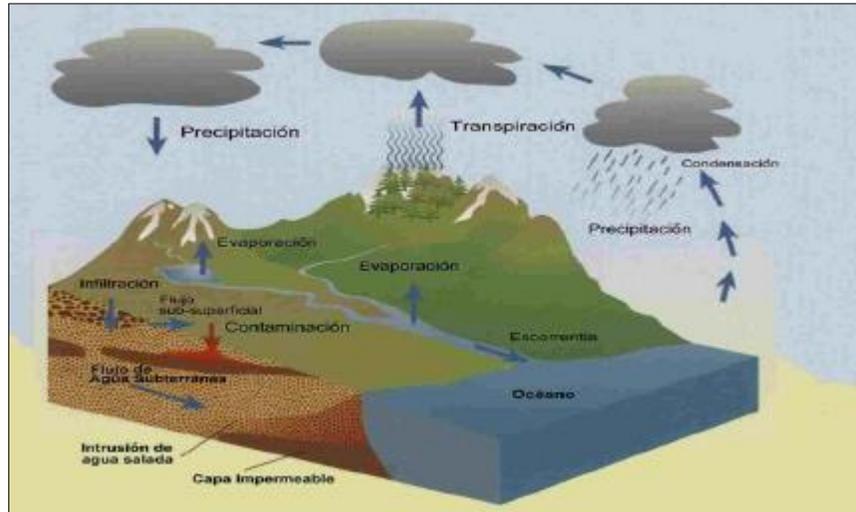


Figura N°4: Ciclo Hidrológico.

Fuente: Hidrología CIV-233.

#### 2.2.6. Componentes.

Estos componentes son los siguientes, como expuso Bateman (2007):

- Cuenca: Una cuenca es el declive en una parte de la superficie de la tierra. Es una porción de tierra aislada de tal forma que en caso sea impermeable toda el agua que lleva será drenada hacia un mismo punto final. Existen dos tipos de cuencas, las exorreicas o abiertas que drenan toda el agua hacia el mar o al océano y las endorreicas o cerradas que drenan toda el agua hacia lagos o lagunas.
- Río: Es una corriente dinámica de agua y sedimentos que fluye sobre un territorio, posee caudales variables de acuerdo con las épocas de lluvia o sequía, los ríos son fundamentales para el equilibrio de la vida.
- Lago: Los lagos son cuerpos de agua naturales que se forman en depresiones topográficas, pueden formarse por erosión fluvial, represamiento, glaciaciones, fuerzas tectónicas, etc. Los fenómenos

coligados a los lagos son embrollados y solicitan estudios e investigaciones de hidrología, sedimentos, hidráulica, biología, etc.

- Superficie del terreno: Es la cantidad de terreno o área que compone la cuenca, en ella se encuentran ríos y lagos y alimenta a la formación geológica que está conformada por capas de rocas por medio de la infiltración.

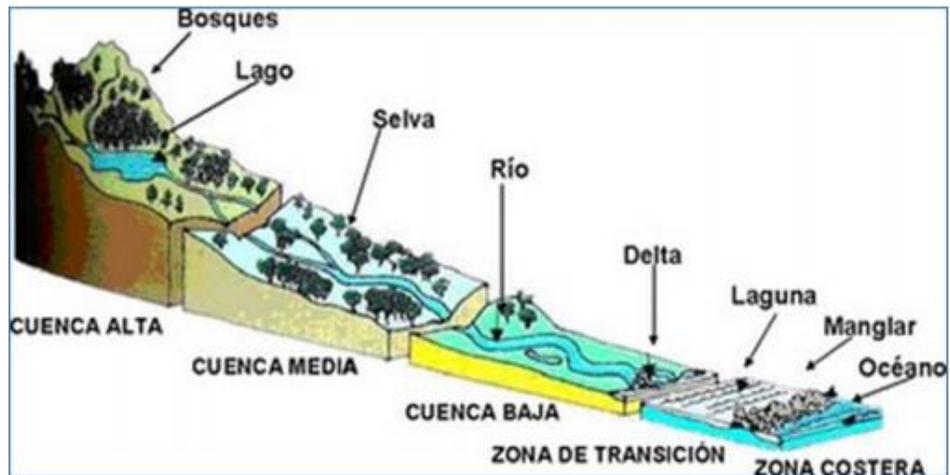


Figura N°5: Componentes de la Cuenca.

Fuente: Ordoñez (2011).

#### 2.2.7. Cuenca Hidrográfica

Es “un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua. La cuenca hidrográfica es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o ‘divisoria de aguas’ se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río” (Ramakrishna, M, 1997, p. 9).

#### 2.2.8. Parámetros de forma

Los parámetros de forma según expone la Global Water Partnership (2011):

Parámetros de forma de una cuenca: Es la forma de una figura geométrica que proyecta el tamaño de la cuenca, la forma de la cuenca incurre en el tiempo, es decir, el recorrido de las aguas a través del drenaje mediante el tiempo.

Delimitaciones de la cuenca: Para delimitar una cuenca se realiza a partir de criterios hidrográficos en conjunto con tu topografía, consiste en definir y trazar una línea divisoria de aguas. Para delimitar una cuenca se puede hacer uso de fotografías, Google Earth o mapas topográficos.

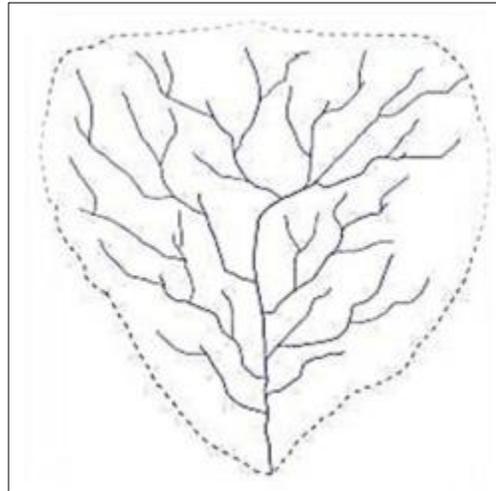


Figura N°6: Delimitación de una cuenca.

Fuente: Morfología de las Cuencas – Universidad Politécnica de Valencia.

Área de la cuenca (A): Se define como el espacio que abarca toda la delimitación de la cuenca, está representada por la letra “A” siendo una de las características más importantes en correspondencia a la escorrentía y sus características geomorfológicas.

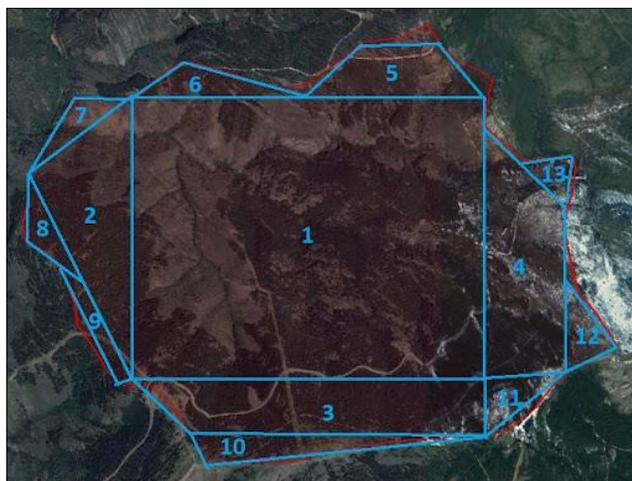


Figura N°7: Área de una cuenca.

Fuente: EIMA – Escuela de Ingeniería y Medio Ambiente.

Perímetro de la cuenca (P): Es el margen delimitado que abarca toda la cuenca. Es uno de los parámetros más significativos ya que mediante el área sabremos la forma de la cuenca, la simbolización de este parámetro normalmente es la letra “P”.

Longitud del río principal (L): Es la medida del escurrimiento, es decir todo el río, desde la parte más alta hasta la parte más baja donde desemboca el agua. Está representada por la letra “L”.

Índice de compacidad (Kc): Se define como la correspondencia entre el perímetro de la cuenca “P” y el perímetro de otra cuenca circular de la misma área. También se denomina al índice de compacidad como el coeficiente de Gravelius (Cg).

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc = Índice de compacidad o Coeficiente de Gravelius

P = Perímetro de la cuenca (Km)

A = Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Factor de forma de la cuenca (Kf): Horton, explica la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la cuenca, expresada por la siguiente fórmula:

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

Kf = Factor de forma

A = Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

L = Longitud de la cuenca (Km)

Relación de elongación (Re): Definido por Schumm, viene a ser la relación entre el diámetro de un círculo con área igual que la cuenca y la longitud de esta:

$$Re = \frac{D}{Lc}$$

Coefficiente de Circularidad (Cc): Es la relación entre el área de la cuenca y el perímetro de la cuenca, está expresada por la siguiente fórmula:

$$Cc = 4\pi \frac{A}{P^2}$$

Donde:

A = Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

P = Perímetro de la cuenca (Km)

(p.17)

#### 2.2.9. Parámetros de Relieve de la cuenca

Los parámetros de la cuenca según Cahuana y Yugar (2009):

La pendiente media tiene una complicada relación con la infiltración, la humedad del suelo, el escurrimiento y el agua subterránea al flujo en los cauces, hay diversos medios para estimar la pendiente media de una cuenca:

Criterio de J.W. Alvord: Este criterio analiza la pendiente que existe entre las curvas de nivel, laborando con una faja que está definida por líneas medias pasando entre las curvas de nivel.

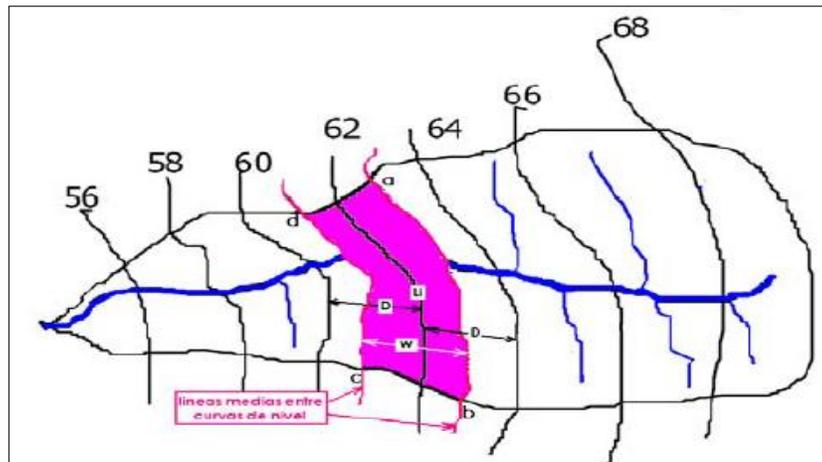


Figura N°8: Criterio de J.W. Alvord.

Fuente: Hidrología CIV-233.

Donde:

$a_1$  = área de la faja a, b, c, d, en  $\text{Km}^2$ .

$w_1$  = área de la faja a, b, c, d, en  $\text{Km}^2$ .

$L_1$  = longitud de la curva de nivel 62 en Km.

$S_1$  = Pendiente promedio de la faja a, b, c, d, adimensional.

$S_c$  = pendiente promedio de la cuenca, adimensional.

$D_e$  = intervalo o desnivel constante entre curvas de nivel en Km.

$A$  = área de la cuenca en  $\text{Km}^2$ .

$L_n$  = longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca en Km.

Entonces se cumple que:

$$S_1 = \frac{D}{W_1} = \frac{D(L_1)}{a_1}$$

Y la pendiente de la cuenca  $S_c$ , es la siguiente:

$$S_c = D/(L_1)/a_1[(a_1/A)] + D(L_2)/a_2[(a_2/A)] + \dots + D(L_n)/a_n[(a_n/A)]$$

Que, al simplificar y factorizar se obtiene:

$$S_c = D/A(l_1 + l_2 + \dots + l_n) = Dl_n/A$$

$$S_c = \frac{D * l_n}{A}$$

Criterio de R.E. Horton: Este criterio consiste en un trazo de malla sobre la proyección horizontal de la cuenca orientada según la dirección que toma la corriente principal.

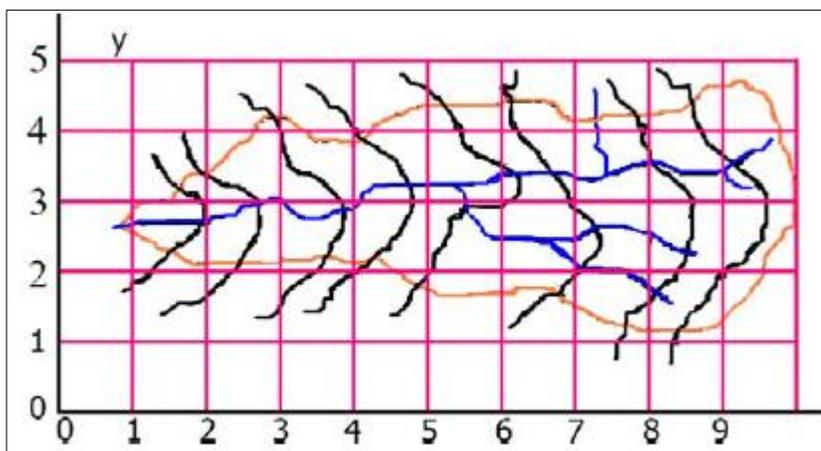


Figura N°9: Criterio de R.E. Horton.

Fuente: Hidrología CIV-233.

La pendiente de la cuenca en cada una de las direcciones de la malla se calculará de la siguiente forma:

$$S_x = \frac{n_x * D_e}{L_x}$$

$$S_y = \frac{n_y * D_e}{L_y}$$

Donde:

$L_x$  = Longitud total de las líneas de la malla en el sentido horizontal.

$L_y$  = Longitud total de las líneas de la malla en el sentido vertical.

$N_x$  = Número total de intersecciones y tangencias de líneas de malla con las curvas de nivel en el sentido horizontal.

$N_y$  = Número total de intersecciones y tangencias de líneas de malla con las curvas de nivel en el sentido vertical.

$S_x, S_y$  = Pendiente adimensional de la cuenca en cada dirección de la malla.

$D_e$  = desnivel constante entre las curvas de nivel de la cuenca en Km.

Horton estima la determinación de la pendiente media:

$$S_c = \frac{N * D_e * \sec\phi}{L}$$

Donde:

$$N = N_x + N_y$$

$$L = L_x + L_y$$

$\phi$  = ángulo entre las líneas de la malla y las curvas de nivel. (p.10).

Los parámetros de la cuenca según Brieva C, 2018, p. 22:

- Cota mayor (CM): Es el punto más alto en la que se encuentra la cuenca (msnm).
- Cota menor (Cm): Es el punto en donde la cuenca desemboca sus aguas a otro cauce (msnm).
- Elevación promedio: Es el punto medio de la cuenca en referencia al nivel del mar (msnm).
- Pendiente media del cauce (S): Es la relación que hay entre el desnivel de altitud del cauce y su longitud.
- Cota mayor de cauce (CMc): Representa la elevación del punto más alto del cauce (msnm).
- Cota menor de cauce (Cmc): Representa la elevación del punto más bajo del cauce (msnm).
- Pendiente promedio del cauce (Sc): Actúa sobre la velocidad del flujo de agua, su valor se estima mediante distintos métodos, se determina el desnivel entre el punto alto y el punto bajo, mediante la siguiente fórmula:

$$S_c = \frac{(CMc - Cmc)}{L_c}$$

Donde:

CMc = Cota mayor del cauce.

Cmc = Cota menor del cauce.

Lc = Longitud del cauce.

- Análisis Hipsométrico: Integral hipsométrica, es la relación entre el % Altura y el % Área. Muestra estados de equilibrio o madurez e inequilibrio o juventud (procesos erosivos).

$$IH = \frac{\%Altura}{\%Area}$$

#### 2.2.10. Parámetros de Drenaje de la cuenca

Los parámetros de drenaje de la cuenca según Brieva C (2018) son los siguientes:

- Orden de los cauces: La estructuración de los cursos de agua es una función que proporciona el grado de bifurcación en el interior de la cuenca. Se consideran cursos de primer orden, aquellos cursos fuertes, portadoras de aguas de demografía y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de primer orden se unen, resulta un curso de segundo orden.
- Densidad de Drenaje (Dd): Es la relación entre la longitud o distancia de la red de drenaje y el área total de la cuenca, para en conclusión catalogar a una cuenca si tiene un correcto drenaje analizando a su vez su densidad de drenaje.

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Donde:

L = Longitud total.

A = área total de la cuenca.

Complementando los parámetros de drenaje de la cuenca otorgado por Cahuana y Yugar, 2009:

- Constante de estabilidad del río (C):

La constante propuesta por Schumm (1956) está dada como el valor inverso de la densidad del drenaje:

$$C = \frac{A}{L_T} = \frac{1}{D_d}$$

Donde:

A = área total de la cuenca.

$L_T$  = longitud total.

$D_d$  = densidad de drenaje.

- Densidad hidrográfica ( $D_n$ ):

Definida como el cociente entre el número de fracciones de canal de la cuenca y su superficie:

$$D_h = \frac{N_t}{A}$$

Donde:

$N_t$  = sumatoria de todas las partes de canal que forma la cuenca.

A = superficie de la cuenca.

- Relación de Bifurcación ( $R_b$ ):

Está definida como la relación entre el número de cauces de orden i expresado como  $N_i$  y el número de cauces de orden i+1 expresado como  $N_{i+1}$ :

$$R_b = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

- Relación de longitud ( $R_L$ ):

Está definida como la relación entre las longitudes promedio de cauces de órdenes continuos:

$$R_L = \frac{L_{i+1}}{L_i}$$

- Relación de áreas ( $R_A$ ):

Está definida como la relación entre las áreas promedio que van a drenar a los cauces de órdenes continuos:

$$R_A = \frac{AL_{i+1}}{A_i}$$

- Frecuencia de cauces ( $F_C$ ):

Está definida como la relación entre la sumatoria de todos los cauces y su área concerniente:

$$R_A = \frac{\sum_{i=1}^k N_i}{A_i}$$

- Coeficiente de Torrencialidad ( $C_t$ ): Es aquel índice que mide la torrencialidad de una cuenca, a través de la cantidad de cauces de primer orden con respecto al área total de la misma. Tendrá más grado de torrencialidad si tiene más magnitud.

$$C_t = \frac{N_1}{A}$$

### 2.2.11. Precipitación

#### Formas de precipitación

Hay diversos tipos de precipitación, como plantea Villodas (2008):

- Lluvia: Es un fenómeno atmosférico de gotas de agua que se inicia con la condensación, normalmente estas gotas presentan un diámetro igual o mayor a la de medio milímetro.
- Llovizna: Es un fenómeno atmosférico de gotas de agua iniciada mediante la condensación, sus gotas tienen un diámetro menor a medio milímetro.
- Chaparrón o aguacero: Son las precipitaciones repentinas de agua que aparecen de forma inesperada y finalizan violentamente.
- Neviza: Es una masa compacta de nieve en forma granular.
- Rocío: Es un fenómeno producido por la condensación del vapor de aire junto a superficies frías.
- Escarche: Son cristales muy pequeños de hielo, en forma de escamas que se forman al condensarse el vapor de agua del aire.

- Granizo: Es el hielo en forma de cristales pequeños, la forma escamosa que presenta es debido a la condensación del vapor de agua del aire.
- Nieve: Son precipitaciones formadas por pequeños cristales de hielo, es un tipo de precipitación sólida.
- Agua nieve: Es la precipitación conformada por una unificación entre la lluvia y la nieve.

#### Tipos de precipitación

Los tipos de concentración que según expone Chereque W (1989):

Precipitación de convección: Se produce por el ascenso del aire templado más ligero que el aire frío. El diámetro de las nubes verticales que produce una lluvia de convección varía considerablemente desde lloviznas ligeras y aguaceros.

- Precipitación orográfica: Se produce por el ascenso del aire templado encontrándose con una montaña, siendo perjudicada la población aledaña que se encuentra al otro lado de la montaña ya que todas las nubes son interceptadas por la primera cara de la montaña.
- Precipitación ciclónica: Se produce cuando se encuentran nubes de diferentes temperaturas, el aire más templado es impulsado a las zonas más altas donde producen condensación y precipitaciones.

#### Medición de la precipitación

Existen dos formas de medición de la precipitación según Villon, M. (2011):

- Pluviómetro: Es un instrumento que mide la cantidad de lluvia que cae en un lugar durante un periodo determinado, es un envase cilíndrico de aproximadamente 20cm de diámetro y 60cm de alto, mide la altura de lluvia en una probeta con una aproximación de hasta décimos de milímetros ya que por cada centímetro medido corresponde a un milímetro de altura de agua de lluvia, obtener la medida correspondiente se saca la probeta y se coloca dentro una regla graduada, tomándose la lectura correspondiente cada 24 horas.

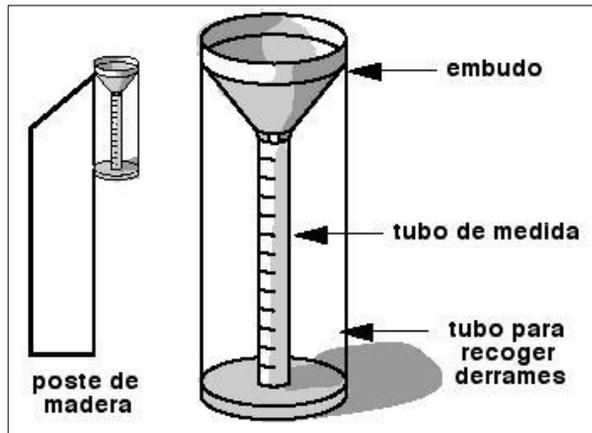


Figura N°10: Pluviómetro.

Fuente: Precipitación – Aqua Pro Omnibus.

- Pluviógrafo: Es el instrumento que se encarga de registrar la altura de lluvia en relación del tiempo, con estos datos se obtiene la intensidad de las precipitaciones.

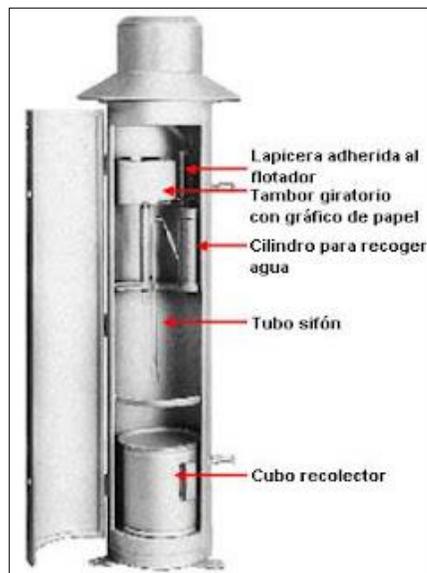


Figura N°11: Pluviógrafo.

Fuente: Blog del Servicio Meteorológico de Honduras.

### Estimación de la precipitación media en una zona

Para estimar la precipitación Gámez, W. 2009, p. 70-72, recomienda varios métodos para determinar la lámina de agua promedio que cae sobre la cuenca:

- Promedio Aritmético: Es el método con menor seguridad y el más simple de todos, iguala la precipitación media bajada sobre la cuenca al promedio aritmético de las lluvias que registró el pluviómetro, este método se aplica en zonas planas donde las lluvias no se diferencian mucho entre sí:

$$P_m = \frac{(P_1 + P_2 + \dots + P_n)}{n}$$

Donde:

P1, P2: son las precipitaciones de las estaciones pluviométricas 1 y 2.

Pn: es la precipitación en la enésima estación pluviométrica.

n: es el número de estaciones que se consideró.

- Método de polígonos de Thiessen: Es el método en el cual se aplica a zonas de irregulares distribuciones de estaciones donde la topografía accidentada no tome un papel notorio en la distribución de lluvias.
  - a) Dibujar la zona a estudiar con estaciones pluviométricas (A, B, C, E) y circunvecinas (D), uniéndolas con trazos rectos formando triángulos, luego se trazan mediatrices de todos los lados del triángulo como se muestra a continuación:

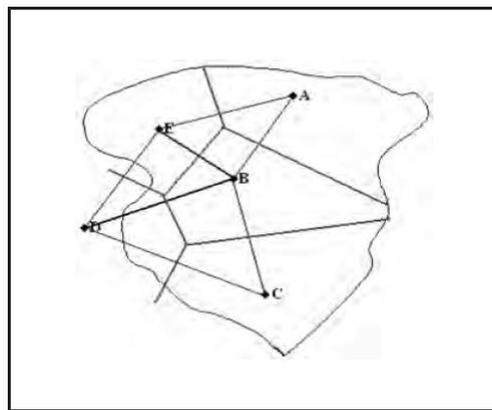


Figura N°12: Trazo entre las estaciones pluviométricas.

Fuente: Gámez, W. Texto básico de hidrología, UNA.

b) Se procede a medir el área de cada polígono formado que abarca la cuenca como la siguiente imagen:

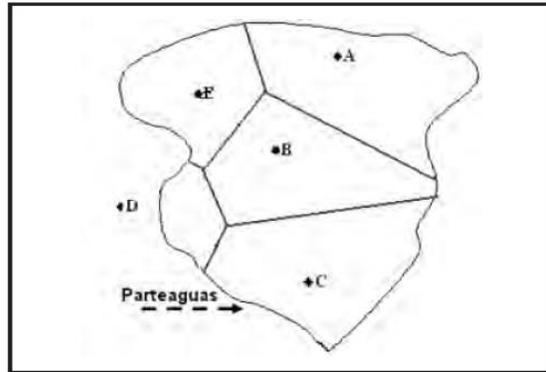


Figura N°13: Áreas de los polígonos de la cuenca.

Fuente: Gámez, W. Texto básico de hidrología, UNA.

c) Finalmente, se aplicará la siguiente fórmula:

$$P_m = \frac{\sum(a_i * P_i)}{\sum a_i}$$

Donde:

$a_i$  =  $i$ -ésima área del polígono dentro del parteaguas.

$P_i$  = Precipitación de la  $i$ -ésima estación

- Método de Curvas isoyetas: El método se trata del trazo de curvas de igual precipitación para un tiempo determinado en un área de estudio, después de trazada las curvas isoyetas se procede al cálculo de las áreas entre líneas limítrofes y cada una multiplicada por su promedio de precipitación del área que le corresponda, se usa la siguiente fórmula:

$$P_m = \frac{\sum(a_i * l_i)}{\sum a_i}$$

Donde:

$a_i$  =  $i$ -ésima área del polígono.

$l_i$  = Precipitación media entre dos curvas isoyetas consecutivas.

#### 2.2.12. Análisis de Consistencia

Usado para la constatar la confiabilidad de la información que se tiene, se desarrollan con criterios físicos y procedimientos estadísticos que permita reconocer, estimar y suprimir los probables errores sistemáticos que puedan acontecer. (Villón, M, 2016, p. 307).

#### 2.2.13. Análisis de Doble Masa

Este método es usado para validar datos homogéneos de una estación pluviométrica, Usado para corroborar si se presentó alguna falla o error Es el método utilizado para verificar la homogeneidad de los datos en una estación pluviométrica. Se requiere para comprobar si hubo alguna anomalía en la estación durante algún periodo como algún cambio de lugar o un cambio de las condiciones del instrumento registrador. (Molsalve, G, 2002, p. 84).

#### 2.2.14. Periodo de retorno

Para el cálculo del periodo o tiempo de retorno, Bello y Velásquez (2012) afirma que la precipitación es la cantidad de agua que llega al suelo ya sea de manera líquida o sólida en forma de lluvia, nieve, granizo. Mediante el proceso de condensación el vapor de agua regresa a la superficie nuevamente. Su distribución de deben a factores como la proximidad al mar, el relieve, las corrientes ascendentes de aire. A continuación, se presenta uno de los métodos para calcular el periodo de retorno:

Método de Weibull

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

Donde se define al periodo de retorno (T) como el valor inverso de la probabilidad de excedencia de un cierto evento, que viene a ser la lluvia.

$$P = \frac{1}{T} \times 100$$

Donde (n) es el número total de datos de una serie, (m) representa el número de orden de la serie arreglada en forma creciente y (P) la probabilidad de excedencia de que la precipitación sea igualada.

#### 2.2.15. Tiempo de Concentración (Tc):

Es conocido como el tiempo de recorrido de una gota de agua de lluvia que se desliza a nivel de superficie desde el lugar más alejado de la cuenca hasta el punto de salida. (Ven Te Chow et al., 1994). Definido también como el tiempo establecido entre el final de la precipitación efectiva y el desenlace de la escorrentía superficial directa, este último resultado será el punto de inflexión del hidrograma seguidamente del caudal pico.

$$T_c = 0.8773 \left( \frac{L_c^{1.5}}{\sqrt{C_{Mc} - C_{mc}}} \right)^{0.64}$$

Donde:

- $L_c$  = Distancia o longitud del cauce principal (km)
- $C_{Mc}$  = Punto más alto del curso principal (km)
- $C_{mc}$  = Punto más bajo del curso principal (km)

#### 2.2.16. Hidrograma

“Es una gráfica de los registros continuos de caudales (o de alturas de agua convertibles en caudales) o en función del tiempo. En otras palabras, es la curva de caudales instantáneos” (Reyes, L, 1992, p. 107).

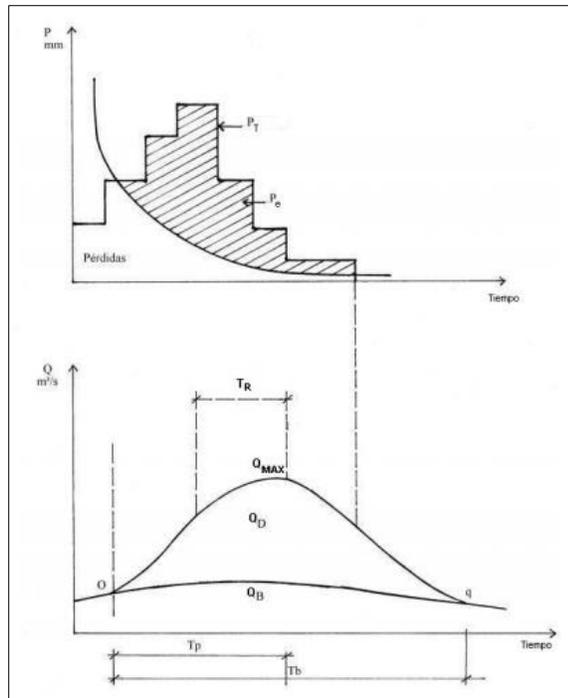


Figura N°14: Componentes del Hidrograma.

Fuente: Fatorelli S. y Fernandez P. (2011).

Estas componentes se exponen según Fatorelli S. y Fernandez P. (2011):

- La escorrentía directa, conocido en el hidrograma como  $Q_d$ , sección de la creciente que se desliza instantáneamente como escorrentía superficial.
- El flujo base, conocido en el hidrograma como  $Q_b$ , es aquel caudal de cauce debido a la contribución de la precipitación que se infiltra y a las aguas subterráneas.
- El tiempo de retraso, conocido en el hidrograma como  $T_r$ , tiempo analizado desde el centro de gravedad de un hidrograma en forma creciente y el centro de gravedad del hidrograma de lluvia.
- El tiempo de concentración, conocido en el hidrograma como  $T_c$ , tiempo que transcurrido para que la pequeña materia de agua del punto más distanciado consiga llegar a la sección de control o punto de concentración.

- El tiempo pico, más conocido en el hidrograma  $T_p$ , aquel tiempo desde el inicio de la creciente y el respectivo caudal máximo.
- El tiempo base, conocido en el hidrograma como  $T_b$ , es la cantidad de duración en toda la creciente.
- La precipitación efectiva, conocida en el hidrograma como  $P_c$ , es la fracción de la precipitación que efectúa la escorrentía superficial.
- La precipitación total, conocida en el hidrograma como  $P_t$ , es aquella plancha caída en una tormenta dentro de la cuenca.
- Las pérdidas, conocida en el hidrograma como  $I_a$ , aquellas separaciones de la precipitación que no aportan en nada a la constitución de la escorrentía superficial.
- El caudal máximo, conocido en el hidrograma como  $Q_{máx}$ , es el pico máximo del hidrograma.
- La curva de concentración o curva ascendente, aquella línea del hidrograma anterior al caudal máximo. Esta en relación especialmente de la intensidad, distribución de la tormenta dentro de la cuenca y su ubicación.
- La curva de recesión o descendente, es la línea del hidrograma que continua al caudal máximo. Se obtiene cuando la lluvia ha concluido o disminuido de intensidad, produciendo así una curva de agotamiento en forma de una ecuación exponencial negativa:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-K \cdot t}$$

#### 2.2.17. Evaporación

La evaporación es uno de los constituyentes fundamentales del ciclo hidrológico, está influenciada de forma diferente por diversas variables meteorológicas en diferentes regiones climáticas. La predicción precisa de la evaporación es esencial para múltiples aplicaciones de ingeniería de recursos hídricos, particularmente en países en desarrollo (Yaseen, Z. 2020).



Figura N°15: Evaporación.

Fuente: Pictoeduca – Ciclo del agua.

Se desarrollaron muchas fórmulas empíricas para estimar la evaporación desde superficies de aguas libres, a continuación, se mostrarán las fórmulas principales según Cahuana y Yugar (2009):

Fórmula de Meyer:

$$E_m = C(e_s - e_a) \left[ 1 + \frac{V_w}{16.09} \right]$$

Donde:

$E_m$  = Evaporación en mm/día.

$e_s$  = Presión del vapor de saturación media mensual en mm/Hg

$e_a$  = Presión de vapor media mensual en mm/Hg.

$V_w$  = Velocidad media mensual del viento, medida a 10m de la superficie, en Km/h.

$C$  = coeficiente empírico, para depósitos pequeños 38 y para grandes 28.

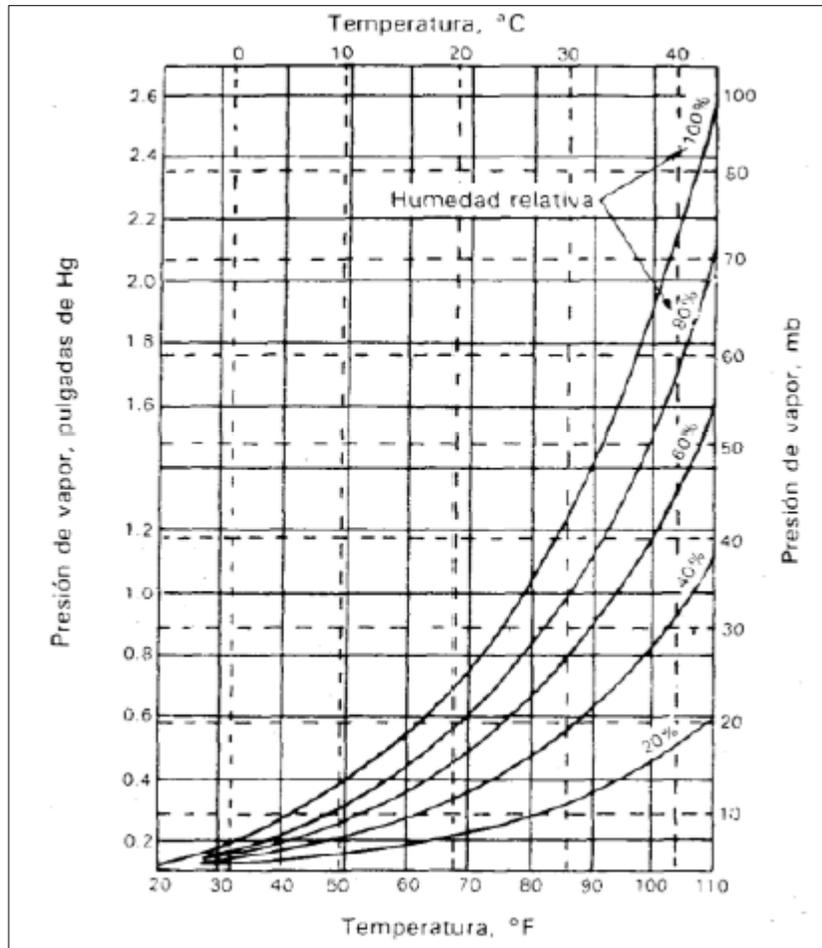


Figura N°16: Ábaco para determinar la presión de vapor.

Fuente: Hidrología CIV-233

Fórmula de Fitzgerald:

$$E_v = (0.4 + 0.449 * V_o) * (e_s - e_a)$$

Fórmula de Rohwer:

$$E_v = 0.497 * (1 - 0.0005 * P) * (1 + 0.6 * V_o) * (e_s - e_a)$$

Fórmula de Lugeon:

$$E_v = 0.398 * d * \frac{273 + t}{273} * \frac{760}{P - e_s} * (e_s - e_a)$$

Fórmula de los servicios hidrológicos de la ex URSS:

$$E_v = 0.2 * d * (1 + 0.072 * V_2) * (e_s - e_a)$$

Donde las anotaciones empleadas de las fórmulas empíricas anteriores son:

$E_v$  = Evaporación diaria en mm.

$e_s$  = Tensión de vapor saturante para la temperatura superficial del agua en mmHg.

$e_a$  = Tensión de vapor en el aire en mmHg.

$V_2$  = Velocidad del viento a 2m de altura.

$V_o$  = Velocidad del viento sobre la superficie de agua.

$d$  = Número de días del mes.

$t$  = Temperatura media mensual de las máximas diarias en °C.

$P_{at}$  = Presión atmosférica en mmHg.

(p.56)

#### 2.2.18. Transpiración

Es la transformación en la que el agua es transportada desde las raíces hasta la parte superior de los tejidos de las plantas transformándose en vapor y liberándose hacia la atmósfera. (FAO, 2006, p.3).

#### 2.2.19. Evapotranspiración

Es la porción de agua que se encuentra en el suelo que se libera hacia la atmósfera mediante la transpiración en conjunto con la evaporación ocurriendo simultáneamente. No hay una forma asequible de identificar entre estos dos procesos. (FAO, 2006, p.3)

Se desarrollaron varios métodos para determinar la evapotranspiración, según Pazos, V. y Mayorga, D. (2019), las fórmulas más importantes son las siguientes:

Método de Thornthwaite

$$ET_o = \frac{N}{12} * \frac{d}{30} * 16 * \left( \frac{10 * t}{I} \right)^a$$

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0.49239$$

$$I = \sum_{1}^{12} i$$

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración potencial mensual en mm/mes.

i = Índice térmico mensual

I = Índice térmico anual.

t = Temperatura media mensual de mes en °C.

a = Constante a determinar, dependen del lugar.

N = Número máximo de horas de sol mensual.

d = Número de días del mes.

Método de Blaney-Criddle (modificado por la FAO)

$$ETo = a + b * f$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración de referencia en mm/día.

a, b = Coeficientes de regresión lineal entre f y ETo

$$a = 0.043HRmin - n/N - 1.41$$

$$b = a_0 + a_1RHmin + a_2n/N + a_3U2 + a_4HRmin * n/N + a_5HRmin * U2$$

Donde:

HRmin = Humedad relativa mínima (%) expresada en decimal.

n/N = Fracción de insolación.

U2 = Velocidad del viento tomada a 2m de altura.

$$f = p(0.46t + 8.13)$$

Donde:

f = Factor de uso consuntivo en mm/día.

p = Porcentaje de horas de luz diaria.

t = Temperatura promedio mensual en °C.

- Método de Penman (modificado por la FAO)

$$ETo = c \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Rn + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} * f(u) * (e_a - e_d) \right]$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración del cultivo en mm/día.

$c$  = Factor de ajuste para Penman.

$w$  = Factor de ponderación para Penman.

$R_n$  = radiación neta total en mm/día.

$f(u)$  = Función del viento.

$$f(u) = 0.27(1 + U^2/100)$$

$e_a - e_d$  = Diferencia entre la presión de vapor de saturación y la presión real de vapor.

#### 2.2.20. Balance hídrico

El balance hídrico es un método empírico que estima el balance de un sistema, usando los cálculos de precipitaciones mensuales y anual para el año hidrológico que se analizará, y la estimación de la evapotranspiración potencial mensual y anual (Marini y Piccolo, 2000).

Almorox, J (2013), nos dice el método supone que el agua que está en el suelo se va perdiendo mediante el paso del tiempo hasta que se agota su reserva cubriendo las necesidades hídricas del sistema, este método hace referencia a los siguientes parámetros:

La precipitación ( $P$ ) es el componente de mayor relevancia que aporta directamente el recurso al sistema.

La evapotranspiración potencial (ETP) se calcula mediante el método de Thornwaite, que brinda una aproximación de lo que puede evapotranspirar en el sistema.

$P - ETP$ , al calcular la diferencia de entradas y salidas potenciales de agua que se encuentra en el suelo, se clasifican:

Meses húmedos:  $P > ETP$

Meses secos:  $P < ETP$

Reserva de agua en el suelo ( $R$ ) depende de las características físicas y biológicas del terreno, se estima sumando los incrementos  $P - ETP$  en los meses húmedos y a estos incrementos se le añade la reserva del mes anterior:

$$R = R_{i-1} + (P - ETP)$$

Variación de la reserva (VR) se calcula mediante la diferencia entre la reserva del mes que se hace el cálculo y la reserva del mes anterior:

$$VR = R_i - R_{i-1}$$

La evapotranspiración real (ETR) se considera que es el volumen de agua que evapotranspira en el mes y depende del volumen de agua disponible, quiere decir que la (P) en el mes considerado y la (R) existente será el agua disponible para evaporar. Cuando (P) cubre la demanda potencial se dice que:

$$ETR = ETP$$

Si la ETP excede a la (P) que es periodo seco, el agua que se evapora será la de la P + VR (tomada como valor absoluto):

$$ETR = P + [VR]$$

La falta de agua (F) se considera como el volumen de agua que hace falta para poder cubrir las necesidades hídricas potenciales del sistema (para evapotranspirar):

$$F = ETP - ETR$$

El exceso de agua (Ex) es el recurso que excede la reserva máxima y que se habrá perdido por escurrimiento superficial:

$$Ex = P - ETP - VR$$

Desagüe (D) es el exceso de agua que se verterá en los cauces naturales y una parte engrosará el manto freático:

$$D = 0.5 * (D_{i-1} + Ex)$$

Finalmente, la ecuación para la estimación el balance hidrológico será:

$$P = ETR + \text{infiltración} + \text{escurrimiento superficial}$$

$$P = ETR + D$$

#### 2.2.21. Escurrimiento

Está definida como el fragmento de la precipitación pluvial que acontece en una zona o en una cuenca y que recorre por encima o debajo del terreno que llega a una corriente para luego ser drenada hasta el punto de salida de la cuenca o hacia un lago dependiendo si son cuencas abiertas o cerradas. (Breña, A y Jacobo, M, 2016, p.119).

### 2.2.22. Infiltración

Es el proceso en la que el agua que se encuentra en la superficie ingresa al suelo y se desplaza al subsuelo, cuando el agua que ingresa al suelo se desplaza a mayor profundidad, recibe el nombre de percolación. (Breña, A y Jacobo, M, 2016)

Para hallar la velocidad de infiltración según expone Valenzuela y Jara, 1998, uno de los métodos que más se ha estado utilizando para medir la velocidad de infiltración es llamado cilindro infiltrómetro doble, este expone la ventaja de que el flujo radial es reducido por medio de un área tampón alrededor del cilindro central. El movimiento del agua será en sentido vertical hasta que pasa a la parte inferior de la orilla del cilindro.

Cuando se encuentran con mediciones de lluvia simultánea y el volumen de escurrimiento de la cuenca, Aparicio, J. (1989), menciona métodos empíricos y criterios que se detalla a continuación.

$$V_p = V_{ll} - V_{ed}$$

Donde:

$V_p$  = Volumen de pérdidas.

$V_{ll}$  = Volumen de lluvia.

$V_{ed}$  = Volumen de escurrimiento directo.

Dividiendo ambos miembros entre el área de la cuenca:

$$F = I - R$$

Donde:

$F$  = Infiltración o lámina de pérdidas acumulada.

$I$  = Altura de lluvia acumulada.

$R$  = Escurrimiento directo acumulado.

Si derivamos esa ecuación respecto al tiempo, se obtiene:

$$f = i - r$$

Donde:

$r$  = Lámina de escurrimiento directo por unidad de tiempo.

- Criterio de capacidad de infiltración media:

$$hp_e = \frac{V_{ed}}{A_c}$$

Donde:

$V_{ed}$  = Volumen de escurrimiento directo.

$A_c$  = Área de la cuenca.

- Criterio del coeficiente de escurrimiento:

$$f = (1 - C_e)i$$

$$r = C_e i$$

$$C_e = \frac{V_{ed}}{V_{ll}}$$

Donde:

$V_{ll}$  = Volumen de lluvia.

$V_{ed}$  = Volumen de escurrimiento directo.

- Criterio del United States Soil Conservation Service (USSCS):

$$C_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P^2 + 0.8SP}$$

Donde:

$P$  = Altura total de precipitación de la tormenta.

$S$  = Parámetro que se estima.

- Criterio del índice de precipitación antecedente:

$$IPA_{j+1} = K * IPA_j + P_j$$

Donde:

$P$  = Precipitación total.

$K$  = constante tomando en cuenta la disminución de la humedad con respecto al tiempo.

$j$  = Indica el día.

- Otros métodos:

$$f_p = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}$$

Donde:

$f_p$  = Es la capacidad de infiltración.

$f_o$ ,  $f_c$  y  $k$  = Son constantes que toman valores dependiendo del tipo de suelo.

(p.154).

### 2.2.23. Gestión de Cuencas

La Asociación Mundial para el agua Global Water Partnership – GWP (2009) p.18, define la gestión integrada de los recursos hídricos en cuencas como:

El proceso de promover el desarrollo y la gestión coordinada del agua, el territorio y los recursos relacionados, maximizando igualmente los beneficios económicos y sociales, sin involucrar la sostenibilidad de los sistemas. En el nivel de cuencas hidrográficas o de la cuenca del lago y a nivel del acuífero, la GIRH (Gestión Integrada de Recursos Hídricos) permite la gestión coordinada del agua, el suelo y los recursos relacionados en la cuenca, optimizando y equilibrando los resultados socioeconómicos. Puede definirse como un proceso de autorización compartido, sin involucrar la salud de los ecosistemas viables a largo plazo, el enfoque de GIRH a nivel de país es consistente con el enfoque de GIRH a nivel de cuenca; de hecho, se complementan entre sí.

El marco nacional integral de GIRH es esencial para la gestión de cuencas hidrográficas nacionales y transfronterizas. Integrar el uso de la tierra y la gestión del agua en la cuenca no es una tarea fácil; de hecho, la gestión de la tierra, incluidos los planes, la silvicultura, la industria, la agricultura y el medio ambiente, generalmente se rige por políticas que no están relacionadas con las normas del agua y se rigen por muchos sectores.

En cuanto a modalidades de gestión a nivel de cuencas, Dourojeanni et al. (2002) p. 17, nos indica que:

Los temas de gestión de cuencas hidrográficas son cada vez más admitidos en países de América Latina y el Caribe, pero en influencia de los avances, aún carecen de consenso y en ocasiones ni siquiera dentro de un país.

La falta de precisión del concepto de problema amenaza el intercambio de ideas y experiencias, provocando conflictos y la duplicación de misiones, responsabilidades y funciones entre instituciones, creando dificultades. Es difícil desarrollar políticas y leyes claras sobre este tema. Aún existen

diferencias actuales en las diferentes direcciones dadas a muchos de los términos usados para denotar el proceso de manejo de la cuenca y la conveniencia de definir y clasificar estos conceptos.

A continuación, en las siguientes figuras se presentará la clasificación de acciones de gestión a nivel de cuencas y la jerarquización de acciones de gestión a nivel de cuencas.

Etapas de gestión	Objetivos de gestión en cuencas			
	Para el aprovechamiento y manejo integrado	Para aprovechar y manejar todos los recursos naturales	Para aprovechar y manejar sólo el agua	
			Multisectorialmente	Sectorialmente
(a)	(b)	(c)	(d)	
(1) Previa	<b>Estudios, planes y proyectos</b> <i>(ordenamiento de cuencas)</i>			
(2) Intermedia <i>(inversión)</i>	<b>"River Basin Development"</b> <i>(desarrollo integrado de cuencas o desarrollo regional)</i>	<b>"Natural Resources Development"</b> <i>(desarrollo o aprovechamiento de recursos naturales)</i>	<b>"Water Resources Development"</b> <i>(desarrollo o aprovechamiento de recursos hídricos)</i>	<b>"Water Resources Development"</b> <i>(agua potable y alcantarillado, riego y drenaje, hidroenergía)</i>
(3) Permanente <i>(operación y mantenimiento, manejo y conservación)</i>	<b>"Environmental Management"</b> <i>(gestión ambiental)</i>	<b>"Natural Resources Management"</b> <i>(gestión o manejo de recursos naturales)</i>	<b>"Water Resources Management"</b> <i>(gestión o administración del agua)</i>	<b>"Water Resources Management"</b> <i>(administración de agua potable, riego y drenaje)</i>
		<b>"Watershed Management"</b> <i>(Manejo u ordenación de cuencas)</i>		

Figura N°17: Clasificación de Acciones de Gestión a Nivel de Cuencas.

Fuente: Dourojeanni (1994a) y (1994b); CEPAL (1994a).

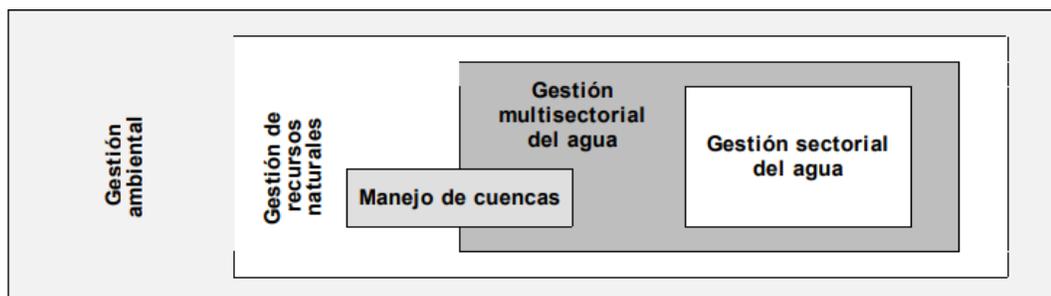


Figura N°18: Jerarquización de Acciones de Gestión a Nivel de Cuencas.

Fuente: Dourojeanni (1997); CEPAL (1998).

La gestión de cuencas en el Perú según el Informe de Desarrollo Humano, 2009, p.102:

La orientación de partida es que la institucionalidad no solo se reduzca a las organizaciones, debe incorporar también las normas y mandatos formalmente establecidos y otros patrones de índole social. Plantar esta segunda dimensión de la institucionalidad estatal referido a las normas, no suele ser fácil en relación con su territorio, porque su entorno de aplicación no es tan delimitable como los de las organizaciones. Se intenta realizarlo por medio de algunos de los mecanismos e instituciones de coordinación que el Estado Peruano coloca, buscando tomar ventaja de las divergencias entre el ámbito territorial que puede ejercerlos y alcance de sus mandatos.

Los mismos actos relacionados con la gestión de recursos hídricos, son los mismos que refieren con la gestión de cuencas; es decir, aquellos que son parte del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos. Los más importantes dentro del estado son:

El Ministerio del Ambiente y los ministerios de la Producción, de Energía y Minas, de Salud, y de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

En la gestión de los recursos hídricos, los organismos involucrados son: La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, conocido como SUNASS y las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS)

Los gobiernos regionales y los gobiernos locales.

Por parte de la sociedad civil:

Consumidores del agua: instituciones no agrarias y las agrarias.

Empresas: entidades operadoras de los sectores hidráulicos, de carácter sectorial y multisectorial.

Las sociedades nativas y campesinas.

Universidades, ONG, plataformas y redes especializadas involucradas con el tema.



Figura N°19: El Ciclo de Gestión de la planificación e implementación.

Fuente: GWP - Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, p.19.

### 2.3. Definición de términos básicos

- Cuenca Hidrográfica: Representa un terreno de drenaje natural de agua, drenándolas al mar a través de un río que están delimitadas por subcuencas.
- Periodo de Retorno: Es la representación del tiempo de un evento específico, en el caso de la hidráulica representa probabilidades de aumento o disminución de caudales en diferentes años a futuro.
- Caudal de diseño: Es la cantidad de agua que llegará a un punto determinado, es la cantidad de volumen de agua con la que se diseñará una obra hidráulica.
- Caudal máximo: Es la cantidad máxima de agua que llegará a un punto determinado en un tiempo determinado.
- Máxima Avenida: Es la creciete de un curso de agua, es decir, la elevación del nivel de agua durante un tiempo determinado que será producto de las precipitaciones.
- Balance Hídrico: Es la disponibilidad de agua en diferentes escenarios de acuerdo con un estudio de precipitaciones con una estimación a futuro.
- Gestión Integrada: Es un sistema de gestión de lineamientos y normas que se deben cumplir para llevar a cabo un proceso de manera favorable.

## **CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS**

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis General

La gestión integrada de los recursos hídricos llevado en conjunto con un plan de acción - balance que protege y aprovecha el recurso a futuro en la cuenca del río Lacramarca.

#### 3.1.2. Hipótesis Específica

- La cuenca tiende a ser alargada, el valor de  $K_c$  sobrepasara a 2, con alta densidad de drenaje, valores altos en bifurcación y con orden de cauce alto, terreno escarpado y suelo erosionable.
- La metodología que se implementara será a partir de lo recomendado en las resoluciones, normas y políticas del ANA, SENAMHI y artículos científicos, se creara de forma coherente una gestión integrada de forma viable para la cuenca del río Lacramarca.
- Se determinará a partir de variables hidrológicas, hidráulicas y software profesionales como los sistemas de información geográfica (ArcGis) se logrará determinar de forma adecuada el balance hídrico en la cuenca del río Lacramarca

### 3.2. Variables

#### 3.2.1. Variable Independiente

El compromiso integrado del recurso hídrico es una opinión sistemática para el sazón sostenible y monitor de la cruz hídrica en el entorno de objetivos comunitarios, ambientales y económicos. La gestión integrada del recurso hídrico es todo desarrollo sistemático para el crecimiento sostenible e inspección del recurso hídrico con relación de los objetivos ambientales, sociales y económicos. (Cap-Net, 2005).

- Gestión integrada de Recursos Hídricos

El balance hídrico es un procedimiento experimental que evalúa el balance de toda la estructura, usando el computo de la precipitación anual y mensual para el año hidrológico en observación, y estimar la evapotranspiración potencial anual y mensual (Marini & Piccolo, 2000).

- Estimación del balance

### 3.2.2. Variable Dependiente

El río Lacramarca es caracterizado por ser un río pequeño de la costa peruana en el departamento de Chimbote que finalmente converge en la Bahía Ferrol, en el cual resulta un diseño de humedal distinguido como Pantanos de Villa María. Dentro de su vecindad se colocan las ciudades de Chimbote y Nuevo Chimbote. La procedencia de esta cuenca proviene de parte occidental de la Cordillera Negra y abarca ciertas zonas de los distritos de Macate y Chimbote, estos mencionados dentro de la provincia de Santa, ubicado en el departamento de Ancash. Por el norte y el este limita con la cuenca del río Santa; por el oeste, con el océano Pacífico y por el sur, con la del río Nepeña. (CEI, 2019).

- Cuenca del río Lacramarca

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Tipo y Nivel

#### 4.1.1. Tipo de investigación

Baena (2014) “La investigación aplicada tiene como finalidad estudiar un problema de acción. La investigación aplicada puede ofrecer nuevos hechos... Si planificamos bien nuestra investigación aplicada, ya que podemos contar con hechos descubiertos, la reciente información puede ser ventajosa y evaluable para la teoría” (p. 11).

Johnson, Onwuegbuzie y Turner (2007) “El enfoque mixto, es el tipo de investigación en la que un investigador o equipo de investigadores combina elementos de enfoques de investigación cualitativa y cuantitativa (por ejemplo, uso de puntos de vista cualitativos y cuantitativos, recopilación de datos, análisis, técnicas de inferencia)” (p. 123).

Esta investigación fue de tipo aplicada con enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo) porque pretende evaluar el balance hídrico de la cuenca del río Lacramarca a partir de metodologías comprobadas y considerando los parámetros de funcionamiento de una presa de relaves.

#### 4.1.2. Nivel

Hernández (2020) La investigación descriptiva busca identificar las características, propiedades y rasgos de la persona, grupo, comunidad, proceso, objeto u otro fenómeno que requiera análisis. En otras palabras, tiene el único propósito de medir o recopilar información de forma independiente o conjunta sobre los conceptos o variables en cuestión. En otras palabras, su propósito no es mostrar cómo están interconectados. (p.92)

Hernández (2020) “Este tipo de estudios correlacionales tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En

ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables.” (p.93)

La presente investigación fue de nivel descriptivo - correlacional.

#### 4.2. Diseño de investigación

Hernández y Fernandez (2018) “El diseño transeccional o transversal descrito también como diseño de investigación descriptivo o no experimental, da entrada a una o varias muestras en un instante determinado, puede ser diseño transeccional descriptivo o diseño transeccional correlacional”

La presente investigación fue no experimental con diseño transversal.

#### 4.3. Población y muestra

R A M. (2016), puntualiza a la población como un universalismo de casos que conformará el referente para escoger la muestra, y que cumple con una progresión de criterios anticipados. Es requerido clarificar cuando se hace alusión a la población de estudio, la expresión no se refiere sólo a seres humanos, hace también alusión a la fauna, modelos biológicos, familias, objetos, clínicas y hospitales, organizaciones, expedientes, etc.

Se selecciono como población de la presente investigación, la vertiente hidrográfica del Océano Pacífico, ubicada en la costa norte del Perú.

Parella, S y Martins, F (2012), Nos relata que una determinada muestra es la escogencia de un lado característico de la población, reproducida de la manera más concreta y puntual. Existen ciertos autores que han coincidido en indicar que una determinada muestra de 10%, 20% o 40% es suficiente para formar una representación de toda la población. Sin embargo, si en el interior de esta coexisten individuos con distintas características, esta muestra tendrá que ser representada obligatoriamente en proporciones semejantes a las que posee en su total.

La muestra de la presente investigación fue la cuenca del río Lacramarca.

La cuenca del río Lacramarca es una unidad hidrográfica de nivel 7 con código 1375992 ha sido dividida en 9 entidades hidrográficas de nivel 8, estas son las

siguientes: El Bajo Lacramarca (13759921), la Quebrada La Pampa del Toro (13759922), el Medio Bajo Lacramarca (13759923), la Quebrada Lupahuari (13759924), el Medio Lacramarca (13759925), la Quebrada Totoral (13759926), el Medio Alto Lacramarca (13759927), la Quebrada Yucaspunta (13759928), y el Alto Lacramarca (13759929). (ANA, 2009).

#### 4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

##### 4.4.1. Tipo de técnicas e instrumentos

En la presente investigación se empleó la observación directa como el tipo de técnica, ya que la cuenca a analizar se hicieron una recogida de datos por el Senamhi.

Los instrumentos de recolección de datos que se emplearon fueron documentos y registros de información meteorológica, estos serán obtenidos de la base datos de SENAMHI y la ANA:

- Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos.
- Informe de estudio hidrológico de la cuenca del rio Lacramarca.
- Mapa meteorológico de la localidad de Ancash.
- Proyecto urbano arquitectónico.
- Software ArcGis versión 10.8.

##### 4.4.2. Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos

Al usar los manuales de Gestión integrada, así como también informes de estudio hidrológico, expedientes técnicos, cubrimos en su totalidad los requisitos de calidad que establecen el Ministerio de Economía y Finanzas; los instrumentos presentados anteriormente cumplen con los aspectos primordiales. Así mismo, se recolectaron información de artículos de investigación y tesis internacionales para poder guiar nuestra investigación a un resultado exitoso y consistente.

#### 4.4.3. Procedimientos para la recolección de datos

Esta investigación se ubica geográficamente específicamente en la región Ancash, en la ciudad de Chimbote, ubicación donde se encuentra situado la cuenca del río Lacramarca. Se deberá realizar una gestión integrada del recurso hídrico, para poner en participación en el proceso nacional para formular leyes, políticas, creando acuerdos normativos e institucionales para una toma de decisión, teniendo en cuenta el interés social, económico y ambiental.

Así mismo también se realizará una estimación del balance con ayuda del software de Sistema de Información Geográfica llamada GIS, de las condiciones de la cuenca del río Lacramarca a estudiar.

#### 4.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

##### a) Técnicas de procesamiento de datos

Se emplea el análisis de contenido como la técnica de procesamiento de datos, ya que en esta técnica busca ser sistemática, cuantitativa y objetiva. Emplearemos el sistema de información geográfica (ArcGis) para procesar y analizar nuestros datos.

##### b) Análisis de la información

- Los análisis que se realizarán son los siguientes:
- Estimación de Balance hídrico a corto y futuro plazo
- Representación de caudales mediante modelo hidrológico.
- Leyes y políticas para aplicar como gestión del recurso hídrico.
- Estimación de caudal de avenida.
- Las características de la cuenca se obtuvieron mediante la base de las cartas nacionales del Perú del Instituto Geográfico Nacional, se descargó el Shapefile del límite de la cuenca y cauce del río, Se aplicó el sistema de información geográfica con el programa ArcGis.

- Se determinó el balance hídrico mediante data obtenida de precipitación y temperatura de informes del ANA de cuencas aledañas, se representaron modelos de evapotranspiración real y potencial con el programa ArcGis, determinando el balance hídrico de la cuenca.
- Se implementó un modelo de gestión integrada basada en las necesidades de la población, el cambio climático y la situación actual de la cuenca, tomando leyes y políticas para una mejora de las condiciones y sostenibilidad.

## CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1. Estudios generales de la zona

#### 5.1.1. División Política Administrativa

El departamento de Ancash se encuentra situado en la región Central – Occidental del país, tiene una superficie de 35915 Km<sup>2</sup> representando el 2.8% del territorio nacional. En las zonas altas se encuentra con la Cordillera de los Andes y limita por el oeste con el Océano Pacífico.

Ancash está dividido políticamente en 20 provincias y 166 distritos, siendo Huaraz su capital y Chimbote la ciudad más poblada con 425367 habitantes según el censo realizado en el año 2019 en nuestro país (Figura N° 20).



Figura N°20: División Política Administrativa de Ancash.

Fuente: Perú Info – División política de Ancash.

### 5.1.2. Ubicación de la Cuenca

La cuenca del río Lacramarca se encuentra ubicada en el distrito de Chimbote y Nuevo Chimbote, provincia del Santa, en el departamento de Ancash. Se encuentra entre los meridianos  $70^{\circ}40'59,62''$  y  $70^{\circ}25'15,42''$  de longitud y entre los paralelos  $15^{\circ}06'54,41''$  y  $15^{\circ}17'26,17''$  de latitud sur.

En el sistema de coordenadas geográficas, en Datum, sus coordenadas UTM son WGS84 zona 17 sur y tiene los siguientes límites geográficos (Figura N° 21 y 22):

Por el Norte:	Cuenca del Río Santa
Por el Este:	Cuenca del Río Santa
Por el Sur:	Cuenca del Río Nepeña
Por el Oeste:	El Océano Pacífico



Figura N°21: Ubicación del distrito de Chimbote - Ancash.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.



Figura N°22: Ubicación de la cuenca Lacramarca.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

### 5.1.3. Clima

El distrito de Chimbote debido a la presencia de los Andes y su ubicación en el trópico, la zona costera presenta un clima desértico subtropical, la temperatura varía en 28°C en verano y 13°C en invierno. Los vientos son constantes en todo el año, presentando una dirección suroeste con una velocidad promedio de 30 – 40 km/h.

Cabe resaltar que en el valle Santa Lacramarca actualmente no existe una estación meteorológica que pueda registrar información climática, la estación más cercana es la de Tangay que registra datos, pero no presenta continuidad, por esa razón la estación meteorológica más cercana y confiable es la estación La Rinconada que presenta un promedio máximo de temperatura de 29°C y un mínimo de 16°C, humedad relativa de 73% y 6.9 horas de sol.

## 5.2. Estudios de Topografía

Para la topografía de la cuenca de Lacramarca se descargó información de las curvas de nivel en base a las cartas nacionales del Perú del Instituto Geográfico Nacional, obteniendo la topografía completa en formato Shapefile según las proyecciones WGS84 zona 17 sur (Figura N° 23).

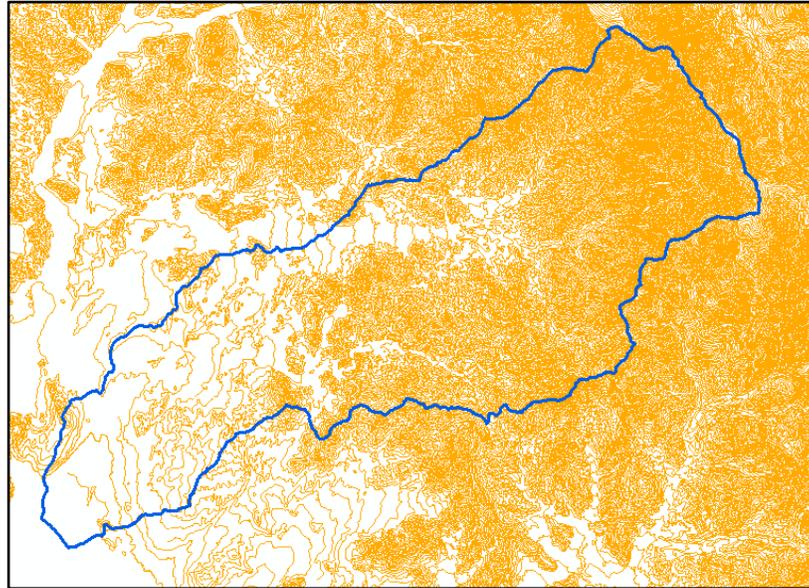


Figura N°23: Curvas de nivel.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

## 5.3. Aplicación del sistema de información geográfica (SIG)

### 5.3.1. Creación de modelo TIN

Las redes irregulares de triángulos (TIN) se usan en el sistema de información geográfica (SIG) para representar la morfología de una superficie. Se necesita un modelo de elevación digital con las curvas de nivel para representar la superficie en formato ráster, se emplea para la interpolación de altimetría el método de triangulación representando valores de altitud (Figura N° 24).

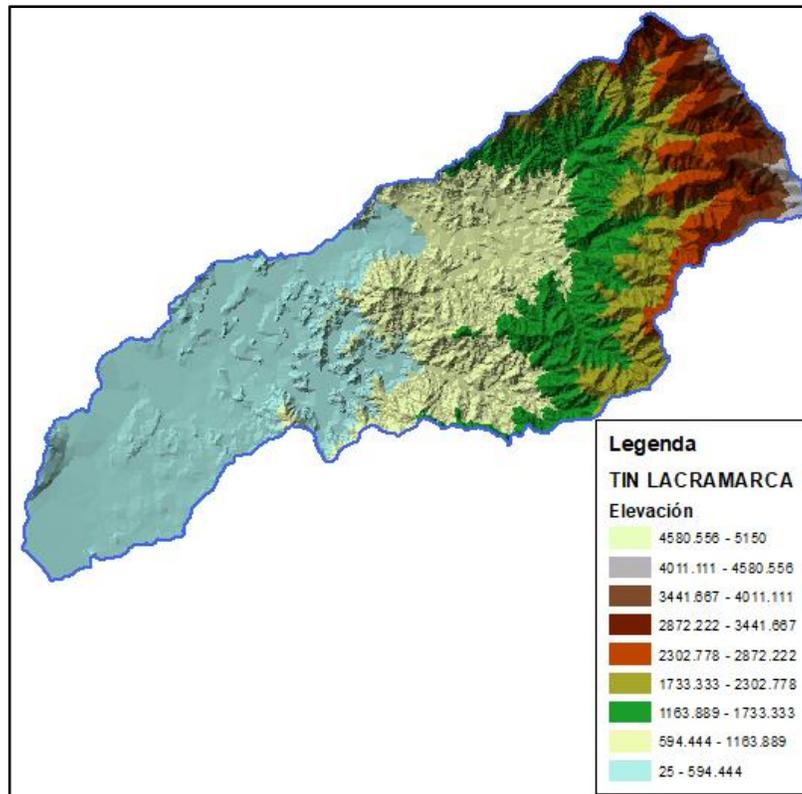


Figura N°24: Elevación de superficie TIN de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

### 5.3.2. Creación del modelo DEM

En base al modelo de elevación TIN, se procede a crear un modelo ráster que está representada por una matriz de celdas de filas y columnas en la que cada celda tiene un valor de información, los datos que se almacenan en un modelo ráster representando la elevación, temperatura, precipitaciones, densidad, que son apropiados para representar datos que cambian continuamente en una superficie (Figura N° 25).

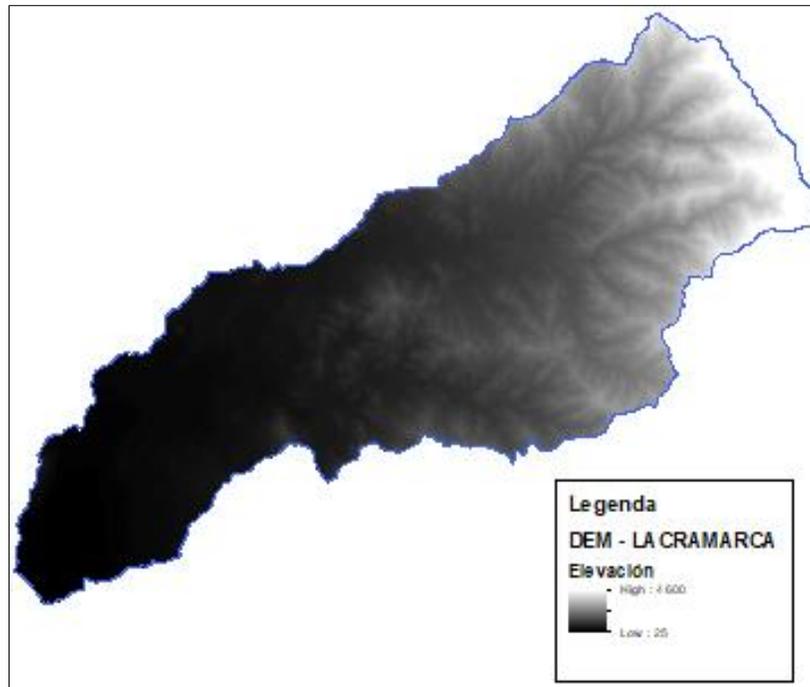


Figura N°25: Elevación de superficies DEM de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

#### 5.4. Delimitación de las corrientes

##### 5.4.1. Dirección y acumulación del flujo

Se determina la dirección del flujo mediante cada celda del ráster generado, obteniendo 8 direcciones de salidas válidas, denominado modelo de flujo de 8 direcciones. Las celdas con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado y pueden ser útiles para identificar canales de arroyo, mientras que las celdas con acumulación de flujo 0, son alturas topográficas locales, y se pueden utilizar para identificar crestas (Figura N° 26)

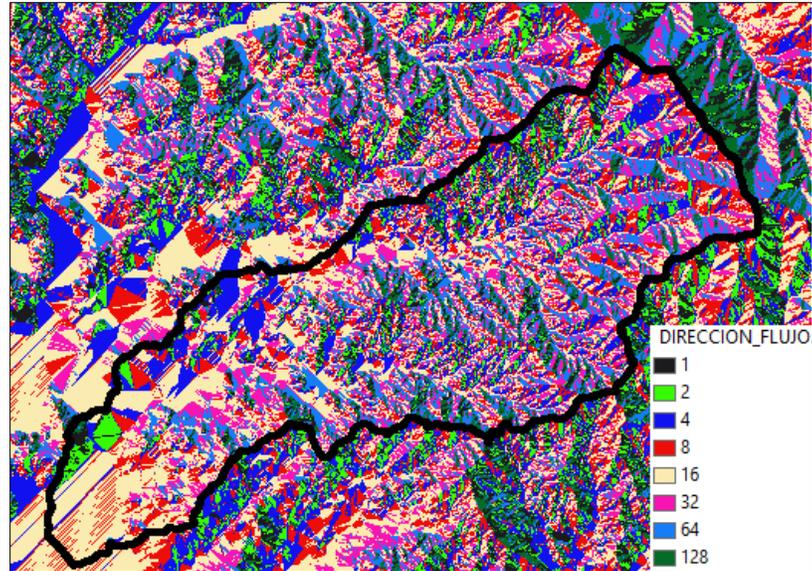


Figura N°26: Elevación de superficies DEM de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

#### 5.4.2. Cálculo de corrientes

Con el ráster de acumulación de flujo y el ráster de elevación de superficies DEM, se procede al cálculo de las corrientes mediante la herramienta ráster calculator de la herramienta del ArcToolbox del programa ArcMap. Se corta la red de drenaje en las intersecciones con la herramienta Stream Link donde se obtiene 2492 redes de drenaje, finalmente se procede a su conversión en un formato vectorial con el comando Stream to feature (Figura N° 27, 28).

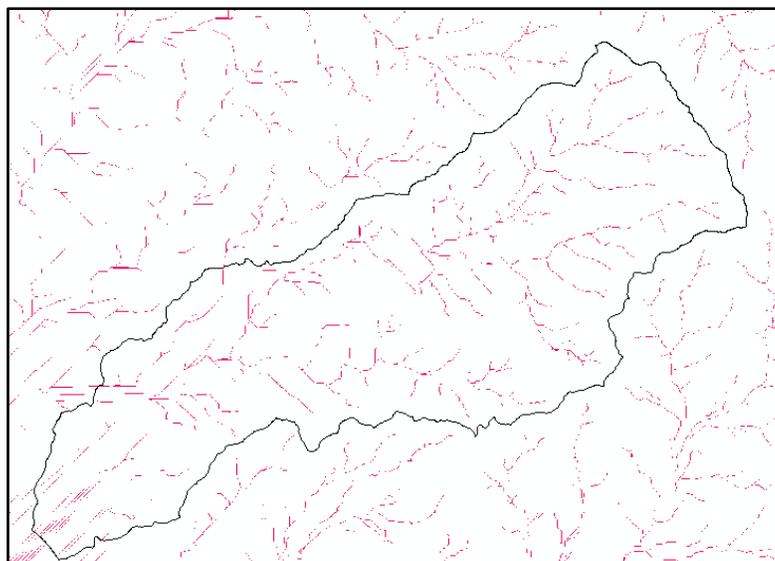


Figura N°27: Red de drenaje de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

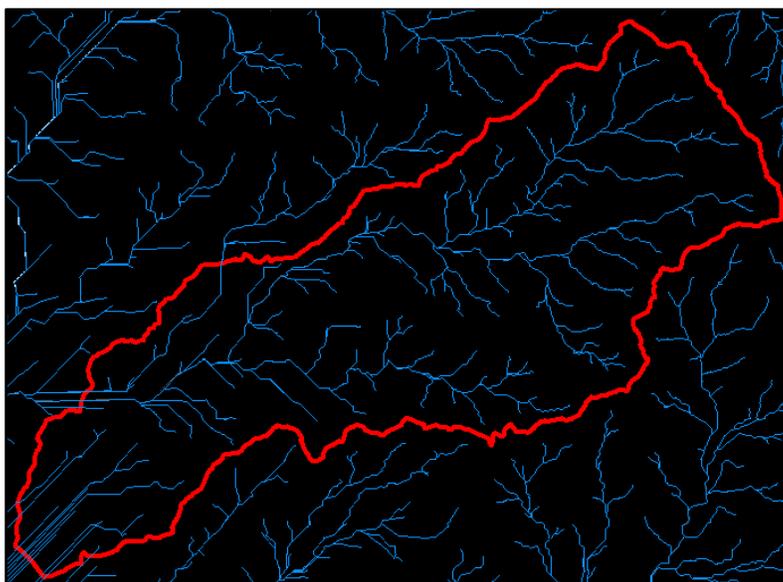


Figura N°28: Formato vectorial de la red de drenaje de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

## 5.5. Parámetros Fisiográficos de la Cuenca

### 5.5.1. Cálculo la longitud, área y perímetro

- a. Para determinar la longitud de la cuenca ubicamos la desembocadura del río principal y proyectamos una línea al extremo de las divisorias topográficas.
- b. Para determinar el área y perímetro de la cuenca se realiza mediante la tabla de atributos del shape del borde de la cuenca y asignamos una calculadora de área y perímetro.

Tabla N° 1: Parámetros de la Cuenca.

PARÁMETROS DE LA CUENCA			
1	ÁREA	841.47	km <sup>2</sup>
2	PERÍMETRO	165.5	km
3	LONGITUD DE CUENCA	58.37	km

Fuente: Elaboración propia.

### 5.5.2. Cálculo del ancho, índice de Gravelius y factor de forma

- c. Ancho de la Cuenca:

$$\text{Ancho} = \frac{\text{Área Cuenca}}{\text{Long. Cuenca}} = \frac{841.47}{58.37} = 14.42 \text{ km}$$

- d. Para determinar la longitud del río principal en la presente investigación se analizará como río principal la quebrada Lupahuari sumado al río Lacramarca (Figura 29).

- e. Índice de Gravelius:

$$Kc = \frac{\text{Perim.}}{2\sqrt{\pi * \text{Área}}} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} = 1.60$$

- f. Factor de forma:

$$\text{Ancho} = \frac{\text{Área Cuenca}}{(\text{Long. río Princ.})^2} = \frac{841.47}{69.98} = 0.17$$

Al obtener un resultado < 0.22 quiere decir que nuestra cuenca adopta una forma muy alargada.

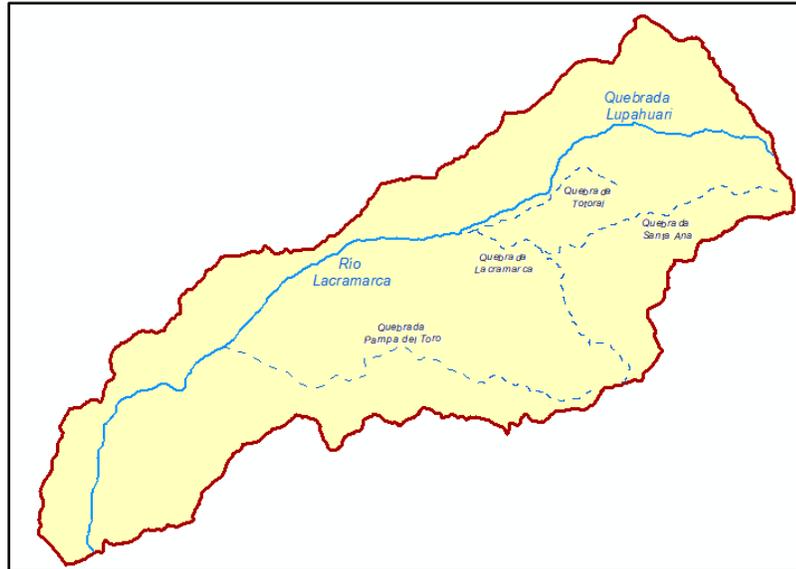


Figura N°29: Representación del río principal para la investigación.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Tabla N° 2: Datos de la Cuenca.

PARÁMETROS DE LA CUENCA			
1	ÁREA	841.47	km <sup>2</sup>
2	PERÍMETRO	165.50	km
3	LONGITUD DE CUENCA	58.37	km
4	ANCHO	14.42	km
5	LONG. DEL RÍO PRINCIPAL	69.98	km
6	FACTOR FORMA	0.17	
7	INDICE DE GRAVELIUS	1.60	

Fuente: Elaboración propia.

## 5.6. Parámetros geomorfológicos de la Cuenca

### 5.6.1. Cálculo de áreas parciales

Con el modelo de elevación digital obtenido anteriormente, realizamos el cálculo de las áreas parciales de la cuenca con el comando de reclasificación definiendo intervalos cada 500 metros según la elevación del terreno (Figura 30). Finalmente se procede a calcular el área y perímetro de cada zona clasificada con la calculadora digital del programa (Tabla N° 3).

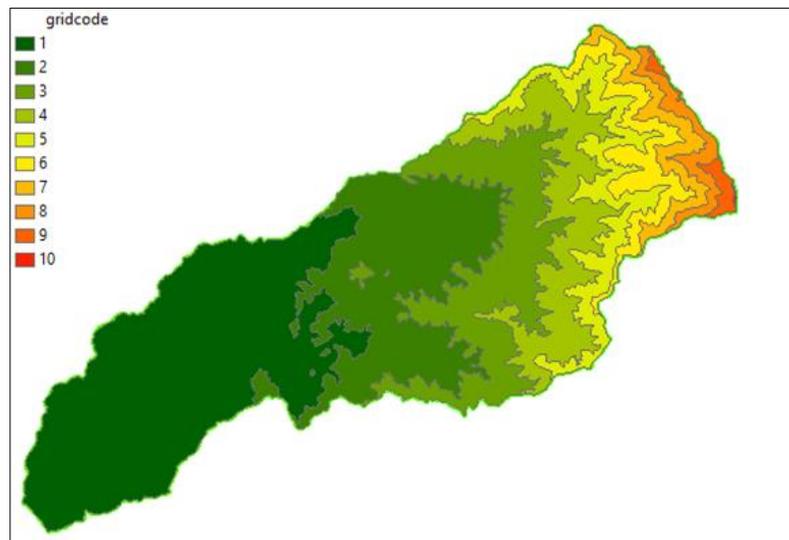


Figura N°30: Áreas parciales de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Tabla N° 3: Áreas parciales.

Gridcode	ÁREA (km)	PERÍMETRO (km)
1	296.50	140.34
2	169.46	199.23
3	127.30	220.99
4	94.55	193.30
5	61.58	170.29
6	41.28	108.86
7	26.23	76.36
8	17.07	53.83
9	7.24	27.17
10	0.25	3.88

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.6.2. Cálculo de altura media

- Se realizan cálculos previos

Tabla N° 4: Cálculos de áreas y altitudes.

N°	COTA MAS BAJA (msnm)	COTA MAS ALTA (msnm)	AREA PARCIAL (KM2) (SI)	ALTITUD MEDIA DE CADA ÁREA PARCIAL (HI) (msnm)	(SI*HI)
1	50	500	296.5	275	81537.5
2	500	1000	169.46	750	127095
3	1000	1500	127.3	1250	159125
4	1500	2000	94.55	1750	165462.5
5	2000	2500	61.58	2250	138555
6	2500	3000	41.28	2750	113520
7	3000	3500	26.23	3250	85247.5
8	3500	4000	17.07	3750	64012.5
9	4000	4500	7.24	4250	30770
10	4500	4600	0.25	4550	1137.5
			841.46		966462.5

Fuente: Elaboración propia.

g. Finalmente se procede a calcular la altitud media de la cuenca:

$$H. media = \frac{\sum(hi * si)}{\text{Área cuenca}} = \frac{966462.5}{841.47} = 1148.55 \text{ msnm}$$

### 5.6.3. Polígono de frecuencia y curva Hipsométrica

Se procede a completar la tabla de áreas y altitudes para hallar el porcentaje que queda sobre la altura de cada tramo y proyectar el polígono de frecuencia y curva hipsométrica (Tabla N° 5).

Tabla N° 5: Cálculos de áreas acumuladas y porcentajes.

	COTA MAS BAJA (msnm)	COTA MAS ALTA (msnm)	AREA PARCIAL (KM2) (SI)	ALT. MEDIA DE CADA ÁREA PARCIAL (HI) (msnm)	(SI*HI)	AREAS ACUM.	AREAS QUE QUEDAN SOBRE ALT.	% DEL TOTAL	% TOTAL QUE QUEDA SOBRE LA ALT.
1	50	500	296.5	275	81537.5	296.5	544.96	35.24	64.76
2	500	1000	169.46	750	127095	465.96	375.50	20.14	44.62
3	1000	1500	127.3	1250	159125	593.26	248.20	15.13	29.50
4	1500	2000	94.55	1750	165462.5	687.81	153.65	11.24	18.26
5	2000	2500	61.58	2250	138555	749.39	92.07	7.32	10.94
6	2500	3000	41.28	2750	113520	790.67	50.79	4.91	6.04
7	3000	3500	26.23	3250	85247.5	816.9	24.56	3.12	2.92
8	3500	4000	17.07	3750	64012.5	833.97	7.49	2.03	0.89
9	4000	4500	7.24	4250	30770	841.21	0.25	0.86	0.03
10	4500	4600	0.25	4550	1137.5	841.46	0.00	0.03	0.00
			841.46		966462.5			100.00	

Fuente: Elaboración propia.

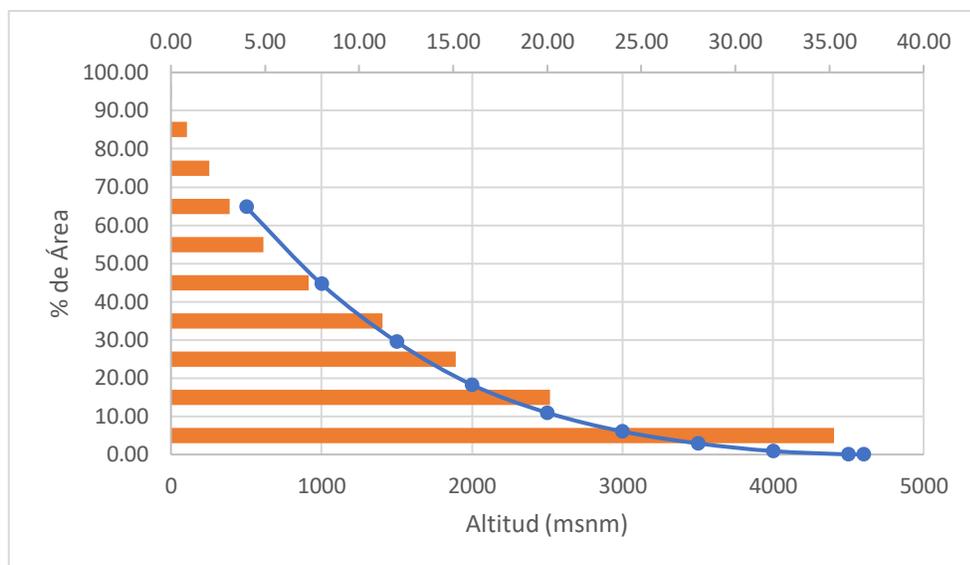


Figura N°31: Polígono de frecuencia y curva hipsométrica.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.7. Sistema de drenaje de la Cuenca

### 5.7.1. Cálculo de orden de corrientes

El orden de las corrientes proporciona el grado de bifurcación que tiene la cuenca, en la presente investigación el criterio se basa en el modelo de Strahler, donde se le debe asignar un número a cada uno de los cauces tributarios desde la parte inicial de la línea divisora de aguas hasta llegar a su cauce principal o quebradas de forma que el número final nos brinde la orden de la red de drenaje de toda la cuenca (Figura N° 32).

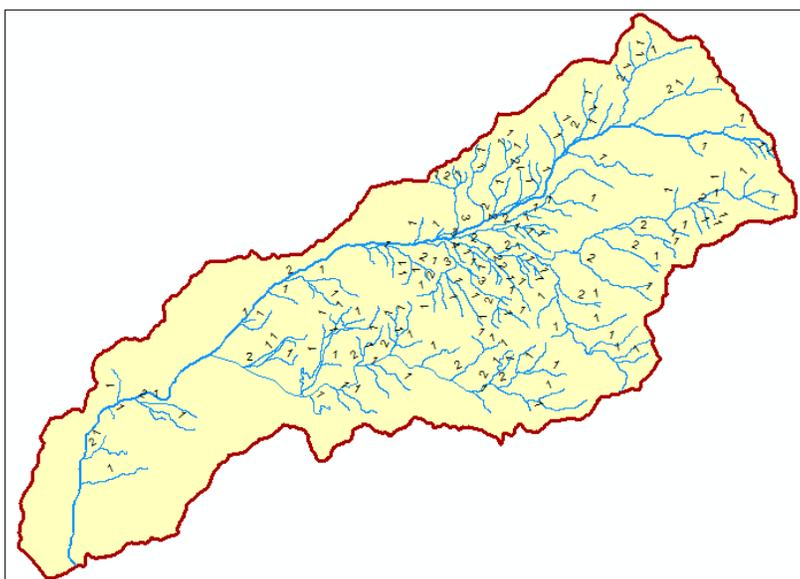


Figura N°32: Orden de las corrientes.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

#### 5.7.2. Cálculo de la longitud de la orden de corrientes

Para el cálculo de las longitudes de los tributarios, se procedió usar la calculadora digital del programa obteniendo la sumatoria de cada tributario según su número de orden (Tabla N° 6).

Tabla N° 6: Cálculos de longitudes de la orden de ríos.

	ORDEN DE RIO	LONGITUD (Km)
ORDEN 1	142	312.4
ORDEN 2	41	119.1
ORDEN 3	12	78.7
ORDEN 4	4	11.9
ORDEN 5	1	20.7
	200	542.8

Fuente: Elaboración propia.

### 5.7.3. Cálculo de parámetros de drenaje

h. Densidad de drenaje:

$$Dd = \frac{\text{Largo total de cursos de agua}}{\text{Área de la cuenca}}$$

i. Extensión media de escurrimiento:

$$Es = \frac{\text{Área de la cuenca}}{(4 * \text{largo total de cursos de agua})}$$

j. Frecuencia de ríos:

$$Fr = \frac{\sum \text{orden de todos los cauces}}{\text{Área de la cuenca}}$$

k. Pendiente media del río principal:

$$Pm = \frac{\text{Cota más alta} - \text{Cota más baja}}{(1000 / \text{Long. río principal})}$$

l. Coeficiente de torrencialidad:

$$Ct = \frac{\text{Nº corrientes de orden 1}}{\text{Área de la cuenca}}$$

m. Coeficiente de masividad:

$$Cm = \frac{\text{Altitud media de la cuenca}}{\text{Área de la cuenca}}$$

Tabla N° 7: Parámetros de drenaje.

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE DRENAJE			
1	DENSIDAD DE DRENAJE	0.65	km/km <sup>2</sup>
2	EXTENSIÓN MEDIA ESCURRIM.	0.40	km
3	FRECUENCIA DE RIOS	0.24	causes/km <sup>2</sup>
4	PEND. MEDIA DE RIO PRINC.	0.07	%
5	COEFICIENTE DE TORRENCIALIDAD	0.17	ríos1/km <sup>2</sup>
6	COEFICIENTE DE MASIVIDAD	1.36	m/km <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.8. Precipitación y Temperatura

Las estaciones pluviométricas en la cuenca del río Lacramarca no operan desde hace un buen tiempo, por lo que, la información recolectada es gracias a estudios en zonas aledañas, dando un marco referencial sobre la situación actual.

En la presente investigación para tener datos de las estaciones meteorológicas se tomó como fuente el estudio de pre-inversión del proyecto “Adecuación del proyecto original Chinecas al esquema reestructurado” elaborado en el año 2010 basadas en las cuencas de los ríos Santa, Lacramarca Nepeña y Casma, también contaremos con datos recopilados del ANA del estudio de evaluación de recursos hídricos en la cuenca Casma en el año 2015.

Tabla N° 8: Estación meteorológica Santa.

		Cuenca: Santa - Altura: 30 msnm - Periodo: 1964-1970												Promedio
Santa		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	o total
Temp. Máx.	°C	30.4	33.3	33.0	32.1	30.4	28.0	24.7	26.8	26.4	27.0	27.9	30.1	29.2
Temp. Med.	°C	23.0	23.8	24.4	23.2	21.3	19.8	18.7	18.7	19.4	19.7	21.6	21.6	21.3
Temp. Mín.	°C	15.5	16.5	16.6	13.6	12.6	12.2	11.9	12.4	13.4	13.6	13.7	13.7	13.8
Precipitación	mm/a	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03
Humedad rel.	%	80.0	79.0	80.0	80.0	81.0	82.0	83.0	83.0	81.0	79.0	81.0	81.0	80.8
Evaporación	mm/a	96.3	88.7	93.6	71.7	69.8	63.2	57.2	64.6	70.1	76.9	75.1	82.9	910.1

Fuente: Estudio de Pre-Inversión a Nivel de Perfil del Proyecto: “Adecuación del Proyecto Original Chincas al Esquema Reestructurado”

Tabla N° 9: Estación meteorológica La Rinconada.

		Cuenca: Santa - Altura: 80 msnm - Periodo: 1955-1961												Promedio
La Rinconada		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	o total
Temp. Máx.	°C	31.3	32.6	32.5	32.4	30.9	28.0	26.6	26.0	25.3	27.1	27.0	29.3	29.1
Temp. Med.	°C	24.4	25.7	26.3	24.8	22.9	21.0	20.0	19.4	19.7	20.6	21.1	23.0	22.4
Temp. Mín.	°C	17.1	18.3	18.8	17.0	15.7	15.0	13.3	12.8	14.1	14.4	15.5	16.7	15.7
Precipitación	mm	0.6	0.4	0.4	0.2	0.6	0.3	1.0	1.2	0.2	0.0	0.1	0.2	5.20
Humedad rel.	%	69.0	70.0	70.0	72.0	74.0	77.0	79.0	77.0	75.0	73.0	72.0	69.0	73.1
Evaporación	mm	98.0	101.0	103.0	98.0	79.0	62.0	56.0	58.0	62.0	71.0	81.0	95.0	964.0
Horas sol	h	259	209	238	223	198	178	173	146	187	212	231	255	2509.0

Fuente: Estudio de Pre-Inversión a Nivel de Perfil del Proyecto: “Adecuación del Proyecto Original Chincas al Esquema Reestructurado”

Tabla N° 10: Estación meteorológica Puerto Chimbote.

Puerto Chimbote		Cuenca: Lacramarca - Altura: 4 msnm - Periodo: 1954-1960												Promedio o total
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	
Temp. Máx.	°C	25.9	26.6	26.5	25.9	25.4	24.5	23.6	22.6	19.7	20.8	21.8	24.2	24.0
Temp. Med.	°C	21.4	22.9	22.7	21.2	20.8	19.1	18.8	17.7	17.1	17.5	18.4	22.2	20.0
Temp. Mín.	°C	16.8	17.4	18.0	16.7	15.6	15.7	15.3	14.8	14.8	14.9	15.4	16.3	16.0
Precipitación	mm	3.0	1.4	2.9	1.0	0.9	0.4	3.8	2.9	2.5	2.7	0.0	0.7	22.2
Humedad rel.	%	94.0	94.0	95.0	92.0	95.0	97.0	94.0	94.0	94.0	91.0	90.0	92.0	93.5
Horas sol	h	199	173	187	162	155	98	92	96	107	143	195	213	1820

Fuente: Estudio de Pre-Inversión a Nivel de Perfil del Proyecto: “Adecuación del Proyecto Original Chincas al Esquema Reestructurado”

Tabla N° 11: Estación meteorológica San Jacinto.

San Jacinto		Cuenca: Nepeña - Altura: 283 msnm - Periodo: 1956-1963												Promedio o total
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	
Temp. Máx.	°C	31.6	31.7	30.9	29.5	28.3	24.4	24.4	24.3	25.6	25.9	27.0	29.5	27.8
Temp. Med.	°C	23.9	25.0	24.4	22.4	20.6	18.4	18.4	18.2	18.2	19.3	19.6	21.3	20.8
Temp. Mín.	°C	16.1	19.1	18.5	16.3	14.7	12.7	13.3	13.0	12.4	12.8	12.6	12.9	14.5
Precipitación	mm	4.2	1.0	2.2	1.2	0.1	0.5	0.4	0.2	0.2	0.4	0.0	0.8	11.2
Humedad rel.	%	64.0	65.0	67.0	67.0	70.0	71.0	71.0	69.0	68.0	66.0	65.0	65.0	67.3
Evaporación	mm	83.7	77.2	80.3	65.9	50.2	38.2	38.2	39.1	44.6	53.9	64.1	77.7	713.1
Horas sol	h	218	168	189	221	202	179	155	179	194	228	250	241	2424

Fuente: Estudio de Pre-Inversión a Nivel de Perfil del Proyecto: “Adecuación del Proyecto Original Chincas al Esquema Reestructurado”

Tabla N° 12: Estación meteorológica Buenavista.

		Cuenca: Casma - Altura: 419 msnm - Periodo: 1966-2008												Promedio
Buenavista		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	o total
Temp. Máx.	°C	31.3	32.2	32.0	30.4	27.7	25.5	24.5	24.8	25.8	26.8	27.8	29.6	28.2
Temp. Med.	°C	25.0	25.9	25.8	24.3	21.8	19.4	18.5	19.1	20.0	20.5	21.1	23.2	22.1
Temp. Mín.	°C	18.9	19.6	19.0	16.6	14.1	12.6	12.4	13.5	13.5	13.9	13.9	15.9	15.3
Humedad rel.	%	74.3	72.6	72.7	75.9	81.5	81.1	80.8	79.3	77.8	74.5	74.5	88.0	77.8
Horas sol	h	164	154	177	153	115	82.9	81.8	96.1	96.8	112	116	148	1496.6

Fuente: Estudio de Pre-Inversión a Nivel de Perfil del Proyecto: “Adecuación del Proyecto Original Chincas al Esquema Reestructurado”

Tabla N° 13: Estación meteorológica Paraicoto.

		Cuenca: Casma - Altura: 1260 msnm - Periodo: 2004-2013												Promedio
Paraicoto		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	o total
Temp. Máx.	°C	26.2	26.3	26.6	26.8	26.1	25.9	25.3	25.7	25.9	26.2	26.1	26.2	26.1
Temp. Med.	°C	20.1	20.2	20.9	20.6	19.5	19.1	18.6	18.7	19.2	19.6	19.7	19.7	19.7
Temp. Mín.	°C	13.6	14.2	14.4	14.0	12.9	11.8	11.7	11.8	12.6	12.9	13.4	13.2	13.0
Precipitación	mm	27.2	44.4	35.1	11.7	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.3	4.6	9.9	139.2

Fuente: Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Casma – ANA 2015

Tabla N° 14: Estación meteorológica Cajamarquilla.

Cajamarquilla		Cuenca: Casma - Altura: 3325 msnm - Periodo: 2004-2013											Promedio o total	
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.		Dic.
Temp. Máx.	°C	19.8	18.9	18.3	18.9	20.5	20.5	20.9	21.5	20.0	19.8	19.0	18.8	19.7
Temp. Med.	°C	14.1	13.8	13.4	14.4	15.8	14.7	14.5	15.0	14.0	13.5	13.8	14.1	14.3
Temp. Mín.	°C	9.4	9.0	8.9	9.5	9.5	8.6	8.4	8.3	8.0	8.6	8.5	8.3	8.8
Precipitación	mm	75.9	98.8	120.2	48.7	7.3	0.3	1.0	1.5	7.8	31.7	36.4	60.2	489.8

Fuente: Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Casma – ANA 2015

### 5.8.1. Modelo de precipitación

Con el modelo digital de elevación delimitado por nuestra cuenca anteriormente se procede a obtener un modelo de precipitación usando los datos de las precipitaciones en el programa ArcMap, se crean puntos o estaciones pluviométricas aleatorias dentro de la cuenca para extraer los valores de la precipitación en cada punto creado (Figura N° 33).

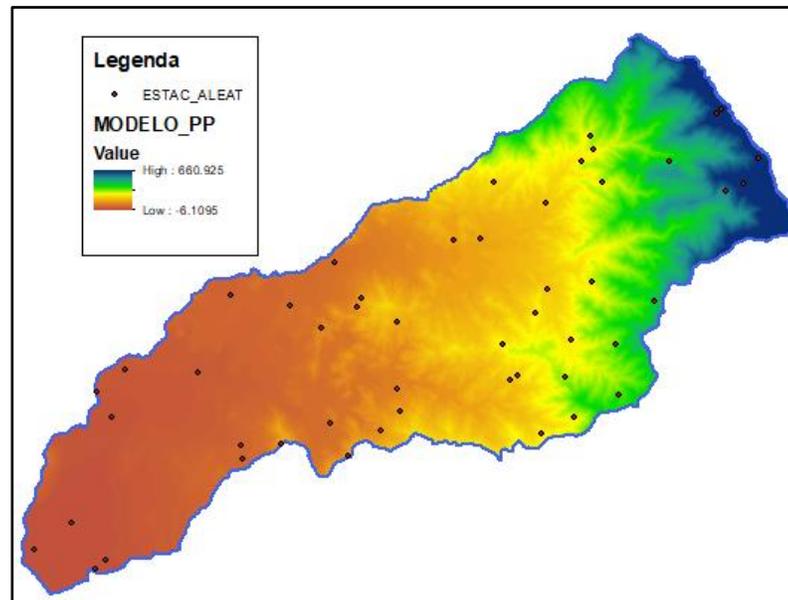


Figura N°33: Representación de la variación de las precipitaciones.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

### 5.8.2. Isoyetas

Las Isoyetas están representadas por líneas que unen puntos que presentan la misma precipitación por unidad de tiempo en un plano cartográfico, para su elaboración se usará el método de interpolación IDW mediante distancias inversas ponderadas determinando los valores de un conjunto de puntos, en este caso los puntos ya creados de estaciones pluviométricas aleatorias.

Finalmente usamos el método de interpolación Kriging que es un procedimiento geoestadístico generando una superficie estimada a partir de

puntos dispersos que contienen valores, estos datos de precipitación presentan una variación cada 25mm (Figura N° 34).

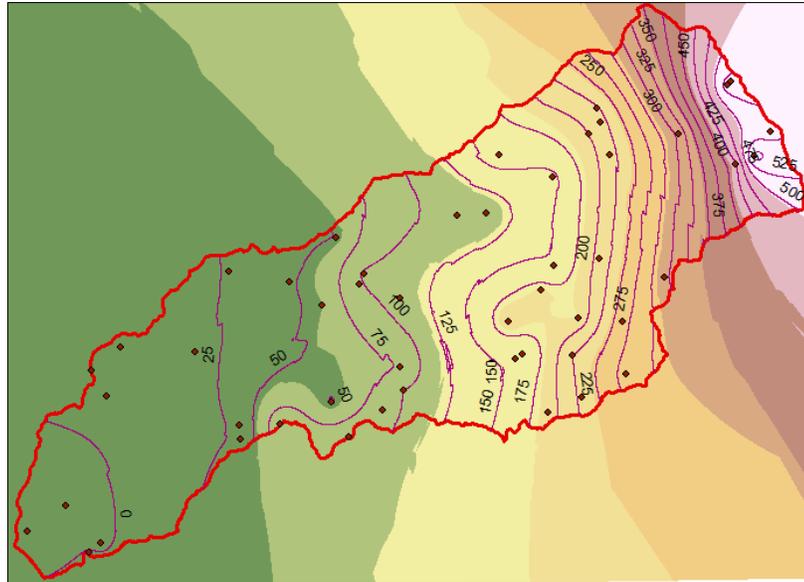


Figura N°34: Representación de las precipitaciones, Isoyetas cada 25 mm.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

### 5.8.3. Modelo de Temperatura

Se modela un ráster de temperatura usando la correlación entre la altitud y la temperatura tomando información de las tablas de estaciones meteorológicas vistas anteriormente, generando un modelo de temperatura según las elevaciones (Figura N° 35).



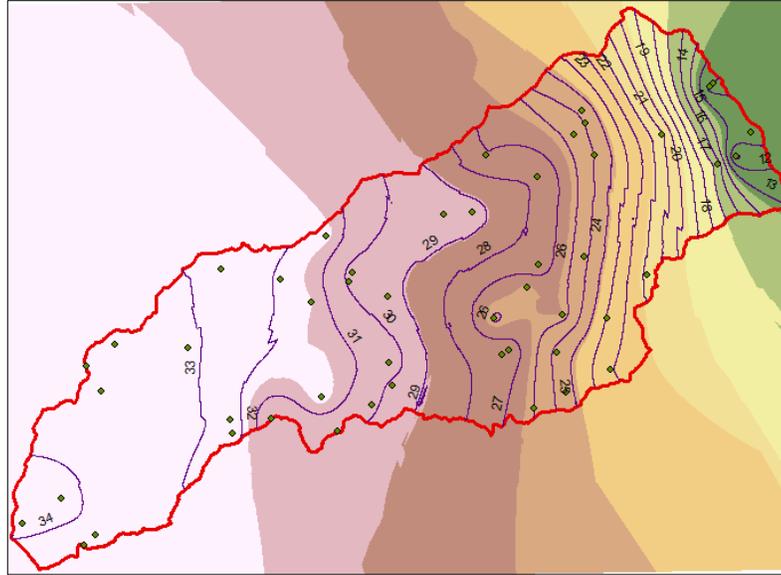


Figura N°36: Representación las temperaturas, Isotermas cada 1°C.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

## 5.9. Balance Hídrico

### 5.9.1. Modelo de Evapotranspiración

Para determinar la evapotranspiración potencial cargamos el modelo de elevación digital de precipitaciones y temperaturas, mediante la transformación del Mapa álgebra de la calculadora ráster se determina cuánta cantidad de agua se va a la atmosfera en forma de vapor y transpiración de las plantas expresada en mm por unidad de tiempo (Figura N° 37).

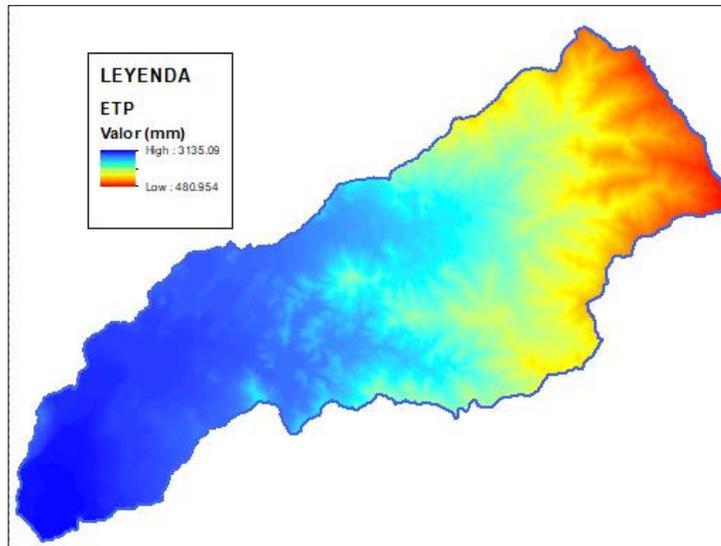


Figura N°37: Representación la evapotranspiración potencial.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Para determinar la evapotranspiración real mediante la transformación del Mapa álgebra de la calculadora ráster del modelo de precipitaciones se logra determinar la cantidad de agua que puede evapotranspirar dependiendo de la disponibilidad de agua expresada en mm por unidad de tiempo (Figura N° 38).

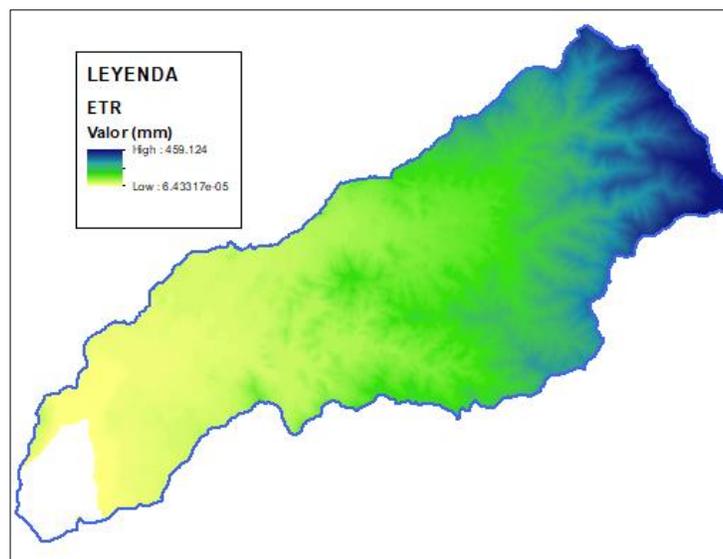


Figura N°38: Representación la evapotranspiración real.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

### 5.9.2. Balance hídrico – Escorrentía

Para determinar el agua que llega y cuánto de agua se va por la evapotranspiración real se aplica la calculadora ráster con la resta del modelo de precipitaciones y el modelo de ETR, generando la escorrentía, el agua que sale de la cuenca en  $m^3$  (Figura N° 39).

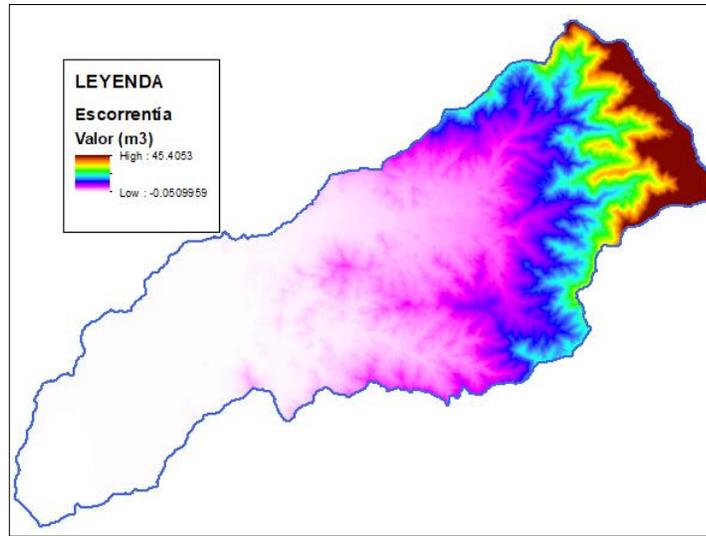


Figura N°39: Representación de la escorrentía.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Calculamos cuanto es el total de cantidad de agua en  $m^3$  que sale de la cuenca con la herramienta de tabla estadística, obteniendo una sumatoria total de agua que sale de la cuenca de 4.4689 mmm (Tabla N° 15).

Tabla N° 15: Resultados finales de SIG de la cuenca.

PARÁMETROS FINALES			
1	Área	802242000	m <sup>3</sup>
2	Escorr. Min	-0.050996	m <sup>3</sup>
3	Escorr. Máx.	45.405277	m <sup>3</sup>
5	Media	5.013427	m <sup>3</sup>
6	Desv. Estándar	7.510749	m <sup>3</sup>
7	Sum. Total	4468868.62	m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia.

### 5.10. Análisis de Erosión del Suelo

Para analizar y estimar la pérdida de suelo, usaremos el modelo de Renard y Foster con el método Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), la ecuación que usaremos es la siguiente:

$$A = R * k * LS * C * P$$

Donde:

- n. A: es el cálculo del promedio espacial y temporal de la pérdida de suelo por unidad de área (ton/ha/año).
- o. R: factor de erosividad de lluvia.
- p. K: factor de erodabilidad del suelo.
- q. LS: siendo “L” pérdida de suelo de la longitud de la pendiente y “S” que mide la pérdida de suelo de la inclinación de la pendiente.
- r. C: factor de cobertura vegetal.
- s. P: factor de conservación de apoyo de la pérdida de suelo.

#### 5.10.1. Cálculo de factores

Se procede a cargar el DEM de la cuenca y mediante el programa se crea un ráster de pendientes con el comando de superficies y pendientes para luego proceder a realizar la dirección y acumulación de flujo mediante la herramienta de Hydrology. Usamos el ráster calculator con los ráster obtenidos

anteriormente se procede a obtener el factor L, clasificado en 10 clases (Figura N° 40).

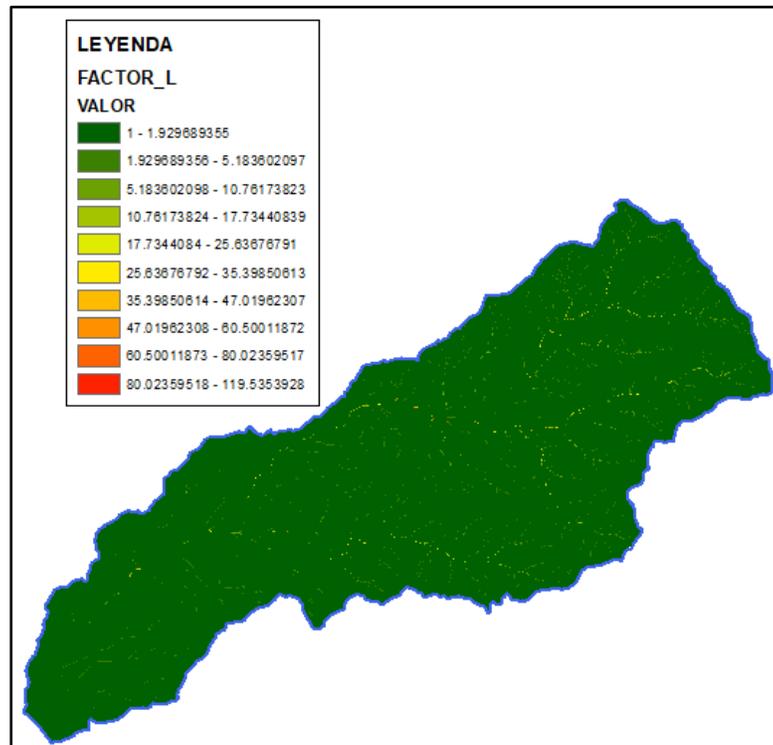


Figura N°40: Pérdida de suelo de la longitud de la pendiente.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Para hallar el factor “S” usamos el ráster calculator donde añadimos el ráster de pendientes, obteniendo también 10 clases (Figura N° 41).

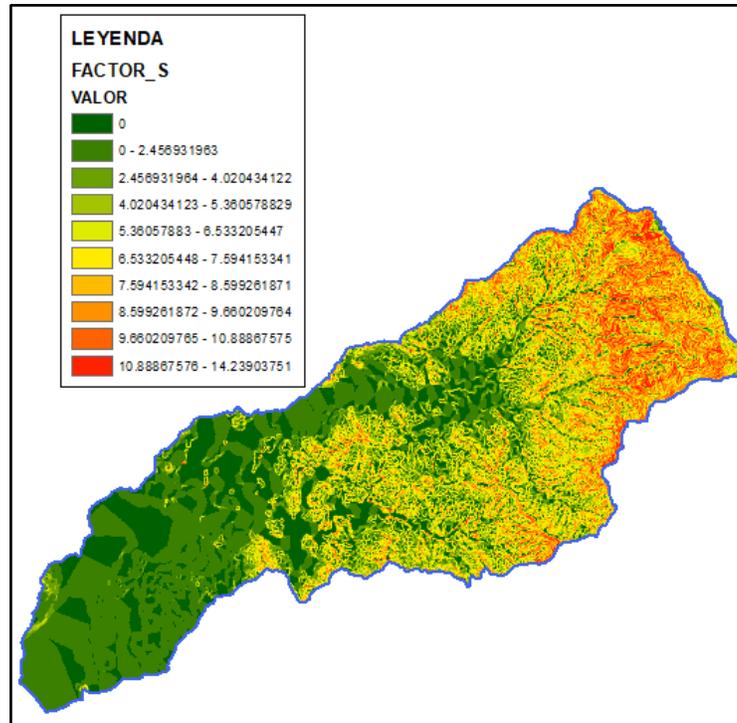


Figura N°41: Escarpado de la pendiente.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Se procede a calcular la multiplicación de los dos últimos factores generados para obtener el factor LS mediante la calculadora ráster (Figura N° 42).

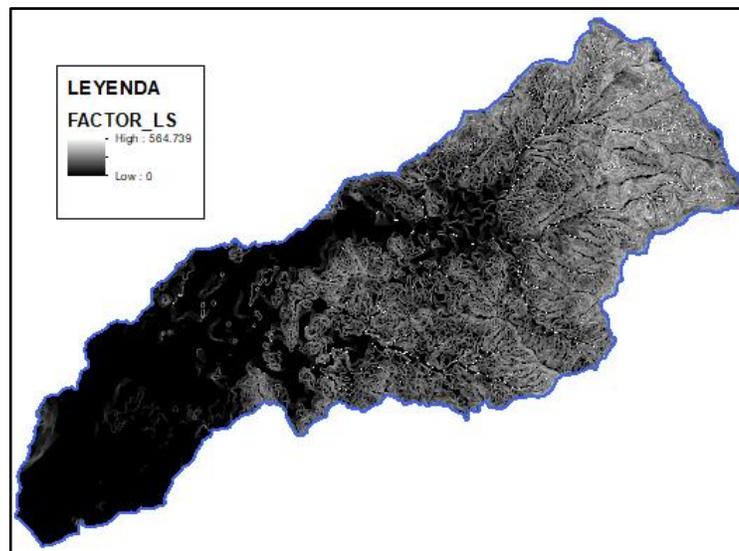


Figura N°42: Longitud y gradiente de la pendiente.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Para el factor R, se cargó el shape de estaciones aleatorias y se interpoló con el ráster de precipitaciones obteniendo un ráster de erosividad.

Para el factor K, se debe contar con muestras de tipo de suelo y permeabilidad, en este caso se tomaron 20 puntos de la zona de estudio ubicados mediante el Google Earth y de acuerdo con las ubicaciones de los puntos se toma su respectivo valor de erodabilidad. (Tabla 100).

Luego se procede a realizar una interpolación IDW con los datos de factores k para obtener un ráster de erodabilidad del suelo (Figura N° 43).

Tabla N° 16: Clasificación de suelos.

Unidades de suelo de acuerdo con la clasificación de Grupos de Suelos de Referencia (GSR)			Textura		
Cod	Tipo de Suelo	Breve descripción	Gruesa	Media	Fina
AC	Acrisoles	Muy ácido. Suelos fuertemente meteorizados con baja saturación con bases en alguna profundidad.	0.026	0.04	0.013
AL	Alisoles	Suelo con baja saturación con bases en alguna profundidad.	0.026	0.04	0.013
AN	Andosoles	Suelos negros de paisajes volcánicos, se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima.	0.026	0.04	0.013
AR	Arenosoles	En la zona seca hay poco desarrollo del perfil. Los Arenosoles en los trópicos perhúmedos desarrollan horizontes eluviales.	0.013	0.02	0.007
CL	Calcisoles	Suelos con sustancial acumulación de calcáreo secundario. Los Calcisoles típicos tienen un horizonte superficial pardo pálido.	0.053	0.079	0.026
CM	Cambisoles	Suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo evidentes por cambios en la estructura y color.	0.026	0.04	0.013
CH	Chernozem	Suelos negros ricos en materia orgánica. Horizonte superficial mólico pardo oscuro a negro.	0.013	0.02	0.007
DU	Durisoles	Suelos fuertemente meteorizados con una capa dura de sílice secundaria (horizonte petrodúrico)	0.053	0.079	0.026

		o nódulos de sílice secundaria (horizonte dúrico).			
FR	Ferralsoles	Suelos rojos y amarillos tropicales con alto contenido de sesquióxidos.	0.013	0.02	0.007
FL	Fluvisoles	Suelos desarrollados en depósitos aluviales. Perfiles con evidencia de estratificación; débil diferenciación de horizontes.	0.026	0.04	0.013
GL	Gleysoles	Suelos con signos claros de influencia del agua freática. Evidencia de procesos de reducción con segregación de compuestos de Fe.	0.026	0.04	0.013
GY	Gipsisoles	Suelos con acumulación de sulfato de calcio, con o sin carbonatos, concentrada en el subsuelo. Horizonte superficial de color claro.	0.053	0.02	0.007
HS	Histosoles	Suelos de turba y pantanos. La mineralización es lenta y la transformación de restos vegetales a través de la desintegración bioquímica crea una capa superficial de moho.	0.053	0.02	0.007
KS	Kastanozems	Suelos pardos oscuros ricos en materia orgánica. Los Kastanozems tienen un perfil similar a los Chernozems pero el horizonte superficial rico en humus es más delgado.	0.026	0.04	0.013
LP	Leptosoles	Suelos someros, finos. Los Leptosoles son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas.	0.013	0.02	0.007
LX	Lixisoles	Suelos con diferenciación pedogenética de arcilla (migración de arcilla) entre el suelo superficial con menor y el subsuelo con mayor contenido de arcilla.	0.013	0.02	0.007
LV	Luvisoles	Diferenciación pedogénica del contenido de arcilla.	0.026	0.04	0.013
NT	Nitisoles	Suelos tropicales rojos, profundos, bien drenados con un horizonte subsuperficial arcilloso nítico que tiene elementos estructurales de bordes planos o nuciformes.	0.013	0.02	0.007

PH	Phaeozems	Suelos ricos en materia orgánica. Los Phaeozems son muy parecidos a Chernozems y Kastanozems pero están más intensamente lixiviados.	0.013	0.02	0.007
PL	Planosoles	Suelos con un horizonte superficial de textura gruesa abruptamente sobre un subsuelo denso y de textura más fina, típicamente en tierras planas.	0.053	0.079	0.026
PT	Plintosoles	Fuerte meteorización con segregación subsecuente de plintita a la profundidad de fluctuación del agua freática o drenaje superficial impedido.	0.026	0.04	0.013
PZ	Podzoles	Suelos con un horizonte iluvial spódico debajo de un horizonte subsuperficial con apariencia de ceniza y cubierta por una capa orgánica.	0.053	0.079	0.026
RG	Regosoles	Suelos débilmente desarrollados en material no consolidado, que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no son muy someros.	0.026	0.04	0.013
LX	Solonchaks	Suelos salinos. Desde débil a fuertemente meteorizados, muchos Solonchaks tienen un patrón de color gléyico a cierta profundidad.	0.053	0.04	0.013
LV	Solonetz	Suelos con alto contenido de Na y/o Mg intercambiables.	0.053	0.079	0.026
UM	Umbrisoles	Suelo superficial oscuro. Horizonte superficial úmbrico o cámbico con baja saturación de bases.	0.026	0.04	0.013
VR	Vertisoles	Suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expansibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas cuando se secan.	0.053	0.079	0.026

Fuente: Atlas de erosión de suelo por regiones Hidrológicas del Perú, Senamhi.

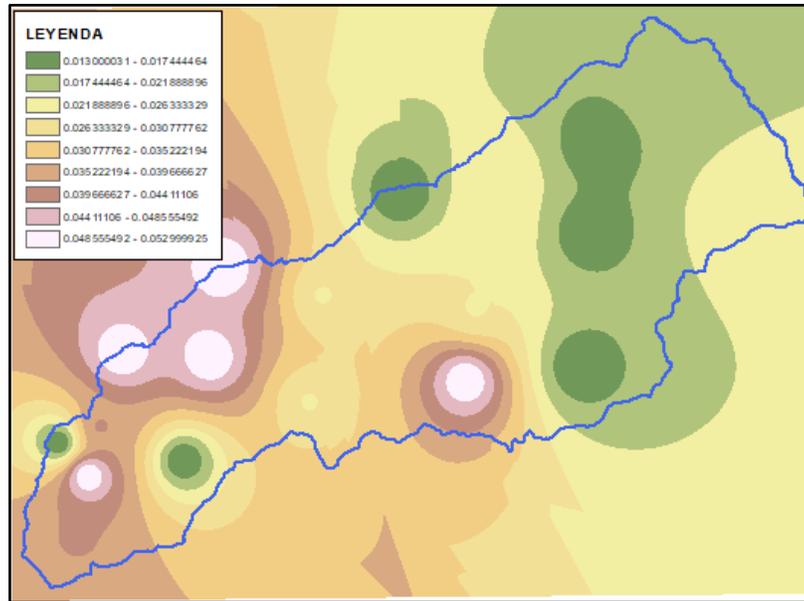


Figura N°43: Erodabilidad del suelo expresado en (ton/ha/año).

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Para determinar el factor C, se obtuvo un shape del geoservidor del Ministerio del Ambiente clasificando al terreno en diferentes tipos. Se le añadió el factor correspondiente según el tipo de cobertura vegetal (Tabla 100).

Mediante la herramienta de conversión de polígono a ráster, se cargó el shape de suelos y se obtiene un ráster de factor C (Figura N° 44).

Tabla N° 17: Valores de cobertura vegetal.

Código	Tipo	Contenido	Factor C
10	Tierra	Las tierras utilizadas para la agricultura, horticultura y jardines	0.63
20	Bosque	Tierras cubiertas de árboles, con	0.003
30	Pradera	cubierta vegetal más del 30% Terrenos cubiertos de césped natural con una cubierta más del 10%	0.09

40	Matorral	Tierras cubiertas de arbustos con una cubierta de más del 30%	0.22
50	Humedal	Tierras cubiertas de plantas de humedales y cuerpos de agua	0
60	Cuerpos de	Las masas de agua en la superficie terrestre	0
70	Tundra	Hierbas y arbustos en las regiones polares	-
80	Superficies Artificiales	Tierras modificadas por las actividades humanas	0.09
90	Tierra	Tierras con cubierta vegetal inferior al 10%	0.5
100	Permanente	Tierras cubiertas por la nieve permanente, y la capa de hielo	0

Fuente: Atlas de erosión de suelo por regiones Hidrológicas del Perú, Senamhi.

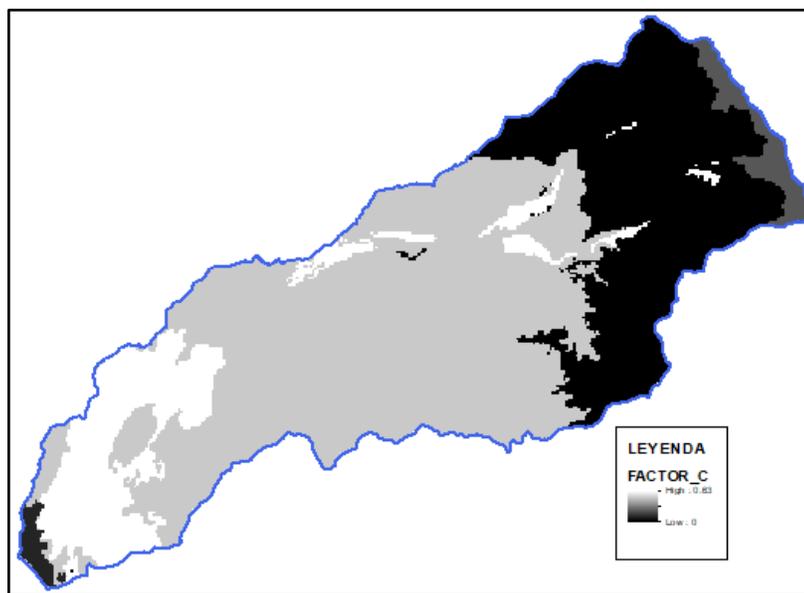


Figura N°44: Ráster del factor de cobertura vegetal.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

### 5.10.2. Cálculo de pérdida de suelo

Finalmente, para obtener el factor A, aplicamos la fórmula de RUSLE en el programa, multiplicando los ráster de los factores involucrados mencionados anteriormente, tomando en cuenta el factor  $p = 1$ , ya que cuantifica el impacto de las prácticas de protección contra la erosión considerando que no existen obras de protección dentro de la cuenca, el resultado nos muestra 5 clases de pérdida expresada en toneladas por hectáreas por año.

Se compararon los resultados obtenidos de erosión de suelos del programa con los resultados obtenidos por método indirecto para diferentes áreas de la cuenca del río Lacramarca, tomando como variante la estimación del factor de erosividad de la lluvia.

Para obtener el factor “R” como muestra la ecuación universal, es necesario contar con estaciones climatológicas en el área de estudio o muy cerca, tener un registro de intensidades y tiempos de lluvias por eventos o para un año en específico.

Se estima el método del factor “R”.

Método recomendado por FAO (1979) con la ecuación de Fournier:

$$R = \sum \frac{P^2}{P}$$

Donde:

R = índice de Fournier.

$P^2$  = precipitación media mensual

P = Precipitación media anual.

Considerando el factor  $P = 1$  ya que cuantifica el impacto de las prácticas de protección contra la erosión y considerando que no presenta obras de protección dentro de la cuenca del río Lacramarca, se obtuvieron los siguientes resultados por tramos:

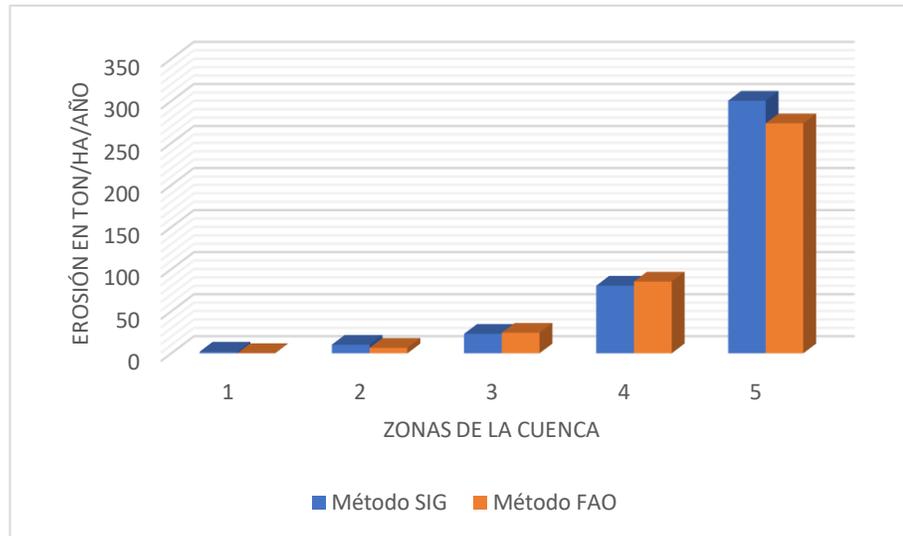


Figura N°45: Erosión del suelo por zonas de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia.

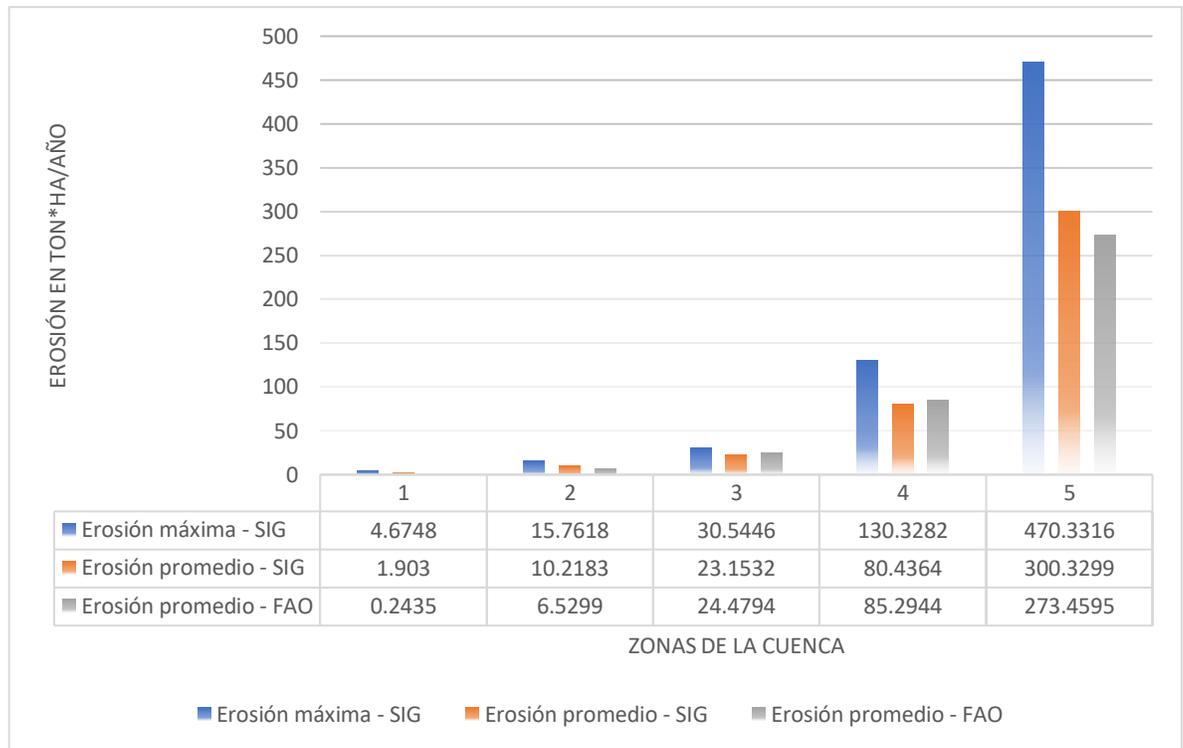


Figura N°46: Erosión del suelo.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.11. ¿Dónde comenzar enfoque integrado?

El enfoque integrado empieza con planes a nivel local, luego se procede a tener un nivel de implementación de la gestión y finalmente un nivel de políticas y leyes de los recursos hídricos.

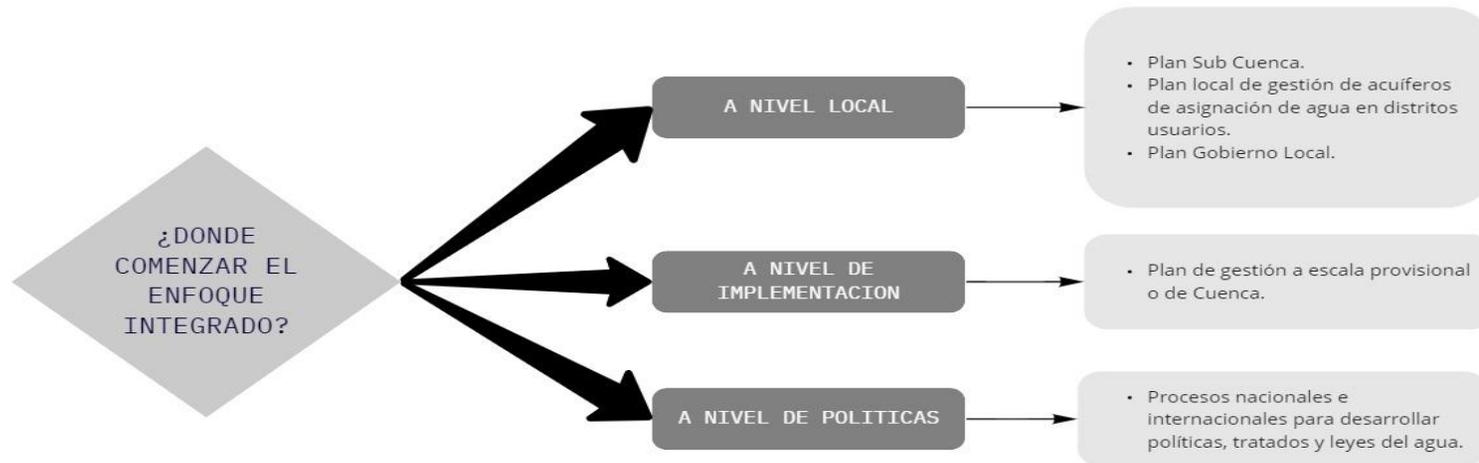


Figura N°47: Diagrama de flujo para el inicio del enfoque integrado en cuencas.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.12. Aspectos clave y leyes políticas para el manejo de cuencas

Los aspectos clave para una creación de la gestión de las cuencas es tener voluntad y compromiso de las entidades superiores, los organismos encargados de velar por el desarrollo sostenible del recurso hídrico, indicando funciones, roles y toma de decisiones.

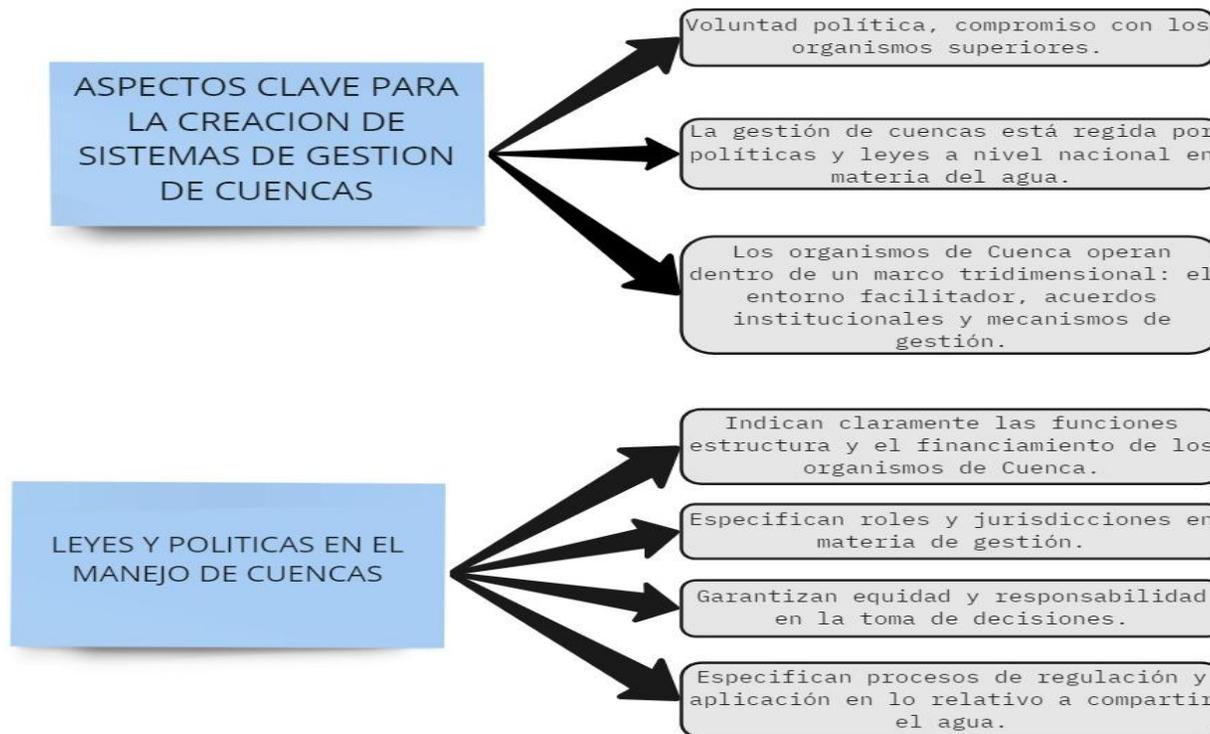


Figura N°48: Diagrama de flujo de Aspectos clave para la gestión de cuencas.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.13. Marco para la gestión del agua

Para el marco de la gestión de agua se toman tres principios: las leyes y políticas que asumirán como piezas claves, los roles y responsabilidades que serán derivados de coordinaciones y una gestión del recurso hídrico.

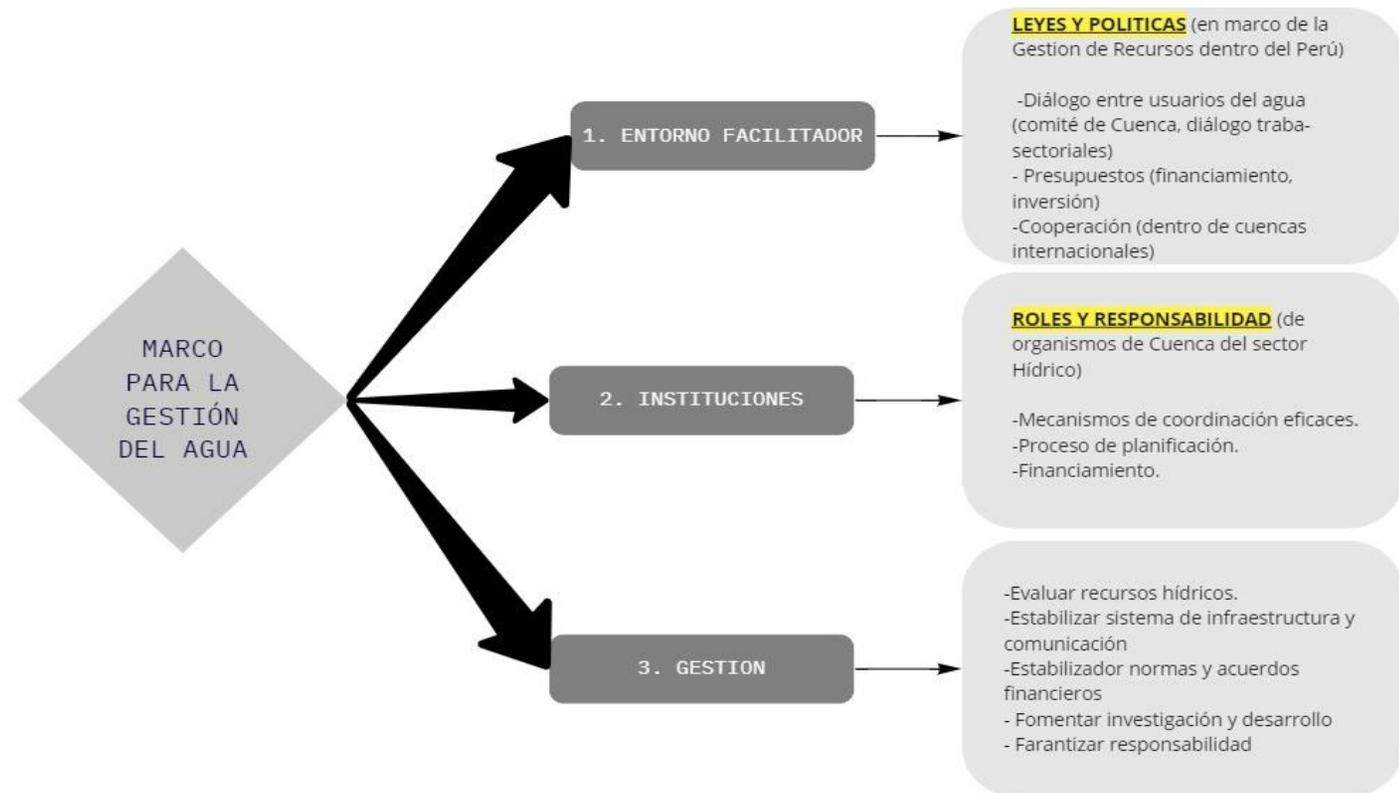


Figura N°49: Diagrama de flujo de marco para la gestión del agua.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.14. Planificación estratégica a largo plazo

En la planificación a largo plazo se tornan a una estrategia de cuencas donde cuentan con un plan estratégico y los puntos clave para una exitosa estrategia.

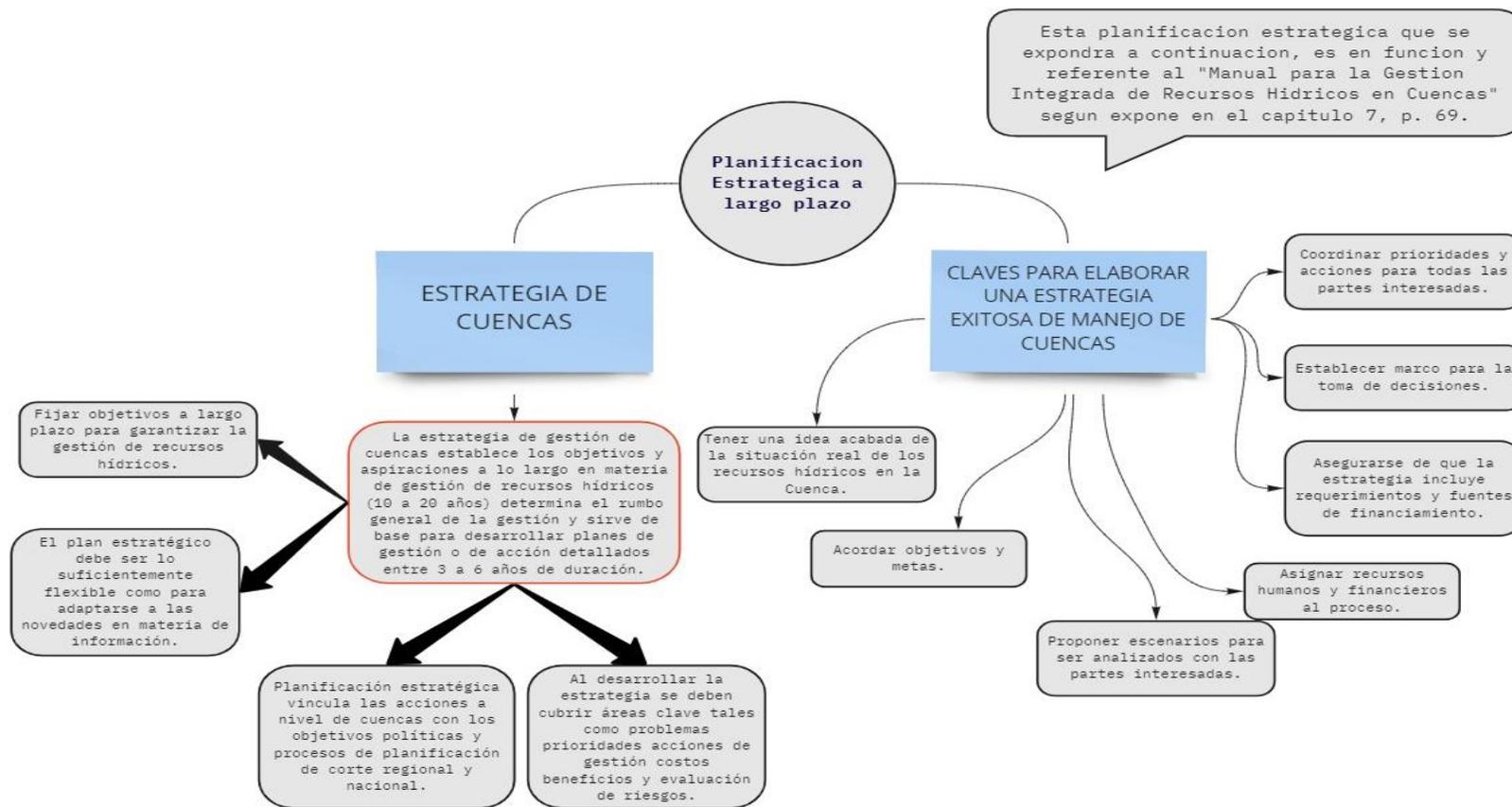


Figura N°50: Diagrama de flujo para la planificación estratégica.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.15. Leyes y políticas con enfoque a la gestión del agua

En base al reglamento de la ley N°29338 de recursos hídricos se tomó las siguientes leyes con enfoque a la cuenca en estudio.

### 5.15.1. Disposiciones generales

Artículo 2°. Dominio de las aguas.

El agua está constituida como un patrimonio de la Nación, no hay propiedad privada sobre el agua, es un bien de uso público.

Artículo 3°. Fuentes naturales de agua y los bienes naturales asociados al agua. Todos los bienes y fuentes asociados al agua son de uso público, nadie puede adquirir ningún derecho sobre ello.

### 5.15.2. Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos

Artículo 8°. Finalidad del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos.

La finalidad del sistema nacional de gestión de recursos hídricos es el aprovechamiento sostenible del agua con participaciones multisectoriales.

### 5.15.3. Los Consejos de Recursos Hídricos de la Cuenca

Artículo 24°. Creación de los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca

Se crean por decreto supremo los consejos de recursos hídricos de cuencas que son órganos de la Autoridad Nacional del Agua.

Artículo 26°. Composición del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca

El Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca tendrá la siguiente composición: Un representante de la Autoridad Nacional del Agua, un representante de cada gobierno regional, un representante de los gobiernos locales por cada ámbito de gobierno regional, un representante de las organizaciones de usuarios de agua con fines agrarios por cada ámbito de gobierno regional, un representante de las organizaciones de usuarios de agua con fines no agrarios por cada ámbito de gobierno regional, un representante de los colegios profesionales

por cada ámbito de gobierno regional, un representante de las universidades por cada ámbito de gobierno regional.

Artículo 31°. Funciones de los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca

Las funciones de consejo de recursos hídricos de la cuenca es una participación en la gestión integrada de la misma en conjunto con un plan nacional de recursos hídricos.

#### 5.15.4. De los Operadores de Infraestructura Hidráulica Pública

Artículo 33°. Los operadores de infraestructura hidráulica pública

Las entidades público y privadas que prestan sus servicios de regulación, mantenimiento, distribución o abastecimiento de agua en conjunto con el reglamento de Operadores de Infraestructura Hidráulica aprobado por el ANA.

#### 5.15.5. Uso de Recursos Hídricos

Artículo 54°. Condiciones para otorgar el uso de las aguas

Estará relacionado a las necesidades, destino y disponibilidad del agua.

#### 5.15.6. Uso Primario del Agua

Artículo 56°. Uso primario del agua

Es libre y gratuito, no requiere de autorización de uso de agua mientras se encuentren en sus fuentes naturales.

Artículo 60°. Uso poblacional del agua en los planes de gestión de los recursos hídricos en la cuenca.

Realizar un estudio poblacional o censo de la provincia del Santa, distrito de Chimbote para considerar el planteo de estrategias enfocadas a la dotación del agua satisfaciendo las necesidades de la población.

#### 5.15.7. Derechos de uso de agua de las comunidades campesinas y nativas.

Artículo 90°.- Derecho de uso de agua de las comunidades campesinas y comunidades nativas.

Todas las comunidades aprovecharán y usarán el agua que discurre sobre sus tierras o sobre la cuenca, haciendo uso responsable con fines económicos, agricultura y ganadería.

#### 5.15.8. Protección del Agua

Artículo 103°. Protección del agua.

Todas las comunidades campesinas y nativas en conjunto con la Autoridad Nacional del Agua y el Ministerio del Ambiente deben plantear normas, acciones y actividades para mantener o mejorar la calidad y cantidad de la fuente de agua

Artículo 123°. Acciones para la prevención y el control de la contaminación de los cuerpos de agua.

La Autoridad Nacional del Agua en conjunto con los representantes designados del consejo de recursos hídricos de la cuenca deberán tomar control, supervisión y sanción asegurando el recurso. Se tendrá un monitoreo constante para evitar los vertimientos de desechos de las minerías y contaminantes ejerciendo una sanción económica y prohibición de uso del recurso hídrico para aquellos que no cumplan las normas establecidas.

#### 5.15.9. Prevención ante efectos de cambio Climático

Artículo 172°. Del Programa Nacional de Adaptación al Cambio Climático.

Se realizará estudios y monitoreo del clima, analizando las alteraciones en el recurso para plantear estrategias de aprovechamiento sostenible del agua, obteniendo un registro histórico y un control total en épocas de lluvias para abastecer a la población de manera continua en épocas de sequía.

Artículo 174°. De las estaciones hidrometeorológicas.

La Autoridad Nacional del Agua en conjunto con el Ministerio del Ambiente, coordinarán con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología para mejorar la red hidrometeorológica que no se tiene actualmente en la cuenca, así tener un estudio actualizado con un manejo y monitoreo del agua teniendo

en cuenta los efectos del cambio climático, previniendo desastres naturales y evitando desabastecer a la población.

#### 5.15.10. Planificación de los Recursos Hídricos

Artículo 193°. Objeto de la planificación de la gestión de recursos hídricos.

Se tiene por objeto el aprovechamiento sostenible del agua con participación de los usuarios que están involucrados tanto la población como la Autoridad Nacional del Agua, planificando y equilibrando la oferta y demanda organizando en la toma de decisiones que afecten la gestión del agua.

Promover el desarrollo local, regional y nacional con participación pública-privada tomando lineamientos orientados a alcanzar el desarrollo social, económico y ambiental del país.

#### 5.15.11. Estudios y Obras de Infraestructura Hidráulica

Artículo 210°. Proyectos de infraestructura hidráulica.

En el cauce de la cuenca del río Lacramarca en estudio, el caudal solo garantiza circulación en invierno, por lo que se realizarán proyectos de infraestructura hidráulica tales como obras de captación, conducción, regulación y abastecimiento del recurso hídrico.

Artículo 213°. Grandes Obras Hidráulicas.

Para el uso del recurso hídrico en épocas de sequía se debe considerar presas de embalses de regulación captando agua en épocas de lluvia y grandes caudales para abastecer a la población en tiempos de verano satisfaciendo las demandas.

Bocatomas, captaciones y conducciones de abastecimiento de agua, canales de riego, se tendrán en cuenta para tener un aprovechamiento sostenible del recurso.

Artículo 215°. Promoción de inversión privada.

El estado deberá promover la participación privada en concursos de proyectos y obras de infraestructura hidráulica, tanto en construcción como en supervisión y mantenimiento de dichas obras fortaleciendo lazos entre

gobiernos regionales y participación ciudadana, generando más puestos de empleos y turismo.

5.15.12. Encauzamiento de cursos de Agua y Defensa Ribereña

Artículo 223°. Obras de encauzamiento y defensa ribereñas.

Se plantea realizar estudios de inundación del río en estudio, para diferentes tiempos de retorno simulando el comportamiento del cauce, sus calados y las inundaciones que generan. En base a lo mencionado anteriormente, se debe diseñar defensas ribereñas para controlar y prevenir inundaciones mediante diques, enrocados o gaviones.

5.15.13. De las Infracciones y Sanciones

Artículo 276°. Responsabilidad civil y penal.

Las sanciones serán consecuencias del mal manejo o uso del agua como su desviación, vertimientos, residuos o dañar las obras de infraestructura hidráulica, para todos los involucrados se tomarán sanciones económicas y penales.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.16. Análisis de resultados de los parámetros geomorfológicos

Finalizando nuestros resultados en el ámbito de parámetros geomorfológicos, demostraron que la cuenca adopta según expone Villón (2002) adopta una forma muy alargada y muy poco achatada, debido a que nuestro factor de forma resultó siendo 0.17, esto indica que tiene menor probabilidad de recibir lluvias intensas, menor probabilidad de sufrir inundaciones, una moderada producción sostenible de caudal y un moderado potencial a crecientes; a su vez gracias al coeficiente de Gravelius el cual fue de 1.60, según Gaspari (2012) la cuenca se inclinó a ser de forma oval y es menos propensa a inundaciones, a su vez nos da observaciones sobre la escorrentía y la forma del hidrograma de las precipitaciones en la cuenca.

Según la caracterización de la variación del área de la cuenca respecto a la altura sobre el nivel del mar, representada en la curva hipsométrica, adoptó una forma “Tipo A” cóncava hacia arriba que, según expone Strahler, la cuenca estaría en su fase de vejez y pertenece a una cuenca sedimentaria.

La longitud del río principal, el cual fue la quebrada Lupahuari sumado al río Lacramarca, fue de 69.98 km, teniendo un área total de 841.47 km<sup>2</sup> y un perímetro de 165.50 km, resultado así una cuenca de gran extensión.

Teniendo también la cota más baja de la cuenca el cual es de 50 msnm y su máxima cota es de 4600 msnm, así mismo teniendo una altura media de 1148 msnm.

El área de la cuenca que se analizó fue de orden 5 según la clasificación de Horton (Campos,1992), el cual refiere que pertenecen los afluentes que reciben orden 5, tiene una cantidad considerable de bifurcaciones.

Obtuvimos también una densidad de drenaje de 0.65 km/km<sup>2</sup>, según exponen Junco (2004) y Delgadillo y Páez (2008) tiene como clasificación una baja densidad de drenaje, el cual refleja un área pobremente drenada y con una respuesta hidrológica muy lenta.

Teniendo también en la cuenca, la temperatura más baja registrada de 6.65°C y la más elevada registrada de 34.1°C.

### 5.17. Análisis de estimación del balance hídrico y erosión de suelos

En el total de cantidad de agua en  $m^3$  que sale de la cuenca con la herramienta de tabla estadística, obteniendo una sumatoria total de agua que sale de la cuenca de 4468868.62  $m^3$ . Se obtuvieron también 10 tipos diferentes de pendientes, siendo una máxima de 14.239% el cual significa que estamos sobre terreno escarpado.

Para obtener el factor A, se aplicó la fórmula de RUSLE en el programa, multiplicando los ráster de los factores involucrados mencionados anteriormente, tomando en cuenta el factor  $p = 1$ , el resultado nos muestra 5 clases de pérdida expresada en toneladas por hectáreas por año.

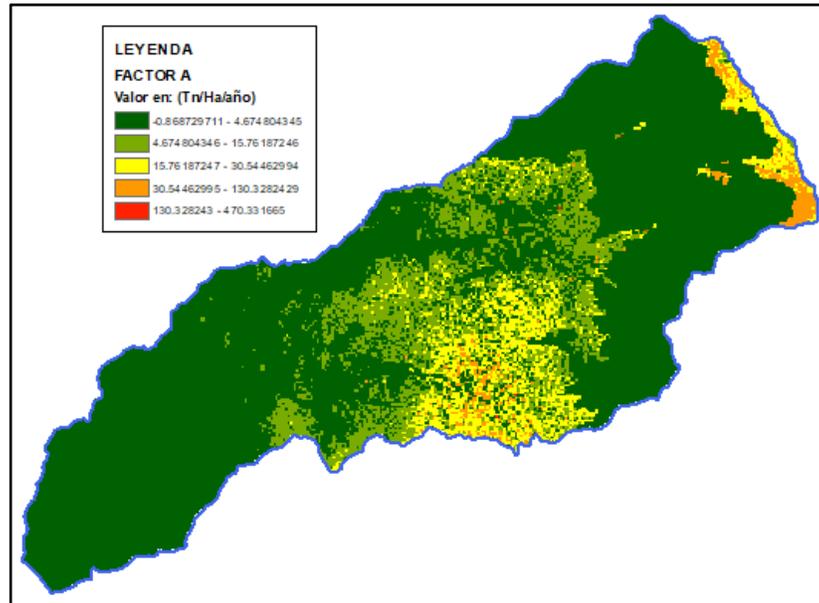


Figura N°51: Pérdida del suelo de la cuenca del río Lacramarca.

Fuente: Elaboración propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

## 5.18. Gestión de la Cantidad

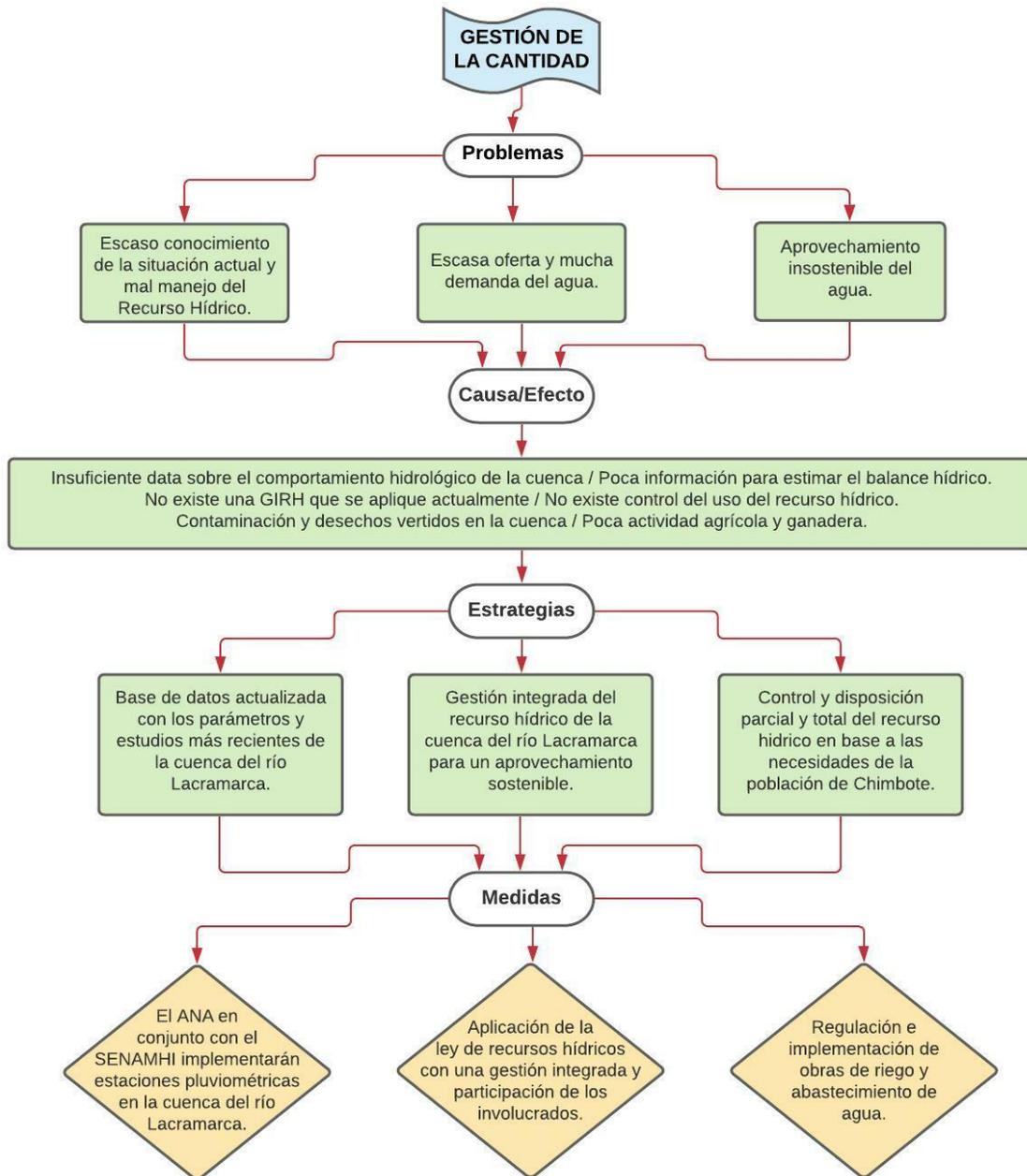


Figura N°52: Gestión de la Cantidad.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.19. Gestión de la Calidad

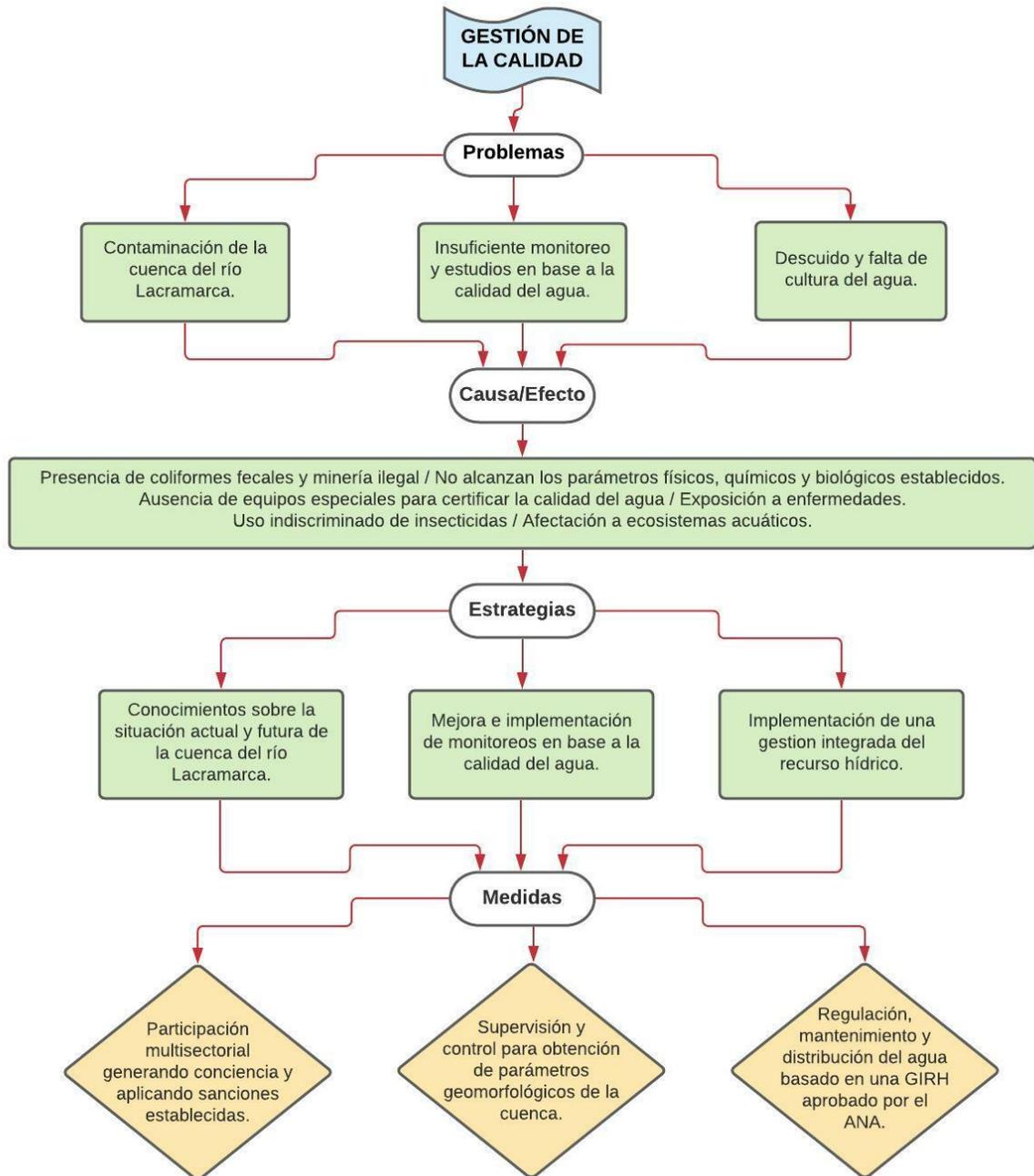


Figura N°53: Gestión de la Calidad.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.20. Adaptación al cambio climático y eventos extremos

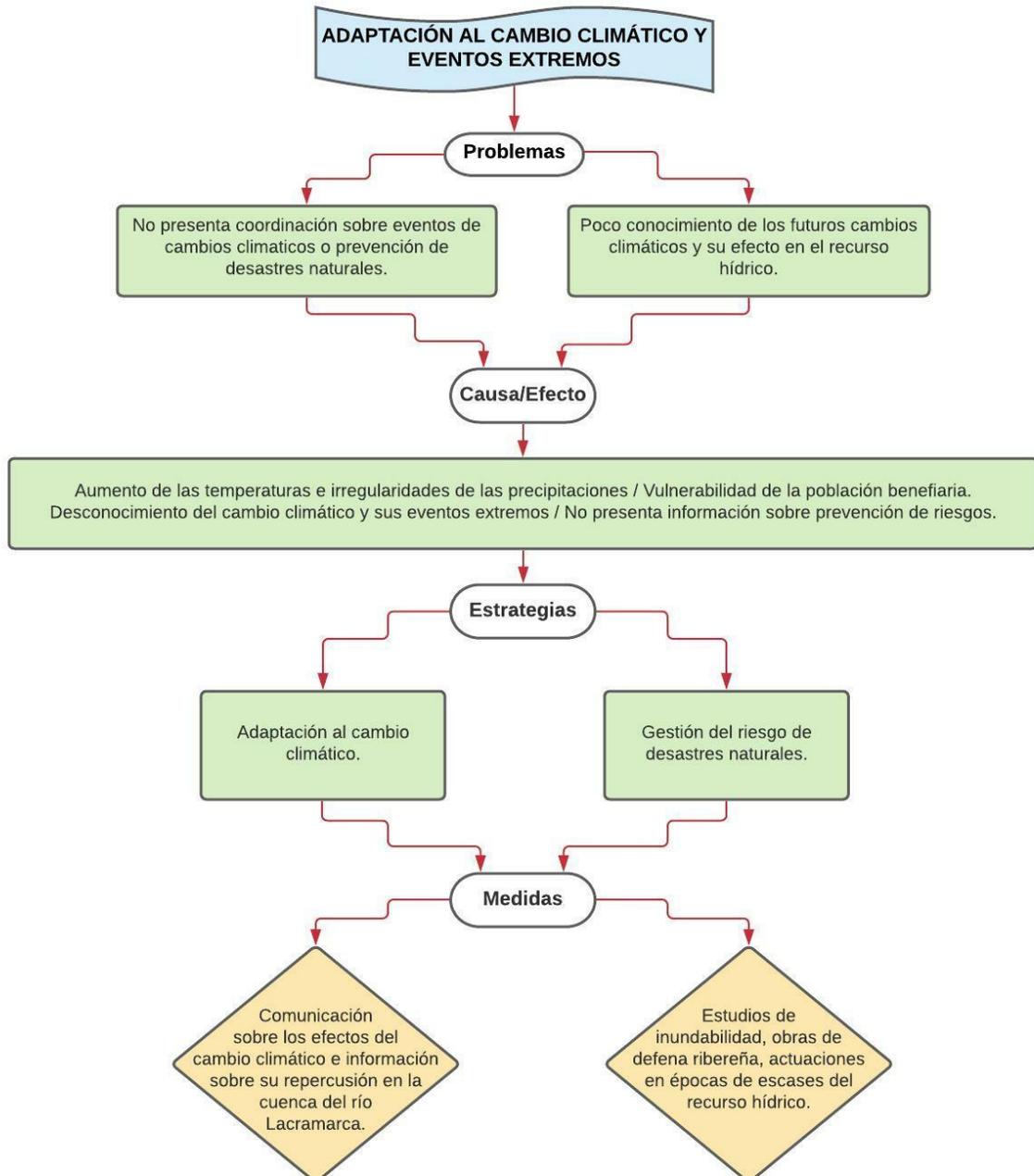


Figura N°54: Adaptación al cambio climático y eventos extremos.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.21. Gestión de la cultura del agua

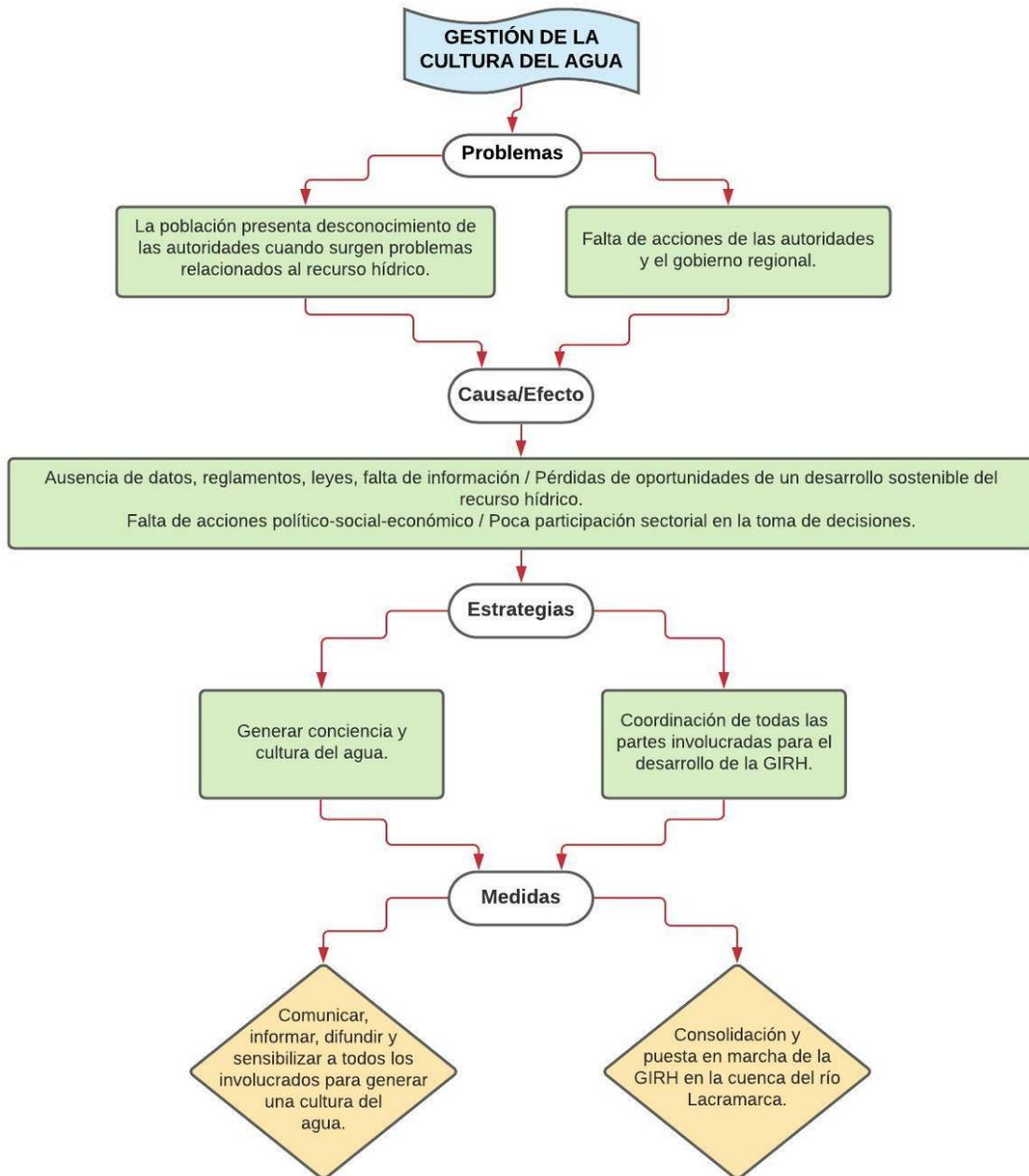


Figura N°55: Gestión de la cultura del agua.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.22. Gestión de la oportunidad

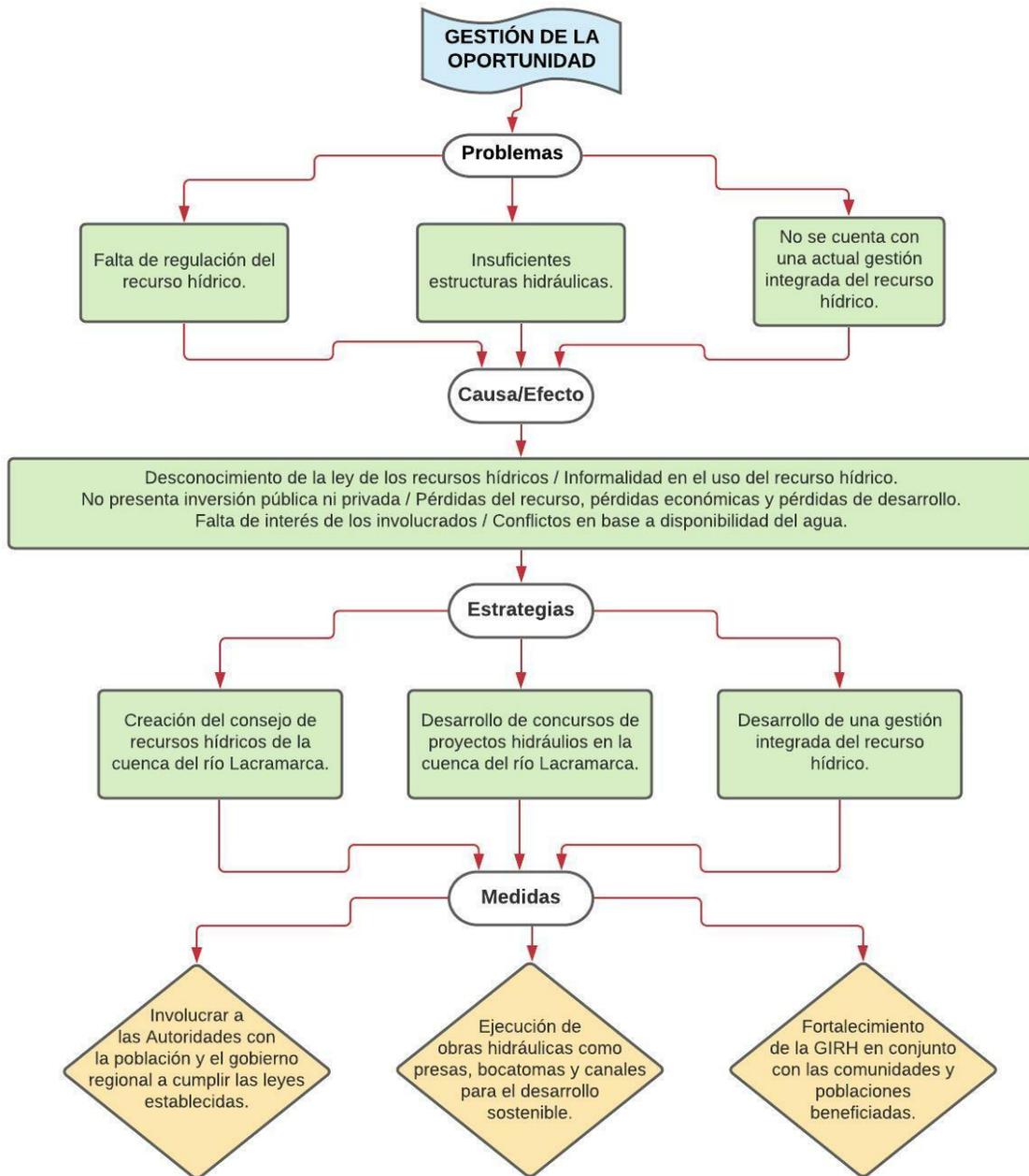


Figura N°56: Gestión de la Oportunidad.

Fuente: Elaboración propia.

## CONSTRATACIÓN DE HIPÓTESIS

- Hipótesis general: La gestión integrada de los recursos hídricos llevado en conjunto con un plan de acción - balance que protege y aprovecha el recurso a futuro en la cuenca del río Lacramarca.

La hipótesis general se cumplió porque se aplicó una gestión integrada de los recursos hídricos en conjunto con un plan de acción en armonía con las autoridades y la población del departamento de Ancash.

- Hipótesis específica 1: La cuenca tiende a ser alargada, el valor de  $K_c$  sobrepasara a 2, con alta densidad de drenaje, valores altos en bifurcación y con orden de cauce alto, terreno escarpado y suelo erosionable.

La primera hipótesis específica se cumplió parcialmente, se cumplió el resultado una baja densidad de drenaje, orden de río considerable, cuenca alargada y terreno escarpado, pero no se cumplió sobre el parámetro de forma, este fue menor a 1, a su vez tampoco se cumplió que el suelo es erosionable, ya que, debido a la curva hipsométrica, la cuenca es sedimentaria.

- Hipótesis específica 2: La metodología que se implementara será a partir de lo recomendado en las resoluciones, normas y políticas del ANA, SENAMHI y artículos científicos, se creara de forma coherente una gestión integrada de forma viable para la cuenca del río Lacramarca.

La segunda hipótesis específica se verifica ya que se aplicó la ley N°29338 de recursos hídricos en conjunto con una gestión integrada de los recursos hídricos para que se ejecuten políticas y normas en el gobierno regional, el ANA y la población beneficiada.

- Hipótesis específica 3: Se determinará a partir de variables hidrológicas, hidráulicas y software profesionales como los sistemas de información geográfica (ArcGis) se logrará determinar de forma adecuada el balance hídrico en la cuenca del río Lacramarca

En la tercera hipótesis se cumplió ya que se determinó el balance hídrico de la cuenca de río Lacramarca y su erosión de suelos mediante el SIG comparándolo con una metodología de forma empírica obteniendo resultados precisos y similares.

## CONCLUSIONES

1. Concluyendo con el primer objetivo específico, se calcularon y analizaron los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Lacramarca, en base a modelos de elevación y dirección del flujo, obteniendo como resultado una cuenca forma ovalada-alargada, con baja densidad de drenaje, con menor probabilidad de lluvias intensas y no propensa a inundaciones en su fase de vejez y siendo una cuenca sedimentaria.
2. Concluyendo con el segundo objetivo, se obtuvo un balance hídrico mediante el SIG obteniendo una esorrentía máxima de  $45\text{m}^3$  en la cuenca del río Lacramarca, la comparación de método de erosión del suelo mediante el SIG nos brinda resultados en cinco diferentes tramos de la cuenca, al realizar la comparación por el método de Fournier se sobreestimaron los valores de erosión sobre todo en pendientes medias.
3. Concluyendo con el tercer objetivo, se realizó la gestión integrada del recurso hídrico en la cuenca del río Lacramarca, fomentando a través del modelo implementado de gestión políticas públicas y normas en el gobierno del distrito de Ancash y concientización a la población para el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico en la cuenca del río Lacramarca.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda gestionar la adquisición de estaciones pluviométricas por parte del gobierno regional en coordinación con el ANA y SENAMHI para que la cuenca Lacramarca pueda tener mejores resultados de estudios a futuro, pues se ha visto que la disponibilidad de información con la que se cuenta es bastante escasa en el área de estudio.
2. Se recomienda utilizar con el método FAO que cuenta con mayor precisión cuando se realizan tomas de datos en estaciones climatológicas en el área de estudio, en la Cuenca del río Lacramarca no se cuentan con estaciones climatológicas por lo que es necesaria una mejora para tener registros de intensidades de lluvia en el tiempo.
3. Para futuras actuaciones en la Cuenca del río Lacramarca se recomienda el cumplimiento estricto de una gestión integrada del agua basándose en la ley de los recursos hídricos en donde tomen participación la población beneficiada y el gobierno regional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (2009). Autoridad Nacional del Agua, Evaluación de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Santa, Lacramarca y Nepeña, Inventario de fuente de agua superficial de la cuenca de río Lacramarca – Volumen I, Chimbote – Ancash, Perú.
- ANA (1999). Delimitación de la faja marginal del río Lacramarca, Resumen Ejecutivo. Lima – Perú.
- Amendaño, E (2018). Propuesta de Gestión del Recurso Hídrico de la vertiente La Merced para el desarrollo sostenible, provincia de Pichincha, cantón Mejía, parroquia Cutuglagua (Tesis de Magister), Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Humanas, Escuela de Ciencias Geográficas, Quito – Ecuador.
- Aparicio, J (1989). Fundamentos de Hidrología de Superficie. D.F. – México.
- Bateman, A (2007), Hidrología Básica y Aplicada, Grupo de Investigación en transporte de sedimentos.
- Bauce, J; Córdoba, M; Avila, A (2018), Operacionalización de variables, Revista del Instituto Nacional de Higiene “Rafael Ranger”.
- Bommathanahalli Ramakrishna (1997) Estrategia de Extensión para el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: Conceptos y Experiencias.
- Breña, A y Jacobo, M (2006). Principios y fundamentos de la hidrología superficial, Universidad Autónoma Metropolitana, Tlalpaln, D.F. – México.

- Brieva, C (2018). Caracterización de Cuencas, PNAGUA – PE 1133022 “Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológicas en cuencas” Versión 1.
- Cahuana, A y Yugar, W (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba – Bolivia.
- Cap-Net (2005) Red internacional para el desarrollo de capacidades en la gestión integrada del recurso hídrico – Manual de capacitación y guía operacional.
- Cardoso, M (2003). La democracia del agua en su práctica: el caso de los comités de cuenca en Minas Gerais. Tesis (doctorado en Antropología Social), Universidad Federal de Río de Janeiro, Río de Janeiro – Brasil.
- CEI, Consorcio Estudios Integrales (2019). Cuenca del río Lacramarca – Control de Inundaciones Lacramarca, ámbito de la cuenca.
- Cerón, O. (2014). Centro de investigación y capacitación de San Pablo. Quito.
- Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego, Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones, Edición Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Edafología Primera Edición (2011). Colaboradores: Ing. César Andrés Pereira Morales Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua - Managua – Nicaragua.
- FAO (2006). Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Estudio FAO Riego y Drenaje.
- Flores, A (2014). Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de la cuenca Hidrológica del Río Papagayo, Estado de Guerrero (Tesis Doctoral), Instituto Mexicano de

Tecnología del Agua, Coordinación de Desarrollo Profesional e Institucional.  
 Jiutepec, Morelos – México.

Fuentes, J. (2012). Topografía, Red Tercer Milenio.

Fuster, R (2013). El estado de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Chile: Estudio de Casos en la cuenca del río Limarí (Tesis Doctoral), Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona – España.

Gálvez, M (2015). Balance de los Recursos Hídricos de la laguna Rontoccocha en la subcuenca del río Mariño para la Gestión Integrada (Tesis de Pregrado), Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Lima – Perú.

Gámez, W (2015). Texto Básico Auto formativo de Topografía General, Universidad Nacional Agraria – Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente.

Gámez, W (2009). Texto Básico de Hidrología, Universidad Nacional Agraria – Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, Managua – Nicaragua.

Global Water Partnership (2008). Principios de Gestión integrada de los recursos hídricos – Bases para el desarrollo de planes nacionales.

Global Water Partnership South América (2011). ¿Qué es cuenca hidrológica?, Cartilla Técnica, “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico” Lima, Perú.

Guevara, E y De la Torre, A (2019). Gestión Integrada de los recursos hídricos por cuenca y cultura del agua, Ministerio de Agricultura y Riego, Autoridad Nacional del Agua, Perú.

- Huaricallo, D (2014). Análisis de la Gestión del Recurso Hídrico para el consumo humano en la microcuenca Huancho, Huancane, Puno (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Agrícola, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Puno – Perú.
- Marini, M. & Piccolo, M. (2000). El balance hídrico en la cuenca del río Quequén Salado, Argentina. Papeles de Geografía, Murcia, España, 31, 39-53.
- Parella, S. & Martins, F. (2012). Metodología de la Investigación Cuantitativa, Fondo editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador FEDUPEL, Caracas – Venezuela.
- Pazos, V y Mayorga, D (2019). Hidrología Agrícola, Centro de Investigación y Desarrollo Profesional, Babahoyo – Ecuador.
- PROTA, M (2011). Análisis del proceso participativo en la gestión de los recursos hídricos en el estado de São Paulo: Un estudio de caso del comité de cuenca de río Tietê – Jacaré (Maestría en Ciencias), Facultad de salud Pública, Universidad de São Paulo, São Paulo – Brasil.
- R.A.M. (2016), El protocolo de investigación III: La población de estudio, Revista Alergia México, vol. 63, núm. 2, pp. 201-206, Ciudad de México, México.
- Rodríguez, A (2000), Geomorfología, Instituto superior metalúrgico, facultad de geología y minas, departamento de geología, Universidad de Moa, Caribe.
- Rosales, E (2012), Metodología y estimación del balance hídrico de la cuenca del Usumacinta, D.F. – México.
- Silva, P. (2015). Manal de Estudio y Ejercicios Relacionados con el contenido de Agua en el Suelo y su Uso por los Cultivos, Universidad de Chile, Facultad de CS.

Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola, Laboratorio de Relación Agua-Suelo-Planta.

Villalejo, V y Martínez, Y (2018). La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos: una necesidad de estos tiempos, Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Revista Scielo, Vol. XXXIX. Cuba.

Yaseen, Z. (2020). Predicción de la evaporación en zonas áridas y semiáridas. regiones: un estudio comparativo que utiliza diferentes modelos de aprendizaje automático, Aplicaciones de ingeniería de la mecánica de fluidos computacional.

## ANEXOS

Anexo 1: Operacionalización de Variables.....	13232
Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables.....	13333
Anexo 3: Matriz de consistencia. ....	13434
Anexo 4: Mapa de Ubicación. ....	13535
Anexo 5: Mapa de Cuencas Nacionales.....	13636
Anexo 6: Mapa de Superficies TIN. ....	1377
Anexo 7: Mapa de Superficies DEM. ....	1388
Anexo 8: Mapa de áreas parciales. ....	1399
Anexo 9: Mapa de quebradas en estudio. ....	14040
Anexo 10: Mapa de sistema de drenaje de Lacramarca.....	141
Anexo 11: Mapa de Precipitaciones. ....	14242
Anexo 12: Mapa de Temperaturas.....	14343
Anexo 13: Mapa de ETP.....	144
Anexo 14: Mapa de ETR.....	14545
Anexo 15: Mapa de Balance Hídrico.....	146
Anexo 16: Mapa de Erosión de Suelo.....	1477

### Anexo 1: Operacionalización de Variables

La operacionalización de las variables se encuentra fuertemente vinculada al tipo de técnica o metodología usada para la recolección de datos. Deben ser coincidente con los objetivos de la investigación, al mismo tiempo que responden al enfoque empleado y al tipo de investigación que se realiza. Estas técnicas podrán ser cualitativas o cuantitativas. (Bauce, J; Córdoba, M; Avila, A, 2018, p. 45).

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables.

VARIABLE		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTE	Gestión integrada de Recursos Hídricos	El planteamiento de la GIRH coopera a la administración y el desarrollo de los recursos hídricos de una manera sostenible y equilibrada, tomando en cuenta los aspectos de interés social, económico y ambiental. (ANA, 2009)	Parámetros de Gestión	Indicador Cualitativo vs Indicador Cuantitativo	Manual de la Autoridad Nacional del Agua
	Estimación del Balance	La estimación del balance hídrico está basada en la práctica del principio de conservación de las masas, que también se le conoce como la ecuación de la continuidad. Establece que para cualquier volumen arbitrario y para cualquier periodo de tiempo, la disparidad entre las entradas y salidas se encontrará restringido por la variación del volumen de agua almacenada. (Rosales, E, 2012)	Parámetros Hidrológicos	Modelación Hidrológica e Hidráulica	Manual de Hidrología e Hidráulica ArcGis 10.8
DEPENDIENTE	Cuenca del río Lacramarca	El río Lacramarca tiene sus inicios en las alturas del poblado Huallanca, con un escurrimiento eventual, produciéndose este solo en épocas de grandes avenidas o precipitaciones estacionales, representando un aporte mínimo a la agricultura. (ANA, 1999)	Parámetros Hidrológicos	Periodo de retorno	Manual de Hidrología e Hidráulica ArcGis 10.8

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Matriz de consistencia.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cómo establecer una gestión integrada del recurso hídrico y estimación del balance de la cuenca del río Lacramarca?	Implementar la gestión integrada y balance de los recursos hídricos de la cuenca del río Lacramarca para un aprovechamiento sostenible.	La gestión integrada de los recursos hídricos llevado en conjunto con un plan de acción y balance protege y aprovecha el recurso a futuro.	VARIABLE INDEPENDIENTE  Gestión integrada de los Recursos Hídricos	TIPO DE INVESTIGACIÓN  Investigación Descriptivo Correlacional
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	Estimación del balance	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN
a) ¿Cómo serán las características geomorfológicas de la cuenca? b) ¿Qué metodología se implementará que nos permita tener un modelo de gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca del río Lacramarca? c) ¿Cómo se determinará el balance hídrico de la cuenca del río Lacramarca?	a) Determinar las características geomorfológicas de la cuenca del río Lacramarca. b) Implementar un modelo de gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca del río Lacramarca. c) Determinar el balance hídrico de la cuenca del río Lacramarca.	a) La cuenca tiende a ser alargada, el valor de Kc sobrepasara a 2, con alta densidad de drenaje, valores altos en bifurcación y con orden de cauce alto, terreno escarpado y suelo erosionable. b) La metodología que se implementara será a partir de lo recomendado en las resoluciones, normas y políticas del ANA, SENAMHI y artículos científicos; se creara de forma coherente una gestión integrada de forma viable para la cuenca del rio Lacramarca. c) Se determinará a partir de variables hidrológicas, hidráulicas y software profesionales como los sistemas de información geográfica (ArcGis), con este modelo se logrará determinar de forma adecuada el balance hídrico en la cuenca del rio Lacramarca.	VARIABLE DEPENDIENTE  Cuenca del río Lacramarca  MUESTRA  La Cuenca del río Lacramarca	Método cuasi experimental  TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS  Observación directa  INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS  Manual, Informe ANA, SENAMHI, ARCGIS.

Fuente: Elaboración Propia.

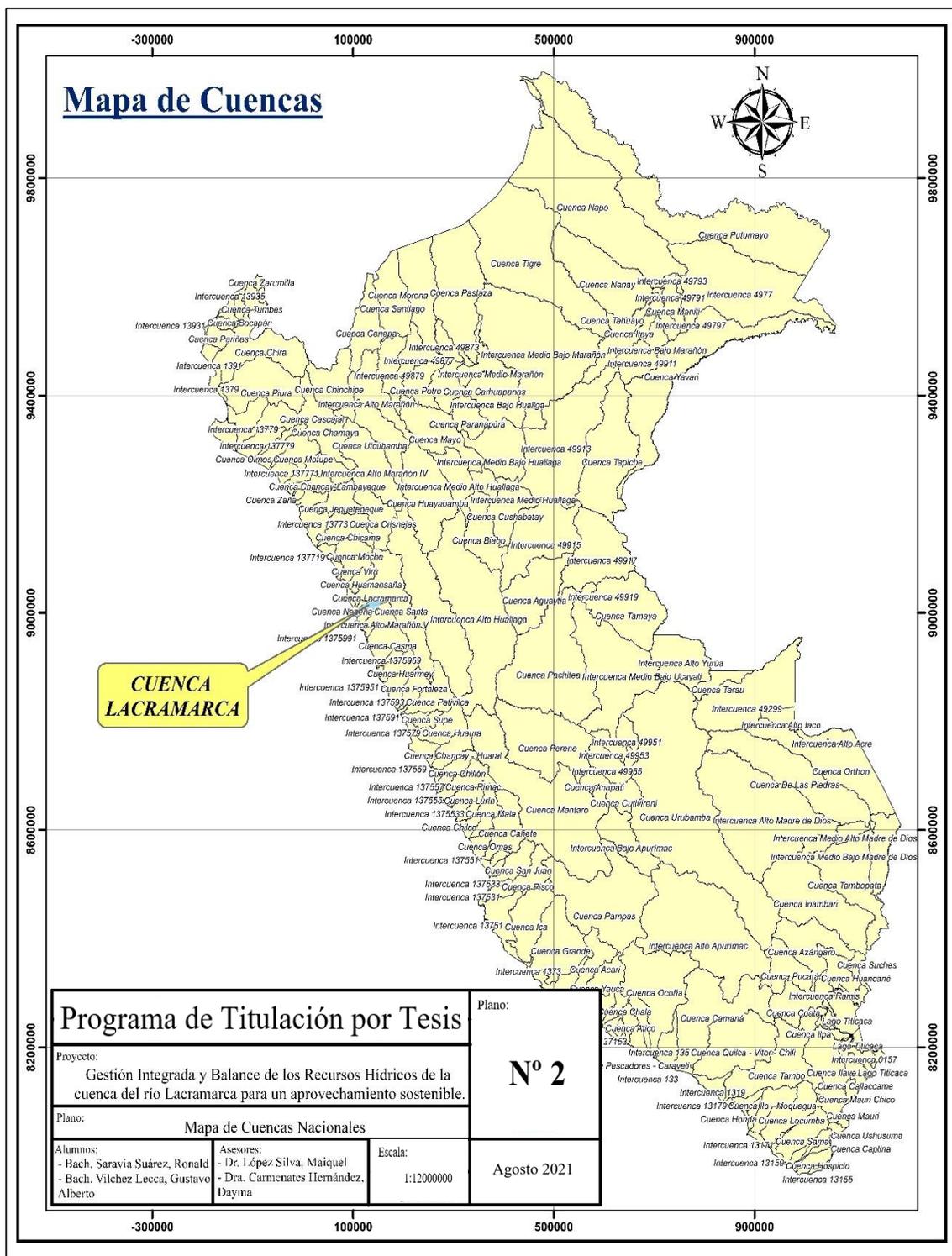
Anexo 4: Mapa de Ubicación.



<b>Programa de Titulación por Tesis</b>			Plano:
Proyecto: Gestión Integrada y Balance de los Recursos Hídricos de la cuenca del río Lacramarca para un aprovechamiento sostenible.			<b>Nº 1</b>
Plano: Mapa de Ubicación			
Alumnos: - Bach. Saravía Suárez, Ronald - Bach. Vilchez Lecca, Gustavo Alberto	Asesores: - Dr. López Silva, Maiquel - Dra. Carmenates Hernández, Dayma	Escala: 1:12000000	Agosto 2021

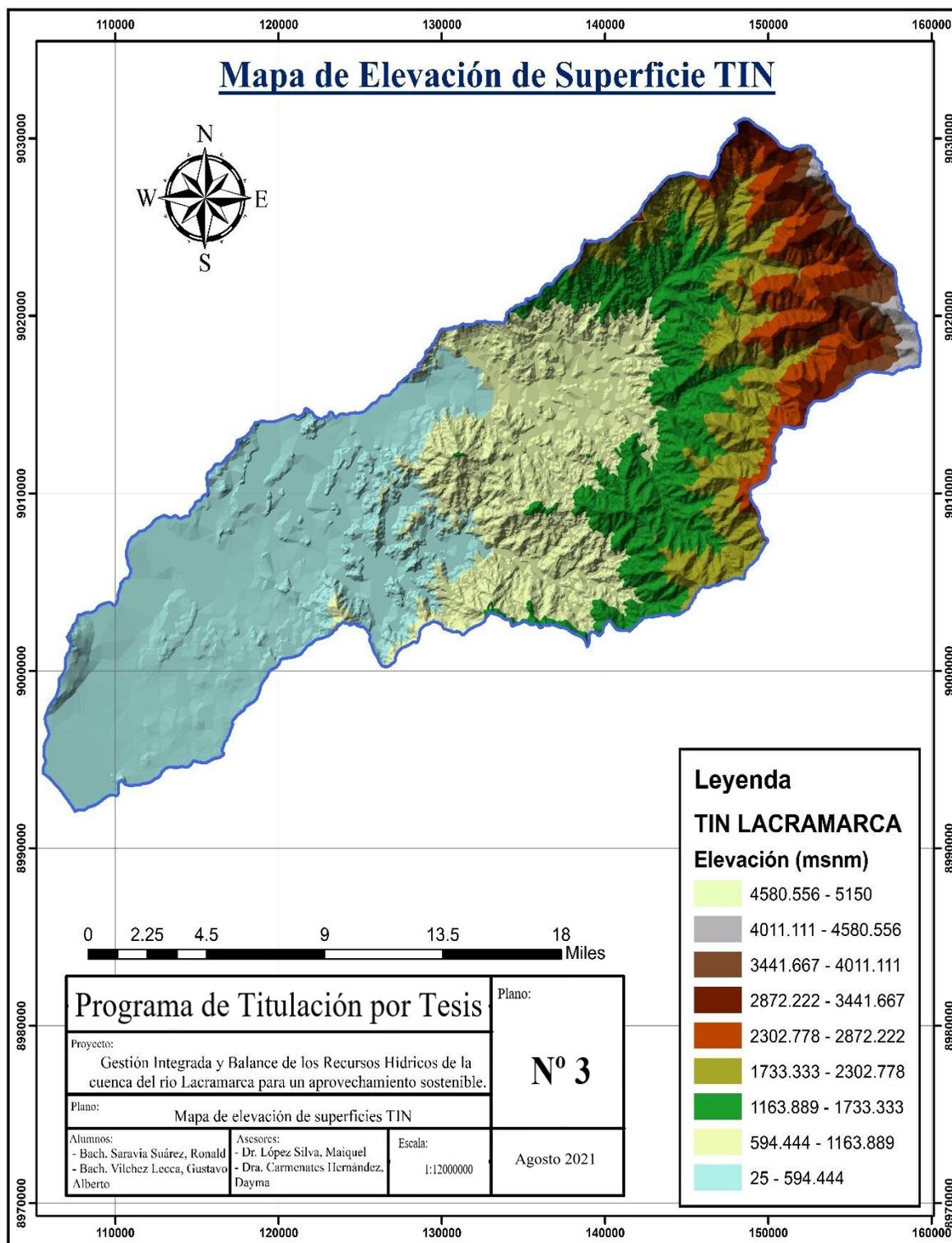
Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 5: Mapa de Cuencas Nacionales.



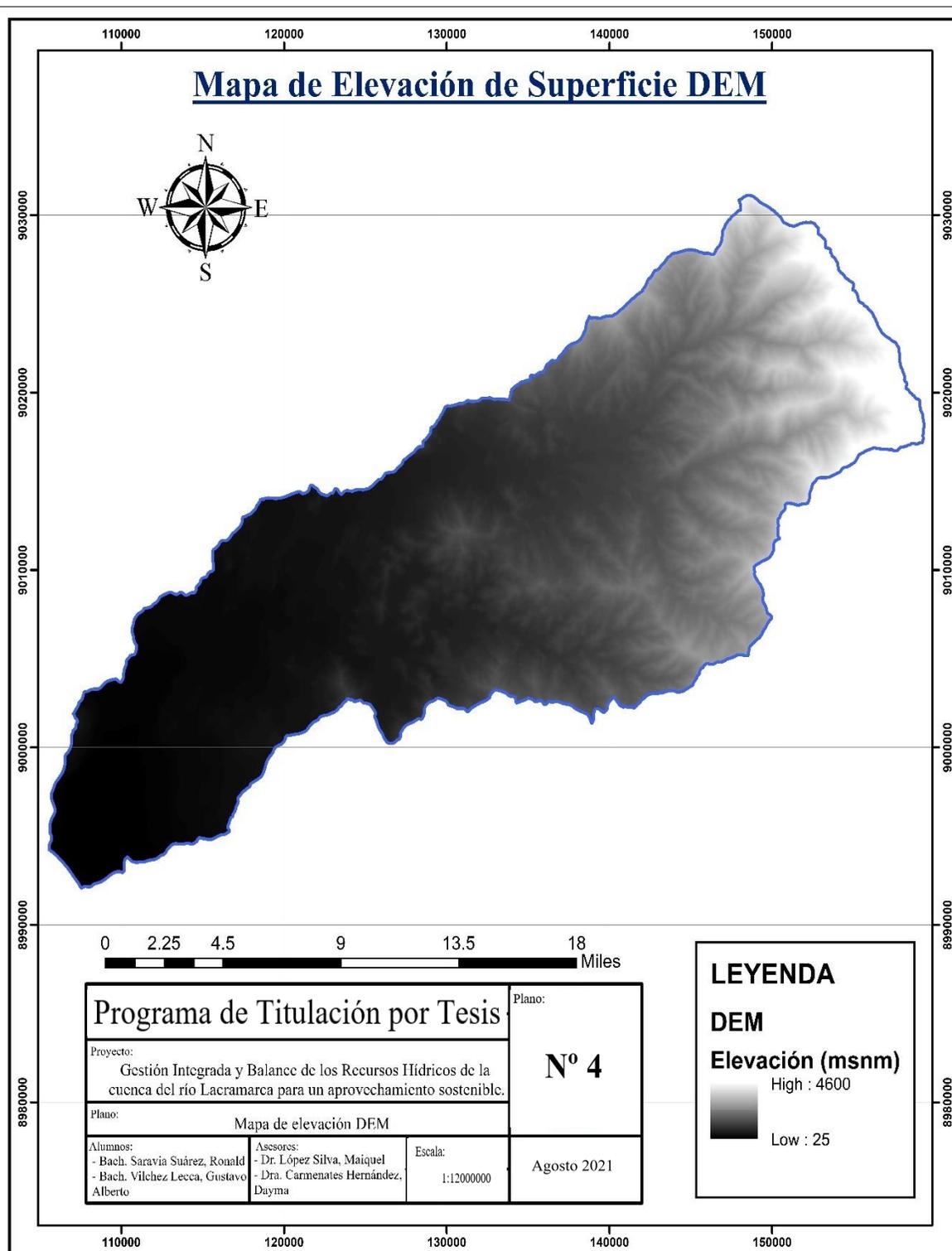
Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 6: Mapa de Superficies TIN.



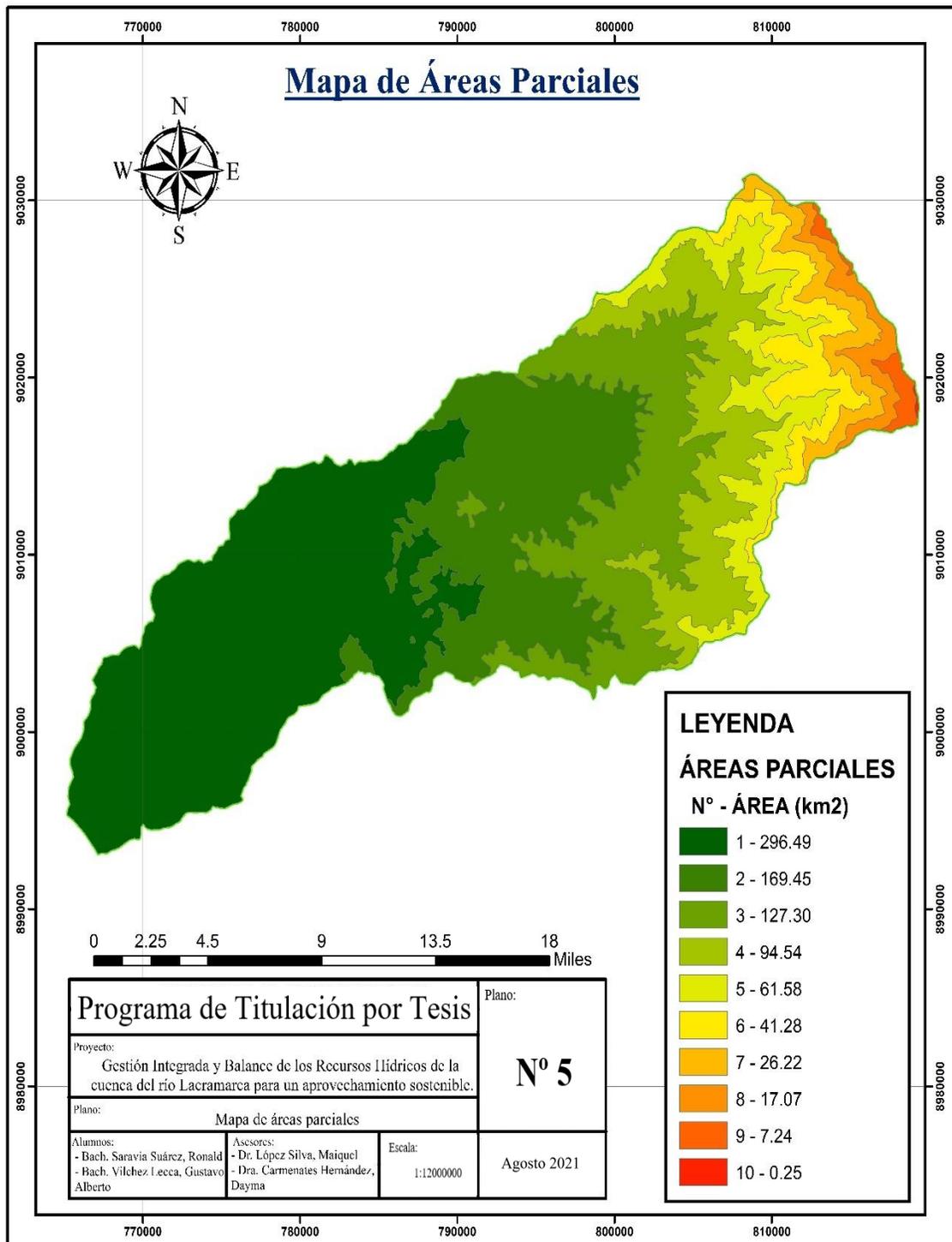
Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 7: Mapa de Superficies DEM.



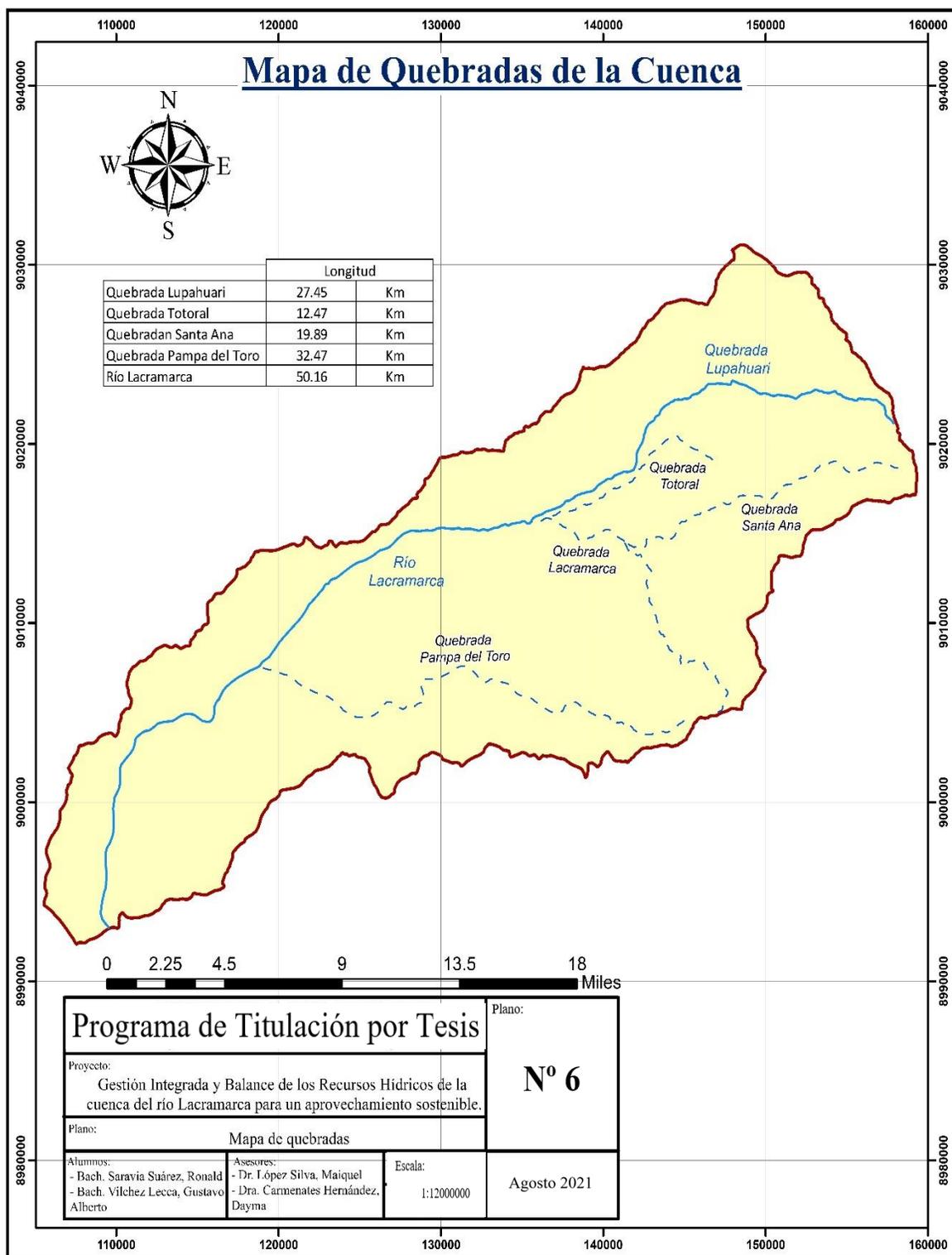
Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 8: Mapa de áreas parciales.



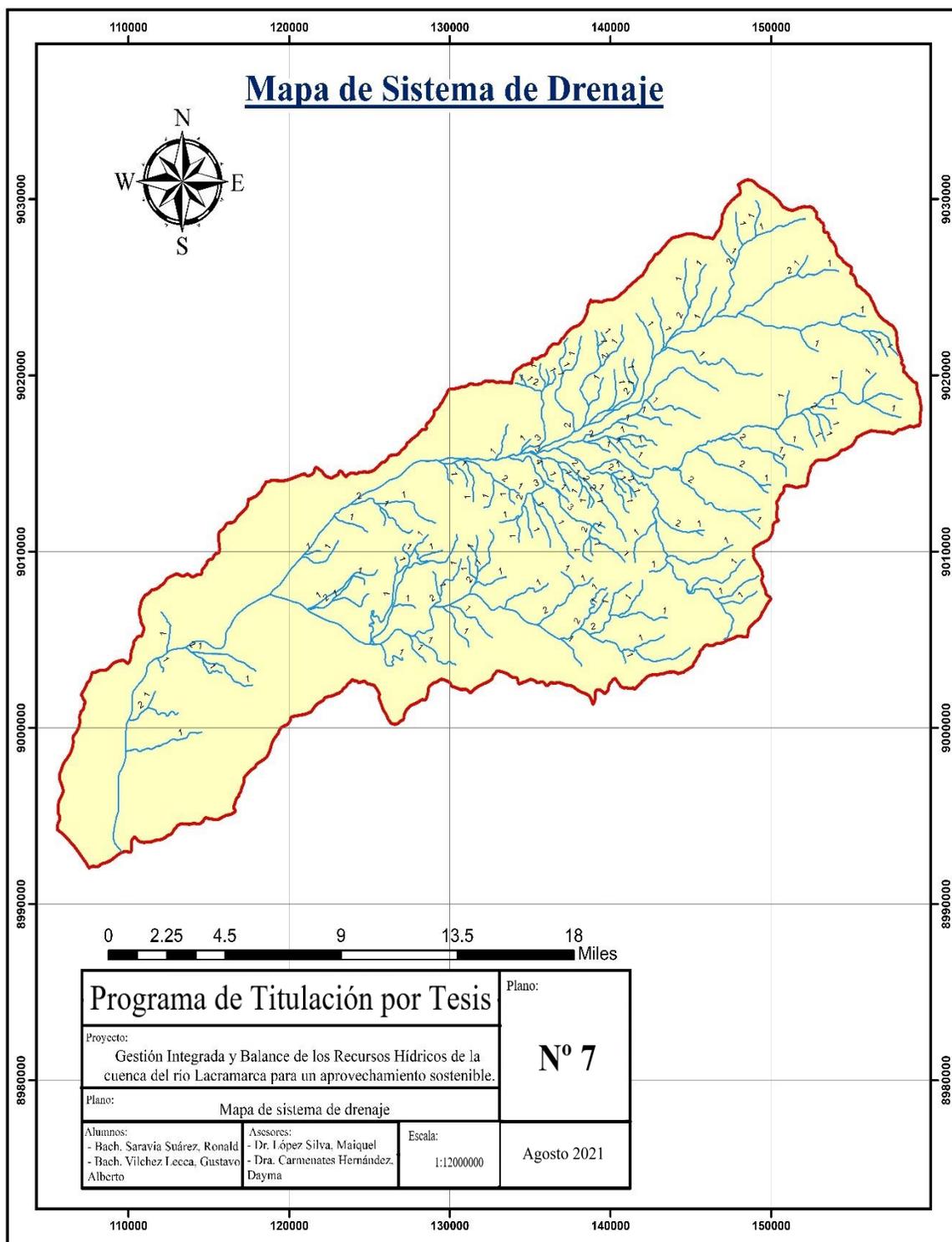
Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 9: Mapa de quebradas en estudio.



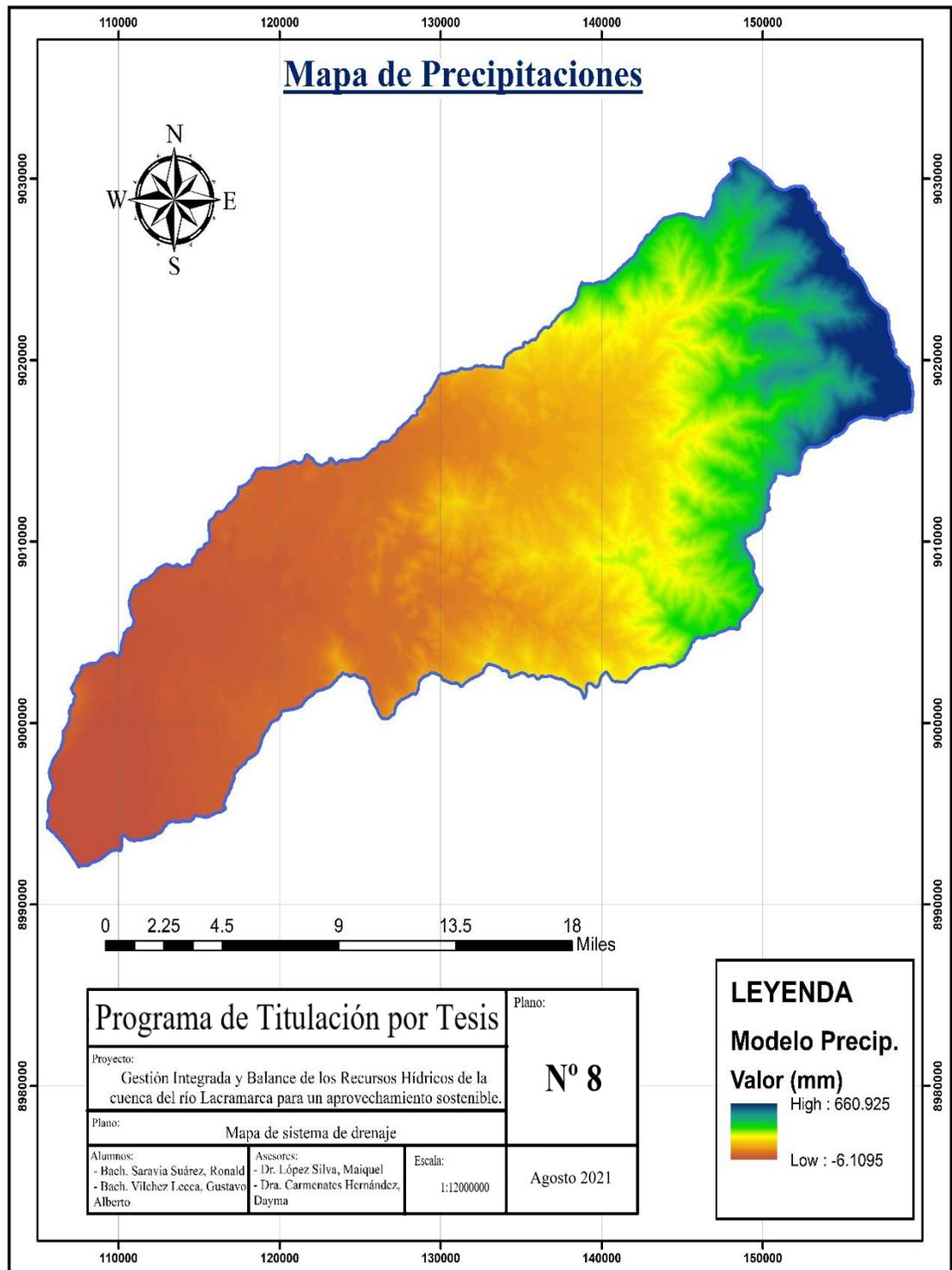
Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 10: Mapa de sistema de drenaje de Lacramarca.



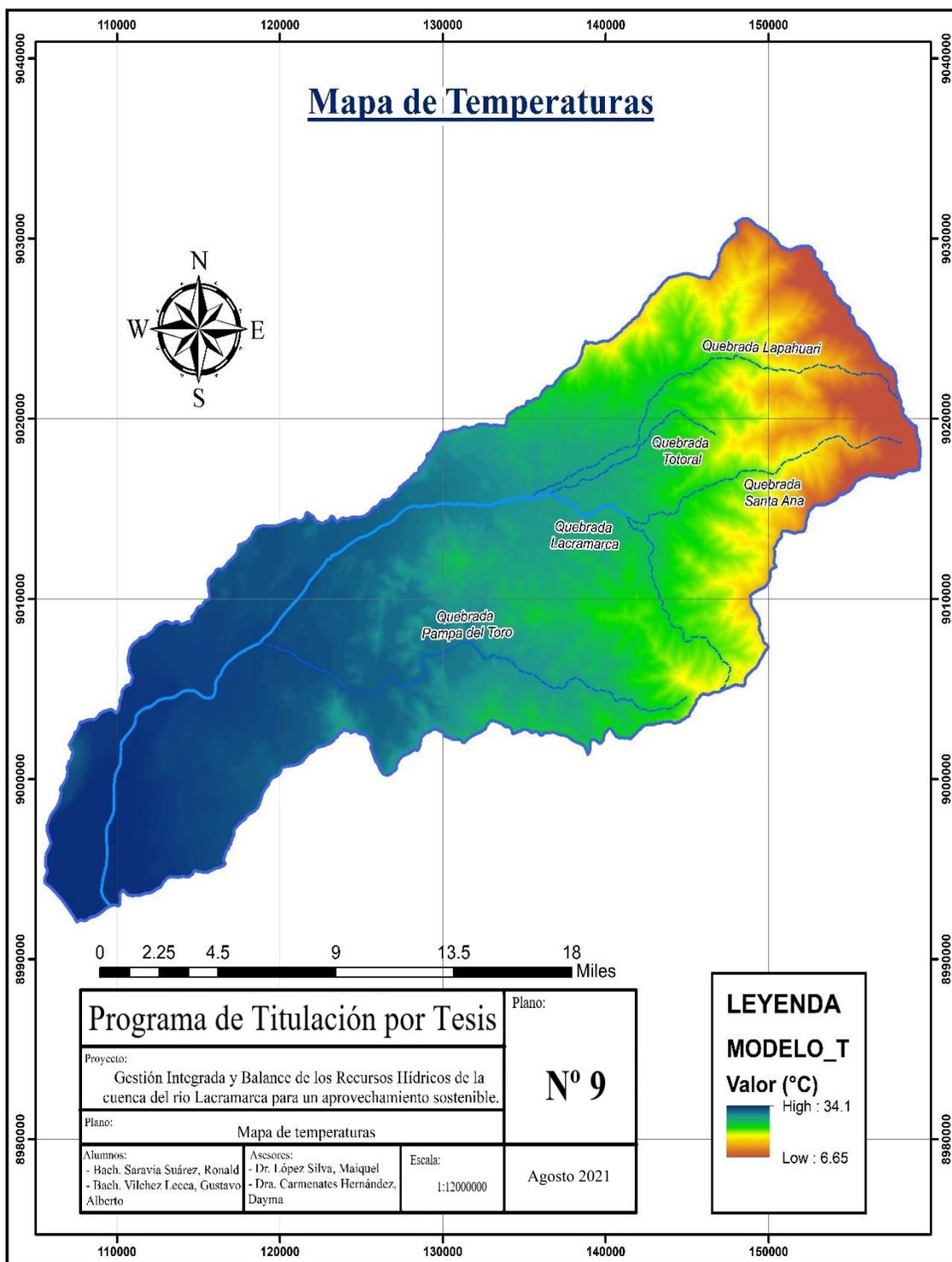
Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 11: Mapa de Precipitaciones.



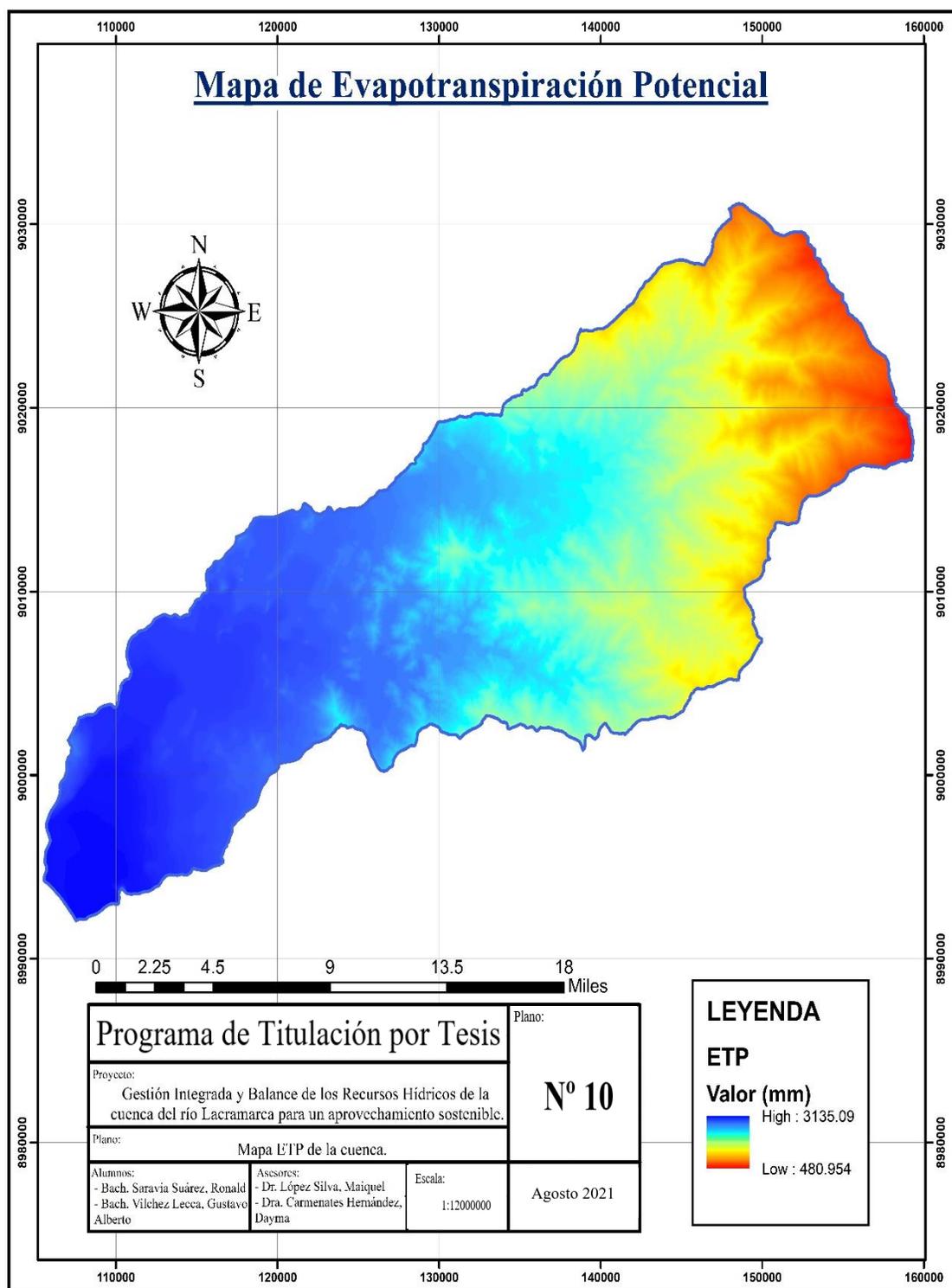
Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 12: Mapa de Temperaturas.



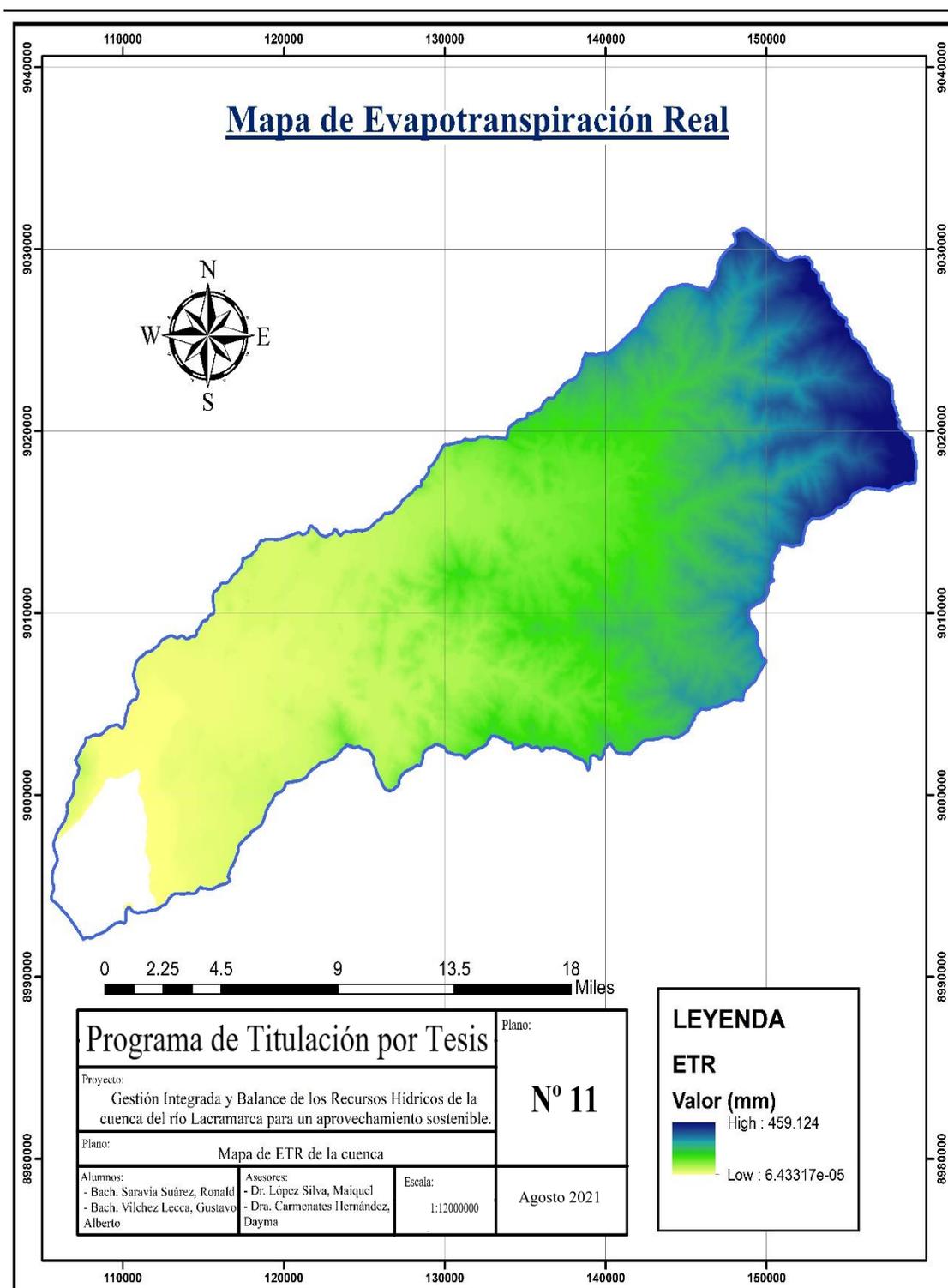
Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 13: Mapa de ETP.



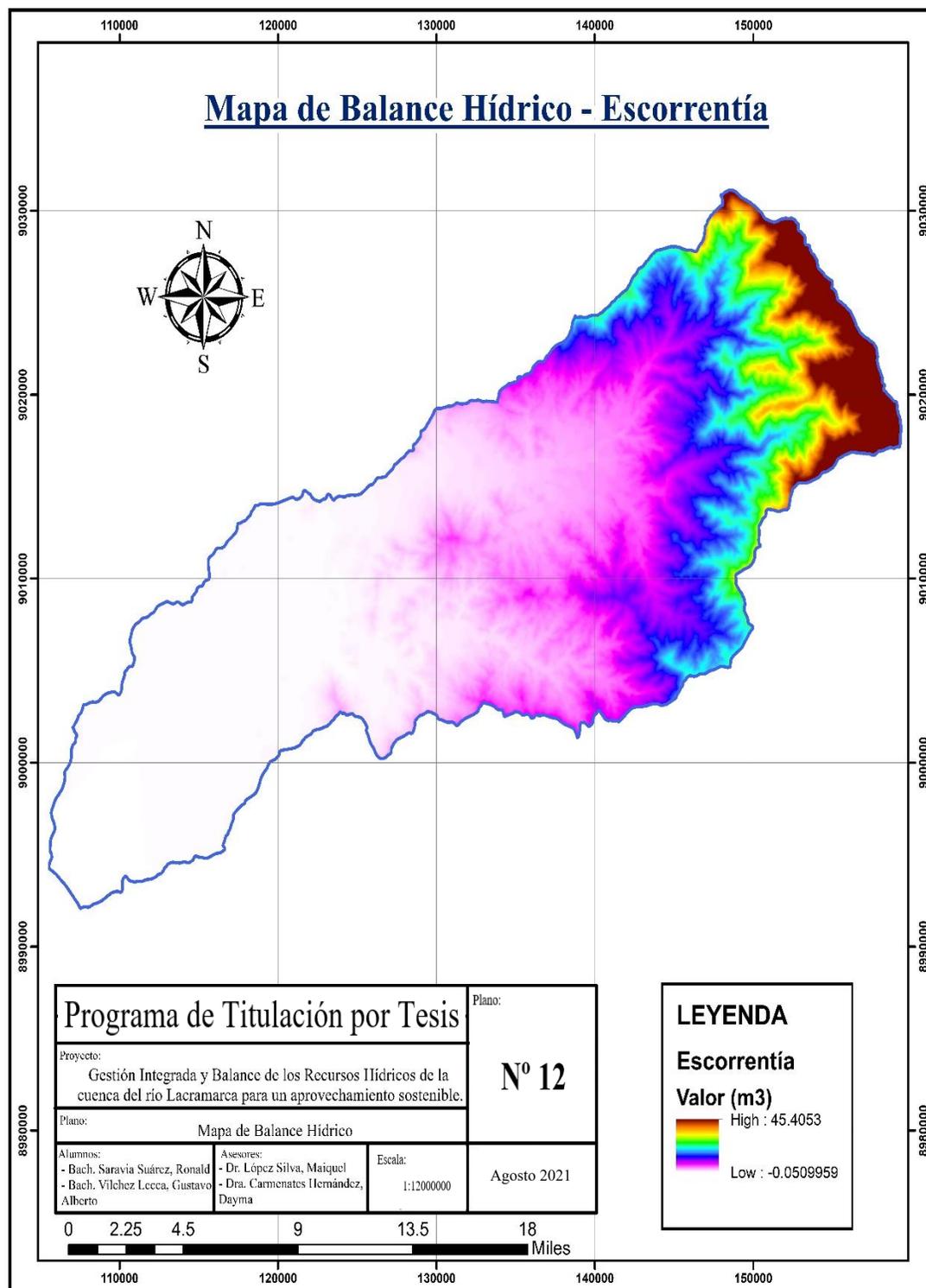
Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 14: Mapa de ETR.



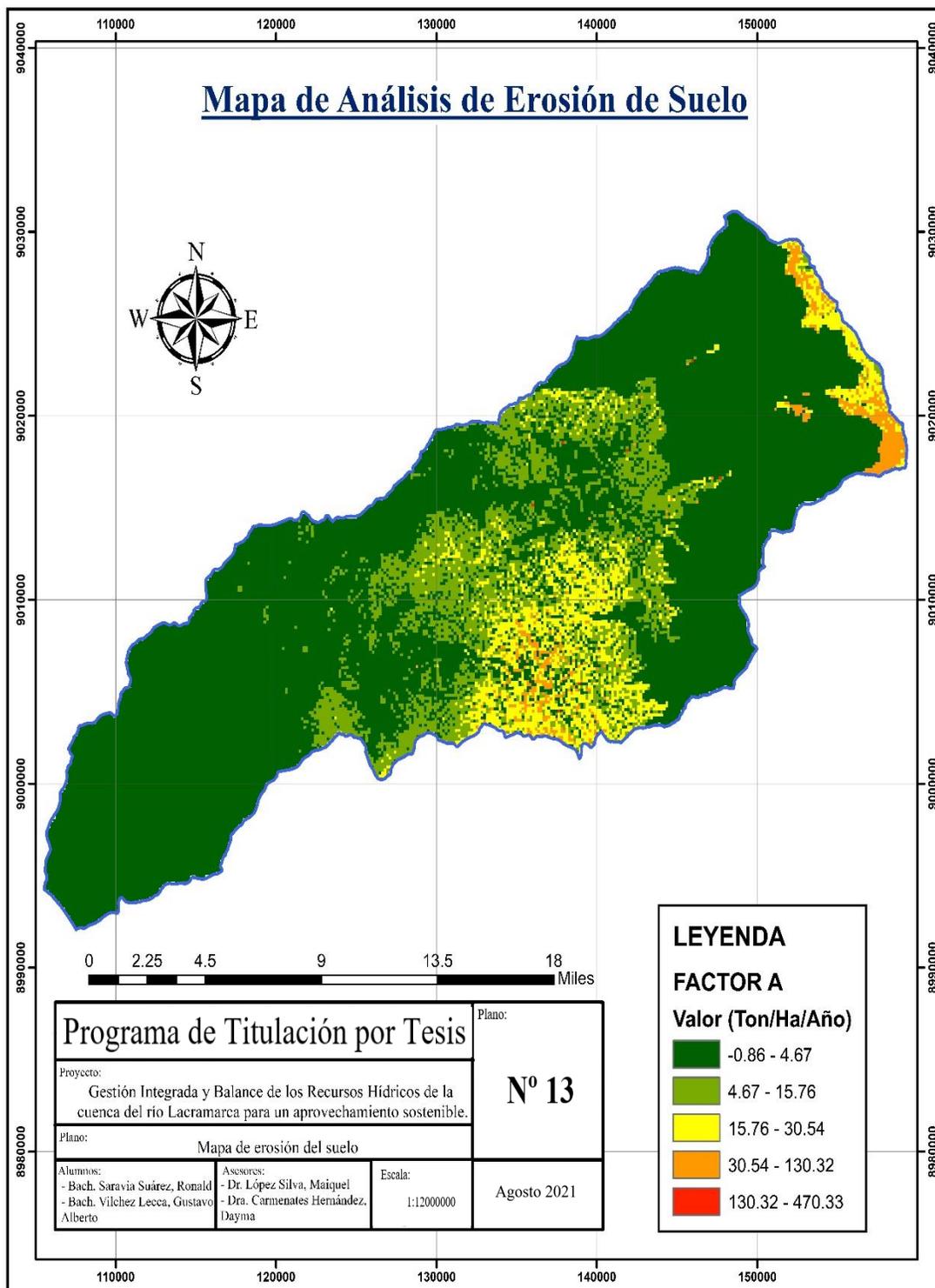
Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 15: Mapa de Balance Hídrico.



Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.

Anexo 16: Mapa de Erosión de Suelo.



Fuente: Elaboración Propia utilizando el Software ArcGIS versión 10.8.