



**UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR**  
**SEDE CENTRAL**  
**Sucre – Bolivia**

**MAESTRÍA EN SISTEMAS DE RIEGO Y MANEJO INTEGRADO  
DE CUENCAS**

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOMÓRFICA Y GEOEDÁFICA  
EN RELACIÓN AL ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA THURU  
CANCHA**

**MUNICIPIO TOMINA - CHUQUISACA**

**Tesis presentada para optar el Grado  
Académico de Magíster en Sistemas de Riego  
y Manejo Integrado de Cuencas**

**MAESTRANTE: JUAN MANUEL BARRIENTOS MEJIA**

**Sucre – Bolivia**

**2024**



**UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR**  
**SEDE CENTRAL**  
**Sucre – Bolivia**

**MAESTRÍA EN SISTEMAS DE RIEGO Y MANEJO INTEGRADO  
DE CUENCAS**

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOMÓRFICA Y GEOEDÁFICA  
EN RELACIÓN AL ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA THURU  
CANCHA**

**MUNICIPIO TOMINA - CHUQUISACA**

**Tesis presentada para optar el Grado  
Académico de Magíster en Sistemas de Riego  
y Manejo Integrado de Cuencas**

**MAESTRANTE: JUAN MANUEL BARRIENTOS MEJIA**

**TUTOR: JUAN CARLOS PEÑARANDA VILLAGOMEZ**

**Sucre – Bolivia**

**2024**

## Resumen

El presente trabajo caracterizó los aspectos morfométricos, geodáficos e hidroclimáticos; su relación con los procesos de escurrimiento superficial e identificó áreas susceptibles de deterioro en la cuenca Thuru Cancha. Los aspectos morfométricos describen una cuenca muy pequeña, con una superficie de 11.66 Km<sup>2</sup>; de forma oval con tendencia a la redondez, que caracteriza su funcionamiento con susceptibilidad moderada de ocurrencia de crecidas; evolución en fase de madurez en estado de equilibrio dinámico con susceptibilidad moderada ante procesos erosivos. Se identificó la presencia de dos texturas de suelos que caracterizan una capacidad de infiltración de los suelos de intensidad moderada y lenta. La cobertura y uso de suelos caracterizada por la presencia de masas agua, suelos sin vegetación, áreas con coberturas de gramíneas y pastizales; vegetación con especies de matorrales y vegetación densa constituida por especies arbóreas nativas, que describen una variación temporal en relación a la extensión de superficie, se ratifica la presencia y actividad antrópica; reflejada en el uso de suelo en actividades agrícolas. Las características morfométricas, geodáficas e hidroclimáticas propias de la cuenca tienen relación con los procesos de escurrimiento superficial; que caracterizan la cuenca con potencial de escurrimiento de moderado a elevado; a través de la cual se identificó y cuantificó áreas con potencial y susceptibles a deterioro, a consecuencia de los procesos de escorrentía superficial

**Palabra Clave:** Cuenca hidrográfica, hidromorfometría y geodafología

### **Abstract**

The present work characterized the morphometric, geodaphic and hydroclimatic aspects; its relationship with surface runoff processes and identified areas susceptible to deterioration in the Thuru Cancha basin. The morphometric aspects describe a very small basin, with a surface of 11.66 km<sup>2</sup>; oval in shape with a tendency towards roundness, which characterizes its operation with moderate susceptibility to the occurrence of floods; evolution in the maturity phase in a state of dynamic equilibrium with moderate susceptibility to erosive processes. The presence of two soil textures was identified that characterize a soil infiltration capacity of moderate and slow intensity. The coverage and use of soils characterized by the presence of water masses, soils without vegetation, areas with grass and grassland coverage; vegetation with species of bushes and dense vegetation made up of native tree species, which describe a temporal variation in relation to the surface area, the presence and anthropogenic activity is confirmed; reflected in the use of land in agricultural activities. The morphometric, geodaphic and hydroclimatic characteristics of the basin are related to surface runoff processes; that characterize the basin with moderate to high runoff potential; through which areas with potential and susceptible to deterioration were identified and quantified, as a result of surface runoff processes.

**Keyword:** Hydrographic basin, hydromorphometry and geodafology

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Introducción</b> .....	1
Justificación.....	2
Planteamiento y Formulación del Problema .....	3
Planteamiento del Problema.....	3
Situación del Problema .....	3
Definición del Problema .....	3
Formulación del Problema .....	4
Objetivos .....	4
Objetivo General .....	4
Objetivos Específicos.....	4
Formulación de Hipótesis .....	4
Delimitación de la Tesis.....	5
Objeto de Estudio.....	5
Campo de Acción.....	5
Definición de Variables de Estudio.....	5
Variables de Estudio Independientes .....	5
Variable Morfométrica.....	5
Variable Geoedáfica.....	6
Variable Hidroclimática .....	6
Variable de Estudio Dependiente.....	6
Variable Esguerrimiento Superficial.....	6
Matriz de Operación de Variables.....	6
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Marco Teórico</b> .....	<b>9</b>

1.1	Marco Teórico Conceptual .....	9
1.1.1	Cuenca Hidrográfica.....	9
1.1.2	Aspectos Morfométricos de una Cuenca.....	10
1.1.3	Aspectos Geoedáficos de una Cuenca.....	11
1.1.4	Aspectos Hidroclimáticos de una Cuenca.....	12
1.1.5	Escorrentamiento Superficial de Cuenca.....	13
1.2	Marco Teórico Metodológico.....	13
1.2.1	Técnicas para la Recolección de Datos e Información.....	13
1.2.2	Herramientas e Instrumentos para el Procesamiento de Datos .....	13
1.2.3	Procesamiento de Datos, Análisis y Evaluación de Resultados.....	14
1.2.4	Modelos Hidrológicos y Matemáticos Para la Obtención de Resultados .....	15
<b>CAPÍTULO II.....</b>		<b>17</b>
<b>2</b>	<b>Marco Contextual.....</b>	<b>17</b>
2.1	Contexto del Área de Estudio.....	17
2.1.1	Ubicación Político Administrativo .....	17
2.1.2	Ubicación Geográfica .....	17
2.1.3	Ubicación Hidrográfica .....	18
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>19</b>
<b>3</b>	<b>Desarrollo de la Investigación .....</b>	<b>19</b>
3.1	Metodología.....	19
3.1.1	Método de Investigación .....	19
3.1.2	Descripción Metodológica de la Investigación .....	19
3.1.2.1	Actividades de Recolección y Revisión de Información.....	21
3.1.2.2	Técnica de Revisión Documental .....	21
3.1.2.3	Técnica de Recolección de Información de Plataformas Web .....	21

3.2	Diagnóstico.....	22
3.2.1	Caracterización Morfométrica.....	22
3.2.1.1	Determinación de los Parámetros de Forma de la Cuenca .....	22
3.2.1.2	Determinación de los Parámetros de Relieve de la Cuenca .....	26
3.2.1.3	Determinación de Parámetros de Drenaje de la Cuenca.....	34
3.2.2	Caracterización Geoedáfica de la Cuenca .....	39
3.2.2.1	Determinación de Origen y Formación de Suelos.....	39
3.2.2.2	Caracterización Textural de Suelos de Acuerdo al Origen y Formación .....	42
3.2.2.3	Clasificación Hidrológica de Suelos.....	43
3.2.2.4	Determinación de Cobertura y Uso de Suelos.....	44
3.2.3	Caracterización Hydroclimática de la Cuenca .....	49
3.2.3.1	Recolección de Datos Hydroclimáticos.....	49
3.2.3.2	Procesamiento y Análisis Parámetro Precipitación Mensual .....	50
3.2.3.3	Descripción Cronológica de Precipitación Por Estación.....	61
3.2.3.4	Descripción Precipitación Media Mensual Por Estación .....	62
3.2.3.5	Determinación de la Precipitación Media Mensual de la Cuenca .....	63
3.2.4	Caracterización de Escurrimiento Superficial en la Cuenca .....	65
3.2.4.1	Determinación del Coeficiente Curva Número .....	65
3.2.4.2	Identificación Áreas Susceptibles a Deterioro de la Cuenca.....	76
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>79</b>
<b>4</b>	<b>Resultados y Discusión .....</b>	<b>79</b>
4.1	Resultados Análisis Morfométrico de la Cuenca .....	79
<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>		<b>89</b>
Referencias.....		93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de Operativización de Variables .....	7
Tabla 2: Extensión Geográfica del Área de Estudio .....	17
Tabla 3: Ubicación Hidrográfica de la Cuenca de Estudio .....	18
Tabla 4: Valores de Área, Perímetro y Longitud Axial de la Cuenca.....	23
Tabla 5: Indicadores del Parámetro Coeficiente de Compacidad de Gravelius.....	25
Tabla 6: Distribución de Superficie en Relación a la Altitud .....	27
Tabla 7: Distribución de Área Relativa en Relación a la Altura Relativa .....	29
Tabla 8: Área Ponderada por Rango de Altitud .....	30
Tabla 9: Longitud de Curvas de Nivel por Altitud .....	31
Tabla 10: Número y Longitud de Cauces .....	35
Tabla 11: Valores Calculados de Tiempo de Concentración .....	39
Tabla 12: Clasificación de Partículas de Acuerdo al Material de Origen .....	41
Tabla 13: Características Texturales por el Origen y Formación .....	42
Tabla 14: Indicadores de Clasificación de Grupos Hidrológicos de Suelos .....	43
Tabla 15: Referencias de las Imágenes Satelitales Multiespectrales .....	45
Tabla 16: Superficie de Cobertura de Suelos.....	47
Tabla 17: Superficie de Cobertura y Uso de Suelo de la Cuenca .....	49
Tabla 18: Referencias Estaciones Meteorológicas Fuente de Datos.....	50
Tabla 19: Registro de Datos Recogidos por Estación Meteorológica.....	51
Tabla 20: Resultados de la Prueba de Homogeneidad Datos Recogidos.....	53
Tabla 21: Resultados de la Prueba de Normalidad de Datos Recogidos Corregidos.....	56
Tabla 22: Resumen Resultados de Estimación de Datos Faltantes.....	59
Tabla 23: Resumen Indicadores Prueba de Normalidad de Datos Completados.....	60
Tabla 24: Resumen Precipitación Media Mensual y Anual de la Cuenca .....	63



Tabla 25: Resumen Precipitación Media Mensual y Anual Cuenca Thuru Cancha .....	64
Tabla 26: Asignación de Valores de Curva Número .....	67
Tabla 27: Valores de Curva Número II Octubre – Noviembre.....	68
Tabla 28: Relación de Parámetros y Valores de Curva Número Octubre - Noviembre .	70
Tabla 29: Valores de Curva Número II Diciembre – Enero .....	70
Tabla 30: Relación de Parámetros y Valores de Curva Número Diciembre - Enero.....	71
Tabla 31: Valores de Curva Número II Febrero – Marzo.....	72
Tabla 32: Relación de Parámetros y Valores de Curva Número Febrero - Marzo .....	73
Tabla 33: Resumen de Curva Número Media Ponderada Temporal de la Cuenca.....	74
Tabla 34: Valores de Escurrimiento Superficial de la Cuenca .....	75
Tabla 35: Clasificación de Áreas Susceptibles a Deterioro .....	76
Tabla 36: Clasificación Textural de Suelos de la Cuenca.....	82
Tabla 37: Clasificación de Cobertura y Uso de Suelo de la Cuenca.....	83
Tabla 38: Precipitación Media Mensual y Anual de la Cuenca .....	84
Tabla 39: Valores de Curva Número Media Ponderada de la Cuenca.....	85
Tabla 40: Valores de Escurrimiento Superficial de la Cuenca .....	85
Tabla 41: Detalle Áreas Susceptibles a Deterioro de la Cuenca .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Ubicación Político Administrativo Área Estudio .....	17
Figura 2: Esquema Metodológico General de Investigación .....	20
Figura 3: Mapa de Delimitación de la Cuenca .....	23
Figura 4: Mapa de Altitudes de la Cuenca .....	27
Figura 5: Curva Hipsométrica de la Cuenca Thuru Cancha .....	28
Figura 6: Curva Hipsométrica Adimensional de la Cuenca.....	29
Figura 7: Mapa de Pendientes de la Cuenca .....	32
Figura 8: Frecuencia de Polígonos de Altitud.....	32
Figura 9: Mapa de Orden de Drenaje de la Cuenca .....	34
Figura 10: Mapa del Río Principal de la Cuenca .....	37
Figura 11: Perfil Longitudinal del Río Principal .....	37
Figura 12: Mapa de Origen y Formación de Suelos de la Cuenca.....	40
Figura 13: Mapa Grupos Hidrológicos de Suelos de la Cuenca .....	44
Figura 14: Mapa de Cobertura de Suelos.....	46
Figura 15: Mapa de Uso de Suelos de la Cuenca.....	47
Figura 16: Mapa de Cobertura y Uso de Suelos de la Cuenca.....	48
Figura 17: Precipitación Cronológica Anual Por Estación .....	61
Figura 18: Gráficos de Precipitación Media Mensual por Estación .....	62
Figura 19: Precipitación Media Mensual de la Cuenca .....	64
Figura 20: Mapa de Curva Número II Octubre - Noviembre.....	69
Figura 21: Mapa de Curva Número II Diciembre - Enero.....	71
Figura 22: Mapa de Curva Número II Febrero - Marzo.....	73
Figura 23: Mapa de Susceptibilidad a Deterioro Cuenca.....	77
Figura 24: Mapa de Ubicación Áreas Susceptibles a Deterioro de la Cuenca.....	87

## **Lista de Apéndices**

### Apéndice A. Morfometría de la Cuenca

Tabla A1. Resumen Valores Morfometría de la Cuenca

### Apéndice B. Geoedafología de la Cuenca

Tabla B1. Clasificación Textural de Suelo por Origen y Formación

Tabla B2. Detalle Superficie de Cobertura y Uso de Suelo de la Cuenca

### Apéndice C. Hidroclimatología de la Cuenca

Tabla C1. Datos Recogidos de Precipitación Mensual por Estación

Tabla C2. Tablas Frecuencias Precipitación Anual Completada por Estación

Figura C1. Histograma Precipitación Anual Completada por Estación

Tabla C3. Datos de Precipitación Mensual Completada por Estación

Tabla C4. Cálculo Precipitación Media Mensual de la Cuenca

### Apéndice D. Escurrimiento Superficial de la Cuenca

Tabla D1. Valores de Curva Número Octubre – Noviembre

Tabla D2. Valores de Curva Número Diciembre – Enero

Tabla D3. Valores de Curva Número Febrero – Marzo

### Apéndice E. Mapas Temáticos de la Cuenca

Figura E1. Mapa de Delimitación de la Cuenca

Figura E2. Mapa de Curvas de Nivel

Figura E3. Mapa de Elevaciones

Figura E4. Mapa de Pendientes

Figura E5. Mapa de Orden de Drenaje

Figura E6. Mapa del Río Principal

Figura E7. Mapa de Origen y Formación de Suelos

Figura E8. Mapa de Grupos Hidrológicos de Suelo

Figura E9. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Octubre

Figura E10. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Noviembre

Figura E11. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Diciembre

Figura E12. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Enero

Figura E13. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Febrero

Figura E14. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Marzo

Figura E15. Mapa Curva Numero Octubre – Noviembre

Figura E16. Mapa Curva Numero Diciembre – Enero

Figura E17. Mapa Curva Numero Febrero – Marzo

Figura E18. Mapa Áreas Susceptibles a Deterioro

## Introducción

La elección del tema y objeto de estudio del presente trabajo de investigación, consideró la necesidad de efectuar un aporte al conocimiento de las características morfométricas, geoedáficas e hidroclimáticas en relación a los procesos de escurrimiento superficial; que son identificados de relevancia para la gestión y manejo integrado de la cuenca hidrográfica Thuru Cancha; en atención a la afirmación siguiente:

El manejo integral de cuencas es el conjunto de acciones conducentes al aprovechamiento sostenible de los recursos agua, suelo y cobertura vegetal de la cuenca. El manejo integral de estos recursos presupone la consideración de elementos naturales y artificiales que interfieren en el ciclo natural del agua. Dentro de este ciclo interactúan a diferentes escalas temporales – de minutos a (miles de) años, y espaciales – desde la parcela a las cuencas continentales: el clima, la geología, la topografía, los suelos, la vegetación, la ocupación territorial humana, el uso de los recursos y modificaciones de los sistemas naturales. En estas complejas interacciones a nivel de cuenca juegan un rol particular dos componentes: el suelo y la cobertura vegetal, en especial a través de su interacción sobre un parámetro hidrológico clave: el coeficiente de escurrimiento  $C_e$  (Ministerio de Medio Ambiente y Agua; Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, 2017, pp. 38-39)

En relación a la presente investigación, algunos autores sugieren que “el funcionamiento de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación y convirtiendo parte de esta en escurrimiento. La transformación depende de las condiciones climáticas y las características físicas de la cuenca” (Gaspari y otros, 2012, p. 144)

El análisis y caracterización de la cuenca de estudio fue realizado desde el punto de vista de su funcionamiento; en atención a Gaspari y otros (2019) quienes sugieren que “el funcionamiento puede caracterizarse por la relación de su morfología, textura, tipo de suelo y cobertura vegetal” (p. 35)

La utilización de metodologías del Sistema de Información Geográfica (SIG), es tomada en cuenta en atención a las sugerencias de algunos autores, quienes afirman que “el propósito de un SIG es convertir datos geográficos en información apta para la toma de

decisiones, por medio de la transformación de esa información obtenida en forma de mapas y otras bases de datos” (Gaspari y otros, 2019, p. 7)

La metodología propuesta para la realización del presente trabajo de investigación permitió procesar y analizar información correspondiente a los parámetros de las variables en estudio, utilizando modelos matemáticos e hidrológicos (Gaspari y otros, 2012, pp. 144-145)

La información disponible del área de estudio es considera escasa en un nivel exploratorio, teniendo su antecedente más próximo, el estudio de diseño técnico de preinversión del proyecto Construcción Sistema de Riego Tomina Tarabuquillo 2 Fase, realizado por (Consultora Desarrollo Estratégico Social y Medio Ambiente DESMA srl, 2017), parte de la cual describe la hidrología y las características morfológicas de la cuenca; resultado del procesamiento de información climatológica y parámetros morfológicos considerados reducidos.

La realización del presente trabajo de investigación pretende describir las características geomorfométricas, geodáficas y aspectos hidroclimáticos relevantes que determinan el comportamiento del agua en el área de estudio. Por otra parte, efectuó un análisis y descripción de la relación de variables en estudio, para establecer una aproximación al funcionamiento de la cuenca, basado en la caracterización del proceso de escurrimiento superficial; así, identificar posibles riesgos naturales y/o inducidos en la cuenca Thuru Cancha

### **Justificación**

La realización de la presente investigación, cobra significativa relevancia a partir de la construcción del sistema de riego Tarabuquillo (Tomina), ya que la cuenca Thuru Cancha se constituye en el área de aporte de recursos hídricos con fines de riego, que demanda la necesidad de contar con información, generada a través de la aplicación de metodologías de investigación científica, para contribuir y sustentar la toma de decisiones y acciones de las instancias correspondientes, para la conservación y protección de la cuenca y los recursos hídricos.

El presente estudio se basa en la aplicación del método de investigación científica cuantitativa en un nivel descriptivo, que permitirá generar indicadores y conocimientos respecto a las características actuales de la cuenca Thuru Cancha respecto a los aspectos

morfométricos, geodáficos e hidroclimáticos que describen las características de funcionamiento de la cuenca de acuerdo a la información y resultados cuantitativos obtenidos en relación al proceso de escurrimiento superficial.

La información y conocimientos generados a través de la realización del presente trabajo de investigación, se espera sean referencia para sustentar futuras propuestas de intervención de gestión y manejo integrado de la cuenca de estudio. Asimismo, podrá ser considerada fuente de información para la realización de posteriores estudios de investigación de la cuenca o podrá ser tomada en cuenta como una alternativa metodológica para la realización de estudios similares en otras cuencas.

## **Planteamiento y Formulación del Problema**

### **Planteamiento del Problema**

#### **Situación del Problema**

El problema se encuentra localizado en el Municipio de Tomina del Departamento de Chuquisaca, en la cuenca de aporte Thuru Cancha, misma que fue generada a través de la ejecución de un proyecto de riego en su etapa de inversión, el lugar de emplazamiento de la infraestructura presa se constituye en el punto de cierre de la cuenca de estudio

La recopilación, revisión y análisis de la información disponible del área de estudio, contenida en el estudio de preinversión del proyecto Construcción Sistema de Riego Tomina Tarabuquillo 2 Fase, realizada con el objeto de diseñar un proyecto de inversión, contiene escasa información de la cuenca del río Thuru Cancha

La propuesta del estudio de preinversión respecto al componente de manejo integrado de la cuenca, refiere a la construcción de infraestructura y medidas estructurales de manejo de cuenca a ejecutarse únicamente durante el periodo de ejecución del proyecto, que prioriza áreas y lugares susceptibles a sufrir erosión hídrica, potenciales fuentes de generación de sedimentos

#### **Definición del Problema**

La escasa información disponible de la cuenca de estudio, con un nivel de detalle de descripción superficial, no describe con precisión las características y el funcionamiento de la cuenca; asimismo, no se cuenta con una propuesta de intervención posterior a la

ejecución del proyecto, que no permite sustentar a las instancias correspondientes la intervención para la gestión de manejo y conservación de la cuenca.

### **Formulación del Problema**

¿La información disponible del área de estudio generada a través de la realización de estudios previos y el diseño de preinversión de un proyecto de riego, no permiten describir las características actuales de la cuenca y su funcionamiento de manera adecuada; el nivel de detalle de su descripción es insuficiente para ser considerada y sustentar futuras propuestas de intervención para la gestión y manejo integrado de la cuenca?

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

- Describir los aspectos hidrogeomórficos y geoedáficos de la cuenca Thuru Cancha desde el punto de vista de su funcionamiento; su relación con el proceso de escurrimiento superficial, para identificar áreas susceptibles de deterioro que determinen precisar y sustentar la toma de decisiones para el manejo integrado

#### **Objetivos Específicos**

- Estudiar conceptos teóricos de cuencas hidrográficas para describir las características geomorfométricas de la cuenca de estudio
- Estudiar conceptos teóricos para describir las características geoedáficas del objeto de estudio
- Determinar y describir los aspectos hidroclimáticos para caracterizar el régimen de precipitación del área del estudio
- Analizar y describir el proceso de escurrimiento superficial; en relación a las características hidromorfométricas y geoedáficas de la cuenca; que permita identificar áreas susceptibles a sufrir procesos de deterioro

### **Formulación de Hipótesis**

**H<sub>1</sub>** = Las características morfométricas, geoedáficas e hidroclimática propias de la cuenca Thuru Cancha tienen relación con los procesos de escurrimiento superficial, cuyos indicadores cuantitativos del parámetro Curva Número en condiciones precedentes de humedad media de suelos iguales o mayores a 80,



permiten predecir la existencia de superficies de la cuenca con intensos procesos de escorrentía

### **Delimitación de la Tesis**

#### **Objeto de Estudio**

Las características de la cuenca hidrográfica del río Thuru Cancha del municipio de Tomina del departamento de Chuquisaca

#### **Campo de Acción**

El campo de acción del presente estudio se determinó en base a los objetivos específicos del presente trabajo de investigación:

*Objetivo 1.* Descripción de las características geomorfométricas de forma, relieve y red de drenaje de la cuenca

*Objetivo 2.* Descripción de las características de origen y formación de suelos en relación a las características de textura de suelo; cobertura y uso de suelo

*Objetivo 3.* Descripción de las características hidroclimáticas de la cuenca, que considera esencialmente el parámetro de precipitación mensual

*Objetivo 4.* Descripción del proceso de escurrimiento superficial e identificación y de las áreas con potencial de susceptibilidad a deterioro de la cuenca

#### **Definición de Variables de Estudio**

Las variables de estudio identificadas para la realización del presente trabajo de investigación son: variable geomorfométrica; variable geodáfica, variable hidroclimática y variable escurrimiento superficial.

#### **Variabes de Estudio Independientes**

##### **Variable Morfométrica**

*Parámetros de forma.* Área, perímetro, longitud axial, ancho promedio, factor de forma, coeficiente de compacidad de Gravelius, relación de elongación, y coeficiente de circularidad.

*Parámetros de relieve.* Curva hipsométrica, curva hipsométrica adimensional, altitud media de la cuenca, altitud de frecuencias, pendiente media de la cuenca, frecuencia de polígonos de altitud de la cuenca, coeficiente de masividad y coeficiente orográfico.

*Parámetros de la red hidrográfica.* Orden de cauces de la cuenca, número de cauces, densidad de drenaje, frecuencia de drenaje, longitud de cauce principal, pendiente media del cauce principal, densidad de drenaje, coeficiente de torrencialidad y tiempo de concentración.

### **Variable Geoedáfica**

Los aspectos geoedáficos de la cuenca considera la realización de una descripción del origen y formación de suelos de la cuenca; con la perspectiva de identificar las características texturales; asimismo, considera el parámetro de cobertura y uso de suelo

### **Variable Hidroclimática**

El parámetro de la variable hidroclimatológica esencialmente considera la precipitación total mensual del área de estudio, resultado del procesamiento de datos históricos registrados en estaciones meteorológicas próximas.

### **Variable de Estudio Dependiente**

### **Variable Escurrimiento Superficial**

El escurrimiento superficial es definido como la variable dependiente, cuyo análisis y descripción se realizó en función a las variables independientes geomorfométricas, geoedáficas e hidroclimáticas de la cuenca

### **Matriz de Operación de Variables**

En base a los objetivos y las variables del presente estudio, se definen los aspectos conceptuales, indicadores, herramientas e instrumentos a utilizar; mismos que se describen en la Tabla 1.

**Tabla 1: Matriz de Operativización de Variables**

<b>Objetivos</b>	<b>Variable</b>	<b>Conceptualización</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Herramientas e instrumentos</b>
Objetivo 1. Describir las características morfométricas de la cuenca	Geomorfométrica	Es definida por la morfometría forma de cuenca, forma de drenaje, topología de elevación, topología de declive de alveolos y coeficientes de morfometría	Mapas temáticos, base de datos y resultados cuantitativos de morfometría de la cuenca Descripción del funcionamiento de la cuenca en relación de las características morfométricas	Modelos de elevación digital (DEM) e imágenes satelitales. Software SIG (Arc Map, Global Mapper) Modelos matemáticos, formulas y ecuaciones Visitas y recorridos en campo de validación de mapas temáticos
Objetivo 2. Describir las características geoedáficas de la cuenca	Geoedáfica	Definida por la geoedafología: características de origen y formación de suelos, características texturales de suelos; cobertura y uso de suelo	Mapas temáticos, base de datos y resultados cuantitativos de los aspectos geoedáficos de la cuenca Clasificación textural de suelos Cobertura y uso de suelos Clasificación hidrológica de suelos	Mapas de geología Imágenes satelitales multiespectrales Imágenes satelitales color natural Recorridos validación en campo Software SIG (ArcGis, Global Mapper, Civil 3D)
Objetivo 3. Analizar y describir los aspectos hidrometeorológicos para caracterizar el parámetro de precipitación	Hidroclimática	La hidro climatología de la cuenca considera el parámetro de precipitación	Sistematización y procesamiento de datos históricos Análisis de homogeneidad de datos recogidos Estimación de datos faltantes y evaluación de consistencia de series de datos completadas. Mapas temáticos y determinación de la precipitación media mensual y anual de la cuenca	Aplicación de métodos y modelos estadísticos para el procesamiento y análisis de datos. Software Excel Software y herramientas SIG

*Cont. Matriz de Operativización de Variables*

<b>Objetivos</b>	<b>Variable</b>	<b>Conceptualización</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Herramientas e instrumentos</b>
<p>Objetivo 4.                      Analizar y describir las características de escurrimiento superficial de agua y su impacto e                      Identificar las áreas de la cuenca susceptibles a sufrir deterioro</p>	<p>Escurrimiento superficial en relación a la morfometría, características geoedáficas e hidroclimatológicas                      Potencialidad de erosión hídrica determinará la susceptibilidad de deterioro de la cuenca</p>	<p>Caracterización del proceso de escurrimiento superficial en la microcuenca y análisis de la relación de las variables geomorfometría, geoedáfica e hidroclimáticas de la cuenca                      El análisis y evaluación de los procesos de escurrimientos superficial permitirá la identificación de las áreas con potencialidad de sufrir deterioro</p>	<p>Mapas temáticos de la variable escurrimiento superficial del área de estudio                      Resultados de capacidad de infiltración y esorrentía superficial                      Análisis de indicadores cuantitativos, mapas temáticos de identificación y ubicación geográfica de áreas con potencialidad de sufrir deterioro</p>	<p>Procesamiento de datos a través de metodologías y herramientas SIG                      Modelos matemáticos e hidrológicos para la realización de cálculos y obtención de resultados                      Análisis y contrastación de resultados obtenidos</p>

## CAPÍTULO I

### 1 Marco Teórico

#### 1.1 Marco Teórico Conceptual

##### 1.1.1 Cuenca Hidrográfica

Las definiciones generales referidas al objeto de estudio son presentadas seguidamente:

La cuenca hidrográfica o de aporte, correspondiente a una determinada sección de un curso de agua, es la superficie del terreno delimitada topográficamente (divisoria de aguas) en la cual, los excesos de lluvia caída son conducidos superficialmente por medio de afluentes hasta la sección del curso predefinido. Este concepto hace referencia únicamente al escurrimiento superficial, y por lo tanto carece de un elemento muy importante como lo es el flujo subterráneo, puesto que esta es la componente del escurrimiento que mantiene con agua la mayor parte de los ríos, durante el lapso que transcurre entre precipitaciones. (Sciortino, 2019, p. 3)

Respecto a los conceptos de funcionamiento de una cuenca hidrográfica, algunos autores como Gaspari y otros (2019) sostienen que “desde el punto de vista de su funcionamiento, una cuenca hidrográfica puede caracterizarse por su morfología, por la naturaleza del suelo y por la cobertura vegetal y uso del suelo” (p. 35)

El funcionamiento de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación y convierte parte de esta en escurrimiento. La transformación depende de las condiciones climáticas y las características físicas de la cuenca. La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica, ante eventos climáticos, está relacionada con la posibilidad de aprovechamiento hídrico y con la generación de una respuesta a los mismos, como la escorrentía superficial. (Gaspari y otros, 2012, p. 144)

Considerar a la cuenca como una unidad física para la planificación y gestión del desarrollo sostenible, la integración de los parámetros morfométricos concede una contribución para la toma de decisiones sobre temas sensibles, como lo son el ordenamiento territorial y la planificación del uso del suelo para su conservación. (Riva y otros, 2021, p. 15)

### 1.1.2 Aspectos Morfométricos de una Cuenca

Respecto a la morfometría de una cuenca Gaspari y otros (2013) sugieren que “el análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia” (p. 48)

Otros autores en referencia a la morfometría de una cuenca afirman lo siguiente:

El análisis morfométrico permite medir y analizar cuantitativamente la forma, estructura y extensión de las cuencas. Resulta determinante para comprender la relación entre las características geohidrológicas del terreno y sus respectivos patrones de flujo. Ello permite determinar el grado de infiltración y escorrentía en la cuenca, así como la producción y el transporte de sedimentos. (Méndez y otros, 2021, p. 2)

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente, particularmente en los eventos de avenidas máximas, en particular, las cuencas de igual área, pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes. Parece claro que existe una fuerte componente probabilística en la determinación de una cuenca mediante sus parámetros y las características de la red de drenaje. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con esas de otras cuencas. La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. (Lux, 2016, p. 2)

Respecto a la morfometría de relieve de una cuenca Morales (2019) sostiene que “son de vital importancia puesto que el relieve de una cuenca puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma misma de la cuenca” (p. 20)

Algunas definiciones e importancia de los aspectos de morfometría de red de drenaje de una cuenca, es sugerida por algunos autores que indican lo siguiente:

El estudio morfométrico de cuencas fluviales basado en jerarquización de variables que componen la red fluvial, permite sistematizar la diversidad de formas de cuencas, su tipificación y cartografía de unidades territoriales; en función de estas variables, interpretan sus configuraciones con base en parámetros

que dividen en propiedades lineales de las redes de drenaje para interpretar la función de transporte de agua, en características superficiales o área de captación pluvial que ayudan a la interpretación de la dinámica de cuencas. (Guevara y otros, 2019, p. 143)

La forma en que estén conectados los canales en una cuenca determinada, influye en la respuesta de esta a un evento de precipitación. Se ha desarrollado una serie de parámetros que tratan de cuantificar la influencia de la forma del drenaje en la escorrentía superficial directa (Morales, 2019, p. 24)

En consideración a las zonas funcionales de la cuenca, se considera que las elevadas pendientes que dominan las zonas alta y media, son caracterizadas en su perfil longitudinal al considerarse estar en etapa de equilibrio, con tendencia en su parte baja hacia una cuenca de valle, estas zonas presentan importantes cadenas montañosas que registran constantes cambios de uso del suelo (agrícola principalmente) y de vegetación, manifestados en diferentes gradientes altitudinales y de pendiente lo que favorece la velocidad de los flujos superficiales, el aumento del proceso erosivo y deposición de sedimentos en la zona baja. La red de drenaje está representada por su elevado grado de jerarquización y ramificación de tipo dendrítico y subdendrítico que influye en la respuesta hidrológica de la cuenca, pero condicionada por el material permeable que conforman el suelo, la cobertura vegetal boscosa en la zona alta y la actividad agrícola y pecuaria en la cuenca media y baja principalmente. (Guevara y otros, 2019, p. 154)

### **1.1.3 Aspectos Geoedáficos de una Cuenca**

Gaspari y otros (2019) manifiestan que “desde el punto de vista de su funcionamiento, una cuenca hidrográfica puede caracterizarse por su morfología, por la naturaleza del suelo, por la cobertura vegetal y uso del suelo (Gaspari et al., 2012)” (p. 35)

Respecto a la relación de los factores formadores y origen que tienen relación con las propiedades físicas de los suelos, algunos autores sugieren lo siguiente:

La geomorfología tiene que contar prioritariamente con el factor geológico que explica la disposición y resistencia de los materiales. Las estructuras derivadas de la tectónica y de la litología configuran frecuentemente los volúmenes del relieve

de un modo más o menos directo. De las condiciones climáticas, biogeográficas, topográficas y litológicas, depende la eficacia erosiva de los cursos de agua y de otros modos de escorrentía. (Espinosa, 2020, p. 10)

La aproximación al estudio del suelo desde los “factores formadores”, ha sido clave en el desarrollo de la ciencia del suelo; estos definen el estado del sistema y permiten predecir procesos de formación y propiedades de un suelo, si se conoce la combinación de los factores que describen el sistema (Birkeland, 2005). (Morales, 2019, p. 27)

Factores edáficos en el suelo, la textura, la agregación del suelo, la distribución de las partículas, la permeabilidad del perfil, la humedad inicial del suelo y la pedregosidad superficial son los principales factores determinantes de la erosión de los mismos. Los suelos con estructuras bien desarrolladas, estables y migajosas resisten por más tiempo la separación de partículas, absorbiendo las lluvias más rápidamente, reduciendo la magnitud del escurrimiento destructivo. (Gaspari y otros, 2013, p. 135)

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. (Rosero y otros, 2019, p. 47)

Gaspari y otros (2013) sostienen que “la parte aérea de la cubierta vegetal y su arquitectura foliar y caulinar interceptan la lluvia, amortiguando su fuerza de impacto de las gotas sobre el suelo, contribuyendo a disminuir su energía cinética inicial” (p. 135)

#### **1.1.4 Aspectos Hidroclimáticos de una Cuenca**

La variable hidroclimática considerada en el presente estudio, fue identificada interpretando a algunos autores que afirman lo siguiente:

La distribución en el tiempo, volumen e intensidad de las precipitaciones. La intensidad y la duración de las precipitaciones determinan el volumen total de agua escurrida en la cuenca. Las lluvias de baja intensidad y larga duración saturan la capacidad de retención del suelo. Las lluvias de gran intensidad provocan desagregado de las partículas del suelo sellando la superficie, disminuyendo la



tasa de infiltración y aumentando el escurrimiento superficial. (Gaspari y otros, 2013, pp. 70-71)

Ante sucesos climáticos, la posibilidad de aprovechamiento hídrico y la capacidad de respuestas a los mismos, como la escorrentía superficial y el transporte de sedimentos y nutrientes, a lo largo de los distintos ecosistemas que integran una cuenca. (Riva y otros, 2021, p. 2)

### **1.1.5 Escurrimiento Superficial de Cuenca**

Pérez (2015) define al escurrimiento superficial como “la parte de la precipitación que se escapa de la infiltración y de la evapotranspiración y que consecuentemente, circula por la superficie (arroyamiento en superficie). Escorrentía en sentido amplio es la circulación de agua producida en un cauce superficial” (p. 173)

Prieto y otros (2013) sostienen que “la escorrentía superficial es el fenómeno de mayor importancia desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica y consiste en la ocurrencia y conducción de agua en la superficie terrestre (Monsalve 1999)” (p. 1)

## **1.2 Marco Teórico Metodológico**

### **1.2.1 Técnicas para la Recolección de Datos e Información**

Useche y otros (2019) establecen que la “recolección de datos consiste en recoger y organizar datos relacionados sobre variables, hechos, contextos, categorías y comunidades involucrados en la investigación, y estos son obtenidos a través de la aplicación de instrumentos que deben ser correctos” (p. 29)

### **1.2.2 Herramientas e Instrumentos para el Procesamiento de Datos**

En relación a las metodologías y herramientas del Sistema de Información Geográfica, algunos autores afirman lo siguiente:

Un sistema de información geográfica (SIG) es: “un conjunto de programas, equipamientos, metodologías, datos y personas (usuarios), perfectamente integrado, de manera que hace posible la recolección de datos, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos georreferenciados, así como la producción de información derivada de su aplicación” (Gaspari y otros, 2019, p. 6)

El empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para el análisis de superficies mediante Modelos Digitales de Elevación (MDE), ha tomado importancia en estudios de los parámetros morfométricos en cuencas hidrográficas. La utilización de tecnología geoespacial (TG), reduce los costos y el tiempo en el planeamiento y en el manejo integral de cuencas debido a que permite conocer el funcionamiento del sistema hidrológico de una determinada región, estimando y almacenado los datos de las características descriptivas del área a través de programas computacionales Salas Aguilar et al., 2011. (Riva y otros, 2021, p. 3)

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), es un índice práctico que emplea la banda NIR que es el infrarrojo cercano y la banda roja del espectro electromagnético visible, con ello se puede vigilar la sequía, el estado de la vegetación, procesos de deforestación y desertificación. según el índice: los valores se encuentran entre el intervalo de -1,0 a 1,0. valores negativos caracterizan a cuerpos de agua, nieve y nubes, 0 suelo desnudo, valores entre 0,2 y 0,3 indican praderas y arbustos, los bosques templados y tropicales presentan valores entre 0,6 a 0,8 (EOS, 2022). (Roque, 2022, p. 234)

Prieto y otros (2013) sostienen que “el empleo de SIG en la modelización permite atenuar los problemas existentes debidos a la variabilidad de las características físicas y geomorfológicos en una cuenca hidrográfica. Para la Generación del Umbral de Escorrentía” (p. 5)

### **1.2.3 Procesamiento de Datos, Análisis y Evaluación de Resultados**

Con relación a las metodologías para el procesamiento de datos, análisis y evaluación de resultados, algunos autores afirman lo siguiente:

Estadística descriptiva: se relaciona con el tratamiento de los datos existentes a fin de obtener toda la información posible, mediante su adecuada ordenación por medio de clasificaciones en forma de tablas, gráficos, etc. Estadística matemática o inferencial: se basa en comparar, el fenómeno analizado con modelos probabilísticos teóricos, a fin de obtener la información que no resulta evidente con la simple ordenación de los datos. Para esto se ha desarrollado una aplicación de la Teoría de las Probabilidades. (Sciortino, 2019, p. 41)

#### 1.2.4 Modelos Hidrológicos y Matemáticos Para la Obtención de Resultados

Respecto a las metodologías basadas en modelos hidrológicos y matemáticos, algunos autores afirman lo siguiente:

Se puede definir modelo como una representación simplificada del mundo real, que permite tener una idea de lo que ocurre bajo ciertas circunstancias. Los modelos hidrológicos intentan representar los diferentes procesos que se dan dentro de un espacio (generalmente una cuenca) y que transforman, en principio, una precipitación en escorrentía. (Pascual y Díaz, 2016, p. 1)

Un modelo matemático expresa el comportamiento del sistema por medio de un conjunto de ecuaciones, que pueden ir acompañadas de declaraciones lógicas expresando las relaciones entre las variables y parámetros. Los modelos teóricos, conceptuales y empíricos, según el planteamiento matemático del modelo se diferencia entre: *Modelos teóricos*: modelos basados en las leyes de la física. Un modelo teórico tiene una estructura lógica similar al sistema del mundo real y puede ser útil en circunstancias cambiantes. *Los modelos empíricos*. Se basan en cálculos matemáticos fruto de la experimentación. Por tanto, contienen parámetros que pueden tener poco significado físico directo y pueden estimarse sólo mediante mediciones simultáneas de entrada y salida. *Los modelos conceptuales*. Son modelos intermedios entre los modelos teóricos y los empíricos. (Pascual y Díaz, 2016, p. 4)

La cuantificación del escurrimiento superficial es importante en los procesos de erosión hídrica superficial de los suelos, la cual genera fragilidad en los sistemas ambientales. Es por ello que se han desarrollado diferentes métodos paramétricos que utilizan fórmulas empíricas basadas en datos experimentales que permiten determinar el escurrimiento en las cuencas de recepción. La simplicidad con que se trata el fenómeno en estos casos, hace que los resultados tengan un valor orientativo para períodos de tiempo suficientemente amplios, siendo desaconsejable su uso con series meteorológicas cortas o incompletas. Cuanto menos factores o parámetros intervienen, más sencilla resulta la ecuación de aplicar, pero ofrece menores garantías (López Cadenas del Llano, 1998)”. (Gaspari y otros; 2013, p. 71)

La metodología del número de curva (NC ó CN) elaborada por el Soil Conservation Service SCS de Estados Unidos, que se utiliza para determinar la escorrentía superficial, es un método aplicado cuando se desea obtener una adecuada aproximación (Kent, 1968; SCS, 1972). Las razones principales para el uso generalizado del método son: - Aplicabilidad y eficacia aceptadas, debida al hecho de tratarse de un método ampliamente conocido y de uso habitual. - Requiere un reducido número de variables para su aplicación, y estas son relativamente fáciles de obtener. - Aunque utiliza un único parámetro, los resultados son similares y coherentes con otros modelos de mayor complejidad". (Prieto y otros, 2013, p. 1)

## CAPÍTULO II

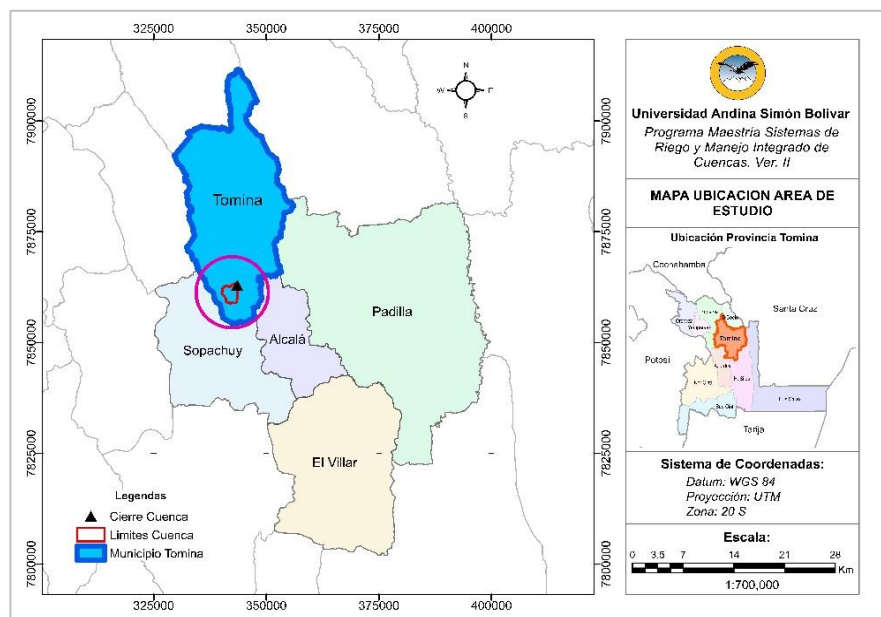
### 2 Marco Contextual

#### 2.1 Contexto del Área de Estudio

##### 2.1.1 Ubicación Político Administrativo

En el contexto político y administrativo, la cuenca Thuru Cancha se encuentra ubicada en el Departamento de Chuquisaca, Provincia Tomina, Sección Municipal Tomina

**Figura 1: Mapa de Ubicación Político Administrativo Área Estudio**



*Nota.* Mapa elaborado en base a mapas de unidades administrativas de Bolivia (GeoBolivia)

##### 2.1.2 Ubicación Geográfica

El área de estudio correspondiente a la cuenca Thuru Cancha; en el sistema de coordenadas WGS84, proyección UTM zona 20S se encuentra resumida en la Tabla 2.

**Tabla 2: Extensión Geográfica del Área de Estudio**

Descripción		Sistema de Coordenadas WGS84, Proyección UTM, Zona S20			
		De Este a Oeste		De Norte a Sur	
		X m E	Y m S	X m E	Y m S
Cuenca Thuru Cancha	Desde:	343669	7860038	343310	7863429
	Hasta:	340077	7861219	341932	7858776

*Nota.* El punto de cierre de la cuenca en el sistema de coordenadas WGS 84, proyección UTM Zona 20S, tiene las coordenadas geográficas: 343548 m. Este y 7862964 m. Sur; y una altitud de 2281 msnm

### 2.1.3 Ubicación Hidrográfica

La cuenca objeto del presente estudio, hidrográficamente y de acuerdo a la clasificación de cuencas definida por el *Método Pfafstetter*, se encuentra ubicada en la Región Hidrográfica Amazonas; los niveles hidrográficos de cuencas en el cual se encuentra el área de estudio, es resumido en la Tabla 3.

**Tabla 3: Ubicación Hidrográfica de la Cuenca de Estudio**

Nivel	Código Nivel Cuenca	Nombre de Cuenca o Unidad Hidrográfica
Nivel 1	4	Región Hidrográfica Amazonas
Nivel 2	46	Cuenca del Amazonas
Nivel 3	466	Cuenca del Río Mamoré
Nivel 4	4669	Cuenca del Río Grande
Nivel 5	46699	Cuenca Alta del Río Grande

*Nota.* La ubicación hidrográfica del área de estudio elaborada en base a Mapas de Unidades Hidrográficas de Bolivia. GeoBolivia (2023)

La cuenca de estudio contiene al río principal denominado Thuru Cancha, el cual es afluente del río Tomina, cuyo recurso hídrico desemboca en la cuenca Alta del Río Grande.

## **CAPÍTULO III**

### **3 Desarrollo de la Investigación**

#### **3.1 Metodología**

##### **3.1.1 Método de Investigación**

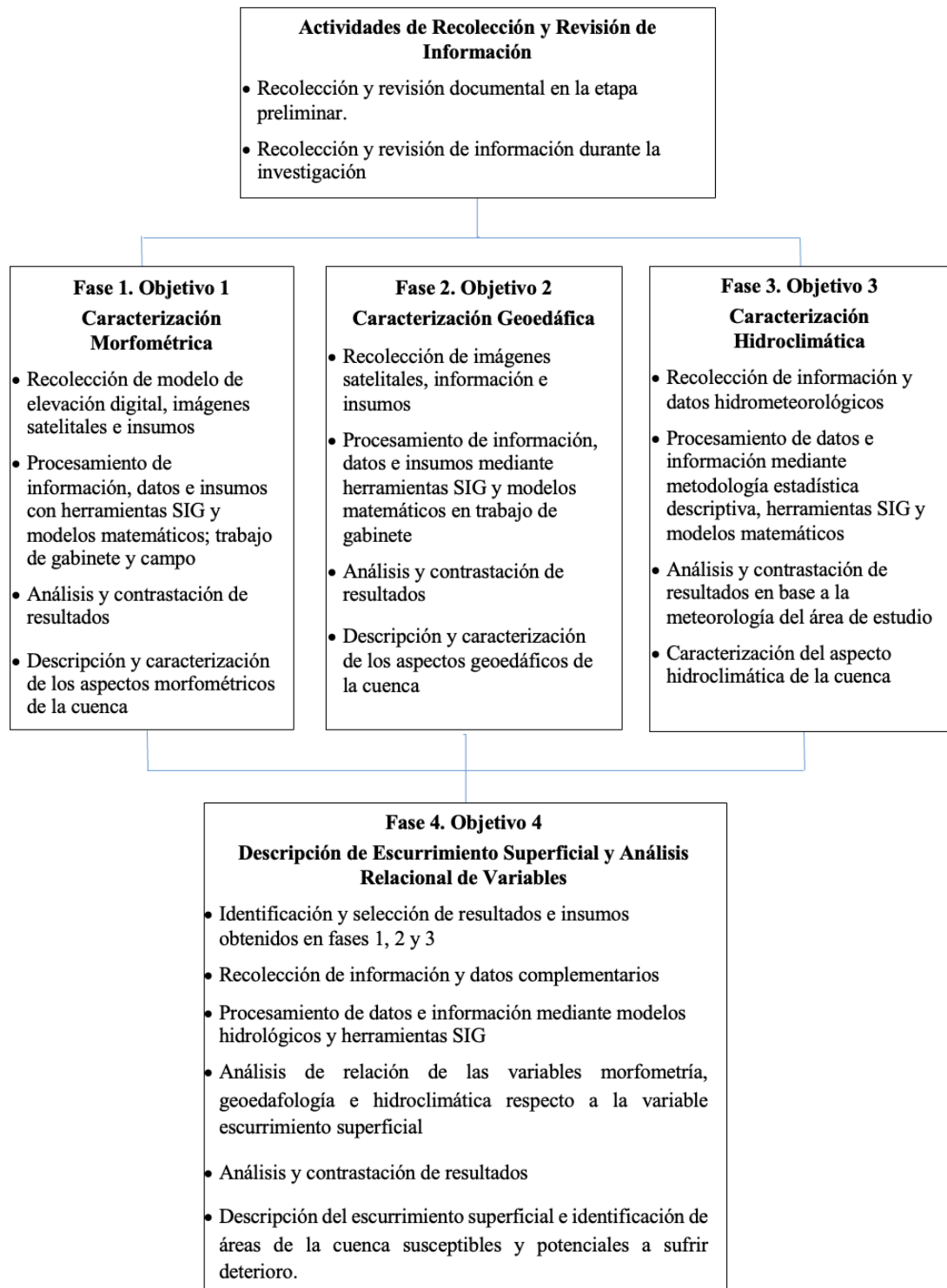
El presente trabajo de tesis considera la aplicación del método de Investigación Cuantitativa en un nivel Explicativo; que, a través del análisis de resultados e indicadores obtenidos permitirá describir las características y el comportamiento de los diferentes factores o variables independientes relacionados al proceso de escurrimiento superficial en la cuenca de estudio.

El análisis de los parámetros correspondientes a las variables independientes permitirá observar, evaluar y describir el comportamiento de los aspectos hidrogeomórficos y geodárficos; asimismo, se efectuará una descripción del comportamiento de la variable dependiente expresada a través del escurrimiento superficial de la cuenca Thuru Cancha; es decir, cada variable se analizará de forma independiente. Para finalmente efectuar un análisis de relación de las variables de estudio en relación al funcionamiento de la cuenca.

##### **3.1.2 Descripción Metodológica de la Investigación**

Las actividades de investigación consideran la realización de trabajos de gabinete principalmente, a través de la figura 1, se muestra de manera resumida la propuesta metodológica desarrollada, que considera los procesos, actividades e indicadores obtenidos de acuerdo a los objetivos específicos.

**Figura 2: Esquema Metodológico General de Investigación**





### ***3.1.2.1 Actividades de Recolección y Revisión de Información***

Las actividades de recolección y revisión de información se iniciaron en la etapa preliminar de la investigación y tuvo continuidad durante las sucesivas etapas de realización del presente trabajo.

La obtención de datos preliminares consistió en la recolección y organización de información, relacionada al contexto de la investigación. Se realizó un análisis de la información obtenida a través de la aplicación de técnicas de revisión documental, que permitió la identificación del objeto de estudio, variables y parámetros; planteamiento de la propuesta de investigación.

Una vez definido el tema de investigación, el método de investigación propuesto e identificadas las variables de estudio, respaldada por el marco teórico se diseñó la propuesta de trabajo de investigación.

Si bien las actividades de recolección de información, fueron iniciadas en la etapa preliminar del estudio de investigación; la realización de esta actividad tuvo continuidad durante todas las etapas del presente trabajo. De acuerdo al diseño preliminar de la propuesta de recolección de datos, se hace una descripción de las técnicas identificadas y priorizadas:

### ***3.1.2.2 Técnica de Revisión Documental***

Consistió en la exploración exhaustiva de libros, publicaciones de trabajos de investigación científica, información y documentos sobre el presente tema de investigación. La aplicación de la presente técnica permitió identificar, extraer y sistematizar información sobre el tema de estudio; siendo la base de estructuración del marco teórico; que posteriormente permitió sustentar la discusión y contrastación de los resultados obtenidos.

### ***3.1.2.3 Técnica de Recolección de Información de Plataformas Web***

La obtención de información y datos de plataformas web, consideran esencialmente sitios web especializados que se constituyeron en fuente de información e insumos: Modelo de elevación digital de elevación, imágenes satelitales multiespectrales, imágenes u ortofotos generadas a través de sensores remotos, información histórica del parámetro

precipitación total mensual, mapas de unidades hidrológicas de niveles de cuenca, mapas de geología del área de estudio

## **3.2 Diagnóstico**

### **3.2.1 Caracterización Morfométrica**

Interpretando las sugerencias de Gaspari y otros (2019) la caracterización morfométrica de la cuenca Thuru Cancha, se realizó con un enfoque respecto a su funcionamiento; identificando y priorizando los parámetros de forma, relieve y red de drenaje de relevancia respecto a los objetivos plateados. El procesamiento de insumos consideró el uso de metodologías y herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG), los resultados cuantitativos se determinaron a través de la aplicación de fórmulas empíricas, teóricas y utilización de planillas de cálculo; de esta manera integrar los resultados e indicadores con la caracterización del área de estudio. (p. 36)

El procesamiento de información para la determinación de la morfometría de la cuenca, se realizó a partir del modelo de elevación digital (DEM), recogido de la plataforma Earth Data – ASF Data Search Vertex<sup>1</sup>, proyecto: Alos Parsal; Mapa de cobertura FBD ALOS L1.5 Mapa de cobertura de haz ancho con una resolución espacial de 12.5 m; de fecha 10-10-2010. El DEM tuvo su corrección radiométrica (RTC) en 2014. (Earthdata, 2023)

#### ***3.2.1.1 Determinación de los Parámetros de Forma de la Cuenca***

El procesamiento de información para la determinación de los parámetros de forma de la cuenca, se inició con el relleno de sumideros y delimitación de la cuenca a través del software ArcGis, tomando en cuenta las referencias geográficas de ubicación de la presa que determina el punto de cierre de la cuenca.

La proyección del DEM fue realizada en el Sistema de Coordenadas WGS 84, Proyección UTM y Zona 20 S, determinando la dirección de flujo a través del método Múltiple Dirección de Flujo que considera 8 direcciones (MDF D8); asimismo, se determinó la acumulación de flujo.

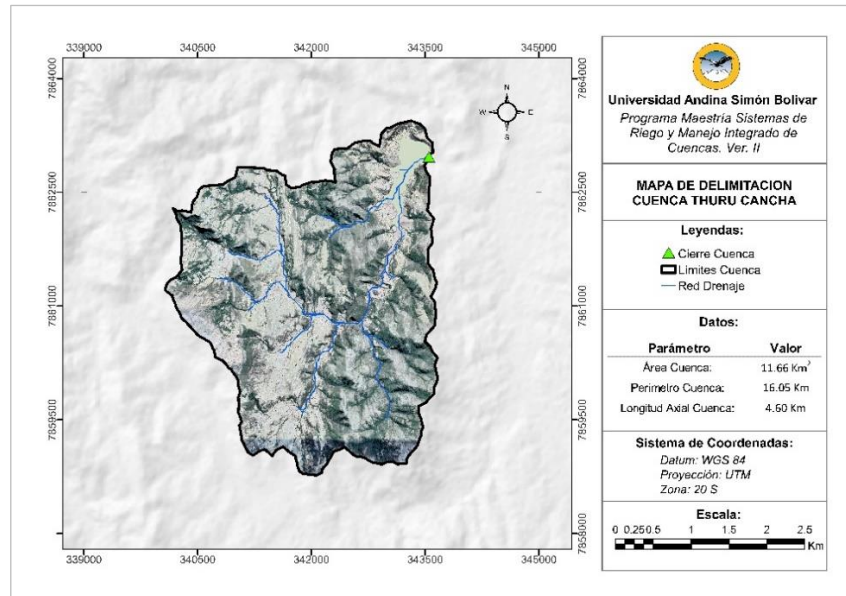
En base a la dirección y acumulación de flujo; punto de ubicación de la presa, se realizó la delimitación automática de la cuenca Thuru Cancha; efectuando la conversión de ráster

---

<sup>1</sup> <https://search.asf.alaska.edu/#/>

a polígono y generar la base de datos de los indicadores generales de la cuenca. En la figura 3, se representa gráficamente los límites y se resume la información de los aspectos generales de la cuenca Thuru Cancha.

**Figura 3: Mapa de Delimitación de la Cuenca**



### 3.2.1.1.1 Área, Perímetro y Longitud Axial

Los valores de los parámetros generales de Área, Perímetro y Longitud Axial del área de estudio, se determinó luego de la elaboración del mapa de delimitación de la cuenca Thuru Cancha, que permitió generar la base de datos. El detalle de los valores obtenidos se muestra en la tabla 4

**Tabla 4: Valores de Área, Perímetro y Longitud Axial de la Cuenca**

N°	Parámetro	Descripción	Valor
1	Área (A)	Área total de la cuenca hidrográfica	11.66 Km <sup>2</sup>
2	Perímetro (P)	Longitud del límite de la cuenca	16.05 Km
3	Longitud Axial (La)	Distancia entre la salida y punto más lejano del curso principal de agua de la cuenca	4.60 Km

**Nota.** Los valores de los parámetros generales, fueron obtenidos de la base de datos generados en atributos del mapa temático de delimitación de la cuenca

### 3.2.1.1.2 Ancho Promedio

El ancho promedio de una cuenca de acuerdo a Gaspari y otros (2013) es “la relación entre la superficie de la cuenca con La” (p. 51). Por tanto, el cálculo de ancho promedio fue realizado a través de la Ecuación 1

$$A_p = \frac{A}{L_a} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$A_p$  = Ancho Promedio [Km];  $A$  = Área de la Cuenca [ $Km^2$ ] y  $L_a$  = Longitud Axial [Km]

$$A_p = \frac{11.66 \text{ Km}^2}{4.60 \text{ Km}} = 2.53 \text{ Km}$$

El valor calculado del Ancho Promedio de la cuenca es de 2.53 Km

### 3.2.1.1.3 Factor de Forma

Según Gaspari y otros (2013), el factor de forma “se expresa como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca ( $A_p$ ) y la longitud axial ( $L_a$ ) o longitud del río desde su punto más alto (López Cadenas de Llano, 1998)” (p. 51)

El cálculo del valor del parámetro Factor de Forma de la cuenca fue realizado a través de la ecuación 2.

$$IF = \frac{A_p}{L_a} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

IF = Factor de Forma [adimensional];  $A_p$  = Ancho Promedio [Km] y  $L_a$  = Longitud Axial [Km]

$$IF = \frac{2.53 \text{ Km}}{4.60 \text{ Km}} = 0.55$$

Interpretando a Gaspari y otros (2013) de acuerdo al valor calculado del factor de forma igual a 0.55, se describe la cuenca de forma achatada con cierta tendencia a la redondez, que permite caracterizar el funcionamiento de la cuenca con susceptibilidad moderada a la ocurrencia de crecidas. (p. 51)

### 3.2.1.1.4 Coeficiente de Compacidad de Gravelius

Riva y otros (2021) sostienen que el “coeficiente de compacidad de Gravelius ( $K_c$ ): compara el perímetro de la cuenca ( $P$ ) con el perímetro de un círculo teórico de área

semejante al de la cuenca (Gravelius, 1914)” (p. 4). La expresión de cálculo del valor de  $K_c$  se muestra en la ecuación 3

$$K_c = 0.2821 * \frac{P}{A^{0.5}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$K_c$  = Coeficiente de Compacidad de Gravelius [adimensional];  $P$  = Perímetro de la Cuenca [Km]  
y  $A$  = Área de la Cuenca [Km<sup>2</sup>]

$$K_c = 0.2821 * \frac{16.05 \text{ Km}}{(11.66 \text{ Km}^2)^{0.5}} = 1.33$$

Los indicadores de acuerdo a los valores del parámetro de coeficiente de compacidad de Gravelius son resumidos en la tabla 5

**Tabla 5: Indicadores del Parámetro Coeficiente de Compacidad de Gravelius**

Valor de $K_c$	Forma de Cuenca	Característica
= 1	Cuenca Redonda	
1.25 – 150	Cuenca Oval Redonda	A medida que el valor de $K_c$ se aproxime a 1, la cuenca tendrá mayor tendencia a ser redonda, que conlleva a mayor peligrosidad de ocurrencia de crecidas
1.50 – 1.75	Cuenca Oblonga	
> 1.75	Cuenca Rectangular Oblonga	

*Nota.* Tabla elaborada con fuente (Gaspari y otros, 2013, pp. 51-52)

Del análisis del valor calculado del Coeficiente de Compacidad de Gravelius de 1.33; en base a la tabla 5, se describe la cuenca Thuru Cancha de forma oval redondeada, característica que permite predecir la ocurrencia de moderadas crecidas

#### 3.2.1.1.5 Relación de Elongación

La relación de elongación ( $R_e$ ) de acuerdo a lo establecido por Lux (2016) “es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma. La fórmula es la propuesta por Shumm (1956)” (p. 6); como se detalla en la ecuación 4

$$R_e = 1.1284 \frac{\sqrt{A}}{L_c} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$R_e$  = Relación de Elongación [adimensional];  $A$  = Área de la Cuenca [Km<sup>2</sup>] y  $L_c$  = Longitud Total de la Cuenca [Km]

$$R_e = 1.1284 \frac{\sqrt{11.66 \text{ Km}^2}}{4.60 \text{ Km}} = 0.84$$

### 3.2.1.1.6 Coeficiente de Circularidad

La determinación del coeficiente de circularidad fue realizada aplicando la ecuación 5, de acuerdo a lo establecido por Riva y otros (2021) quienes “relacionan la superficie de la cuenca (A) con el área de un círculo teórico de igual perímetro que el de la cuenca (Miller, 1953)” (p. 6)

$$C_c = 4\pi \left( \frac{A}{P^2} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$C_c$  = Coeficiente de Circularidad [adimensional]; A = Área de la Cuenca [ $\text{Km}^2$ ] y P = Perímetro de la Cuenca [Km]

$$C_c = 4\pi * \frac{11.66 \text{ Km}^2}{(16.05 \text{ Km})^2} = 0.57$$

Del análisis del valor del Coeficiente de Circularidad de la cuenca de estudio igual a 0.57 e interpretando a Riva y otros (2021) quienes sugieren que “este coeficiente tiene valores entre 0 y 1, donde valores cercanos a 0 corresponden a cuencas alargadas y valores próximos a 1 a cuencas con forma redonda (Senisterra et al., 2014)” (p. 6); se describe la cuenca de forma con tendencia a ser redonda.

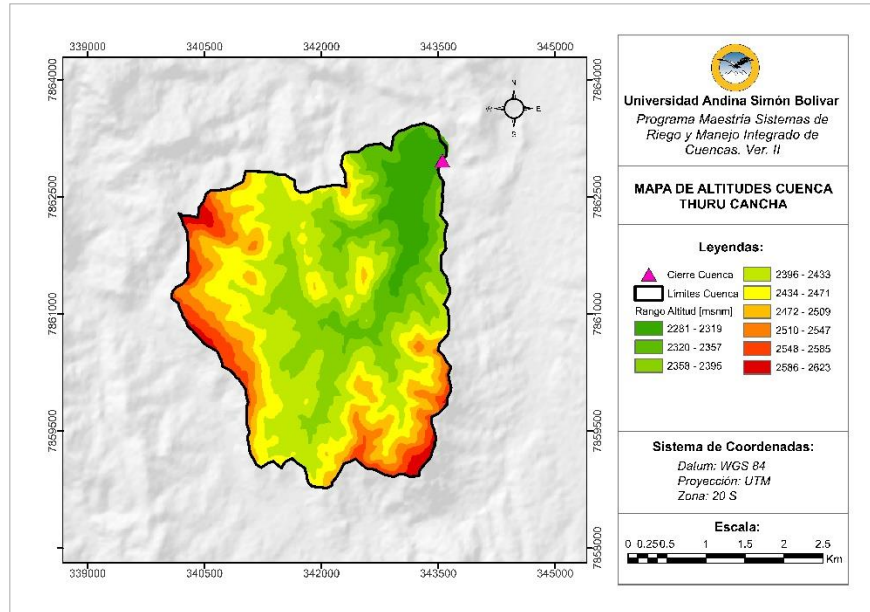
### 3.2.1.2 Determinación de los Parámetros de Relieve de la Cuenca

#### 3.2.1.2.1 Curva Hipsométrica

Gaspari y otros (2013) sugieren que “la generación de la curva hipsométrica permite obtener una síntesis gráfica de la distribución del área de la cuenca de acuerdo a su elevación (Gaspari et al, 2009)” (p. 52)

La determinación de la curva hipsométrica de la cuenca fue realizada procesando el DEM con la utilización del software ArcGis, generando preliminarmente un mapa de altitudes (figura 4), clasificando las altitudes de la cuenca en 9 intervalos de elevaciones.

**Figura 4: Mapa de Altitudes de la Cuenca**



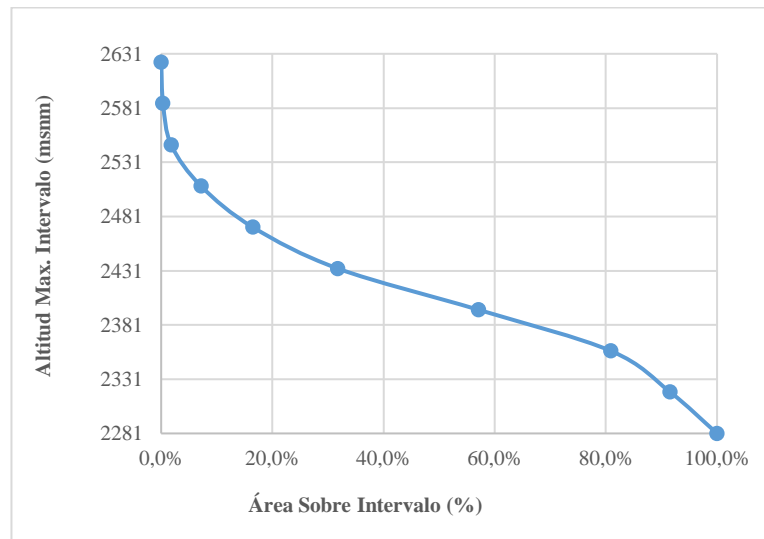
Los valores obtenidos fueron organizados clasificando las áreas parciales y acumuladas por intervalo de altitud expresadas en unidades de superficie y porcentaje. Los resultados obtenidos son presentados en la tabla 6

**Tabla 6: Distribución de Superficie en Relación a la Altitud**

Rango Altitud	Área en Rango (Km <sup>2</sup> )		Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje Área		Porcentaje Relativo			
	Mín.	Máx.		Parcial	Acum	Parcial	Acum	Sobre	Bajo
2281	2281		0.00	0.00	11.66	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
2281	2319		0.98	0.98	10.68	8.4%	8.4%	91.6%	8.4%
2320	2357		1.24	2.22	9.44	10.7%	19.1%	80.9%	19.1%
2358	2395		2.78	5.00	6.66	23.9%	42.9%	57.1%	42.9%
2396	2433		2.95	7.95	3.71	25.3%	68.2%	31.8%	68.2%
2434	2471		1.78	9.73	1.93	15.3%	83.5%	16.5%	83.5%
2472	2509		1.09	10.82	0.84	9.4%	92.8%	7.2%	92.8%
2510	2547		0.63	11.45	0.21	5.4%	98.2%	1.8%	98.2%
2548	2585		0.17	11.62	0.04	1.5%	99.7%	0.3%	99.7%
2586	2623		0.04	11.66	0.00	0.3%	100.0%	0.0%	100.0%

En base a los datos descritos en la tabla 6, se elaboró el gráfico de curva hipsométrica de la cuenca, que se muestra en la figura 5.

**Figura 5: Curva Hipsométrica de la Cuenca Thuru Cancha**



En relación a la caracterización de la curva hipsométrica algunos autores sugieren lo siguiente:

La importancia de CH reside en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca. La curva superior (curva A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria. (Gaspari y otros, 2013, p. 53)

El análisis comparativo de la curva hipsométrica generada (figura 5) y la curva teórica de propuesto por Strahler (1952) citado en Gaspari y otros (2013), se determina que la curva corresponde al tipo B, indicador del estado de equilibrio que caracteriza la cuenca Thuru Cancha con moderado potencial erosivo.

#### *3.2.1.2.2 Curva Hipsométrica Adimensional*

Los valores obtenidos en el mapa temático de altitudes de la cuenca fueron cuantificados, determinando las áreas relativas parciales y acumuladas en relación a la altura máxima. Asimismo, se determinaron las superficies de área relativas en relación a la superficie total de la cuenca, como se detalla en la tabla 7.

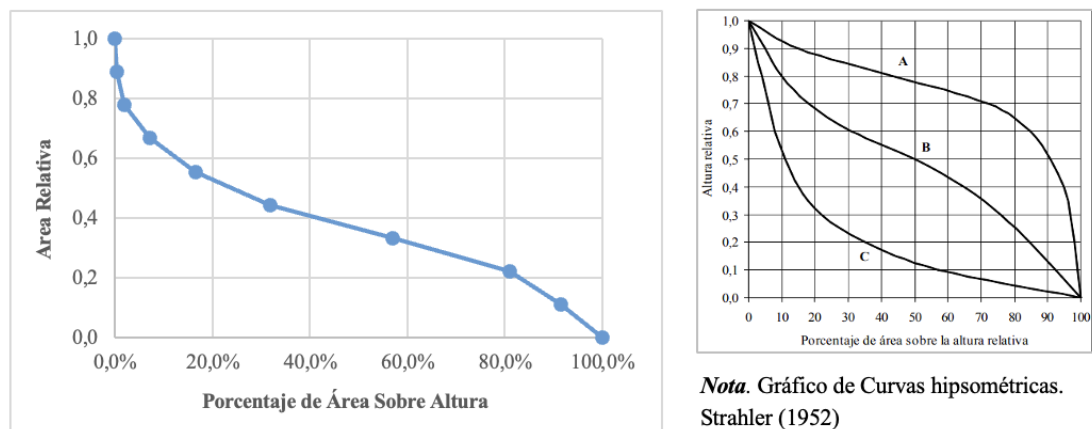


**Tabla 7: Distribución de Área Relativa en Relación a la Altura Relativa**

Rango Altura		Altura (msnm)		Altura Relativa		Área Rango (ha)		Área Relativa	
Mín.	Máx.	Parcial	Acum	Parcial	Acum	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
2281	2281	0	0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
2281	2319	38	38	0.1	0.1	98.00	98.00	0.08	0.08
2320	2357	38	76	0.1	0.2	124.30	222.30	0.11	0.19
2358	2395	38	114	0.1	0.3	278.10	500.41	0.24	0.43
2396	2433	38	152	0.1	0.4	294.93	795.34	0.25	0.68
2434	2471	38	190	0.1	0.6	177.83	973.17	0.15	0.83
2472	2509	38	228	0.1	0.7	109.19	1082.35	0.09	0.93
2510	2547	38	266	0.1	0.8	62.55	1144.90	0.05	0.98
2548	2585	38	304	0.1	0.9	17.13	1162.04	0.01	1.00
2586	2623	38	342	0.1	1.0	3.88	1165.73	0.00	1.00

La Curva Hipsométrica Adimensional de la cuenca, se muestra en la figura 6.

**Figura 6: Curva Hipsométrica Adimensional de la Cuenca**



La caracterización de la cuenca en base a la curva hipsométrica adimensional generada toma en cuenta a algunos autores, quienes sugieren lo siguiente:

Gaspari y otros (2013) sugieren que la curva hipsométrica adimensional “expresa el potencial evolutivo de la cuenca hidrográfica, la curva A que representa la fase de juventud, la curva B que indica la fase de madurez y la curva C que expresa la fase de vejez” (p. 53)

El análisis comparativo de la Curva Hipsométrica Adimensional de la cuenca Thuru Cancha y las Curvas Hipsométricas propuestas por Strahler, se puede concluir que

corresponde a la curva tipo B, indicador que permite caracterizar la cuenca en fase de madurez.

### 3.2.1.2.3 *Altitud Media de la Cuenca*

Los valores de áreas ponderadas por rangos de altitud obtenidos mediante la generación del mapa de elevaciones se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8: Área Ponderada por Rango de Altitud**

Rango de Altitud [msnm]		Altitud Promedio [msnm] ( $H_i$ )	Área Parcial en [ $Km^2$ ] ( $A_i$ )	Área Ponderada [ $Km^2$ msnm] ( $A_i * H_i$ )
Min.	Max.			
2281	2319	2,300.0	0.98	2,254.0
2320	2357	2,338.5	1.24	2,906.8
2358	2395	2,376.5	2.78	6,609.2
2396	2433	2,414.5	2.95	7,121.0
2434	2471	2,452.5	1.78	4,361.3
2472	2509	2,490.5	1.09	2,719.3
2510	2547	2,528.5	0.63	1,581.6
2548	2585	2,566.5	0.17	439.8
2586	2623	2,604.5	0.04	101.1
$\Sigma$			<b>11.66</b>	<b>28,094.1</b>

La determinación de la altitud media se realizó interpretando a Riva y otros (2021) quienes sugieren la realización del cálculo a través de la ecuación 6. (p. 7)

$$H_H = \frac{\Sigma (H_i A_i)}{A} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$H_H$ = Altitud Media de la Cuenca [msnm];  $A_i$ = Área Parcial del Rango de Altitud [ $Km^2$ ];  $H_i$ = Cota Promedio del Rango de Altitud [msnm];  $A$  = Área de la cuenca [ $Km^2$ ]

$$H_H = \frac{\Sigma (H_i A_i)}{A} = \frac{28,094.10 \text{ Km}^2 \text{ msnm}}{11.66 \text{ Km}^2} = 2,409.44 \text{ msnm}$$

Por tanto, la altitud media de la cuenca Thuru Cancha es de 2,409.44 msnm.

### 3.2.1.2.4 *Pendiente Media de la Cuenca*

El cálculo de pendiente media de la cuenca se realizó a partir de la elaboración del mapa de curvas de nivel con la utilización del software ArcGis. La proyección de las curvas con una equidistancia de 15 m, que detalla la longitud de las curvas de nivel en relación a su altitud, el detalle de longitud de curvas de nivel se muestra en la tabla 9

Tabla 9: Longitud de Curvas de Nivel por Altitud

Nº	Altitud de la Curva de Nivel (msnm)	Longitud Curva de Nivel (Km)	Nº	Altitud de la Curva de Nivel (msnm)	Longitud Curva de Nivel (Km)
1	2281	1.21	13	2461	13.90
2	2296	4.06	14	2476	11.45
3	2311	5.46	15	2491	9.66
4	2326	6.54	16	2506	7.51
5	2341	7.97	17	2521	6.33
6	2356	12.42	18	2536	4.34
7	2371	16.98	19	2551	2.41
8	2386	19.84	20	2566	1.58
9	2401	21.81	21	2581	1.00
10	2416	25.63	22	2596	0.44
11	2431	17.85	23	2611	0.37
12	2446	16.37	24	2623	0.29
<b>Σ</b>					<b>215.44</b>

El cálculo de la Pendiente Media de la Cuenca fue realizado aplicando la ecuación 7, interpretando a algunos autores (Gaspari y otros, 2013, p. 54)

$$PM = \left[ 100 * \left( \frac{H * L}{A} \right) \right] \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

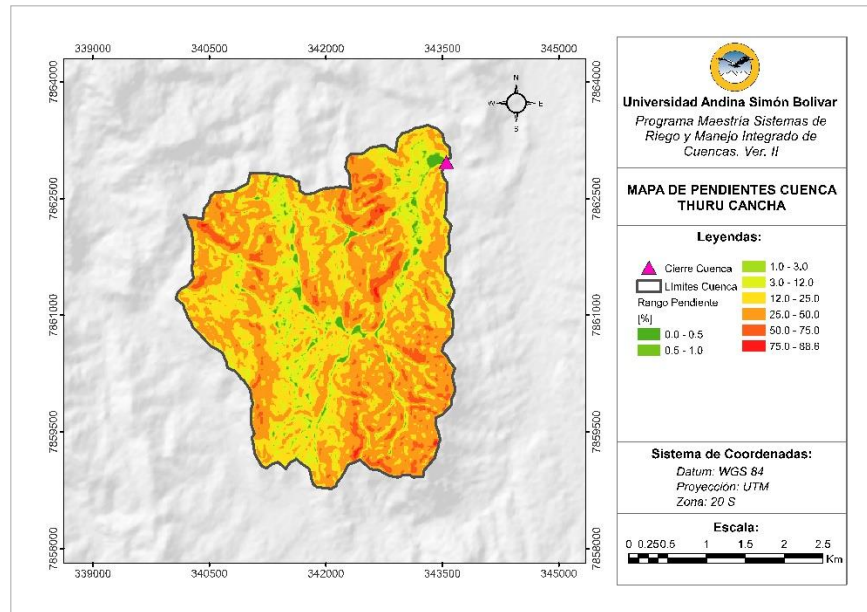
PM: Pendiente media [%]; H = Equidistancia entre curvas medidas [Km]; L = Longitud de las curvas de nivel [Km] y A = Superficie [Km<sup>2</sup>].

$$PM = \left[ 100 * \left( \frac{0.015 \text{ Km} * 215.44 \text{ Km}}{11.66 \text{ Km}^2} \right) \right] = 27.72\%$$

De acuerdo al valor calculado de Pendiente Media de la cuenca igual a 27.72% e interpretando la clasificación de pendientes sugerida por López Cadenas de Llano (1998) citado por Gaspari y otros (2013), se describe el relieve de la cuenca Thuru Cancha de pendiente muy fuerte. (p. 54)

La figura 7, describe la ubicación y distribución de áreas en relación a la pendiente.

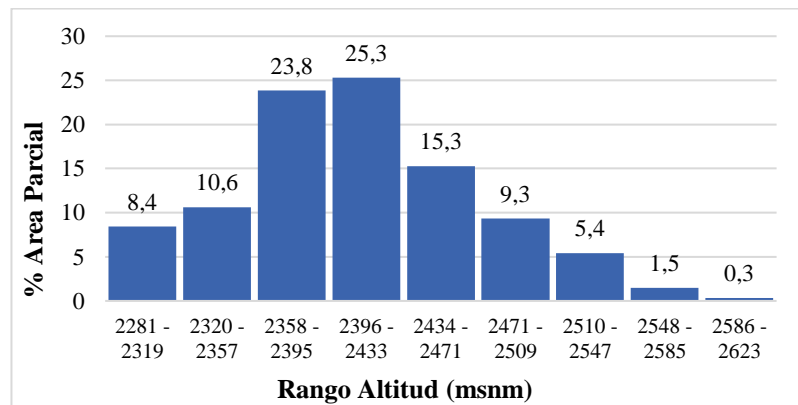
**Figura 7: Mapa de Pendientes de la Cuenca**



3.2.1.2.5 Frecuencias Polígonos de Altitud

La determinación de polígonos de frecuencia de altitudes se realizó a través de la reclasificación de rangos de altitudes y la asignación de las altitudes correspondientes; como se describe en la figura 8.

**Figura 8: Frecuencia de Polígonos de Altitud**



A través del análisis de la Frecuencia de Polígonos de Altitudes fue posible representar en porcentaje de las superficies de la cuenca comprendidas entre diferentes rangos de altitud; que permite identificar las mayores superficies de terreno en el rango de altitudes comprendidos entre 2358 y 2433 msnm.

### 3.2.1.2.6 Coeficiente Masividad de la Cuenca

La determinación del coeficiente de masividad tomó en cuenta a Méndez y otros (2015) quienes sugieren que “el coeficiente de masividad de la cuenca es determinada por la relación entre la altura media de cuenca respecto a la altura mínima y el área total de la cuenca” (p. 9).

Por tanto, el cálculo del parámetro de referencia fue realizado a través de la ecuación 8, descrita seguidamente:

$$C_m = \frac{H_m}{A_t} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$C_m$ = Coeficiente de masividad [dm/Km<sup>2</sup>];  $H_m$ = Altura media de la cuenca [dm];  $A_t$ =Área total de la cuenca [Km<sup>2</sup>]

$$C_m = \frac{12.75 \text{ dm}}{11.66 \text{ Km}^2} = 1.09 \text{ dm/Km}^2$$

El Coeficiente de Masividad calculado de la cuenca es de 1.09 dm/Km<sup>2</sup>

### 3.2.1.2.7 Coeficiente Orográfico

Méndez y otros (2015), sugieren que “el coeficiente de orográfico de la cuenca es calculada a través del producto de coeficiente de masividad y la altura media de cuenca” (p. 9); como se muestra en la ecuación 9

$$C_o = C_m * H_m \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$C_o$ = Coeficiente orográfico [dm<sup>2</sup>/km<sup>2</sup>];  $C_m$ = Coeficiente de masividad [dm/km<sup>2</sup>];  $H_m$ = Altura media de la cuenca [dm];

$$C_o = 1.09 \frac{\text{dm}}{\text{Km}^2} * 12.75 \text{ dm} = 13.90 \text{ dm}^2/\text{km}^2$$

De acuerdo al coeficiente orográfico calculado e indicadores de rangos orográficos establecidos por Méndez y otros (2015), se puede caracterizar al área de estudio como una cuenca accidentada.

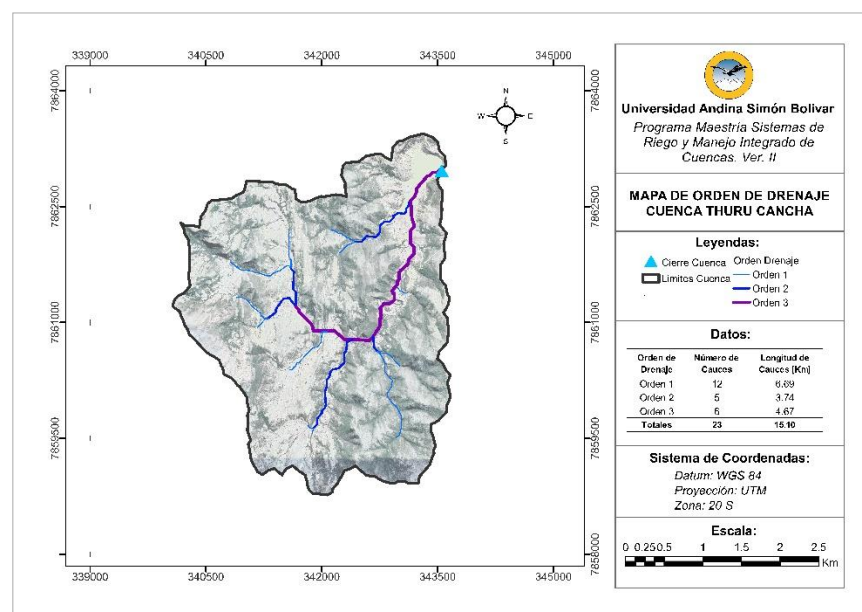
### 3.2.1.3 Determinación de Parámetros de Drenaje de la Cuenca

#### 3.2.1.3.1 Orden de Drenaje

La determinación del orden de drenaje de cuenca de estudio, se realizó con el procesamiento del modelo de elevación digital de la cuenca, utilizando el software ArcGis.

Resultado del procesamiento del DEM se obtuvo el mapa de Orden de Drenaje de la cuenca; la cual fue ajustada a través de la edición de las trayectorias de los cauces mediante la sobre posición de imágenes satelitales (ortofotos) de la cuenca obtenidas mediante la aplicación SAS Planet. La figura 9, muestra el mapa de Orden de Drenaje de la cuenca Thuru Cancha.

**Figura 9: Mapa de Orden de Drenaje de la Cuenca**



La determinación del orden de drenaje de la cuenca se realizó a través del método de Strahler (1964), como sugieren algunos autores quienes afirman lo siguiente:

El método de número de orden de Strahler (1964), el cual asigna el valor 1 de orden a un curso que no tiene de tributarios, el orden 2 a la confluencia de dos cursos de orden 1 y orden 3 a la confluencia de dos cauces de orden 2, y así repetidamente. (Riva, y otros, 2021, p. 7)

Resultado del análisis de datos y mapa de orden de drenaje, el objeto de estudio es definido como una cuenca de Orden 3; interpretando a Gaspari y otros (2013) en base al

orden de drenaje, se caracteriza la cuenca Thuru Cancha con un moderado potencial de erosivo” (p. 56).

### 3.2.1.3.2 Número y Longitud de Cauces

A través de la generación del mapa de orden de drenaje de la cuenca, expuesta en la figura 9, se obtuvieron los valores de número y longitud de cauces de la cuenca, el detalle se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10: Número y Longitud de Cauces**

Orden de Drenaje	Número de Cauces	Longitud de Cauces [Km]
Orden 1	12	6.69
Orden 2	5	3.74
Orden 3	6	4.67
<b>Totales</b>	<b>23</b>	<b>15.10</b>

De acuerdo al detalle de número y longitud de cauces se puede establecer que la cuenca de estudio cuenta con un total de 23 cauces, que alcanzan una longitud total de 15.10 Km.

### 3.2.1.3.3 Densidad de Drenaje

La determinación de la densidad de drenaje, fue realizada a través de la recopilación de la fórmula de Horton (1932) expresada en la ecuación 10, interpretando a Riva y otros (2021) quienes sugieren que “es la relación entre la longitud de drenaje ( $L_t$ ) y el área de la cuenca ( $A$ )” (p. 7)

$$D = \frac{L_t}{A} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

D: Densidad de drenaje [Km/Km<sup>2</sup>];  $L_t$  = Longitud total de drenaje [Km] y A = Superficie [Km<sup>2</sup>]

$$D = \frac{15.10 \text{ Km}}{11.65 \text{ Km}^2} = 1.30 \text{ Km/Km}^2$$

En relación a la densidad de drenaje Riva y otros (2021) citando a Fuentes (2004) clasifican una cuenca “con densidad de drenaje baja, con valores el rango de 0,1 y 1,8; de densidad media, con valores entre 1,9 y 3,6; y de densidad alta, con valores entre 3,7 y 5,6” (p. 8). Por tanto, de acuerdo al valor de densidad de drenaje calculado igual 1.30

Km/Km<sup>2</sup>, se caracteriza la cuenca Thuru Cancha con una densidad de drenaje media, que permite predecir la ocurrencia de procesos de escurrimiento con velocidad media

#### 3.2.1.3.4 Frecuencia de Drenaje

La determinación del valor de frecuencia de drenaje, fue realizada aplicando la ecuación 11 correspondiente a la fórmula de Horton (1945) citado en Riva y otros (2021) quienes sugieren “que refiere a la relación entre el total de cauces sobre la superficie de la cuenca” (p. 8)

$$F = \frac{N_c}{A} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

F = Frecuencia de Drenaje [cauces/Km<sup>2</sup>]; N<sub>c</sub> = Número Total de Cauces; A = Área de la Cuenca [Km<sup>2</sup>]

$$F = \frac{23 \text{ cauces}}{11.65 \text{ Km}^2} = 1.97 \text{ cauces/Km}^2$$

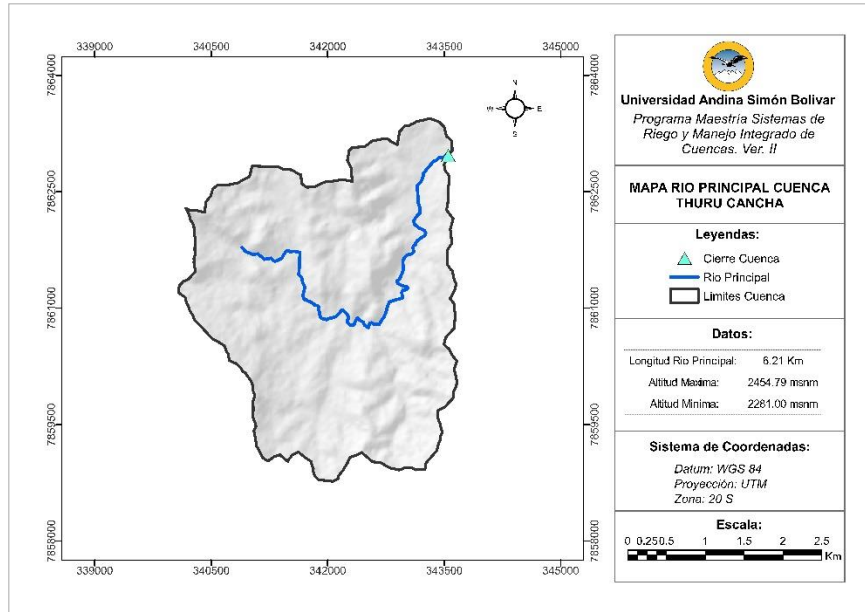
El valor calculado de frecuencia de drenaje de la cuenca Thuru Cancha alcanza a 1.97 cauces/Km<sup>2</sup>, interpretando a Riva y otros (2021) se puede caracterizar la cuenca con una capacidad media de drenaje. (p. 8)

#### 3.2.1.3.5 Longitud de Cauce Principal

Para la determinación del parámetro longitud del cauce o río principal de la cuenca de estudio, se elaboró el mapa del río principal utilizando el software ArcGis, en base al mapa de orden de drenaje y modelo de elevación digital procesado. Interpretando lo establecido por Gaspari y otros (2013) quienes sugieren que “es la longitud definida con la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que conforman el cauce principal y que drenan por la cuenca” (p. 55). La descripción del río principal de la cuenca se muestra en la figura 10



**Figura 10: Mapa del Río Principal de la Cuenca**

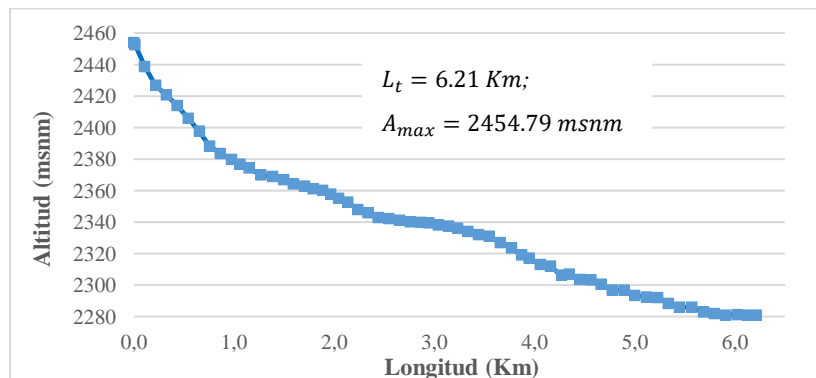


De acuerdo a los valores generados en el mapa de longitud del río principal, se determina la longitud total de 6.21 Km; cuya trayectoria tiene una altitud máxima de 2454.79 msnm y una altitud mínima de 2281.00 msnm

**3.2.1.3.6 Pendiente Media del Cauce Principal**

Para la determinación de la pendiente media del cauce principal inicialmente se elaboró un gráfico del perfil longitudinal del río principal, con la base de datos generado a través del mapa temático elaborado mediante el uso del software ArcGis, como se detalla en la figura 11

**Figura 11: Perfil Longitudinal del Río Principal**



**Nota.**  $L_t$  = Longitud total [Km];  $A_{max}$  = Altitud máxima [msnm];  $A_{min}$  = Altitud mínima [msnm]

Interpretando lo establecido por Gaspari y otros (2013), la pendiente media del río principal fue calculada tomando en cuenta los desniveles topográficos sobre el río principal y la longitud del mismo en unidades de porcentaje, utilizando la ecuación 12 descrita seguidamente.

$$J = 100 * \frac{(A_{max} - A_{min})}{Lt * 1000} \quad \text{Ecuación 12}$$

*Donde:*

J = Pendiente media del río principal [%]; A<sub>max</sub> = Altitud máxima del río [msnm]; A<sub>min</sub> = Altitud mínima del río [msnm]; Lt = Longitud total del río principal [Km]

$$J = 100 * \frac{(2454.79 \text{ msnm} - 2281.00 \text{ msnm})}{6.21 \text{ Km} * 1000} = 2.80\%$$

Por tanto, la pendiente media del río principal de la cuenca es de 2.80%

#### 3.2.1.3.7 Coeficiente de Torrencialidad

Riva y otros (2021) sugieren que el “coeficiente de torrencialidad (C<sub>t</sub>): se define como el número de cursos de primer orden (N<sub>c1</sub>) sobre el área de la cuenca (A) (López Bermúdez y Romero Díaz, 1987)” (p. 8); por tanto, la determinación de dicho coeficiente se realizó a través de la ecuación 13

$$C_t = \frac{N_{c1}}{A} \quad \text{Ecuación 13}$$

*Donde:*

C<sub>t</sub> = Coeficiente de Torrencialidad [Cauces/Km]; N<sub>c1</sub> = Número de Cauces Orden 1; A = Área de la Cuenca [Km<sup>2</sup>]

$$C_t = \frac{12 \text{ cauces}}{11.65 \text{ Km}^2} = 1.03 \text{ Cauces/Km}^2$$

Tomando en cuenta que el Coeficiente de Torrencialidad (C<sub>t</sub>) e interpretando a Gaspari y otros (2013) que considera el C<sub>t</sub> como un indicador de la erodabilidad siendo el valor calculado intermedio se puede caracterizar la cuenca con un moderado vulnerabilidad a procesos erosivos. (p. 8)

### 3.2.1.3.8 Tiempo de Concentración

El cálculo del tiempo de concentración fue realizado en atención a Gaspari y otros (2018) que consideran los métodos de California Culvert Practice (1955) (ecuación 14), Kirpich (1940) (ecuación 15) y Témez (2003) (ecuación 16). (pp. 7, 8).

$$T_{c_c} = \left[ 0.87 \left( \frac{L^3}{H} \right) \right]^{0.385} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$T_{c_k} = 0.066 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$T_{c_t} = 0.3 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración [horas]; H = Diferencia entre la cota mayor y la cota menor de la cuenca [m]; L = Longitud del cauce principal [Km] y S = Pendiente promedio del cauce principal [m/m]

Los valores calculados del tiempo de concentración aplicando las metodologías descritas precedentemente, son resumidos en la tabla 11

**Tabla 11: Valores Calculados de Tiempo de Concentración**

Método	Símbolo	Valor de Tc [h]
California Culvert Practice	T <sub>c<sub>c</sub></sub>	0.83
Kirpich	T <sub>c<sub>k</sub></sub>	1.07
Témez	T <sub>c<sub>t</sub></sub>	2.37
<b>Promedio</b>	<b>T<sub>c</sub></b>	<b>1.42</b>

El tiempo de concentración asumido es de 1.42 horas, valor que representa el promedio de los valores cálculos a través de los métodos de California Culvert Practice, Kirpich y Témez.

## 3.2.2 Caracterización Geoedáfica de la Cuenca

### 3.2.2.1 Determinación de Origen y Formación de Suelos

El insumo principal considerado para la realización de la descripción de los aspectos origen y formación de suelos del área de estudio, fue el Mapa Geológico de Bolivia, que fue recogido de la plataforma web (Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas [SERGEOTECMIN], 2000)

De acuerdo a SERGEOTECMIN, el Mapa Geológico de Bolivia es “el conjunto de datos presenta la información geológica y estructural de Bolivia. Representación a escala de las características geológicas del país”.

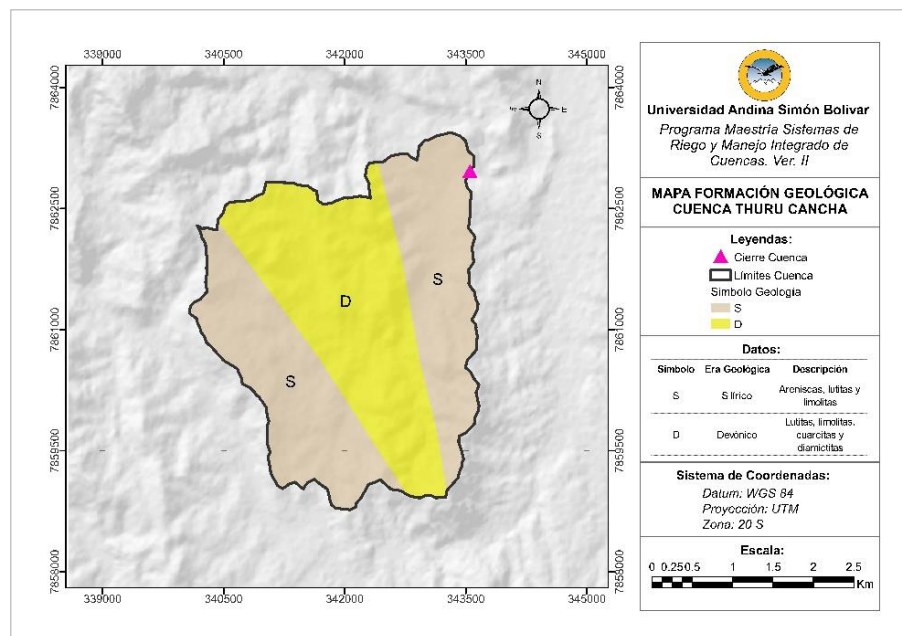
Seguidamente se describe las características de Mapa Geológico de Bolivia obtenido: Tipo: Vector; Escala: 1000000; Sistema de Referencia de Coordenadas: EPSG: WGS 84 (EPSG:4326); Formato: Shapefile; Año de elaboración: 2000

### Procesamiento de Información y Datos

El procesamiento del mapa Geológico de Bolivia, fue realizado mediante la utilización de herramientas del Sistema de Información Geográfica (software ArcGis), con el objetivo de generar un mapa del origen y formación de Suelos de la cuenca Thuru Cancha.

En principio se procedió a la proyección del Sistema de Coordenadas: Datum: WGS84; Proyección: UTM; Zona 20 S. Seguidamente se efectuó el recorte del Mapa Geológico de Bolivia con el área o delimitación de la cuenca de estudio. La figura 12 muestra el mapa de origen y formación de suelos de la cuenca

**Figura 12: Mapa de Origen y Formación de Suelos de la Cuenca**



De acuerdo a la figura 12 y base de datos generada, se ratifica que la cuenca en su integridad pertenece a la Provincia Fisiológica de la Cordillera Occidental, Altiplano y

Cordillera Oriental de Bolivia; de las eras geológicas Silúrico y Devónico. SERGEOTECCMIN (2000)

Interpretando a Maldonado (2021) se puede establecer que un determinado tipo de roca sedimentaria o metamórfica a través de los procesos de meteorización, erosión, transporte, depósito y litificación; dará origen a la formación de suelos con características granulométricas propias de cada material de origen.

Las lutitas se generan por sedimentos muy bien sorteados, es decir que la granulometría es del tamaño de arcilla (menor al 0.002mm), en donde será raro encontrar granos de mayor tamaño. La textura de las limolitas es bien sorteada de grano muy fino entre arcillas y limos muy finas, es decir que el tamaño de grano varía entre 0.002mm a 0.06mm. La cuarcita es una roca metamórfica no foliada y cristalina generalmente monomineral. El tamaño de grano varía de mediano a grueso y su cristalinidad le concede exclusivamente una textura granoblástica, de textura de tendencia arenosa media. Las areniscas son todas las rocas sedimentarias detríticas que contienen al menos el 50% de granos del tamaño de arena 0.063mm a 2mm. (Maldonado, 2021)

Interpretando lo expuesto por Lucio y otros (2023) se puede afirmar que las arcillas están compuestas por partículas de tamaño menor a 2  $\mu\text{m}$ ; los limos formados por partículas de 20 a 63  $\mu\text{m}$  y las arenas de tamaño mayor a 63 y 2000  $\mu\text{m}$ . (p. 58)

Tomando en cuenta la caracterización de las rocas sedimentarias de origen y formación de suelos propuesto por Maldonado (2021) y el tamaño de la granulometría sugeridos por Lucio y otros (2023); se identificó las características texturales de suelo de la cuenca, que se detallan en la tabla 12.

**Tabla 12: Clasificación de Partículas de Acuerdo al Material de Origen**

<b>Material de Origen</b>	<b>Clase de Material</b>	<b>Tamaño de Partícula (M)</b>	<b>Clase de Partícula (L)</b>
Lutitas	Roca sedimentaria	< 2 $\mu\text{m}$	Arcilla
Limolitas	Roca sedimentaria	2 $\mu\text{m}$ – 60 $\mu\text{m}$	Limo fino
Cuarcitas	Roca metamórfica	63 $\mu\text{m}$ – 630 $\mu\text{m}$	Limo fino - Arena media
Areniscas	Roca sedimentaria	630 $\mu\text{m}$ – 2000 $\mu\text{m}$	Arena media – Arena gruesa
Diamictitas	Roca sedimentaria	> 2000 $\mu\text{m}$	Arenas muy gruesa

*Nota.* (M) = Tamaño de partícula según Maldonado (2021) y (L) = Clase de partícula según Lucio y otros (2023)

En base a la zonificación del Mapa Geológico de Bolivia delimitado al área de estudio, de acuerdo a la presencia de los tipos de roca sedimentaria y/o metamórfica, se realizó la clasificación textural de suelos de la cuenca.

### 3.2.2.2 Caracterización Textural de Suelos de Acuerdo al Origen y Formación

De acuerdo al análisis de resultados e interpretando a Maldonado (2021), se puede predecir las características texturales de los suelos de la cuenca de estudio, efectuando una zonificación del área de estudio. En la tabla 13, se resume la determinación de las características texturales de suelos de la cuenca

**Tabla 13: Características Texturales por el Origen y Formación**

Zona	Era Geológica	Descripción	Clase de Partícula	Característica Textural de Suelo	Área	
					(Km <sup>2</sup> )	%
1	Devónico	Lucitas, limolitas, cuarcitas y diamictitas	Arcilla Limo fino - grueso Arena media Arena gruesa	Franca-arcillo-arenosa Franco-limosa	5.18	44.4%
2	Silúrico	Areniscas, lutitas y limolitas	Arcilla Limo fino - grueso	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa	6.48	55.6%
<b>Totales</b>					<b>11.66</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Características texturales determinadas en base a los materiales de origen y formación de suelos. Mapa Geológico de Bolivia y características granulométricas establecidas por Maldonado (2021)

La zona 1, originada en la era geológica Devónico, alcanza el 44.4% del total de la superficie de la cuenca, con presencia de rocas sedimentarias lutitas, limolitas y diamictitas; rocas metamórficas como son las cuarcitas, que permite predecir la existencia de suelos compuestas por arcillas finas, limos finos a gruesos y arenas con partícula de tamaño medio y grueso; por lo cual se puede establecer la existencia de suelos con clases texturales franco arcillo arenosa y franco limoso

La zona 2, correspondiente a la era geológica Silúrico que se extiende en el 55.6% de la superficie de la cuenca, con rocas sedimentarias como areniscas, lutitas y limolitas; que permiten predecir la existencia de arcillas, limos y arenas de grano mediano propias de las clases texturales franco arcilloso y franco arcillo limoso

### 3.2.2.3 Clasificación Hidrológica de Suelos

Quiñonez (2022) sugiere que “un grupo hidrológico de suelo es un conjunto de suelos que tiene similar comportamiento frente a la generación de escorrentía. El método del Número de Curva establece cuatro tipos o grupos de suelo (A, B, C y D)” (p. 216)

La tabla 14 describe los indicadores de clasificación de grupos hidrológicos de suelos en relación a las características texturales de suelos y la capacidad de infiltración

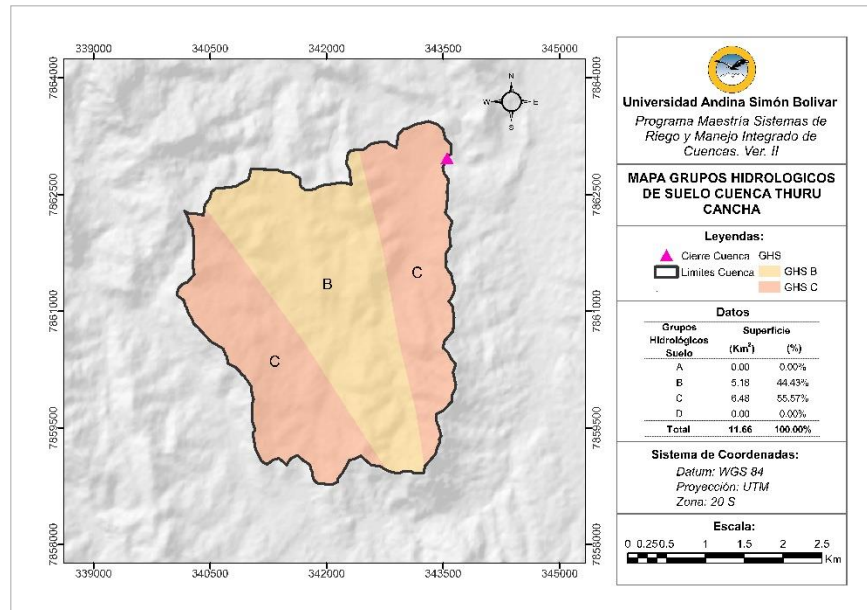
**Tabla 14: Indicadores de Clasificación de Grupos Hidrológicos de Suelos**

Grupo	Infiltración en Suelo	Característica de Infiltración	Clase Textural
A	Rápida	Alta capacidad de infiltración > 76 mm/h. Baja escorrentía	Arenosa Arenosa-limosa Franca
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h. Regular escorrentía	Franca-arcillo-arenosa Franco-limosa Franco-arcillosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h. Alta escorrentía	Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h. Muy alta escorrentía	Arcillosa

*Nota.* La información tiene fuente: Monsalve, 1999 citado en (Quiñones, 2022, p. 212)

La determinación de los grupos hidrológicos de suelos de la cuenca de estudio se realizó en base al Mapa Temático Textural de Suelos de la cuenca, realizado en base a los indicadores descritos en el cuadro precedente, utilizando el software ArcGis como se muestra en la figura 13

**Figura 13: Mapa Grupos Hidrológicos de Suelos de la Cuenca**



De acuerdo al mapa temático de grupos hidrológicos de suelos (GHS) generado en base a la clasificación textural de suelo, se identificó la existencia de 2 grupos hidrológicos de suelo: El GHS B en un 44.4% del total de la superficie de la cuenca, que permite caracterizar esta zona con una propiedad de infiltración moderada; asimismo, el GHS C con una extensión de superficie del 55.6%, con capacidad de suelos con infiltración lenta.

#### **3.2.2.4 Determinación de Cobertura y Uso de Suelos**

En referencia a la cobertura de suelo algunos autores sugieren:

El Tipo de Cobertura hace referencia al análisis de la cobertura vegetal encontrada en la cuenca y su destino, como ser agrícola, pasturas, barbecho, vegetación natural, zonas forestadas, etc.; con la densidad de cobertura y en el estado vegetativo que se encuentra al momento de producirse la precipitación de cálculo; cuando se trata con bosques y/o montes, ya sea en estado natural o forestado, el estrato superior o arbóreo, los estratos medio e inferior (arbustos y malezas). Se incluyen también las superficies impermeables o casi impermeables como caminos, rutas, techos, etc. (Sciortino, 2019, p. 118)

Los principales materiales e insumos considerados para la determinación de la Cobertura y Uso de Suelo son: Imágenes Satelitales multiespectrales e Imágenes Satelitales u ortofotos



Las imágenes satelitales multiespectrales, fueron recogidas de la plataforma **Esa Copernicus**<sup>1</sup> (*Centro de datos científicos de Sentinel que brinda acceso completo y abierto a productos satelitales*); correspondientes a la Misión Sentinel-2, Plataformas Satelital: S2A y S2B, Resolución Espacial de 10 m.

**Tabla 15: Referencias de las Imágenes Satelitales Multiespectrales**

Satélite	Instrumento	Tipo Producto	Fecha Obtención	Nombre Archivo
Sentinel 2 B	Multi Espectral (MSI)	S2SL2A	12/10/2022	S2B_MSIL2A_20221012T142709_N0400_R053
Sentinel 2 A	Multi Espectral (MSI)	S2SL2A	11/11/2022	S2A_MSIL2A_20221111T142711_N0400_R053
Sentinel 2 B	Multi Espectral (MSI)	S2SL2A	01/12/2022	S2B_MSIL2A_20221201T142709_N0509_R053
Sentinel 2 A	Multi Espectral (MSI)	S2SL2A	15/01/2023	S2A_MSIL2A_20230115T142711_N0509_R053
Sentinel 2 A	Multi Espectral (MSI)	S2SL2A	14/02/2023	S2A_MSIL2A_20230214T142711_N0509_R053
Sentinel 2 B	Multi Espectral (MSI)	S2SL2A	31/03/2023	S2B_MSIL2A_20230331T142719_N0509_R053

La obtención de la imagen satelital u ortofoto georreferenciado del área de estudio se llevó a cabo A través del Programa SAS Planet Nightly 221122, imagen satelital de la plataforma Google Maps, con resolución espacial de 0.1 m y fecha de obtención 15 de marzo de 2023.

#### 3.2.2.4.1 Determinación de la Cobertura de Suelo

La determinación de la cobertura de suelo se realizó en atención a lo establecido por algunos autores:

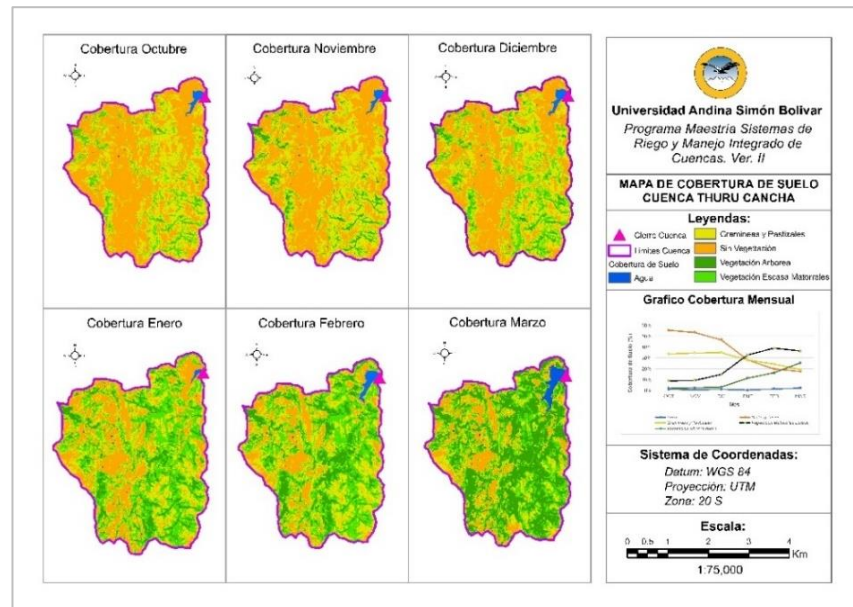
El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), es un índice practico que emplea la banda NIR que es el infrarrojo cercano y la banda red del espectro electromagnético visible. Asimismo, el NDVI, como índice proporciona la cantidad y vigor de la vegetación por ser un índice de vegetación ampliamente utilizado que emplea las bandas infrarrojo cercano (NIR) y la banda roja visible del espectro electromagnético, se calcula con la ecuación:  $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ . (Roque, 2022, p. 234)

<sup>1</sup> <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

La cobertura de suelos del área de estudio generada a través de la metodología NDVI, que considera un periodo de observación de 6 meses, teniendo su inicio en el mes de octubre (temporada seca) y concluye en el mes de marzo (temporada húmeda), permite identificar el tipo de cobertura de suelo de la cuenca y las variaciones cuantitativas respecto a las superficies de distribución.

Con la utilización del software ArcGis y siguiendo los procedimientos de la metodología de cálculo NDVI, se elaboraron los mapas temáticos de cobertura de suelos de la cuenca Thuru Cancha, que se muestra en la figura 14

**Figura 14: Mapa de Cobertura de Suelos**



**Nota.** La determinación de la cobertura de suelo del área de estudio, a partir del NDVI consideró los rangos de valores: Agua:  $< 0.015$ ; Suelos desnudos sin vegetación:  $0.015 - 0.18$ ; Suelos con presencia de gramíneas y pastizales:  $0.18 - 0.27$ ; Suelos con vegetación escasa:  $0.27 - 0.36$  y Suelos con vegetación densa:  $> 0.36$ . (Roque, 2022)

La base de datos generada a través de los mapas temáticos de cobertura de suelo, mediante la metodología NDVI, se describe la distribución de la cobertura de suelo expresada en hectáreas por cada mes de análisis; como se muestra en la tabla 16.

**Tabla 16: Superficie de Cobertura de Suelos**

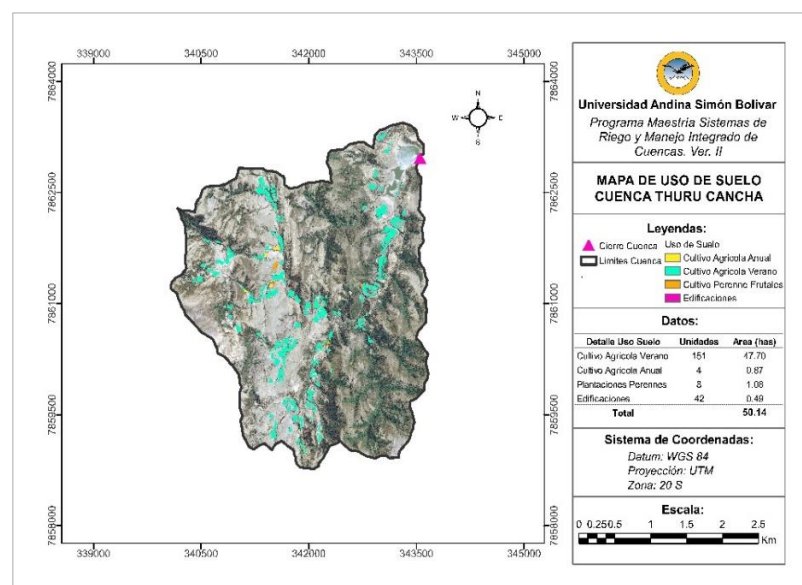
Descripción Cobertura	Área Cobertura (has)					
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Agua	9.63	8.35	11.48	3.92	14.78	25.46
Sin Vegetación	642.73	620.85	542.21	325.09	231.01	202.87
Gramíneas y Pastizales	390.63	417.81	405.25	325.17	343.61	321.83
Vegetación Escasa	100.88	70.94	140.83	380.37	388.18	381.78
Vegetación Densa	21.86	47.78	65.96	131.17	188.14	233.78
<b>Totales</b>	<b>1,165.73</b>	<b>1,165.73</b>	<b>1,165.73</b>	<b>1,165.73</b>	<b>1,165.73</b>	<b>1,165.73</b>

La cobertura de masas de agua, siendo de mayor relevancia la superficie del espejo de agua del embalse. La cobertura de suelo sin vegetación es caracterizada por la ausencia de cubierta o suelos desnudos; la cobertura de suelo con gramíneas y pastizales con presencia de cobertura compuesta por especies de pasto y gramíneas nativas; la vegetación escasa describe la presencia de matorrales de cobertura escasa y la cobertura con vegetación densa caracterizada por la presencia de especies arbóreas nativas.

#### 3.2.2.4.2 Determinación de Uso de Suelo

La determinación del uso de suelo de la cuenca de estudio, se realizó con la utilización de una imagen satelital georreferenciada mediante el software ArcGis, procediendo a identificar y digitalizar las diferentes áreas de acuerdo a su uso. El mapa de uso de suelo validado se muestra en la figura 15.

**Figura 15: Mapa de Uso de Suelos de la Cuenca**

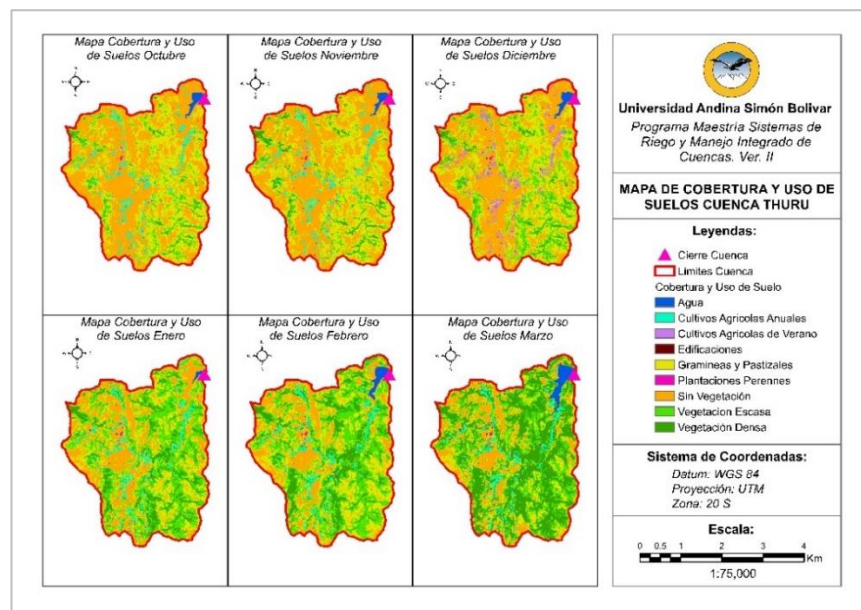


En base al análisis de mapa temático y los indicadores cuantitativos del uso de suelo de la cuenca de estudio se puede establecer: el uso de suelo destinado a producción agrícola, con cultivos de verano con laboreo en curvas de nivel (papa, maíz y trigo), es de mayor relevancia que alcanza una superficie de 47.70 has.; cultivos agrícolas anuales con prácticas en nivel (orégano) con un uso de suelo de 0.87 has. Asimismo, se pudo identificar plantaciones perennes (durazneros, manzanos), que tienen un uso de suelo de 1.00 ha. Por último, se cuantifica la superficie de las edificaciones de 0.47 has.

### 3.2.2.4.3 Análisis y Caracterización de Cobertura y Uso de Suelos

Los mapas temáticos de cobertura de suelo y uso de suelo generados, fueron procesados utilizando el programa ArcGis, a través de la herramienta sobreposición; de esta manera se elaboró el mapa temático de Cobertura y Uso de Suelo de la cuenca Thuru Cancha para el periodo comprendido entre el mes de octubre y marzo. La figura 16 muestra la cobertura y uso de suelos de la cuenca

**Figura 16: Mapa de Cobertura y Uso de Suelos de la Cuenca**



El mapa de Cobertura y Uso de Suelos de la cuenca Thuru Cancha, permite identificar 9 categorías de cobertura y uso de suelos, cuyos indicadores cuantitativos de superficie son detallados en la tabla 17.

**Tabla 17: Superficie de Cobertura y Uso de Suelo de la Cuenca**

Descripción Cobertura y Uso de Suelo	Cobertura y Uso de Suelo (has)					
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Agua	9.63	8.35	11.48	3.92	14.80	25.45
Sin vegetación	595.64	575.48	497.90	306.80	226.20	198.67
Gramíneas y pastizales	387.98	413.40	400.23	307.71	317.12	310.23
Vegetación escasa	100.48	70.58	140.02	365.99	369.33	372.46
Vegetación densa	21.86	47.78	65.96	131.17	188.14	208.78
Cultivo agrícola verano	47.7	47.7	47.7	47.7	47.7	47.7
Cultivo agrícola anual	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Cultivo agrícola perenne	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Construcciones	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
<b>Totales</b>	<b>1165.73</b>	<b>1165.73</b>	<b>1165.73</b>	<b>1165.73</b>	<b>1165.73</b>	<b>1165.73</b>

De acuerdo a los resultados descritos en la tabla 17, se puede establecer que existe una sustancial variación del comportamiento de la cobertura de la cuenca de estudio.

La cobertura de cuerpos de agua representada principalmente por el espejo de agua del embalse, muestra variaciones en su superficie, aspecto que se atribuye al uso y aprovechamiento de agua del embalse por la organización de regantes. Por otra parte, la cobertura de suelo sin vegetación muestra una tendencia a la disminución, que se puede atribuir a la influencia de la temporada de lluvias

Sin embargo, las coberturas de suelo con vegetación escasa (matorrales) y vegetación arbórea; muestra una tendencia al incremento de superficie con el transcurso de la temporada de lluvias. El análisis del comportamiento temporal de uso de suelo destinadas a la producción agrícola e infraestructura (viviendas y construcciones) se mantiene constante.

### **3.2.3 Caracterización Hidroclimática de la Cuenca**

#### **3.2.3.1 Recolección de Datos Hidroclimáticos**

La información de los parámetros de precipitación fue obtenida de la plataforma del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) – Información Nacional de Datos Hidrometeorológicos (INADH).

Las estaciones fuente de información seleccionadas corresponden a estaciones ubicadas en proximidad del área de estudio; es decir: Zudáñez, Padilla, Tomina, Villa Alcalá, Sopachuy y Chavarría. Asimismo, se tomó en cuenta como estación base o de referencia

a Sucre (SENAMHI). La tabla 18 detalla las referencias de las estaciones meteorológicas tomadas en cuenta

**Tabla 18: Referencias Estaciones Meteorológicas Fuente de Datos**

Estación	Ubicación Política		Sistema Coordenadas WGS84		Altitud (msnm)	Tipo
	Departamento	Municipio	Lat. Sur (°)	Long. Oeste (°)		
Sucre SENAMHI	Chuquisaca	Sucre	19.0500	65.2167	2890	4° Orden
Zudáñez	Chuquisaca	Zudáñez	19.1189	64.7033	2475	3° Orden
Padilla	Chuquisaca	Tomina	19.3022	64.3033	2102	4° Orden
Sopachuy	Chuquisaca	Sopachuy	19.4861	64.4744	2098	3° Orden
Villa Alcalá	Chuquisaca	V. Alcalá	19.3608	64.3878	2080	4° Orden
Tomina	Chuquisaca	Tomina	19.1667	64.4667	2035	3° Orden
Chavarría	Chuquisaca	Sopachuy	19.3681	64.5550	2380	4° Orden

*Nota.* La fuente de la información descrita corresponde a la plataforma web del SENAMHI (2023).

La información obtenida corresponde a un periodo de 40 años, entre las gestiones de 1982 y 2021.

### **3.2.3.2 *Procesamiento y Análisis Parámetro Precipitación Mensual***

Por las características de la información recogida y tomando en cuenta las recomendaciones establecidas por (Sciortino, 2019, p. 41) se determinó realizar el procesamiento y análisis de datos a través modelos estadístico descriptivo y estadístico inferencial.

Los datos de precipitación mensual obtenidas de la página web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia [SENAMHI], (2023), fueron organizadas y sistematizadas en tablas. El resumen de los datos recopilados tomando en cuenta los datos registrados y los faltantes son detallados en la tabla 19.

**Tabla 19: Registro de Datos Recogidos por Estación Meteorológica**

Estación	Datos Recogidos	Número de Datos de Precipitación Mensual											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Sucre <i>SENAMHI</i>	Registrados	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	Faltantes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zudáñez	Registrados	40	39	39	39	39	39	39	39	39	40	40	40
	Faltantes	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-
Tomina	Registrados	17	16	15	15	16	16	15	16	16	16	16	16
	Faltantes	23	24	25	25	24	24	25	24	24	24	24	24
Padilla	Registrados	36	36	36	36	35	35	36	36	36	36	35	35
	Faltantes	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5	5
Villa Alcalá	Registrados	34	34	34	34	33	32	32	32	32	32	31	30
	Faltantes	6	6	6	6	7	8	8	8	8	8	9	10
Sopachuy	Registrados	34	34	34	35	35	34	34	34	34	34	34	34
	Faltantes	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6
Chavarría	Registrados	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	Faltantes	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

El parámetro de precipitación mensual es considerado una variable continua, en atención a lo establecido por Sciortino (2019), quien concluye que “una variable aleatoria hidrológica es una variable que define la magnitud o cantidad de algún elemento del ciclo hidrológico” (p. 49)

### 3.2.3.2.1 Prueba de Homogeneidad de Datos Recogidos

La prueba de homogeneidad de datos recogidos se realizó a través del método de normalidad de distribución de probabilidades, interpretando lo establecido por Sciortino (2019), que sostiene que las “distribuciones de probabilidades se usan en una amplia variedad de estudios hidrológicos: análisis del clima de una región; precipitaciones (anuales, mensuales, máximas diarias, intensidad de lluvia para distintas duraciones, etc.” (p. 50)

El procesamiento de datos y análisis de normalidad de la distribución de la precipitación mensual, reflejada en la información recogida de cada estación meteorológica, fue realizada a través de la prueba de Chi Cuadrado ( $X^2$ ).

La prueba estadística **Chi-cuadrado** fue utilizada para comprobar las diferencias de las frecuencias observadas y frecuencias esperadas de las muestras de datos de precipitación mensual de las estaciones fuentes de información; de esta manera verificar si existen diferencias con un valor o porcentaje de significancia recomendado para el análisis de datos hidroclimáticos. El cálculo del valor de Chi-Cuadrado fue realizado a través de la ecuación 17.

$$X_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \text{Ecuación 17}$$

*Donde:*

$X_c^2$  = Valor de Chi Cuadrado Calculado;  $O_i$  = Frecuencia observada;  $E_i$  = Frecuencia esperada;  $k$  = Número de clases o intervalos de frecuencia

El cálculo del valor de  $X^2$ , para las series de datos de precipitación de cada estación meteorológica, fue realizado siguiendo el procedimiento siguiente:

### ***Planteo de hipótesis***

La contrastación de resultados de la prueba o test de Chi Cuadrado, se realizó a través del análisis comparativo del valor de Chi-Cuadrado calculado ( $X_c^2$ ) y el valor de Chi-Cuadrado Crítico o Tabulado ( $X_t^2$ ); con una probabilidad de 95% y error máximo de 5%; planteando inicialmente dos hipótesis:

Hipótesis Nula:  $H_0: X_c^2 \leq X_t^2$ ; Datos estadísticamente iguales

Hipótesis Alternativa:  $H_1: X_c^2 > X_t^2$ ; Datos estadísticamente diferentes

### ***Elaboración de tablas de frecuencias***

La elaboración de la tabla de frecuencias fue realizada utilizando las ecuaciones, descritas seguidamente:

$$NC = 1.33 \ln(N) + 1 \quad \text{Ecuación 18}$$

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\Delta X = \frac{R}{NC} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$x_i = \frac{LCS_i + LCI_i}{2} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$O_i = \sum N_i \quad \text{Ecuación 22}$$

$$E_i = N * P_i \quad \text{Ecuación 23}$$

*Donde:*

$N$  = Tamaño de la muestra;  $NC$  = Número intervalos de clase o frecuencias;  $R$  = Rango de valores;  $x_{\max}$  = Valor máximo;  $x_{\min}$  = Valor mínimo;  $\Delta x$  = Valor incremental de intervalo de frecuencia;  $x_i$  = Marcha clase del intervalo;  $LCS_i$  = Límite superior;  $LCI_i$  = Límite inferior;  $O_i$  = Frecuencia observada;  $E_i$ : Frecuencia esperada;  $P$  = Probabilidad de ocurrencia.





Estación Sopachuy												
N° de Datos Registrados	34	34	34	35	35	34	34	34	34	34	34	34
Prec. Media Mensual (mm)	177.8	158.6	123.5	56.1	17.5	5.5	6.3	10.4	37.5	78.6	105.6	150.8
Valor $X^2$ Calc. Datos Registrados	8.37	10.03	5.21	7.71	7.02	74.44	37.42	51.64	41.86	3.24	2.49	3.71
Valor $X^2$ Crítico	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
Estación Chavarría												
N° de Datos Registrados	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Prec. Media Mensual (mm)	170.8	147.7	130.7	38.9	7.0	3.5	2.7	7.9	24.0	62.1	86.0	131.0
Valor $X^2$ Calc. Datos Registrados	2.93	3.75	11.79	9.53	11.46	27.05	8.69	18.22	15.65	7.01	5.09	1.50
Valor $X^2$ Crítico	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59

El análisis comparativo de los valores de *Chi-Cuadrado Calculado* ( $X_c^2$ ) y los valores de  $X^2$  Crítico ( $X_t^2$ ), determinó la aceptación y/o rechazo de las hipótesis planteadas previamente. Siendo el valor de  $X_c^2 \leq X_t^2$ ; se determina rechazar la Hipótesis Alternativa ( $H_i$ ) y aceptar la Hipótesis Nula ( $H_o$ ), que permite asumir que la serie de datos tienen normalidad de distribución y son considerados estadísticamente iguales y homogéneos.

Si el valor de  $X_c^2 > X_t^2$ ; se rechaza la Hipótesis Nula ( $H_o$ ) y se acepta la Hipótesis Alternativa ( $H_i$ ), que determina considerar la serie de datos no se distribuyen con normalidad, siendo los mismos considerados estadísticamente diferentes. Por tanto, estas series de datos debieron ser ajustados y/o corregidos.

### ***Ajuste y corrección de serie de datos no homogéneos***

El ajuste de las series de datos de precipitación mensual recogidos no homogéneos, fue realizado a mediante la prueba estadística de “t” Student y la prueba de “F” de Fisher; en atención a las sugerencias de algunos autores:

El valor absoluto de  $t_c$  se compara generalmente con el valor “t” de la distribución de Student de dos colas y con  $v = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad y con 5% significancia. Si y solo si el valor absoluto de  $t_c$  es mayor que t, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia o falta de homogeneidad. (Chávez y otros, 2021, p. 364)

Cuando se realizó la aplicación de la “t” de Student, pruebas de hipótesis para diferencias entre medias muestrales, las establecíamos con base en dos supuestos: se trata de probar mediante la aplicación de la Distribución F, la validez de que las varianzas poblacionales, sean idénticas o diferentes. (Martínez, 2019, p. 649)

Interpretando a Villón (2021) quien sugiere que “el análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba F, si los valores de las desviaciones estándar de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes, con el 95% de probabilidad o con un 5% de nivel de significación” (p. 317)

La prueba de t Student se realizó en principio suponiendo dos muestras con varianzas iguales al tratarse de una misma serie de datos. Previa la realización de la prueba se planteó dos hipótesis, con un nivel de significancia o probabilidad de 95% y  $\alpha = 0.05$  (asumiendo el análisis en dos colas se consideró un valor de  $\alpha/2 = 0.025$ ), que considera los valores de t Student calculado ( $t_c$ ) y el valor de t Student tabulado ( $t_t$ )

Hipótesis Nula:  $H_0: t_c \leq t_t$  ; Datos estadísticamente iguales

Hipótesis Alternativa:  $H_i: t_c > t_t$  ; Datos estadísticamente diferentes

La determinación del valor de  $t_c$  se realizó a través de la ecuación 25, descrita seguidamente:

$$t_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_c^2} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$S_c^2 = \frac{[(n-1)S_1^2 + (n-1)S_2^2]^{\frac{1}{2}}}{n_1 + n_2 - 2}$$

*Donde:*

$t_c$ = Valor de t Student calculado;  $\bar{x}_1$ = Media datos confiables;  $\bar{x}_2$ = Media de datos dudosos;  $S_c^2$ = Varianza correlaciones de datos confiables y datos dudosos;  $S_1^2$ =Varianza datos confiables;  $S_2^2$ =Varianza datos dudosos;  $n$  = Número total de datos;  $n_1$ = Número de datos confiables;  $n_2$ = Número de datos dudosos

Verificada la homogeneidad de las medias de las muestras se realizó el análisis de variables de las muestras confiables y dudosas a través de la prueba de F de Fisher, con un nivel de confianza de 95% y  $\alpha = 0.05$ . que considera los valores de F calculado ( $F_c$ ) y el valor de F tabulado ( $F_t$ )

Hipótesis Nula:  $H_0: F_c \leq F_t$  ; Muestra estadísticamente iguales

Hipótesis Alternativa:  $H_i: F_c > F_t$  ; Muestra estadísticamente diferentes

Interpretando a Martínez (2019) el valor de F de Fisher fue calculado a través de la ecuación 26, descrita seguidamente:

$$F_c = \frac{S_d^2}{S_c^2} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

$F_c$ = Valor de F Fisher calculado;  $S_c^2$ =Varianza datos confiables;  $S_d^2$ =Varianza datos dudosos

Los valores calculados de “t” Student y “F” de Fisher a través de ecuaciones; fueron contrastadas y ratificados mediante la utilización del software Excel (análisis estadístico de datos)

Al rechazar la Hipótesis Nula y aceptar la Hipótesis Alternativa que establece que las muestras de datos tienen valores de varianzas estadísticamente diferentes, se realizó el ajuste o corrección de datos de la muestra dudosa, a través de la ecuación 27

$$x^t = x_i - \bar{x}_c * \frac{S_d^2}{S_c^2} + \bar{x}_d \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

$x^t$  = Valor de la muestra corregida;  $x_i$  = Dato dudoso de la muestra a corregir;  $\bar{x}_c$  = Media datos confiables;  $\bar{x}_d$  = Media de datos dudosos;  $S_1^2$  = Varianza datos confiables;  $S_2^2$  = Varianza datos dudosos

### Prueba de normalidad de datos ajustados o corregidos

Los resultados de la prueba de normalidad de distribución a la serie de datos corregidos se resumen en la tabla 21

**Tabla 21: Resultados de la Prueba de Normalidad de Datos Recogidos Corregidos**

Descripción	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Estación Sucre (SENAMHI)</b>												
<i>X<sup>2</sup> Calculado Datos Registrados</i>	15.04	8.48	14.20	9.44	467.6	135.6	57.02	139.0	1510.0	5.49	13.61	2.25
<i>X<sup>2</sup> Crítico</i>	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
<i>X<sup>2</sup> Calculado Datos Ajustados</i>	-	-	-	-	7.886	10.65	11.47	1.11	7.121	-	-	-
<b>Prec. Media Mensual Ajus. (mm)</b>	<b>136.4</b>	<b>115.4</b>	<b>94.7</b>	<b>34.3</b>	<b>4.4</b>	<b>1.1</b>	<b>1.5</b>	<b>5.1</b>	<b>25.8</b>	<b>56.2</b>	<b>67.7</b>	<b>104.2</b>
<b>Estación Zudáñez</b>												
<i>Valor X<sup>2</sup> Calc. Datos Registrados</i>	6.39	10.53	18.03	24.59	36.08	258.6	49.01	712.7	37.99	15.68	7.47	89.75
<i>Valor X<sup>2</sup> Crítico</i>	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
<i>Valor X<sup>2</sup> Calc. Datos Ajustados</i>	-	-	5.94	4.80	10.29	8.62	12.64	8.56	3.75	5.21	-	-
<b>Prec. Media Mensual Ajus. (mm)</b>	<b>121.4</b>	<b>108.3</b>	<b>76.0</b>	<b>28.9</b>	<b>3.9</b>	<b>1.3</b>	<b>3.3</b>	<b>5.4</b>	<b>19.8</b>	<b>40.1</b>	<b>52.0</b>	<b>89.7</b>
<b>Estación Padilla</b>												
<i>Valor X<sup>2</sup> Calc. Datos Registrados</i>	2.03	5.59	22.56	14.13	28.61	10.39	49.18	14.83	31.18	14.78	1.01	8.03
<i>Valor X<sup>2</sup> Crítico</i>	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
<i>Valor X<sup>2</sup> Calc. Datos Ajustados</i>	-	-	4.22	1.966	6.357	-	4.671	2.448	4.358	6.087	-	-
<b>Prec. Media Mensual Ajus. (mm)</b>	<b>119.5</b>	<b>102.4</b>	<b>85.3</b>	<b>32.1</b>	<b>9.8</b>	<b>2.8</b>	<b>4.1</b>	<b>4.2</b>	<b>20.3</b>	<b>47.0</b>	<b>54.2</b>	<b>96.0</b>

Estación Tomina												
Valor $X^2$ Calc. Datos Registrados	9.36	7.93	9.96	18.80	48.93	49.48	-	48.74	19.80	1.07	6.98	9.57
Valor $X^2$ Crítico	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	-	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59
Valor $X^2$ Calc. Datos Ajustados				4.49	3.91	7.25	-	10.63	6.42	-	-	-
<b>Prec. Media Mensual Ajus. (mm)</b>	<b>98.3</b>	<b>91.3</b>	<b>58.5</b>	<b>19.1</b>	<b>4.9</b>	<b>2.4</b>	<b>0.0</b>	<b>5.0</b>	<b>25.2</b>	<b>32.7</b>	<b>35.9</b>	<b>59.4</b>
Estación Alcalá												
Valor $X^2$ Calc. Datos Registrados	23.74	2.96	19.19	5.71	63.67	23.39	20.19	45.27	19.28	16.71	1.48	10.45
Valor $X^2$ Crítico	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
Valor $X^2$ Calc. Datos Ajustados	8.839	-	10.71	-	4.626	11.13	7.597	12.01	3.47	4.333	-	-
<b>Prec. Media Mensual Ajus. (mm)</b>	<b>152.8</b>	<b>122.7</b>	<b>110.2</b>	<b>39.7</b>	<b>9.6</b>	<b>3.4</b>	<b>5.0</b>	<b>8.6</b>	<b>21.3</b>	<b>52.4</b>	<b>64.9</b>	<b>119.1</b>
Estación Sopachuy												
Valor $X^2$ Calc. Datos Registrados	8.37	10.03	5.21	7.71	7.02	74.44	37.42	51.64	41.86	3.24	2.49	3.71
Valor $X^2$ Crítico	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
Valor $X^2$ Calc. Datos Ajustados	-	-	-	-	-	3.96	10.4	6.393	4.171	-	-	-
<b>Prec. Media Mensual Ajus. (mm)</b>	<b>177.8</b>	<b>158.6</b>	<b>123.5</b>	<b>56.1</b>	<b>17.5</b>	<b>3.5</b>	<b>5.1</b>	<b>9.2</b>	<b>35.3</b>	<b>78.6</b>	<b>105.6</b>	<b>150.8</b>
Estación Chavarría												
Valor $X^2$ Calc. Datos Registrados	2.93	3.75	11.79	9.53	11.46	27.05	8.69	18.22	15.65	7.01	5.09	1.50
Valor $X^2$ Crítico	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59	12.59
Valor $X^2$ Calc. Datos Ajustados	-	-	-	-	-	4.546	-	4.49	2.531	-	-	-
<b>Prec. Media Mensual Ajus. (mm)</b>	<b>170.8</b>	<b>147.7</b>	<b>130.7</b>	<b>38.9</b>	<b>7.0</b>	<b>1.8</b>	<b>3.0</b>	<b>5.9</b>	<b>18.4</b>	<b>62.1</b>	<b>86.0</b>	<b>131.0</b>

Los resultados de las pruebas de homogeneidad, ajuste y corrección; verificación de consistencia de datos corregidos a través de metodologías estadísticas; permitió obtener serie de datos mensuales de precipitación de las seis estaciones distribuidas con normalidad con una significancia del 95%

### 3.2.3.2.2 Estimación de Datos Faltantes de Precipitación Mensual

La estimación de datos faltantes de precipitación mensual fue realizada a través del método de regresión lineal, interpretando las conclusiones de algunos autores:

El método de correlación lineal es uno de los más utilizados, se recomienda para la estimación de datos mensuales y anuales de la estación en estudio, y los de una pluviométrica cercana, que cuente con una estadística consistente y observada. Para ello se requiere establecer una regresión y correlación lineal entre una estación patrón y la que tenga carencia de datos, mediante una ecuación lineal. Son herramientas estadísticas comúnmente empleadas en hidrología para estimar datos faltantes y ampliar el registro de cierta estación climatológica” (Herrera y otros, 2017, pp. 36-37)

El modelo matemático de correlación lineal para la estimación de datos faltantes consideró la ecuación 28.

$$y = ax + b$$

$$a = R \left( \frac{S_y}{S_x} \right)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

$$R = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x^2 * S_y^2}}$$

$$S_{xy} = \frac{1}{N} \sum x_i y_i - \bar{x} * \bar{y}$$

$$s_x^2 = \frac{\sum x_i^2}{N} - (\bar{x})^2$$

$$s_y^2 = \frac{\sum y_i^2}{N} - (\bar{y})^2$$

*Donde:*

y = Dato faltante calculado; x = Dato de la estación de referencia R = Coeficiente de Correlación;  
 Sxy = Desviación estándar de las variables x e y;  $s_x^2$  = Varianza de la variable x;  $s_y^2$  = Varianza de la variable y;  $\bar{x}$  = Media de x;  $\bar{y}$  = Media de y; N = Numero de datos

### **Procedimiento de estimación de datos faltantes**

La estimación o cálculo de datos faltantes se inició a partir de los datos de la estación Sucre SENAMHI, considerada la primera estación base o de referencia; procediendo a la estimación de datos faltantes de precipitación mensual de la estación meteorológica más próxima, a través del método de correlación lineal

Una vez completada la serie de datos de la estación analizada, se verificó la normalidad de distribución de la serie de datos completadas, a través de la metodología estadística Chi- Cuadrado, una vez verificada la normalidad de su distribución, se constituyó en la nueva estación base o de referencia. De esta manera se prosiguió con el análisis y estimación de datos faltantes de las demás estaciones. En la tabla 22, se resume de resultados obtenidos

Tabla 22: Resumen Resultados de Estimación de Datos Faltantes

Descripción	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Estación Zudáñez</b>												
Nº Datos Registrados	40	39	39	39	39	39	39	39	39	40	40	40
Nº Datos Faltantes	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-
Valor Estadístico Correlacional R	-	0.567	0.611	0.444	0.232	0.259	0.297	0.096	0.591	-	-	-
<b>Prec. Media Mensual Serie Completa (mm)</b>	<b>121.4</b>	<b>108.1</b>	<b>75.7</b>	<b>28.9</b>	<b>3.9</b>	<b>1.3</b>	<b>3.3</b>	<b>5.4</b>	<b>19.9</b>	<b>40.1</b>	<b>52.0</b>	<b>89.7</b>
<b>Estación Padilla</b>												
Nº Datos Registrados	36	36	36	36	35	35	36	36	36	36	35	35
Nº Datos Faltantes	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5	5
Valor Estadístico Correlacional R	0.461	0.577	0.49	0.587	0.377	0.435	0.31	0.554	0.352	0.389	0.551	0.734
<b>Prec. Media Mensual Serie Completa (mm)</b>	<b>119.2</b>	<b>101.3</b>	<b>86.32</b>	<b>32.06</b>	<b>9.74</b>	<b>2.78</b>	<b>4.03</b>	<b>4.213</b>	<b>20.16</b>	<b>47.18</b>	<b>55.16</b>	<b>96.53</b>
<b>Estación Tomina</b>												
Nº Datos Registrados	19	18	17	17	18	18	17	18	18	18	18	18
Nº Datos Faltantes	21	22	23	23	22	22	23	22	22	22	22	22
Valor Estadístico Correlacional R	0.684	0.736	0.555	0.69	0.342	0.32	-0.17	0.3	0.483	-0.08	0.102	0.459
<b>Prec. Media Mensual Serie Completa (mm)</b>	<b>90.4</b>	<b>90.7</b>	<b>52.9</b>	<b>19.8</b>	<b>4.8</b>	<b>2.4</b>	<b>0.0</b>	<b>4.3</b>	<b>24.8</b>	<b>32.8</b>	<b>35.0</b>	<b>58.2</b>
<b>Estación V. Alcalá</b>												
Nº Datos Registrados	34	34	34	34	33	32	32	32	32	32	31	30
Nº Datos Faltantes	6	6	6	6	7	8	8	8	8	8	9	10
Valor Estadístico Correlacional R	0.684	0.505	0.634	0.597	0.535	0.652	0.514	0.811	0.345	0.581	0.537	0.56
<b>Prec. Media Mensual Serie Completa (mm)</b>	<b>90.4</b>	<b>90.7</b>	<b>52.9</b>	<b>19.8</b>	<b>4.8</b>	<b>2.4</b>	<b>0.0</b>	<b>4.3</b>	<b>24.8</b>	<b>32.8</b>	<b>35.0</b>	<b>58.2</b>
<b>Estación Sopachuy</b>												
Nº Datos Registrados	34	34	34	35	35	34	34	34	34	34	34	34
Nº Datos Faltantes	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6
Valor Estadístico Correlacional R	0.809	0.45	0.709	0.837	0.465	0.496	0.607	0.667	0.509	0.513	0.533	0.541
<b>Prec. Media Mensual Serie Completa (mm)</b>	<b>173.7</b>	<b>158.2</b>	<b>125.4</b>	<b>57.4</b>	<b>17.4</b>	<b>3.4</b>	<b>5.0</b>	<b>9.2</b>	<b>34.1</b>	<b>78.0</b>	<b>106.9</b>	<b>150.0</b>
<b>Estación Chavarría</b>												
Nº Datos Registrados	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Nº Datos Faltantes	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Valor Estadístico Correlacional R	0.566	0.69	0.633	0.777	0.454	0.272	0.509	0.766	0.755	0.355	0.421	0.337
<b>Prec. Media Mensual Serie Completa (mm)</b>	<b>161.7</b>	<b>149.0</b>	<b>118.9</b>	<b>45.0</b>	<b>7.2</b>	<b>1.8</b>	<b>3.1</b>	<b>5.0</b>	<b>18.6</b>	<b>62.6</b>	<b>82.4</b>	<b>132.3</b>

*Nota.* Los datos de la estación Sucre SENAMHI, se utilizó en un inicio para posteriormente desestimarse por la tener su ubicación considerablemente distante al área de estudio

### 3.2.3.2.3 Análisis de normalidad de datos de precipitación completados

El procesamiento de datos y análisis de normalidad de distribución de la precipitación mensual de los datos completados, fue realizada a través de la prueba de Chi Cuadrado ( $X^2$ ). El cálculo del valor de  $X^2$ , para las series de datos de precipitación mensual completada de cada estación meteorológica.

La serie de datos de precipitación mensual completa, fueron procesados para verificar la normalidad de su distribución a través de la prueba de Chi-cuadrado, con una probabilidad o significancia de 95% y un error máximo esperado de 5%; tomando en cuenta las hipótesis planteadas previa la realización de la prueba:  $H_0: X_c^2 \leq X_t^2$  e  $H_i: X_c^2 > X_t^2$ ; los indicadores de la prueba son resumidos en la tabla 23.

**Tabla 23: Resumen Indicadores Prueba de Normalidad de Datos Completados**

Descripción	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Estación Zudáñez</b>												
Valor $X^2$ Calculado	6.39	11.01	6.23	4.86	9.20	9.21	10.03	9.47	3.64	4.02	7.47	7.70
Valor $X^2$ Crítico	12.04	8.48	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
<b>Prec. Media Mensual (mm)</b>	<b>121.4</b>	<b>108.1</b>	<b>75.7</b>	<b>28.9</b>	<b>3.9</b>	<b>1.3</b>	<b>3.3</b>	<b>5.4</b>	<b>19.9</b>	<b>40.1</b>	<b>52.0</b>	<b>89.7</b>
<b>Estación Padilla</b>												
Valor $X^2$ Calculado	2.43	4.46	4.26	1.68	6.02	9.66	4.47	4.43	4.67	7.21	0.63	5.50
Valor $X^2$ Crítico	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
<b>Prec. Media Mensual (mm)</b>	<b>119.2</b>	<b>101.3</b>	<b>86.3</b>	<b>32.1</b>	<b>9.7</b>	<b>2.8</b>	<b>4.0</b>	<b>4.2</b>	<b>20.2</b>	<b>47.2</b>	<b>55.2</b>	<b>96.5</b>
<b>Estación Tomina</b>												
Valor $X^2$ Calculado	9.83	11.40	12.50	10.56	10.57	6.07	-	11.43	5.25	12.77	11.79	7.73
Valor $X^2$ Crítico	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	-	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
<b>Prec. Media Mensual (mm)</b>	<b>9.83</b>	<b>11.40</b>	<b>12.50</b>	<b>10.56</b>	<b>10.57</b>	<b>6.07</b>	<b>-</b>	<b>11.43</b>	<b>5.25</b>	<b>12.77</b>	<b>11.79</b>	<b>7.73</b>
<b>Estación V. Alcalá</b>												
Valor $X^2$ Calculado	6.45	3.01	11.34	5.26	5.0	10.4	5.85	13.6	3.1	4.65	1.66	4.20
Valor $X^2$ Crítico	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
<b>Prec. Media Mensual (mm)</b>	<b>155.9</b>	<b>123.4</b>	<b>110.1</b>	<b>40.0</b>	<b>9.5</b>	<b>3.3</b>	<b>5.0</b>	<b>8.9</b>	<b>21.9</b>	<b>52.6</b>	<b>65.6</b>	<b>123.7</b>
<b>Estación Sopachuy</b>												
Valor $X^2$ Calculado	12.51	10.53	4.40	6.43	6.78	6.68	8.76	8.46	4.32	3.01	2.33	5.52
Valor $X^2$ Crítico	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
<b>Prec. Media Mensual (mm)</b>	<b>12.51</b>	<b>10.53</b>	<b>4.40</b>	<b>6.43</b>	<b>6.78</b>	<b>6.68</b>	<b>8.76</b>	<b>8.46</b>	<b>4.32</b>	<b>3.01</b>	<b>2.33</b>	<b>5.52</b>
<b>Estación Chavarría</b>												
Valor $X^2$ Calculado	7.84	10.15	10.85	8.74	5.96	9.72	13.67	9.76	5.99	6.04	6.98	11.16
Valor $X^2$ Crítico	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07	14.07
<b>Prec. Media Mensual (mm)</b>	<b>161.7</b>	<b>149.0</b>	<b>118.9</b>	<b>45.0</b>	<b>7.2</b>	<b>1.8</b>	<b>3.1</b>	<b>5.0</b>	<b>18.6</b>	<b>62.6</b>	<b>82.4</b>	<b>132.3</b>

En base al análisis comparativo de los valores de Chi-cuadrado calculados y los valores de Chi-cuadrado críticos o tabulados; de la serie de datos de precipitación mensual de las estaciones consideradas presentados en la tabla 23, determina aceptar la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa. Por tanto, se asume que el comportamiento de la

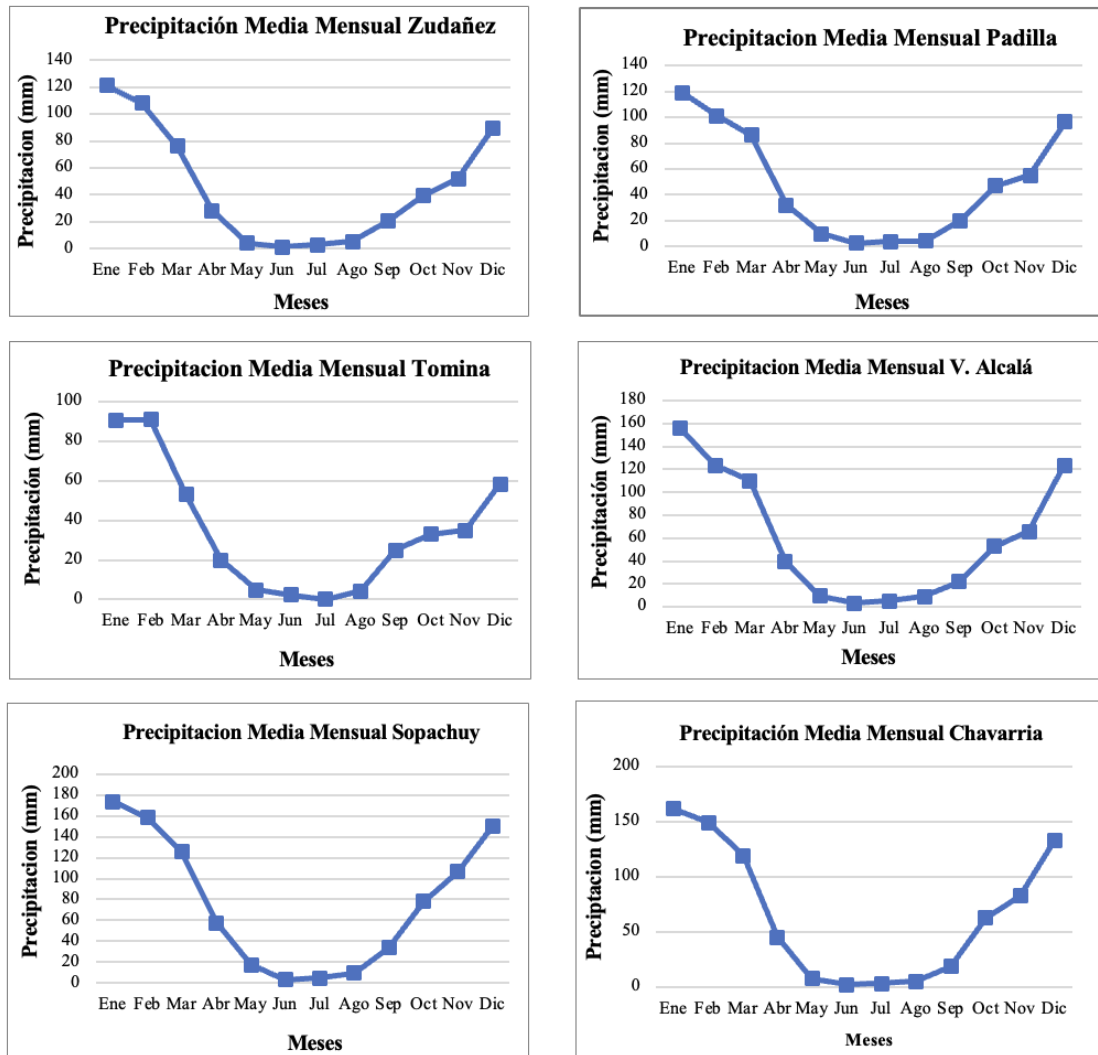


precipitación mensual de la estación se distribuye con normalidad, por tanto, la serie de datos completadas son estadísticamente iguales

### 3.2.3.3 Descripción Cronológica de Precipitación Por Estación

El comportamiento de la precipitación anual por estaciones se muestra en la figura 17.

**Figura 17: Precipitación Cronológica Anual Por Estación**

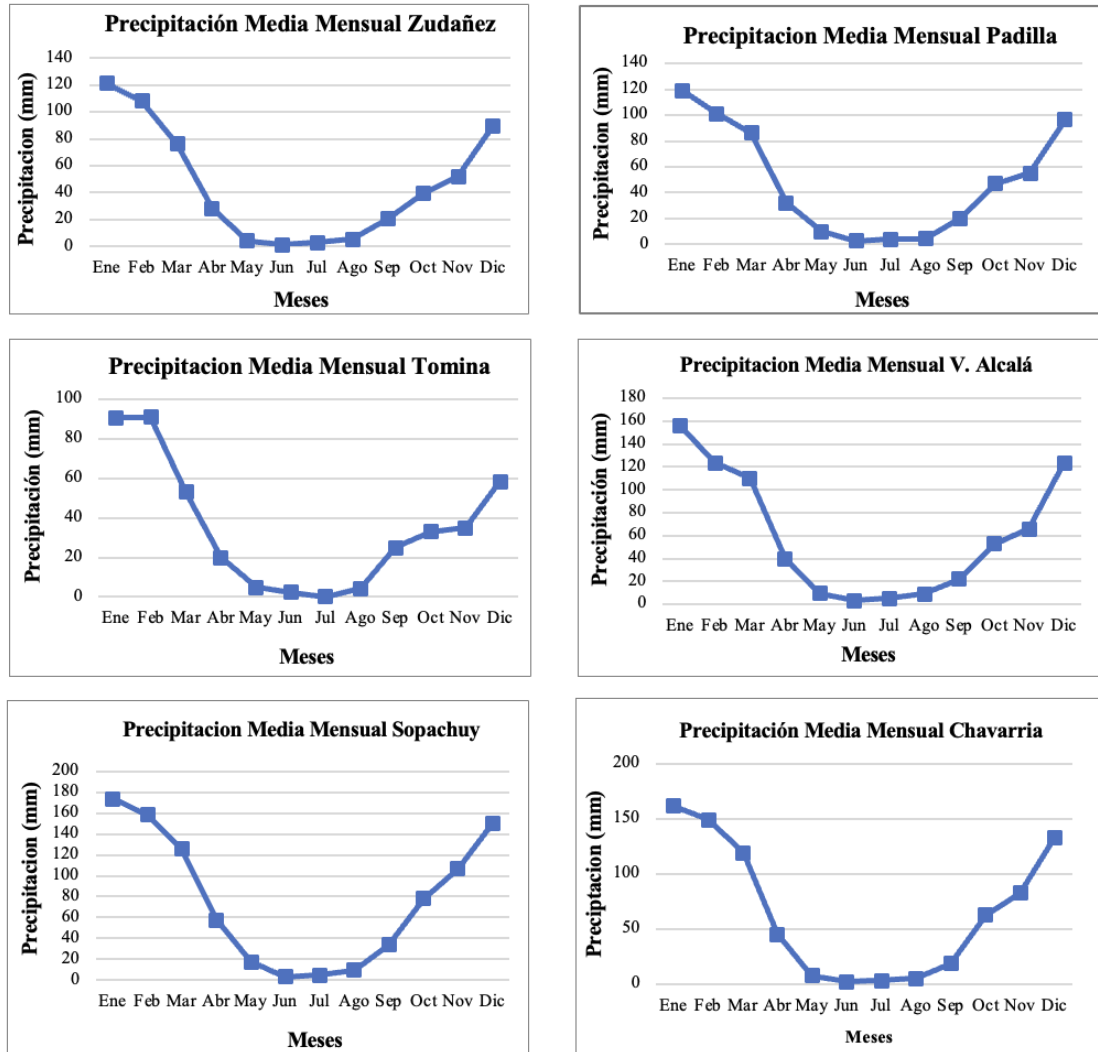


La representación gráfica del comportamiento de la precipitación cronológica de los datos de las estaciones próximas a la cuenca de estudio, permiten apreciar la variación en el tiempo del conjunto de información considerada en el periodo de 40 años.

### 3.2.3.4 Descripción Precipitación Media Mensual Por Estación

Determinada la precipitación media mensual de las estaciones meteorológicas consideradas, se describe la distribución mensual de dicho parámetro a través la figura 18

**Figura 18: Gráficos de Precipitación Media Mensual por Estación**



Por otra parte, la representación de la precipitación media mensual de las estaciones analizadas, permite predecir la ocurrencia de las mayores alturas de precipitación entre los meses de octubre y marzo; ocurrencia de menor precipitación entre los meses de mayo y agosto, comportamiento que es similar en el área de influencia de las estaciones meteorológicas fuente de la información obtenida.

Los valores de precipitación media mensual de las estaciones consideradas, son resumidas en la tabla 24.

**Tabla 24: Resumen Precipitación Media Mensual y Anual de la Cuenca**

Estación	Precipitación (mm)												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Zudáñez	121.4	108.1	75.7	28.9	3.9	1.3	3.3	5.4	19.9	40.1	52.0	89.7	549.8
Padilla	119.2	101.3	86.3	32.1	9.7	2.8	4.0	4.2	20.2	47.2	55.2	96.5	578.6
Tomina	90.4	90.7	52.9	19.8	4.8	2.4	0.0	4.3	24.8	32.8	35.0	58.2	416.1
V. Alcalá	155.9	123.4	110.1	40.0	9.5	3.3	5.0	8.9	21.9	52.6	65.6	123.7	719.9
Sopachuy	173.7	158.2	125.4	57.4	17.4	3.4	5.0	9.2	34.1	78.0	106.9	150.0	918.7
Chavarría	161.7	149.0	118.9	45.0	7.2	1.8	3.1	5.0	18.6	62.6	82.4	132.3	787.5

De acuerdo a los valores de precipitación media anual para un periodo de observación de 40 años, se puede asumir la existencia de diferencias en el comportamiento de la precipitación de acuerdo a la ubicación geográfica de las estaciones fuente de información.

Las estaciones Zudáñez, Tomina y Padilla ubicadas al extremo Norte de la cuenca Thuru Cancha reportaron valores relativamente menores de precipitación anual; observándose un incremento de precipitaciones en las estaciones ubicadas tanto al Este como al Oeste de la cuenca de estudio. Asimismo, se puede establecer que la estación Sopachuy ubicada al Sur de la cuenca de estudio reporta el mayor valor de precipitación anual.

### 3.2.3.5 Determinación de la Precipitación Media Mensual de la Cuenca

La determinación de la precipitación media mensual de la cuenca Thuru Cancha fue realizada a través del método de Isoyetas y uso de herramientas SIG; en base a los resultados obtenidos a través del procesamiento de datos de precipitación media mensual de las estaciones ubicadas en proximidades de la cuenca; es decir, las estaciones de Zudáñez, Padilla, Tomina, Villa Alcalá, Sopachuy y Chavarría, descritas en la tabla 24.

Interpretando lo establecido por Sciortino (2019) el cálculo se realizó ponderando la precipitación media entre dos isoyetas con la superficie encerrada entre ellas, de acuerdo a la ecuación 29. (p. 80)

$$P_m = \frac{\sum_1^n \left[ \frac{(P_i + P_{i+1}) * A_{i,i+1}}{2} \right]}{A_t} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

$P_m$  = Precipitación media de la cuenca en estudio;  $P_i$  = Precipitación de la isohieta  $i$ ;  $P_{i+1}$  = Precipitación de la isoyeta  $i+1$ ;  $A_{i,i+1}$  = Superficie encerrada entre dos isohietas y  $A_t$  = Superficie total de la cuenca.

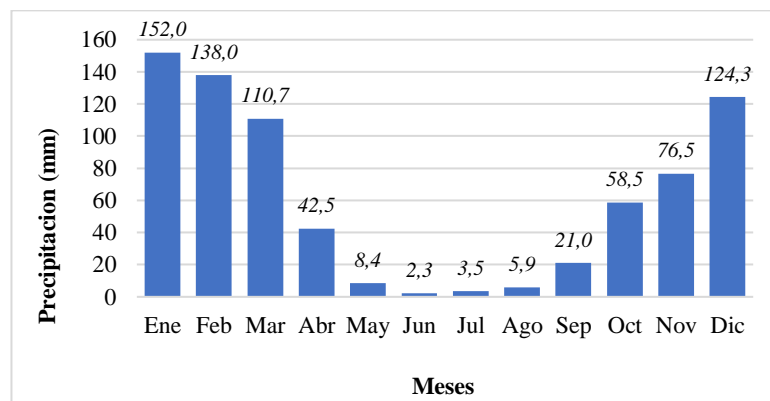
Los mapas de isoyetas (precipitación mensual) se elaboraron a través de la utilización del software ArcGis; mediante la herramienta de ponderación de distancia inversa (IWD), que permitió cuantificar el valor de las isoyetas y las áreas entre isoyetas de la cuenca. Los resultados del cálculo de precipitación media mensual de la cuenca Thuru Cancha se muestra en la tabla 25.

**Tabla 25: Resumen Precipitación Media Mensual y Anual Cuenca Thuru Cancha**

Meses												Anual
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
152.0	138.0	110.7	42.5	8.4	2.3	3.5	5.9	21.0	58.5	76.5	124.3	743.6

En base a los valores de precipitación media mensual del área de estudio, calculados a través del método de Isoyetas con la utilización del software ArcGis, se determinó la precipitación media anual de la cuenca Thuru Cancha, resultado del procesamiento de datos históricos de 40 años cuyo valor es de 743.6 mm/año

**Figura 19: Precipitación Media Mensual de la Cuenca**



De acuerdo al gráfico precedente se puede asumir que la ocurrencia de mayores de precipitación se produce entre los meses de octubre a marzo.

### **3.2.4 Caracterización de Esgurrimiento Superficial en la Cuenca**

El procesamiento de datos e información; análisis y descripción de las características de escurrimiento de la cuenca de estudio consideró lo establecido por Sciortino (2019) quien sostiene que “el denominado Coeficiente de Escurrería que depende de las características del suelo, relieve, morfología ambiental, condiciones antecedentes y de la intensidad de lluvia” (p. 123)

#### **3.2.4.1 Determinación del Coeficiente Curva Número**

Tomando en cuenta lo establecido por Prieto y otros (2022) sugiere que “el método Número de Curva (NC ó CN), ampliamente utilizado para determinar la escurrería superficial, este método permitió obtener una aproximación del comportamiento de la escurrería superficial de la cuenca” (p. 4)

La determinación del coeficiente de escurrimiento superficial a través de un análisis del comportamiento temporal es considerada, en atención a la sugerencia de algunos autores:

La modelación del escurrimiento superficial nos permite conocer el comportamiento temporal, existe un consenso entre científicos que el manejo de recursos hídricos debe realizarse desde la perspectiva de una cuenca, subcuenca o microcuenca, dependiendo del tipo y objetivos de estudio, por ejemplo, la cuenca se considera como unidad de planeación. La modelación de procesos hidrológicos se ha facilitado con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitiendo el estudio de diversas variables de patrones espaciales y temporales, dentro de las modelaciones se encuentra los escurrimientos naturales del agua de lluvia, delimitación de unidades de drenaje, flujo y dirección de corrientes a nivel cuenca, subcuenca o microcuenca. (Delgadillo y otros, 2021, p. 2)

Realizado del análisis del comportamiento de la cobertura y uso de suelos de la cuenca de estudio del presente trabajo, en particular atención al comportamiento y variación de las características propias, se determinó analizar el parámetro curva número en 3 escenarios o temporadas del año; como se detalla seguidamente:

- Escenario 1. Para los meses de octubre y noviembre
- Escenario 2. Para los meses de diciembre y enero
- Escenario 3. Para los meses de febrero y marzo

#### *3.2.4.1.1 Recogida de Datos e Información*

Para el procesamiento de datos se consideró la información de algunos parámetros de las variables precedentemente estudiadas; es decir, la caracterización morfométrica; caracterización geodáfica y aspectos hidroclimáticos de la cuenca.

En atención a lo establecido por Prieto y otros (2013), para el cálculo automatizado de la escorrentía superficial a través del método de Número de Curva, con la utilización de herramientas SIG, siendo necesario recopilar los mapas temáticos correspondientes a cada una de las variables que influyen en la determinación del parámetro número de curva, que resulta de la realización de operaciones de reclasificación y superposición de capas de información: mapa de pendientes, mapa de grupo hidrológico de suelo y cobertura y uso de suelo. (p. 6)

Por otra parte, los valores de Curva Número relaciones a cada combinación de parámetros, fueron recopilados de Prieto y otros (2013) quienes detalla los indicadores para la asignación de valores de CN en Tabla. (p. 4)

#### *3.2.4.1.2 Descripción del Procesamiento de Datos*

##### ***Asignación de Valores del Parámetro Curva Numero***

De acuerdo a Prieto y otros (2013) que sugieren que “la asignación de cada NC se establece en función a una tabla de triple entrada Pendiente/Suelo/Cobertura. En la que se recogen todos los posibles escenarios contemplados por las variables anteriormente descritas” (p. 4).

El análisis del comportamiento del parámetro CN, se realizó para el periodo comprendido entre octubre y marzo. La tabla 26 detalla los valores de CN asignados

**Tabla 26: Asignación de Valores de Curva Número**

Cobertura y Uso de Suelo	Pend. (%)	Valor Adimensional de Curva Número					
		Oct - Nov		Dic - Ene		Feb - Mar	
		B	C	B	C	B	C
Agua	-	-	-	-	-	-	-
Suelo sin vegetación	≥ 3	85	75	85	75	85	75
	< 3	87	79	87	79	87	79
Gramíneas y pastizales	≥ 3	69	59	60	48	60	48
	< 3	78	75	74	69	74	69
Vegetación escasa (matorrales)	≥ 3	68	68	60	60	60	60
	< 3	78	78	69	69	69	69
Vegetación densa (arbórea)	≥ 3	60	60	52	52	52	52
	< 3	69	69	62	62	62	62
Cultivo agrícola verano	≥ 3	82	78	73	70	73	70
	< 3	86	82	81	78	81	78
Cultivo agrícola anual	≥ 3	75	73	69	67	69	67
	< 3	82	79	82	79	82	79
Cultivo agrícola perenne	≥ 3	66	60	60	60	60	60
	< 3	77	73	69	69	69	69
Construcciones (viviendas)	-	80	80	80	80	80	80

**Nota.** “B” = Grupo Hidrológico de Suelos B; “C” = Grupo Hidrológico de Suelos C. No se asigna valores de curva número a los Grupos Hidrológicos de Suelo A y D, al no existir dichos parámetros en el área de estudio

Los valores de CN asignados en los meses de octubre y noviembre a cobertura de gramíneas y pastizales; vegetación escasa (matorrales) y vegetación densa (arbórea), se asignan valores de CN de acuerdo a las características propias del estado vegetativo de la temporada. Asimismo, se asignó valores de CN de barbecho a la superficie de uso de suelo agrícola de cultivos agrícolas de verano ya que estos terrenos de cultivo en el periodo se encuentran en etapa de preparación.

Entre los meses de enero y marzo, los valores de CN asignados a la cobertura y uso de suelo, gramíneas y pastizales; vegetación escasa y densa las características propias de la temporada que determina el ciclo vegetativo. Asimismo, se asignó valores de CN a la superficie de uso de suelo agrícola considerada la etapa de desarrollo vegetativo

### **Procedimiento de Cálculo de Curva Número de la Cuenca**

El cálculo del coeficiente Curva Numero de la cuenca se realizó utilizando el software ArcGis, procesando los mapas temáticos de pendiente, grupos hidrológicos de suelos; cobertura y uso de suelos. De esta manera se elaboraron mapas temáticos de CN para los

meses priorizados, generando bases de datos de las áreas de la cuenca correspondientes a cada curva número en condiciones de suelo de humedad media (CN II).

Por otra parte, el cálculo de los indicadores de curva número de humedad antecedente para las condiciones de suelos secos con menor potencialidad de escurrimiento (CN I) y suelos saturados con mayor potencialidad de escurrimiento (CN III); el valor medio ponderado de CN de la cuenca Thuru Cancha consideró las ecuaciones 30, 31 y 32. (Sciortino, 2019, p. 120)

$$CN (I) = \frac{4.2 * CN (II)}{10 - 0.058 * CN (II)} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$CN (III) = \frac{23 * CN (II)}{10 + 0.13 * CN (II)} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$CN_m = \frac{\sum_i^n A_i * CN_i}{A_t} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

CN (II) = Curva número en condiciones de suelo humedad media; CN (I) = Curva número en condiciones de suelos secos; CN (I) = Curva número en condiciones de suelos húmedos; CN<sub>m</sub> = Curva número media ponderada de la cuenca; A<sub>i</sub> = Área del valor de CN<sub>i</sub> y A<sub>t</sub> = Área total de la cuenca

### 3.2.4.1.3 Determinación del Parámetro Curva Numero de la Cuenca

#### Determinación Curva Número de la cuenca meses de octubre - noviembre

Los resultados de la determinación de los indicadores de CN de la cuenca en los meses de octubre y noviembre son detallados en la tabla 27

**Tabla 27: Valores de Curva Número II Octubre – Noviembre**

Intervalo CN II		Superficie (Km <sup>2</sup> )	CN Media Ponderada		
Min	Max		CN II	CN I	CN III
	0	0.0835	0	0	0
59	63	0.2512	60	39	77
64	67	0.0095	66	45	82
68	71	2.6539	69	48	84
72	75	0.0780	75	56	87
76	79	2.4749	78	60	89
80	83	0.1843	82	66	91
84	87	5.9222	86	72	93
<b>Total</b>		<b>11.6573</b>			
<b>CN Media Ponderada de la Cuenca</b>			<b>79</b>	<b>63</b>	<b>89</b>

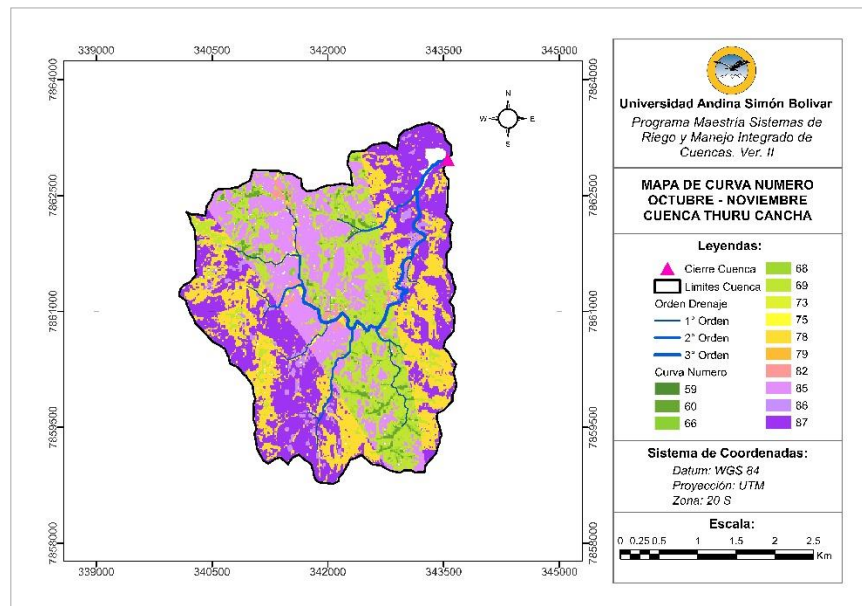


De acuerdo a lo descrito precedentemente, el comportamiento del parámetro CN en condiciones de humedad media en los meses de octubre y noviembre, permite establecer que la cuenca tiene un valor medio ponderado de 79.

Por otra parte, se puede identificar al mayor valor medio ponderado de CN igual a 86 en condiciones de humedad media de la cuenca, corresponde a la mayor extensión de superficie de 5.92 Km<sup>2</sup>; siguiendo criterio de extensión de área se encuentran los valores medios ponderados de 69 y 78; que corresponden a superficies de 2.65 y 2.47 Km<sup>2</sup> respectivamente.

La distribución y ubicación geográfica de los valores de CN II en la cuenca para los meses de octubre y noviembre se describen en la figura 20

**Figura 20: Mapa de Curva Número II Octubre - Noviembre**



De acuerdo al mapa de CN en condiciones previas de humedad media se puede afirmar que la cuenca tiene valores de CN que varían de 59 a 87. Por otra parte, en la tabla 28 se muestra la combinación de parámetros con mayores índices de CN

**Tabla 28: Relación de Parámetros y Valores de Curva Número Octubre - Noviembre**

Cobertura y Uso - GHS - Pendiente	Superficie (Km2)	Coeficiente de Esguerrimiento		
		CN (II)	CN (I)	CN (III)
Sin vegetación - GHS C - Pend $\geq$ 3%	3.3820	87	74	94
Cultivos de verano - GHS C - Pend $\geq$ 3%	0.2770	86	72	93
Sin vegetación - GHS B - Pend $\geq$ 3%	2.2631	85	70	93

*Nota.* El detalle se muestra en Apéndice D. Tabla D1

Del análisis de resultados de la Tabla precedente se puede afirmar que los mayores valores de CN en octubre y noviembre corresponden a superficies sin vegetación, ubicados en relieves con pendientes mayores a 3% y suelos de clases texturales franco-arcillosa y franco-arcillo-limosa propios del grupo hidrológico de suelo C

### **Determinación Curva Número de la Cuenca Meses Diciembre - Enero**

Los resultados del procesamiento de datos para la determinación de CN de la cuenca para los meses de diciembre y enero son detallados en la tabla 29.

**Tabla 29: Valores de Curva Número II Diciembre – Enero**

Intervalo NC II		Superficie Intervalo		NC Media Ponderada		
Min	Max	(Km2)	(%)	CN (II)	CN (I)	CN (III)
	0	0.0392	0.34%	0	0	0
48	52	0.6663	5.72%	52	31	71
53	57	0.0000	0.00%	0	0	0
58	62	3.7198	31.91%	60	39	78
63	67	0.0007	0.01%	67	46	82
68	72	2.0742	17.79%	69	48	84
73	77	1.9215	16.48%	74	54	87
78	82	0.3494	3.00%	81	64	91
83	87	2.8863	24.76%	86	72	93
<b>Total</b>		<b>11.6573</b>	<b>100.00%</b>			
<b>NC Media Ponderada de la Cuenca</b>				<b>70</b>	<b>52</b>	<b>84</b>

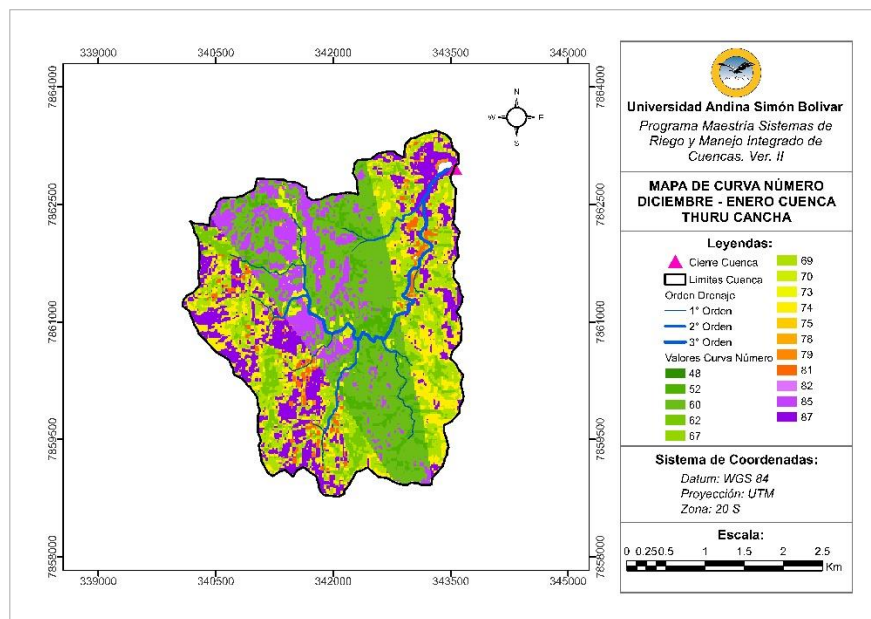
El análisis de resultados del comportamiento del parámetro esguerrimiento superficial en condiciones de humedad media en los meses de diciembre y enero se tiene un valor medio ponderado de CN II de la cuenca igual a 70.

Por otra parte, se identificó que la mayor superficie de la cuenca corresponde al 31.9% con un valor medio ponderado de CN de 60 y 24.8% de la superficie de la cuenca con valor de CN medio ponderado de 86, que corresponde al mayor indicador de intensidad

de escurrimiento. Asimismo, se tiene superficies que corresponden a 17.8% y 16.5% con valores de CN medios ponderados de 69 y 74

La distribución y ubicación geográfica de los valores de CN II en la cuenca se describen en la figura 21

**Figura 21: Mapa de Curva Número II Diciembre - Enero**



De acuerdo al mapa de CN en condiciones previas de humedad media se puede afirmar que la cuenca tiene valores de CN que varían de 48 a 87. En la tabla 30 se muestra la combinación de parámetros con mayores índices de CN

**Tabla 30: Relación de Parámetros y Valores de Curva Número Diciembre - Enero**

Cobertura y Uso - GHS - Pendiente	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Coeficiente de Escurrimiento		
		CN (II)	CN (I)	CN (III)
Sin vegetación - GHS B - Pend $\geq$ 3%	1.2370	85	70	93
Sin vegetación - GHS C - Pend $\geq$ 3%	1.6493	87	74	94
Sin vegetación - GHS C - Pend < 3%	0.0432	82	66	91

*Nota.* El detalle se muestra en Apéndice D. Tabla D2

Del análisis de resultados de la tabla precedente se puede afirmar que los mayores valores de CN en los meses de diciembre y enero representa a superficies sin vegetación, ubicados en relieves con pendientes mayores a 3% y suelos de clases texturales franco-arcillosa y franco-arcillo-limosa (GHS C)

### Determinación Curva Número de la Cuenca Meses de Febrero - Marzo

Los resultados del procesamiento de datos e información para la determinación de CN de la cuenca correspondiente a los meses de febrero y marzo son detallados en la tabla 31.

**Tabla 31: Valores de Curva Número II Febrero – Marzo**

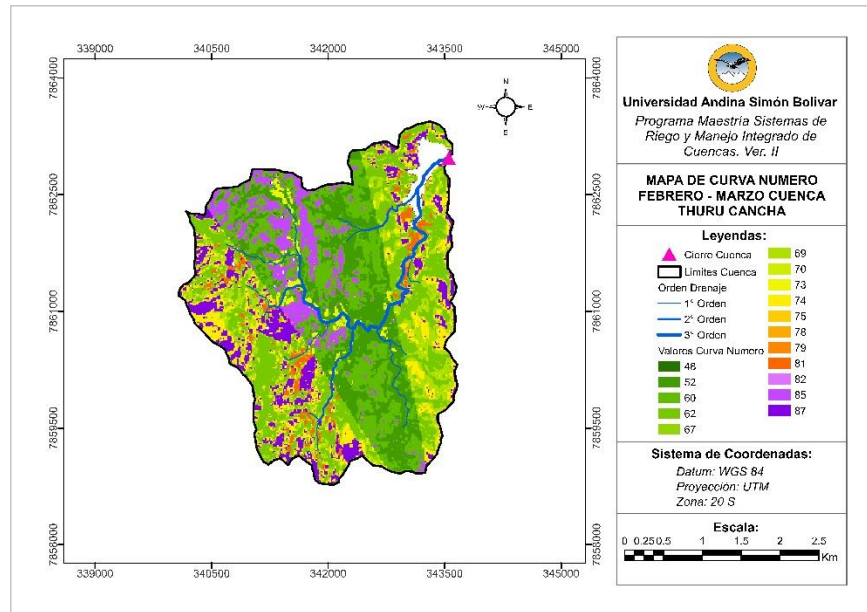
Intervalo NC II		Superficie Intervalo		NC Media Ponderada		
Min	Max	(Km <sup>2</sup> )	(%)	NC (II)	NC (I)	NC (III)
	0	0.2545	2.18%	0	0	0
48	52	2.1878	18.77%	52	31	71
53	57	0.0000	0.00%	0	0	0
58	62	4.2621	36.56%	61	40	78
63	67	0.0006	0.01%	67	46	82
68	72	1.4881	12.77%	69	48	84
73	77	1.2632	10.84%	74	54	87
78	82	0.3071	2.63%	81	64	91
<b>Total</b>		<b>11.6573</b>	<b>100.00%</b>			
<b>NC Media Ponderada de la Cuenca</b>				<b>65</b>	<b>46</b>	<b>80</b>

Los resultados del comportamiento del parámetro de escurrimiento superficial en condiciones de humedad media de la cuenca en los meses de febrero y marzo alcanzan un valor medio ponderado de CN igual a 65.

Por otra parte, se puede afirmar que el 36.6% de la superficie de la cuenca tiene un valor medio ponderado de CN de 61 y 18.8% tiene un valor de CN medio ponderado de 52; con menor extensión relativa de superficie a las precedentes se tiene un 16.2% de extensión con valor de CN medio ponderado de 86; que corresponde al mayor indicador de intensidad de escurrimiento.

La distribución y ubicación geográfica de superficies de acuerdo a los valores de CN II en la cuenca se describen en la figura 22

**Figura 22: Mapa de Curva Número II Febrero - Marzo**



De acuerdo al mapa de CN en condiciones previas de humedad media se puede afirmar que la cuenca tiene valores de CN que varían de 48 a 87. Por otra parte, en la tabla 32 se muestra la combinación de parámetros con mayores índices de CN

**Tabla 32: Relación de Parámetros y Valores de Curva Número Febrero - Marzo**

Cobertura y Uso - GHS - Pendiente	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Coeficiente de Esguimiento		
		CN (II)	CN (I)	CN (III)
Sin vegetación - GHS B - Pend $\geq$ 3%	0.8711	85	70	93
Sin vegetación - GHS C - Pend $\geq$ 3%	1.0229	87	74	94
Sin vegetación - GHS C - Pend < 3%	0.0132	82	66	91

*Nota.* El detalle se muestra en Apéndice D. Tabla D3

Del análisis de resultados de la tabla precedente se puede afirmar que los mayores valores de CN en los meses de febrero y marzo representa a superficies sin vegetación, ubicados en relieves con pendientes mayores a 3% y suelos de clases texturales franco-arcillosa y franco-arcillo-limosa, que corresponden al grupo hidrológico de suelo C

Los resultados del comportamiento del parámetro curva número en el periodo comprendido entre los meses de octubre y marzo, son resumidos en la tabla 33

**Tabla 33: Resumen de Curva Número Media Ponderada Temporal de la Cuenca**

Mes	CN Media Ponderada		
	CN (II)	CN (I)	CN (III)
Octubre	79	63	89
Noviembre	79	63	89
Diciembre	70	52	84
Enero	70	52	84
Febrero	65	46	80
Marzo	65	46	80

De acuerdo al análisis comparativo temporal de los indicadores de curva número de la cuenca registrados en la tabla 33, se puede afirmar que existe mayores valores de CN en los meses de octubre y noviembre.

El comportamiento y variabilidad del parámetro CN de escurrimiento superficial de la cuenca en el transcurso de los meses, son atribuidas a la variación temporal del parámetro cobertura y uso de suelo, ya que los parámetros de pendiente y grupo hidrológico de suelo respecto a la temporalidad no sufren variaciones.

#### 3.2.4.1.4 Determinación y Descripción Escurrimiento Superficial de la Cuenca

La determinación y cálculo del escurrimiento superficial de la cuenca para el periodo de análisis se realizó considerando las sugerencias de Prieto y otros (2021) quienes consideraron la utilización de ecuaciones empíricas de la USDA SCS. (p. 3). Dichas ecuaciones son descritas seguidamente:

$$E_s = \frac{(P-P_0)^2}{P-P_0-S} \quad \text{si} \quad P \geq P_0 \quad \text{Ecuación 33}$$

$$E_s = 0 \quad \text{si} \quad P < P_0$$

$$S = 254 * \left( \frac{100}{NC} - 1 \right)$$

$$P_0 = 0.2 * S$$

Donde:

$E_s$  = Escurrimiento superficial [mm]; P Precipitación [mm];  $P_0$  = Umbral de escorrentía [mm];

S = Retención potencial máxima [mm]; NC = Parámetro Curva Numero [adimensional]

Los resultados de los cálculos de estimación del escurrimiento superficial de la cuenca son resumidos en la tabla 34

**Tabla 34: Valores de Escurrimiento Superficial de la Cuenca**

Mes	NC II	P (mm)	S (mm)	Po (mm)	Es (mm)
Octubre	79	58.5	67.5	13.5	18.0
Noviembre	79	76.5	67.5	13.5	30.4
Diciembre	70	124.3	108.9	21.8	49.7
Enero	70	152.0	108.9	21.8	70.9
Febrero	65	138.0	136.8	27.4	49.5
Marzo	65	110.7	136.8	27.4	31.6

Los indicadores cuantitativos de escurrimiento superficial de la cuenca calculados para los diferentes meses del periodo lluvioso, permite predecir la ocurrencia del mayor índice de escurrimiento superficial en el mes de enero, con un valor calculado de 70.9 mm, que corresponde al mes con mayor precipitación

#### *3.2.4.1.5 Análisis de Relación de Variables de Escurrimiento Superficial*

El análisis de la variable morfometría de la cuenca (pendiente); variable geodáfica (características texturales y cobertura y uso de suelo) y variable hidroclimática (precipitación mensual) en relación al comportamiento del escurrimiento superficial permite establecer lo siguiente:

El parámetro pendiente del relieve tiene relación directa sobre el comportamiento de la escorrentía superficial; ya que a mayor pendiente del terreno y en condiciones similares de grupo hidrológico y cobertura y uso de suelo, los índices del parámetro curva número son mayores; por tanto, se podrá predecir mayores valores de escurrimiento superficial en la cuenca

Las características texturales de los suelos de la cuenca tienen directa relación con la potencial ocurrencia de escurrimiento superficial; los suelos de clases texturales francos arcillosos y franco arcillo arenosos clasificados en el grupo hidrológico C tienen mayor potencial de escurrimiento superficial que los suelos de las clases texturales francos y francos limosos que corresponden al grupo hidrológico de suelos B; aspecto que se atribuye a la capacidad de infiltración de los suelos.

La cobertura y uso de suelo está directamente relacionada con el escurrimiento superficial, ya que las superficies sin cobertura o suelos sin vegetación de la cuenca reportan mayores índices de curva número, mientras que suelos con cobertura vegetal densa y bien distribuida tienen menores valores de curva número. Asimismo, las prácticas de laboreo del terreno considerando tiene relación directa con la capacidad de escorrentía de la cuenca.

Por otra parte, el parámetro precipitación mensual correspondiente a la variable hidroclimática; tiene relación directa en el comportamiento del escurrimiento superficial, a mayores precipitaciones se producirán mayores valores de escorrentía superficial.

### 3.2.4.2 Identificación Áreas Susceptibles a Deterioro de la Cuenca

Respecto al comportamiento de la variable escurrimiento superficial de una cuenca y su relación con la posibilidad de deterioro de la misma Diaz y Mercado (2017) sugieren que “la escorrentía es el agua que aparece en las fuentes superficiales y es uno de los procesos del ciclo hidrológico que más atención requiere debido a sus efectos en la conservación y degradación de los recursos naturales” (p. 2)

A través del software ArcGis se realizó la sobreposición de capas correspondientes a los parámetros que determinan y tienen relación directa con el comportamiento del parámetro Curva Número II del mes de enero.

En la tabla 35 se muestra el detalle de la reclasificación de acuerdo a la susceptibilidad de deterioro de la cuenca

**Tabla 35: Clasificación de Áreas Susceptibles a Deterioro**

Cobertura y Uso - GHS - Pendiente	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Código	Valores de CN		
			CN II	CN I	CN III
Sin vegetación - GHS C - Pend $\geq$ 3%	1.65	221	87	74	94
Sin vegetación - GHS B - Pend $\geq$ 3%	1.24	211	85	70	93
Sin vegetación - GHS C - Pend < 3%	0.04	222	82	66	91
Cultivos de verano - GHS C - Pend $\geq$ 3%	0.29	621	81	64	91
Cultivos de verano - GHS C - Pend < 3%	0.01	622	78	60	89
Sin vegetación - GHS B - Pend < 3%	0.14	212	75	56	87
Gramíneas y pastizales - GHS C - Pend $\geq$ 3%	1.61	321	74	54	87
Cultivos de verano - GHS B - Pend $\geq$ 3%	0.17	611	73	53	86
Gramíneas y pastizales - GHS C - Pend < 3%	0.10	322	69	48	84
Vegetación escasa (matorrales) - GHS C - Pend $\geq$ 3%	1.94	421	69	48	84

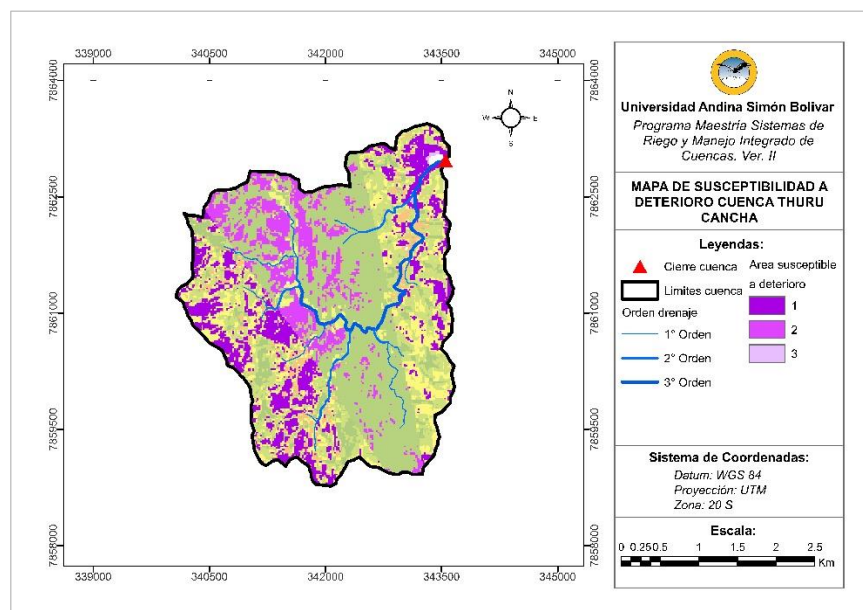


Vegetación escasa (matorrales) - GHS C - Pend < 3%	0.02	422	69	48	84
Cultivos anuales - GHS B - Pend ≥ 3%	0.01	711	69	48	84
Vegetación densa (arbórea) - GHS C - Pend ≥ 3%	0.66	521	62	41	79
Gramíneas y pastizales - GHS B - Pend ≥ 3%	1.35	311	60	39	78
Vegetación escasa (matorrales) - GHS B - Pend ≥ 3%	1.66	411	60	39	78
Vegetación escasa (matorrales) - GHS B - Pend < 3%	0.04	412	60	39	78
Cultivos perennes - GHS B - Pend ≥ 3%	0.01	811	60	39	78
Cultivos perennes - GHS B - Pend < 3%	0.00	812	60	39	78
Vegetación densa (arbórea) - GHS B - Pend ≥ 3%	0.57	511	52	31	71
Vegetación densa (arbórea) - GHS B - Pend < 3%	0.07	512	52	31	71
Gramíneas y pastizales - GHS B - Pend < 3%	0.02	312	48	28	68
Cuerpos de agua (lagunas, reservorios y otros)	0.04	100	0	0	0

De acuerdo a la tabla precedente e interpretando a Prieto y otros (2013), se puede establecer que índices elevados de CN, que corresponden a los valores 87, 85 y 82; determinan mayor potencial de escurrimiento superficial. Asimismo, al encontrarse dichos valores de CN en suelos sin vegetación en pendientes mayores a 3%; donde predominan los suelos del grupo hidrológico C, se puede establecer que dichas áreas tienen potencial de ocurrencia de procesos de erosión hídrica como factor de deterioro de suelos de la cuenca.

En la figura 23 se muestra la ubicación y distribución de las áreas susceptibles a deterioro.

**Figura 23: Mapa de Susceptibilidad a Deterioro Cuenca**



**Nota.** 1 – 3 Representación de mayor a menor susceptibilidad de deterioro

De acuerdo a la Figura precedente se puede manifestar que las áreas (1) con mayor susceptibilidad de sufrir deterioro en la cuenca se encuentran en la parte Este y Oeste de la cuenca

## CAPÍTULO IV

### 4 Resultados y Discusión

#### 4.1 Resultados Análisis Morfométrico de la Cuenca

Los resultados del procesamiento de datos correspondientes a la morfometría respecto a los parámetros generales, se puede afirmar que la cuenca Thuru Cancha cuenta con un área (A) de 11.66 km<sup>2</sup>, un perímetro (P) de 16.05 km y una longitud axial (L<sub>a</sub>) de 4.60 km; interpretando dichos indicadores se describe el área de estudio como una cuenca muy pequeña

La caracterización de la cuenca por su tamaño considera la afirmación de Buguña (2019) citando a Campos Aranda D.F. (1998) quien clasifica una cuenca de acuerdo al tamaño como muy pequeña cuando tiene un área menor a 25 Km<sup>2</sup> (p. 9)

Los resultados del parámetro de forma de la cuenca establecen un valor de Factor de Forma (IF) de 0.55; el Coeficiente de Compacidad de Gravelius (K<sub>c</sub>) con un valor de 1.33 y el Coeficiente de Circularidad (C<sub>c</sub>) de 0.57; que permiten describir la cuenca de forma oval redondeada o intermedia entre redonda y alargada con tendencia a la redondez; dicha característica permite caracterizar la cuenca Thuru Cancha con susceptibilidad de ocurrencia moderada de crecidas.

La descripción y caracterización de la cuenca realizada de acuerdo a los valores del parámetro de forma, es contrastada por las sugerencias y afirmaciones de algunos autores:

Cuando IF es similar a 1, representa una cuenca de forma redondeada. La cuenca con IF bajo, se caracteriza por ser una cuenca alargada, que con un colector de mayor longitud que la totalidad de los tributarios, estará sujeta a crecientes de menor magnitud. (Gaspari y otro, 2013, p. 51)

Según Campos Aranda (1998) una cuenca con: K<sub>c</sub> entre 1 y 1,25 posee una forma casi redonda a oval-redonda (Clase I); K<sub>c</sub> entre 1,26 y 1,50, una forma oval-redonda a oval-oblonga (Clase II); y con K<sub>c</sub> mayor a 1,51, una forma oval-oblonga a rectangular-oblonga (Clase III). (Riva y otros, 2021, p. 6)

Riva y otros (2021) sugieren que el coeficiente de circularidad “tiene valores entre 0 y 1, en donde valores cercanos a 0 corresponden a cuencas alargadas y valores próximos a 1 a cuencas con forma redonda (Senisterra et al., 2014)” (p. 6)

Los resultados de los parámetros de relieve a través del análisis comparativo de la Curva Hipsométrica y Curvas Hipsométricas Adimensional obtenidas de la cuenca de estudio y las curvas propuestas por Strahler (1952) determina que en ambos casos corresponden a las curvas tipo B; que describe la cuenca en la fase de madurez en estado de equilibrio. Por otra parte, el valor calculado de pendiente media igual a 27.72% permite caracterizar la cuenca Thuru Cancha con una pendiente muy fuerte, por lo cual se puede inferir que la cuenca es susceptible a sufrir procesos de degradación por su potencial erosivo.

La descripción y caracterización de la cuenca Thuru Cancha de acuerdo a su relieve es respaldada por algunos autores quienes sugieren lo siguiente:

La curva superior (curva A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria. Las fases de la vida de los ríos quedarían representadas por: curva A que representa la fase de juventud, la curva B que indica la fase de madurez y la curva C que expresa la fase de vejez. (Gaspari y otros, 2013, p. 53)

Según la clasificación de López Cadenas de Llano (1998), la pendiente refleja los diferentes tipos de relieve, considerándose muy plano a un relieve menor del 0.5 %; plano a 0.5 a 1 %, de 1 a 3 % suave; de 3 a 12 % presenta lomadas; 12 a 20 % relieve accidentado; 20 a 50% muy fuerte; escarpado cuando se distribuye entre 50 y 75 %, y mayor al 75 % se corresponde a un relieve muy escarpado. (Gaspari y otros, 2013, p. 54)

Los procesos de escurrimiento superficial, así como la infiltración, dependen del grado de pendiente del terreno (Maderrey Rascón y Jiménez Romás, 2005). Por este motivo, la pendiente es un indicador del poder erosivo de la cuenca (Ordoñez, 2011; Gaspari et al., 2012). (Riva y otros, 2021, p. 7)

Los resultados de los parámetros de drenaje describen la cuenca Thuru Cancha a través de lo establecido por Strahler (1964) con tres órdenes de drenaje, un total de 23 cauces, que alcanzan una longitud de 15.10 Km. El valor de densidad de drenaje calculado de 1.30 Km/Km<sup>2</sup>; frecuencia de drenaje de la cuenca de 1.97 cauces/Km<sup>2</sup>. Que, permiten caracterizar la cuenca de tercer orden, con velocidad media de escurrimiento y densidad media de drenaje. En relación a los parámetros de drenaje del río principal de la cuenca,

se puede afirmar que tiene una longitud total de 6.21 Km; con una altitud máxima de 2454.79 msnm (al inicio de la trayectoria del río) y una altitud mínima de 2281.00 msnm (en el punto de cierre de la cuenca); con pendiente media de 2.80% y un Coeficiente de Torrencialidad ( $C_t$ ) de 1.03 Cauces/Km<sup>2</sup>, que caracteriza la cuenca con susceptibilidad media ante procesos erosivos.

La descripción y caracterización de la cuenca en relación a los parámetros de red de drenaje se sustenta por las afirmaciones de algunos autores, que afirman lo siguiente:

El método de número de orden de Strahler (1964), asigna el valor 1 de orden a un curso que no tiene de tributarios, el orden 2 a la confluencia de dos cursos de orden 1 y orden 3 a la confluencia de dos cauces de orden 2, y así repetidamente. (Riva y otros, 2021, p. 7)

Cuencas con una densidad de drenaje menor a 0,5 Km/Km<sup>2</sup> son pobremente drenadas y las cuencas con un valor mayor a 3,5 Km/Km<sup>2</sup> son ampliamente bien drenadas (Jiménez, 1986). (Riva y otros, 2021, p. 8)

Cuanto mayor sea la densidad del drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al ser la densidad de drenaje alta, una gota deberá recorrer una menor longitud de ladera, con una mayor velocidad de escurrimiento. (Gaspari y otros, 2013, p. 55)

El coeficiente de torrencialidad es un indicador de la erodabilidad y la aptitud de descarga de una cuenca, debido a que los cursos de primer orden son de origen erosivo, por lo que un alto valor de  $C_t$  indicaría una elevada vulnerabilidad de la cuenca ante procesos erosivos (Busnelli y Horta, 2014; Camino et al., 2018). (Riva y otros, 2021, p. 8)

### **Análisis Geoedáfico de la Cuenca**

Resultado del procesamiento de datos a partir del origen y formación de suelos se identificó cuatro clases texturales en la cuenca: franco-arcillo-arenoso, franco-limoso, franco-arcilloso y franco-arcillo-limoso; que definen dos texturas de suelos: textura media y textura moderadamente fina. Se muestra el detalle en la tabla 36

**Tabla 36: Clasificación Textural de Suelos de la Cuenca**

Zona	Era Geológica	Descripción	Clase Textural de Suelos	Textura de Suelos	Área	
					(Km <sup>2</sup> )	%
1	Devónico	Lucitas, limolitas, cuarcitas y diamictitas	Franco-arcillo-arenosa Franco-limosa	Media	5.18	44.4%
2	Silúrico	Areniscas, lutitas y limolitas	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa	Moderadamente fina	6.48	55.6%
<b>Totales</b>					<b>11.66</b>	<b>100%</b>

De acuerdo a las texturas de suelo identificadas, se clasifica la cuenca en 2 zonas: Zona 1 que corresponde al 44.4% de la superficie, con suelos de textura media definidas por las clases texturales franco arcillo arenosa y franco limoso y la Zona 2, que corresponde al 55.6% de la superficie de la cuenca, con suelos de textura moderadamente fina, que contienen las clases texturales franco arcillo y franco arcillo limoso

La determinación de la textura y clases texturales de suelos de la cuenca a partir del origen y formación, se ratifica a través de las afirmaciones de algunos autores:

La caracterización textural de suelos puede realizarse a partir del tipo de roca o material de origen, que a través de los procesos de meteorización, erosión, transporte, depósito y litificación; dará origen a la formación de suelos con características granulométricas propias de cada material de origen. (Maldonado, 2021)

Se puede afirmar que las arcillas están compuestas por partículas de tamaño menor a 2  $\mu\text{m}$ ; los limos están formados por partículas de 20 a 63  $\mu\text{m}$  y las arenas tienen partículas de tamaño mayor a 63 y 2000  $\mu\text{m}$ . (Lucio y otros, 2023, p. 58)

Se determina que la cuenca cuenta con dos grupos hidrológicos de suelo: GHS B que se extiende en el 44.40% de la superficie de la cuenca, caracterizada por una infiltración moderada. GHS C con extensión de superficie de 55.6% de la cuenca con capacidad de suelos con infiltración lenta.

La caracterización hidrológica de los suelos de la cuenca se respalda por la afirmación:

Un grupo hidrológico de suelo es un conjunto de suelos que tiene similar comportamiento frente a la generación de escorrentía. El método del Número de

Curva establece cuatro tipos o grupos de suelo (A, B, C y D)”. Grupo B, con capacidad de infiltración de 76-38 mm/h, de regular escorrentía, con clases texturales de suelo franco-arcillo-arenosa y franco-limosa. Grupo C, de capacidad de infiltración de 36-13 mm/h, de alta escorrentía con clases texturales de suelo franco-arcillosa y franco-arcillo-limosa. (Quiñonez, 2022, pp. 212,216)

Los resultados de la identificación cuantitativa y caracterización de la cobertura y uso de suelos de la cuenca Thuru Cancha es resumida en la tabla 37

**Tabla 37: Clasificación de Cobertura y Uso de Suelo de la Cuenca**

Descripción Cobertura y Uso de Suelo	Cobertura y Uso de Suelo (has)					
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Agua	9.63	8.35	11.48	3.92	14.80	25.45
Sin vegetación	595.64	575.48	497.90	306.80	226.20	198.67
Gramíneas y pastizales	387.98	413.40	400.23	307.71	317.12	310.23
Vegetación escasa	100.48	70.58	140.02	365.99	369.33	372.46
Vegetación densa	21.86	47.78	65.96	131.17	188.14	208.78
Cultivo agrícola verano	47.7	47.7	47.7	47.7	47.7	47.7
Cultivo agrícola anual	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Cultivo agrícola perenne	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Construcciones	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
<b>Totales</b>	<b>1165.73</b>	<b>1165.73</b>	<b>1165.73</b>	<b>1165.73</b>	<b>1165.73</b>	<b>1165.73</b>

De acuerdo a la tabla 37 se identificó la presencia de nueve clases de cobertura y usos de suelo en la cuenca de estudio. La cobertura de masas de agua, siendo de mayor relevancia la superficie del espejo de agua del embalse que muestra variaciones temporales en su superficie, atribuido a la regulación del embalse y manejo de agua por los usuarios del sistema de riego. La cobertura de suelo sin vegetación muestra una variación con tendencia a la disminución, con mayor superficie en octubre y reducción progresiva hasta el mes de marzo. Las áreas con cobertura de gramíneas y pastizales sufren variaciones temporales, incrementándose hasta febrero y posteriormente sufrir una disminución. Los indicadores cuantitativos del uso de suelo de la cuenca de estudio se pueden establecer: el uso de suelo destinado a producción agrícola, con cultivos agrícolas de verano (papa, maíz y trigo), es de mayor relevancia que alcanza una superficie de 47.70 has; cultivos agrícolas anuales (orégano) con un uso de suelo de 0.87 has, se pudo identificar plantaciones perennes (durazneros, manzanos), que tienen un uso de suelo de 1.08 ha. Se identificó la presencia de edificaciones (viviendas y otras edificaciones de un total de 32 familias) que alcanzan una superficie de 0.49 ha; ratificando la presencia y actividades antrópicas en la cuenca de estudio.

La metodología utilizada para la caracterización de la cobertura y uso de suelos es respaldada por las sugerencias siguientes:

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), es un índice práctico que emplea la banda NIR que es el infrarrojo cercano y la banda roja del espectro electromagnético visible, con ello se puede vigilar sequía, el estado de la vegetación, procesos de deforestación y desertificación. según el índice: los valores se encuentran entre el intervalo de -1,0 a 1,0. valores negativos caracterizan a cuerpos de agua, nieve y nubes, 0 suelo desnudo, valores entre 0,2 y 0,3 indican praderas y arbustos, los bosques templados y tropicales presentan valores entre 0,6 a 0,8 (EOS, 2022). (Roque, 2022, p. 234)

### **Análisis Hidroclimática de la Cuenca**

La variable hidroclimática consideró el parámetro de precipitación media mensual, de datos históricos de 40 años, registros obtenidos en estaciones meteorológicas convencionales próximas al área de estudio y publicados en el sitio web del SENAMHI. Se realizó el procesamiento de datos a través de métodos estadísticos para verificar la homogeneidad, ajustar datos no homogéneos; estimación de datos faltantes y uso de herramientas SIG que determinó la precipitación media mensual de la cuenca a través del método isoyetas, los resultados se muestran en la tabla 38

**Tabla 38: Precipitación Media Mensual y Anual de la Cuenca**

Meses											Annual	
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
152.0	138.0	110.7	42.5	8.4	2.3	3.5	5.9	21.0	58.5	76.5	124.3	743.6

De acuerdo a la Tabla 38 se puede asumir que la ocurrencia de mayores alturas de precipitación se produce entre los meses de octubre a marzo. Se estima una precipitación media anual en la cuenca Thuru Cancha de 743.6 mm

### **Análisis Esguerrimiento Superficial de la Cuenca**

Los resultados de la determinación de valores de CN se detallan en la tabla 39



**Tabla 39: Valores de Curva Número Media Ponderada de la Cuenca**

Mes	CN Media Ponderada		
	CN (II)	CN (I)	CN (III)
Octubre	79	63	89
Noviembre	79	63	89
Diciembre	70	52	84
Enero	70	52	84
Febrero	65	46	80
Marzo	65	46	80

El análisis del comportamiento del parámetro curva número en el periodo de análisis, permite establecer que existirá mayores valores de CN en los meses de octubre y noviembre; por tanto, en este periodo en similares condiciones similares de precipitación se tendrá mayor potencial de escurrimiento superficial. El comportamiento y variabilidad del parámetro CN de la cuenca en el transcurso de los meses, son atribuidas a la variación temporal del parámetro cobertura y uso de suelo, ya que los parámetros de pendiente y grupo hidrológico de suelo respecto a la temporalidad no sufren variaciones. Los indicadores cuantitativos calculados de escurrimiento superficial de la cuenca para los diferentes meses del periodo lluvioso se resumen en la tabla 40

**Tabla 40: Valores de Escurrimiento Superficial de la Cuenca**

Mes	NC II	P (mm)	S (mm)	Po (mm)	Es (mm)
Octubre	79	58.5	67.5	13.5	18.0
Noviembre	79	76.5	67.5	13.5	30.4
Diciembre	70	124.3	108.9	21.8	49.7
Enero	70	152.0	108.9	21.8	70.9
Febrero	65	138.0	136.8	27.4	49.5
Marzo	65	110.7	136.8	27.4	31.6

El análisis de resultados permite predecir la ocurrencia del mayor índice de escurrimiento superficial en el mes de enero, con un valor estimado de 70.9 mm, que corresponde al mes con mayor precipitación

El análisis de la relación de variables morfometría, geoedáfica y variable hidroclimática propias de la cuenca Thuru Cancha en relación al comportamiento del escurrimiento superficial permite establecer lo siguiente: El parámetro pendiente tiene relación directa sobre el comportamiento de la esorrentía superficial; ya que a mayor pendiente del terreno y en condiciones similares de grupo hidrológico y cobertura y uso de suelo, los índices de curva número serán mayores; por tanto, se podrá predecir mayores valores de

escurrimiento superficial en la cuenca. Las características texturales de los suelos de la cuenca tienen relación con la potencial ocurrencia de escurrimiento superficial; los suelos grupo hidrológico C tienen mayor potencial de escurrimiento superficial que los suelos grupo hidrológico de suelos B; aspecto que se atribuye a la capacidad de infiltración de los suelos. La cobertura y uso de suelo está directamente relacionada con el escurrimiento superficial, ya que las superficies sin cobertura o suelos sin vegetación de la cuenca reportan mayores índices de curva número, mientras que suelos con cobertura vegetal densa y bien distribuida tienen menores valores de curva número.

Por otra parte, el parámetro precipitación mensual correspondiente a la variable hidroclimática; tiene relación directa en el comportamiento del escurrimiento superficial, a mayores precipitaciones se producirán mayores valores de escorrentía superficial.

La caracterización de la cuenca en relación al parámetro curva número se sustenta con las afirmaciones y sugerencias de algunos autores:

Los números de curva NC alcanzan valores comprendidos entre 0 y 100. A mayor número se obtiene un umbral de escorrentía menor, lo que se traduce en un menor escurrimiento. Para  $NC = 100$  correspondería a una cuenca completamente impermeable en la que toda la precipitación sobre la misma se transforma en escorrentía. (Prieto y otros, 2013, p. 3)

Prieto y otros (2013) sugieren que “es de interés la incorporación del criterio de la pendiente a la asignación del NC del terreno, dado que es incuestionable la influencia del factor pendiente sobre la capacidad de escorrentía e infiltración del terreno” (p. 3)

Con respecto al grupo de suelo, el método establece una clasificación del suelo en función de su mayor o menor capacidad de infiltración o permeabilidad, y por lo tanto de su potencial de generación de escorrentía. De este modo, frente a la presencia de un suelo desnudo con síntomas de erosión, poco favorable a la infiltración de la precipitación, se encontrará asociado a números de curva NC elevados, mientras que suelos con cobertura vegetal densa y bien distribuida presentan condiciones favorables a la infiltración y penetración del agua, por lo que se encuentran vinculados a números de curva NC más reducidos. Adicionalmente a la discretización en función del tipo de vegetación, también se tiene en cuenta su grado de cobertura (pobre, media y buena), así como se

incorpora como criterio el de la existencia de laboreo del terreno considerando (N) o no (R) las curvas de nivel. (Prieto y otros, 2013, p. 4)

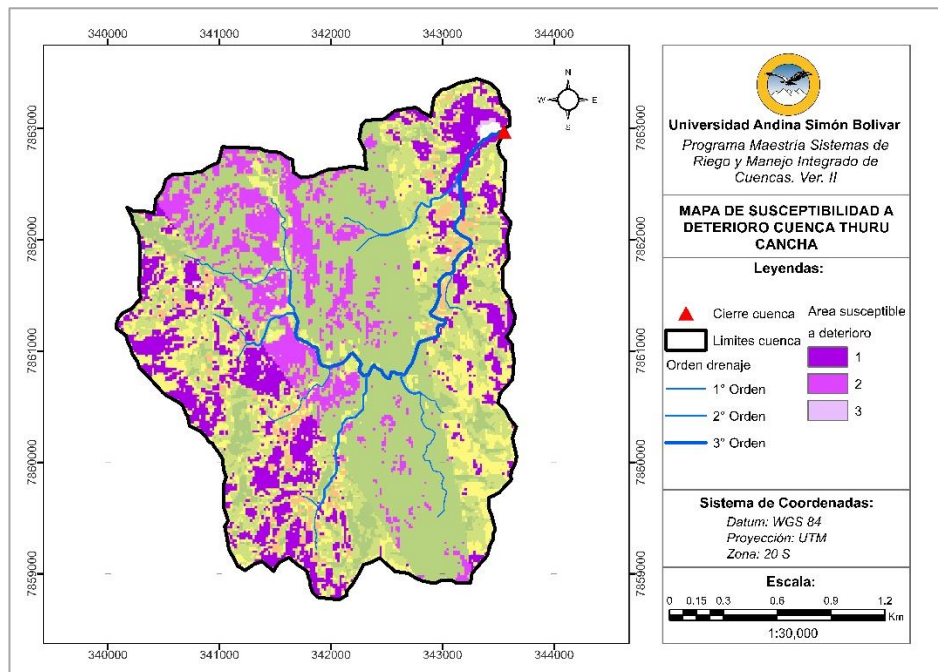
Los resultados del procesamiento de datos para la identificación de áreas susceptibles a degradación de la cuenca son detallados en la tabla 41

**Tabla 41: Detalle Áreas Susceptibles a Deterioro de la Cuenca**

Cobertura y Uso - GHS - Pendiente	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Código	Valores de CN		
			CN II	CN I	CN III
Sin vegetación - GHS C - Pend $\geq$ 3%	1.65	1	87	74	94
Sin vegetación - GHS B - Pend $\geq$ 3%	1.24	2	85	70	93
Sin vegetación - GHS C - Pend < 3%	0.04	3	82	66	91

Los índices elevados de CN, que corresponden a los valores 87, 85 y 82; determinan mayor potencial de escurrimiento superficial. Asimismo, al encontrarse dichos valores de CN en suelos sin vegetación en pendientes mayores a 3%; donde predominan los suelos del grupo hidrológico C, se puede establecer que dichas áreas tienen potencial de ocurrencia de procesos de erosión hídrica como factor de deterioro de suelos de la cuenca

**Figura 24: Mapa de Ubicación Áreas Susceptibles a Deterioro de la Cuenca**



De acuerdo a la Figura 24 se puede manifestar que las áreas (1) con mayor susceptibilidad de sufrir deterioro en la cuenca se encuentran en la parte Este y Oeste de la cuenca.

La identificación y caracterización de las áreas susceptibles a deterioro se sustentan por las afirmaciones de Gaspari y otros (2013) quienes sugieren que “se puede afirmar que el proceso de degradación de una cuenca hidrográfica, está muy influenciado por el potencial erosivo a consecuencia de los caudales máximos de escurrimiento” (p. 54)

## Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

En este trabajo se caracterizó los aspectos morfométricos, geoedáficos, hidroclimáticos; su relación con los procesos de escurrimiento superficial y se identificó áreas susceptibles de deterioro en la cuenca Thuru Cancha.

Los aspectos morfométricos describen el área de estudio como una cuenca muy pequeña, con una superficie de 11.66 Km<sup>2</sup>; de forma oval con tendencia a la redondez, que caracteriza su funcionamiento con susceptibilidad moderada de ocurrencia de crecidas.

Las características del relieve definen la cuenca en fase de madurez en estado de equilibrio dinámico, con una altitud media de 2,409.4 msnm y una pendiente media de 27.7%, de acuerdo a los indicadores de orografía se caracteriza la cuenca con relieve accidentado, que describe la cuenca con pendiente muy fuerte, susceptible a la ocurrencia de procesos de degradación por su potencial erosivo.

La cuenca de estudio se describe como una cuenca de tercer orden, cuyos indicadores de densidad y frecuencia de drenaje; caracterizan el escurrimiento y drenaje de velocidad media. El cauce principal con una longitud total de 6.21 Km y una pendiente media de 2.8%; define la torrencialidad de la red de drenaje con susceptibilidad media ante procesos erosivos.

Los aspectos geoedáficos considerados describen la presencia de dos texturas de suelos en la cuenca: una textura media extendida en el 44.4% de la superficie, que determinan una capacidad de infiltración moderada con velocidades de entre 76 – 38 mm/h. Asimismo, el 55.6% de la superficie de la cuenca cuenta con suelos de textura moderadamente fina, que determinan una capacidad de infiltración lenta con velocidades que varían entre 36 – 13 mm/h.

La coberturas y usos de suelo de la cuenca, identificó la presencia de masas de agua, siendo la superficie del espejo de agua del embalse de mayor relevancia, con variaciones temporales en su superficie, atribuida a la regulación de agua del embalse y la gestión del uso de agua para fines de riego; la cobertura de suelo sin vegetación con mayores superficies en la temporada seca del año, con tendencia a la reducción progresiva de su superficie con el transcurrir de la temporada de lluvias. Las áreas con coberturas de

gramíneas y pastizales; vegetación escasa con especies de matorrales y vegetación densa constituida por especies arbóreas nativas, describen una variación temporal en relación a la extensión de superficie, estas coberturas de suelo tienen tendencia a incrementarse con el transcurso de la temporada de lluvia.

Se identificó la presencia de áreas destinadas a la producción agrícola, con cultivos de verano (papa, maíz y algunas leguminosas), que alcanza una superficie de 47.70 has; cultivos agrícolas anuales (orégano) con un uso de suelo de 0.87 has, se identificó plantaciones frutales perennes (durazneros y manzanos), que tienen un uso de suelo de 1.08 ha. Asimismo, se identificó la presencia de edificaciones (viviendas y otras construcciones) que alcanzan una superficie de 0.49 ha; ratificando la presencia y actividades antrópicas en la cuenca.

El análisis de resultados del potencial de escurrimiento superficial a través del parámetro curva número, en el periodo de análisis sin tomar en cuenta la precipitación mensual, identificó mayor potencialidad de escorrentía de la cuenca en los meses de octubre y noviembre, con un valor medio ponderado en condiciones de humedad media precedente de CN igual a 79. Sin embargo, el análisis de resultados de la ocurrencia de escurrimiento superficial que considera la precipitación mensual, establece la ocurrencia del mayor índice de escorrentía en enero con un valor de 70.9 mm/mes, que corresponde al mes con mayor precipitación mensual en la cuenca

El análisis de la relación de las variables con el escurrimiento superficial, permite concluir lo siguiente: La descripción del funcionamiento del área de estudio realizada en base a la forma, relieve y red de drenaje de la misma; caracteriza la cuenca con susceptibilidad moderada de ocurrencia de crecidas, con procesos de escurrimiento y drenaje de velocidad media, la etapa de evolución de la cuenca en fase de juventud determina la susceptibilidad a la degradación por su potencial erosivo Se ratifica que existe relación de la pendiente del relieve con el escurrimiento superficial; en pendientes mayores a 3% más intensos son los procesos de escorrentía; la característica propia de la cuenca que describe el relieve con pendiente muy fuerte contribuye en la ocurrencia de mayores índices de escurrimiento superficial.

Las características de textura de suelos de la cuenca tienen relación con la ocurrencia de escurrimiento superficial; los suelos de textura media y textura moderadamente fina

identificadas en el área de estudio, tienen diferente comportamiento ante los procesos de escurrimiento superficial, el 55.6% de la superficie de la cuenca con suelos de textura moderadamente fina tiene una alta escorrentía, en cambio en el 44.4% de la superficie con suelos de textura media se produce una regular escorrentía.

La cobertura y uso de suelo de la cuenca tiene relación con el escurrimiento superficial, ya que cada categoría de cobertura y uso de suelo identificadas en la cuenca, tiene comportamiento de escorrentía diferente, siendo así que en suelos sin cobertura de vegetación se produce mayores índices de escorrentía, mientras que suelos con cobertura vegetal densa y bien distribuida se tiene menores valores de escurrimiento superficial. Ante la variación temporal de las superficies de cobertura y uso suelo se produce una variación en los índices de escurrimiento superficial.

La precipitación mensual de la cuenca que corresponde a la variable hidroclimática; tiene relación directa en el comportamiento del escurrimiento superficial, ya que a mayor precipitación mensual se produce mayores valores de escorrentía superficial.

Se identificó las áreas susceptibles a deterioro de la cuenca, considerando los escenarios e índices de escorrentía superficial que promueven la ocurrencia de procesos de erosión hídrica, que son descritos siguiendo un orden de prioridad: Área 1, con una superficie de 1.65 Km<sup>2</sup>, con valor de CN = 87, sin cobertura de vegetación, con suelos de textura moderadamente fina, en pendiente mayor a 3%. Área 2, con una superficie de 1.24 Km<sup>2</sup>, con valor de CN = 85, sin cobertura de vegetación, con suelos de textura media ubicadas en pendientes mayores a 3%. Área 3, con una superficie de 0.04 Km<sup>2</sup>, con valor de CN = 82, sin cobertura de vegetación, con suelos de textura moderadamente fina, ubicadas en pendientes menores a 3%.

De acuerdo a las conclusiones establecidas y el análisis de la hipótesis del presente trabajo de investigación se determina: Aceptar la Hipótesis Alternativa; por tanto, **“Los factores geomorfométricos, geodárficos e hidroclimáticos propios de la cuenca de estudio y la relación de los mismos; tienen efectos en los procesos de escurrimiento superficial en la cuenca”**

**Recomendaciones**

En base a los resultados y conclusiones del presente trabajo de investigación se recomienda dar continuidad con la realización de otras investigaciones que permitan diseñar una propuesta de intervención de manejo integrado de la cuenca.



## Referencias

- Buguña Hernández, N. N. (2019). *Aplicación de modelos hidrológicos para la estimación de caudales mensuales en la sub cuenca del río Bigote*. [Tesis de maestría, Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/11042/4016>
- Chávez De La Lima, J. D., Olgún López, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Mancilla Villa, Ó. R., Palomera García, C. y Cruz Sandoval, G. (2021). *Consistencia, homogeneidad y distribución de la precipitación pluvial y temperatura, Región Sierra de Amula, Jalisco, México*. *Revista Geográfica de América Central*, 68(1), 357-382. doi:<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.68-1.13>
- Consultora Desarrollo Estratégico Social y Medio Ambiente [DESMA] srl. (2017). *Estudio de diseño técnico de preinversión Construcción Sistema de Riego Tomina Tarabuquillo 2 Fase*. Sucre.
- Delgadillo Ruiz, E., Pérez Agreda, L. V., Fonseca Gasca, A. E., Godínez Brizuela, E., Gutiérrez Flores, I., Mares Ventura, J. y Sánchez Parra, D. F. (2021). *Estimación del escurrimiento superficial utilizando sistemas de información geográfica, caso de estudio: Ciudad de Guanajuato*. XVI Verano de la Ciencia, 10, 1-9. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/5633?mode=full>
- Díaz Carvajal, Á. y Mercado Fernández, T. (2017). *Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG*. Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte., 35(2), 452-470. <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v35n2/2145-9371-inde-35-02-00452.pdf>
- Earthdata. (2023). *ASF Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center*. Recuperado el 5 de enero de 2023. <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>
- Earthdata. (2023). *ASF Data Search Vertex. Alos Parsal*. Recuperado el 5 de enero de 2023. <https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS>
- Espinosa Martínez, C. D. (2020). *Correlación entre geología y parámetros morfométricos de cuencas sedimentarias en Colombia [Tesis de grado,*

*Universidad de La Salle, Bogotá*]. Repositorio institucional. Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/883](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/883)

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M. y Montealegre Medina, F. A. (2019). *Manejo de cuencas hidrográficas. Herramientas de sistemas de información geográfica*. La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). doi:<https://doi.org/10.35537/10915/87641>

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Siniestra, G. E., Delgado, M. I. y Besteiro, S. I. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas* (Primera ed.). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). doi:<https://doi.org/10.35537/10915/27877>

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Siniestra, G. E., Denegri, G., Delgado, M. I. y Besteiro, S. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. AUGMDOMUS, revista de Medio Ambiente de la Asociación de Universidades Grupo Montevideo (4), 143-158. <http://revistas.unlp.edu.ar/index.php/domus/issue/current/showToc>

Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., Mancilla Villa, O. R. y Barreto García, O. A. (2019). *Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México*. Revista internacional de ciencia y tecnología de información geográfica. GeoFocus(24), 141-158. doi:<http://dx.doi.org/10.21138/GF.622>

Herrera Oliva, C. S., Campos Gaytán, J. R. y Carrillo González, F. M. (2017). *Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de regresión lineal: Caso de estudio Cuenca Guadalupe, Baja California, México*. Investigación y Ciencia, 25(71), 34-44.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67452917005>

Lucio Villacreces, L. F., Álvarez Gutiérrez, Y. M., Castro Ponce, S. I., Caicedo Álvarez, M. E., Tapia Zúñiga, M. V., Guerrero Calero, J. M. y Cabrera Verdezoto, R. P. (2023). *Edafología y conservación de los suelos*. Ecuador: Editorial Sinapsis.

[https://www.researchgate.net/publication/370126682\\_Edafologia\\_y\\_Conservacion\\_de\\_Suelos](https://www.researchgate.net/publication/370126682_Edafologia_y_Conservacion_de_Suelos)

- Lux Cardona, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Morfometría de cuencas, 1-8.  
[https://www.academia.edu/25058750/Conceptos\\_b%C3%A1sicos\\_de\\_Morfometr%C3%ADa\\_de\\_Cuencas\\_Hidrogr%C3%A1ficas](https://www.academia.edu/25058750/Conceptos_b%C3%A1sicos_de_Morfometr%C3%ADa_de_Cuencas_Hidrogr%C3%A1ficas)
- Maldonado, Y. (25 de octubre de 2021). *Rocas: Tipos, clasificación y ejemplos*. Recuperado el 12 de marzo de 2023, de GEOLOGIAWEB: <https://geologiaweb.com/rocas/>
- Martínez Bencardino, C. (2019). *Estadística y muestreo*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Méndez Gutiérrez, A. G., Corral Riva, S., Nájera Luna, J. A., Cruz Cobos, F. y Pompa García, M. (2021). *Análisis morfométrico de la cuenca El Salto, Durango, México*. Terra Latinoamericana, 39(641), 1-11.  
doi:<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.641>
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua; Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. (2017). *Programa Plurianual de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas 2017-2020*. La Paz.
- Morales Quintero, D. E. (2019). *Caracterización hidrogeológica y geomorfológica de la cuenca y embalse del Parque Natural la Nitrera* [Tesis de maestría, Universidad de Antioquia]. Repositorio institucional.  
<https://hdl.handle.net/10495/14118>
- Pascual Aguilar, J. y Díaz Martín, M. (2016). *Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS*. Alcalá de Henares, España: Instituto IMDEA Agua. <https://www.academia.edu/33210718>
- Perez Campomanes, G. (2015). *Manual de Hidrología Aplicada*. Lima. <https://www.academia.edu/19760785>
- Prieto Villarroya, J. y Farías, H. D. (2013). *Estimación del parámetro hidrológico del Número de Curva NC: Automatización del cálculo mediante S.I.G. y nuevas fuentes de información cartográfica. Caso del área urbana de Pozo Hondo*. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA, 1-8.

<https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/codinoa-2013/trabajos/tierra/27-prieto.pdf>

Quiñonez, E. (2022). *Determinación del número de curva (CN) a partir de imágenes satelitales, cuenca del río Mapuey, Municipio Ezequiel Zamora, Estado Cojodes*. Revista Científica VIPICREA(3), 212-224.

<http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/rcv/article/view/1973/1755>

Riva, P., Sánchez Caro, A. y Gaspari, F. J. (2021). *Caracterización morfológica de la cuenca del río Luján, Buenos Aires, Argentina*. Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG). Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG)(21), 1-20. <http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig>

Roque Quiroz, R. A. (2022). *Tendencia del NDVI en el Área de Conservación Regional Angostura Faical de Tumbes, Perú, 1999-2019*. Manglar, 19(3), 233-237. doi:<https://orcid.org/0000-0003-3399-1325>

Rosero Erazo, C. R., Beltrán Dávalos, A. A., Santillán Quiroga, L. M. y Rosero Obando, G. A. (2019). *Actualización de la cobertura de suelo mediante teledetección para la estimación del umbral de escorrentía en la Cuenca del Río Chimborazo*. Ciencia digital, 3(2.6), 39-59.

doi:<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6>

Sciortino, J. B. (2019). *Elementos de Hidrología. Apuntes de la Cátedra de Hidráulica Aplicada del Módulo Hidrología*. Salta.

[https://www.academia.edu/40503966/ELEMENTOS\\_DE\\_HIDROLOG%C3%80DA](https://www.academia.edu/40503966/ELEMENTOS_DE_HIDROLOG%C3%80DA)

Servicio Nacional de Geología y Técnico de Minas [SERGEOTECMIN]. (01 de diciembre de 2000). *Mapa geológico de Bolivia 2000*. Recuperado el 5 de febrero de 2023, de GeoBolivia.

<http://geo.gob.bo/download/?w=sergeotecmin&l=Geologia>

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia [SENAMHI]. (2023). *Información Nacional de Datos Hidrometeorológicos*. Recuperado el 10 de abril de 2023, <https://senamhi.gob.bo/index.php/sysparametros>
- Useche, M. C., Artigas, W., Queipo, B. y Perozo, É. (2019). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos* (Primera ed.). La Guajira: Editorial Gente Nueva.
- Villón, B., M. (2021). *Hidrología Estadística*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://www.hidrosm.com/2021/01/libro-hidrologia-estadistica-maximo.html>

# APÉNDICES

## **Apéndice A. Morfometría de la Cuenca**

**Tabla A1. Resumen Valores Morfometría de la Cuenca**

N°	Parámetro	Ecuación y/o Descripción	Referencia	Valor
<b>Parámetros Básicos y de Forma</b>				
1	Área de la Cuenca (A), [Km <sup>2</sup> ]	Área total de cuenca. Delimitación automática	Jardí (1985), citado en Riva (2021)	11.66 Km <sup>2</sup>
2	Perímetro de la Cuenca (P), [Km]	Longitud de la línea divisoria Delimitación automática	Jardí (1985), citado en Riva (2021)	16.05 Km
3	Longitud Axial de la Cuenca (L <sub>a</sub> ), [Km]	Longitud de la línea recta que conecta los puntos extremos de la cuenca paralela al curso principal	Morisawa (1959), citado en Gaspari (2013)	4.60 Km
4	Ancho Promedio de la Cuenca (A <sub>p</sub> ), [Km]	$A_p = \frac{A}{L_a}$	Gaspari (2013)	2.53 Km
5	Factor de Forma (K <sub>f</sub> ), [Adimensional]	$K_f = \frac{A}{L_a^2}$	Horton (1932), citado en Lux (2016)	0.55
6	Coefficiente de Compacidad de Gravelius (K <sub>c</sub> ), [Adimensional]	$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$	López Cadenas de Llano (1998), citado en Gaspari (2013)	1.33
7	Relación de Elongación (R <sub>e</sub> ), [Adimensional]	$R_e = 1.1284 \frac{\sqrt{A}}{L_c}$	Shumm (1956), citado en Lux (2016)	0.84
8	Coefficiente de Circularidad (C <sub>c</sub> ), [Adimensional]	$C_c = 4\pi * \frac{A}{P^2}$	Miller (1953), citado en Riva (2021)	0.57
<b>Parámetros de Relieve</b>				
9	Curva Hipsométrica (CH), [Gráfico]	Representa gráficamente la distribución de la cuenca por tramos de altura	Strahler (1952), citado en Gaspari (2013) y Riva (2021)	Curva Tipo B
10	Curva Hipsométrica Adimensional (CHA), [Gráfico]	Representa gráficamente el cociente de la altitud relativa y el área relativa de la cuenca	Strahler (1952), citado en Riva (2021)	Curva Tipo B
11	Altitud Media de la Cuenca (A <sub>m</sub> ), [m.s.n.m.]	$A_m = \frac{\sum (H_i A_i)}{A}$	López et al. (1987), citado en Riva (2021)	2409 msnm
12	Pendiente Media de la Cuenca (PM), [%]	$PM = 100 \left( \frac{H_i * A_i}{A} \right)$	López (1987), citado en Riva (2021)	27.72%
13	Coefficiente de Masividad (C <sub>m</sub> ), [dm/Km <sup>2</sup> ]	$C_m = \frac{H_m}{A}$	Méndez y otros (2015)	1.1 dm/Km <sup>2</sup>
14	Coefficiente Orográfico (C <sub>o</sub> ), [dm <sup>2</sup> /Km <sup>2</sup> ]	$C_o = C_m * H_m$	Méndez y otros (2015)	13.9 dm <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>
<b>Parámetros de Drenaje</b>				
15	Orden de Cauces de la Cuenca (O <sub>c</sub> ), (Adimensional)	Composición y desarrollo del sistema de drenaje	Ordoñez (2011), Strahler (1964), citado en Riva (2021)	Orden 3
16	Número de Cauces (N <sub>c</sub> ),	Número total de cauces en la red de drenaje	Strahler (1964), en Riva (2021)	23 cauces
17	Frecuencia de Drenaje (F)	$F = \frac{N_c}{A}$	Horton (1945), citado en Riva (2021)	1.97 cauces/Km <sup>2</sup>
18	Longitud de Drenaje (L <sub>t</sub> ), [Km]	Longitud total de cauces en la red de drenaje	Horton (1932), citado en Riva (2021)	15.1 Km
19	Densidad de Drenaje (D), [Km/Km <sup>2</sup> ]	$D = \frac{L_t}{A}$	Horton (1932), citado en Riva (2021)	1.3 Km/Km <sup>2</sup>
20	Longitud de Cauce Principal (L <sub>s</sub> ), [Km]	Longitud del cauce principal	Horton (1932), citado en Riva (2021)	6.21 Km
21	Pendiente Media del Cauce Principal (J), [%]	$J = 100 * \frac{(A_{mac} - A_{mec})}{L_s * 1000}$	López et al. (1987), citado en Riva (2021)	2.8%
22	Coefficiente de Torrencialidad, [Cauces/Km <sup>2</sup> ]	$C_t = \frac{N_{c_t}}{A}$	López B., et al. (1987), citado en Riva (2021)	1.03 Cauces/Km <sup>2</sup>
23	Tiempo de Concentración (T <sub>c</sub> ), [h]	$T_{c_c} = \left[ 0.87 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \right]$ $T_{c_k} = 0.066 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$ $T_{c_t} = 0.3 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$	Culvert Practice (1955), Kirpich (1940) y Témez (2003), citado en Riva (2021). (Se asume el valor medio)	1.42 h



## **Apéndice B. Geoedafología de la Cuenca**



## **Apéndice C. Hidroclimática de la Cuenca**

**Tabla C1. Datos Recogidos de Precipitación Mensual por Estación***Estación Sucre SENAMHI*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Annual</b>
1982	150.0	108.7	164.1	71.9	3.4	0.0	0.0	1.5	30.7	50.9	112.9	77.1	771.2
1983	74.5	89.1	37.5	50.7	4.3	0.6	7.0	8.0	21.9	30.7	68.1	119.8	512.2
1984	399.6	212.0	208.8	38.6	0.5	0.3	0.0	3.2	0.0	125.2	167.4	96.2	1251.8
1985	135.0	173.4	15.4	52.7	0.2	13.0	3.7	1.6	111.8	46.5	214.6	122.4	890.3
1986	35.5	146.5	217.8	32.3	2.6	2.0	2.5	2.4	52.1	47.8	43.2	129.4	714.1
1987	216.4	57.8	42.3	53.4	6.7	2.4	0.0	0.0	6.0	99.9	68.2	62.4	615.5
1988	81.0	78.6	319.7	108.1	12.8	0.0	0.0	0.0	20.8	42.8	13.1	83.2	760.1
1989	91.6	35.8	31.0	110.9	0.0	0.5	3.2	1.5	11.0	11.3	75.4	140.5	512.7
1990	154.2	100.6	70.1	34.0	21.2	4.9	0.0	0.0	12.0	84.5	93.5	41.7	616.7
1991	139.3	77.2	73.4	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1	4.4	57.1	57.2	447.1
1992	165.4	51.7	37.7	0.0	0.0	0.0	8.4	4.3	19.0	67.1	37.2	122.9	513.7
1993	110.7	89.3	114.1	6.3	0.3	0.0	0.5	9.9	32.3	33.8	107.6	89.7	594.5
1994	110.0	56.5	29.9	6.4	5.2	0.0	5.2	0.8	27.5	36.4	71.1	65.7	414.7
1995	108.8	48.7	162.2	1.4	14.5	0.0	0.0	22.0	12.6	26.5	73.3	114.3	584.3
1996	115.1	102.7	28.6	27.2	0.0	0.5	0.2	10.6	11.8	15.5	57.7	153.8	523.7
1997	126.2	108.9	115.1	46.3	5.2	0.0	0.0	0.5	207.7	43.8	42.0	8.8	704.5
1998	27.9	80.6	83.7	20.3	0.0	1.4	1.0	0.0	7.7	106.5	85.4	29.3	443.8
1999	63.5	106.7	252.1	10.7	0.0	0.5	6.4	3.4	25.1	88.9	42.2	68.0	667.5
2000	161.1	71.7	158.5	21.2	0.0	4.1	0.0	24.3	15.0	19.2	93.7	104.3	673.1
2001	173.6	203.8	50.9	38.4	0.0	0.8	1.6	1.4	2.8	43.1	49.4	111.3	677.1
2002	61.6	145.5	83.4	47.2	5.5	1.0	7.5	0.0	0.0	81.0	117.4	61.0	611.1
2003	104.6	104.0	97.7	0.2	40.2	0.0	0.2	5.0	25.2	10.9	65.2	169.9	623.1
2004	85.6	66.7	45.2	31.1	3.3	0.0	8.8	9.9	3.6	16.6	42.0	126.7	439.5
2005	81.3	187.7	20.5	35.4	0.0	0.0	0.0	3.0	47.1	95.5	55.3	127.5	653.3
2006	254.1	46.6	69.5	31.8	0.0	0.0	0.0	2.5	8.6	38.5	24.6	77.0	553.2
2007	267.3	89.1	139.5	37.0	3.1	0.0	0.0	0.0	20.4	65.3	45.9	153.2	820.8
2008	257.8	61.5	104.0	58.1	0.0	0.0	0.0	2.3	14.0	129.9	43.4	120.1	791.1
2009	117.7	107.1	110.4	28.5	4.0	0.0	0.0	0.0	11.7	15.0	87.1	89.4	570.9
2010	64.3	117.1	24.6	4.0	3.5	0.5	8.0	0.0	0.6	36.2	5.3	91.7	355.8
2011	54.7	263.0	86.5	11.5	5.8	0.0	6.8	1.8	32.9	22.8	73.1	87.7	646.6
2012	151.7	230.4	75.7	36.9	0.4	0.5	1.0	2.8	0.0	31.2	61.6	112.4	704.6
2013	187.9	128.8	28.1	22.9	0.4	10.5	0.5	11.4	9.6	78.4	65.3	126.9	670.7
2014	152.9	103.4	54.1	27.7	7.0	0.0	0.0	10.0	37.1	66.0	47.3	80.8	586.3
2015	219.8	71.4	87.7	81.1	11.2	0.0	2.0	6.2	38.7	74.8	168.6	148.4	909.9
2016	129.6	87.7	24.8	9.5	0.0	0.0	0.0	0.5	9.2	64.5	16.6	68.2	410.6
2017	121.5	136.6	91.3	44.4	7.9	3.2	1.8	0.0	32.1	85.7	22.5	79.7	626.7
2018	96.1	158.6	180.4	4.8	0.0	0.2	1.8	40.2	13.4	77.1	59.1	154.8	786.5
2019	80.7	261.2	98.1	85.7	9.2	4.6	9.1	1.0	28.4	88.6	82.7	95.7	845.0
2020	189.4	149.2	88.5	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	31.5	109.9	9.6	119.4	704.8
2021	136.5	100.3	64.3	22.7	0.2	0.0	0.0	12.1	36.8	34.6	41.6	279.8	728.9
<b>Prom.</b>	136.4	115.4	94.7	34.3	4.5	1.3	2.2	5.3	26.1	56.2	67.7	104.2	648.2

*Estación Zudáñez*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
1982	91.0	154.0	142.0	58.8	4.0	0.0	0.0	0.0	39.0	29.5	41.0	93.3	652.6
1983	57.2	72.5	36.8	10.5	11.0	2.5	8.5	7.5	23.0	14.0	36.5	64.0	344.0
1984	202.0	241.5	148.5	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	106.5	117.5	63.0	887.0
1985	89.5	118.0	47.0	12.5	0.0	4.0	0.0	49.0	23.5	35.0	81.0	98.0	557.5
1986	102.5	129.0	155.0	5.0	0.0	1.5	3.0	0.0	21.5	33.0	53.0	110.5	614.0
1987	141.0	65.0	45.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	156.0	80.0	50.0	553.0
1988	133.0	60.0	152.5	102.5	5.0	0.0	0.0	0.0	2.0	18.0	37.0	86.0	596.0
1989	81.0	79.0	49.0	27.0	0.0	0.0	4.5	3.0	0.0	19.0	92.5	137.0	492.0
1990	117.2	63.0	37.0	3.0	22.0	0.0	0.0	12.0	0.0	23.5	22.5	77.5	377.7
1991	166.0	62.0	114.0	44.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	8.5	54.7	40.5	499.7
1992	202.5	109.4	17.5	0.0	4.0	11.0	0.0	10.3	9.0	89.0	52.0	75.0	579.7
1993	157.7	93.0	43.0	17.5	8.0	2.0	24.0	14.0	15.0	36.5	49.6	191.7	652.0
1994	99.5	66.0	11.3	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	25.0	7.0	63.0	126.0	404.8
1995	203.0	143.0	85.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	38.0	7.0	35.0	85.0	606.0
1996	138.0	75.0	30.0	45.0	22.0	0.0	0.0	12.0	0.0	32.0	85.0	261.0	700.0
1997	205.0	164.0	268.0	90.0	0.0	0.0	0.0	13.0	94.0	45.0	92.0	38.0	1,009.0
1998	135.0	150.0	82.5	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	55.0	72.0	16.0	560.5
1999	39.0	65.0	115.5	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0	52.0	35.0	65.0	419.5
2000	205.0	54.0	152.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0	50.0	20.0	73.0	568.0
2001	225.0	265.0	100.0	46.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	98.0	735.0
2002	26.0	79.5	21.5	44.2	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0	62.0	42.7	101.0	391.9
2003	96.0	89.0	191.5	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	42.0	32.0	30.0	199.0	684.5
2004	76.0	55.0	60.0	37.8	10.0	0.0	5.0	8.0	14.0	0.0	26.0	33.0	324.8
2005	128.0	124.0	53.0	32.0	7.0	0.0	5.0	0.0	79.8	117.5	92.9	124.6	763.8
2006	229.0	36.2	53.2	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	10.0	44.0	37.8	476.7
2007	96.5	130.3	50.0	58.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.0	25.2	28.0	81.0	525.0
2008	200.2	57.5	107.8	25.5	0.0	0.0	3.0	9.5	10.0	17.0	19.5	128.4	578.4
2009	52.1	83.0	57.5	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	76.5	123.5	424.9
2010	47.5	81.5	10.0	0.0	5.7	0.0	18.0	0.0	0.0	19.5	5.0	48.2	235.4
2011	93.7	192.1	57.5	5.0	12.0	0.0	0.0	0.0	12.0	27.5	40.0	85.3	525.1
2012	119.0	244.9	41.5	48.0	0.0	0.0	5.3	6.8	0.0	84.0	87.6	112.0	749.1
2013	171.7	212.0	17.0	25.0	10.0	15.0	0.0	15.0	7.0	68.1	24.0	66.2	631.0
2014	68.2	****	****	****	****	****	****	****	****	10.9	16.1	50.0	****
2015	188.3	89.4	80.1	86.7	4.5	0.0	0.0	4.7	42.7	34.4	102.9	143.2	776.9
2016	105.4	118.8	31.0	53.1	0.0	0.0	0.0	0.0	66.1	20.8	119.4	12.4	527.0
2017	97.5	103.0	70.2	10.1	6.9	2.4	0.0	0.0	25.5	41.7	20.6	28.6	406.5
2018	67.3	69.4	55.6	23.2	0.0	6.3	7.0	8.9	17.0	36.4	56.9	62.4	410.4
2019	39.6	97.5	99.5	42.4	16.9	0.0	11.5	0.0	8.3	59.3	48.9	30.6	454.5
2020	87.6	69.8	27.2	3.6	0.0	0.0	0.0	11.2	4.6	68.2	23.1	63.8	359.1
2021	75.6	62.1	52.1	43.2	3.7	0.0	1.3	1.2	34.1	36.3	56.8	210.4	576.8
<b>Prom.</b>	121.4	108.3	76.1	29.0	3.9	1.1	3.2	5.4	20.4	40.1	52.0	89.7	554.6

*Estación Tomina*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1982	120.2	108.7	127.5	61.6	9.5	0.0	0.6	0.4	24.5	18.0	65.0	68.4	604.4
1983	41.9	26.4	64.1	18.8	4.0	5.9	0.0	0.0	81.4	23.7	43.5	84.8	394.5
1984	326.0	356.5	122.2	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	34.6	31.9	69.9	960.8
1985	92.0	101.7	20.6	23.1	0.0	9.3	0.0	0.0	42.4	4.9	18.1	35.5	347.6
1986	25.8	44.8	31.9	4.9	11.6	0.0	0.0	0.0	7.8	8.7	15.2	25.0	175.7
1987	41.0	26.4	15.3	14.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.9	6.5	25.0	153.2
1988	20.5	14.5	26.2	6.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	5.0	14.0	95.4
1989	21.5	16.5	10.6	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	56.8	131.5
1990	48.4	82.3	15.2	6.5	46.5	0.0	0.0	9.8	0.0	34.7	18.0	39.9	301.3
1991	42.3	27.4	67.4	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.5	16.4	14.0	220.7
1992	90.5	35.0	****	****	0.0	28.5	****	0.0	0.0	17.9	9.0	33.6	****
1993	43.8	7.8	30.6	20.0	8.0	0.0	0.0	49.0	25.0	50.0	45.0	149.0	428.2
1994	134.0	179.0	41.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	58.0	89.0	75.0	100.0	680.0
1995	154.0	124.0	82.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0	20.0	71.0	500.0
1996	91.0	59.0	0.0	59.0	0.0	0.0	0.0	11.0	1.9	35.7	28.1	96.8	382.5
1997	213.0	184.5	123.1	49.6	0.0	0.0	0.0	12.0	131.0	39.0	115.0	75.0	942.2
1998	68.0	148.0	131.0	6.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.1	68.6	32.8	518.5
1999	67.5	101.0	85.1	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.0	59.4	57.0	77.7	511.7
2000	225.7	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2001	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2002	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2003	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2004	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2005	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2006	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2007	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2008	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2009	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2010	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2011	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2012	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2013	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2014	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2015	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2016	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2017	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2018	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2019	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2020	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2021	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
Prom.	100.3	94.3	53.5	16.1	4.7	2.4	0.0	5.4	20.9	34.1	33.6	57.3	422.4

*Estación Padilla*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
1982	115.6	150.4	123.2	99.9	15.3	0.0	2.5	6.6	56.3	60.8	80.0	73.0	783.6
1983	163.0	53.0	118.7	42.0	13.5	0.0	14.5	0.0	13.5	24.0	25.5	79.0	546.7
1984	296.9	118.0	52.5	10.7	9.0	0.0	0.0	0.0	3.4	37.6	89.9	61.3	679.3
1985	12.3	153.5	46.0	31.5	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1986	****	****	****	****	****	****	1.0	2.7	81.1	45.0	****	****	****
1987	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1988	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1989	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1990	82.5	87.7	38.9	11.0	39.5	6.6	1.7	6.3	48.4	52.9	46.1	80.8	502.4
1991	111.9	68.3	168.2	31.5	3.0	1.4	1.5	3.6	7.9	37.4	47.9	136.0	618.6
1992	196.9	111.9	38.7	25.9	4.3	4.8	1.3	4.8	15.8	93.4	50.8	134.2	682.8
1993	100.3	51.3	81.4	11.6	3.0	1.7	6.5	12.7	2.8	68.5	39.9	157.3	537.0
1994	138.5	115.5	46.3	11.6	2.1	1.0	2.2	0.6	0.0	42.6	62.9	89.6	512.9
1995	130.0	146.3	112.9	8.2	5.1	0.0	1.5	6.0	19.2	12.9	31.4	106.7	580.2
1996	95.7	82.5	40.7	39.3	35.3	1.5	0.0	5.2	14.0	37.5	110.8	188.9	651.4
1997	120.8	191.2	119.1	41.7	17.4	0.0	0.3	6.6	73.6	117.7	66.1	37.7	792.2
1998	30.9	119.9	105.3	11.4	4.6	4.5	0.6	11.8	1.2	56.2	53.7	73.7	473.8
1999	107.8	65.9	101.7	4.0	0.9	2.5	0.4	0.0	72.5	31.6	41.9	74.4	503.6
2000	140.4	42.0	107.0	9.5	6.3	0.3	0.0	6.8	0.0	62.9	30.3	85.9	491.4
2001	147.9	134.9	112.3	32.7	4.7	3.6	2.3	4.8	7.1	25.5	42.7	47.7	566.2
2002	49.0	167.1	53.6	29.1	3.2	1.3	8.8	0.0	2.6	87.1	42.7	45.9	490.4
2003	133.5	75.7	117.0	10.8	0.0	4.1	0.0	0.0	31.6	92.6	15.6	122.4	603.3
2004	73.3	57.5	49.5	38.1	10.1	4.5	7.9	3.7	26.7	27.8	55.3	57.1	411.5
2005	77.3	125.0	153.6	67.1	10.0	3.1	23.3	0.7	19.2	44.8	49.6	121.9	695.6
2006	151.0	31.0	57.3	43.7	3.3	1.6	1.0	1.6	14.1	53.4	100.6	51.5	510.1
2007	229.9	79.5	85.3	25.9	15.1	1.5	5.8	1.3	29.6	29.2	41.7	96.6	641.4
2008	242.5	102.7	79.5	20.0	2.4	2.6	11.1	9.2	38.5	25.8	81.0	130.0	745.3
2009	78.0	142.7	91.1	3.2	7.5	2.6	0.4	4.2	3.1	16.2	57.4	142.9	549.3
2010	3.2	111.5	49.2	6.4	3.9	1.2	4.7	2.7	0.0	24.1	13.1	90.7	310.7
2011	87.2	114.4	84.6	10.0	24.0	2.7	2.1	0.0	11.2	13.7	67.5	83.7	501.1
2012	94.8	146.0	71.2	46.9	6.1	1.1	3.4	2.8	2.1	34.3	87.2	165.2	661.1
2013	135.6	140.3	48.7	43.4	12.9	7.8	0.6	7.0	7.3	85.4	20.2	68.5	577.7
2014	82.9	81.0	54.6	41.7	42.5	4.3	2.3	8.8	56.9	39.6	63.1	36.9	514.6
2015	151.2	59.5	132.7	109.1	23.0	4.3	15.7	0.0	57.0	35.0	61.3	119.6	768.4
2016	97.7	126.6	66.8	84.8	13.9	6.2	1.6	1.0	17.9	27.3	71.2	68.5	583.5
2017	121.2	65.0	114.7	34.2	9.5	6.7	0.0	0.0	12.7	15.3	32.5	73.9	485.7
2018	179.6	88.8	92.1	22.2	7.2	6.2	0.7	14.8	35.0	89.5	58.6	108.6	703.3
2019	74.5	121.4	168.0	85.8	4.0	2.3	16.4	0.7	0.5	87.3	62.7	85.5	709.1
2020	82.6	66.1	41.6	0.0	4.0	3.0	2.0	12.0	4.0	60.1	31.0	68.5	374.9
2021	166.7	91.0	50.1	38.4	4.8	4.5	2.6	1.2	7.2	32.6	64.0	197.2	660.3
<b>Prom</b>	119.5	102.4	85.4	32.9	10.6	2.8	4.1	4.2	22.1	48.0	54.2	96.0	583.4

*Estación V. Alcalá*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
1982	142.7	157.0	78.1	45.8	11.4	0.0	0.0	9.0	27.7	82.0	68.1	76.1	697.9
1983	120.4	83.5	95.8	42.1	19.4	6.2	21.3	6.0	19.1	37.6	44.6	80.0	576.0
1984	388.8	276.8	51.7	4.3	8.8	0.0	4.4	1.2	13.4	56.9	120.0	83.0	1,009.3
1985	58.8	209.5	51.0	72.4	12.6	12.4	8.8	53.8	11.7	27.2	28.3	49.5	596.0
1986	89.1	144.9	214.2	37.7	12.6	0.0	1.0	5.3	37.2	61.2	58.5	198.9	860.6
1987	157.5	72.9	70.3	72.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	120.7	75.8	68.4	640.8
1988	101.9	61.7	234.4	47.6	16.7	1.3	0.0	0.0	0.0	11.6	41.1	80.6	596.9
1989	113.9	144.1	203.4	26.0	1.5	3.5	20.2	19.4	1.3	20.4	87.4	195.2	836.3
1990	157.0	64.5	108.1	56.8	47.7	7.5	5.2	34.4	53.6	14.6	50.2	156.4	756.0
1991	202.3	45.7	194.7	35.6	7.3	1.0	1.0	5.1	14.1	36.8	48.9	63.1	655.6
1992	202.7	205.6	73.6	16.5	8.7	5.0	12.0	29.0	34.2	91.6	77.9	153.6	910.4
1993	127.1	94.3	118.1	26.1	5.4	****	****	****	****	****	****	****	****
1994	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1995	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1996	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1997	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1998	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	12.5	****
1999	137.2	107.7	118.6	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	60.1	45.0	40.0	60.1	572.1
2000	370.0	48.0	123.0	21.0	0.0	0.0	0.0	5.0	17.0	23.5	36.5	100.4	744.4
2001	87.4	103.8	110.3	29.8	13.3	0.0	0.0	5.0	11.0	52.1	67.2	60.0	539.9
2002	45.0	183.5	80.5	71.8	6.5	0.0	14.5	0.0	35.7	207.5	44.5	87.0	776.5
2003	135.5	89.0	131.5	7.9	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	91.0	22.9	138.5	620.3
2004	84.0	46.0	106.0	20.0	13.0	8.0	7.0	5.0	12.0	40.0	26.5	32.0	399.5
2005	49.0	139.0	115.0	32.9	6.0	0.0	16.0	0.0	****	****	****	****	****
2006	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2007	313.5	92.5	107.8	41.1	****	****	****	****	7.2	5.4	53.4	****	****
2008	237.8	131.2	101.3	34.3	4.4	6.5	52.1	8.1	40.6	34.9	95.5	****	****
2009	93.4	125.5	108.1	49.2	12.2	0.0	4.0	1.5	12.7	29.4	65.4	92.4	593.8
2010	88.2	117.8	82.0	5.5	2.5	0.0	4.5	2.5	0.0	19.9	10.9	84.8	418.6
2011	81.8	111.9	84.9	36.4	6.7	11.4	7.8	0.0	35.9	10.8	81.2	102.2	571.0
2012	146.5	106.7	96.5	73.8	18.3	0.0	4.1	5.6	3.7	51.7	70.8	165.2	742.9
2013	156.1	159.6	40.5	23.0	5.1	20.1	0.0	16.4	18.8	93.5	38.8	70.4	642.3
2014	121.2	166.4	52.2	58.3	7.6	4.2	2.7	29.1	46.0	45.8	****	****	****
2015	335.3	102.2	143.5	110.4	53.2	1.2	2.1	0.0	85.3	123.6	92.1	228.8	1,277.7
2016	75.2	67.7	52.4	35.6	30.8	3.5	4.8	2.4	11.6	19.1	93.2	221.4	617.7
2017	88.7	163.1	133.8	44.0	8.2	3.6	1.7	4.0	24.7	22.1	75.1	150.3	719.3
2018	288.0	101.5	84.8	19.4	8.9	7.2	7.2	30.7	105.1	124.1	50.1	155.6	982.6
2019	117.4	186.5	251.7	102.4	8.4	3.9	29.6	4.9	0.7	104.0	133.2	150.4	1,093.1
2020	197.1	114.7	65.2	6.9	5.9	2.8	3.0	20.5	26.8	50.0	100.8	164.3	758.0
2021	135.0	147.3	86.8	44.0	6.6	2.8	2.0	1.3	13.6	31.3	84.3	292.9	847.9
<b>Prom.</b>	154.3	122.7	110.9	39.7	11.2	3.7	7.4	9.5	24.5	55.8	64.0	119.1	726.0



*Estación Sopachuy*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
1982	116.2	251.6	69.1	113.0	11.4	0.8	0.0	0.0	98.6	54.4	124.7	170.5	1,010.3
1983	157.1	185.9	42.0	47.7	17.7	0.0	18.0	0.0	11.2	45.9	68.4	115.8	709.7
1984	319.3	193.5	126.2	17.4	0.0	****	****	****	****	****	****	****	****
1985	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1986	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1987	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1988	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1989	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
1990	****	****	****	29.0	41.3	28.8	14.2	61.5	21.1	105.4	113.3	82.1	****
1991	235.9	106.6	178.9	79.4	3.9	4.3	3.6	6.7	47.9	46.6	73.9	127.0	914.7
1992	264.9	242.6	86.0	11.6	37.9	6.3	9.3	21.6	32.6	157.1	174.7	241.2	1,285.8
1993	170.4	172.0	131.1	42.8	13.2	2.8	5.0	18.0	40.4	47.5	139.7	122.8	905.7
1994	202.4	151.5	48.5	18.3	15.4	2.8	4.3	0.0	16.5	42.3	92.3	121.9	716.2
1995	125.0	130.1	111.3	4.6	6.9	1.2	0.0	12.8	43.0	50.4	114.2	169.7	769.2
1996	208.4	69.0	104.2	43.4	26.4	2.8	6.8	23.9	13.6	89.3	140.3	157.4	885.5
1997	165.5	133.3	202.9	92.3	13.7	2.3	1.8	5.4	170.7	42.7	188.8	129.0	1,148.4
1998	103.4	149.6	164.6	23.0	15.6	12.0	1.8	9.0	12.4	67.8	120.2	88.2	767.6
1999	167.2	102.3	228.0	10.4	11.6	7.5	7.0	4.4	47.4	98.8	112.6	84.2	881.4
2000	266.2	98.8	151.2	49.4	11.6	8.1	0.4	30.4	19.2	114.4	85.0	112.0	946.7
2001	145.5	165.2	159.7	35.9	26.4	6.0	3.8	2.6	53.4	76.8	70.4	150.8	896.5
2002	133.8	162.3	87.9	101.8	20.0	1.0	15.0	1.2	11.0	246.8	70.0	129.0	979.8
2003	166.7	116.2	187.6	13.2	15.0	4.8	1.2	0.4	16.4	89.8	72.4	188.8	872.5
2004	114.7	45.5	158.8	88.6	33.8	4.0	13.2	8.8	19.4	57.8	114.2	158.2	817.0
2005	133.8	242.9	142.4	117.0	12.6	3.7	21.1	0.9	59.8	91.6	117.8	172.2	1,115.8
2006	182.2	112.4	130.4	80.6	12.2	8.2	3.6	2.3	13.4	125.8	93.0	164.7	928.8
2007	229.4	136.4	87.4	50.2	23.0	2.8	0.0	2.4	53.8	54.8	116.8	130.6	887.6
2008	395.5	200.2	127.2	60.0	7.6	1.0	10.9	15.4	60.0	62.1	127.6	290.4	1,357.9
2009	171.2	122.6	129.8	26.4	6.6	5.4	4.6	3.8	16.8	43.8	78.2	84.6	693.8
2010	113.4	146.6	54.2	31.4	10.3	3.8	12.0	3.8	2.4	42.7	29.5	125.5	575.6
2011	97.4	243.3	91.1	37.8	30.6	4.2	0.0	1.8	54.3	54.6	150.8	170.4	936.3
2012	158.8	219.6	95.2	105.6	10.4	0.0	4.8	9.4	0.0	61.0	206.0	160.2	1,031.0
2013	203.1	177.6	35.6	37.2	17.0	16.6	2.8	6.2	17.6	105.0	56.4	85.6	760.7
2014	132.0	175.8	99.6	64.6	19.4	11.6	1.2	30.0	81.6	110.8	102.8	130.2	959.6
2015	257.0	108.6	166.2	136.8	25.8	5.6	7.0	0.0	76.0	99.4	127.6	174.0	1,184.0
2016	101.2	280.8	80.9	85.4	28.8	13.2	1.0	1.6	24.8	26.6	97.8	176.8	918.9
2017	128.6	133.4	165.6	39.8	9.8	1.2	1.6	0.0	42.2	55.4	64.8	151.4	793.8
2018	175.2	191.6	193.0	26.8	36.8	3.6	4.6	32.5	34.0	120.2	100.6	233.8	1,152.7
2019	147.6	175.1	209.2	136.2	17.6	3.5	32.6	6.4	3.8	62.8	111.2	70.6	976.6
2020	151.6	114.7	67.9	36.0	6.6	2.3	0.0	27.6	18.4	75.8	51.2	131.7	683.8
2021	205.2	135.6	86.6	69.2	14.0	3.2	2.6	1.6	41.1	46.8	82.8	325.3	1,014.0
<b>Prom.</b>	<b>177.8</b>	<b>158.6</b>	<b>123.5</b>	<b>56.1</b>	<b>17.5</b>	<b>5.5</b>	<b>6.3</b>	<b>10.4</b>	<b>37.5</b>	<b>78.6</b>	<b>105.6</b>	<b>150.8</b>	<b>923.6</b>

*Estación Chavarría*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1982	142.7	227.4	137.4	111.4	15.1	0.0	1.1	9.5	83.5	77.8	77.0	168.6	1051.5
1983	218.4	136.7	61.5	35.9	24.1	0.0	22.6	1.2	17.8	120.8	110.8	168.6	918.4
1984	320.2	216.2	158.4	13.5	4.2	0.0	0.0	0.0	5.3	73.3	152.8	213.0	1156.9
1985	152.0	234.7	92.4	49.0	5.1	26.4	0.0	42.5	58.2	80.3	82.7	142.2	965.5
1986	44.2	120.4	143.2	52.1	12.8	0.0	1.3	0.0	24.6	20.0	60.2	117.8	596.6
1987	178.1	68.8	54.3	50.5	3.1	5.5	0.0	0.0	5.7	111.3	59.8	51.6	588.7
1988	146.1	84.2	266.5	38.6	1.6	0.0	0.0	0.0	5.0	25.0	19.8	147.4	734.2
1989	107.2	62.3	90.9	76.5	4.7	19.4	10.4	7.9	5.2	22.4	60.8	142.6	610.3
1990	162.2	140.1	75.1	6.0	14.5	1.1	0.0	22.6	9.1	40.5	48.0	66.9	586.1
1991	197.3	71.6	90.6	37.5	1.8	0.0	0.0	5.2	16.7	36.4	65.5	43.1	565.7
1992	178.4	188.7	58.0	5.4	0.0	0.0	1.2	4.3	16.1	53.1	75.3	198.1	778.6
1993	149.8	123.9	111.7	14.5	1.1	0.0	0.0	12.9	18.0	28.4	66.2	101.1	627.6
1994	100.7	121.3	48.3	8.9	0.0	2.1	0.0	0.0	32.8	15.0	73.5	108.6	511.2
1995	212.6	170.0	162.8	8.2	5.6	0.0	0.0	8.5	34.9	37.6	121.5	156.6	918.3
1996	153.8	122.1	153.1	77.0	19.0	0.0	1.4	13.3	4.7	59.5	97.1	186.3	887.3
1997	332.7	201.8	377.3	106.2	1.3	0.0	0.0	0.0	59.9	38.6	125.9	147.1	1390.8
1998	63.2	174.0	130.1	17.2	9.5	7.9	4.2	16.9	4.3	75.4	169.5	113.1	785.3
1999	201.9	195.3	170.0	7.7	8.4	3.4	4.2	0.0	36.5	98.4	74.7	102.3	902.8
2000	183.3	146.5	102.1	22.7	1.2	0.0	5.4	5.2	17.7	166.9	92.8	114.3	858.1
2001	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2002	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2003	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2004	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2005	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2006	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2007	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2008	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2009	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2010	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2011	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2012	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2013	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2014	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2015	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2016	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2017	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2018	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2019	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2020	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
2021	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
Prom	170.8	147.7	130.7	38.9	7.0	3.5	2.7	7.9	24.0	62.1	86.0	131.0	812.3

## Tabla C2. Tablas Frecuencias Precipitación Anual Completa por Estación

*Tabla Frecuencias Zudañez*

LCi	LCs	Oi	xi	p	Ei	X <sup>2</sup> <sub>i</sub>
263.7	363.0	3	313.4	0.068	2.721	0.02850
363.0	462.3	9	412.7	0.175	7.004	0.56881
462.3	561.6	11	512.0	0.273	10.904	0.00084
561.6	660.9	9	611.3	0.257	10.275	0.15811
660.9	760.2	6	710.6	0.146	5.859	0.00339
760.2	859.5	2	809.9	0.051	2.021	0.00021
						<b>X<sup>2</sup><sub>c</sub> = 0.75986</b>
						<b>X<sup>2</sup><sub>t</sub> = 14.0671</b>

*Tabla Frecuencias Tomina*

LCi	LCs	Oi	xi	p	Ei	X <sup>2</sup> <sub>i</sub>
138.1	261.5	8	199.8	0.129	5.145	1.58392
261.5	384.9	11	323.2	0.250	10.009	0.09816
384.9	508.3	11	446.6	0.286	11.445	0.01729
508.3	631.7	6	570.0	0.192	7.694	0.37308
631.7	755.1	2	693.4	0.076	3.040	0.35559
755.1	878.5	2	816.8	0.018	0.705	2.38041
						<b>X<sup>2</sup><sub>c</sub> = 4.80845</b>
						<b>X<sup>2</sup><sub>t</sub> = 14.0671</b>

*Tabla Frecuencias Padilla*

LCi	LCs	Oi	xi	p	Ei	X <sup>2</sup> <sub>i</sub>
263.7	363.0	3	313.4	0.068	2.721	0.02850
363.0	462.3	9	412.7	0.175	7.004	0.56881
462.3	561.6	11	512.0	0.273	10.904	0.00084
561.6	660.9	9	611.3	0.257	10.275	0.15811
660.9	760.2	6	710.6	0.146	5.859	0.00339
760.2	859.5	2	809.9	0.051	2.021	0.00021
						<b>X<sup>2</sup><sub>c</sub> = 1.96343</b>
						<b>X<sup>2</sup><sub>t</sub> = 14.0671</b>

*Tabla Frecuencias V. Alcalá*

LCi	LCs	Oi	xi	p	Ei	X <sup>2</sup> <sub>i</sub>
439.1	557.6	3	498.4	0.102	4.097	0.29385
557.6	676.2	16	616.9	0.253	10.102	3.44295
676.2	794.7	10	735.4	0.322	12.883	0.64515
794.7	913.2	8	854.0	0.213	8.503	0.02972
913.2	1031.8	1	972.5	0.073	2.901	1.24579
1031.8	1150.3	2	1091	0.013	0.510	4.34812
						<b>X<sup>2</sup><sub>c</sub> = 10.0056</b>
						<b>X<sup>2</sup><sub>t</sub> = 14.0671</b>

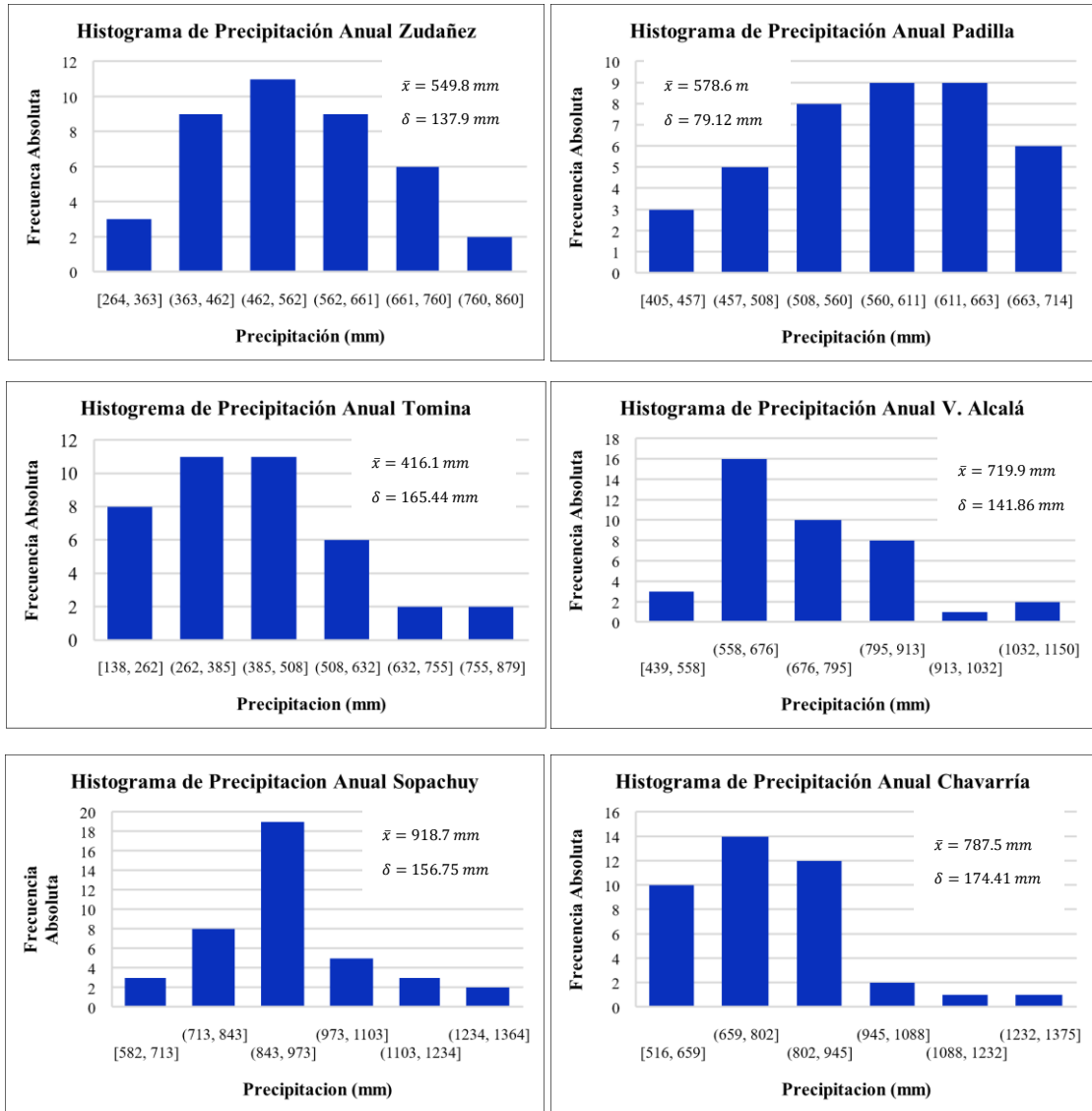
*Tabla Frecuencias Sopachuy*

LCi	LCs	Oi	xi	p	Ei	X <sup>2</sup> <sub>i</sub>
582.4	712.7	3	647.5	0.078	3.136	0.00592
712.7	842.9	8	777.8	0.220	8.802	0.07302
842.9	973.2	19	908.0	0.321	12.860	2.93167
973.2	1103.4	5	1038.3	0.245	9.791	2.34467
1103.4	1233.7	3	1168.5	0.097	3.882	0.20048
1233.7	1363.9	2	1298.8	0.020	0.800	1.80135
						<b>X<sup>2</sup><sub>c</sub> = 7.35711</b>
						<b>X<sup>2</sup><sub>t</sub> = 14.0671</b>

*Tabla Frecuencias Chavarría*

LCi	LCs	Oi	xi	p	Ei	X <sup>2</sup> <sub>i</sub>
515.5	658.7	10	587.1	0.17	6.828	1.47365
658.7	801.9	14	730.3	0.30	12.113	0.29381
801.9	945.2	12	873.5	0.28	11.360	0.03604
945.2	1088.4	2	1016.8	0.14	5.631	2.34115
1088.4	1231.6	1	1160.0	0.00	1.473	0.15169
1231.6	1374.8	1	1303.2	0.01	0.203	3.13743
						<b>X<sup>2</sup><sub>c</sub> = 7.4338</b>
						<b>X<sup>2</sup><sub>t</sub> = 14.067</b>

**Figura C1. Histograma Precipitación Anual Completada por Estación**



**Tabla C3. Datos de Precipitación Mensual Completada por Estación**

*Estación Zudáñez*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
1982	91.0	154.0	132.0	36.5	4.0	1.3	2.5	4.1	29.0	34.8	41.0	93.3	623.5
1983	57.2	79.8	36.8	21.0	7.0	1.4	4.5	7.5	15.0	29.0	36.5	64.0	359.7
1984	194.0	241.5	138.5	20.2	3.5	1.3	2.5	4.1	10.0	63.4	117.5	63.0	859.5
1985	89.5	108.0	47.0	21.6	3.5	1.7	2.5	13.7	23.5	36.8	81.0	98.0	526.8
1986	102.5	129.0	145.0	19.2	3.5	1.3	4.0	4.1	21.5	36.1	53.0	110.5	629.7
1987	141.0	65.0	45.0	18.5	3.5	1.0	2.5	4.1	15.0	81.8	80.0	50.0	507.4
1988	133.0	60.0	142.5	50.6	5.0	1.0	2.5	4.1	7.0	30.5	37.0	86.0	559.2
1989	81.0	79.0	49.0	27.0	3.5	1.0	4.0	4.7	5.0	30.8	92.5	137.0	514.5
1990	125.0	75.0	37.0	13.0	8.0	1.4	2.5	9.0	5.0	32.5	22.5	77.5	408.4
1991	166.0	62.0	114.0	54.0	3.5	1.4	2.5	4.1	15.0	26.9	54.7	40.5	544.6
1992	202.5	114.5	59.2	10.0	4.1	2.0	2.5	10.3	14.0	56.9	52.0	75.0	603.0
1993	157.7	93.0	67.8	27.5	6.1	1.6	6.0	6.8	15.0	37.4	49.6	191.7	660.2
1994	105.0	66.0	57.1	10.0	3.2	1.5	4.0	4.1	25.0	26.4	63.0	126.0	491.3
1995	203.0	153.0	85.0	10.0	3.2	1.2	3.2	9.0	38.0	26.4	35.0	85.0	652.0
1996	138.0	75.0	63.4	36.0	8.0	1.2	2.5	10.0	5.0	32.0	85.0	261.0	717.1
1997	205.0	164.0	130.0	70.0	3.1	1.2	3.2	6.7	54.0	45.0	92.0	38.0	812.2
1998	135.0	150.0	81.2	38.0	3.1	1.2	3.2	3.9	22.0	55.0	72.0	16.0	580.6
1999	39.0	65.0	92.3	15.0	3.1	1.2	3.2	3.9	33.0	52.0	35.0	65.0	407.7
2000	205.0	54.0	104.7	11.0	3.1	1.2	3.2	3.9	5.0	50.0	20.0	73.0	534.1
2001	225.0	265.0	87.1	46.0	3.1	1.1	3.2	4.1	5.0	20.0	0.0	98.0	757.6
2002	26.0	79.5	60.6	44.2	3.1	1.0	4.7	4.1	5.0	62.0	42.7	101.0	433.9
2003	96.0	89.0	191.5	10.0	3.1	1.0	3.5	4.1	30.0	32.0	30.0	199.0	689.2
2004	76.0	55.0	60.0	34.0	5.8	1.0	3.5	5.7	14.0	20.0	26.0	33.0	334.0
2005	128.0	124.0	53.0	32.0	5.6	1.0	3.5	4.0	45.0	79.0	92.9	124.6	692.6
2006	229.0	36.2	55.0	34.0	2.0	1.0	2.5	4.0	21.0	20.0	44.0	37.8	486.5
2007	96.5	130.3	50.0	48.0	2.0	1.1	2.5	4.1	36.0	35.2	28.0	81.0	514.7
2008	195.0	57.5	107.8	25.5	2.0	1.2	3.2	7.5	15.0	27.0	19.5	128.4	589.6
2009	52.1	83.0	57.5	17.3	2.0	1.3	2.5	2.5	10.0	25.0	76.5	123.5	453.2
2010	47.5	81.5	26.0	8.0	4.5	1.3	4.7	2.5	5.0	29.5	5.0	48.2	263.7
2011	93.7	188.0	57.5	16.0	5.8	1.3	2.5	2.5	17.0	37.5	40.0	85.3	547.1
2012	119.0	224.0	41.5	32.0	2.0	1.4	3.8	8.0	5.0	73.0	87.6	112.0	709.3
2013	171.7	212.0	59.1	25.0	4.8	2.0	2.5	10.0	14.0	53.1	24.0	66.2	644.4
2014	68.2	101.6	62.2	27.3	4.2	1.3	3.1	5.6	26.9	10.9	16.1	50.0	377.4
2015	188.3	89.4	84.0	59.0	4.5	1.3	2.5	4.7	32.0	34.4	102.9	143.2	746.2
2016	105.4	118.8	31.0	47.0	2.0	1.4	2.5	2.0	42.0	20.8	119.4	12.4	504.7
2017	97.5	103.0	70.2	14.0	5.0	1.6	2.5	2.0	25.5	41.7	20.6	28.6	412.2
2018	67.3	69.4	55.6	23.2	2.0	1.8	4.5	8.9	26.0	36.4	56.9	62.4	414.4
2019	39.6	97.5	99.5	42.4	5.8	1.5	5.0	2.0	18.0	59.3	48.9	30.6	450.1
2020	87.6	69.8	37.0	18.7	2.0	1.5	2.5	6.3	14.0	68.2	23.1	63.8	394.5
2021	75.6	62.1	54.2	43.2	3.7	1.5	3.8	5.0	34.1	36.3	56.8	210.4	586.7
Prom.	121.4	108.1	75.7	28.9	3.9	1.3	3.3	5.4	19.9	40.1	52.0	89.7	549.8

*Estación Tomina*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1982	120.2	108.7	127.5	41.0	7.0	2.0	0.6	3.8	24.5	18.0	65.0	68.4	586.7
1983	41.9	26.4	64.1	18.8	4.0	4.0	0.0	3.0	61.0	23.7	43.5	84.8	375.2
1984	326.0	356.5	122.2	17.3	4.0	3.0	0.0	3.7	9.4	34.6	31.9	69.9	978.5
1985	92.0	101.7	20.6	23.1	4.0	5.0	0.0	3.0	42.4	4.9	18.1	35.5	350.3
1986	25.8	44.8	31.9	15.9	7.0	2.0	0.0	3.0	7.8	8.7	15.2	25.0	187.1
1987	41.0	26.4	15.3	14.1	3.0	1.6	0.0	3.0	9.0	24.9	6.5	25.0	169.8
1988	20.5	14.5	26.2	16.2	4.0	1.5	0.0	4.5	25.0	6.7	5.0	14.0	138.1
1989	21.5	16.5	10.6	11.0	3.0	1.6	0.0	4.0	11.3	0.0	8.5	56.8	144.8
1990	48.4	82.3	15.2	16.3	12.0	1.6	0.0	7.7	26.0	34.7	18.0	39.9	302.1
1991	42.3	27.4	67.4	21.0	3.7	4.0	0.0	5.0	11.3	33.5	16.4	14.0	246.0
1992	90.5	35.0	26.6	13.3	4.0	7.3	0.1	5.0	11.3	17.9	9.0	33.6	253.6
1993	43.8	7.8	30.6	20.0	8.0	1.6	0.0	13.0	23.6	50.0	45.0	149.0	392.4
1994	134.0	179.0	41.0	8.0	3.0	2.0	0.0	4.0	39.9	89.0	75.0	100.0	674.9
1995	154.0	124.0	82.0	8.0	5.0	1.6	0.0	3.0	11.3	49.0	20.0	71.0	528.9
1996	91.0	59.0	0.0	39.0	1.0	1.8	0.0	8.0	12.2	35.7	28.1	96.8	372.6
1997	213.0	184.5	123.1	32.0	5.0	1.4	0.0	8.6	76.0	39.0	115.0	75.0	872.6
1998	68.0	148.0	131.0	12.0	7.0	1.6	0.0	5.0	11.3	58.1	68.6	32.8	543.4
1999	67.5	101.0	85.1	11.0	3.7	0.0	0.0	2.0	40.4	59.4	57.0	77.7	504.8
2000	225.7	2.8	73.4	15.1	4.2	2.0	0.0	4.3	15.2	31.2	31.0	53.3	458.2
2001	168.7	243.7	68.3	24.4	3.9	2.8	0.0	4.5	12.0	35.4	30.4	50.9	645.0
2002	11.9	119.3	37.1	23.0	3.7	2.2	0.0	4.3	15.4	29.6	33.4	51.1	331.0
2003	81.8	53.0	113.2	12.2	4.4	2.9	0.0	4.4	32.3	31.2	30.6	82.7	448.7
2004	33.2	10.7	31.4	22.7	5.2	3.0	0.0	4.8	25.1	35.3	33.2	40.8	245.4
2005	67.2	121.3	71.2	26.6	5.1	2.6	0.0	4.1	37.0	30.5	37.5	69.1	472.2
2006	173.0	26.1	34.4	22.9	3.5	0.0	0.0	0.0	22.3	33.7	37.6	40.7	394.2
2007	140.5	89.5	42.0	23.1	5.4	0.0	0.0	0.0	37.7	34.2	32.3	56.6	461.3
2008	207.9	49.3	63.3	15.8	3.4	2.5	0.0	5.3	25.2	35.0	34.5	71.3	513.5
2009	21.6	102.5	47.4	11.9	4.2	2.6	0.0	4.1	18.0	34.3	36.9	72.7	356.2
2010	26.5	75.9	17.2	9.8	4.0	0.0	0.0	0.0	16.1	33.7	28.7	49.6	261.5
2011	52.4	164.6	44.8	12.3	7.3	2.6	0.0	4.0	18.7	33.5	35.0	55.1	430.3
2012	72.2	219.4	32.7	23.9	4.0	0.0	0.0	0.0	19.6	31.5	39.8	74.7	517.8
2013	129.0	205.1	30.6	21.6	5.5	4.1	0.0	6.2	17.1	31.5	30.5	48.9	530.1
2014	34.3	67.5	34.3	22.2	5.4	3.0	0.0	4.8	33.3	35.1	33.0	40.2	313.1
2015	148.5	40.2	75.4	37.4	7.0	3.0	0.0	4.5	35.9	33.9	39.0	72.1	496.9
2016	65.8	118.4	26.5	28.3	5.2	3.5	0.1	3.3	34.8	34.4	40.9	39.1	400.3
2017	75.3	55.6	62.4	14.3	5.3	3.8	0.0	3.9	23.8	33.2	31.2	43.0	351.8
2018	92.4	47.7	47.1	15.4	4.4	3.7	0.0	5.7	30.3	32.5	35.6	55.4	370.2
2019	11.9	97.0	96.3	30.5	4.9	2.5	0.0	3.8	21.8	29.6	35.3	45.5	379.1
2020	45.8	29.7	18.6	14.0	4.3	2.8	0.1	5.1	20.1	30.2	31.2	48.4	250.3
2021	89.6	43.6	29.2	25.0	4.7	3.1	0.0	4.5	25.4	33.9	35.9	98.3	393.2
Prom.	90.4	90.7	52.9	19.8	4.8	2.4	0.0	4.3	24.8	32.8	35.0	58.2	416.1

*Estación Padilla*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
1982	115.6	150.4	98.2	59.9	15.3	0.0	2.5	6.6	36.0	60.8	80.0	73.0	698.3
1983	163.0	53.0	96.2	42.0	13.5	0.0	4.7	2.0	13.5	24.0	25.5	79.0	516.4
1984	296.9	118.0	67.3	10.7	9.0	0.0	2.9	3.6	16.8	37.6	89.9	61.3	714.0
1985	12.3	153.5	64.4	31.5	9.2	4.2	3.4	6.8	20.9	45.8	67.1	100.9	520.0
1986	110.3	109.5	118.6	26.7	9.2	2.7	1.0	2.7	31.7	45.0	55.6	107.4	620.4
1987	128.4	84.3	72.0	26.3	9.2	1.6	3.4	3.8	19.1	64.1	66.7	75.6	554.5
1988	124.6	82.3	117.4	44.0	11.1	1.6	3.4	3.8	17.3	43.3	49.0	94.6	592.4
1989	100.1	89.8	73.9	31.0	9.2	1.6	4.7	4.0	16.9	43.4	71.8	121.4	567.8
1990	82.5	87.7	61.3	21.0	19.0	6.6	1.7	6.3	30.0	52.9	46.1	80.8	495.9
1991	111.9	68.3	137.0	31.5	12.0	1.4	1.5	3.6	15.0	37.4	47.9	136.0	603.5
1992	196.9	111.9	38.7	25.9	4.3	4.8	1.3	4.8	17.0	93.4	50.8	134.2	684.0
1993	100.3	51.3	81.4	21.0	3.0	1.7	6.5	5.3	11.0	68.5	39.9	157.3	547.2
1994	138.5	115.5	46.3	11.6	2.1	1.0	2.2	2.5	10.0	42.6	62.9	89.6	524.8
1995	130.0	146.3	112.9	30.0	5.1	0.0	1.5	6.0	20.0	27.7	31.4	106.7	617.6
1996	95.7	82.5	40.7	39.3	12.0	1.5	2.9	5.2	18.0	37.5	110.8	188.9	635.0
1997	120.8	191.2	125.0	41.7	17.4	0.0	5.0	6.6	35.0	62.1	66.1	37.7	708.6
1998	30.9	119.9	105.3	21.0	8.2	4.5	3.0	5.2	22.0	56.2	53.7	73.7	503.6
1999	107.8	65.9	101.7	16.0	7.7	2.5	3.0	3.6	35.0	31.6	41.9	74.4	491.1
2000	140.4	42.0	107.0	32.0	6.3	0.3	2.9	4.0	16.1	62.9	30.3	85.9	530.1
2001	147.9	134.9	112.3	32.7	4.7	3.6	5.0	4.8	10.0	25.5	42.7	47.7	571.8
2002	49.0	167.1	63.0	29.1	3.2	1.3	7.0	3.6	16.6	75.0	42.7	45.9	503.5
2003	133.5	75.7	117.0	22.0	7.6	4.1	2.9	4.2	25.0	80.0	15.6	122.4	610.0
2004	73.3	57.5	49.5	38.1	10.1	4.5	6.0	4.3	26.7	27.8	55.3	57.1	410.2
2005	77.3	125.0	153.6	55.4	10.0	3.1	11.0	2.7	19.2	44.8	49.6	121.9	673.6
2006	151.0	31.0	62.0	39.0	3.3	1.6	5.0	2.6	14.1	53.4	100.6	51.5	515.1
2007	229.9	79.5	85.3	25.9	15.1	1.5	5.8	3.0	29.6	29.2	41.7	96.6	643.1
2008	242.5	102.7	79.5	20.0	2.4	2.6	7.5	4.8	26.0	25.8	81.0	130.0	724.8
2009	78.0	142.7	91.1	13.4	7.5	2.6	3.0	4.2	16.7	38.5	57.4	142.9	598.0
2010	3.2	111.5	49.2	14.7	3.9	1.2	4.7	2.7	18.0	44.0	13.1	90.7	356.9
2011	87.2	114.4	84.6	16.1	24.0	2.7	7.0	3.6	11.2	37.9	67.5	83.7	539.9
2012	94.8	146.0	71.2	45.0	6.1	1.1	3.4	2.8	25.0	34.3	87.2	165.2	682.1
2013	135.6	140.3	48.7	43.0	12.9	7.8	3.0	7.0	11.0	54.6	20.2	68.5	552.6
2014	82.9	81.0	54.6	43.0	12.9	4.3	2.3	4.7	30.0	39.6	63.1	36.9	455.3
2015	151.2	59.5	132.7	70.0	23.0	4.3	9.0	4.0	30.0	35.0	61.3	119.6	699.6
2016	97.7	126.6	66.8	46.7	13.9	6.2	1.6	1.0	17.9	41.1	71.2	68.5	559.2
2017	121.2	65.0	114.7	26.0	12.0	6.7	2.9	4.0	12.7	38.3	32.5	73.9	509.9
2018	179.6	88.8	92.1	21.1	9.0	6.2	3.0	5.6	25.0	55.0	58.6	108.6	652.6
2019	74.5	121.4	168.0	60.0	8.1	2.3	9.0	3.6	16.2	78.0	62.7	85.5	689.3
2020	82.6	66.1	41.6	20.0	8.1	3.0	2.0	5.2	16.9	60.1	31.0	68.5	405.1
2021	166.7	91.0	50.1	38.0	9.0	4.5	2.6	3.7	7.2	32.6	64.0	197.2	666.6
<b>Prom.</b>	119.2	101.3	86.3	32.1	9.7	2.8	4.0	4.2	20.2	47.2	55.2	96.5	578.6

*Estación V. Alcalá*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
1982	160.6	157.0	97.1	45.8	11.4	1.0	3.0	9.0	27.7	72.0	68.1	76.1	728.8
1983	149.7	83.5	103.6	42.1	19.4	6.2	12.0	6.0	19.1	37.6	44.6	80.0	603.8
1984	280.9	276.8	87.5	4.3	8.8	1.0	4.4	6.8	13.4	56.9	120.0	83.0	943.8
1985	119.5	209.5	87.2	72.4	12.6	8.0	6.0	25.0	11.7	27.2	28.3	49.5	656.9
1986	134.4	144.9	147.0	37.7	12.6	2.6	3.0	5.3	30.0	61.2	58.5	198.9	836.1
1987	167.8	72.9	94.3	72.0	0.0	2.6	4.0	3.0	4.2	80.0	75.8	68.4	645.0
1988	101.9	61.7	154.4	47.6	16.7	1.3	3.0	3.0	1.0	21.6	41.1	80.6	533.9
1989	113.9	144.1	203.4	26.0	1.5	3.5	9.0	14.0	2.3	30.4	87.4	195.2	830.7
1990	157.0	64.5	108.1	56.8	27.0	7.0	5.2	18.0	48.0	24.6	50.2	156.4	722.8
1991	202.3	45.7	194.7	35.6	7.3	3.0	3.0	5.1	14.1	46.8	48.9	63.1	669.6
1992	202.7	205.6	73.6	16.5	8.7	4.1	6.0	15.0	34.2	75.0	77.9	153.6	872.9
1993	127.1	94.3	118.1	26.1	5.4	2.8	7.4	11.7	16.6	60.9	60.5	204.1	735.0
1994	157.2	114.2	84.2	16.3	3.8	2.6	4.5	5.4	20.0	44.5	72.0	138.2	662.9
1995	196.3	153.2	125.9	27.3	5.8	1.5	3.9	14.9	28.6	37.9	53.2	126.4	774.9
1996	152.9	106.3	84.6	48.7	13.8	2.4	4.2	15.1	15.5	44.8	94.0	254.0	836.3
1997	193.1	171.7	150.9	70.6	14.2	1.5	5.4	13.0	40.2	61.4	82.1	69.1	873.2
1998	123.2	143.5	120.8	38.8	7.9	4.2	4.5	8.3	23.4	63.2	71.9	32.5	642.2
1999	157.9	107.7	118.6	0.0	0.0	3.4	2.0	5.0	50.0	45.0	52.0	80.1	621.7
2000	297.0	48.0	123.0	21.0	0.0	2.0	2.0	10.0	17.0	38.0	36.5	120.4	714.9
2001	133.5	103.8	110.3	29.8	13.3	1.0	5.0	10.0	11.0	52.1	67.2	80.0	617.0
2002	62.0	183.5	80.5	71.8	6.5	0.8	9.0	3.0	35.7	107.0	44.5	107.0	711.3
2003	157.0	89.0	131.5	7.9	0.0	4.0	2.0	3.0	0.0	62.0	22.9	158.5	637.8
2004	131.9	46.0	106.0	20.0	13.0	4.8	5.5	11.0	12.0	40.0	26.5	52.0	468.7
2005	74.0	139.0	115.0	32.9	6.0	2.0	9.0	4.0	30.9	68.8	77.2	153.5	712.3
2006	216.9	76.3	90.2	47.2	3.8	2.3	5.1	5.1	20.1	46.5	77.8	75.8	667.1
2007	163.0	92.5	107.8	41.1	11.8	2.3	5.5	5.5	7.2	20.4	53.4	119.4	629.9
2008	237.8	131.2	101.3	34.3	4.4	3.0	5.0	12.0	30.0	49.9	95.5	159.3	863.7
2009	93.4	125.5	108.1	49.2	12.2	1.0	4.0	5.0	12.7	44.4	65.4	92.4	613.3
2010	88.2	117.8	82.0	5.5	2.5	1.0	4.5	7.0	0.0	34.9	10.9	84.8	439.1
2011	81.8	111.9	84.9	36.4	6.7	6.0	7.8	4.0	35.9	25.8	81.2	102.2	584.6
2012	146.5	106.7	96.5	73.8	18.3	1.0	4.1	7.0	3.7	51.7	70.8	165.2	745.3
2013	156.1	159.6	40.5	23.0	5.1	10.0	2.0	11.0	18.8	75.0	55.0	70.4	626.5
2014	121.2	166.4	52.2	58.3	7.6	4.2	2.7	15.0	30.0	45.8	57.2	74.6	635.2
2015	313.0	102.2	143.5	110.4	33.0	1.2	2.1	5.0	48.0	91.0	92.1	208.8	1,150.3
2016	75.2	67.7	52.4	35.6	20.0	3.5	6.0	6.0	11.6	34.1	93.2	201.4	606.7
2017	88.7	163.1	133.8	44.0	8.2	3.6	3.0	7.0	24.7	37.1	75.1	130.3	718.6
2018	260.0	101.5	84.8	19.4	8.9	7.2	7.2	16.0	65.0	94.0	50.1	135.6	849.7
2019	117.4	186.5	251.7	102.4	8.4	3.9	8.0	4.9	7.0	84.0	133.2	130.4	1,037.8
2020	197.1	114.7	65.2	6.9	5.9	2.8	6.0	13.0	30.0	60.0	100.8	144.3	746.7
2021	125.0	147.3	86.8	44.0	6.6	6.6	5.0	6.8	25.0	52.0	52.0	272.9	830.0
<b>Prom.</b>	155.9	123.4	110.1	40.0	9.5	3.3	5.0	8.9	21.9	52.6	65.6	123.7	719.9



*Estación Sopachuy*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Annual</b>
1982	116.2	251.6	69.1	113.0	11.4	2.8	0.0	7.7	78.0	54.4	124.7	170.5	999.4
1983	157.1	185.9	42.0	47.7	17.7	2.0	14.0	7.7	11.2	45.9	68.4	115.8	715.4
1984	319.3	193.5	126.2	17.4	0.0	2.1	3.8	7.9	26.8	75.5	151.0	126.5	1,050.0
1985	105.6	202.2	102.3	84.2	18.4	5.0	5.2	18.2	28.3	64.9	94.3	128.3	856.9
1986	159.3	167.6	161.0	50.9	18.4	3.2	1.4	6.8	46.1	81.1	103.6	176.7	976.1
1987	183.7	136.7	109.9	79.5	13.2	2.9	3.8	6.2	22.7	99.6	117.6	126.4	902.2
1988	150.6	132.5	164.2	73.8	20.9	2.6	3.1	6.2	19.6	61.1	91.7	136.0	862.3
1989	144.7	161.2	167.1	44.7	13.9	3.2	8.2	11.6	20.1	65.3	125.8	179.8	945.6
1990	156.8	135.1	111.5	29.0	41.3	10.0	12.0	21.5	21.1	105.4	113.3	82.1	839.1
1991	235.9	106.6	178.9	79.4	3.9	4.3	3.6	5.0	47.9	96.0	73.9	127.0	962.4
1992	264.9	242.6	86.0	11.6	37.9	6.3	9.3	12.0	32.6	157.1	174.7	241.2	1,276.2
1993	170.4	172.0	131.1	42.8	13.2	2.8	5.0	10.0	40.4	47.5	139.7	122.8	897.7
1994	202.4	151.5	48.5	18.3	15.4	2.8	4.3	3.0	21.0	50.0	92.3	121.9	731.4
1995	125.0	130.1	111.3	4.6	6.9	1.2	0.0	10.0	43.0	71.0	114.2	181.0	798.3
1996	208.4	69.0	104.2	43.4	26.4	2.8	6.8	12.0	13.6	89.3	140.3	246.0	962.2
1997	165.5	133.3	202.9	92.3	13.7	2.3	1.8	5.4	100.7	42.7	188.8	129.0	1,078.4
1998	103.4	149.6	164.6	23.0	15.6	7.0	1.8	9.0	12.4	82.0	120.2	88.2	776.8
1999	167.2	102.3	228.0	10.4	11.6	2.5	7.0	8.7	47.4	98.8	112.6	84.2	880.7
2000	266.2	98.8	151.2	49.4	11.6	3.1	0.4	14.5	21.0	114.4	85.0	112.0	927.6
2001	145.5	165.2	159.7	35.9	26.4	1.0	3.8	8.3	51.0	76.8	70.4	150.8	894.8
2002	133.8	162.3	87.9	101.8	20.0	1.0	10.0	8.0	11.0	146.0	70.0	129.0	880.8
2003	166.7	116.2	187.6	13.2	15.0	4.8	1.2	7.8	16.4	89.8	72.4	188.8	879.9
2004	114.7	45.5	158.8	88.6	33.8	4.0	8.2	9.7	19.4	57.8	114.2	158.2	812.9
2005	133.8	242.9	142.4	117.0	12.6	3.7	14.0	7.9	59.8	91.6	117.8	186.0	1,129.5
2006	182.2	112.4	130.4	80.6	12.2	6.0	3.6	8.2	13.4	125.8	93.0	164.7	932.5
2007	229.4	136.4	87.4	50.2	23.0	2.8	0.0	8.3	53.8	54.8	116.8	130.6	893.5
2008	395.5	200.2	127.2	60.0	7.6	1.0	8.0	15.4	60.0	71.0	127.6	290.4	1,363.9
2009	171.2	122.6	129.8	26.4	6.6	5.4	4.6	5.0	22.0	43.8	78.2	84.6	700.2
2010	113.4	146.6	54.2	31.4	10.3	3.8	10.0	5.0	10.0	42.7	29.5	125.5	582.4
2011	97.4	243.3	91.1	37.8	30.6	4.2	0.0	3.0	54.3	54.6	150.8	170.4	937.5
2012	158.8	219.6	95.2	105.6	10.4	0.0	4.8	9.4	10.0	61.0	206.0	160.2	1,041.0
2013	203.1	177.6	35.6	37.2	17.0	6.6	2.8	6.2	25.0	105.0	56.4	85.6	758.1
2014	132.0	175.8	99.6	64.6	19.4	1.6	1.2	14.4	71.0	110.8	102.8	130.2	923.4
2015	257.0	108.6	166.2	136.8	25.8	5.6	7.0	7.7	66.0	99.4	127.6	174.0	1,181.7
2016	101.2	280.8	80.9	85.4	28.8	3.2	1.0	8.1	24.8	26.6	97.8	176.8	915.4
2017	128.6	133.4	165.6	39.8	9.8	1.2	1.6	7.7	42.2	55.4	64.8	151.4	801.5
2018	175.2	191.6	193.0	26.8	36.8	3.6	4.6	15.0	34.0	120.2	100.6	220.0	1,121.4
2019	147.6	175.1	209.2	136.2	17.6	3.5	18.0	9.2	3.8	62.8	111.2	70.6	964.8
2020	151.6	114.7	67.9	36.0	6.6	2.3	0.0	13.9	21.0	75.8	51.2	131.7	672.7
2021	205.2	135.6	86.6	69.2	14.0	3.2	2.6	8.1	41.1	46.8	82.8	225.0	920.2
<b>Prom.</b>	173.7	158.2	125.4	57.4	17.4	3.4	5.0	9.2	34.1	78.0	106.9	150.0	918.7

*Estación Chavarría*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
1982	142.7	227.4	137.4	111.4	15.1	1.0	1.1	9.5	53.0	77.8	77.0	168.6	1022.0
1983	218.4	136.7	61.5	35.9	24.1	1.0	8.0	1.2	17.8	120.8	110.8	168.6	904.8
1984	320.2	216.2	158.4	13.5	4.2	1.0	2.0	0.0	5.3	73.3	152.8	213.0	1159.9
1985	152.0	234.7	92.4	49.0	5.1	4.0	2.0	20.0	38.0	80.3	82.7	142.2	902.4
1986	44.2	120.4	143.2	52.1	12.8	1.0	3.0	0.0	24.6	20.0	60.2	117.8	599.3
1987	178.1	68.8	54.3	50.5	3.1	2.0	2.0	0.0	5.7	111.3	59.8	51.6	587.2
1988	146.1	84.2	266.5	38.6	1.6	2.0	2.0	0.0	5.0	25.0	19.8	147.4	738.2
1989	107.2	62.3	90.9	76.5	4.7	3.0	6.0	7.9	5.2	22.4	60.8	142.6	589.5
1990	162.2	140.1	75.1	6.0	14.5	1.0	2.0	15.0	9.1	40.5	48.0	66.9	580.4
1991	197.3	71.6	90.6	37.5	1.8	2.0	2.0	5.0	16.7	36.4	65.5	43.1	569.5
1992	178.4	188.7	58.0	5.4	0.0	2.0	1.2	4.1	16.1	53.1	75.3	198.1	780.4
1993	149.8	123.9	111.7	14.5	1.1	2.0	2.0	11.0	18.0	28.4	66.2	101.1	629.7
1994	100.7	121.3	48.3	24.0	0.0	2.1	2.0	0.0	20.0	15.0	73.5	108.6	515.5
1995	212.6	170.0	162.8	8.2	5.6	1.8	3.0	7.9	24.0	37.6	121.5	156.6	911.6
1996	153.8	122.1	153.1	77.0	19.0	1.0	3.0	11.0	4.7	59.5	97.1	186.3	887.6
1997	332.7	201.8	377.3	106.2	1.3	1.9	3.0	0.0	39.0	38.6	125.9	147.1	1374.8
1998	63.2	174.0	130.1	17.2	9.5	2.4	4.0	15.0	4.3	75.4	169.5	113.1	777.7
1999	201.9	195.3	170.0	7.7	8.4	2.3	4.2	0.0	26.0	98.4	74.7	102.3	891.2
2000	183.3	146.5	102.1	25.0	1.2	1.0	5.0	5.2	17.7	166.9	92.8	114.3	861.0
2001	176.9	188.0	141.7	38.7	9.5	1.5	2.9	4.5	16.5	56.0	63.3	128.6	828.1
2002	95.7	158.6	77.9	84.4	6.9	1.5	4.6	1.6	12.8	106.2	67.6	129.4	747.2
2003	152.7	123.2	218.1	4.1	4.7	1.9	2.1	1.6	11.6	66.6	60.6	152.2	799.4
2004	124.7	83.2	125.7	52.0	11.3	1.9	3.6	6.1	11.3	46.6	69.7	119.3	655.4
2005	128.5	180.3	118.5	68.9	5.9	1.7	4.9	2.0	32.9	83.4	96.4	143.2	866.6
2006	212.7	104.4	101.2	60.2	4.7	1.9	2.8	2.6	13.5	69.1	80.3	123.1	776.5
2007	172.6	140.7	86.0	50.5	8.3	1.7	2.3	2.8	23.6	44.4	76.7	128.8	738.4
2008	270.3	148.7	131.4	42.2	3.9	1.6	3.5	9.3	25.6	55.7	86.4	155.6	934.2
2009	123.1	133.1	111.1	30.7	5.2	1.8	2.8	0.7	11.2	45.2	81.5	125.5	671.9
2010	103.5	137.1	44.8	10.0	4.6	1.7	3.9	1.4	4.1	43.4	43.0	121.0	518.5
2011	110.5	190.5	80.2	29.5	9.6	2.0	2.6	0.5	26.1	46.6	92.9	131.7	722.7
2012	154.0	192.3	80.0	81.7	7.1	1.5	3.0	5.2	4.9	67.1	113.2	140.4	850.4
2013	184.7	192.1	31.4	27.3	6.4	2.4	2.2	6.4	14.3	81.5	62.8	117.0	728.5
2014	124.4	163.6	70.5	55.3	7.2	1.8	2.2	9.4	31.0	61.6	71.8	120.5	719.3
2015	250.2	124.8	159.9	122.5	13.4	1.8	2.9	2.6	35.4	78.9	104.0	150.0	1046.4
2016	113.0	170.0	45.9	62.9	11.0	1.8	2.6	2.1	19.2	35.6	101.3	135.3	700.7
2017	122.5	151.6	147.9	32.7	5.7	1.7	2.2	2.3	22.5	51.5	68.3	126.6	735.5
2018	176.5	141.6	129.9	24.0	10.4	2.1	3.5	11.3	30.3	86.7	78.7	138.2	833.2
2019	119.5	167.7	242.9	90.5	7.3	1.9	5.6	2.1	7.4	73.3	97.6	118.0	933.8
2020	157.4	124.5	48.7	17.1	4.0	1.7	2.4	8.7	16.0	72.7	71.6	129.8	654.6
2021	148.7	136.9	77.4	57.9	5.9	2.0	2.8	3.5	24.4	51.8	75.2	169.7	756.2
<b>Prom.</b>	161.7	149.0	118.9	45.0	7.2	1.8	3.1	5.0	18.6	62.6	82.4	132.3	787.5

**Tabla C4. Cálculo Precipitación Media Mensual de la Cuenca**

Mes	Isoyetas (mm)			Superficie (Km2)	Isoyeta * Superficie	Precipitación Media (mm)
	Mínima	Máxima	Media			
Enero	148.1	150.0	149.1	0.67	99.55	152.0
	150.0	155.0	152.5	7.45	1136.60	
	155.0	148.1	151.6	3.54	535.93	
Febrero	131.4	135.0	133.2	1.69	225.58	138.0
	135.0	140.0	137.5	6.84	940.48	
	140.0	143.1	141.6	3.12	442.19	
Marzo	105.4	110.0	107.7	3.88	418.07	110.7
	110.0	114.5	112.3	7.78	872.80	
Abril	40.4	42.0	41.2	2.99	123.38	42.5
	42.0	43.9	43.0	8.66	372.07	
Mayo	7.9	8.0	8.0	0.26	2.03	8.4
	8.0	8.8	8.4	11.40	95.78	
Junio	2.1	2.5	2.3	11.66	26.81	2.3
Julio	3.3	3.6	3.5	11.66	40.22	3.5
Agosto	5.5	6.0	5.8	6.81	39.17	5.9
	6.0	6.3	6.2	4.84	29.79	
Septiembre	20.2	21.0	20.6	5.13	105.61	21.0
	21.0	21.8	21.4	6.53	139.75	
Octubre	56.1	60.0	58.1	9.65	560.18	58.5
	60.0	60.9	60.5	2.01	121.34	
Noviembre	71.8	75.0	73.4	2.46	180.81	76.5
	75.0	79.6	77.3	9.19	710.70	
Diciembre	118.7	120.0	119.4	0.32	38.09	124.3
	120.0	125.0	122.5	6.05	740.85	
	125.0	128.4	126.7	5.29	670.30	

## **Apéndice D. Esgurrimiento Superficial de la Cuenca**

**Tabla D1. Valores de Curva Número Octubre – Noviembre**

Cobertura y Uso - GHS - Pendiente	Código	Superficie		Coeficientes		
		(Km <sup>2</sup> )	(Has)	CN (II)	CN (I)	CN (III)
Cuerpos de agua (lagunas, reservorios y otros)	100	0.0835	8.35	0	0	0
Sin vegetación - GHS B - Pend ≥ 3%	211	2.2631	226.31	85	70	93
Sin vegetación - GHS B - Pend < 3%	212	0.0598	5.98	75	56	87
Sin vegetación - GHS C - Pend ≥ 3%	221	3.3820	338.20	87	74	94
Sin vegetación - GHS C - Pend < 3%	222	0.0498	4.98	79	61	90
Gramíneas y pastizales - GHS B - Pend ≥ 3%	311	2.0164	201.64	69	48	84
Gramíneas y pastizales - GHS B - Pend < 3%	312	0.0263	2.63	59	38	77
Gramíneas y pastizales - GHS C - Pend ≥ 3%	321	2.0802	208.02	78	60	89
Gramíneas y pastizales - GHS C - Pend < 3%	322	0.0110	1.10	75	56	87
Vegetación escasa (matorrales) - GHS B - Pend ≥ 3%	411	0.3058	30.58	68	47	83
Vegetación escasa (matorrales) - GHS B - Pend < 3%	412	0.0774	7.74	68	47	83
Vegetación escasa (matorrales) - GHS C - Pend ≥ 3%	421	0.3215	32.15	78	60	89
Vegetación escasa (matorrales) - GHS C - Pend < 3%	422	0.0011	0.11	78	60	89
Vegetación densa (arbórea) - GHS B - Pend ≥ 3%	511	0.2131	21.31	60	39	78
Vegetación densa (arbórea) - GHS B - Pend < 3%	512	0.0104	1.04	60	39	78
Vegetación densa (arbórea) - GHS C - Pend ≥ 3%	521	0.2536	25.36	69	48	84
Vegetación densa (arbórea) - GHS C - Pend < 3%	522	0.0007	0.07	69	48	84
Cultivos de verano - GHS B - Pend ≥ 3%	611	0.1653	16.53	82	66	91
Cultivos de verano - GHS B - Pend < 3%	612	0.0222	2.22	78	60	89
Cultivos de verano - GHS C - Pend ≥ 3%	621	0.2770	27.70	86	72	93
Cultivos de verano - GHS C - Pend < 3%	622	0.0125	1.25	82	66	91
Cultivos anuales - GHS B - Pend ≥ 3%	711	0.0065	0.65	75	56	87
Cultivos anuales - GHS B - Pend < 3%	712	0.0006	0.06	73	53	86
Cultivos anuales - GHS C - Pend ≥ 3%	721	0.0016	0.16	82	66	91
Cultivos perennes - GHS B - Pend ≥ 3%	811	0.0095	0.95	66	45	82
Cultivos perennes - GHS B - Pend < 3%	812	0.0014	0.14	60	39	78
Construcciones (viviendas)	900	0.0049	0.49	80	63	90
<b>Área Total de la Cuenca</b>		<b>11.6573</b>	<b>1165.73</b>			
<b>NC Media Ponderada de la Cuenca</b>				<b>79</b>	<b>63</b>	<b>89</b>

**Tabla D2. Valores de Curva Número Diciembre – Enero**

Cobertura y Uso - GHS - Pendiente	Código	Superficie		Coeficientes		
		(Km <sup>2</sup> )	(Has)	CN (II)	CN (I)	CN (III)
Cuerpos de agua (lagunas, reservorios y otros)	100	0.0392	3.92	0	0	0
Sin vegetación - GHS B - Pend ≥ 3%	211	1.2370	123.70	85	70	93
Sin vegetación - GHS B - Pend < 3%	212	0.1385	13.85	75	56	87
Sin vegetación - GHS C - Pend ≥ 3%	221	1.6493	164.93	87	74	94
Sin vegetación - GHS C - Pend < 3%	222	0.0432	4.32	82	66	91
Gramíneas y pastizales - GHS B - Pend ≥ 3%	311	1.3500	135.00	60	39	78
Gramíneas y pastizales - GHS B - Pend < 3%	312	0.0208	2.08	48	28	68
Gramíneas y pastizales - GHS C - Pend ≥ 3%	321	1.6092	160.92	74	54	87
Gramíneas y pastizales - GHS C - Pend < 3%	322	0.0971	9.71	69	48	84
Vegetación escasa (matorrales) - GHS B - Pend ≥ 3%	411	1.6551	165.51	60	39	78
Vegetación escasa (matorrales) - GHS B - Pend < 3%	412	0.0377	3.77	60	39	78
Vegetación escasa (matorrales) - GHS C - Pend ≥ 3%	421	1.9428	194.28	69	48	84
Vegetación escasa (matorrales) - GHS C - Pend < 3%	422	0.0244	2.44	69	48	84
Vegetación densa (arbórea) - GHS B - Pend ≥ 3%	511	0.5728	57.28	52	31	71
Vegetación densa (arbórea) - GHS B - Pend < 3%	512	0.0727	7.27	52	31	71
Vegetación densa (arbórea) - GHS C - Pend ≥ 3%	521	0.6623	66.23	62	41	79
Vegetación densa (arbórea) - GHS C - Pend < 3%	522	0.0039	0.39	62	41	79
Cultivos de verano - GHS B - Pend ≥ 3%	611	0.1738	17.38	73	53	86
Cultivos de verano - GHS B - Pend < 3%	612	0.0048	0.48	70	49	84
Cultivos de verano - GHS C - Pend ≥ 3%	621	0.2857	28.57	81	64	91
Cultivos de verano - GHS C - Pend < 3%	622	0.0127	1.27	78	60	89
Cultivos anuales - GHS B - Pend ≥ 3%	711	0.0052	0.52	69	48	84
Cultivos anuales - GHS B - Pend < 3%	712	0.0007	0.07	67	46	82
Cultivos anuales - GHS C - Pend ≥ 3%	721	0.0028	0.28	82	66	91
Cultivos perennes - GHS B - Pend ≥ 3%	811	0.0087	0.87	60	39	78
Cultivos perennes - GHS B - Pend < 3%	812	0.0021	0.21	60	39	78
Construcciones (viviendas)	900	0.0049	0.49	80	63	90
<b>Área Total de la Cuenca</b>		<b>11.6573</b>	<b>1165.73</b>			
<b>NC Media Ponderada de la Cuenca</b>				<b>70</b>	<b>52</b>	<b>84</b>

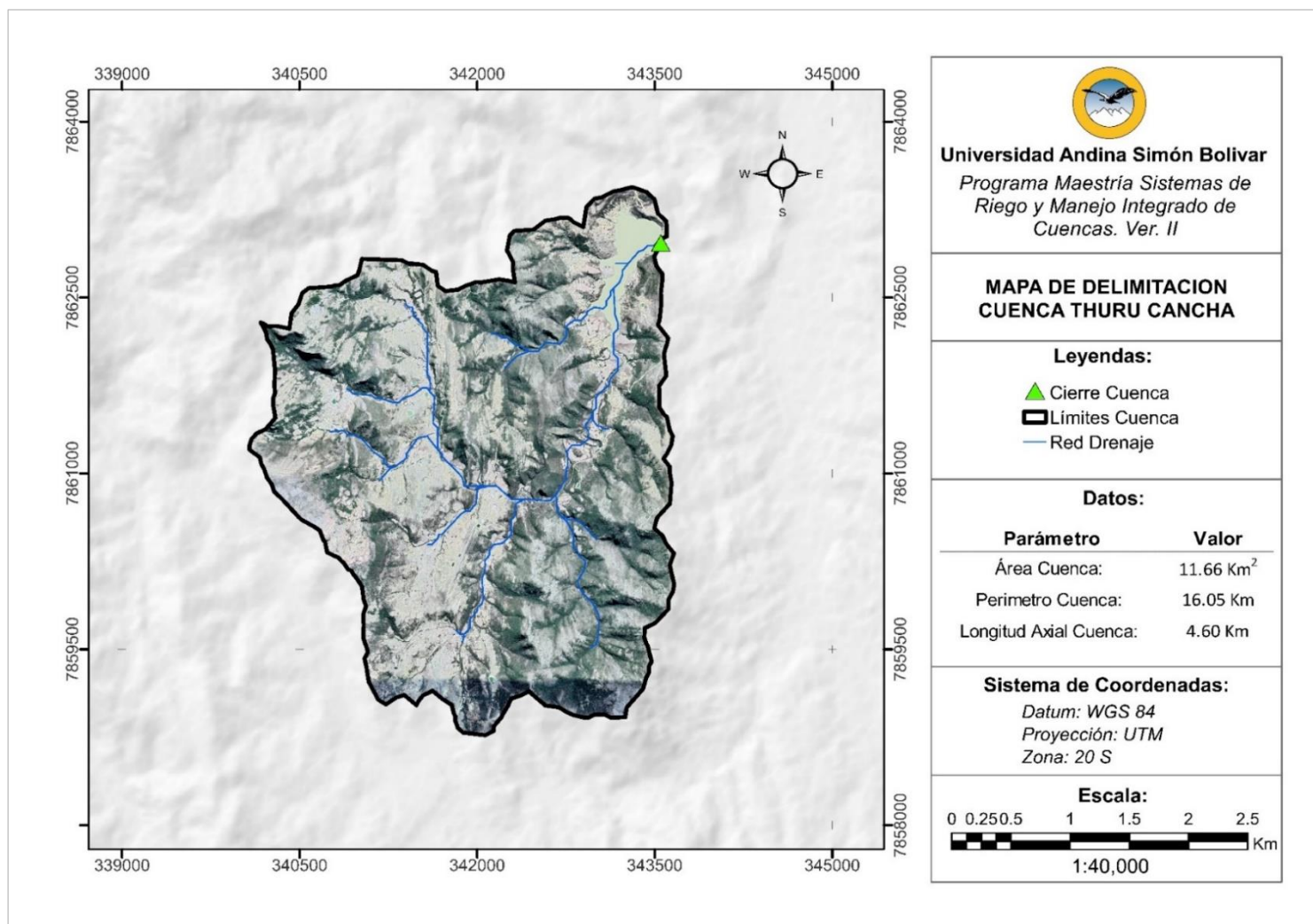
**Tabla D3. Valores de Curva Número Febrero – Marzo**

Cobertura y Uso - GHS - Pendiente	Código	Superficie		Coeficientes		
		(Km <sup>2</sup> )	(Has)	CN (II)	CN (I)	CN (III)
Cuerpos de agua (lagunas, reservorios y otros)	100	0.2545	25.45	0	0	0
Sin vegetación - GHS B - Pend ≥ 3%	211	0.8711	87.11	85	70	93
Sin vegetación - GHS B - Pend < 3%	212	0.0795	7.95	75	56	87
Sin vegetación - GHS C - Pend ≥ 3%	221	1.0229	102.29	87	74	94
Sin vegetación - GHS C - Pend < 3%	222	0.0132	1.32	82	66	91
Gramíneas y pastizales - GHS B - Pend ≥ 3%	311	0.8421	84.21	60	39	78
Gramíneas y pastizales - GHS B - Pend < 3%	312	0.0162	1.62	48	28	68
Gramíneas y pastizales - GHS C - Pend ≥ 3%	321	1.0177	101.77	74	54	87
Gramíneas y pastizales - GHS C - Pend < 3%	322	0.0064	0.64	69	48	84
Vegetación escasa (matorrales) - GHS B - Pend ≥ 3%	411	1.2177	121.77	60	39	78
Vegetación escasa (matorrales) - GHS B - Pend < 3%	412	0.0253	2.53	60	39	78
Vegetación escasa (matorrales) - GHS C - Pend ≥ 3%	421	1.4405	144.05	69	48	84
Vegetación escasa (matorrales) - GHS C - Pend < 3%	422	0.0111	1.11	69	48	84
Vegetación densa (arbórea) - GHS B - Pend ≥ 3%	511	1.8922	189.22	52	31	71
Vegetación densa (arbórea) - GHS B - Pend < 3%	512	0.2795	27.95	52	31	71
Vegetación densa (arbórea) - GHS C - Pend ≥ 3%	521	2.1448	214.48	62	41	79
Vegetación densa (arbórea) - GHS C - Pend < 3%	522	0.0213	2.13	62	41	79
Cultivos de verano - GHS B - Pend ≥ 3%	611	0.1660	16.60	73	53	86
Cultivos de verano - GHS B - Pend < 3%	612	0.0233	2.33	70	49	84
Cultivos de verano - GHS C - Pend ≥ 3%	621	0.2735	27.35	81	64	91
Cultivos de verano - GHS C - Pend < 3%	622	0.0141	1.41	78	60	89
Cultivos anuales - GHS B - Pend ≥ 3%	711	0.0068	0.68	69	48	84
Cultivos anuales - GHS B - Pend < 3%	712	0.0006	0.06	67	46	82
Cultivos anuales - GHS C - Pend ≥ 3%	721	0.0013	0.13	82	66	91
Cultivos perennes - GHS B - Pend ≥ 3%	811	0.0095	0.95	60	39	78
Cultivos perennes - GHS B - Pend < 3%	812	0.0013	0.13	60	39	78
Construcciones (viviendas)	900	0.0049	0.49	80	63	90
<b>Área Total de la Cuenca</b>		<b>11.6573</b>	<b>1165.73</b>			
<b>NC Media Ponderada de la Cuenca</b>				<b>65</b>	<b>46</b>	<b>80</b>

## **Apéndice E. Mapas Temáticos de la Cuenca**



**Figura E1. Mapa de Delimitación de la Cuenca**



**Figura E2. Mapa de Curvas de Nivel**

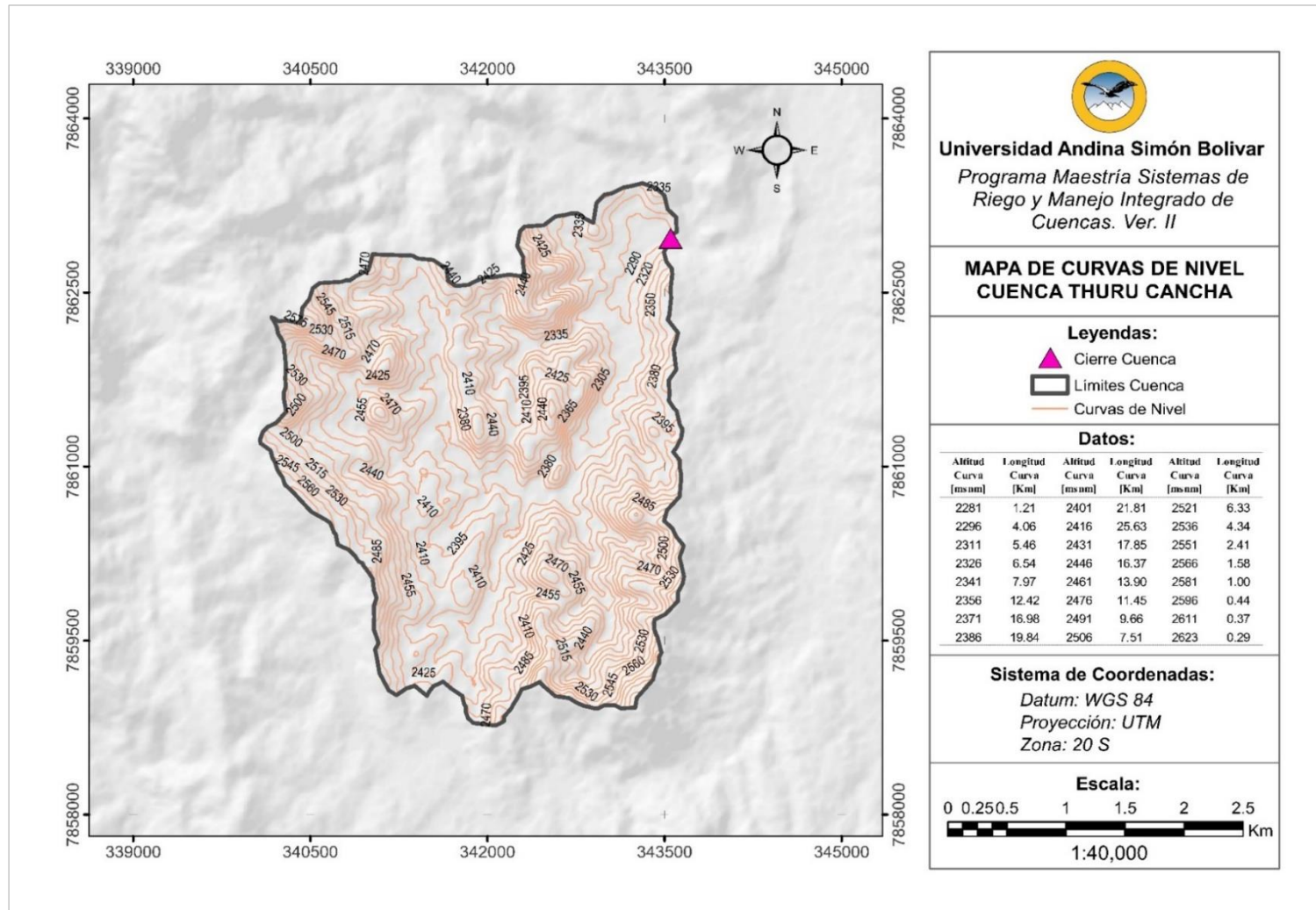


Figura E3. Mapa de Elevaciones

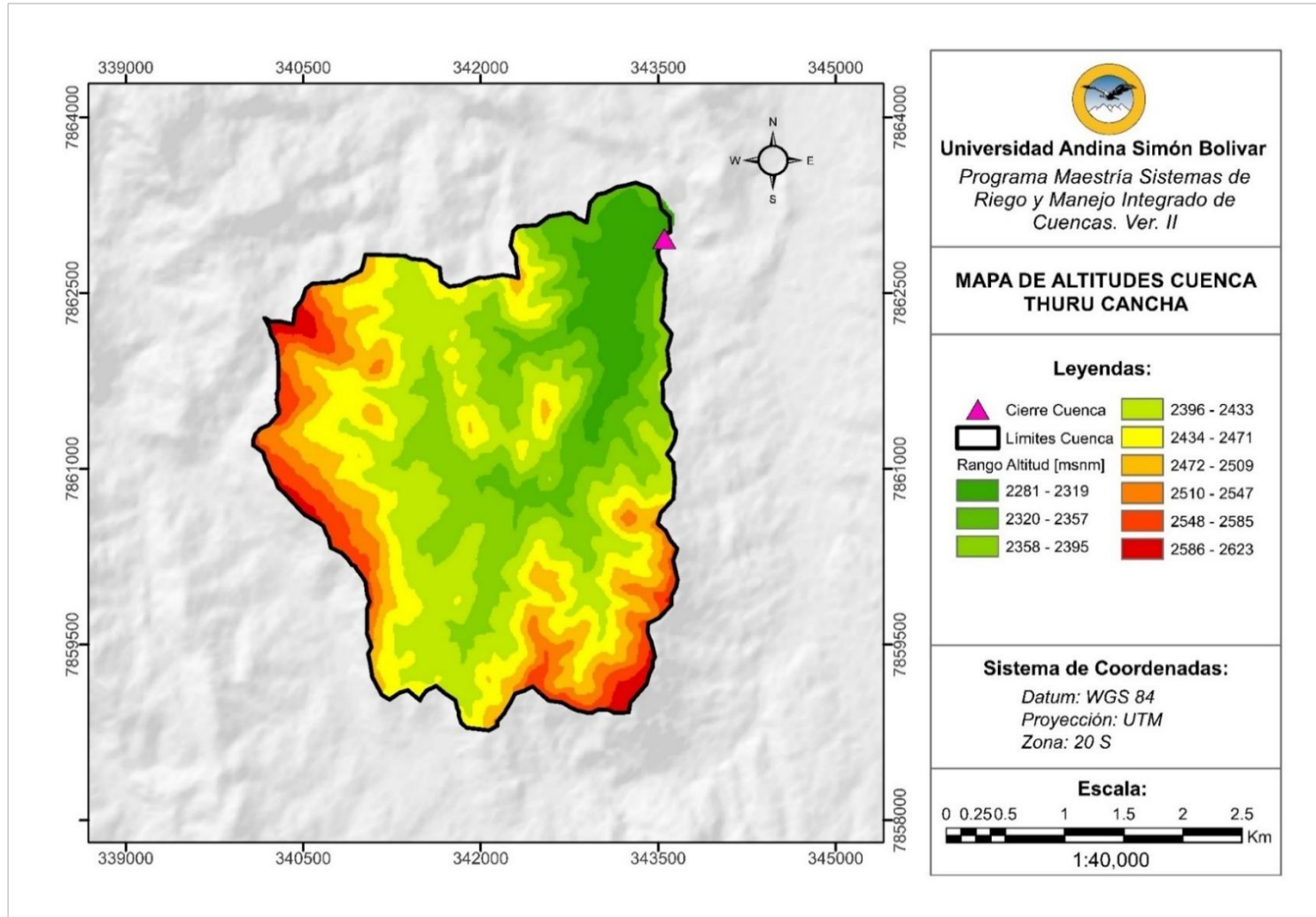
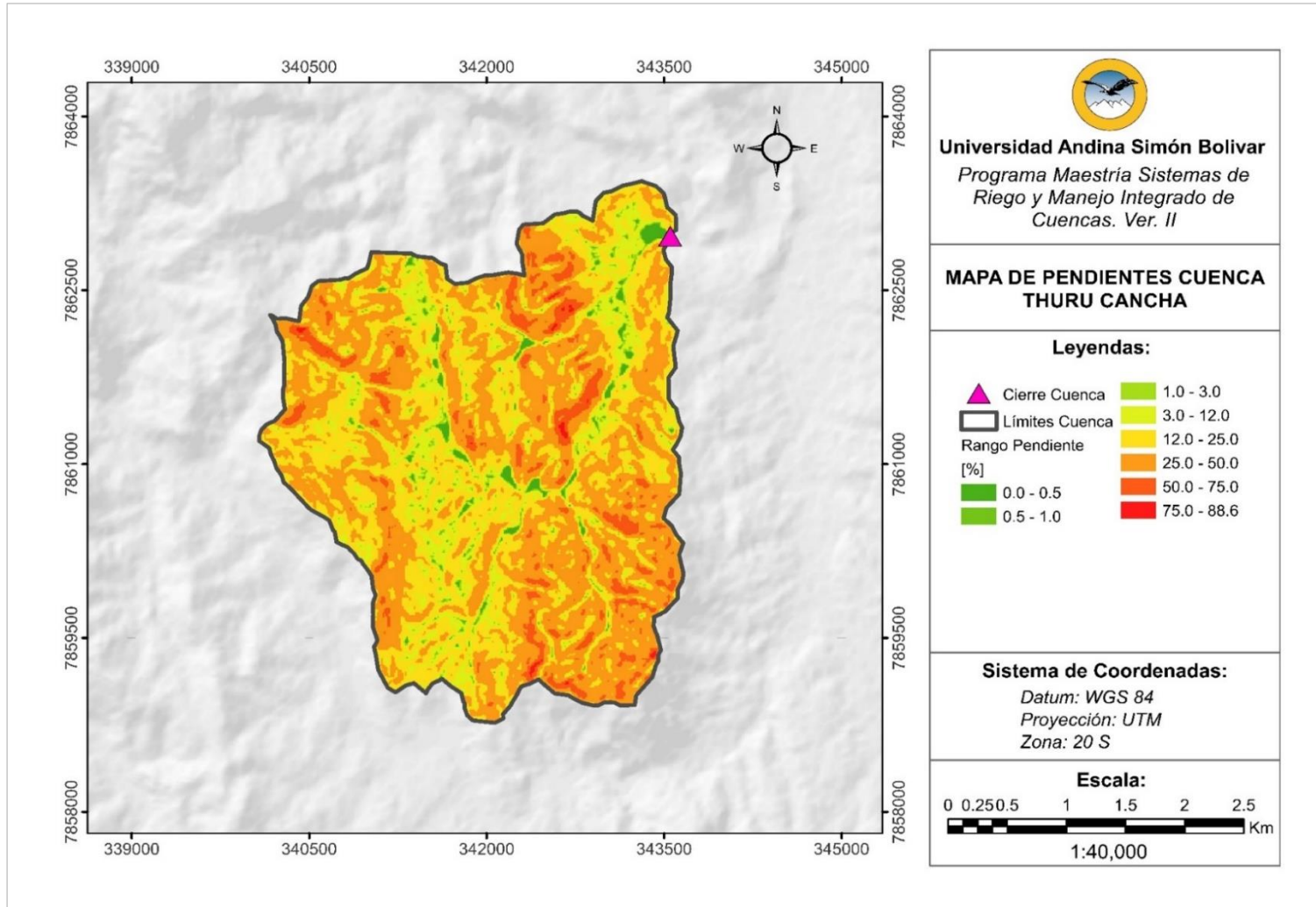
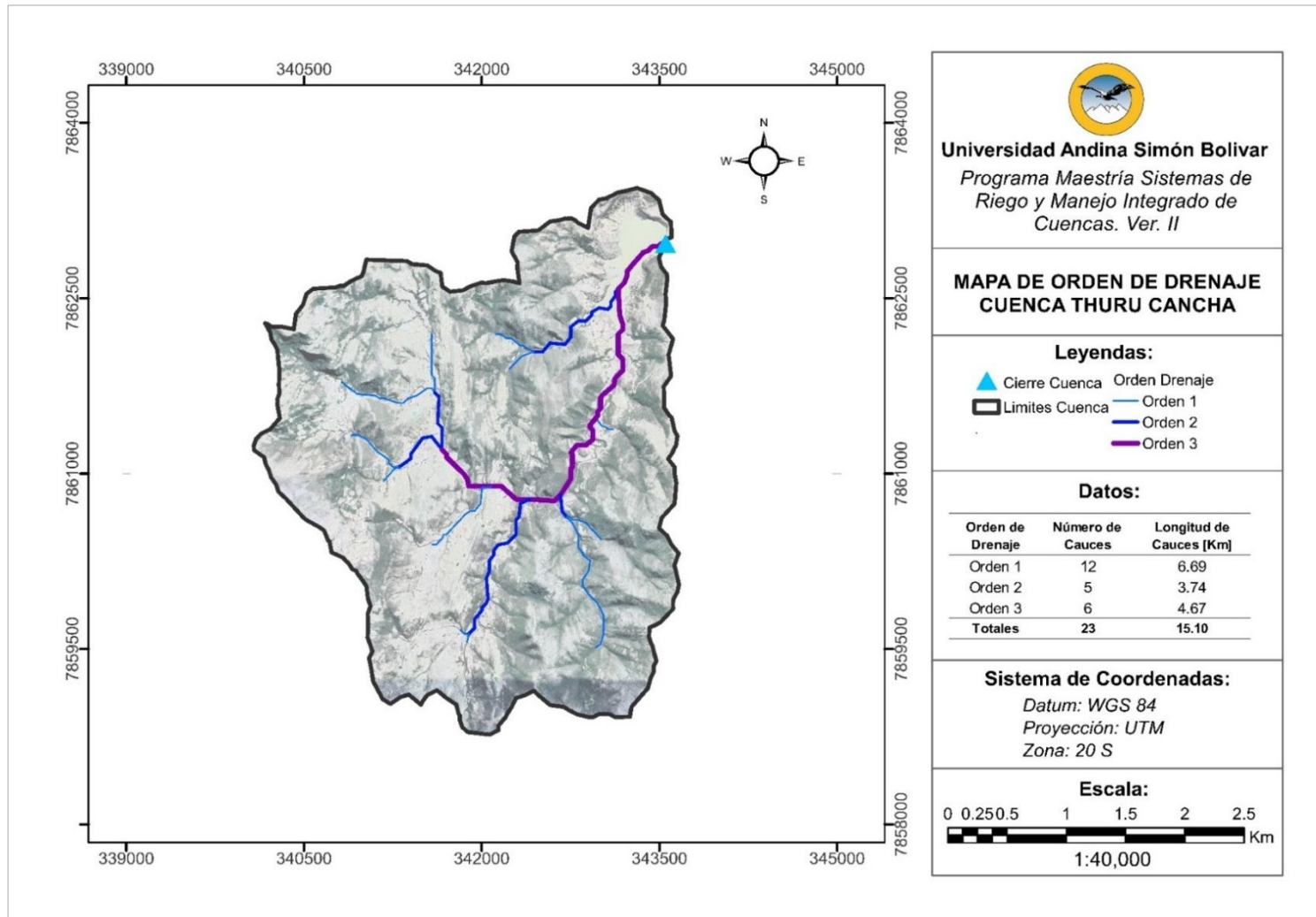


Figura E4. Mapa de Pendientes



**Figura E5. Mapa de Orden de Drenaje**



**Figura E6. Mapa del Río Principal**

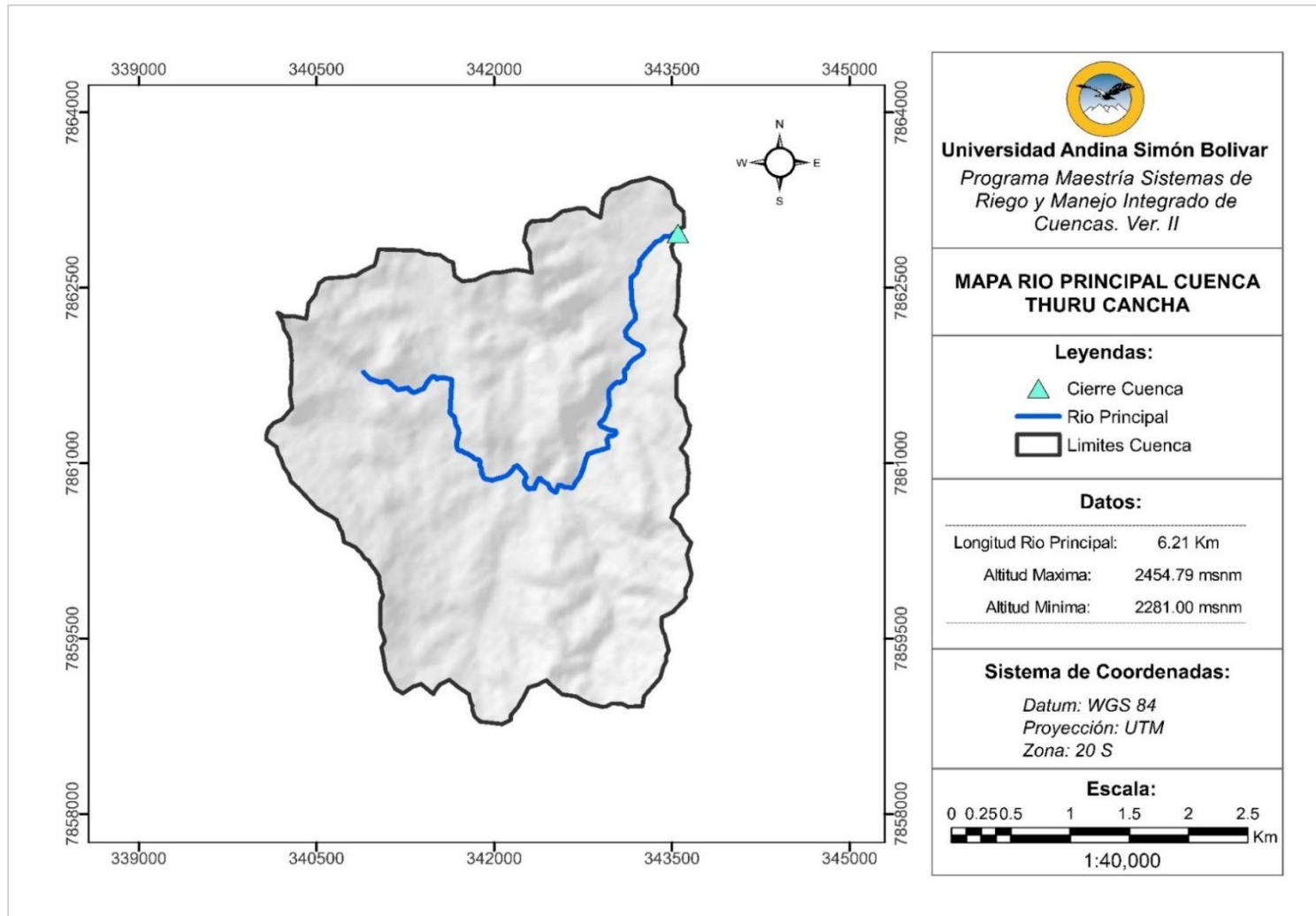
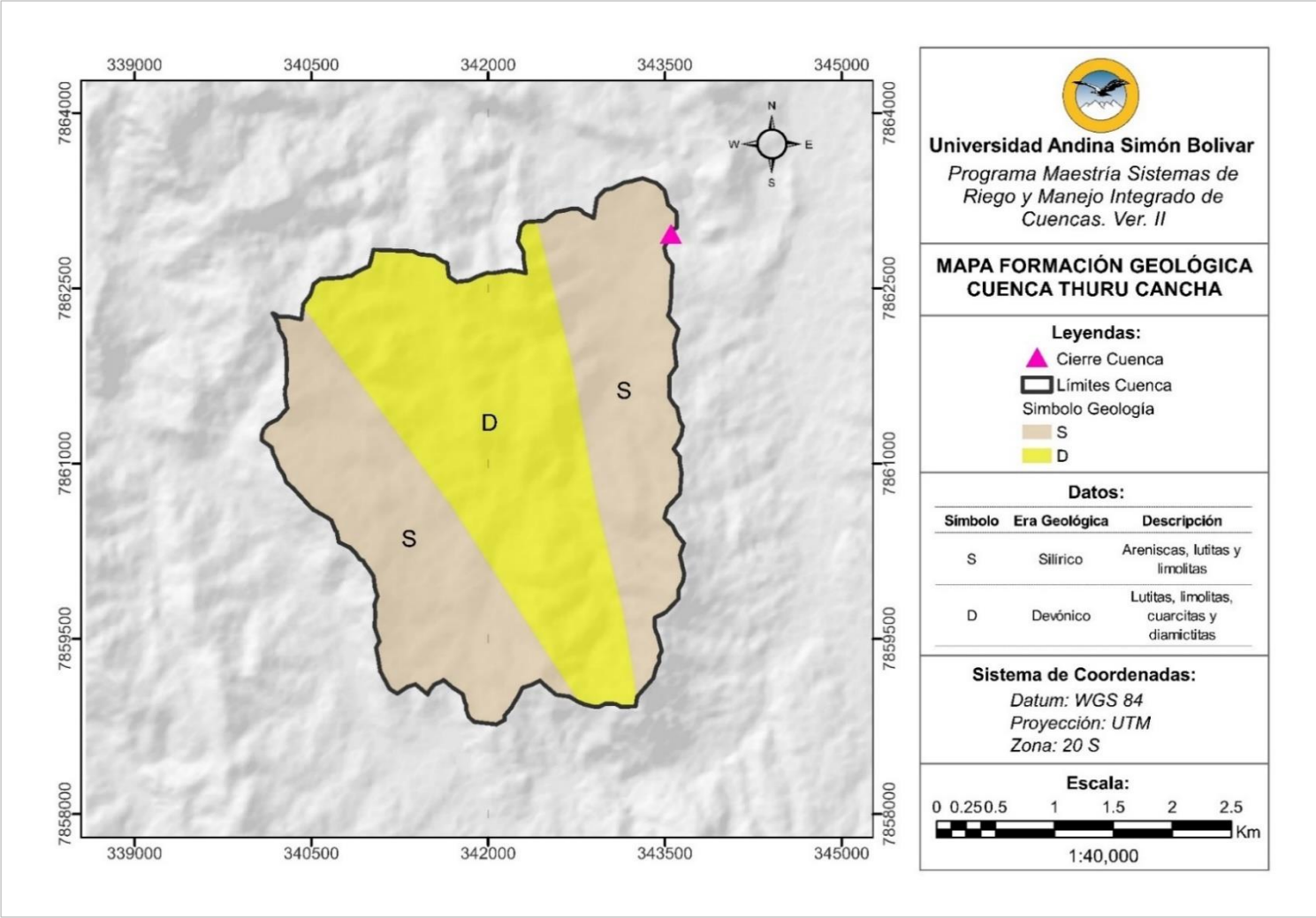
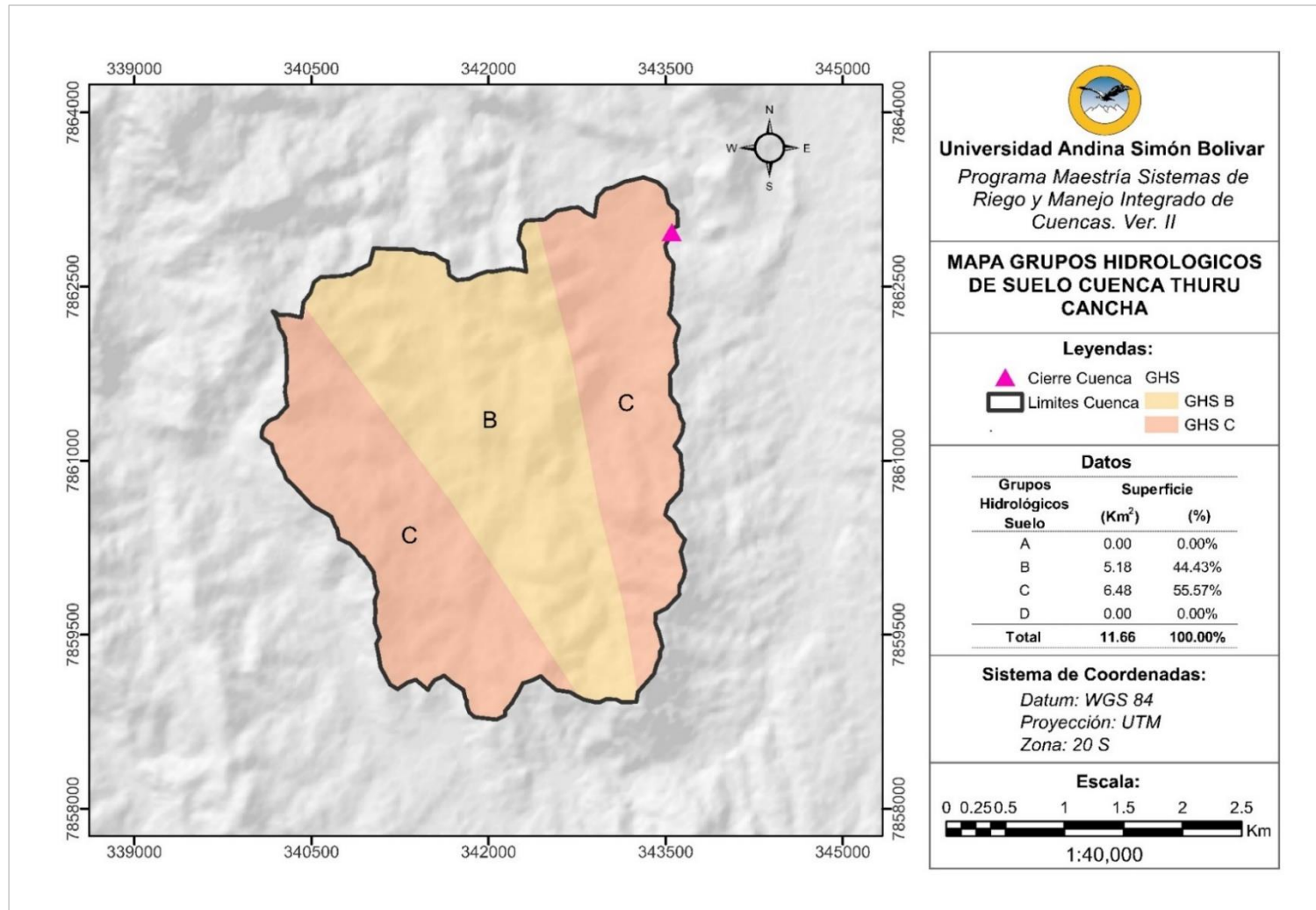


Figura E7. Mapa de Origen y Formación de Suelos



**Figura E8. Mapa de Grupos Hidrológicos de Suelo**





**Figura E9. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Octubre**

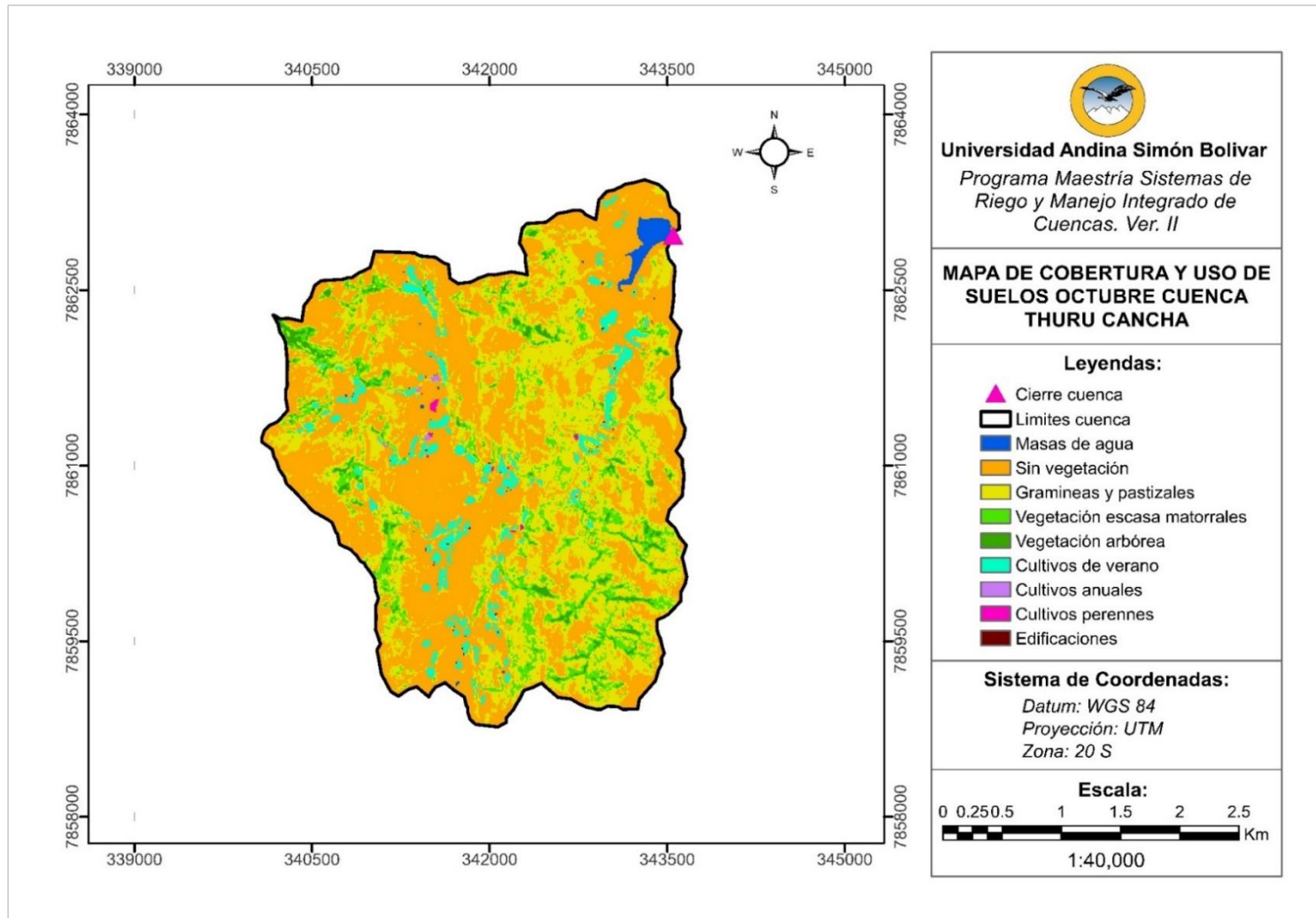
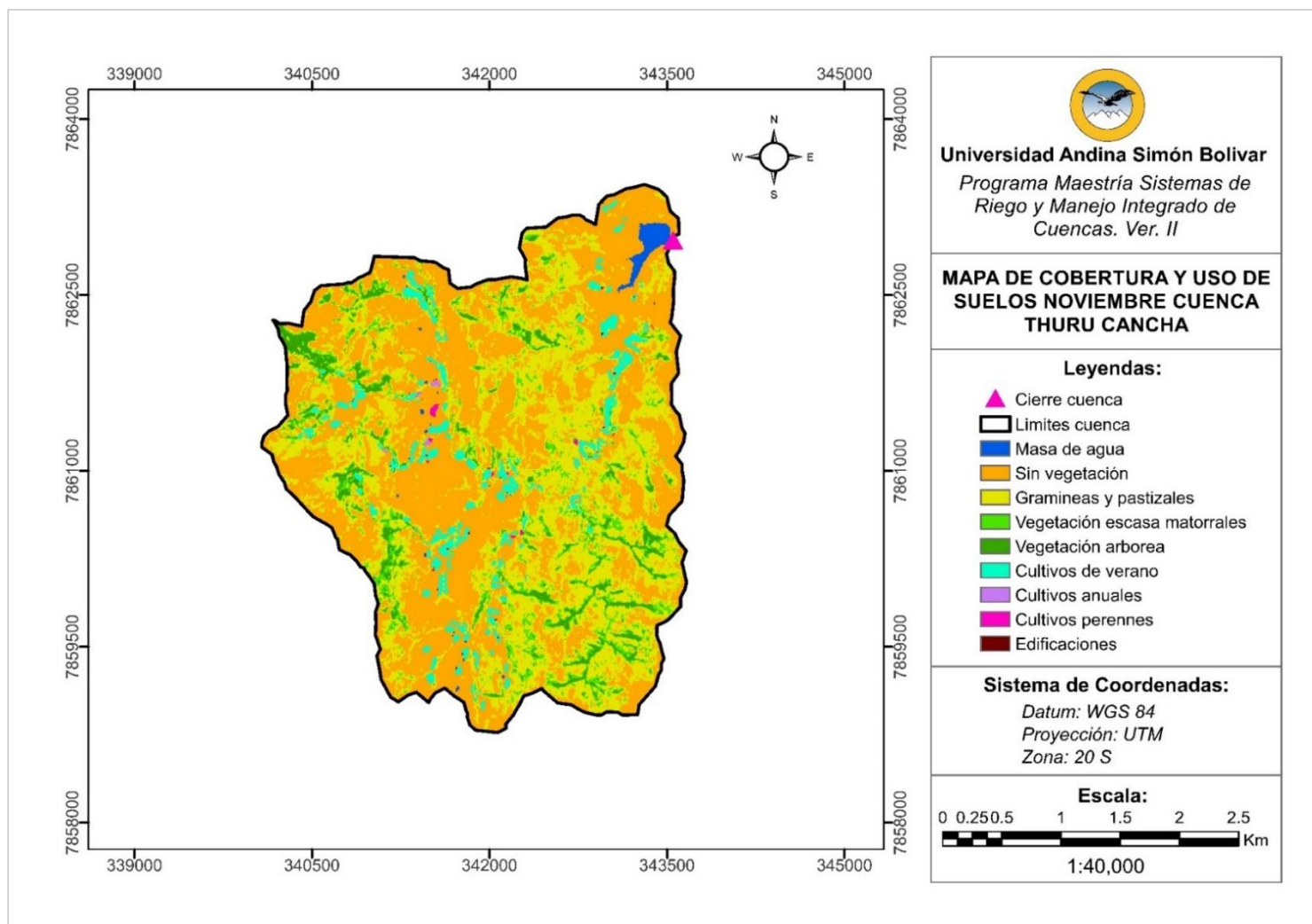


Figura E10. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Noviembre



**Figura E11. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Diciembre**

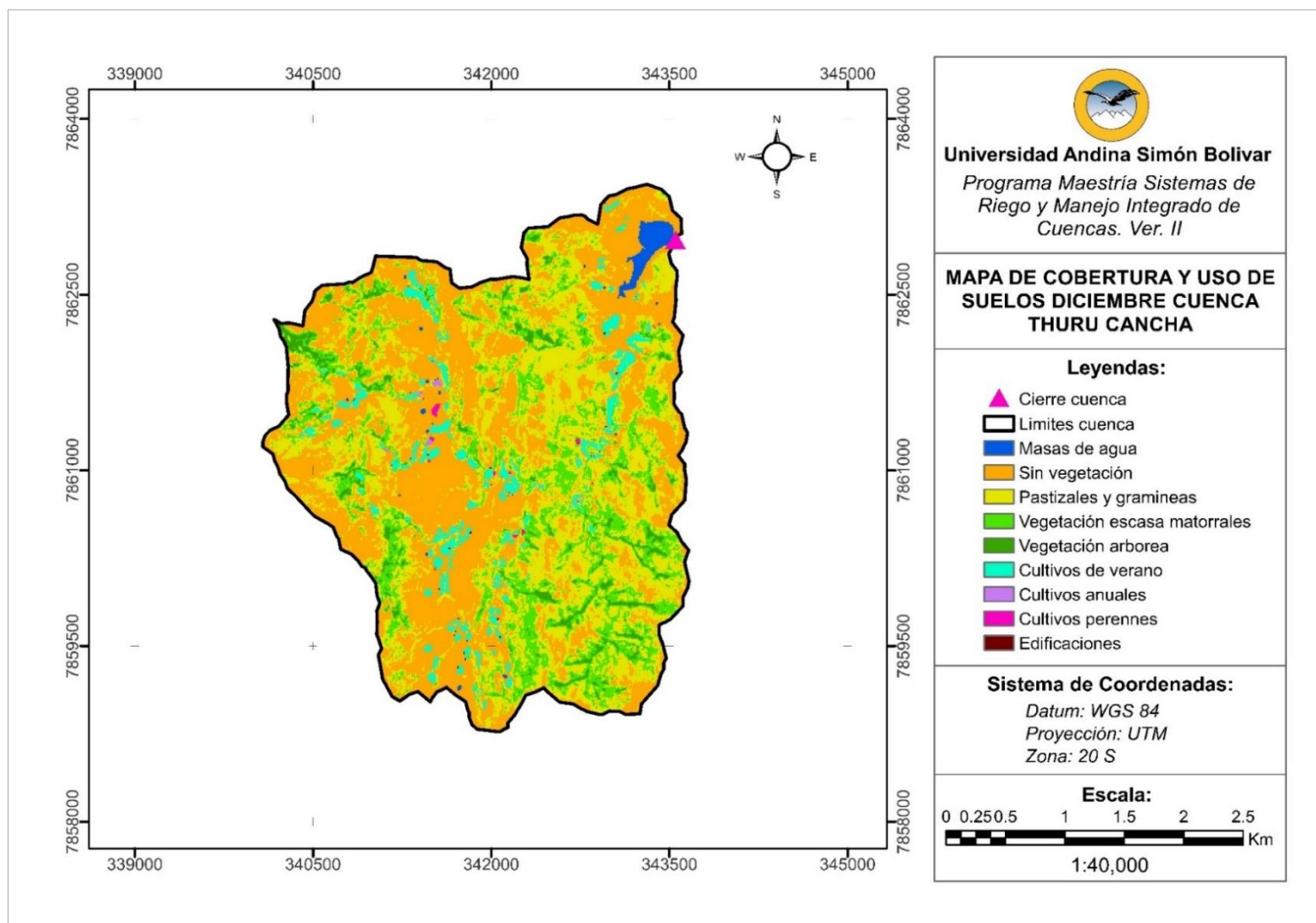
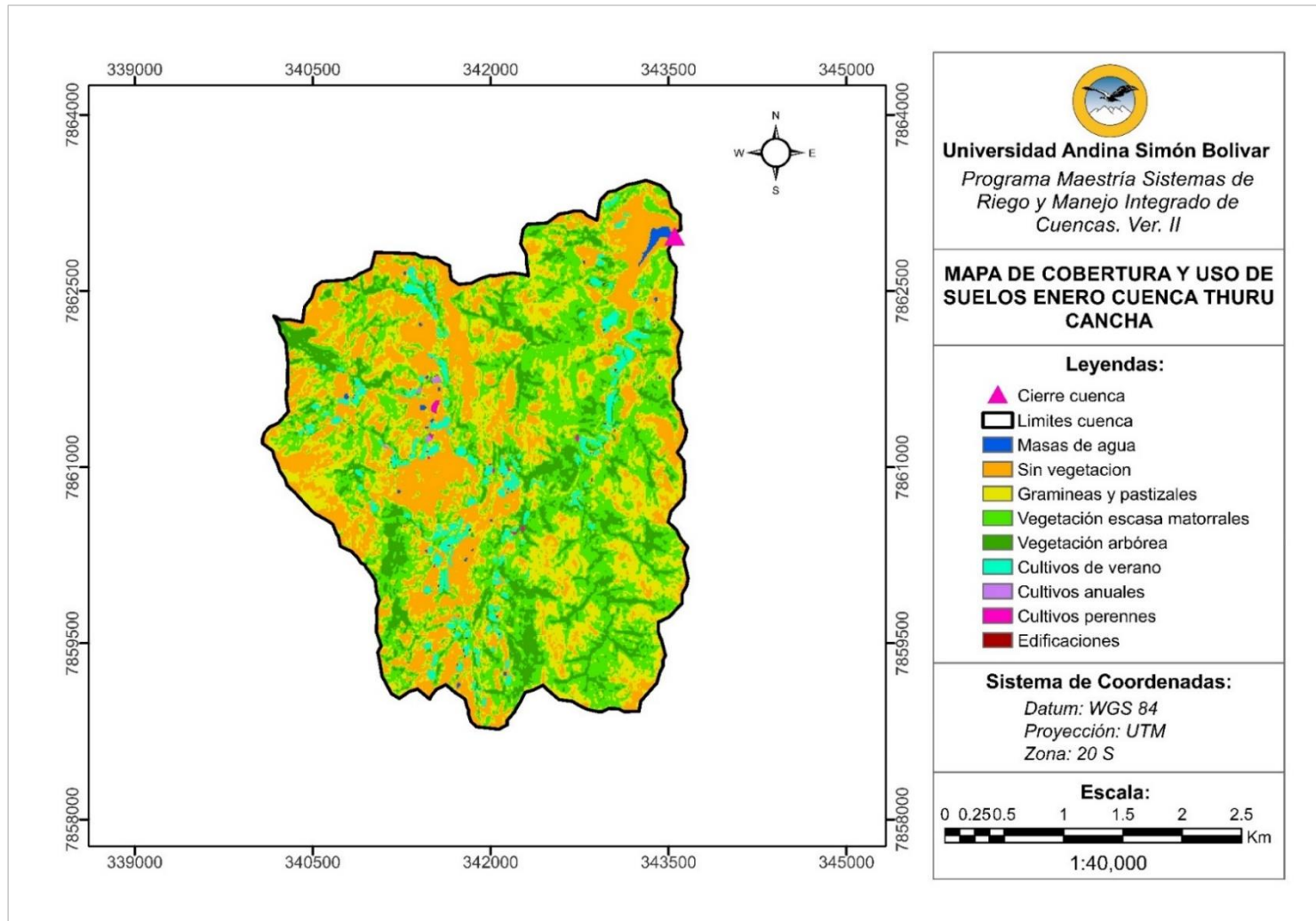


Figura E12. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Enero



**Figura E13. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Febrero**

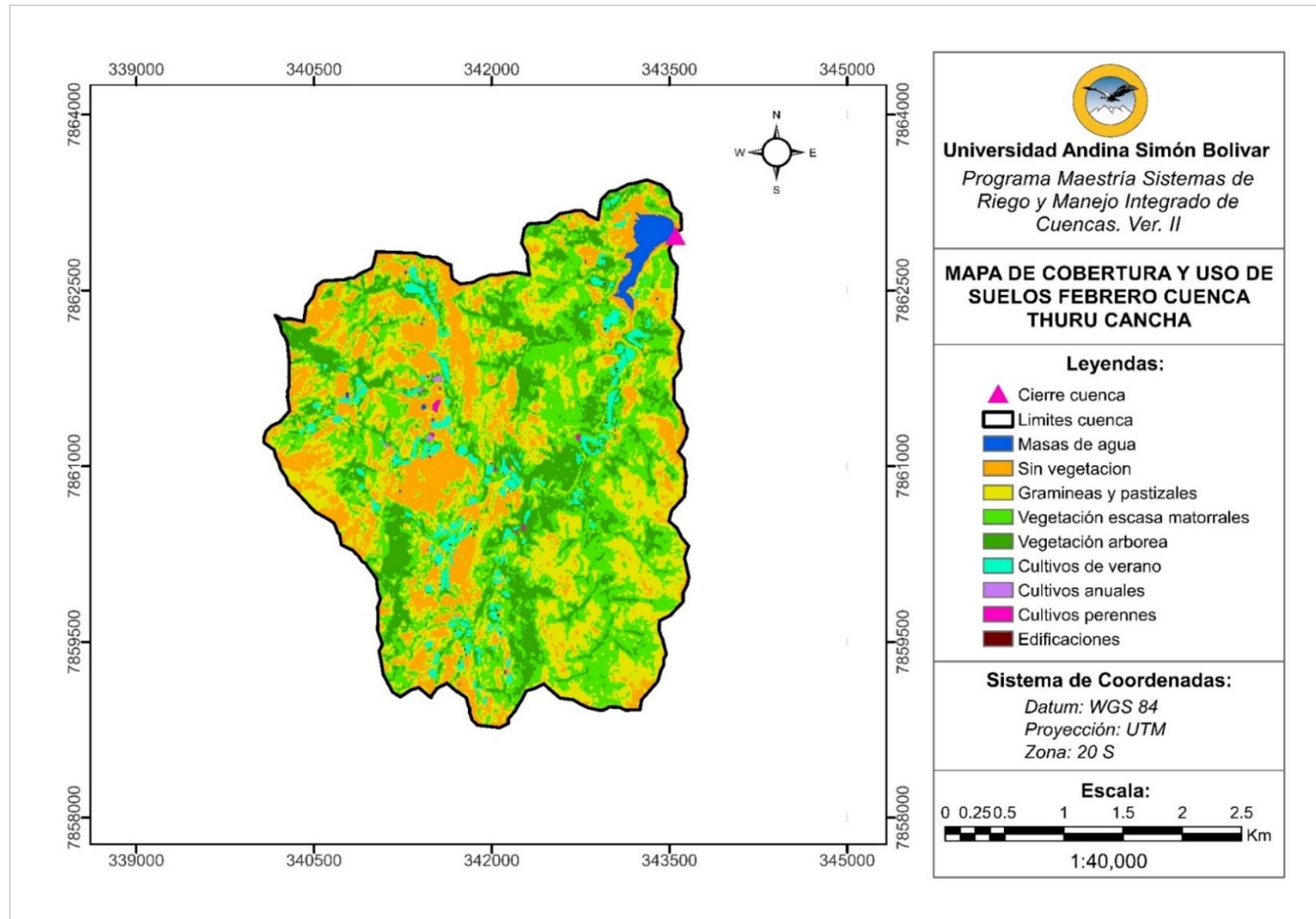
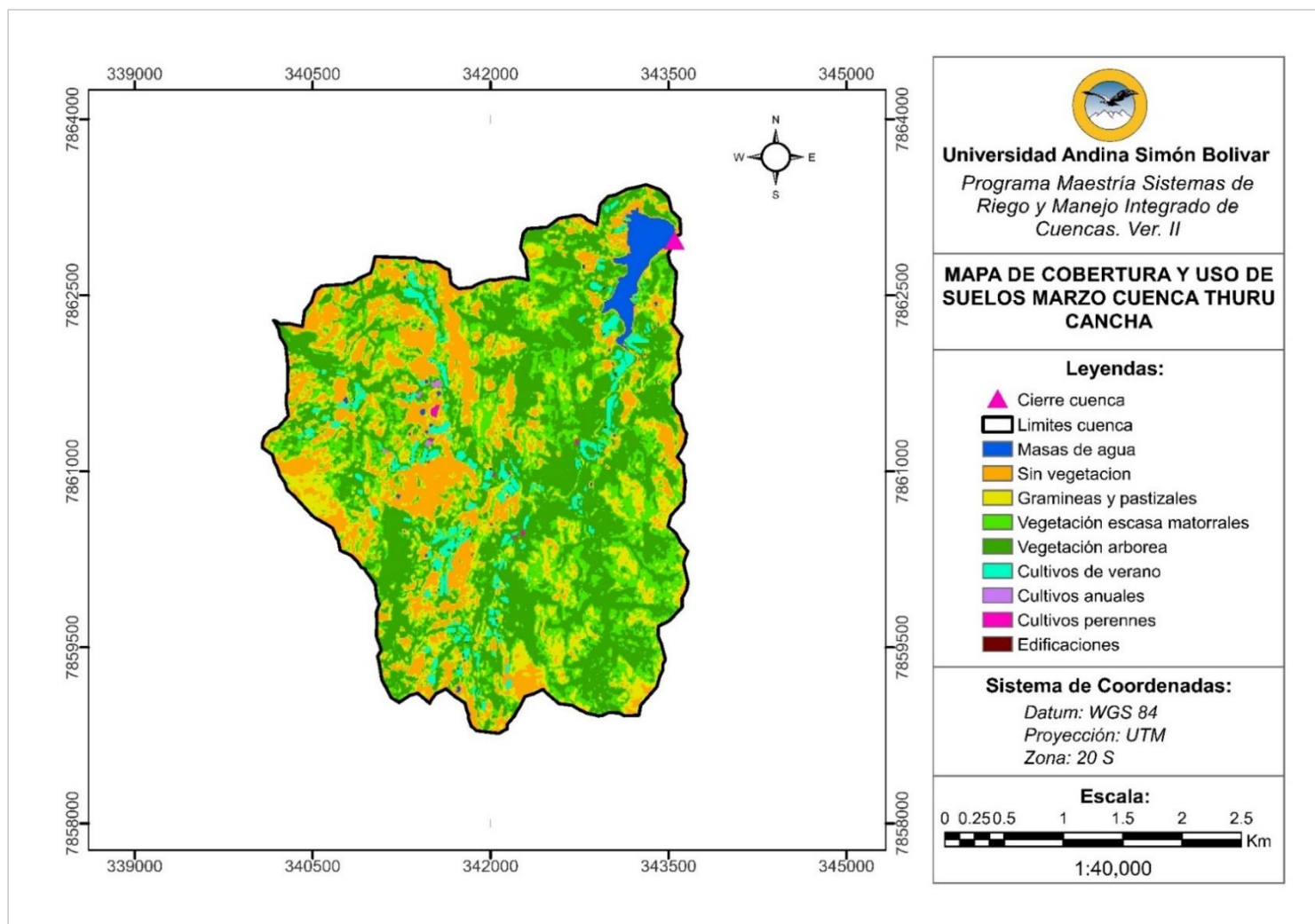
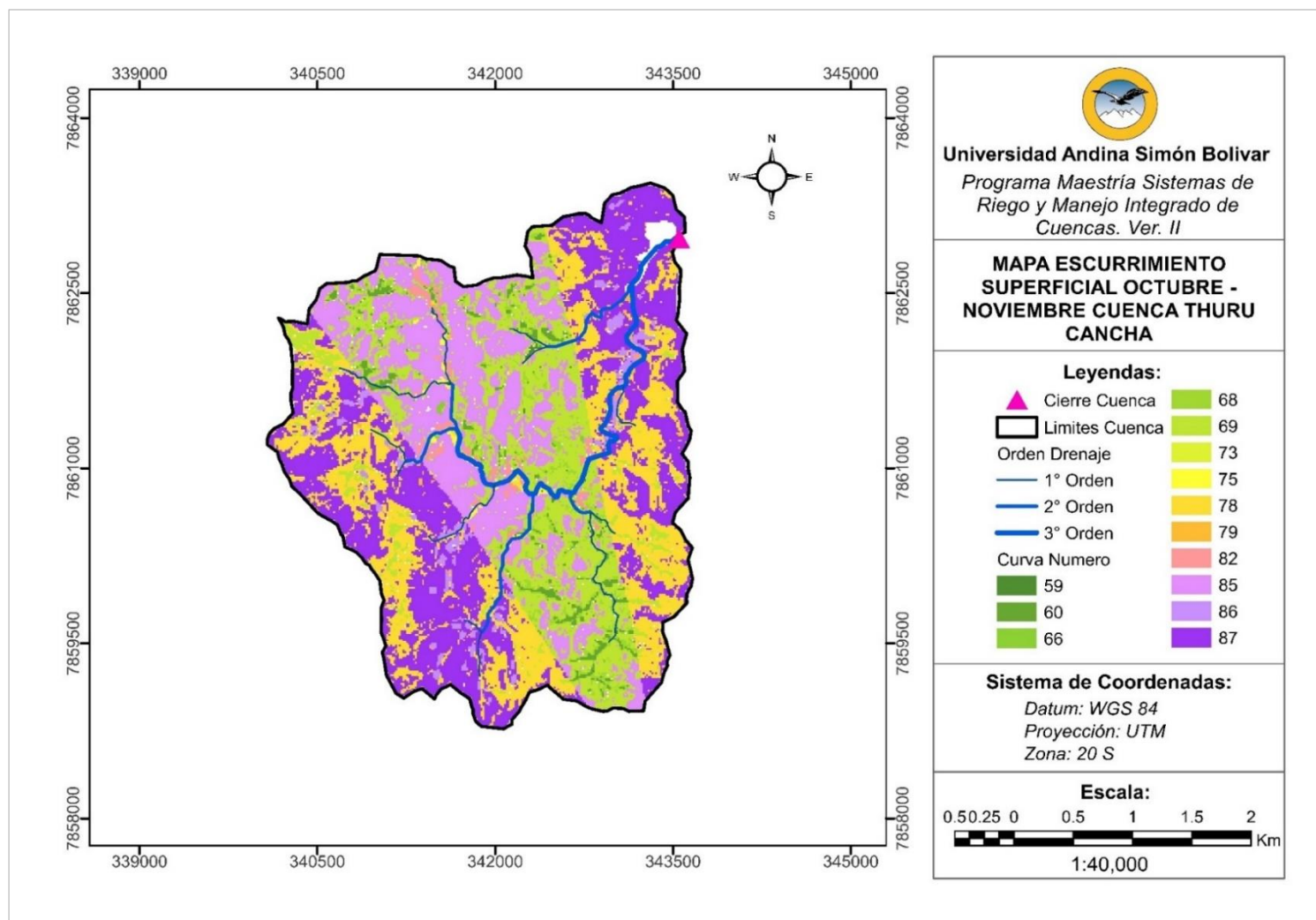


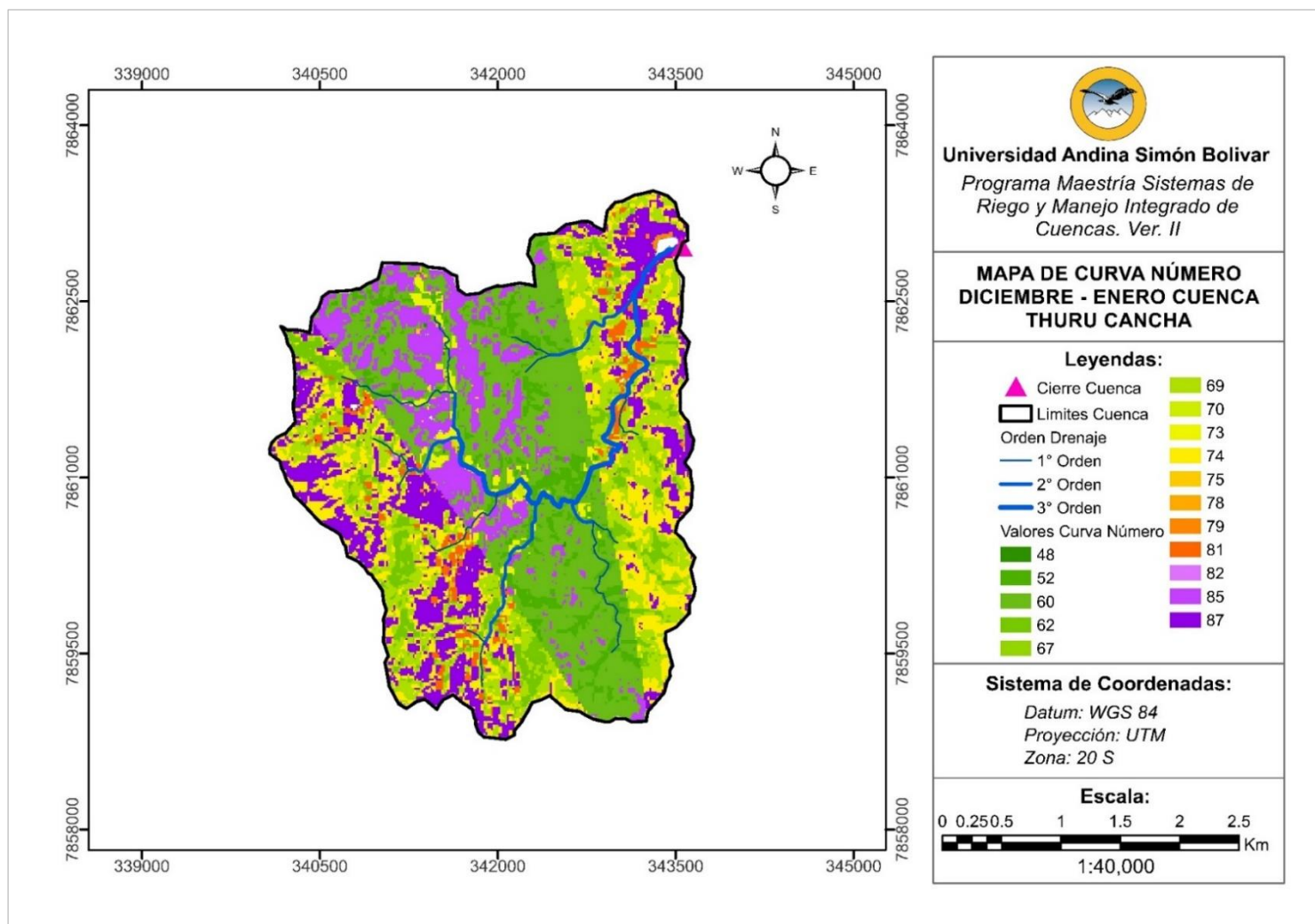
Figura E14. Mapa Cobertura y Uso de Suelos Marzo



**Figura E15. Mapa Curva Número Octubre – Noviembre**

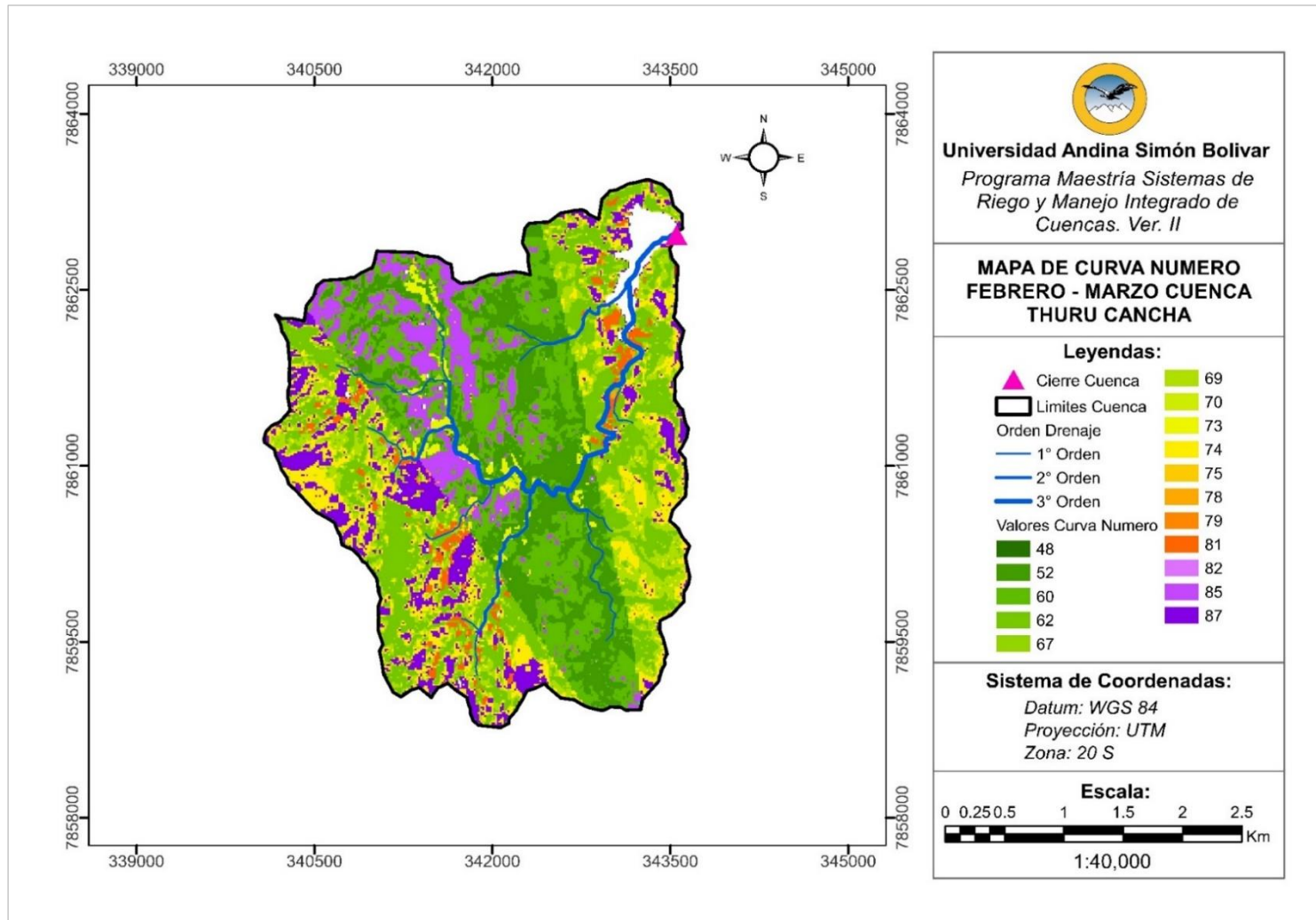


**Figura E16. Mapa Curva Número Diciembre – Enero**





**Figura E17. Mapa Curva Número Febrero – Marzo**



**Figura E18. Mapa Áreas Susceptibles a Deterioro**

