



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

**CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO TAHUANDO
Y ANÁLISIS SOBRE SU CAPACIDAD DE ESCURRIMIENTO DE AGUAS.**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

**LÍNEA 4. GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS
NATURALES**

SUBLINEA:

AMBIENTE Y BIODIVERSIDAD

AUTOR: ELÍAS SEBASTIÁN BENAVIDES ORBE

ASESOR: MSc.. DIEGO LEOPOLDO MEJÍA ROMO

Ibarra, 8 de octubre del 2023

Ibarra, 8 de octubre de 2023

MSc. Diego Leopoldo Mejía Romo

ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigente en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f).....

MSc. Diego Leopoldo Mejía Romo

C.C.: 1001912961

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):



(f).....

MsC. Diego Leopoldo Mejía Romo

C.C.: 1001912961



(f).....

MsC Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 1001743721



(f).....

MsC Paola Alexandra Chávez Guerrero

C.C.: 1002744090

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo ELÍAS SEBASTIÁN BENAVIDES ORBE, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 de Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 8 de octubre del 2023



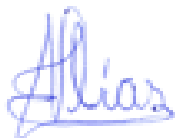
.....
f): Elías Sebastián Benavides Orbe

NOMBRES Y APELLIDOS ESTUDIANTE

C.C.: 1004470918

AUTORÍA

Yo, ELÍAS SEBASTIÁN BENAVIDES ORBE, portador de la cédula de ciudadanía N° 1004470918 declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.



f):

ELÍAS SEBASTIÁN BENAVIDES ORBE

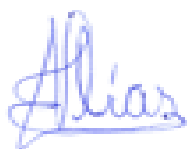
C.C.: 1004470918

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, ELÍAS SEBASTIÁN BENAVIDES ORBE, con C.C.: 1004470918, autor del trabajo de grado intitulado: CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO TAHUANDO Y ANÁLISIS SOBRE SU CAPACIDAD DE ESCURRIMIENTO DE AGUAS previo a la obtención del título profesional de Ingeniería Ambiental en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

- 1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
- 2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 8 de octubre del 2023



f):

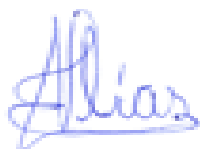
ELÍAS SEBASTIÁN BENAVIDES ORBE

C.C.: 1004470918

DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO TAHUANDO Y ANÁLISIS SOBRE SU CAPACIDAD DE ESCURRIMIENTO DE AGUAS, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 13 de enero del 2023

Para constancia firma:



f):

Elías Sebastián Benavides Orbe

Estudiante que ejecuta el trabajo de Titulación

C.C/ Pasaporte: 1004470918

Carrera: Ingeniería Ambiental

Ibarra, 8 de octubre del 2023

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado de forma especial a mi madre, quien como una estrella ha sido la luz que ha guiado mis pasos con paciencia y amor, y a quien amo con todo el corazón.

AGRADECIMIENTO

En este momento culminante, deseo expresar mi profunda gratitud a todas aquellas personas que han sido fundamentales en mi etapa como estudiante, sin su apoyo incondicional, orientación y aliento, este logro no habría sido posible.

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por brindarme la fortaleza y la guía necesarias a lo largo de este arduo proceso. Su presencia en mi vida ha sido mi luz en momentos de incertidumbre y mi fuerza en momentos de debilidad.

A mi familia, un pilar de amor y apoyo en cada etapa de mi vida, su dedicación inquebrantable y sus palabras de aliento han sido mi mayor inspiración. Este trabajo es un tributo a su amor y sacrificio incansable, en especial a mi prima Evelyn, quien, con gran solidaridad, facilitó la amortización e hizo posible el costeo de mis estudios universitarios.

A Lía, que ha estado en todo momento acompañándome con palabras de amor y apoyo, ha sido mi soporte y motor emocional.

A mis amigos, quienes han compartido risas, consejos y ánimo a lo largo de esta travesía académica, les doy las gracias. Su presencia ha hecho que cada paso del camino sea más ameno y significativo.

A mis profesores, quienes me han guiado con su sabiduría y experiencia, les agradezco por su dedicación en impartir conocimiento y en ayudarme a crecer como estudiante y como persona.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I	3
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO II	5
OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo general.....	5
2.2. Objetivos específicos	5
2.3. Pregunta de investigación	5
CAPÍTULO III.....	6
ESTADO DEL ARTE	6
3.1. Cuencas hidrográficas.....	6
3.1.1 Cuencas hidrográficas en la sierra ecuatoriana.....	6
3.1.2 Cuenca del Río Tahuando.....	7
3.2. Parámetros geomorfológicos	7
3.2.1 Clasificación de cuencas hidrográficas.....	8
3.2.1.1 Por su tamaño.....	8
3.2.1.2 Por el escurrimiento de sus aguas	9
3.2.1.3 Por su uso.....	12
3.2.2. Parámetros geomorfológicos generales	13
3.2.2.1 Área de la cuenca (A)	13
3.2.2.2 Longitud del cauce principal (L), perímetro (P), y ancho (W)	14

3.2.2.3 Desnivel altitudinal (DA).....	14
3.2.3 Parámetros geomorfológicos de forma.....	15
3.2.4 Parámetros geomorfológicos de relieve.....	15
3.2.4.1 Pendiente media del cauce.....	15
3.2.4.2 Pendiente media o promedio de la cuenca.....	16
3.2.4.3 Altura media	16
3.2.5 Curva hipsométrica.....	17
3.2.6 Características de la red de drenaje.....	17
3.2.6.1 Hidráulica de la red fluvial	17
3.2.6.2 Perfil longitudinal	18
3.2.6.3 Orden de red fluvial	18
3.3 Deslizamientos e inundaciones.....	19
3.3.1 Factores condicionantes.....	19
3.3.1.1 Pendiente.....	20
3.3.1.2 Cobertura vegetal.....	20
3.3.1.3 Litología.....	21
3.3.1.4 Permeabilidad	22
3.3.2 Factores detonantes.....	22
3.3.2.1 Precipitación	22
3.3.2.2 Sismicidad.....	23
3.4 Herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG).....	24
3.4.1 Usos de SIG en factores ambientales.....	24
3.4.2 ArcGis.....	25
3.5 Análisis de riesgos utilizando SIG.....	25

CAPÍTULO IV	27
MATERIALES Y MÉTODOS	27
4.1. Materiales.....	27
4.2. Métodos	27
4.2.1. Caracterización geomorfológica de la cuenca hidrográfica.....	27
4.2.1.1 Parámetros de forma	28
4.2.1.1.1 Factor de forma de Horton.....	28
4.2.1.1.2 Índice de alargamiento.....	29
4.2.1.1.3 Razón de elongación (Re).....	30
4.2.1.1.4 Frecuencia de altitudes.....	31
4.2.1.1.5 Índice de compacidad o índice de Gravelius	31
4.2.1.1.6 Coeficiente de masividad.....	32
4.2.1.1.7 Curva hipsométrica	33
4.2.1.2 Parámetros físicos	34
4.2.1.2.1 Altitudes.....	34
4.2.1.2.2 Pendiente promedio de la cuenca.....	35
4.2.1.2.3 Pendiente media del cauce	35
4.2.1.3 Parámetros de la red de drenaje	36
4.2.1.3.1 Pendiente promedio del cauce principal	36
4.2.1.3.2 Clasificación de la red de drenaje según Strahler	36
4.2.1.3.3 Coeficiente de sinuosidad hidráulico	37
4.2.1.3.4 Tiempo de concentración.....	38
4.2.1.3.5 Tiempo de concentración método de Kirpich.....	39

4.2.1.3.6 Tiempo de concentración método de California Highways and Public Works de EE.UU.....	39
4.2.1.3.7 Relación de bifurcación	39
4.2.1.3.8 Densidad de drenaje.....	40
4.2.1.3.9 Extensión media de escurrimiento superficial	40
4.2.1.3.10 Frecuencia de ríos	41
4.2.1.3.11 Coeficiente de torrencialidad	42
4.2.2 Análisis de riesgos para deslizamientos e inundaciones.....	42
4.2.2.1 Método heurístico	43
4.2.2.2 Método Mora Vahrson para deslizamientos	44
4.2.2.2.1 Valoración general de los factores	45
4.2.2.2.2 Valoración de pendiente	46
4.2.2.2.3 Valoración de cobertura vegetal	47
4.2.2.2.4 Valoración de litología.....	51
4.2.2.2.5 Valoración de permeabilidad	53
4.2.2.2.6 Valoración de precipitación	54
4.2.2.2.7 Valoración de sismicidad.....	55
4.2.3 Método de la SNGR para susceptibilidad a inundaciones	56
4.2.3.1 Densidad de drenaje.....	59
4.2.3.2 Cobertura vegetal.....	60
4.2.3.3 Litología.....	62
4.2.3.4 Precipitación	63
CAPÍTULO V	65
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65

5.1. Parámetros geomorfológicos de forma	65
5.1.1 Tamaño	65
5.1.2 Tipo de cuenca por evacuación de agua	66
5.1.3 Factor de forma (Horton)	67
5.1.4 Coeficiente de compacidad – Índice de Gravelius.....	67
5.1.5 Razón de elongación.....	67
5.1.6 Frecuencia de altitudes.....	68
5.1.7 Curva hipsométrica	69
5.1.8 Coeficiente de masividad.....	70
5.2 Parámetros geomorfológicos físicos de la cuenca	70
5.2.1 Altitud	71
5.2.2 Cota máxima y mínima.....	71
5.2.3 Pendiente promedio de la cuenca.....	71
5.3 Propiedades de la red hídrica	72
5.3.1 Pendiente promedio del cauce principal	72
5.3.2 Orden de red hídrica	73
5.3.3 Sumatoria de las longitudes de cada Orden de la Red Hídrica	74
5.3.4 Relación de bifurcación	74
5.3.5 Coeficiente de sinuosidad hidráulico.....	75
5.3.6 Tiempo de concentración.....	76
5.3.7 Densidad de drenaje.....	76
5.3.8 Extensión media de escurrimiento superficial	77
5.3.9 Frecuencia de ríos	77
5.3.10 Coeficiente de torrencialidad	78

5.4 Resumen de los resultados de los parámetros geomorfológicos de la cuenca.....	79
5.5 Mapas temáticos – Susceptibilidad ante deslizamientos e inundaciones.....	82
5.5.1 Pendiente.....	82
5.5.2 Relieve relativo.....	85
5.5.3 Litología.....	88
5.5.4 Permeabilidad.....	93
5.5.5 Cobertura vegetal.....	96
5.5.6 Isoyetas.....	100
5.5.7 Isosistas.....	103
5.5.8 Susceptibilidad ante deslizamientos.....	106
5.5.9 Susceptibilidad ante inundaciones.....	111
5.5.10 Discusión de resultados de zonas susceptibles ante deslizamientos e inundaciones.	115
CAPÍTULO VI.....	116
CONCLUSIONES.....	116
CAPÍTULO VII.....	117
RECOMENDACIONES.....	117
CAPÍTULO VIII.....	118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
ANEXOS.....	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de cuencas hidrográficas por su tamaño	9
Tabla 2	Clasificación de cuencas por su área	13
Tabla 3	Relación entre pendiente media y tipo de relieve	16
Tabla 4	Parámetros de forma sin cálculos previos	28
Tabla 5	Clasificación de factor de forma.....	29
Tabla 6	Clasificación de índice de alargamiento	30
Tabla 7	Razón de elongación y forma de la cuenca	31
Tabla 8	Clasificación de coeficiente de Gravelius.....	32
Tabla 9	Rangos del coeficiente de masividad.....	32
Tabla 10	Parámetros de altitudes	34
Tabla 11	Niveles de la pendiente media de la cuenca	35
Tabla 12.	Tipos de canal de acuerdo a la sinuosidad.....	38
Tabla 13	Clases de densidad de drenaje	41
Tabla 14	Valoración General para el Método Mora Vahrson.....	45
Tabla 15	Categorización del factor pendiente	46
Tabla 16.	Ponderación de pendiente	47
Tabla 17	Categorización de cobertura vegetal.....	48

Tabla 18 Ponderación de cobertura vegetal	49
Tabla 19 Categorización de litología	51
Tabla 20 Ponderación de litología para el presente estudio.....	52
Tabla 21 Categorización de permeabilidad	53
Tabla 22 Ponderación de permeabilidad.....	54
Tabla 23 Ponderación de precipitación.....	54
Tabla 24 Clasificación de sismicidad	55
Tabla 25 Ponderación de sismicidad	56
Tabla 26 Clasificación de parámetros para susceptibilidad de inundaciones SNI.....	58
Tabla 27 Ponderación de parámetros para susceptibilidad de inundaciones	58
Tabla 28 Ponderación de pendiente para el cálculo de susceptibilidad ante inundaciones .	59
Tabla 29 Ponderación de relieve relativo para el cálculo de susceptibilidad ante inundaciones	60
Tabla 30 Ponderación de cobertura vegetal para inundaciones.....	60
Tabla 31 Ponderación de litología	62
Tabla 32 Ponderación de precipitación para inundaciones.....	63
Tabla 33 Factor de forma horton	67
Tabla 34 Índice de gravelius.....	67

Tabla 35 Razón de elongación.....	68
Tabla 36 Coeficiente de masividad.....	70
Tabla 37 Parámetros de altitud	71
Tabla 38 Cota máxima y mínima.....	71
Tabla 39 Pendiente promedio de la cuenca	72
Tabla 40 Longitud de cada orden de red hídrica	74
Tabla 41 Relación de bifurcación	74
Tabla 42. Registro de coeficiente de sinuosidad.....	75
Tabla 43 Resultados de tiempo de concentración.....	76
Tabla 44 Registro de densidad de drenaje	76
Tabla 45 Registro de extensión media de escurrimiento superficial	77
Tabla 46 Registro de frecuencia de ríos.....	77
Tabla 47 Registro de coeficiente de torrencialidad	78
Tabla 48 Resumen de resultados de parámetros geomorfológicos de la cuenca.	79
Tabla 49 Pendiente de la zona de estudio	82
Tabla 50 Relieve relativo de la zona de estudio	85
Tabla 51 Unidades litológicas de la zona de estudio	88
Tabla 52 Permeabilidad de la zona de estudio.....	93

Tabla 53 Cobertura vegetal de la zona de estudio	96
Tabla 54 Datos de precipitación de la zona de estudio	100
Tabla 55 Datos de sismicidad de la zona de estudio.....	103
Tabla 56 Jerarquización de factores condicionantes y detonantes relacionados a la susceptibilidad de deslizamientos.....	106
Tabla 57 Descripción de la superficie del grado de susceptibilidad ante deslizamientos .	108
Tabla 58 Jerarquización de factores condicionantes y detonantes relacionados a la susceptibilidad de inundaciones.....	111
Tabla 59 Área del grado de susceptibilidad ante inundaciones de la zona de estudio	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de cuenca endorreica.....	10
Figura 2 Ejemplo de cuenca exorreica.....	11
Figura 3 Ejemplo de cuenca Arreica.....	<u>12</u>
Figura 4 Tipos de curva hipsométrica.....	33
Figura 5 Ejemplo de método de Strahler	37
Figura 6 Metodología para amenaza por inundaciones SNI.....	57
Figura 7. Mapa de parámetros de tamaño de la zona de estudio	66
Figura 8 Frecuencia de altitudes	68
Figura 9 Curva hipsométrica.....	69
Figura 10 Mapa de orden hídrico de la cuenca del Río Tahuando	73
Figura 11 Elementos para el cálculo de Sinuosidad Hidráulico	75
Figura 12 Rangos de pendiente y área de la cuenca	83
Figura 13 Mapa de pendientes de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando	84
Figura 14 Área de rangos de relieve relativo	86
Figura 15 Mapa de relieve relativo de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando	87
Figura 16 Distribución gráfica de las unidades litológicas de acuerdo con el porcentaje de extensión del área.....	91

Figura 17. Mapa de unidades litológicas de la cuenca del Río Tahuando	92
Figura 18 Distribución gráfica de la permeabilidad de acuerdo con el porcentaje adquirido de la extensión del área.....	94
Figura 19 Mapa de permeabilidad de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando	95
Figura 20 Distribución gráfica de la Cobertura Vegetal de acuerdo con el porcentaje adquirido de la extensión del área.....	98
Figura 21 Mapa de cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando.....	99
Figura 22 Distribución gráfica de Isoyetas de acuerdo con el porcentaje adquirido de la extensión del área.....	101
Figura 23 Mapa de isoyetas de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando	102
Figura 24 Distribución gráfica de Isosistas de acuerdo con el porcentaje adquirido de la extensión del área.....	104
Figura 25 Mapa de isosistas de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando	105
Figura 26 Mapa temático de susceptibilidad ante deslizamientos	110
Figura 27 Mapa temático de susceptibilidad ante inundaciones.....	114

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Mapa de ubicación de la cuenca del Río Tahuando	130
Anexo 2 Raster Calculator para susceptibilidad ante deslizamientos.....	131
Anexo 3 Raster Calculator para susceptibilidad ante inundaciones	131
Anexo 4 Cálculo de factores condicionantes y detonantes en la susceptibilidad ante deslizamientos.....	131
Anexo 5 Cálculo de factores en la susceptibilidad ante inundaciones	131

RESUMEN

La cuenca del Río Tahuando se encuentra a lo largo de la cordillera oriental de la sierra norte del Ecuador, constituye una zona de influencia socioambiental debido a que sus aguas atraviesan varios asentamientos rurales y urbanos dentro de la provincia de Imbabura, frente a esta problemática, este estudio busca caracterizar la geomorfología y conocer la dinámica de escurrimiento de aguas de la cuenca e identificar zonas de amenaza o riesgo dentro de esta, a través de mapas temáticos haciendo uso de un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 10.7.1). Para el presente estudio se analizaron las propiedades de forma, físicas y de red hídrica de la cuenca hidrográfica, cuyos resultados permitieron conocer sus características geomorfológicas y comprender el funcionamiento de su red de drenaje, como resultado final se obtuvo que el escurrimiento de aguas dentro de la cuenca se produce de forma moderada, siendo así que se trata de una cuenca en equilibrio o fase de madurez lo cual indica un bajo nivel erosivo y sedimentario, con respecto a la amenaza ante riesgos, se observó que, las zonas de mayor grado ante la susceptibilidad de deslizamientos se concentran en mayor magnitud en la cuenca alta, es decir la zona montañosa, mientras que las zonas de mayor grado ante inundaciones se distribuyen en mayor medida entre los principales causes de la red hídrica.

Palabras clave: Caracterización geomorfológica, ArcGIS, hidrografía, drenaje, riesgos

ABSTRACT

The Tahuando River Basin runs along the eastern range of the northern “Sierra region” of Ecuador. It constitutes an area of socio-environmental influence as its waters flow through several rural and urban settlements within the province of Imbabura. In response to this issue, this study aims to characterize the geomorphology and understand the water runoff dynamics of the basin, as well as identify areas of threat or risk within it, using thematic maps generated through Geographic Information System (GIS) technology (ArcGIS 10.7.1). This study analyzed the shape, physical properties, and hydrological network of the watershed, the results of which provided insights into its geomorphological characteristics and the functioning of its drainage network, the final result indicates that water runoff within the basin occurs moderately, suggesting it is a basin in equilibrium or a mature phase, which implies a low erosive and sedimentary potential. Concerning the threat of risks, it was observed that the areas most susceptible to landslides are concentrated primarily in the upper basin, i.e., the mountainous area, while areas with a higher susceptibility to flooding are more widespread within the main channels of the hydrological network.

Keywords: Geomorphological characterization, ArcGIS, hydrography, drainage, risks

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los niveles elevados de crecimiento de la población, el rápido proceso de urbanización, el cambio climático y la irregularidad en las precipitaciones y su intensidad dificultan la gestión adecuada y el almacenamiento eficiente de los recursos hídricos (Deepika et al., 2018), por eso es necesario una comprensión más amplia de los factores que intervienen en una cuenca hidrológica. Venkatesh y Anshumali (2019), mencionan que el estudio de la geomorfología del sistema de drenaje mejora la comprensión de la formación del relieve, las propiedades físicas del suelo, las características de la erosión y la descarga de escorrentía.

La evaluación cuantitativa del sistema de drenaje de una cuenca es parte fundamental de su caracterización, se realiza mediante el análisis morfométrico. Actualmente, se emplean técnicas de teledetección y SIG (Sistemas de Información Geográfica) para analizar diversos parámetros relacionados con la forma y características del terreno en las cuencas hidrográficas. Estas técnicas ofrecen un entorno flexible y una herramienta potente para la manipulación y análisis de la información espacial en el contexto de las cuencas hidrográficas (Pareta y Pareta, 2012, p.52).

Una buena gestión en el balance de una cuenca hidrográfica permite prevenir y crear estrategias ante fenómenos naturales relacionados a esta, como por ejemplo inundaciones o deslizamientos que puedan afectar en el ámbito económico, industrial, agrícola y en pérdida de vidas (Solórzano y Quiroz, 2021, p.15). En el Ecuador, en el periodo comprendido entre los años 1900-2009 ocurrieron 65 desastres de gran magnitud, de los cuales más de la mitad están relacionados con fenómenos hidrometeorológicos como los antes mencionados, mientras que el 40 % están relacionados con eventos geofísicos (Secretaría General de Riesgos [SGR], 2014).

En el caso de las zonas aledañas a la cuenca del Río Tahuando las cosas no son diferentes, en donde reiteradamente se han suscitado problemas de inundaciones en zonas pobladas,

como constatación de este fenómeno en Abril del presente año, el director Distrital del Ministerio de Agricultura y Ganadería menciona que hubo grandes afectaciones a cultivos de maíz suave, fréjol y pastos, mientras que según el cuerpo de bombero de la ciudad de Ibarra estuvieron en emergencia ya que en la zona urbana de Ibarra hubo grandes pérdidas materiales debido a que el agua llegó a alcanzar 50 centímetros, un hecho que vale agregar con respecto a la ciudad de Ibarra es que esta resulta en inundaciones en época invernal debido a la falta de mantenimiento de las acequias del cerro Imbabura y del canal del río Ajaví, en esta nota también se menciona la afectación de la vialidad, debido a que varias quebradas que se derivan del río Tahuando perdieron su cauce y llevaron consigo palos, piedras y lodo. (Servicio Integrado de Seguridad [ECU 911], 2023)

Otro aspecto importante a conocer de la cuenca del Río Tahuando es que esta abastece el consumo de agua potable, tal como se establece en el estudio de (Cuasapud, 2017) en el cual, el cálculo de la oferta hídrica determina que existe un caudal de 232,96 L/s para abastecer al sector urbano de la cuenca, el cual beneficia a una población de 134185 habitantes, mientras que para el sector rural la oferta hídrica es de 34,87 L/s que beneficia a una población de 30128 habitantes.

Ante esto la presente investigación busca realizar una caracterización geomorfológica de la cuenca para analizar el comportamiento de la red hídrica y la morfodinámica de la cuenca, que sirvan de insumo para mejorar proceso de gestión de la cuenca, prevenir riesgos ambientales y optimizar el recurso hídrico.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Caracterizar la cuenca del Río Tahuando, con parámetros geomorfológicos para realizar un análisis multidisciplinario de la información hidrológica.

2.2. Objetivos específicos

- Calcular los parámetros de: forma, físicos y de la red hídrica de la cuenca, con el uso del programa informático ArcGis 10.7.1
- Analizar el comportamiento de la red de drenaje y la morfodinámica de la cuenca.
- Diseñar cartografía temática de la cuenca del Río Tahuando, identificando las zonas de amenazas o riesgo.

2.3. Pregunta de investigación

¿Las características geomorfológicas de la cuenca del Río Tahuando permiten analizar la capacidad de escurrimiento de aguas?

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Cuencas hidrográficas

Una cuenca hidrográfica se define como un área donde las aguas superficiales o subterráneas fluyen hacia una red hidrográfica, que pueden consistir en uno o varios cauces naturales. Estos cauces pueden tener un flujo constante o intermitente y se unen en un curso de agua más grande, que a su vez puede desembocar en un río principal, un embalse natural, un pantano o directamente en el mar (Londoño, 2001, p.28).

Las cuencas hidrográficas tienen una gran importancia en la gestión de los recursos hídricos y en la planificación del uso del suelo, ya que los cambios en un área de la cuenca pueden afectar a todo el sistema en conjunto (Borselli, 2023, p.112).

3.1.1 Cuencas hidrográficas en la sierra ecuatoriana

El Callejón Interandino, que atraviesa el país de norte a sur, desempeña un papel crucial como punto de separación de las dos principales cuencas hidrográficas: la cuenca amazónica, que comprende siete sistemas hidrográficos, y la cuenca del Pacífico, con 24 sistemas hidrográficos. En total, estas cuencas hidrográficas abarcan 80 cuencas en todo el país. Hay diez sistemas hidrográficos binacionales con Perú y cuatro con Colombia. (Londoño, 2001).

Los sistemas hidrográficos contribuyen a un flujo superficial de agua de 432 Hm³, de los cuales 116 Hm³ (el 27% del total) pertenecen a la cuenca del Pacífico, donde reside el 80% de la población ecuatoriana. Los restantes 316 Hm³ (el 73% del total) corresponden a la cuenca del Amazonas. En la Región Interandina se encuentran las cuencas altas y de montaña, donde vive más del 50% de la población del país. Estas cuencas son de gran importancia, ya que son fuentes de agua, contienen yacimientos minerales y ofrecen paisajes

andinos para el ecoturismo. Además, en las estribaciones de las cuencas de montaña se cultivan productos agropecuarios que abastecen al 45% de la población del país con alimentos (Cordero, 2013).

3.1.2 Cuenca del Río Tahuando

El Río Tahuando nace en las rinconadas orientales de la parroquia Angochagua, y desemboca en las aguas del río Ambi, “las microcuencas que corresponden al río Tahuando son: La Rinconada, Cucho de Torres, Curiacu, Pungu Huayco y algunos drenajes menores, las correspondientes al Río Chorlaví son drenajes menores de quebradas”. Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Ibarra (Gobierno Autónomo Descentralizado de Ibarra [GAD Ibarra], 2015)

En relación a la cantidad de lluvia y la temperatura, varían desde 1000 mm hasta 2000 mm y de 10 °C a 16 °C respectivamente. Durante los meses de febrero a mayo se experimenta la temporada de lluvias, caracterizada por neblinas frecuentes (lluvia horizontal) y también lluvias convencionales (lluvia vertical), mientras que de octubre a enero la precipitación es menor, así mismo la topografía del terreno juega un papel fundamental en la cuenca del Río Tahuando ya que interviene en la acumulación de flujos de agua en la cuenca a través de la escorrentía superficial y subsuperficial (Yáñez, 2019).

3.2. Parámetros geomorfológicos

Los parámetros geomorfológicos son medidas numéricas que se emplean para describir y definir las características morfológicas de una cuenca hidrográfica. Estos parámetros incluyen aspectos como la forma, la altitud y la inclinación de la cuenca, así como la densidad de drenaje, el orden de los cursos de agua, la longitud y frecuencia de los canales, la curvatura y la simetría del valle, y la aspereza del terreno (Londoño, 2001).

Se utilizan para entender mejor la relación entre factores como el clima, la geología, la topografía y los procesos hidrológicos en una cuenca, lo que permite una mejor administración de los recursos hídricos y la prevención de eventos extremos como

inundaciones o deslizamientos de tierra. Los parámetros geomorfológicos son herramientas valiosas para los expertos en hidrología, geología, ingeniería civil y otros profesionales que trabajan en la gestión de cuencas hidrográficas y recursos hídricos (Rajput et al., 2022, p.17).

Así mismo Chavez (1996), menciona que los parámetros geomorfológicos sirven como herramienta para un correcto plan de uso de suelo, como, por ejemplo, para evitar o reducir el deterioro de condiciones ambientales relacionadas al uso de recursos, debido a que un mal uso de suelo podría afectar directamente en aspectos socio-económicos, aparte de que también se debe considerar la respuesta de la naturaleza a todos los cambios realizados por el hombre.

3.2.1 Clasificación de cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas se clasifican de acuerdo a los parámetros geomorfológicos, sin embargo, hay que tener en cuenta la finalidad de las mismas para una correcta clasificación, en este contexto una clasificación útil para abastecimiento de agua no puede ser eficaz para un proyecto de preservación ambiental (Vásconez et al., 2019, p. 72).

A continuación, se detalla esta clasificación:

3.2.1.1 Por su tamaño

La clasificación de las cuencas hidrográficas según su tamaño es beneficiosa en múltiples aspectos. Proporciona una gestión eficiente de los recursos hídricos al identificar cuencas de mayor magnitud que impactan en el suministro de agua y generación de energía. Asimismo, facilita la planificación y mitigación de riesgos al detectar áreas propensas a inundaciones. En el ámbito de la investigación hidrológica, esta clasificación permite realizar comparaciones y análisis más precisos. Por último, contribuye a la conservación y manejo ambiental al priorizar áreas para la protección y restauración de ecosistemas acuáticos y terrestres (Ministerio del Ambiente y Energía de Costa Rica [MINAE], 2008).

Tabla 1

Clasificación de cuencas hidrográficas por su tamaño

Tamaño	Superficie
Muy grande	Mayor a 5000 km ²
Grande	2500 – 5000 km ²
Intermedia grande	500 – 2500 km ²
Intermedia pequeña	250 – 500 km ²
Pequeña	25 – 250 km ²
Muy pequeña	Menor a 25 km ²

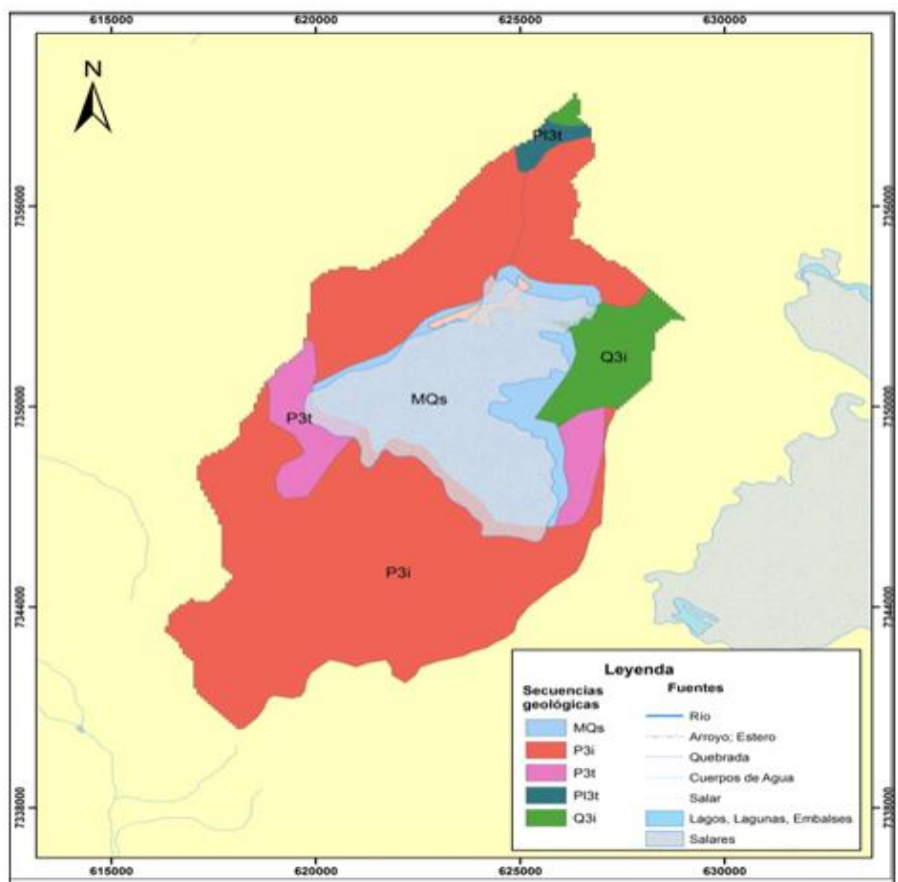
Nota: Tomado de “Procesos del Ciclo Hidrológico” (p.65), por Campos ,1992, *Universidad Autónoma de San Luis Potosí*.

3.2.1.2 Por el escurrimiento de sus aguas

- Endorreicas: “Sus aguas desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar” (Ordoñez, 2011).

Figura 1

Ejemplo de cuenca endorreica



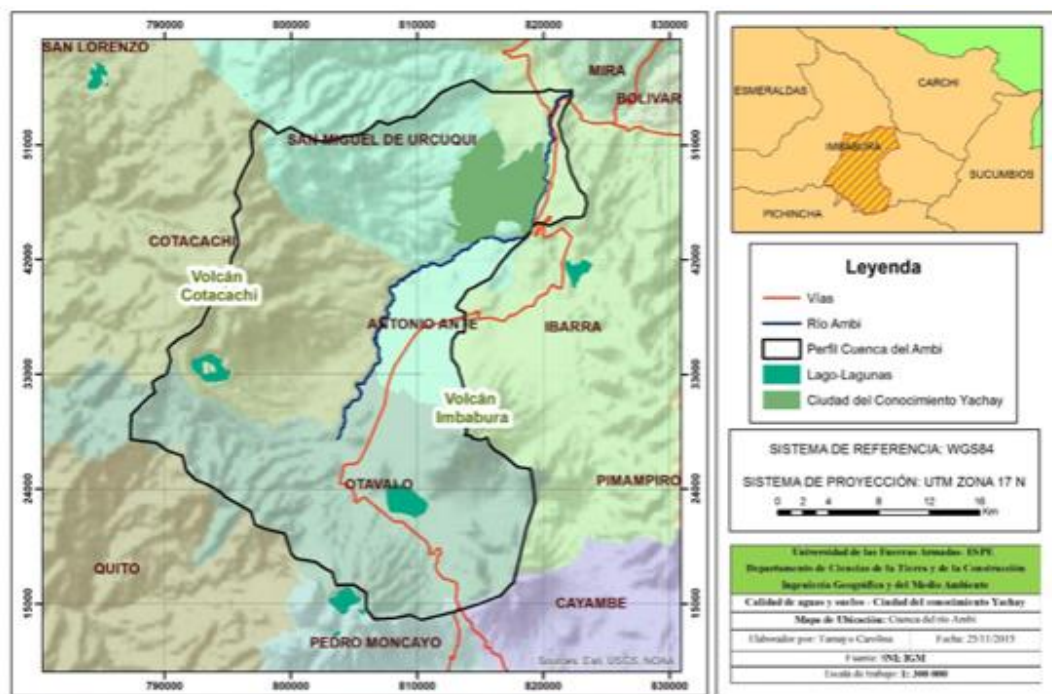
Nota: Tomado de “Estudio de cuencas altiplánicas endorreicas de la segunda región de Chile. Caracterización, tipología y potencialidades de uso” (p.51), por Acuña, 2012, *Universidad de Chile*.

- Exorreicas: Las cuencas exorreicas son aquellas cuencas que drenan fuera de la unidad hidrológica (Bateman, 2007), un ejemplo de este caso es precisamente la

cuenca del Río Tahuando ya que desemboca en la cuenca del Río Ambi, (Andrade, 2018).

Figura 2

Ejemplo de cuenca exorreica

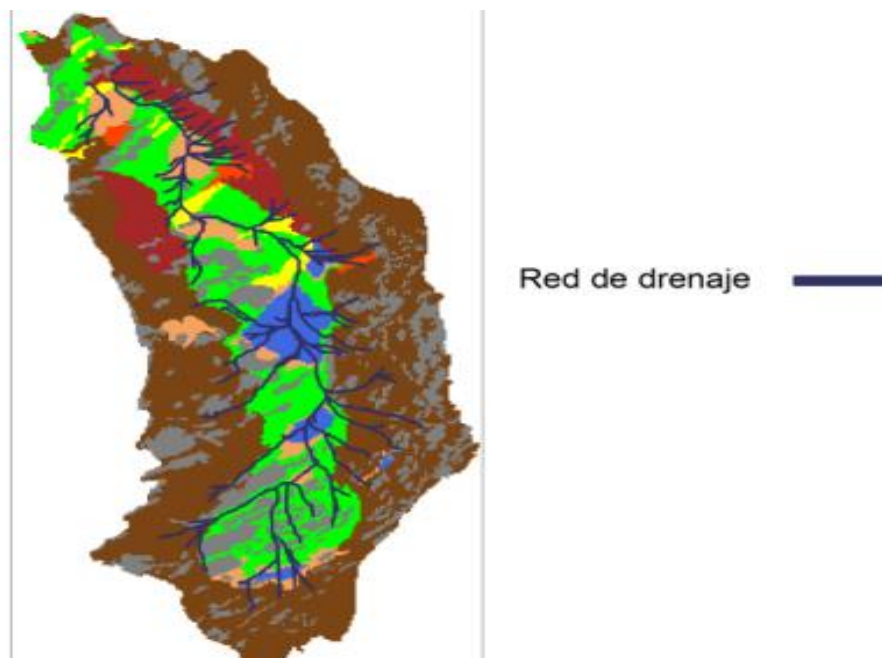


Nota: Tomado de “Calidad de agua y suelo en la cuenca de río Ambi, para uso agrícola en los campos experimentales de la ciudad del conocimiento Yachay mediante análisis físico - químico” (p. 21), por L. Tamayo, 2016.

- **Arreicas:** “Las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje, un ejemplo de este tipo de cuenca son los páramos” (Vásconez et al., 2019).

Figura 3

Ejemplo de cuenca Arreica



Nota: Tomado de “Modelado hidrológico de un páramo andino venezolano con afloramientos” (p.56), por Yeguez, Ablan, Buytaert, Acevedo, Rodríguez y Machado, 2019, *MASKANA*.

3.2.1.3 Por su uso

A pesar de que las cuencas hidrográficas ejercen varias funciones a la vez, se puede agrupar

las cuencas de acuerdo a su principal función. Aunque la función principal puede variar de acuerdo a cada actor (Vásconez et al., 2019).

Algunos ejemplos son:

- Para abastecimiento de agua potable.
- Agua para riego.
- Agua para navegación.

3.2.2. Parámetros geomorfológicos generales

Existen diversos factores en la cuenca que influyen en las respuestas hidrológicas durante el ciclo de lluvia y escorrentía. Uno de estos factores son los parámetros geomorfológicos. Algunos de estos parámetros son ampliamente reconocidos por su influencia en el caudal de descarga (Ariva et al., 2022).

3.2.2.1 Área de la cuenca (A)

Para obtener el área de una cuenca es necesario poseer una representación gráfica de la cuenca, sea esta una imagen satelital o un mapa topográfico, sin embargo, concuerdan en que el método más fácil para obtener este parámetro es a través de cartas topográficas también conocidos como mapas de relieve, a este parámetro se le representa en las fórmulas con la letra A (Ordoñez, 2011).

Tabla 2

Clasificación de cuencas por su área

Área (km) ²	Nombre
< 5	Unidad
5-20	Sector
20-100	Microcuenca
100-300	Subcuenca
> 300	Cuenca

Nota: Tomado de “Hidrología Básica” (p.87) por Materón - Jiménez, 1986.

3.2.2.2 Longitud del cauce principal (L), perímetro (P), y ancho (W)

El parámetro de la longitud de la cuenca se establece a partir del cauce principal del río, que abarca la distancia recorrida entre el punto de salida aguas abajo y el punto más alejado aguas arriba, medido en términos topográficos. Este factor es esencial para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos, ya que tiene una gran influencia en la generación de escorrentía, de manera similar a la superficie (Ibáñez et al., 2011).

El perímetro de la cuenca proporciona información concisa sobre la forma de la misma. En el caso de una superficie dada, los perímetros más grandes se relacionan con cuencas alargadas, mientras que los más pequeños se asocian con cuencas redondeadas, Para finalizar, el ancho viene por la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L), su símbolo es la letra (Cruz et al., 2015).

Estos parámetros intervienen directamente en la capacidad de escurrimiento de una cuenca hidrográfica, ya que una cuenca con mayor perímetro está asociada con un área de drenaje más extensa, a la vez un perímetro más grande está asociado con cursos de agua más largos, por lo que tendrá ríos y arroyos más extensos, también abarca una red de drenaje más compleja ya que será mayor, así como el tiempo de retención, por lo que se puede decir que a una mayor longitud del cauce principal, perímetro y ancho los factores antes mencionados también aumentarán (Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2018).

3.2.2.3 Desnivel altitudinal (DA)

El valor que representa la diferencia entre la cota más alta (HM) y la más baja (hm) en una cuenca está relacionado con la variabilidad climática y ecológica, por lo que, si una cuenca tiene una mayor cantidad de pisos altitudinales, se puede tener la presencia de una variedad más alta de ecosistemas, ya que se experimentan cambios significativos en la precipitación y temperatura, la variabilidad altitudinal es directamente proporcional a la capacidad para albergar diferentes tipos de ecosistemas. (Ibáñez et al., 2011). El Ecuador al encontrarse con

una gran diferencia de relieve en su territorio debido a la cordillera de los Andes presenta cuencas hidrográficas con una gran diferencia de desnivel altitudinal, especialmente en el caso de los ríos altoandinos, los cuales son muy variables y muestran fluctuaciones importantes en sus características físicas y químicas, sin embargo las características de los ríos altoandinos no se han estudiado a profundidad, solo se han hecho de una sola cuenca o a pocas cuencas de un mismo país (Villamarín et al., 2014).

3.2.3 Parámetros geomorfológicos de forma

La forma de una cuenca juega un papel fundamental en su comportamiento hidrológico. Incluso si dos cuencas tienen la misma área, pero formas diferentes, experimentarán respuestas hidrológicas distintas ante la misma lámina de precipitación de igual magnitud y duración, lo que se traduce en diferentes hidrogramas. Es por eso que algunos parámetros buscan cuantificar las características morfológicas de la cuenca a través de índices o coeficientes. Los principales parámetros de forma son el Coeficiente de Gravelius y el Rectángulo Equivalente (Breña, 2006).

3.2.4 Parámetros geomorfológicos de relieve

Los parámetros de relieve son fundamentales debido a que el relieve de una cuenca influye más en su respuesta hidrológica que su forma, de manera general, se puede afirmar que a medida que aumenta la pendiente o el relieve, la esorrentía se genera en lapsos de tiempo más cortos (Ibáñez et al., 2011).

3.2.4.1 Pendiente media del cauce

La pendiente media es un parámetro fundamental para describir el relieve de una cuenca y hacer comparaciones entre diferentes cuencas. Este parámetro está íntimamente relacionado con los procesos erosivos que se presentan en la superficie y guarda una relación importante y compleja con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al caudal de los ríos (Guilarte, 2008).

3.2.4.2 Pendiente media o promedio de la cuenca

Tabla 3

Relación entre pendiente media y tipo de relieve

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Nota: Tomado de “Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires” (p.92), por Camino, Bó, Cionchi, López, Del Río, y De Marco, (2018), *Revista de geografía de Buenos Aires*.

La pendiente promedio de una cuenca es un factor clave para comprender la manera en que ésta responde desde el punto de vista hidrológico, pues permite tener una idea general de cómo se comportan el agua y los sedimentos en su interior. Si una cuenca tiene una pendiente mayor, el agua fluye con mayor rapidez y arrastra consigo una mayor cantidad de sedimentos. (Gregory y Walling, 1973).

3.2.4.3 Altura media

La altura media, representada por H, es la elevación promedio de una cuenca hidrográfica en relación al nivel de la estación de aforo ubicada en su desembocadura. La variación de altitud en una cuenca tiene un impacto directo en su distribución térmica y puede generar microclimas y hábitats únicos en función de las condiciones locales. Además, la altura media

es un criterio importante para evaluar la variación del escurrimiento en una región, lo que a su vez puede ayudar a caracterizar las zonas climáticas y ecológicas presentes en la misma (Ibáñez et al., 2011).

3.2.5 Curva hipsométrica

La curva hipsométrica es un gráfico que muestra la relación entre la elevación de un área y el área acumulada en esa elevación. Para construir la curva, se utilizan las curvas de nivel de la cuenca y se organizan en intervalos de elevación. Luego se calcula el área entre cada par de curvas de nivel y se asocia con el intervalo de elevación correspondiente, es decir, la curva hipsométrica es una representación gráfica del relieve de la cuenca (Bateman, 2007, p. 99).

3.2.6 Características de la red de drenaje

Las características de la red de drenaje sirven para diversas acciones como la recolección de aguas pluviales o de deshielo para proveer las capacidades de cunetas y sus respectivos imbornales y sumideros. Además, implica la evacuación de las aguas recolectadas mediante arquetas y colectores longitudinales, ya sea hacia cauces naturales o a través de obras de drenaje transversal, canalizaciones a cielo abierto o enterradas (Carrasco, 2017).

3.2.6.1 Hidráulica de la red fluvial

La forma de los canales fluviales naturales es determinada por la relación entre el flujo del agua y los materiales que se erosionan en los bordes del canal. El movimiento del agua en el canal está afectado por dos fuerzas principales: la gravedad y la pendiente del canal. Sin embargo, la fricción del agua actúa en contra del movimiento. Debido a esto, el agua puede fluir a través del canal en un patrón laminar (ordenado) o turbulento (desordenado) (Ibáñez et al., 2011, p. 25).

3.2.6.2 Perfil longitudinal

Los factores naturales y antrópicos pueden modificar al perfil longitudinal de una cuenca, así como el perfil longitudinal también incide en estos factores, así mismo, la biota interviene directamente en el relieve de una cuenca ya que, en diversos estudios se ha comprobado como la cubierta vegetal influye en la pérdida de suelos a escala de la cuenca, en el ámbito antrópico otros estudios detallan como la construcción de caminos, labores agrícolas, entre otros, también influyen en el perfil longitudinal (Keesstra et al., 2005, p. 199)

“La importancia de desarrollar este perfil es su utilidad para el análisis de riesgos o la geomorfología fluvial”. (Campos, 1992, p. 44).

3.2.6.3 Orden de red fluvial

La clasificación o secuencia/tamaño de la red de agua conectada dentro de los límites de una cuenca permite distinguir entre un río principal y sus afluentes secundarios (tributarios), terciarios e incluso de cuarto orden. A este proceso se le conoce como ramificación o jerarquía de la red de drenaje, donde generalmente las cuencas hidrográficas más grandes presentan sistemas de drenaje más complejos y de mayor extensión. Según el criterio de orden de la red, es común dividir la cuenca en unidades más pequeñas como subcuencas y sub-subcuencas (microcuencas), llegando al nivel más bajo denominado quebrada. (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, Gobierno de Chile [SUBDERE], 2013).

Las cuencas de primer orden se originan a partir de quebradas y generalmente tienen un flujo de agua intermitente. En algunos meses del año, experimentan un flujo considerable, pero en otros meses, este flujo puede desaparecer por completo. Por otro lado, las cuencas de segundo orden se forman mediante la unión de dos o más cuencas de primer orden. Siguiendo la misma lógica, las cuencas de tercer orden están compuestas por dos o más cuencas de segundo orden, y las cuencas de cuarto orden se forman a partir de dos o más cuencas de tercer orden (Flores, 2010).

3.3 Deslizamientos e inundaciones

Ambos fenómenos tienen total incidencia en la capacidad de escurrimiento de aguas de una cuenca hidrográfica, por ejemplo, un deslizamiento en un cauce puede ocasionar una obstrucción en los canales, esto puede llevar a la formación de represamientos temporales, que aumentan la acumulación de agua y aumentan el riesgo de inundaciones aguas arriba, a la vez esto conlleva la modificación de la topografía creando nuevos canales y modificando los patrones de escurrimiento del agua (Luino, 2004), por otro lado, las inundaciones provocan un aumento del caudal de un cauce, esto puede llevar a una mayor erosión en estos, así como a un aumento del riesgo de daños a la infraestructura y los centros poblados cercanos, además de la afectación hacia la agricultura. (StormAdvisor, 2023).

Las cinco parroquias urbanas que conforman la ciudad de Ibarra, La Dolorosa de Priorato, Guayaquil de Alpachaca, El Sagrario, San Francisco y Caranqui, se encuentran en la cuenca hidrográfica del Río Tahuando con efluentes que atraviesan la ciudad, en algunos casos estos cauces naturales han generado inundaciones en los centros poblados, no por el desbordamiento propio del agua de lluvia, sino por el arrastre de material de las partes altas (Lucero, 2020).

3.3.1 Factores condicionantes

Los factores condicionantes en una cuenca hidrográfica se refieren a las características preexistentes que afectan su comportamiento hidrológico y geomorfológico, y que pueden influir en su susceptibilidad a eventos como deslizamientos e inundaciones. Estos factores, que pueden ser de diversas naturalezas, como geográfica, geológica, climática y biológica, contribuyen a definir la forma y el funcionamiento de la cuenca y su red de drenaje (Youssef et al., 2009).

3.3.1.1 Pendiente

Gonzales (2004), menciona que “las cuencas con mayor pendiente tienen una escorrentía más veloz conjuntamente con sus hidrogramas, en consecuencia, responder de forma más rápida a la precipitación generando el incremento de los caudales punta”.

La frecuente inestabilidad de las pendientes en la sierra ecuatoriana se debe a la presencia común de deslizamientos y otros movimientos en masa. Esta situación no se debe tanto a una particular predisposición de los materiales ándicos a los desplazamientos, sino más bien a las pendientes extremadamente inclinadas y las condiciones altamente húmedas en las que los suelos ándicos se encuentran con frecuencia, los deslizamientos son más prominentes en los puntos de contacto entre suelos volcánicos y suelos con una textura diferente (Andrade, 2018)

3.3.1.2 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal actúa como un escudo natural entre los factores atmosféricos y el suelo, mitigando sus impactos, como por ejemplo la erosión. Los tallos y las hojas absorben parte de la energía proveniente de la lluvia y el flujo de agua superficial mediante la interceptación, reduciendo así su efecto. Las raíces de las plantas también contribuyen a fortalecer la firmeza y cohesión del suelo. Por lo tanto, la eficacia de esta cobertura en relación con la lluvia está principalmente relacionada con la extensión del suelo cubierto, la densidad de vegetación (número de plantas por área) y su altura (Instituto de Agricultura Sostenible [CSIC], 2014).

El crecimiento vegetal en una cuenca hidrográfica tiene un efecto en el patrón de aumento del caudal durante las crecidas, generalmente retrasando el caudal pico. Además, la composición de la vegetación desempeña un papel crucial en la magnitud y frecuencia de las inundaciones, ya que puede alterar el diseño del canal de flujo. Esto significa que, bajo condiciones similares de suelo, las áreas sin vegetación pueden sufrir una erosión más rápida en comparación con aquellas que cuentan con una vegetación bien establecida (Volonté et al., 2018).

En los últimos años, la Sierra del Ecuador ha experimentado un significativo cambio en su cobertura vegetal, la expansión de actividades humanas como la agricultura, la ganadería y la industria ha llevado a la deforestación y degradación de extensas áreas de bosques y páramos. Esta pérdida de vegetación natural ha tenido un impacto negativo en el ecosistema, provocando una disminución de la biodiversidad y la alteración de los patrones de precipitación y el ciclo hidrológico. Además, la tala indiscriminada y la conversión de tierras para uso agrícola han generado un aumento en la vulnerabilidad a deslizamientos de tierra e inundaciones, amenazando la seguridad de las comunidades locales y su sustento. (Pabón, 2022).

En un estudio sobre el análisis multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal de la cuenca del Río Tahuando se obtuvo como resultado que en el periodo comprendido entre los años (2001-2017) existió una tasa de deforestación del 2,57 %, en el mismo estudio se menciona que las principales causas de cambio en la cuenca hidrográfica se deben a que la zona ganadera ocupa un 7,07 %, la agricultura un 47,99 %, y las zonas pobladas un 10,61 %, lo cual es un 60 % de la superficie. Rosero, (2017). En otro estudio realizado por GeoPlaDes, (2010) se llegó a la conclusión de que aproximadamente 250000 de bosque primario en el nororiente ecuatoriano se han perdido por actividades antrópicas, principalmente la expansión de la frontera agrícola.

3.3.1.3 Litología

La litología juega un papel esencial en el análisis de cuencas hidrográficas, ya que se refiere a la composición y características de las rocas y sedimentos en una región específica. Estos materiales geológicos tienen un impacto significativo en el comportamiento hidrológico de una cuenca al afectar la capacidad de infiltración, almacenamiento y flujo del agua. Por ejemplo, en cuencas con rocas permeables como areniscas o calizas, el agua tiende a infiltrarse y almacenarse en acuíferos subterráneos, regulando así el caudal de los ríos y proporcionando un suministro constante de agua. Por otro lado, cuencas con predominio de rocas impermeables, como esquistos o granitos, suelen experimentar una escorrentía superficial más rápida, aumentando así el riesgo de inundaciones durante periodos de lluvia

intensa. Por consiguiente, es esencial entender la litología de una cuenca para gestionar adecuadamente los recursos hídricos y aplicar estrategias efectivas de conservación y manejo del agua (Aboelnour et al., 2021).

La cordillera de los Andes, la cual es un factor determinante en la composición litológica del país, esta área se caracteriza por una gran diversidad geológica y litológica debido a su origen geológico complejo y a la interacción de diversas fuerzas tectónicas a lo largo de millones de años. (Rakbeck et al., 2019).

3.3.1.4 Permeabilidad

La permeabilidad es un factor de gran importancia en el funcionamiento hidrográfico de las cuencas y es un aspecto clave para comprender el ciclo del agua en estas áreas. Se refiere a la capacidad de los materiales geológicos, como rocas y sedimentos, para permitir la infiltración y el movimiento del agua a través de ellos. En una cuenca hidrográfica, la permeabilidad de los suelos y las rocas afectará directamente la cantidad de agua que se infiltre en el suelo y recargue los acuíferos subterráneos, lo que, a su vez, influirá en el caudal de los ríos y arroyos en diferentes momentos del año. Además, la permeabilidad desempeña un papel vital en la gestión de los recursos hídricos, ya que impacta la disponibilidad de agua subterránea para el abastecimiento de agua potable, riego agrícola y otros usos humanos. Los estudios sobre la permeabilidad en las cuencas hidrográficas son esenciales para una planificación adecuada del uso del agua y para implementar estrategias de conservación y manejo sostenible de este recurso esencial (Bateman, 2007).

3.3.2 Factores detonantes

“También conocidos como desencadenantes, estos factores representan cualquier evento, circunstancia, suceso o situación que pueda originar una alteración en la fuente y llevar a la realización de un acontecimiento” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia [Minambiente], 2012).

3.3.2.1 Precipitación

El impacto de la precipitación influye directamente en las inundaciones y deslizamientos es así que, durante lluvias intensas, el caudal de los ríos aumenta rápidamente, lo que puede resultar en inundaciones repentinas, además, la saturación del suelo debido a una precipitación excesiva puede ocasionar deslizamientos de tierra, poniendo en peligro la estabilidad del terreno (Gariano y Guzzetti, 2016).

La información estadística disponible respalda la aseveración de que el cambio climático tendrá un impacto significativo en los patrones de precipitación, lo que tendrá efectos importantes en la cantidad de agua disponible en la subcuenca del Río Tahuando. Se observa un aumento en el caudal de la cuenca tanto en escenarios a corto como a largo plazo, lo que señala una tendencia hacia crecidas y una rápida salida del agua de la cuenca. Esta situación compromete la capacidad de la cuenca para recargar los acuíferos, lo que a su vez afecta la disponibilidad de agua durante los periodos de sequía. (Manzano, 2022).

La misma autora asevera que en ciertas áreas o regiones del Ecuador se obtendrá mayores precipitaciones en cierta temporada del año y decrecimientos de lluvias en épocas secas, sin embargo, para Imbabura se proyectan precipitaciones altas incluso en esta estación.

3.3.2.2 Sismicidad

La sismicidad está estrechamente relacionada con las cuencas hidrográficas, de forma que actividad sísmica puede debilitar la estabilidad del suelo, predisponiendo a deslizamientos de tierra durante eventos de precipitación intensa, esta interacción entre sismicidad, cuencas hidrográficas e hidrología resalta la importancia de considerar ambos factores en la gestión y prevención de desastres naturales (Lin Fu et al, 2016).

El Ecuador se ubica en una zona de movimiento tectónico particular. Parte de su territorio forma parte de la microplaca "Bloque andino", en la que se ubica la cuenca del Río Tahuando es parte de la placa sudamericana y se encuentra en interacción con las placas de Nazca, Cocos y Caribe. El desplazamiento en esta área ha sido estimado en alrededor de 50-60 mm/año, mientras que para la placa continental es de 2 a 5 mm/año. Por otro lado, en el sur de Ecuador, se presenta una interacción entre la placa Sudamericana y la placa de Nazca.

Estos movimientos de placas han dado lugar a tres inclinaciones diferentes de la subducción de la placa de Nazca en la placa Continental en el territorio ecuatoriano. (Quinde y Reinoso, 2016).

Es necesario tener en cuenta el vulcanismo que posee la provincia de Imbabura ya que los sismos son muestra de la continua actividad volcánica, la cual se puede evidenciar en la geotermia que calienta algunas de sus aguas además de pequeñas fumarolas entre los complejos volcánicos de esta zona geográfica, en la que los sismos ocurren periódicamente liberando energía, sin embargo, sus magnitudes no sobrepasan los 5 grados en la escala de Richter. Estos fenómenos son originados por diversas fallas geológicas, como la falla del río Tahuando, la falla de Imbaya, la falla del río Ambi, la falla de Piñán y la falla de Otavalo. Los temblores pueden provocar derrumbes en cúspides escarpadas, un ejemplo de ello son las laderas del volcán Cotacachi, un rasgo característico de la región. Por otro lado, los deslizamientos son comunes en las laderas del volcán Imbabura debido a la actividad sísmica cercana (López, 2022).

3.4 Herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG)

El concepto de Sistema de Información Geográfica (SIG) se aplica comúnmente a sistemas informáticos que se enfocan en gestionar datos espaciales. Estos sistemas son considerados como la herramienta informática más adecuada y ampliamente utilizada en el ámbito de las Ciencias de la Tierra y Ambientales. Son herramientas que reflejan la complejidad del estudio de estas disciplinas, ya que resultan de la fusión y evolución de diversos programas que anteriormente se utilizaban de forma independiente. Esta complejidad ha dado lugar al surgimiento de una nueva área científica. (Santillán, 2013).

3.4.1 Usos de SIG en factores ambientales

En Ecuador, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se utilizan en diversas aplicaciones, como el análisis de cuencas hídricas para evaluar la sequía utilizando el índice de precipitación estandarizado también se emplean en la optimización de la red de monitoreo de precipitación, el desarrollo de un sistema de información geológico ambiental minero para

la gestión de datos, uso participativo para la gestión integrada de riesgos, y análisis multicriterio basado en SIG para la planificación de rellenos sanitarios. Además, se ha realizado la elaboración de cartografía catastral que se integra con los sistemas de información geográfica, permitiendo una gestión integral de la información que abarca aspectos físicos, jurídicos y socioeconómicos, los SIGs en Ecuador han permitido una administración y gestión multifinalitaria de la información en diferentes campos (Comité Científico Internacional [CCIs], 2017).

3.4.2 ArcGis

ArcGIS es un sistema compuesto por varias aplicaciones que se pueden organizar en un ordenador de escritorio individual o distribuir en una red de computadoras heterogénea con estaciones de trabajo y/o servidores. ArcGIS Desktop, desarrollado por Environmental Systems Research Institute (ESRI), tiene una estructura modular conformada por tres aplicaciones principales: ArcMap, ArcCatalog y ArcTools. Este producto ofrece tres niveles de licencia que aumentan las capacidades de sus tres componentes. Estos tres niveles de licencia, en orden ascendente de capacidad, son: ArcView, ArcEditor y ArcInfo. (Baroja et al., 2020)

3.5 Análisis de riesgos utilizando SIG

Utilizar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis de riesgos presenta diversas ventajas. En primer lugar, puede resultar económico si se seleccionan los equipos adecuados. Además, tiene el potencial de aumentar la productividad, reducir costos y producir resultados de mayor calidad en comparación con técnicas manuales, sin importar los costos involucrados. Asimismo, puede facilitar la toma de decisiones y mejorar la coordinación entre agencias. Adicionalmente, el uso de SIG puede ampliar y profundizar los análisis de riesgos, guiar los procesos de desarrollo, y ayudar a los planificadores en la selección de medidas de mitigación y la implementación de acciones de preparación y respuesta. Utilizar un SIG puede ahorrar tiempo en la creación de mapas y facilitar la evaluación de diferentes estrategias de desarrollo en relación a los usos de tierra existentes y potenciales. Al combinar diversas fuentes de información, un SIG puede descubrir

información nueva y valiosa sobre los riesgos, lo cual ayuda a los planificadores a evaluar el impacto de las amenazas en las actividades de desarrollo existentes y propuestas. (Maskrey, 1998).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

- Computadora
- Materiales de oficina:
 - Bolígrafo
 - Papel
 - Carpeta
- Software ArcGIS 10.7.1

4.2. Métodos

Para esta investigación se emplearon los métodos analítico y descriptivo con el objetivo de realizar la caracterización geomorfológica de la cuenca del Río Tahuando y analizar su capacidad de escurrimiento de aguas. El enfoque descriptivo permitió recopilar datos detallados sobre las características físicas y topográficas de la cuenca, incluyendo la identificación de las principales formas de relieve, además, se llevaron a cabo cálculos de parámetros hidrológicos, como la pendiente, la capacidad de almacenamiento y la velocidad de flujo, para obtener una descripción precisa de la capacidad de escurrimiento de aguas de la cuenca. Posteriormente, el enfoque analítico se utilizó para analizar y examinar las relaciones y patrones identificados en los datos descriptivos, con el objetivo de comprender los procesos geomorfológicos subyacentes que influyen en la capacidad de escurrimiento de aguas de la cuenca del Río Tahuando.

4.2.1. Caracterización geomorfológica de la cuenca hidrográfica

Se realizó la caracterización de la cuenca hidrográfica utilizando las cartas topográficas en formato digital de Ibarra, San Pablo del Lago y Cayambe disponibles en el geoportal del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50.000 (Instituto Geofísico Militar [IGM], 2013).

4.2.1.1 Parámetros de forma

Tal como se explica en el estudio de Ibáñez et al. (2011), para una correcta descripción se deben incluir los datos de los siguientes parámetros: perímetro, la longitud axial, longitud del cauce principal, coeficiente de sinuosidad total, área, ancho promedio, el factor de forma y el coeficiente de compacidad de Gravelius, mientras que los parámetros de forma obtenidos a través de la herramienta ArcGis 10.7.1 sin necesidad de cálculos previos se detallan en la tabla 4.

Tabla 4

Parámetros de forma sin cálculos previos

Título	Símbolo
Perímetro	P
Longitud Axial	La
Longitud del cauce principal	L
Longitud total del drenaje	(Ln)
Área	A

Nota: Adaptado de “*Morfología de las cuencas hidrográficas*”(p.1), por Ibáñez, Moreno, y Gisbert, 2011).

4.2.1.1.1 Factor de forma de Horton

Es un valor adimensional cuyo resultado es la relación entre el área de la cuenca (A), y el cuadrado de la longitud máxima (L), (Horton, 1945), su fórmula es:

$$Rf = \frac{A}{La^2}$$

En donde:

Rf: Factor de forma de Horton

A: Área de la cuenca expresado en km²

La: Longitud axial de la cuenca expresado en km

Tabla 5

Clasificación de factor de forma de Horton

Rango de valores	Forma de la cuenca
< 0,22	Muy alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,3 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 - 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,12	Muy ensanchada
> 1,20	Rodeando el desagüe

Nota: Tomado de “Erosional development of streams and their drainage basins” (p.95), por Horton, 1945

4.2.1.1.2 Índice de alargamiento

“Es la relación entre la longitud máxima de la cuenca con su ancho máximo” (Cruz et al, 2015), como su nombre lo indica este índice ayudó a la investigación a conocer que tan larga es la cuenca.

Tabla 6

Clasificación de índice de alargamiento

Rangos del índice de alargamiento	Clases de alargamiento
0 – 1,4	Poco alargada
1,5 – 2,8	Moderadamente alargada
> 2,9	Muy alargada

Nota: Tomado de “Área y perímetro para la caracterización de formas” (p.29), por Cañibano, Sastre y D’andrea, 2016, *SUMA*

4.2.1.1.3 Razón de elongación (Re)

“Es la relación entre el diámetro de un círculo cuyo valor de área es el mismo que el de la cuenca y su longitud máxima”, (Campo et al., 2012) para su cálculo se empleó la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{(1,129)(\sqrt{A})}{Lc}$$

En donde:

Re: Razón de elongación

Lc: Longitud del cauce principal de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km²)

Tabla 7

Razón de elongación y forma de la cuenca

Razón de elongación	Forma de la cuenca
Alejados a 1	Formas alargadas.
Cercanos a 1	Forma redonda.

Nota: Adaptado de “Morfometría comparada de tres cuencas hídricas en la ladera occidental de la sierra de Comechingones. San Luis, Argentina” (p.77), por Sosa y Ojeda, 2014.

4.2.1.1.4 Frecuencia de altitudes

La frecuencia de altitudes es una gráfica en la cual se representa el área drenada, por lo que varía en función de la altura de la superficie de la cuenca. También podría verse como la variación media del relieve de la subcuenca (De la Cruz et al., 2022).

4.2.1.1.5 Índice de compacidad o índice de Gravelius

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área (Cheick y Ndiaye, 2023), para lo cual se usó la siguiente fórmula:

$$C_g = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

En donde:

P: Perímetro de la cuenca

A: Superficie de la cuenca

Tabla 8*Clasificación de coeficiente de Gravelius*

kc	Clasificación
1 a 1,25	Casi redonda a oval - redonda
1,25 a 1,5	Oval redonda a oval - oblonga
1,5 a 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1,75	Rectangular

Nota: Tomado de “Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina)” (p.72), por Camino, Bó, Cionchi, López, Del Río y De Marco, 2018, *Revista Universitaria de Geografía*.

4.2.1.1.6 Coeficiente de masividad

Es la relación entre la elevación media de la cuenca expresada en metros y superficie, dada en kilómetros cuadrados (Clavijo y Pérez, 2016), su fórmula es:

$$Cm = \frac{\text{Altura media de la cuenca (m)}}{\text{Área de la cuenca (km}^2\text{)}}$$

Tabla 9*Rangos del coeficiente de masividad*

Rangos de Cm	Clases de masividad
0 - 35	Muy montañosa
35 - 70	Montañosa
70 - 105	Moderadamente montañosa

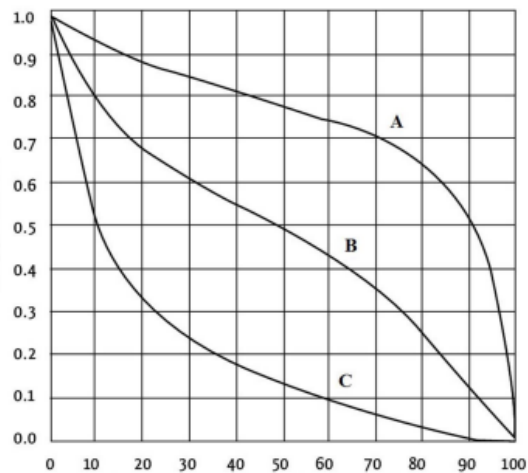
Nota: Tomado de “Cálculo del Caudal de Crecientes en la Quebrada Canoas hasta su Desembocadura en la Quebrada Taplas, Municipio de Cultiva, Departamento de Boyacá” (p.28), por Clavijo y Pérez, 2016, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*.

4.2.1.1.7 Curva hipsométrica

Se procedió a colocar en el eje de las ordenadas la altura relativa (h/H) y en las abscisas el área relativa (a/A) como se establece en otros estudios. (Guerra, 2002).

Figura 4

Tipos de curva hipsométrica



Nota: Tomado de “Análisis morfométrico de la cuenca río Santa Lucía (Corrientes, Argentina)”(p.304), por Smichowski – Contreras, 2022.

La curva hipsométrica indica que en la curva A se refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud), Curva B es una cuenca en equilibrio (fase de madurez), Curva C es una cuenca sedimentaria (fase de vejez).

4.2.1.2 Parámetros físicos

Tal como se detalla en el estado del arte estos parámetros fueron fundamentales en este estudio para conocer la topografía y las características físicas de la cuenca hidrográfica.

4.2.1.2.1 Altitudes

Para este estudio se consideró dentro del conjunto de altitudes a cinco parámetros, los cuales fueron: altitud media, altitud más frecuente, altitud frecuente media, cota máxima y cota mínima.

Tabla 10

Parámetros de altitudes

Parámetro	Simbología	Unidad	Procedimiento
Altitud media	EM	m.s.n.m	Se toma el valor del 50 % del eje de las abscisas y se determina el valor que le corresponde en el eje de las ordenadas en el gráfico de curva hipsométrica. (Verdugo, 2017)
Altitud más frecuente	A + F	m.s.n.m	Se considera como el valor máximo en porcentaje de frecuencia de su histograma de altitudes. (De La Cruz et al., 2022)
Altitud de frecuencia media	FMA	m.s.n.m	Es la altitud que corresponde al punto de abscisa media de la curva de frecuencia de altitudes. (De La Cruz et al., 2022)
Cota máxima	Cma	m.s.n.m	Se determinó con la tabla de atributos de la red de drenaje en ArcGis 10.7.1
Cota mínima	Cmi	m.s.n.m	Se determinó con la tabla de atributos de la red de drenaje en ArcGis 10.7.1

4.2.1.2.2 Pendiente promedio de la cuenca

Se determinó la pendiente promedio de la cuenca utilizando un mapa interpolado de pendientes basado en datos de elevación. Las herramientas empleadas fueron Slope y Zonal Statistics as Table de ArcGIS 10.7.1 obteniendo el resultado en forma de grados y porcentaje.

Tabla 11

Niveles de la pendiente media de la cuenca

Rangos de Pendiente (%)	Descripción
0 - 4	Nula
4 - 8	Ligeramente inclinada
8 - 15	Ligera – Moderadamente empinada
15 - 25	Moderadamente empinada
25 - 50	Empinada
50 - 75	Muy empinada
>75	Extremadamente empinada

Nota: Tomado de “Caracterización Hidromorfométrica de la Microcuenca Puyllucana - Baños del Inca - Cajamarca, mediante la aplicación de ArcGis” (p.123), por J. Alcántara, 2008, *Universidad Nacional de Cajamarca*

4.2.1.2.3 Pendiente media del cauce

Implica calcular la diferencia de altura entre el punto más alto y más bajo del curso de agua, y posteriormente, dividir este resultado por la longitud total del cauce (Carvallo y Delgado, 2013), su fórmula es:

$$PM = \frac{DA}{L}$$

En donde:

PM: Pendiente media del cauce

DA: Desnivel altitudinal

L: Longitud del cauce principal expresado en kilómetros

4.2.1.3 Parámetros de la red de drenaje

Los parámetros de red de drenaje son atributos geográficos que cuantifican la estructura y flujo de agua en un sistema de drenaje, incluyendo longitud, densidad y patrones de flujo (Ress et al., 2019).

4.2.1.3.1 Pendiente promedio del cauce principal

La pendiente de un tramo de río se define como la diferencia de altura entre los extremos de la sección dividida por la distancia horizontal de esa misma sección (Gaspari, Rodríguez, Sinisterra; Denegri, Delgado y Besteiro, 2012), cuya fórmula es:

$$PMCP = \frac{H_2 - H_1}{Lp}$$

En donde:

PMCP: Pendiente promedio del cauce principal

H₂: Altura máxima del cauce principal

H₁: Altura mínima del cauce principal

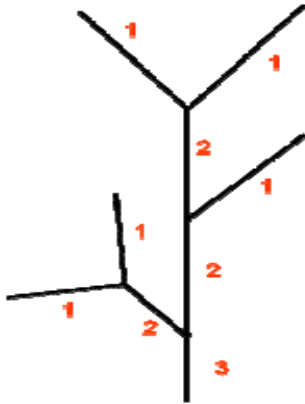
Lp: Longitud del cauce principal

4.2.1.3.2 Clasificación de la red de drenaje según Strahler

Para definir el orden de la red de drenaje se usó el método de Strahler, (1957), con el fin de diferenciar el orden de los cauces de la cuenca, tal como se indica en la figura 5

Figura 5

Ejemplo de método de Strahler



Nota: Tomado de “Documento técnico descriptivo de la red hidrográfica escala 1:50000. Aguascalientes, México” (p.55), por Dirección General de Geografía y Medio Ambiente, 2010.

4.2.1.3.3 Coeficiente de sinuosidad hidráulico

La relación existente es entre la extensión del río principal a lo largo de su curso (L) y la distancia directa o curva entre el comienzo y el final del cauce (L_d) (Llamas, 1993), su fórmula es:

$$SH = \frac{L}{L_d}$$

Tabla 12.

Tipos de canal de acuerdo a la sinuosidad

Índice de sinuosidad	Tipo de canal
1 – 1,2	Canal rectilíneo
1,2 – 1,5	Canal transicional
1,5 – 1,7	Canal regular
1,7 – 2,1	Canal irregular
>2,1	Canal tortuoso

Nota: Adaptado de “Sinuosity of Alluvial Rivers in the Great Plains”(p.1089 – 1100), por S. Schumm, 1963, *Bulletin of the Geological Society of America*.

Para la interpretación de resultados fue necesario tener en cuenta lo que dijo (Senciales, s.f), la baja sinuosidad que se observa en un cauce indica una pendiente más pronunciada y, por lo tanto, una mayor capacidad erosiva. En otros casos, esta característica puede deberse a causas estructurales, como la presencia de una red de fallas que altera el curso del cauce. Además, una sinuosidad elevada puede originarse cuando el sustrato rocoso es extremadamente resistente y dificulta la excavación del cauce, lo que lleva a que este siga el trazado de pequeñas fracturas existentes.

4.2.1.3.4 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración (t_c) es un parámetro que refleja la distribución temporal del hidrograma de caudal y valores característicos como el máximo caudal, requerido para el diseño de obras hidráulicas (Betancor et al., 2014)

4.2.1.3.5 Tiempo de concentración método de Kirpich

Este parámetro se enfoca en la longitud de la red hídrica y su pendiente para poder calcular el tiempo de concentración (Vélez y Botero , 2010), su fórmula es :

$$t_c = 0.3989L^{0,77}S^{-0.385}$$

En donde:

tc: Tiempo de concentración

L: Longitud del canal expresado en kilómetros

S: Pendiente expresada en % (longitud total, incluido el escurrimiento laminar)

4.2.1.3.6 Tiempo de concentración método de California Highways and Public Works de EE.UU

Es la modificación de la ecuación de Kirpich desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California (Castillo et al., 2021), su fórmula es

$$t_c = 0,95 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

En donde:

tc: Tiempo de concentración de la cuenca

L: Longitud del cauce principal

H: Desnivel máximo de la cuenca, expresado en me

4.2.1.3.7 Relación de bifurcación

La relación de bifurcación (Rb) se define como la proporción entre la cantidad de segmentos de cierto orden (No) y la cantidad de segmentos del siguiente orden superior (Nos) (Campo et al., 2012), de modo que su fórmula es

$$Rb = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

En donde:

Rb: Relación de bifurcación

N_n: Número de cauces de un orden dado

N_{n+1}: Número de cauces del orden inmediatamente superior

El promedio de estos valores parciales de Rb puede servir como una medida representativa de la cuenca, lo cual refleja las características del sistema y su tendencia a generar torrentes. (Strahler, 1964), además este autor relacionaba este factor con la torrencialidad de modo que relaciona valores reducidos con cuencas eficientemente drenadas, aunque estas pueden dar lugar a inundaciones más intensas en comparación con las cuencas de Rb elevado.

4.2.1.3.8 Densidad de drenaje

Horton (1945), estableció la densidad de drenaje de una cuenca como la proporción entre la longitud total de los cursos de agua que conforman su sistema de drenaje y el área total de la cuenca. de modo que:

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

En donde:

Dd: Densidad de drenaje

LTRH: Longitud total de la red hídrica

A: Área o superficie de la cuenca hidrográfica

4.2.1.3.9 Extensión media de escurrimiento superficial

Se trata de la relación entre la superficie de la cuenca y la longitud completa de su sistema de corrientes de agua. También es posible definirla como la distancia promedio en una línea

recta que el agua de lluvia debería recorrer para alcanzar el lecho de un cuerpo de agua (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2016), su cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$ES = \frac{A}{4 * LT}$$

En donde:

Es: Esguerrimiento superficial

A: Área de la cuenca

LT: Longitud total de ríos de la cuenca

Tabla 13

Clases de densidad de drenaje

Rangos de densidad de drenaje	Clases
1	Baja
1-2	Moderada
2-3	Alta
3	Muy alta

Nota: Tomado de “Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo. En C. Ferrer y M. Duarte” (p.82) por Delgadillo – Páez, 2008, *II Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación De Territorio, Jujuy Argentina.*

4.2.1.3.10 Frecuencia de ríos

Corresponde a la cantidad de ríos por cada kilómetro cuadrado de superficie en la cuenca. Se obtiene al dividir el número total de cursos de agua (Nº ríos) entre el área total de la cuenca (SENAMHI, 2016), su fórmula es:

$$F_r = \frac{N \text{ ríos}}{A}$$

En donde:

Fr: Frecuencia de ríos

N ríos: Número de ríos

A: Área de la cuenca

4.2.1.3.11 Coeficiente de torrencialidad

Es la relación entre la cantidad de cursos de agua de primer orden y el área total de la cuenca, es un indicador que evalúa el nivel de propensión a lluvias torrenciales en la cuenca, y con ello también la erodabilidad y la aptitud de descarga de una cuenca debido a que los causes de primer orden son de origen erosivo A medida que este índice aumenta, se evidencia un mayor potencial del aumento de flujo repentino en la cuenca (Riva et al., 2021) su fórmula se define como:

$$C_t = \frac{N_{c1}}{A}$$

En donde:

Ct: Coeficiente de torrencialidad

N_{c1}: Número de cauces de orden uno

A: Área o superficie de la cuenca

4.2.2 Análisis de riesgos para deslizamientos e inundaciones

Para este punto se usó el método heurístico con un análisis multicriterio que incluyeron los factores condicionantes (pendiente, permeabilidad, cobertura vegetal, litología) y detonantes que para este estudio solo será la precipitación debido a la falta de información en el parámetro de sismicidad, a cada factor se le asignará una ponderación con un total del 100 %, del cual 75 % corresponde a los factores condicionantes y un 25 % a los factores detonantes, cada parámetro fue ubicado en grado de importancia con respecto a la

susceptibilidad ante deslizamientos e inundaciones teniendo como base de ponderación al estudio de Patiño, (2019), con la diferencia de que para las inundaciones se utilizó el parámetro de flujo de acumulación por el grado de importancia con respecto a este tema excluyendo al de litología.

Los mapas temáticos realizados para este análisis fueron:

- Mapa de parámetros de forma
- Mapa de orden hidrológico
- Mapa de pendientes
- Mapa de relieve relativo
- Mapa de cobertura vegetal
- Mapa de litología
- Mapa de permeabilidad
- Mapa de isoyetas
- Mapa de isosistas
- Mapa de susceptibilidad ante deslizamientos e inundaciones

4.2.2.1 Método heurístico

Los métodos heurísticos representan enfoques y reglas de decisión de carácter general empleados por aquellos que buscan resolver problemas, basándose en experiencias previas con situaciones similares. Estas estrategias sugieren posibles vías o enfoques para alcanzar una solución. La amplitud de los métodos heurísticos puede variar; algunos son de naturaleza muy general y aplicables a diversas áreas, mientras que otros son más específicos y se restringen a un ámbito particular del conocimiento (Pulido et al., 2012).

Para este estudio se aplicó de modo que en base a mapas temáticos previamente ponderados se obtuvieron dos mapas finales (mapa de susceptibilidad a deslizamientos y mapa de susceptibilidad a inundaciones) considerando los factores intrínsecos (pendiente, litología, cobertura vegetal, permeabilidad y acumulación de flujo, y factores extrínsecos (precipitación) que se involucran en estos fenómenos.

La ponderación asignada para cada factor fue dada de acuerdo al valor de importancia referente para ambos fenómenos con el fin de obtener una sumatoria final correcta de susceptibilidad.

4.2.2.2 Método Mora Vahrson para deslizamientos

Esta metodología resulta adecuada para países en vías desarrollo, ya que utiliza pocas variables morfodinámicas y su implementación es relativamente sencilla, sin embargo, incluye los factores más relevantes desde la perspectiva de la inestabilidad de laderas, basándose en parámetros que pueden obtenerse de manera ágil y económica. No obstante, es importante destacar que esta metodología no reemplaza los estudios geotécnicos de campo y laboratorio necesarios para la protección y mitigación adecuadas. Tampoco tiene la capacidad de predecir el tipo de deslizamiento que podría ocurrir (López et al., 2020).

La ecuación que se usa en esta metodología es:

$$S = Fc + Fd$$

Donde:

S: Índice de susceptibilidad

Fc: Factores condicionantes

Fd: Factores detonantes

Para obtener el valor de los factores condicionantes se calcula:

$$Fc = Pn * Cv * Lt * Pe$$

Mientras que para obtener el valor de los factores detonantes se calcula

$$Fd = Pr + Si$$

Obteniendo finalmente que:

$$S = (Pn * Cv * Lt * Pe) * (Pr + Si)$$

Donde:

S: Índice de susceptibilidad

Pn: Pendiente

Cv: Cobertura vegetal

Lt: Litología

Pe: Permeabilidad

Pr: Precipitación

Si: Sisimicidad

4.2.2.2.1 Valoración general de los factores

Mora y Vahrson (1993), asignaron el porcentaje de cada factor de acuerdo al grado de significancia para la susceptibilidad ante deslizamientos de la siguiente manera:

Tabla 14

Valoración General para el Método Mora Vahrson

Tipo	Parámetro	Porcentaje (%)
Condicionantes	Geología	30
	Geomorfología	20
	Pendiente	30
	Cobertura vegetal	20
Desencadenantes	Precipitación	70
	Fallas geológicas	30

Nota: Tomado de “Macrozonation methodology for landslide hazard determination. Bulletin of the Association of Engineering and Geologist” (p. 49), por Mora - Vahrson, 1994, *Bulleting of the Association of Engineering and Geologist*

4.2.2.2.2 Valoración de pendiente

Se tomó como base el peso asignado por el (Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos [CLIRSEN], 2012) el cual pondera de 1 al 8 de acuerdo al nivel de pendiente, tal como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15

Categorización del factor pendiente

Rango	Peso asignado (Sr)	Descripción
0 – 12	1	Relieves completamente planos, casi planos y ligeramente ondulados, Además de todas las áreas que no son suelo como: centros poblados, ríos dobles o con características similares a estas al representarlas o cartografiarlas.
12 - 25	2	Relieves medianamente ondulados o moderadamente disectados.
25 - 40	3	Relieves mediana a fuertemente disectados.
40 – 70	4	Relieves fuertemente disectados.
70 - 100	5	Relieves muy fuertemente disectados.
100 - 150	6	Relieves escarpados.
150 - 200	7	Relieves muy escarpados.
Mayor a 200	8	Zonas mayores a 200% en el mapa de pendientes.

Nota: Tomado de “Programa sociobosque, Quito” (p.197), por CLIRSEN, 2012.

Tabla 16.

Ponderación de pendiente

Rango (%)	Descripción	Calificativo	Valor
0-20	Plano o Casi Plano	Bajo	1
20 - 45	Suave o Ligeramente Ondulado	Mediano	2
45- 80	Medianamente ondulado	Moderado	3
80 - 150	Medianamente disectados	Alto	4
150 - 290	Fuertemente disectados	Muy alto	5

Nota: Adaptado de “Programa sociobosque, Quito” (p.197), por (CLIRSEN), 2012

En esta tabla se muestran las modificaciones del valor de ponderación de la categorización de la Tabla 15 de acuerdo a las características de pendiente del presente estudio.

4.2.2.2.3 Valoración de cobertura vegetal

Las tablas 17 y 18 corresponden respectivamente a la categorización de (Instituto Espacial Ecuatoriano [IEE], 2012) la cual sirvió para realizar la ponderación de la cobertura vegetal de acuerdo a las características del presente estudio.

Tabla 17*Categorización de cobertura vegetal*

Categoría	Calificativo	Descripción
Bosques		Bosque: Se caracteriza por tener ecosistemas arbóreos, de orden primario o secundario, que a causa de la sucesión natural este se regenera.
Cultivo permanente	Alta cobertura	Cultivos: Se encuentran formado por tierras de fines agrícolas, en donde su ciclo de vegetación tiene a ser mayor de 3 años.
Manglares		
Vegetación arbustiva		Vegetación Arbustiva: Zonas que se encuentran formadas por componentes substanciales de especies leñosas, generalmente no cumple con la misma definición de bosque.
Vegetación herbácea		Vegetación Herbácea: Zonas que se encuentran constituidas por especies herbáceas nativas que presentan un crecimiento espontáneo, y no necesariamente requieren de cuidados especiales, pues usan para pastoreo y protección.
Cultivo semipermanente	Baja cobertura	Cultivo Semipermanente: Zonas que presentan un ciclo vegetativo entre 1 a 3 años por lo que es de fin agrícola.
Cultivos anuales		Cultivo Anual: Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año.
Agropecuario Mixto		Agropecuario Mixto: Comprende las tierras usadas para diferente clase de cultivo por variedad de productos.

Sin cobertura. Zonas erosionadas	Sin cobertura	Áreas que presentan poca presencia de cobertura vegetal, mismas que se encuentran en zonas desérticas con afloramientos rocosos y erosión.
Infraestructura (antrópica)	Mediana cobertura	Establecimiento de un grupo de personas en un área determinada, incluyendo la infraestructura civil que lo complementa.

Nota: Tomado de “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000. San Vicente Ecuador” (p. 11), por Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), 2012

Tabla 18

Ponderación de cobertura vegetal

Categoría	Descripción	Calificativo	Ponderación
Bosque Nativo	Ecosistema arbóreo, compuesto por arboles de especies nativas con variedad de tamaño, que se encuentran regenerados por sucesión natural	Muy Alta protección	1
Plantación Forestal	Caracterizada por ser una masa arbórea, que es establecida con una o más especies forestales.	Muy Alta protección	1
Cuerpos de agua	Área que se encuentra cubierta de agua estática o en movimiento, natural o artificial que reposa sobre la superficie terrestre por todo o una parte del año	Muy Alta protección	1
Páramo	Presenta vegetación tropical alto andino con especies dominantes no arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo propios de la zona.	Muy Alta protección	1

Vegetación arbustiva	Áreas con especies leñosas nativas no arbóreas. Conocidas también como matorral con cobertura densa.	Alta protección	2
Vegetación herbácea	Áreas con especies herbáceas nativas que no necesitan de cuidados especiales, y al ser de espontáneo crecimiento son usadas para pastoreo.	Alta protección	2
Área poblada	Área destinada al establecimiento de viviendas, edificios y servicios públicos de una población.	Alta protección	2
Infraestructura	Infraestructura civil que contempla el establecimiento de transporte, comunicación, agroindustrial y social.	Alta protección	2
Pastizal	Vegetaciones herbáceas que requieren de manejo y labores de cultivo para su conservación. Compuesta por leguminosas y gramíneas introducidas.	Mediana protección	3
Mosaico Agropecuario	Agrupaciones de cultivos no individualizados (mezclados entre sí), que pueden estar asociadas con vegetación natural.	Mediana protección	3
Cultivos	Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo puede ser estacional o de un periodo duradero.	Baja protección	4
Erial/Sin cobertura vegetal	Áreas privadas de vegetación natural, que por sus propiedades no son de uso agropecuario o forestal.	Muy Baja protección	5

Nota: Adaptado de “Identificación de áreas susceptibles a amenazas y riesgos naturales provocadas por deslizamiento de tierras mediante el uso de sig en el cantón mira” (p.42) por S. Patiño, 2019.

4.2.2.2.4 Valoración de litología

Las tablas 19 y 20 corresponden respectivamente a la categorización de acuerdo con (Mora y Vahrson, 1993) la cual sirvió para realizar la ponderación de el parámetro litología de acuerdo a las características del presente estudio.

Tabla 19

Categorización de litología

Litología	Clasificación	Factor (SI)
<p>Aluviones: gruesos, permeable, compacto, con nivel freático bajo. Calizas: duras, permeables. Intrusivos: poco fisurados, bajo nivel freático. Basaltos, andesita, ignimbritas y similares: sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo.</p>	Bajo	1
<p>Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza (decamétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: medianamente fisuradas o alteradas, nivel freático o profundidades intermedias.</p>	Moderado	2
<p>Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas: medianamente alteradas. Coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.</p>	Medio	3
<p>Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente, con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.</p>	Alto	4

Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica: con estado de alteración avanzado, drenaje pobre, se incluyen las categorías 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos muy elevados.	Muy alto	5
--	----------	---

Nota: Tomado de “Evaluación de la susceptibilidad de deslizamiento del Cantón San José, Provincia de Costa Rica” por Mora – Vahrson, 1993

Tabla 20

Ponderación de litología para el presente estudio

Formación geológica	Litología	Calificativo	Ponderación
Volcánicos del Cousin	Andesita, aglomerado	Bajo	2
Volcánicos del Imbabura	Andesita, aglomerado, lahar	Bajo	2
Volcánicos del Angochaua	Andesita, brecha, aglomerado	Bajo	2
Brecha volcánica	Brecha volcánica	Medio	3
Terraza Indiferenciada	Terrazas (1-3)	Medio	3
Cangahua	Ceniza, piroplásticos de pómez	Medio	3
Derrumbe	Derrumbe	Muy alto	5
Formación sedimentaria	Depósito aluvial	Muy alto	5
Formación sedimentaria	Depósito coluvial	Muy alto	5
Formación sedimentaria	Depósito glacial	Muy alto	5

Nota: Adaptado de “Evaluación de la susceptibilidad de deslizamiento del Cantón San José, Provincia de Costa Rica” por Mora – Vahrson, 1993

4.2.2.2.5 Valoración de permeabilidad

Las tablas 21 y 22 corresponden respectivamente a la categorización de acuerdo con el (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP], 2015), la cual sirvió para realizar la ponderación de el parámetro permeabilidad de acuerdo a las características del presente estudio.

Tabla 21

Categorización de permeabilidad

Litología	Calificativo de permeabilidad
Andesita, aglomerado	Baja a media
Andesita, aglomerado, lahar	Baja a media
Andesita, brecha, aglomerado	Baja a media
Brecha volcánica	Baja a media
Terrazas (1-3)	Generalmente alta
Ceniza, piroclásticos de pómez	Medio
Derrumbe	Generalmente alta
Depósito aluvial	Generalmente alta
Depósito coluvial	Generalmente alta
Depósito glaciar	Media

Nota: Tomado de “*Procedimientos de geomorfología*”, por (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), 2015).

Tabla 22*Ponderación de permeabilidad*

Calificativo	Ponderación
Baja a media	2
Media	3
Generalmente alta	5

Nota: Adaptado de “Procedimientos de geomorfología”, por (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), 2015.

4.2.2.2.6 Valoración de precipitación

La tabla 23 corresponde a la precipitación anual de la zona de estudio, información en forma de Shapefile proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2010), a la cual se le realizó la respectiva ponderación.

Tabla 23*Ponderación de precipitación*

Rango (mm)	Ponderación
0 – 500	1
500 – 750	1
750 – 1000	2
1000 – 1250	2
1250 – 1500	3
1500 – 1750	4
1750 – 2000	5

Nota: Adaptado de “Evaluación de la susceptibilidad de deslizamiento del Cantón San José, Provincia de Costa Rica” por Mora – Vahrson, 1993

4.2.2.2.7 Valoración de sismicidad

Las tablas 24 y 25 corresponden respectivamente a la categorización de acuerdo con (Mora y Vahrson, 1993) la cual sirvió para realizar la ponderación de el parámetro sismicidad de acuerdo a las características del presente estudio.

Tabla 24

Clasificación de sismicidad

Intensidad Mercalli Modificada	Calificativo	Magnitud Richter (estimada)
III	Leve	
IV	Muy bajo	3,5
V	Bajo	
VI	Moderado	
VII	Medio	4.5
VIII	Elevado	
IX	Fuerte	6,0
X	Bastante fuerte	7,0
XI	Muy fuerte	8,0
XII	Extremadamente fuerte	

Nota: Tomado de “Evlucion de la suceptibilidad de deslizamiento del Canton San Jose, Provincia de Costa Rica” por Mora – Vahrson, 1993

Tabla 25

Ponderación de sismicidad

Rango magnitud Mw	Ponderación
3,0 – 3,42	1
3,42 – 3,83	2
3,83 – 4,24	3
4,24 – 4,66	4
4,66 – 5,08	5

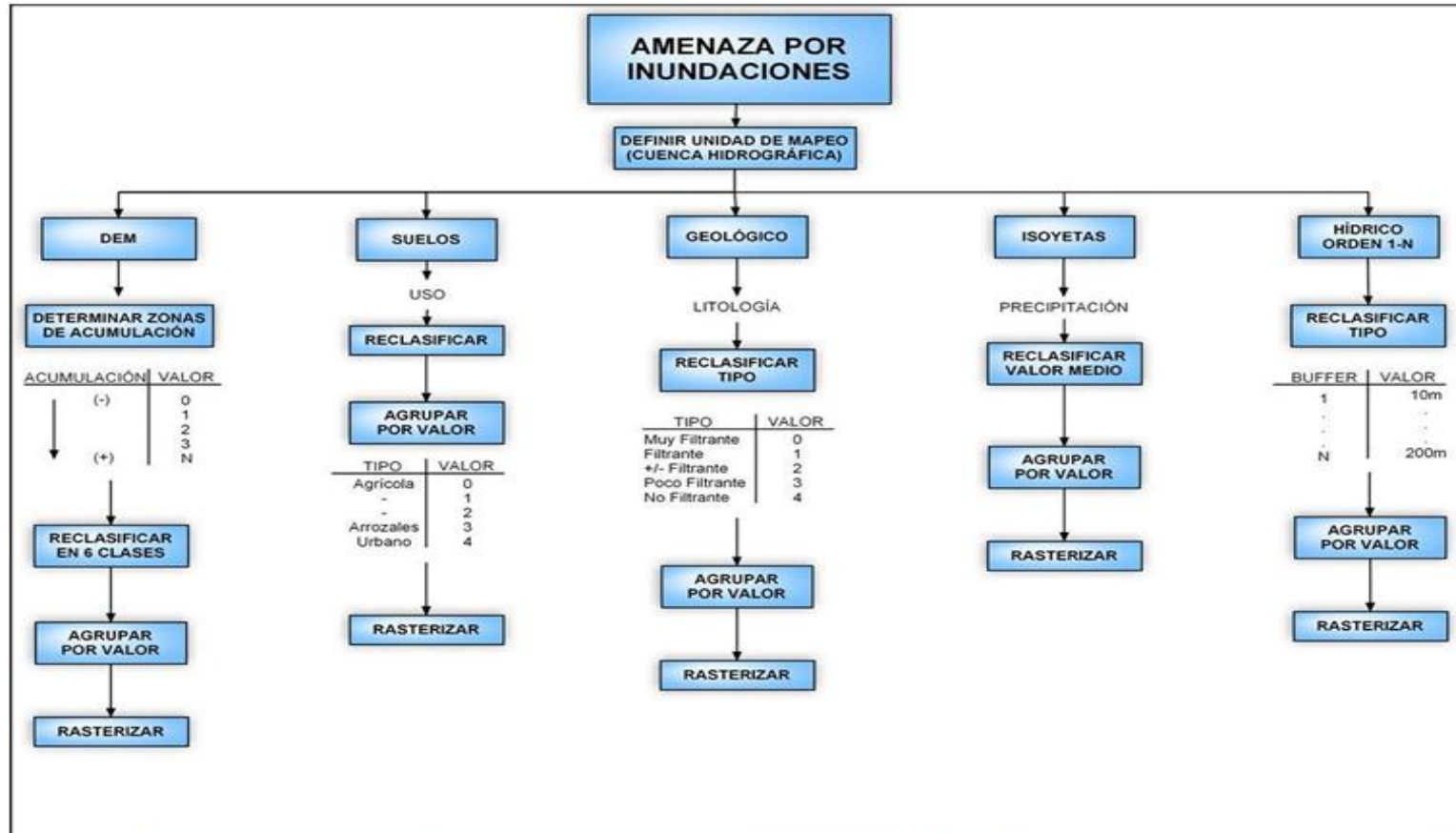
Nota: Adaptado de “Evaluación de la susceptibilidad de deslizamiento del Cantón San José, Provincia de Costa Rica” por Mora – Vahrson, 1993

4.2.3 Método de la SNGR para susceptibilidad a inundaciones

Se utilizó la metodología expuesta por la secretaría nacional de riesgos la cual propone evaluar la amenaza por inundaciones acuerdo al escenario. Para ello, se deben expresar los factores o parámetros de análisis en diferentes mapas rasterizados y reclasificados, en función del peso asignado según su importancia. Posteriormente con el Raster Calculator o Weighted Overlay, herramientas del Spatial Analyst en ArcGis, a cada uno de los mapas se le atribuye un porcentaje cuya suma total cuya suma total equivale al 100% (Sistema Nacional de Información [SNI], 2010).

Figura 6

Metodología para amenaza por inundaciones SNI



Nota: Tomado de “Factores y su valoración para la metodología preliminar de elaboración de mapas de amenaza por inundaciones a escala 1:50.000” (p.1) por Sistema Nacional de Información, 2010.

De acuerdo con esta metodología el porcentaje de valoración de cada factor se detalla en la tabla 26

Tabla 26

Clasificación de parámetros para susceptibilidad de inundaciones SNI

Parámetro	Porcentaje
Densidad	30
Uso del suelo	15
Litología (Permeabilidad)	30
Precipitación	15
Orden Hídrico	20

Nota: Tomado de “Factores y su valoración para la metodología preliminar de elaboración de mapas de amenaza por inundaciones a escala 1:50.000” (p.1), por Sistema Nacional de Información, 2010.

Para el presente estudio se omitió el parámetro de orden hídrico debido a que para su ponderación se involucran herramientas externas al programa ArcGis 10.7.1 empleado en esta investigación, de modo que, el porcentaje para cada parámetro fue adaptado como se explica en la tabla 27.

Tabla 27

Ponderación de parámetros para susceptibilidad de inundaciones

Parámetro	Porcentaje
Densidad de drenaje	30
Uso del suelo	20
Litología	20
Precipitación	30

Nota: Adaptado de “Factores y su valoración para la metodología preliminar de elaboración de mapas de amenaza por inundaciones a escala 1:50.000” (p.1), por Sistema Nacional de Información, 2010.

4.2.3.1 Densidad de drenaje

Para este factor se consideró el flujo de acumulación, la pendiente y el relieve relativo y se los combinó multiplicándolos a través de la herramienta calculadora Raster, previamente se ponderó a cada factor de acuerdo al grado de influencia, en donde el valor 1 indica condiciones menos favorables para la generación de zonas susceptibles a inundaciones, mientras que el valor 5 es indicativo de generación de zonas susceptibles (SNI, 2010), en el caso de pendiente y relieve relativo se ponderó de mayor grado a menor grado, ya que, “entre más llano sean estos factores, más susceptibilidad ante inundaciones tendrá” (Candia, 2015), tal como se visualiza en las tablas 28 y 29.

Tabla 28

Ponderación de pendiente para el cálculo de susceptibilidad ante inundaciones

Rango (%)	Descripción	Calificativo	Valor
80 - 120	Fuertemente disectados	Bajo	1
50 - 80	Medianamente disectados	Mediano	2
25- 50	Medianamente ondulado	Moderado	3
12 - 25	Suave o ligeramente ondulado	Alto	4
0 - 12	Plano o casi plano	Muy alto	5

Nota: Adaptado de “Programa sociobosque, Quito” (p.197), por CLIRSEN, 2012.

Tabla 29*Ponderación de relieve relativo para el cálculo de susceptibilidad ante inundaciones*

Metros	Calificativo	Valor
1256 - 1738	Bajo	1
936 - 1256	Mediano	2
771 - 936	Moderado	3
588 - 771	Alto	4
0 - 588	Muy alto	5

Nota: Adaptado de “Factores y su valoración para la metodología preliminar de elaboración de mapas de amenaza por inundaciones a escala 1:50.000” (p.3) por Sistema Nacional de Información, 2010.

4.2.3.2 Cobertura vegetal

Se utilizó la misma ponderación para la susceptibilidad ante deslizamientos, esto debido al criterio de (Samaniego et al., 2021) que afirma que: “los suelos con alta cobertura boscosa se asocian con mejores propiedades hidráulicas y, por lo tanto, un riesgo de inundaciones reducido” con una modificación ya que el factor infraestructura que pasó de valor 2 a 5, tal como se expone en la metodología del (SNGR, 2010).

Tabla 30*Ponderación de cobertura vegetal para inundaciones*

Categoría	Descripción	Calificativo	Ponderación
Bosque Nativo	Ecosistema arbóreo, compuesto por arboles de especies nativas con variedad de tamaño, que se	Muy Alta protección	1

	encuentran regenerados por sucesión natural		
Plantación Forestal	Caracterizada por ser una masa arbórea, que es establecida con una o más especies forestales.	Muy Alta protección	1
Cuerpos de agua	Área que se encuentra cubierta de agua estática o en movimiento, natural o artificial que reposa sobre la superficie terrestre por todo o una parte del año	Muy Alta protección	1
Páramo	Presenta vegetación tropical alto andino con especies dominantes no arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo propios de la zona.	Muy Alta protección	1
Vegetación arbustiva	Áreas con especies leñosas nativas no arbóreas. Conocidas también como matorral con cobertura densa.	Alta protección	2
Vegetación herbácea	Áreas con especies herbáceas nativas que no necesitan de cuidados especiales, y al ser de espontáneo crecimiento son usadas para pastoreo.	Alta protección	2
Área poblada	Área destinada al establecimiento de viviendas, edificios y servicios públicos de una población.	Alta protección	2
Pastizal	Vegetaciones herbáceas que requieren de manejo y labores de cultivo para su conservación. Compuesta por leguminosas y gramíneas introducidas.	Mediana protección	3
Mosaico Agropecuario	Agrupaciones de cultivos no individualizados (mezclados entre sí), que pueden estar asociadas con vegetación natural.	Mediana protección	3
Cultivos	Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo puede ser	Baja protección	3

	estacional o de un periodo duradero.		
Erial/Sin cobertura vegetal	Áreas privadas de vegetación natural, que por sus propiedades no son de uso agropecuario o forestal.	Muy Baja protección	5
Infraestructura	Infraestructura civil que contempla el establecimiento de transporte, comunicación, agroindustrial y social.	Muy baja protección	5

Nota: Adaptado de “Identificación de áreas susceptibles a amenazas y riesgos naturales provocadas por deslizamiento de tierras mediante el uso de SIG en el cantón mira” (p.42) por S. Patiño, 2019.

4.2.3.3 Litología

De acuerdo con la metodología de la Secretaría Nacional de Riesgos se utiliza la ponderación realizada por (Mora y Vahrson, 1993), por tanto, se utilizó la misma ponderación mostrada en la tabla 20 de ponderación de susceptibilidad ante desplazamientos, expuesta a continuación.

Tabla 31

Ponderación de litología

Formación geológica	Litología	Calificativo	Ponderación
Volcánicos del Cousin	Andesita, aglomerado	Bajo	2
Volcánicos del Imbabura	Andesita, aglomerado, lahar	Bajo	2
Volcánicos del Angochaua	Andesita, brecha, aglomerado	Bajo	2
Brecha volcánica	Brecha volcánica	Medio	3

Terraza Indiferenciada	Terrazas (1-3)	Medio	3
Cangahua	Ceniza, piroplásticos de pómez	Medio	3
Derrumbe	Derrumbe	Muy alto	5
Formación sedimentaria	Depósito aluvial	Muy alto	5
Formación sedimentaria	Depósito coluvial	Muy alto	5
Formación sedimentaria	Depósito glacial	Muy alto	5

Nota: Adaptado de “Identificación de áreas susceptibles a amenazas y riesgos naturales provocadas por deslizamiento de tierras mediante el uso de SIG en el cantón mira” (p.42) por S. Patiño, 2019.

4.2.3.4 Precipitación

Al igual que en la susceptibilidad para deslizamientos, para este estudio la precipitación tiene el mismo valor de ponderación para inundaciones, por tanto, se utilizarán los mismos valores de la tabla 23 expuesta a continuación:

Tabla 32

Ponderación de precipitación para inundaciones

Rango (mm)	Ponderación
0 – 500	1
500 – 750	1
750 – 1000	2
1000 – 1250	2
1250 – 1500	3

1500 – 1750	4
1750 – 2000	5

Nota: Adaptado de “Procedimientos de geomorfología”, por Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), 2015.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Parámetros geomorfológicos de forma

Por medio del ArcGis 10.7.1 se determinaron los valores correspondientes a los parámetros de forma, empezando con la tabla de atributos de la cuenca delimitada con la herramienta “Calculate Geometry”, para posteriormente con estos datos realizar los cálculos respectivos de forma.

5.1.1 Tamaño

Tabla 31

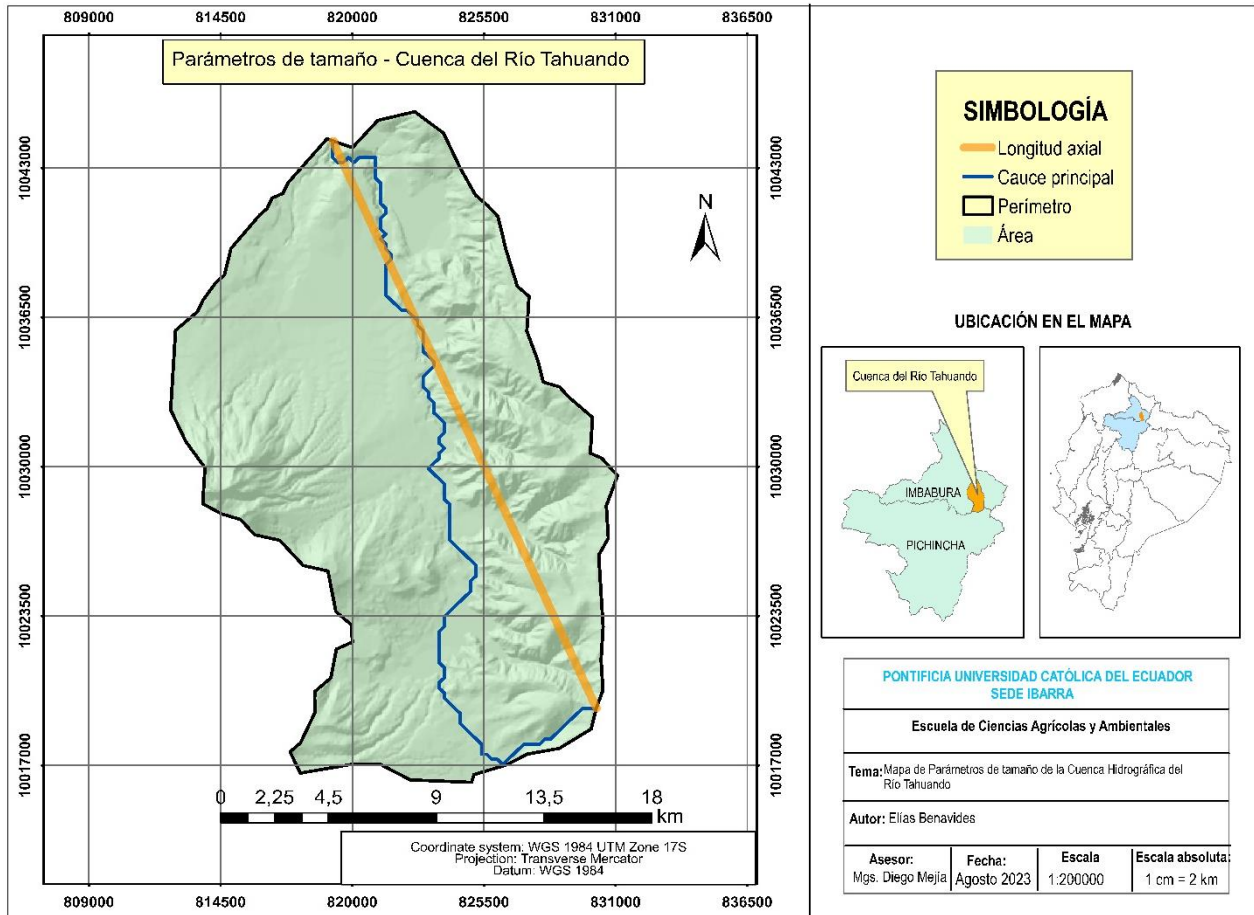
Parámetros de tamaño de la cuenca

Parámetro	Simbología	Registro	Unidad
Área	A	350,43	Km ²
Perímetro	P	83,06	Km
X centroide	XC	822,24	Km
Y centroide	YC	10030,33	Km
Longitud axial de la cuenca	La	29,25	Km
Longitud de la cuenca	Lc	186,19	Km

El área de la cuenca es de 350,43 km² de acuerdo a la clasificación propuesta por Campos, (1992), es de tamaño intermedio - pequeño ya que está dentro de los parámetros 250 km² – 500 km².

Figura 7

Mapa de parámetros de tamaño de la zona de estudio



5.1.2 Tipo de cuenca por evacuación de agua

La cuenca del Río Tahuando es de tipo exorreico debido a que sus aguas desembocan en un cuerpo de agua el cual es el Río Ambi, cumpliendo con la condición que menciona Bateman la cual es que una cuenca exorreica drena sus aguas fuera de la unidad hidrológica. (Vásconez et al., 2019)

5.1.3 Factor de forma (Horton)

Tabla 33

Factor de forma horton

Parámetro	Simbología	Registro	Unidad
Factor de forma	Rf	0,301	-

El resultado para este parámetro indica que es una cuenca ligeramente alargada en concordancia con la clasificación de Strahler.

5.1.4 Coeficiente de compacidad – Índice de Gravelius

Tabla 34

Índice de gravelius

Parámetro	Simbología	Registro	Unidad
Índice de Gravelius	Kc	1,251	-

De acuerdo con (Camino et al., 2018), el índice de Gravelius indica que la cuenca del Río Tahuando tiene una clasificación oval redonda a oval oblonga perteneciente al rango (1,25 – 1,50), al igual que en el estudio realizado en la misma cuenca por (Pozo, 2023), también se le cataloga como oval oblonga.

5.1.5 Razón de elongación

Según Sosa y Ojeada los valores de la razón de elongación alejados de 1 son característicos de cuencas alargadas.

Tabla 35

Razón de elongación

Parámetro	Simbología	Registro	Unidad
Razón de elongación	Re	0,620	-

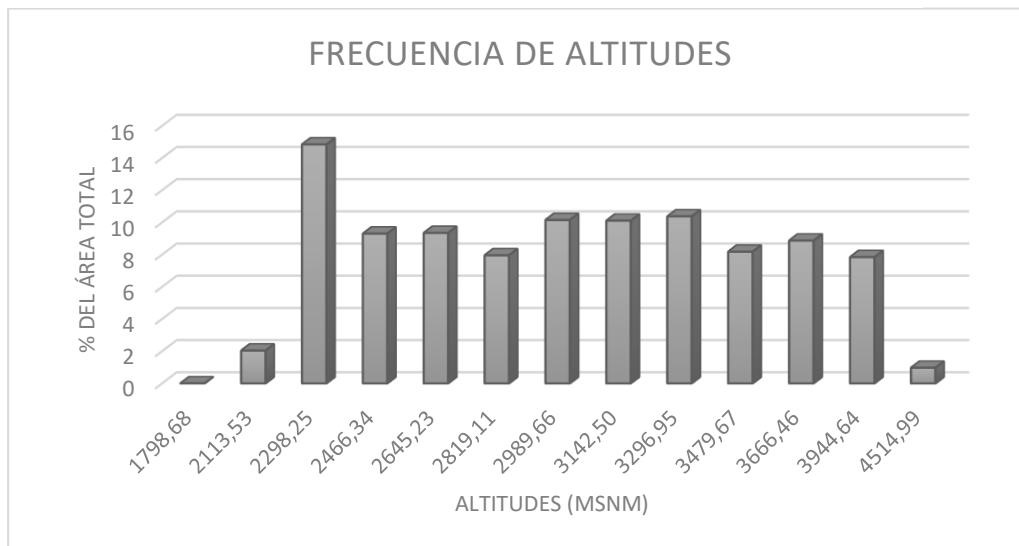
De acuerdo con (Schumm, 1956), el registro de elongación la cuenca del Río Tahuando indica que esta tiene forma medianamente alargada, aunque en el estudio de (Pozo, 2023), se utiliza este parámetro para definir la forma del relieve de esta cuenca, catalogándola como con “relieve pronunciado”, más no de forma, como se le cataloga en el presente estudio.

5.1.6 Frecuencia de altitudes

En la figura número 8 se puede observar que la altura que posee un mayor porcentaje de área es de 2298.43 con un 15 % del total, así mismo también se puede decir que el rango desde 2298.43 hasta 3944.64 msnm ocupan un 96,99 % del total, siendo la mayor parte de la cuenca, algo que destaca es la caída del porcentaje de área después de los 3944,64 msnm.

Figura 8

Frecuencia de altitudes



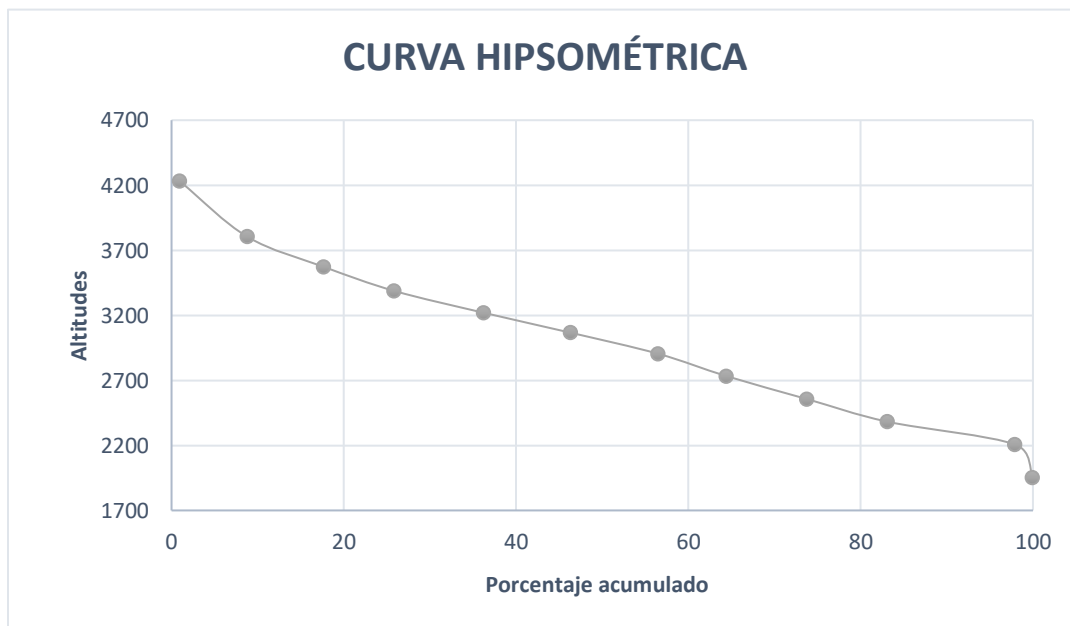
En comparación con el estudio de (Pozo, 2023), se observa una gran diferencia ya que, según esta autora, la frecuencia más común de altitudes dentro de la cuenca es de 3842 msnm, valor que no es acorde con las características de relieve de la cuenca, sin embargo, dentro de este estudio no se especifica si se trata de la cuenca alta, media o baja.

5.1.7 Curva hipsométrica

En comparación con lo propuesto por Verduga (Figura 4), indica que la cuenca del Río Tahuando es de tipo B, es decir una cuenca en equilibrio (fase de madurez), es decir con un bajo potencial erosivo.

Figura 9

Curva hipsométrica



Al igual que en el estudio de (Pozo, 2023), la curva hipsométrica indica que la cuenca del Río Tahuando tiene forma que indica una cuenca en fase de maduración.

5.1.8 Coeficiente de masividad

De acuerdo con la clasificación de (Clavijo y Pérez, 2016) la cuenca del Río Tahuando es “muy montañosa” ya que se encuentra dentro del rango de 0-35

Tabla 36

Coeficiente de masividad

Parámetro	Simbología	Registro	Unidad
Coeficiente de masividad	Cm	8,33	-

Al igual que en estudio de (Carvallo, 2013) sobre la cuenca del Río Jadán en Cuenca, cuyo registro de coeficiente de masividad es de 10,39 también es catalogada como muy montañosa, esto puede deberse a que al igual que la cuenca hidrográfica del Río Tahuando están atravesadas por la cordillera de los Andes.

5.2 Parámetros geomorfológicos físicos de la cuenca

Después de conocer la forma de la cuenca se procedió a describir las siguientes características físicas, la cartografía referente a este apartado se encuentra en la sección 5.4.1, pag.84.

5.2.1 Altitud

Tabla 37

Parámetros de altitud

Parámetro	Simbología	Registro	Unidad
Altitud media	EM	2917	msnm
Altitud más frecuente	A+F	2298,25	msnm
Altitud de frecuencia media	FMA	3010	msnm

5.2.2 Cota máxima y mínima

Tabla 38

Cota máxima y mínima

Parámetro	Simbología	Registro	Unidad
Cota máxima	Cma	4514,99	msnm
Cota mínima	Cmi	1798,68	msnm

5.2.3 Pendiente promedio de la cuenca

Según la clasificación realizada por (Alcántara J.L, 2008), de acuerdo con la pendiente, la cuenca del Río Tahuando es moderadamente empinada al estar en un rango de porcentaje entre 15 % – 25 %.

Tabla 39*Pendiente promedio de la cuenca*

Parámetro	Simbología	Registro	Unidad
Pendiente promedio dada en grados	PM	13,15	grados
Pendiente promedio dada en porcentaje	PM	24,36	%

Así como en el coeficiente de masividad, la pendiente en la cuenca del Río Tahuando también es similar a la cuenca del Río Jadán en Cuenca, cuyo valor es de 30 % (Carvalho, 2013), en ambas cuencas la pendiente está condicionada por la presencia de la cordillera de los Andes, por lo tanto, sus parámetros geomorfológicos físicos son muy similares.

5.3 Propiedades de la red hídrica

Finalmente, los resultados de los cálculos de la red hídrica permitieron conocer más a fondo la dinámica de la cuenca, presentando los siguientes resultados:

5.3.1 Pendiente promedio del cauce principal

Tabla 38*Pendiente promedio del cauce principal*

Parámetro	Simbología	Registro	Unidad
Altitud máxima del cauce principal	Amax	3879,64	msnm
Altitud mínima del cauce principal	Amin	1798,76	msnm
Longitud del cauce principal	LC	39736,88	m
Pendiente promedio del cauce principal	PMCP	5,24	%

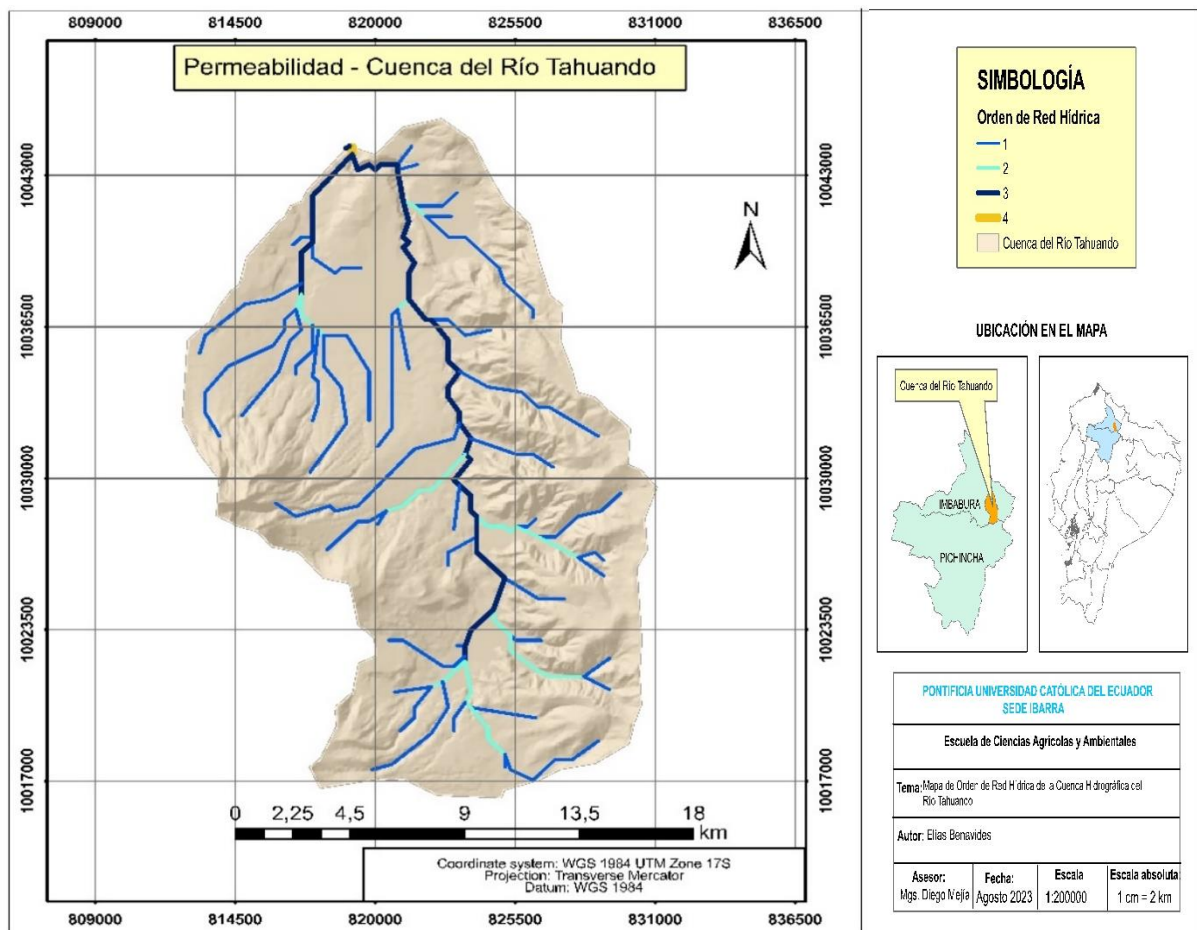
Tal como se menciona en el estudio de (Pozo, 2023) en la cuenca alta del Río Tahuando la pendiente del cauce principal es de 5,52 %, esto debido a que allí se encuentran la zona montañosa, por lo que este valor disminuye debido al decrecimiento de pendiente en la parte baja y media de la cuenca.

5.3.2 Orden de red hídrica

En la figura 10 se pudo observar que la red hídrica de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando es de orden 4, esto debido a que se excluyeron ríos estacionales, dejando así solo los de tipo permanentes.

Figura 10

Mapa de orden hídrico de la cuenca del Río Tahuando



5.3.3 Sumatoria de las longitudes de cada Orden de la Red Hídrica

Tabla 40

Longitud de cada orden de red hídrica

SORH	Registro	Unidad
1	124,21	Km
2	25,15	Km
3	36,39	Km
4	0,44	Km
Longitud total de la red hídrica	186,19	Km

5.3.4 Relación de bifurcación

De acuerdo con el criterio de Strahler, (1964) la cuenda del Río Tahuando no es una cuenca homogénea debido a que estas tienden a tener un rango de Rb entre 3 y 5, según este mismo autor los valores de Rb elevado se asocian con cuencas con deficiente drenaje, aunque pueden dar a lugar a inundaciones menos intensas en comparación con la de Rb reducido.

Tabla 41

Relación de bifurcación

Orden	Número (N)	Relación	Rb
1	41	-	-
2	18	1 - 2	2,28
3	22	2 - 3	0,81
4	1	3 - 4	22
Promedio			8,36

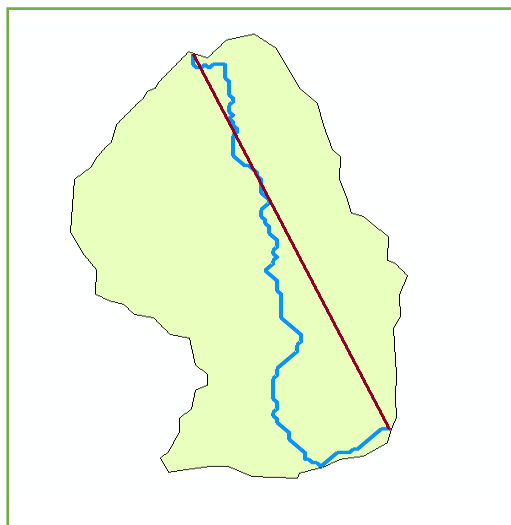
El alto nivel de bifurcación (Rb), que es un indicador de una alta torrencialidad dentro de la cuenca tiene similitud con el resultado encontrado en el estudio de Pozo, (2023) para esta cuenca.

5.3.5 Coeficiente de sinuosidad hidráulico

Según la clasificación realizada por Schumm, el coeficiente de sinuosidad del río principal corresponde a “canal transicional” cuyo rango va de 1,2 a 1,5.

Figura 11

Elementos para el cálculo de Sinuosidad Hidráulico



El color azul corresponde al río principal (Río Tahuando) mientras que el color marrón corresponde a la línea recta entre el inicio y final de su cauce.

Tabla 42.

Registro de coeficiente de sinuosidad

Simbología	Registro	Unidad
SH - Rb	1,48	-

Al igual que en el estudio de (Mogollón y Sánchez, 2018) para cuencas en donde se realiza un compilado de datos sobre cauces en ríos con presencia de montaña se obtuvo un valor similar de coeficiente que en el presente estudio, por lo que se infiere que las áreas montañosas juegan un papel fundamental en la determinación del recorrido de un cauce.

5.3.6 Tiempo de concentración

Se procedió a realizar por el método de Kirpich y California Highways and Public Works EEUU, en la tabla 43 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 43

Resultados de tiempo de concentración

Metodología	Registro	Unidad
Kirpich	3,59	horas
California Highways and Public Works EEUU	3,52	horas

Se utilizó estas dos metodologías ya que según (Chow, 1994) son ideales para cuencas montañosas pequeñas, características propias de la cuenca del Río Tahuando

5.3.7 Densidad de drenaje

De acuerdo con la clasificación realizada por (Delgadillo y Páez, 2008) la cuenca del Río Tahuando tiene un nivel de drenaje moderado que está entre un rango entre 1 y 2.

Tabla 44

Registro de densidad de drenaje

Simbología	Registro	Unidad
Dd	1,78	-

Como se explica en el estudio de (Carbajal y Piedra, 2007), las cuencas con un número mayor de orden 1 o también llamados tributarios obtienen una mejor capacidad de drenaje, es por eso que la cuenca del Río Tahuando tiene un nivel moderado de drenaje.

5.3.8 Extensión media de escurrimiento superficial

En la cuenca de Río Tahuando el agua precipitada debe recorrer al menos 0,14 kilómetros de distancia (en línea recta) antes de llegar al lecho de un curso de agua.

Tabla 45

Registro de extensión media de escurrimiento superficial

Simbología	Registro	Unidad
Es	0,14	Km

En el estudio de (Jaramillo, 2017), en la cuenca alta del Río Jipijapa la extensión de escurrimiento superficial es relativamente corta al igual que en la cuenca del Río Tahuando con 0,4 y 0,14 km respectivamente, este factor en ambas cuencas es un factor condicionante para la formación de cauces intermitentes.

5.3.9 Frecuencia de ríos

En la cuenca del Río Tahuando existen 0,23 ríos por kilómetro cuadrado, es decir que existen al menos un río por cada 4,35 kilómetros cuadrados de superficie.

Tabla 46

Registro de frecuencia de ríos

Simbología	Registro	Unidad
Fr	0,23	-

Al igual que en la extensión media de escurrimiento superficial, el valor de 0,23 para la cuenca del Río Tahuando es relativamente corto, determinado por la cantidad de ríos de orden

1, como se muestra en el estudio de (Jaramillo, 2017) existen varios factores que dan a lugar que esto ocurra, como lo son la cobertura vegetal, litología, precipitación, entre otros. En el caso del Río Tahuando esto es muy visible, ya que como se muestra en la figura 9 los ríos de orden 1 se forman en las zonas montañosas de la cuenca debido a los factores antes mencionados característicos de estas zonas.

5.3.10 Coeficiente de torrencialidad

A mayor número de cauces de orden uno el coeficiente de torrencialidad será mayor, en la cuenca del Río Tahuando se observa un bajo registro de coeficiente.

Tabla 47

Registro de coeficiente de torrencialidad

Simbología	Registro	Unidad
Ct	0,12	-

Para este factor existe una contradicción, ya que tanto el bajo valor de extensión media superficial como la frecuencia de ríos podrían indicar un coeficiente alto de torrencialidad, sin embargo, este no es el caso, esto puede deberse a que, tal como se observa en la figura 9, la concentración de ríos de orden 1 están en las zonas montañosas, las cuales no ocupan más de la mitad de la cuenca, siendo así que en las zonas no montañosas a lo cual se le atribuyen características diferentes de precipitación, litología, permeabilidad, cobertura vegetal, entre otros, existe un bajo número de ríos de orden 1 haciendo que este coeficiente sea muy bajo, a diferencia de la cuenca del Río Papallacta, ya que en el estudio realizado por (Muñoz, 2018) se observa que este coeficiente es alto con un valor de 1,33 por la gran cantidad de ríos de orden 1 dentro de la cuenca, lo cual puede deberse a que a diferencia de la cuenca del Río Tahuando, esta cuenca es mayoritariamente montañosa, con un alto grado de precipitación.

5.4 Resumen de los resultados de los parámetros geomorfológicos de la cuenca.

Después de haber realizado los cálculos correspondientes se obtuvieron los resultados correspondientes de las propiedades de forma, físicas y de red hídrica, con lo cual se determinó que la cuenca tiene un tamaño intermedio a pequeño, de tipo exorreica, los índices de forma, compacidad y elongación coinciden en que se trata de una cuenca ligeramente alargada, con forma oval a oblonga, mientras que su hipsometría indica que es una cuenca en fase de madurez, mientras que su coeficiente de masividad la determina como una cuenca montañosa – moderadamente empinada, finalmente las propiedades de red hídrica indicaron que de acuerdo a su sinuosidad se cataloga como canal transicional, con un drenaje moderado a deficiente pero con un nivel bajo de torrencialidad, los resultados de los parámetros de cada propiedad están expuestos en la tabla 48.

Tabla 48

Resumen de resultados de parámetros geomorfológicos de la cuenca.

Parámetros geomorfológicos				
Propiedades de forma de la cuenca				
Parámetro	Simbología	Registro	Unidad	Conclusiones
Área	A	350,43	km ²	-
Perímetro	P	83,06	Km	Tamaño intermedio a pequeño
Tipo de cuenca por evacuación agua	-	Exorreica	-	Drena sus aguas fuera de la cuenca hidrográfica
X centroide	XC	822,24	Km	-
Y centroide	YC	10030,33	Km	-
Índice de forma (Horton)	Rf	0,301	-	Cuenca ligeramente alargada

Coefficiente de compacidad-índice de Gravelius	Kc	1,251	-	Forma oval redonda a oval oblonga
Razón de elongación	Re	0,62	-	Forma medianamente alargada
Frecuencia de altitudes	Fa	2298,43	-	-
Relación hipsométrica	RH	-	-	Cuenca en fase de madurez
Longitud axial de la cuenca	La	29,25	Km	-
Coefficiente de masividad	Cm	8,33	-	Muy montañosa
Longitud de la cuenca	Lc	186,19	Km	-

Propiedades físicas de la cuenca

Altitud media	EM	2917	msnm	-
Pendiente promedio cuenca	P M	13,15	grados	Moderadamente empinada
Pendiente promedio cuenca	P M	24,36	%	Moderadamente empinada
Altitud más frecuente	A+F	2298,25	msnm	-
Altitud de frecuencia media	FMA	3010	msnm	-
Cota máxima	Cma	4514,99	m	-
Cota mínima	Cmi	1798,68	m	-

Propiedades de la red hídrica

Pendiente promedio del cauce principal	PMCP	5,24	%	-
Longitud del eje del río principal	LC	39,74	Km	-
Orden de la red hídrica	ORH	4	-	-
	SORH	186,19	Km	-

Sumatoria de las longitudes de cada orden de la red hídrica.	1	124,21	Km	-
	2	25,15	Km	-
	3	36,39	Km	-
	4	0,44	Km	-
	5	-	Km	-
Longitud total de la red hídrica	LTRH	186,19	Km	-
Coefficiente de sinuosidad hidráulico	SH-Rb	1,48	-	Canal transicional
Tiempo de concentración Kirpich	TC_KIRPICH	3,59	Horas	-
Tiempo de concentración de California Highways and Public Works	TC_CHPW_H	3,52	Horas	-
Relacion de bifurcacion	Rb	8,36	Adimensional	No homogénea - drenaje deficiente
Densidad de drenaje	Dd	1,78	Km/Km2	Moderado
Altitud maxima cauce principal	Amax	3879,64	msnm	-
Altitud minima cauce principal	Amin	1798,76	msnm	-
Extención media de escurrimiento superficial	Es	0,14	Km	-
Frecuencia de rios	Fr	0,23	-	Un río por cada 4,35 kilómetros cuadrados de superficie
Coefficiente de Torrencialidad	Ct	0,12	-	Nivel bajo

5.5 Mapas temáticos – Susceptibilidad ante deslizamientos e inundaciones

5.5.1 Pendiente

El mapa de "pendiente" que se muestra en la (Figura 13) se generó a partir del modelo digital que representa la superficie del terreno. Para elaborarlo, se utilizaron los archivos Shapefiles correspondientes a las curvas de nivel, los cuales se procesaron mediante el programa de software ArcGis 10.7.1, tal como se explicó en la metodología. De esta manera, se obtuvo el mapa que representa las inclinaciones en la zona de estudio. Es importante destacar que la clasificación de los datos se basó en la Tabla 15 de pendientes establecida por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos de Ecuador. Dicha tabla define rangos de inclinación entre 0 y 70 grados para la región montañosa. Sin embargo, en esta investigación se decidió ajustar el mismo enfoque, recalificando las pendientes dentro de un rango de 0 a 35 grados, con el propósito de mejorar la visualización de las inclinaciones en el mapa temático, las distribuciones realizadas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 49

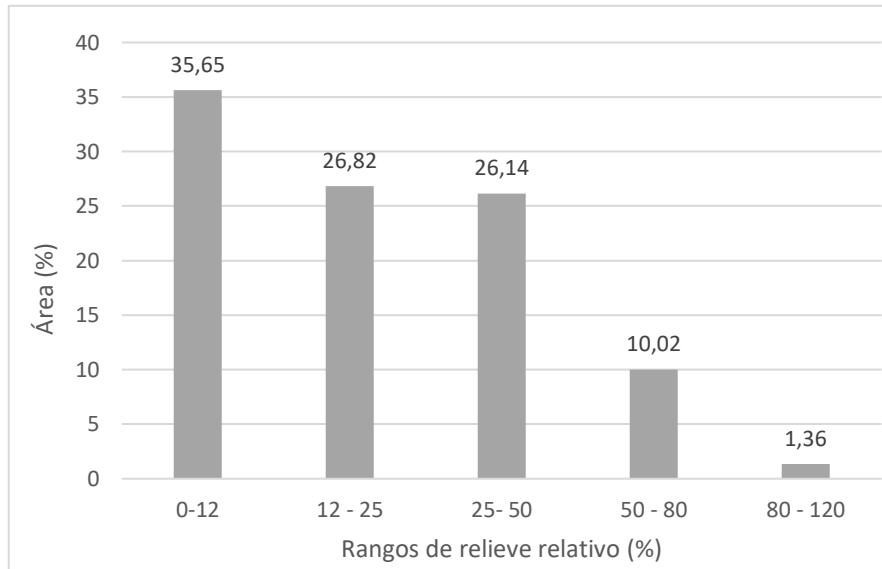
Pendiente de la zona de estudio

Valor Susceptibilidad	Rango (Grados)	Descripción	Área (km²)	Porcentaje (Grados)
1	0-12	Plano o Casi Plano	124,78	35,65
2	12 - 25	Suave o Ligeramente Ondulado	93,88	26,82
3	25- 50	Medianamente ondulado	91,49	26,14
4	50 - 80	Medianamente disectados	35,08	10,02
5	80 - 120	Fuertemente disectados	4,76	1,36
		TOTAL	349,99	100

En la figura 12 se muestra la clasificación porcentual del área y la pendiente con su respectiva interpretación

Figura 12

Rangos de pendiente y área de la cuenca

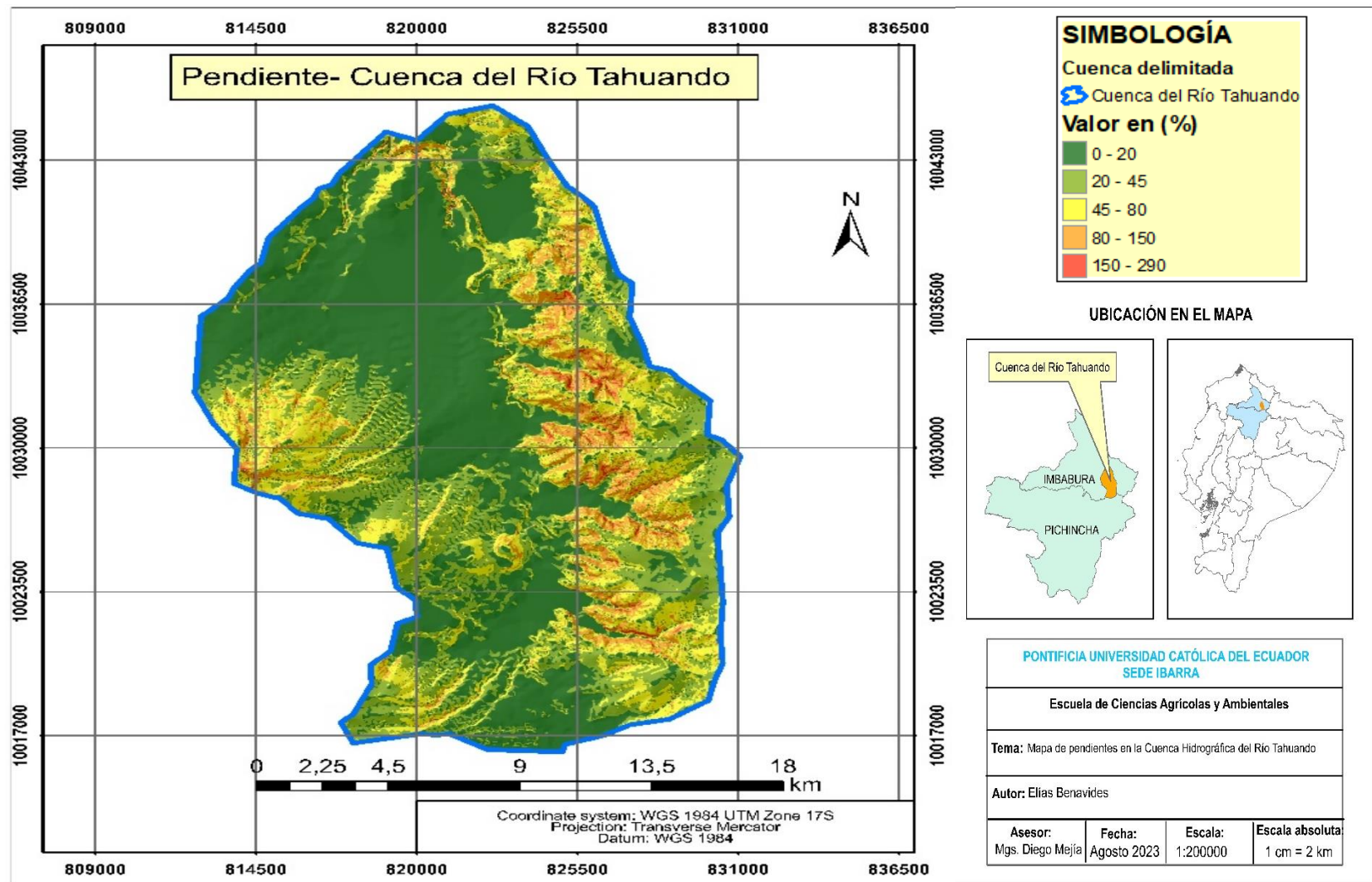


Se pudo observar que la pendiente plana o casi plana predomina en la cuenca con un 36,65 % seguida de una pendiente suave o ligeramente ondulada y medianamente ondulada con un 26,82 % y un 26,14 % respectivamente, un 10,02 % se le atribuye a medianamente disectada y finalmente solo un 1,36 % a pendientes fuertemente disectadas.

Como resultado final se obtiene que en la cuenca del Río Tahuando predominan las pendientes planas o casi planas a medianamente onduladas con un 89,61 % del total.

Figura 13

Mapa de pendientes de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando



5.5.2 Relieve relativo

El mapa de "relieve relativo" que se muestra en la (Figura 14) al igual que el de pendiente se generó a partir del modelo digital que representa la superficie del terreno. Para elaborarlo, se utilizaron los archivos shapefiles correspondientes a las curvas de nivel, los cuales se procesaron mediante el programa de software ArcGis 10.7.1 y se empleó la herramienta "Fishnet" utilizada para poder conseguir los valores de relieve relativo. Se procedió a reclasificar del 1 al 5 tal como se establece en la metodología de la Secretaría Nacional de Riesgos (SNI, 2010).

Tabla 50

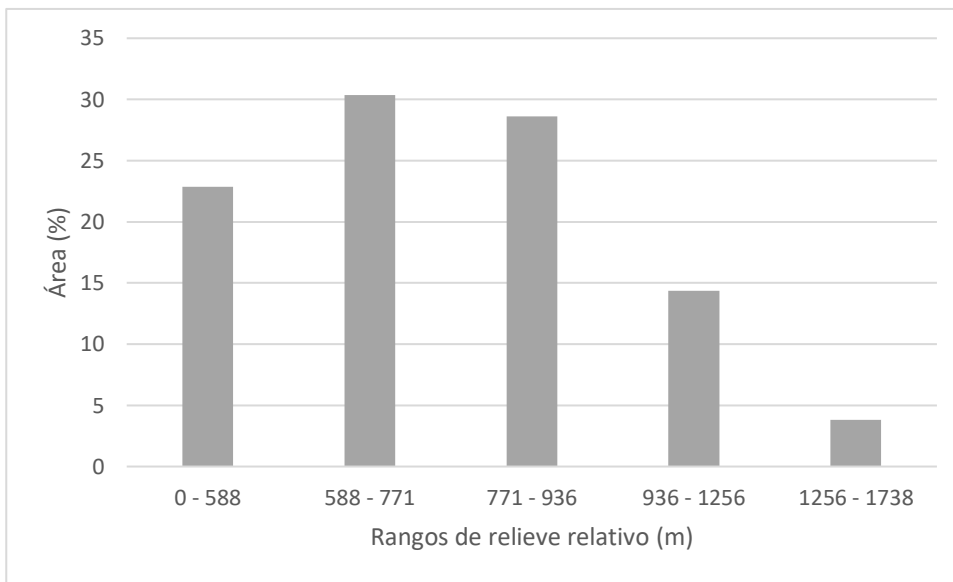
Relieve relativo de la zona de estudio

Rango (m)	Área (km²)	Porcentaje (%)
0 - 588	80,14	22,87
588 - 771	106,32	30,34
771 - 936	100,25	28,61
936 - 1256	50,32	14,36
1256 - 1738	13,35	3,81
TOTAL	350,38	100

En la figura 14 se muestra la clasificación porcentual del área y la pendiente.

Figura 14

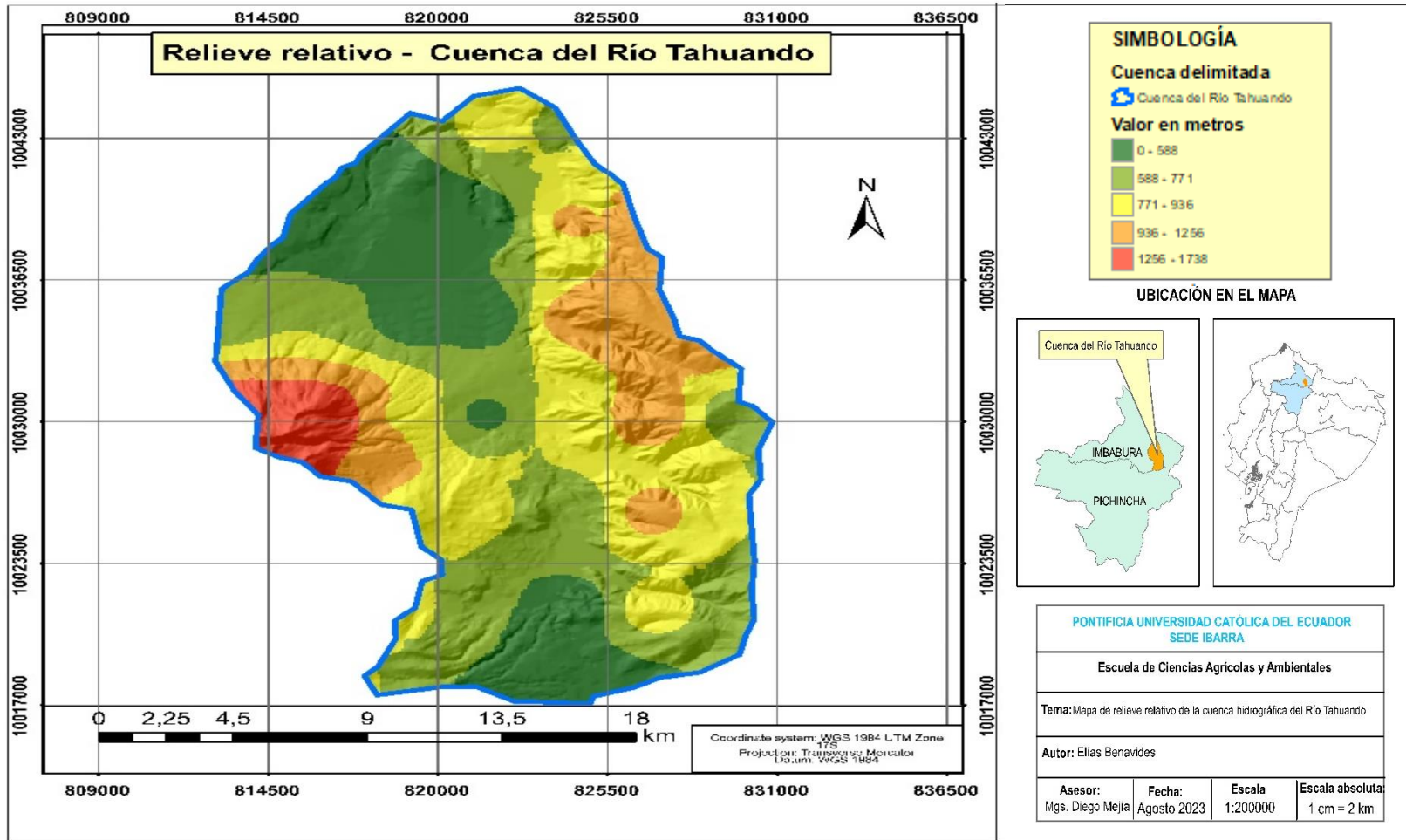
Área de rangos de relieve relativo



Se puede observar cómo los rangos de 588 a 936 metros son los que tienen un mayor porcentaje de área dentro de la cuenca hidrográfica, las zonas de 1256 a 1798 de relieve están ubicadas en la parte occidental de la cuenca en donde se encuentra el volcán Imbabura como se observa en la figura 15.

Figura 15

Mapa de relieve relativo de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando



5.5.3 Litología

Para la elaboración del mapa litológico de la cuenca del Río Tahuando se utilizó el Shapefile proporcionado por el SNI para garantizar que la información expuesta sea verídica, para la descripción de todas las unidades litológicas del presente estudio se utilizó como referencia al Catálogo Nacional de Objetos Geográficos Versión 2.0 (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2013).

En la tabla 49 se identifica el área que ocupa cada unidad litológica.

Tabla 51

Unidades litológicas de la zona de estudio

Número	Litología	Área (km²)	Porcentaje (%)
1	Andesita, aglomerado	9,05	2,58
2	Andesita, aglomerado, lahar	128,55	36,69
3	Andesita, brecha, aglomerado	112,99	32,25
4	Brecha volcánica (indiferenciada)	3,22	0,92
5	Ceniza, piroclastos de pómez	32,15	9,17
6	Depósito aluvial	6,92	1,97
7	Depósito coluvial	10,18	2,91
8	Depósito glacial	15,35	4,38
9	Derrumbe	1,16	0,33
10	Terrazas (1-2)	27,15	7,75
11	Terrazas (1-3)	0,22	0,06
12	Cuerpo de agua (Laguna de Yahuarcocha)	3,47	0,99
	Total	350,41	100

Andesita: Roca magmática efusiva o volcánica, quimismo intermedio. Componentes esenciales: plagioclasa (labradorítica, andesínica, en el que por definición, y para distinguirla de los basaltos, la molécula anortítica debe ser inferior al 50%), biotita. Accesorios: cuarzo, hornblenda, piroxeno, vidrio. Accidentales: olivino, ortosa, anortoclasa, óxidos de hierro. Aspecto: color pardo negruzco o verdoso, especialmente si en la masa de fondo predominan las formaciones cristalinas; con textura marcadamente porfírica. (SENPLADES, 2013)

Aglomerado: Roca ígnea volcánica formada casi totalmente de trozos angulares o redondeados de lava, de variadas formas y tamaños. Están asociadas con los flujos de lava que son expulsados durante las erupciones volcánicas. (SENPLADES, 2013)

Lahar: Mezclas de materiales volcánicos, removilizados por el agua, proveniente de la fusión del casquete glaciar de un lago cratérico o de fuertes lluvias. Estos flujos se mueven ladera abajo por la fuerza de la gravedad, siguiendo los drenajes existentes, sin embargo pueden sobrepasar pequeñas barreras topográficas con relativa facilidad. (SENPLADES, 2013)

Brecha: Roca sedimentaria clástica. Clase: rudita coherente. Aspecto: color variable; textura definida por la presencia de fragmentos angulosos de roca en el seno de una matriz fina o finísima; estructura a menudo bastante estratificada en la matriz, es rara la presencia de fósiles. Componentes: fragmentos que pueden pertenecer a rocas de distinto tipo, pero son de idéntica naturaleza. (SENPLADES, 2013)

Brecha volcánica: Formada por material volcánico de tipo explosivo, bombas, lapilli, cenizas (materiales eyectados de volcanes) (SENPLADES, 2013)

Ceniza: Compuesto de cenizas, un material pétreo compuesto de residuos de material o material de desecho separado de metales durante fundición o refinación. (SENPLADES, 2013)

Piroclastos de pómez: Roca volcánica sedimentaria que consiste en ceniza volcánica consolidada expulsada por una erupción con fragmentos de pumita. (SENPLADES, 2013)

Depósitos aluviales: Depósitos que se caracteriza por sedimentos de fuentes fluviales. (SENPLADES, 2013)

Depósitos coluviales: Materiales transportados a un lugar por acción de la gravedad y en ocasiones en interacción con el agua. (SENPLADES, 2013)

Depósitos glaciares: Son depósitos transportados y depositados por el hielo o por el agua de deshielo. Están formados por tillitas y morrenas. Su composición es muy heterométrica y la distribución es altamente errática. (SENPLADES, 2013)

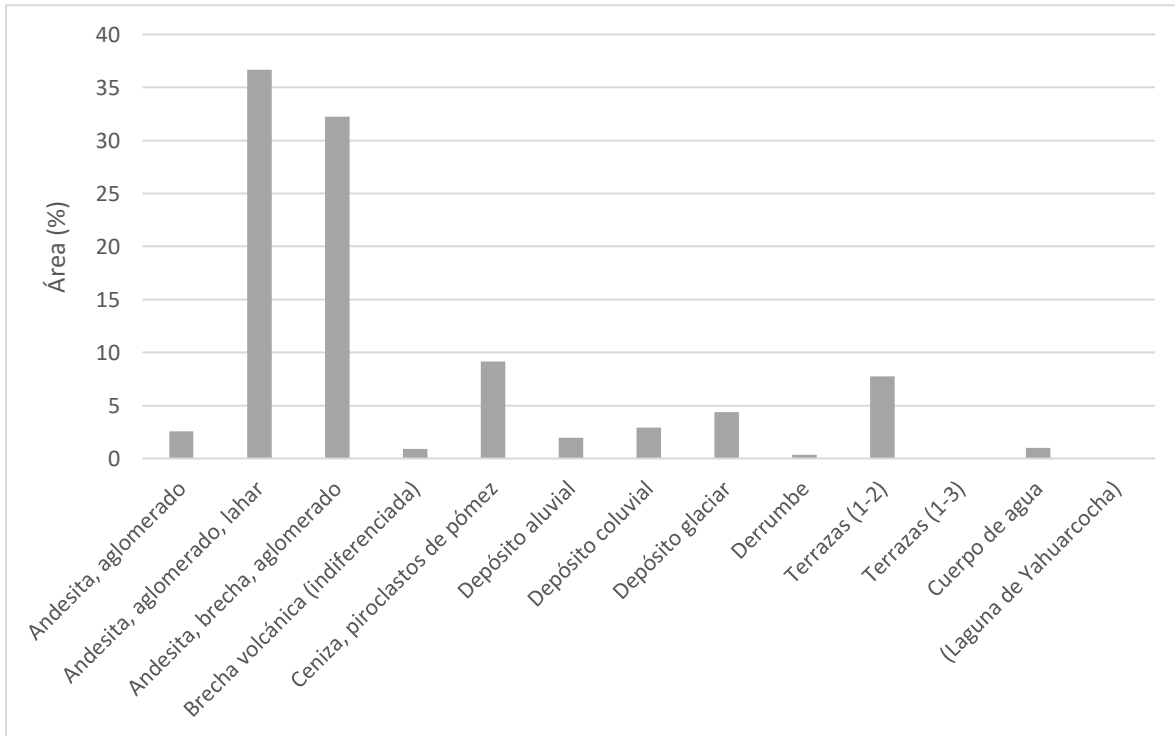
Derrumbe: Un derrumbe es un movimiento descendente de roca o suelo, o ambos, que ocurre en la superficie de ruptura, curva (deslizamientos de rotación) o plana (deslizamiento de traslación), en el que gran parte del material se mueve a menudo como una masa cohesionada o semi-cohesionada con poca deformación interna. (Highland y Bobroswy, 2008)

Terrazas: Son zonas llanas, bajas y estrechas, formadas por depósitos aluviales de arenas características del Cuaternario, combinados con guijarros grandes. Se localizan a ambos lados del plano inundable y originado por repetidos descensos del nivel de la base de erosión. (SENPLADES, 2013)

En la figura 16 se observa el tipo de litología con su respectivo porcentaje de superficie en la zona de estudio.

Figura 16

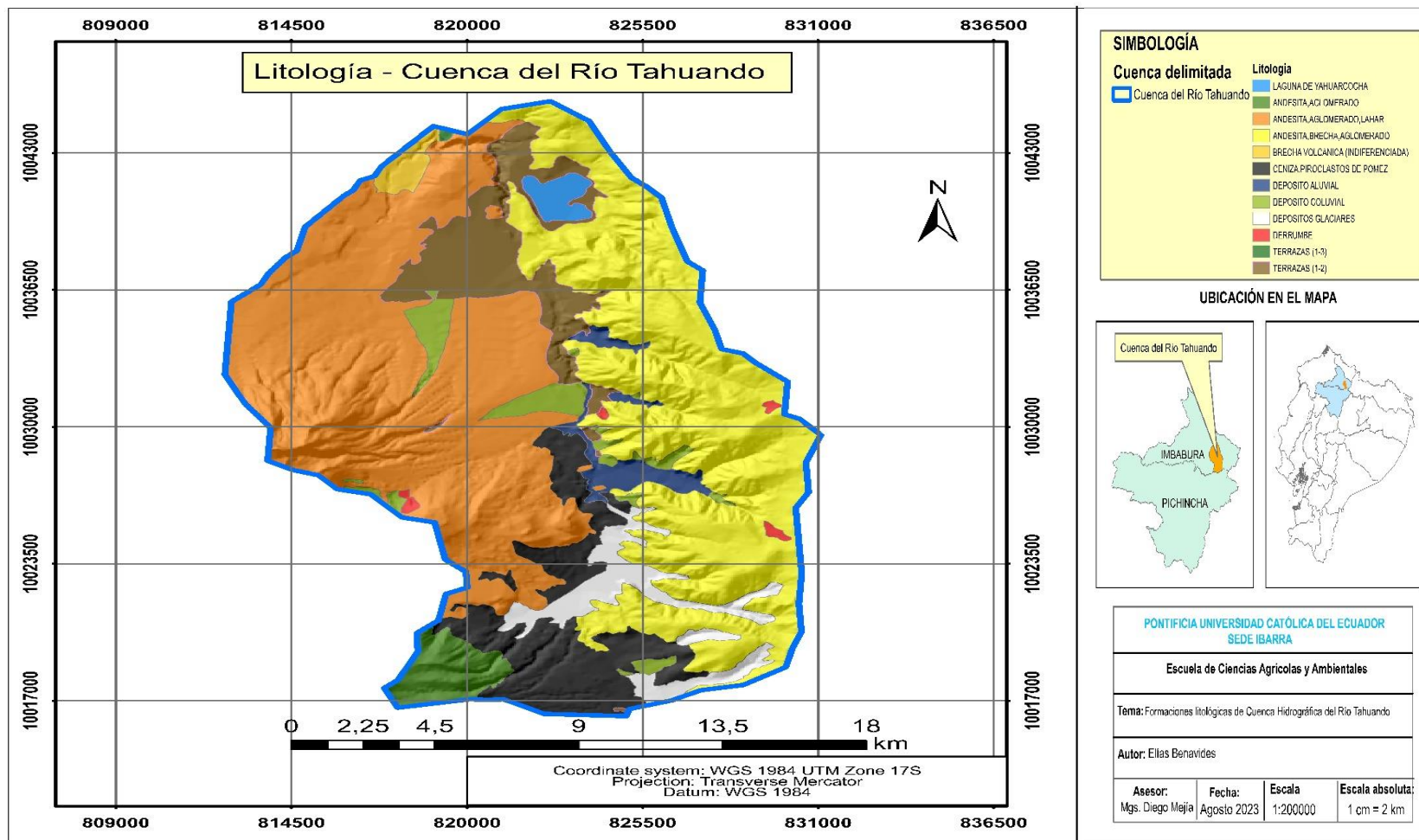
Distribución gráfica de las unidades litológicas de acuerdo con el porcentaje de extensión del área.



Se puede observar como la andesita, brecha, aglomerado y lahar predominan en la formación litológica de la cuenca del Río Tahuando con un 71,52 % del total.

Figura 17.

Mapa de unidades litológicas de la cuenca del Río Tahuando



5.5.4 Permeabilidad

La permeabilidad juega un papel fundamental a la hora de estudiar la forma en que fluye un cauce debido a que el agua se infiltra en el terreno dependiendo de la composición del suelo, entre mayor permeabilidad el agua tiene a escurrir de manera vertical, pero cuando el suelo es impermeable el agua escurre de manera transversal, la permeabilidad influye de forma directamente en la susceptibilidad ante deslizamientos e inundaciones (Samanta, 2018).

Para el mapa temático referente a permeabilidad se utilizó los shapes hidrológicos proporcionados por el SNI en cuya tabla de atributos se encuentran los coeficientes de permeabilidad a nivel nacional, para la zona de estudio los grados de permeabilidad se detallan en la tabla 45.

Tabla 52

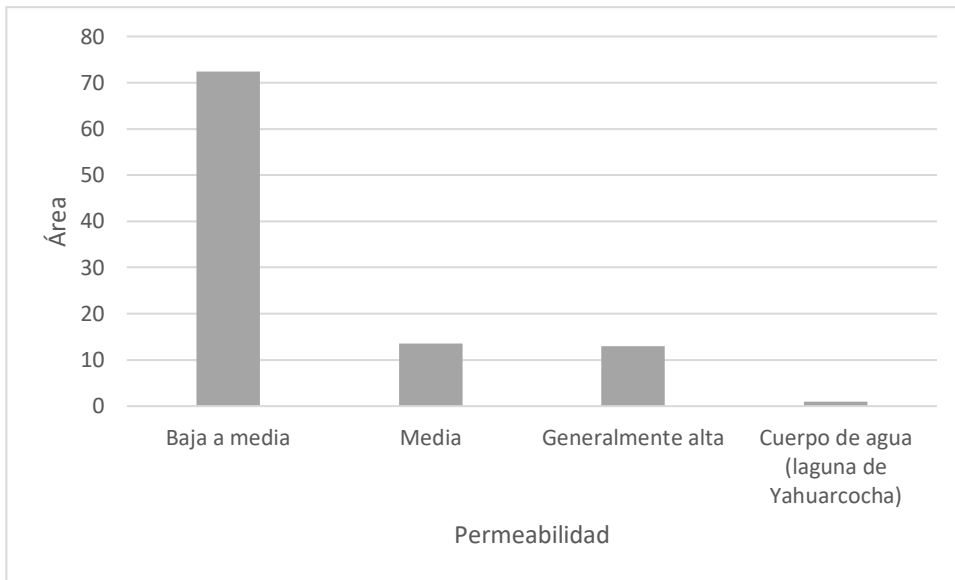
Permeabilidad de la zona de estudio

Número	Descripción	Área (km ²)	Porcentaje (%)
1	Baja a media	253,81	72,43
2	Media	47,51	13,56
3	Generalmente alta	45,63	13,02
	Cuerpo de agua (laguna de Yahuarcocha)	3,47	0,99
	Total	350,42	100

A continuación, se presenta una gráfica con el porcentaje de permeabilidad con su respectiva superficie dentro de la zona de estudio.

Figura 18

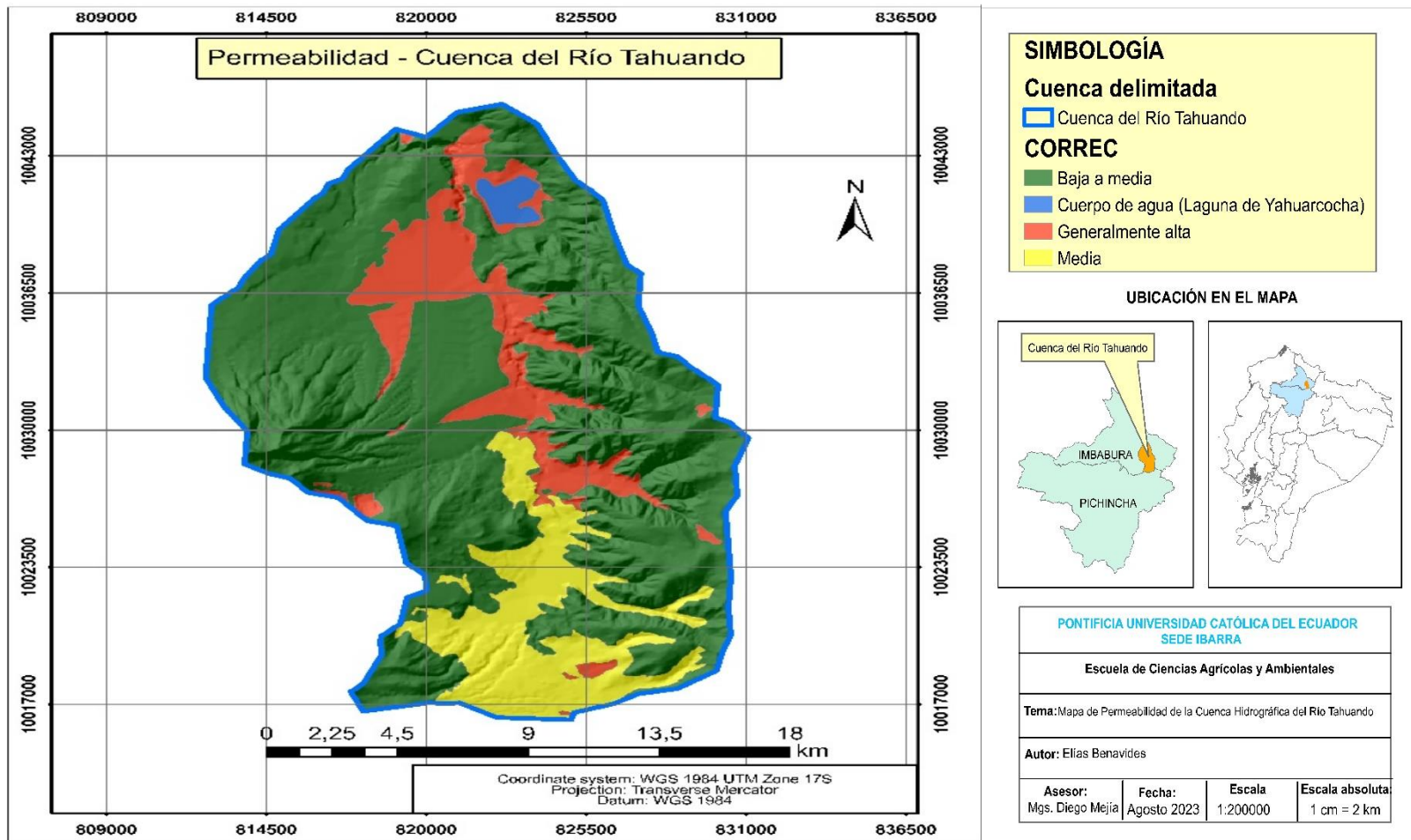
Distribución gráfica de la permeabilidad de acuerdo con el porcentaje adquirido de la extensión del área.



En la figura 17 se puede observar claramente una predominancia de una permeabilizada baja a media en la cuenca hidrográfica del Río Tahuando, la cual es de un 72,43 % del área total, esto quiere decir que por lo que sus suelos son relativamente impermeables haciéndolos poco susceptibles a deslizamientos, por su estabilidad, sin embargo, para susceptibilidad a inundaciones ocurre lo contrario por la poca capacidad del suelo de absorber el agua.

Figura 19

Mapa de permeabilidad de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando



5.5.5 Cobertura vegetal

Para la elaboración de la cartografía temática referente a la cobertura vegetal de la zona de estudio se usó los shapefiles proporcionados por SENPLADES, en donde se encuentra la información de este parámetro a nivel nacional en escala 1:50000, en la siguiente tabla se detalla la extensión de superficie que ocupa cada elemento de cobertura vegetal en la zona de estudio, para descripción de términos se usó el Catálogo Nacional de Objetos Geográficos Versión 2.0 (IEE, 2012).

Tabla 53

Cobertura vegetal de la zona de estudio

Número	Cobertura	Área (km ²)	Porcentaje (%)
1	Asentamiento poblado	12,11	3,46
2	Bosque nativo	9,95	2,84
3	Bosque natural	0,92	0,26
4	Cuerpos de agua	3,47	0,99
5	Cultivos	131,37	37,49
6	Páramo	56,83	16,22
7	Pastizal	57,15	16,31
8	Plantaciones forestales	1,73	0,49
9	Sin cobertura vegetal	17	4,85
10	Vegetación arbustiva	59,89	17,09
	Total	350,42	100

Asentamiento poblado: Esta subcategoría clasifica a los objetos relacionados con un área edificada, poblado/recinto o comunidad.

Bosque nativo: Comunidad vegetal que se caracteriza por la dominancia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos

Bosque natural: Es aquella área que presenta gran variedad de árboles, arbustos y vegetación en general

Cuerpos de agua: Un cuerpo de agua es una masa o extensión de agua como un lago, mar u océano que cubre parte de la Tierra

Cultivos: Producto agrícola, resultado de un conjunto de técnicas y conocimientos para cultivar la tierra.

Páramo: Vegetación tropical altoandina caracterizada por especies dominantes no arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo propios de la zona.

Pastizal: Vegetación herbácea dominada por especies de gramíneas y leguminosas introducidas, utilizadas con fines pecuarios, que, para su establecimiento y conservación, requieren de labores de cultivo y manejo.

Plantaciones forestales: Masa arbórea establecida entrópicamente con una o más especies forestales.

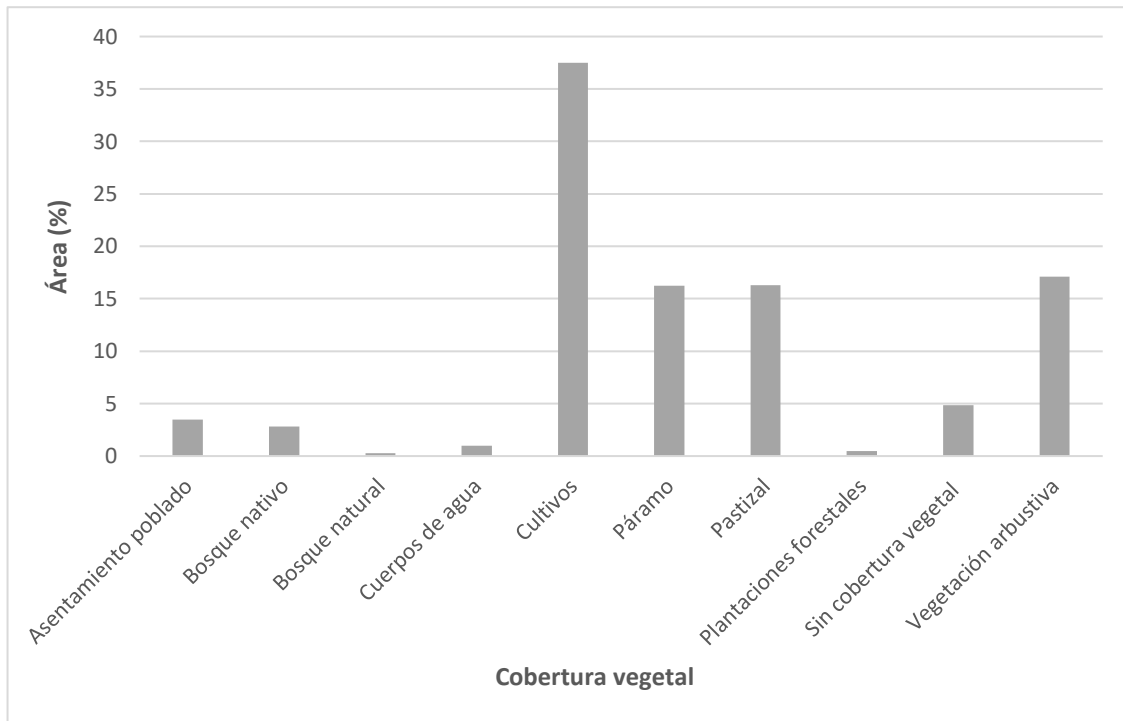
Sin cobertura vegetal: Esta subcategoría se refiere a aquellas áreas generalmente desprovistas de vegetación, que, por sus limitaciones edáficas, climáticas, topográficas o antrópicas, no son aprovechadas para uso agropecuario o forestal, sin embargo, pueden tener otros usos.

Vegetación arbustiva: Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas no arbóreas. Incluye áreas degradadas en transición a una cobertura densa del dosel.

En la siguiente tabla se detalla cada uno de estos parámetros con el porcentaje de su extensión en la zona de estudio:

Figura 20

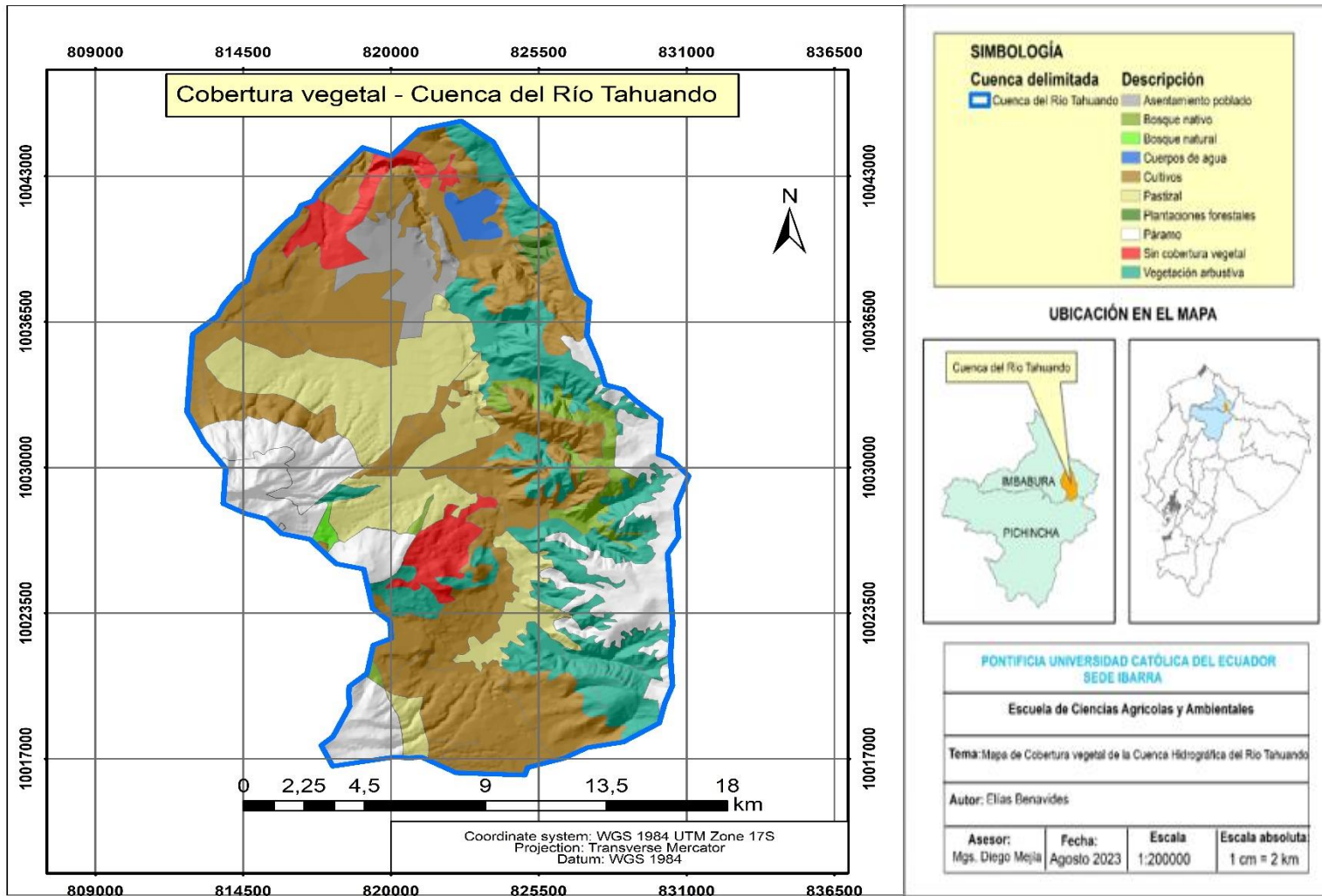
*Distribución gráfica de la Cobertura Vegetal de acuerdo con el porcentaje **adquirido***



En la figura número 19 se puede observar una gran predominancia de cultivos, con un 37,49 % del total del área de la cuenca, es decir que al menos una tercera parte de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando está siendo usada para este fin.

Figura 21

Mapa de cobertura vegetal de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando



5.5.6 Isoyetas

Para realizar el mapa temático de isoyetas para la zona de estudio se utilizó el Shapefile de isoyetas de precipitación anual a nivel nacional realizadas por el Ministerio de Agricultura, ganadería y pesca y se realizó una reclasificación de parámetros de acuerdo a las características de la cuenca, las cuales se describen en la siguiente tabla:

Tabla 54

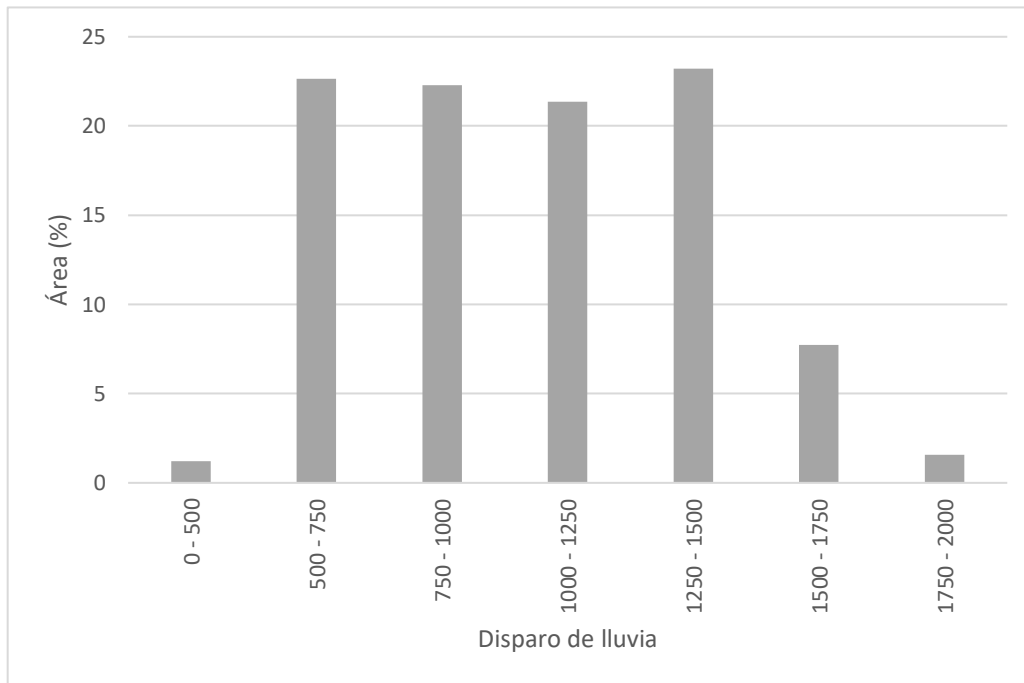
Datos de precipitación de la zona de estudio

Número	Rango (mm)	Área (km²)	Porcentaje (%)
1	0 - 500	4,21	1,20
2	500 - 750	79,33	22,64
3	750 - 1000	78,14	22,30
4	1000 - 1250	74,85	21,36
5	1250 - 1500	81,32	23,21
6	1500 - 1750	27,12	7,74
7	1750 - 2000	5,47	1,56
	Total	350,44	100

En la figura 22 se muestra la relación entre rango de precipitación y el área en la superficie de la zona de estudio.

Figura 22

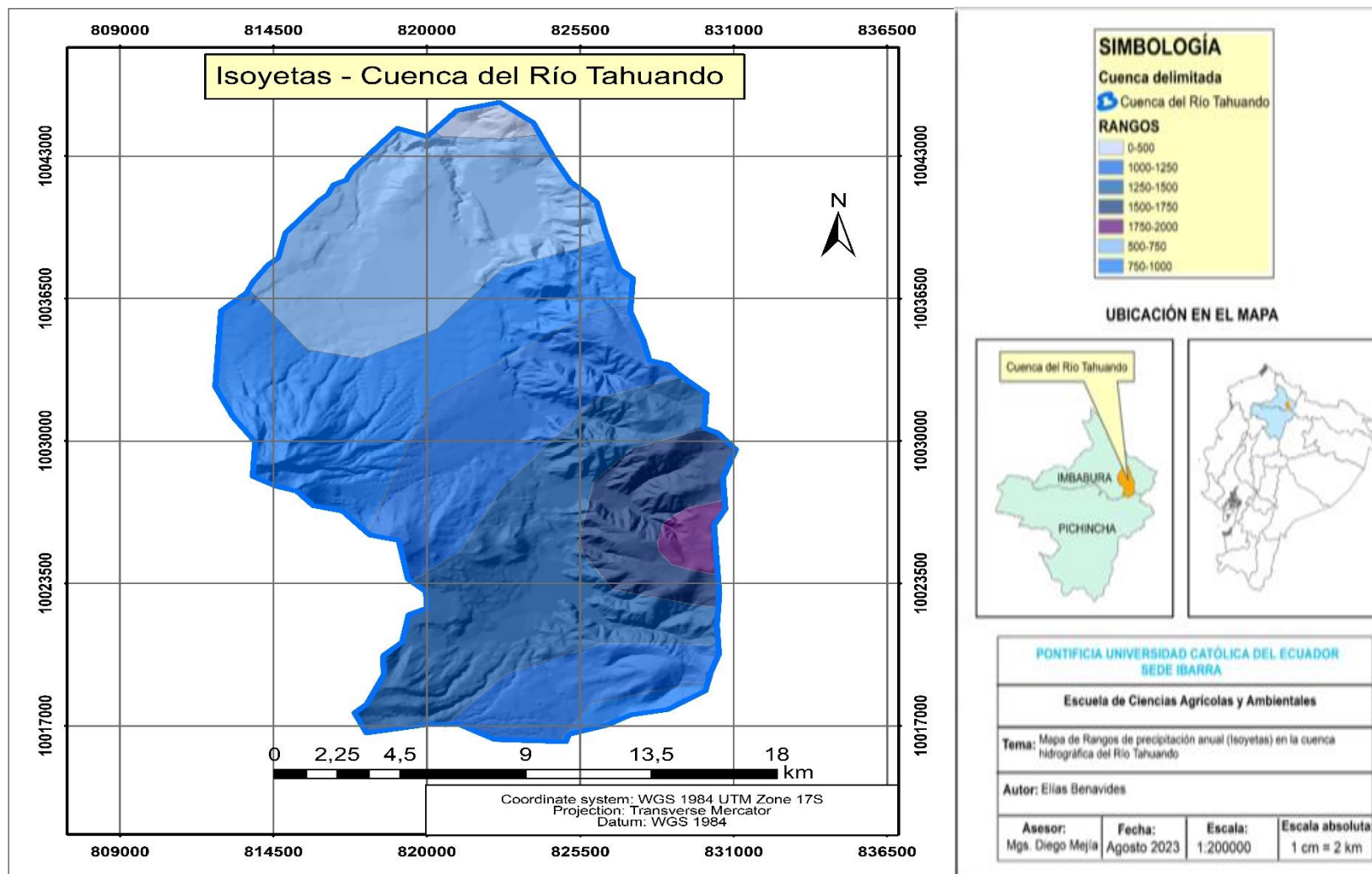
Distribución gráfica de Isoyetas de acuerdo con el porcentaje adquirido de la extensión del área



Se puede observar que la precipitación de 500 a 1500 mm anual predomina en la zona de estudio, con un total 89,51 % del total de la superficie.

Figura 23

Mapa de isoyetas de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando



5.5.7 Isosistas

El mapa temático de este punto se lo realizó con el Shapefile de registro de sismos a nivel nacional proporcionado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGPN) actualizado hasta el 2009, realizando una clasificación de acuerdo a las características de una cuenca para una mejor visualización, en la siguiente tabla se detalla a continuación el rango de magnitud de momento de sismicidad con el área que ocupa en la superficie del área de estudio.

Tabla 55

Datos de sismicidad de la zona de estudio

Número	Rango (Mw)	Área (km²)	Porcentaje (%)
1	0 – 3,3	129,47	37,07
2	3,3 – 3,6	206,98	59,28
3	3,6 – 3,9	11,10	3,18
4	3,9 – 4,2	1,02	0,29
5	4,2 – 5,1	0,72	0,21
	Total	349,29	100

En la figura 24 se observa la relación entre el porcentaje de cada rango y la superficie que ocupa cada uno dentro de la zona de estudio, la cual indica un bajo nivel de sismicidad dentro de la cuenca, en la cual predomina el rango de 3,3 a 3,9 Mw.

Figura 24

Distribución gráfica de Isosistas de acuerdo con el porcentaje adquirido de la extensión del área.

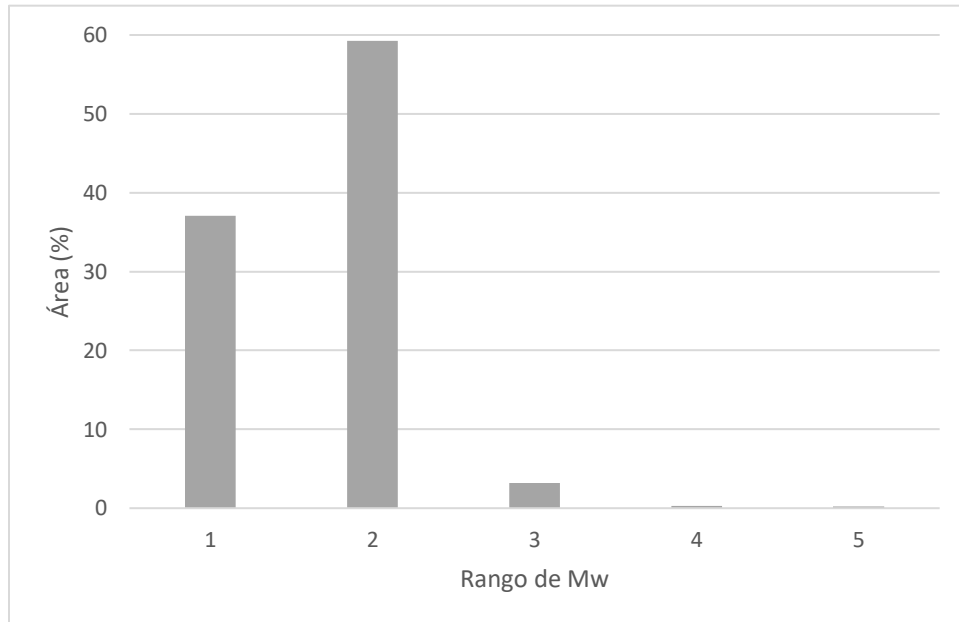
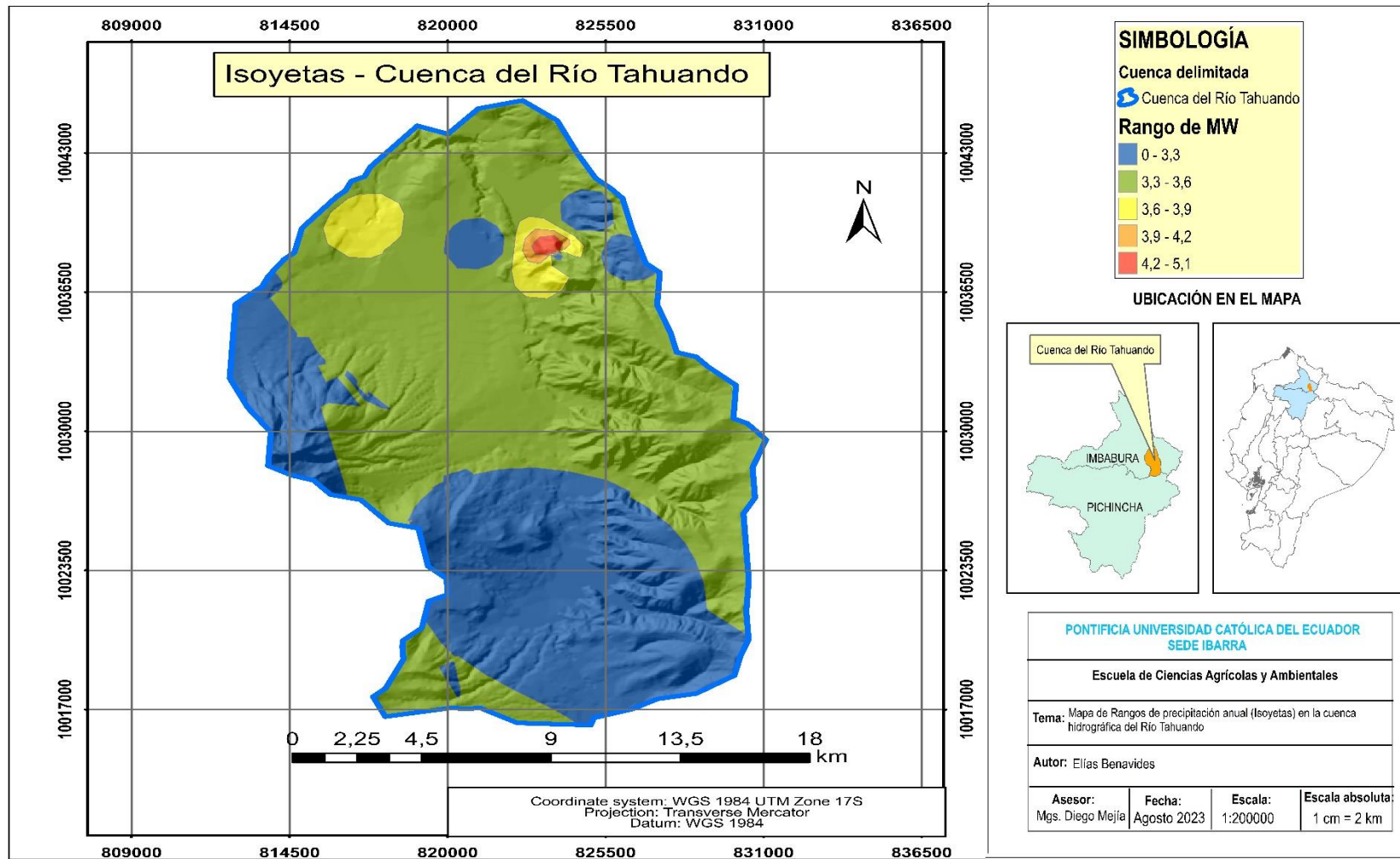


Figura 25

Mapa de isosistas de la cuenca hidrográfica del Río Tahuando



5.5.8 Susceptibilidad ante deslizamientos

Para la elaboración de la cartografía temática se tomaron los factores condicionantes (pendiente, cobertura vegetal, permeabilidad y litología) y los factores detonantes (precipitación y sismicidad) a través del método heurístico aplicando el análisis multicriterio de forma jerárquica de acuerdo a su influencia en este tipo de fenómeno.

Para este cálculo el 75 % de influencia resultó de los factores condicionantes y el 25 % de los factores detonantes, para un mejor entendimiento se realizó la siguiente tabla.

Tabla 56

Jerarquización de factores condicionantes y detonantes relacionados a la susceptibilidad de deslizamientos.

Factor	Variables	Clase	Valor
Factores Condicionantes (75%)	Pendiente (30%)	Plano casi plano	1
		Suave o ligeramente ondulada	2
		Medianamente Ondulado	3
		Medianamente Disectados	4
		Fuertemente Disectados	5
	Cobertura Vegetal (20%)	Bosque Nativo	1
		Plantación Forestal	1
		Cuerpos de Agua	1
		Páramo	1
		Vegetación Arbustiva	2
	Vegetación Herbácea	2	
	Área Poblada	2	
	Infraestructura	2	
	Pastizal	3	
	Mosaico Agropecuario	3	

	Cultivos	4
	Erial/ Sin Cobertura Vegetal	5
	Areniscas, Lutitas Chertosas, Calizas,	1
	Grauvaca	1
	Granodiorita, Tonalita	1
	Rocas Graníticas Indiferencias, Granodiorita	1
	Brechas, Toba	2
	Lavas, Andesitas	2
	Lavas, Andesitas Piroxénicas	2
Litología	Andesita Piroxénica	2
(30%)	Lutitas negras, Areniscas, Filitas	2
	Piroclásticos	3
	Brecha Volcánica	3
	Terrazas (1-3)	3
	Conglomerado, Brecha Arenisca	3
	Dactia, Lutitas Violaceas,	4
	Areniscas, Conglomerado	4
	Depósito aluvial	5
	Depósito coluvial	5
Permeabilidad	Moderado	2
(20%)	Bueno	3
	Excesivo	5
Precipitación	0-500	1
(75%)	500-750	1

		750-1000	2
		1000-1250	2
		1250-1500	3
		1500-1750	4
Factores		1750-2000	5
detonantes			
(25 %)		3,0 – 3,42	1
	Sismicidad	3,42 – 3,83	2
	(25)	3,83 – 4,24	3
		4,24 – 4,66	4
		4,55 – 5,08	5

Con la herramienta RasterCalculator se procedió a calcular de acuerdo a las ponderaciones antes expuestas para poder elaborar el mapa temático de susceptibilidad ante deslizamientos, de lo cual se procedió a reclasificar en cuatro niveles para una mejor visualización (muy baja, baja, media y alta), las zonas con un nivel alto son mínimas dentro de la cuenca, sin embargo el nivel medio ocupa un gran número de extensión, los porcentajes y el área que concierne a cada uno están expuestos en la siguiente tabla:

Tabla 57

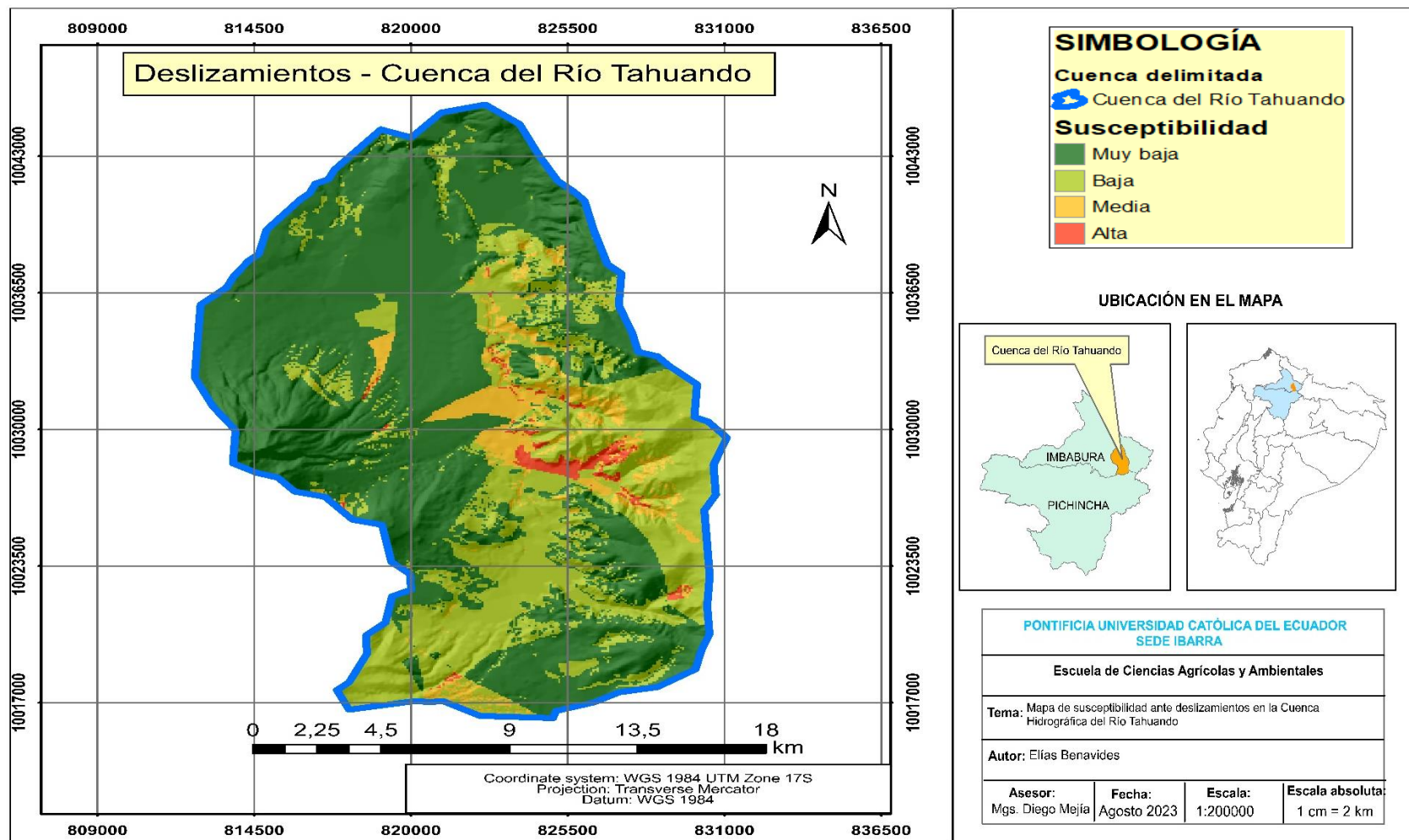
Descripción de la superficie del grado de susceptibilidad ante deslizamientos

Grado de susceptibilidad	Área (km²)	Porcentaje (%)
Muy baja	211,63	60,69
Baja	111,25	31,90
Media	21,12	6,06
Alta	4,72	1,35
Total	348,72	100

La susceptibilidad “baja” corresponde a un 54,77 % siendo así que más de la mitad de la cuenca hidrográfica posee un mínimo ante esta adversidad, sin embargo se observa en el mapa temático de la figura 23 que el 41, 88 % de medio grado y el 3,34 % de alto grado de susceptibilidad son atravesados por el Río Tahuando, esto se debe al alto grado de pendiente originada por la cordillera occidental en la cual fluye este río, lo cual puede generar represamientos por el transporte de sedimentos en la ocurrencia de este fenómeno.

Figura 26

Mapa temático de susceptibilidad ante deslizamientos



5.5.9 Susceptibilidad ante inundaciones

Para la elaboración de la cartografía temática se tomaron los factores (densidad, precipitación, cobertura vegetal y litología) con el método heurístico tomando como base la metodología propuesta por el Sistema Nacional de Información (SNI, 2010) a través de un análisis de orden jerárquico de acuerdo al grado de influencia para este fenómeno.

Tabla 58

Jerarquización de factores condicionantes y detonantes relacionados a la susceptibilidad de inundaciones.

Variables	Clase	Valor
Densidad de drenaje (30%)	Muy baja	1
	Baja	2
	Media	3
	Alta	4
	Muy alta	5
Cobertura Vegetal (20%)	Bosque Nativo	1
	Plantación Forestal	1
	Cuerpos de Agua	1
	Páramo	1
	Vegetación Arbustiva	2
	Vegetación Herbácea	2
	Área Poblada	2
	Pastizal	3
Cultivos	3	
	Mosaico agropecuario	4

	Erial/ Sin Cobertura Vegetal	5
	Infraestructura	5
	Areniscas, Lutitas Chertosas, Calizas,	1
	Grauvaca	1
	Granodiorita, Tonalita	1
	Rocas Graníticas Indiferencias, Granodiorita	1
	Brechas, Toba	2
	Lavas, Andesitas	2
	Lavas, Andesitas Piroxénicas	2
Litología	Andesita Piroxénica	2
(20%)	Lutitas negras, Areniscas, Filitas	2
	Piroclásticos	3
	Brecha Volcánica	3
	Terrazas (1-3)	3
	Conglomerado, Brecha Arenisca	3
	Dactia, Lutitas Violaceas, Areniscas,	4
	Conglomerado	4
	Depósito aluvial	5
	Depósito coluvial	5
	0-500	1
	500-750	1
Precipitación	750-1000	2
(30 %)	1000-1250	2
	1250-1500	3
	1500-1750	4
	1750-2000	5

Con la herramienta RasterCalculator se procedió a calcular de acuerdo a las ponderaciones antes expuestas para poder elaborar el mapa temático de susceptibilidad ante inundaciones, de lo cual se procedió a reclasificar en cuatro niveles para una mejor visualización (muy baja, baja, media y alta), como se puede observar en la figura 26 las zonas de muy baja y baja susceptibilidad predominan en la cuenca, mientras que las zonas media y alta están mayormente en los lugares cercanos a las red hídrica.

La distribución de cada grado y el área a la que le corresponde se observan en la tabla 59.

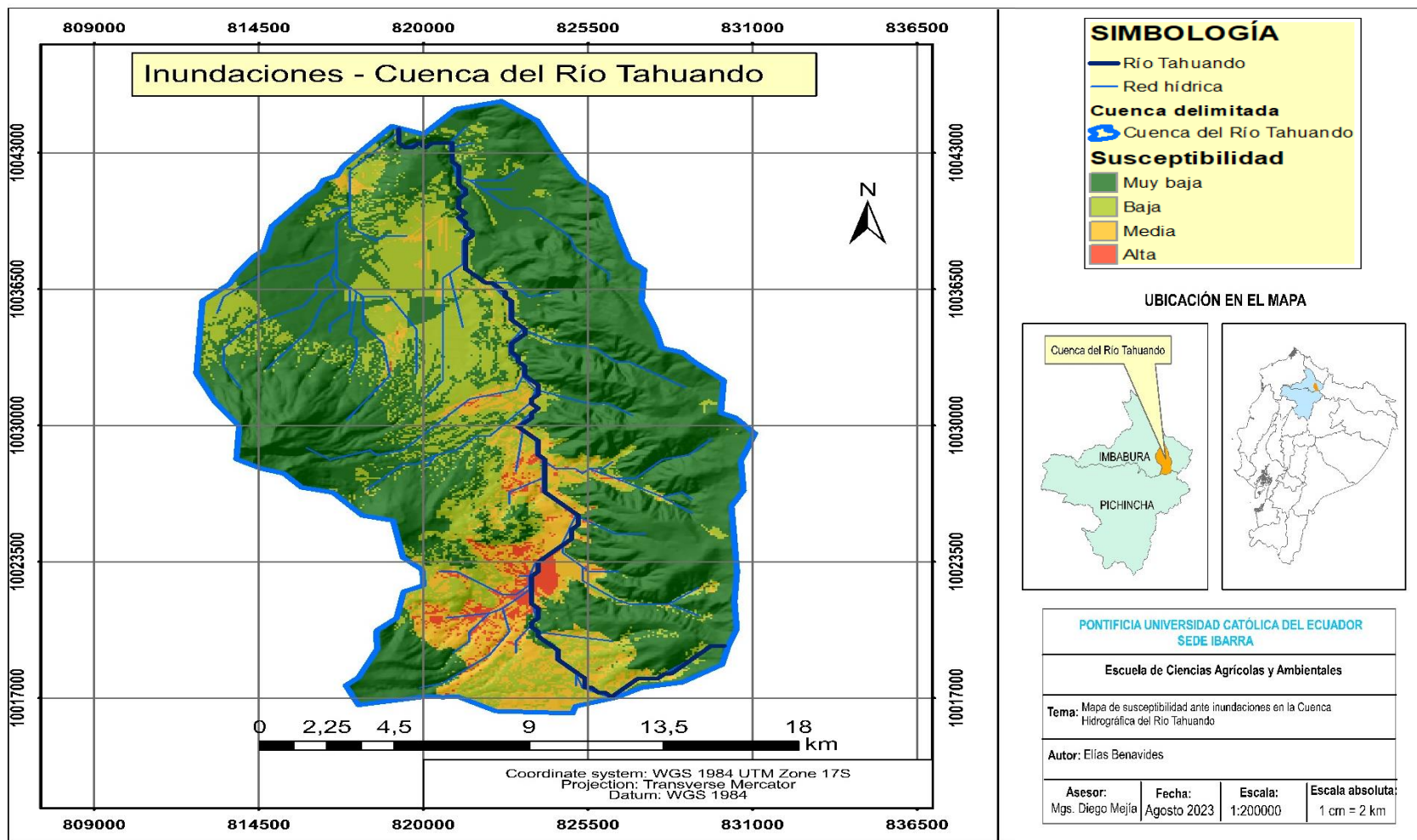
Tabla 59

Área del grado de susceptibilidad ante inundaciones de la zona de estudio

Grado de susceptibilidad	Área (km²)	Porcentaje (%)
Muy bajo	189,48	54,82
Bajo	91,93	26,6
Medio	43,92	12,71
Alto	20,29	5,87
Total	345,62	100

Figura 27

Mapa temático de susceptibilidad ante inundaciones



5.5.10 Discusión de resultados de zonas susceptibles ante deslizamientos e inundaciones.

Para este apartado se usó el método cuantitativo, tal como ha sido propuesto por el Instituto Espacial Ecuatoriano, (2011) , así también, se tomó como base el trabajo de De Paula (2016), cuyo enfoque se centró en la investigación llevada a cabo en el cantón Ibarra para medir la susceptibilidad ante los deslizamientos de tierra, de manera efectiva este autor logró identificar una serie de factores críticos que influyen en la generación de deslizamientos de tierra en esta región. Estos factores abarcan desde la pendiente, la cobertura vegetal, la permeabilidad del suelo y las unidades litológicas y la precipitación, además de considerar a este último como un factor desencadenante, este autor asignó ponderaciones específicas a cada uno de estos factores, reflejando su grado de importancia en el desencadenamiento de deslizamientos: 17%, 15%, 15%, 33% y 20%, respectivamente. Esta metodología ha servido como una base sólida para el presente estudio, sin embargo, a diferencia de ese estudio, se consideró a la sismicidad como factor detonante debido a la presencia complejos volcánicos dentro de la cuenca, por lo que finalmente se cumplió con las mismas variables solicitadas por el Instituto Espacial Ecuatoriano.

Para el caso de susceptibilidad ante inundaciones se siguió los lineamientos proporcionados por el Sistema Nacional de Información, omitiendo el factor de índice de saturación debido a que involucra herramientas SIG externas a la usada en este estudio. Estos lineamientos han sido usados de forma similar por (Moncada y Ojeda, 2018) en Venezuela, demostrando así efectividad para poder determinar las zonas susceptibles ante este fenómeno, la ponderación usada para cada factor en el presente estudio fue dada en base al grado de importancia para la susceptibilidad ante este fenómeno mencionado por (CLIRSEN, 2013)

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- Los factores de forma indicaron que la cuenca del Río Tahuando es catalogada como de tamaño intermedio a pequeño, de forma oval alargada y muy montañosa, características que se atribuyen a cuencas con un gran potencial erosivo, sin embargo, su hipsometría indica que es una cuenca en equilibrio (bajo potencial erosivo), estas contradicciones podrían darse a la diferencia de pendientes dentro de la cuenca, en donde si bien en las partes orientales, occidentales y al sur de la cuenca poseen valores elevados, en el centro y norte disminuyen en gran magnitud.
- La red hídrica la cuenca del Río Tahuando no es homogénea, lo cual se atribuye a un drenaje moderado, con un nivel de inundaciones no muy intensas que puede deberse debido a un coeficiente de torrencialidad no elevado.
- Dentro de la cuenca la susceptibilidad catalogada como “Muy alta” ante deslizamientos e inundaciones es mínima, con 3,34 % y 5,87 % respectivamente, las zonas susceptibles ante deslizamientos se concentran en la parte central y occidental de la cuenca mientras que las zonas susceptibles a inundaciones en
- En los mapas de susceptibilidad ante deslizamientos e inundaciones se pudo observar la incidencia física de estos dos fenómenos en la red hídrica de la cuenca, incluyendo al río principal, es decir, el Río Tahuando, por tanto el escurrimiento de aguas en esta zona se ve afectada por estos factores, con mayor grado de probabilidad de deslizamientos en la cuenca alta y en la zona central de la cuenca de probabilidad de inundaciones zonas media y alta están mayoritariamente en los lugares cercanos a las red hídrica.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

- A futuro se recomienda utilizar información actualizada para obtener un registro temporal y poder realizar proyecciones más precisas.
- Ejecutar planes de prevención y contingencia en zonas con un alto grado de susceptibilidad ante deslizamientos e inundaciones, especialmente si se encuentran cerca de algún centro poblado.
- Ejecutar planes de urbanidad sostenible ya que a medida que se desarrollan nuevas áreas urbanas o se renuevan las existentes, se debe prestar especial atención en evitar construir en áreas de alto riesgo, además de promover el uso adecuado del suelo.
- Promover campañas de reforestación debido a que la plantación de árboles y la implementación de prácticas de control de la erosión en áreas propensas a deslizamientos pueden ayudar a estabilizar el suelo y reducir el riesgo de deslizamientos de tierra.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboelnour, M., Engel, B., Fresbee, M., Gitau, M., y Flanagan, D. (2021). *Impacts of Watershed Physical Properties and Land Use on Baseflow at Regional Scales* (Vol. 35). Texas, USA: Journal of Hydrology: Regional Studies.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100810>
- Acuña, F. (2012). *Estudio de cuencas altiplánicas endorreicas de la segunda región de Chile. Caracterización, tipología y potencialidades de uso.* . Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Alcántara J.L. (2008). *Caracterización Hidromorfológica de la Microcuenca Puyllucana - Baños del Inca - Cajamarca, mediante la aplicación de ArcGis.* Universidad Nacional de Cajamarca.
- Álvarez, J. (2011). *Estimnación de la distrobución espacial de la precipitación en zonas montañosas mediante métodos Geoestadísticos.* España: Centro de Estudios Hidrológicos .
- Análisis morfológico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas.* (2004). Universidad del País Vasco.
- Andrade, C. (2018). “*Estudio fluviomorfológico en una sección del río Mira para su monitoreo y seguimiento, mediante el uso del programa Modelo Hydrologic Engineering Center – Hydrological Modelling System (HEC-HMS) para el diseño de una cartografía hidrológica de riesgos*”. . Ibarra: Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.
- Baldeon, L. (2016). *Modelamiento hidrológico de la Subcuenca del Río Ahamayo.* Huancayo: Universidad del Centro de Perú.
- Baroja, D., Mejía, D., Cevallos, Á., y Puetate, G. (2020). *Sistemas de información geográfica, aplicaciones y ejercicios con ARCGIS.* (Primera ed., Vol. 1). Ibarra: Centro de publicaciones PUCE.

- Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. Obtenido de GITS Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf
- Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Betancor, L., Silveira, L., y García, M. (2014). Incidencia de la intensidad de lluvia en el tiempo de concentración de microcuencas del Uruguay. *18*(2).
- Borselli, L. (2023). *Conectividad de Flujos de Sedimentos: conceptos, aplicaciones y desafíos*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Breña, A., y Jacobo, M. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. México D.F: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., López, A., Del Río, J., y De Marco, S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *27*(1). Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652018000100005
- Campo, A., Aldalur, N., y Fernández, S. (2012). Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina. (77), 7-17. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n77/n77a2.pdf>
- Campo, A., Beatriz, N., y Fernández, S. (2012). *Morfometría fluvial aplicada a una cuenca urbana en Ingeniero White, República Argentina*. Ciudad de México: Geografía Física.
- Campos, D. (1992). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Candia, M. (2015). *Análisis de Riesgo por Inundación en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí*. San Luis Potosí: Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.
- Cañibano, A., y Gandini, M. (2018). El concepto de Rectángulo Equivalente para la caracterización de la forma de una cuenca. *ECOMATEMATICO*, *9*(7-14).
- Cañibano, A., Sastre, P., y D'andrea, R. (2016). Área y perímetro para la caracterización de formas. *1*, 25-32. Obtenido de

https://revistasuma.fespm.es/sites/revistasuma.fespm.es/IMG/pdf/s83-25-area_y_perimetro.pdf

- Carrasco, F. (2017). *Proyecto Constructivo de senda ciclable entre Santurtzi y el Bidegorri de la Arena. Fase 2. Nocedal (Ortuella) – Sanfuentes (AbantoZierbana)* (Vol. 1). Bilbao: BIZKAIA. Obtenido de https://www.bizkaia.eus/home2/archivos/DPTO8/Temas/2018/Informaci%C3%B3n%20p%C3%ABlica%20planes%20y%20proyectos/Senda%20ciclable%20Santurtzi/Memoria_Rev1.pdf?hash=c6cbed1510f0d4e155fc9efd87dcda70yidioma=CA
- Carvalho, P., y Delgado, J. (2013). *Estudio Hidrológico - Hidráulico del puente sobre el río Jadán, parroquia Jadán, cantón Gualaceo, provincia del Azuay*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Castillo, C., Abreu, D., y Álvarez, M. (2021). Evaluación de distintas fórmulas empíricas para el cálculo del tiempo de concentración en la cuenca urbana del río Bélico y Cubanicay, ciudad de Santa Clara. *12*(3), 51-64. doi:<https://doi.org/1029019/enfoqueute.729>
- Chavez, G. (1996). *Geomorfología de la cuenca del río Tijuana aplicada al análisis de uso del suelo a Nivel Regional*. Ensenada: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Cheick, F., y Ndiaye, M. (2021). Use of Geospatial Tools in Morphometric Analysis and Prioritisation of Sub-Catchments of the Soungrougrou (Casamance Basin). *40*, 65-84. doi:<https://doi.org/10.2478/quageo-2021-0024>
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos* (Primera ed., Vol. 4). McGraw-Hill.
- Consorcio Corporación Electrica del Ecuador (CISPDR). (2016). *Plan Hidráulico Regional de la Demarcación Hidrográfica Jubones*. Chenjiang Institute Of Survey, Planning, Design And Research.
- Clavijo, L., y Pérez, C. (2016). *Cálculo del Caudal de Crecientes en la Quebrada Canoas hasta su Desembocadura en la Quebrada Taplas, Municipio de Cultiva, Departamento de Boyacá*. Obtenido de IOSR Journal of Economics and Finance: Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar
- Centro de Levantamiento Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN). (2012). *Programa sociobosque (Anexo 6) Quito*. Obtenido de <http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/Anexos.pdf>

- Centro de Levantamiento Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN). (2013). *Generación de Geoinformación para la Gestión del territorio a nivel nacional Escala 1:25000*. Milagro.
- Comité Científico Internacional. (2017). *XVI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica Memoria*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Cordero , I. (2013). *Evaluación de la Gestión Territorial de la cuenca del río Paute, estrategias y líneas de Acción para superarlas*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Cruz, B., Gaspari, F., Rodríguez, A., Carrillo, F., y Téllez, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 23(64), 26 - 34. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/674/67441039004.pdf>
- Cuasapud, N. (2017). *Manejo y Protección de fuentes de Agua para consumo humano en la Microcuenca del Tahuando, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Cuello, A., Lascarro Frank, y Manco, D. (2019). Determinación del uso de la andesita de la Formación Guatapurí en la industria cerámica. 22-37. doi:10.17081/invinno.8.1.3579
- De La Cruz, S., Mendoza, C., Pezo, P., Ascoy, K., Gonzales, T., y Mejía, H. (2022). Delimitación de una cuenca con ArcGIS. 6(2). doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1906
- Deepika, S., Chathurya, D., Kavala, R., y Kumar, D. (2018). Hydrological Inferences from Watershed Analysis using Remote Sensing y GIS. 6(2), 176 - 185.
- Delgadillo, A., y Páez, G. (2008). *Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo*. En C. Ferrer y M. Duarte (Eds.). (2008). . Jujuy, Argentina: II Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación De Territorio.
- Dimple, D., Rajput, J., Al-Ansari , N., Elbeltag, A., Zerouali, B., y Guimarães, C. (2022). Determining the Hydrological Behaviour of Catchment Based on Quantitative Morphometric Analysis in the Hard Rock Area of Nand Samand Catchment, Rajasthan, India. 9 - 31. doi:<https://doi.org/10.3390/hydrology9020031>
- Flores, F. (2010). *Manejo integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Ambi ubicado en la Provincia de Imbabura entre las poblaciones de Atuntaqui y Otavalo, sector Cantón Cotacachi*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.

- GAD Ibarra. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra 2015-2023*. Ibarra: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra.
- Gariano, S., y Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *ELSEVIER*, 227 - 252. doi:<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Sinisterra, Denegri, G., Delgado, M., y Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *44(101)*, 17-29. Obtenido de https://issuu.com/daliadiezdetancredi/docs/revista_investigaci_n_vol.44-101_sep-dic
- GeoPlaDes. (2010). *Estudio Multitemporal de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo entre los Años 1990, 2010 y Proyección al 2030 a Escala 1:50.000 para el Centro y Sur Oriente de la Amazonía Ecuatoriana y Sistematización de la información sobre los aspectos socio-económicos*. Obtenido de http://portal.sni.gob.ec/c/document_library/get_file?uuid=dfd9c4ae-be34-4e089f0f-fa5c896ee234ygroupId=10156
- Government of the Hong Kong Special Administrative Region. (2018). *Stomwater Drainage Manual*. Hong Kong.
- Gregory, D., y Walling, D. (1973). Drainage Basin Form and Process a geomorphological approach. *International Journal of Geosciences*, 5(13), 79 - 92. Obtenido de [https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqw2orz553k1w0r45\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1363163](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqw2orz553k1w0r45))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1363163)
- Guerra, F. (2002). *Caracterización morfométrica de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado*. San Cristobal, Venezuela: Universidad de los Andes.
- Guilarte, R. (2008). Hidrología Básica. *Geoenseñanza*, 7(1-2), 88 - 108. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36070208>
- Highland, L., y Bobroswy, P. (2008). *Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre derrumbes* (Primera ed.). Reston, Virginia: Servicio Geológico de los EE.UU.
- Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology. *56(3)*, 275 - 370. doi:[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)

- Ibáñez, S., Moreno, H., y Gisbert, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Instituto Espacial Ecuatoriano, (IEE). (2012). *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional Escala 1: 25000*. San Vicente, Ecuador.
- Instituto Geográfico Militar, (IGM). (2013). *Capas de Información Geográfica Básica Del IGM de Libre Acceso. (Codificación UTF-8)*. Obtenido de <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (INEGI). (2010). *Documento Técnico Descriptivo de la Red Hidrográfica Escala 1:50 000*. Aguascalientes, México: Dirección General de Geografía y Medio Ambiente.
- Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. (2014). *Manual de Técnicas de Estabilización Biotécnica en Taludes de Infraestructuras de Obra Civil*. Córdoba: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía.
- Jaramillo, M. (2017). *PROPUESTA DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA CUENCA ALTA DEL RÍO JIPIJAPA*. Jipijapa: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Johnson, C., Affolter, M., Inkenbrandt, P., y Mosher, C. (2017). *An Introduction to Geology*. Obtenido de <https://opengeology.org/textbook/4-igneous-processes-and-volcanoes/>
- Keesstra, S., Van Huissteden, K., Vandanbergue, J., Van Dam, O., De Gier, J., y Pleizier, I. (2005). Evolution of the morphology of the river Dragonja (SW Slovenia) due to land use changes. *Geomorphology*. *ELSEVIER*, 69, 191 - 207. doi:10.1016/j.geomorph.2005.01.004
- Lara, D. (2015). *Ordenamiento de las Actividades Deportivas, Recreativas y de Alimentación que se realizan en la Laguna Yahuarcocha del Cantón Ibarra*. Ibarra: dls gestión y consultoría ambiental.
- Lara, D. (2015). *Ordenamiento de las Actividades Deportivas, Recreativas y de Alimentación que se realizan en la Laguna Yahuarcocha del Cantón Ibarra*. Ibarra: dls gestión y consultoría ambiental.
- Lin Fu, K., Bor-Shiun, L., Kent, T., Chun-Kai, C., y Hsing-Chuan, H. (2016). Evaluation of Environmental Factors in Landslide Prone Areas of Central Taiwan using Spatial Analysis of Landslide Inventory Maps. doi:<https://doi.org/10.5194/nhess-2016-127>

- Llamas, J. (1993). *Hidrología general. Principios y aplicaciones* (Primera ed.). Bilbao: Universidad del País Vaco.
- Londoño, C. (2001). *Cuencas Hidrográficas: Bases Conceptuales – Caracterización Planificación -Administración*. Ibagué: Universidad de Tolima.
- López, R., Zuluaga, A., Gómez, F., y Tapia, L. (2020). Aplicación del Método Mora-Vahrson para evaluar la susceptibilidad a deslizamiento en el Municipio de Manaure, Cesar, Colombia. 4(2), 57 - 70. doi:<https://doi.org/10.55467/reder.v4i2.50>
- López, S. (2022). *Actividad sísmica - vulcánica en la provincia de Imbabura y su relación con el comportamiento humano*. Quito: Universidad Central del Ecuador .
- Lucero, A. (2020). *Estrategia de adaptación climática en zonas urbanas con riesgo de inundación por efecto del cambio climático en la ciudad de Ibarra* . Quito: FLACSO, Ecuador.
- Luino, F. (2004). Sequence of instability processes triggered by heavy rainfall in the northern Italy. *Geomorphology*, 66(1), 13 - 39. doi:10.1016/j.geomorph.2004.09.010
- MAGAP. (2015). *Procedimientos de Geomorfología*. Obtenido de <https://fliphtml5.com/wtae/wepn/basic>
- Manzano, S. (2022). *Efectos del cambio climático en la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Tahuando, provincia de Imbabura*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Maskrey, A. (1998). *Navegando entre Brumas la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al Análisis de Riesgo en América Latina* (Vol. 1). Lima, Perú: La Red. Obtenido de https://www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/neb_intro_nov-09-2002.pdf
- Materón, M., y Jiménez, E. (1986). *Hidrología Básica* (1 ed., Vol. 1). Cali: Universidad del Valle. Obtenido de <https://librosaccesoabierto.uptc.edu.co/index.php/editorial-uptc/catalog/download/141/172/3241?inline=1>
- MINAET. (2008). *Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos* . San José, Costa Rica: Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica.
- Minambiente. (S.F). *Formulación Pomca río Carare Minero Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica*. Cundinamarca, Colombia: Ministerio de Ambiente de la República de Colombia.

- Mora, S., y Vahrson, W. (1994). *Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination* (Vol. 31). Bulletin Association of Engineering Geologists.
- Muñoz, D. (2018). *DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO PAPALLACTA Y SU INFLUENCIA EN LA FUNCIONALIDAD DE LA CUENCA*. Quito: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR .
- Ordoñez, J. (2011). *¿Qué es Cuenca Hidrológica?* (Primera ed.). Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Pabón, E. (2022). *Análisis de los procesos de cambio de uso y cobertura del suelo en la microcuenca del río Tabacay*. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar.
- Pareta, K., y Pareta, U. (2012). Quantitative Geomorphological Analysis of a Watershed of Ravi River Basin, H.P. India. *I*(1), 47 - 62. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/225284427_Quantitative_Geomorphological_Analysis_of_a_Watershed_of_Ravi_River_Basin_HP_India
- Patiño, S. (2019). *Identificación de áreas susceptibles a amenazas y riesgos naturales provocadas por deslizamiento de tierras mediante el uso de SIG en el cantón Mira*. Ibarra: Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Ibarra.
- Patiño, S. (2019). *Identificación de áreas susceptibles a amenazas y riesgos naturales provocadas por deslizamiento de tierras mediante el uso de SIG en el cantón Mira"*. Ibarra: Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Ibarra.
- Pozo, J. (2023). *Caracterización hidroclimática de la microcuenca del Río Tahuando, provincia de Imbabura, período julio 2021– enero 2022*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Pulido, I., Gutiérrez, J., y Savic, D. (2012). Heuristic Modelling of the Water Resources Management in the Guadalquivir River Basin, Southern Spain. *26*, 185 - 209. doi:10.1007/s11269-011-9912-0
- Quijano, J. (2014). *Parámetros morfométricos, geomorfológicos y correlación estructural en cinco cuencas hidrográficas de la cuenca Amagá*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Quinde, P., y Reinoso, E. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca. *Revista de Ingeniería Sísmica*(94), 1-26.

- Rakbeck, C., Borregard, M., Antonelli, A., Holt, B., David, N., Christian, R., . . . Colwell, R. (2019). *uilding mountain biodiversity: Geological and evolutionary processes* (Vol. 365). sciencemag. doi:10.1126/science.aax0151
- Ress, L., James, A., y Chen - Ling, H. (2019). Impacts of urban drainage systems on stormwater hydrology: Rocky Branch Watershed, Columbia, South Carolina. *Journal of Flood Risk Management*, 13. doi:10.1111/jfr3.12643
- Riva, P., Sánchez, A., y Gaspari, F. (2013). Caracterización morfométrica de la cuenca del río Luján, Buenos Aires, Argentina. 21, 1 - 20. Obtenido de <https://host170.sedici.unlp.edu.ar/server/api/core/bitstreams/901ab065-e416-463c-b4be-605fb08c78d7/content>
- Rosero, M. (2017). *Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Samaniego, J., Alatorre, J., y Van Der Borgh, R. (2021). *Soluciones basadas en la naturaleza El potencial de la restauración y conservación de bosques para la adaptación al cambio climático en Centroamérica*. Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Samanta, S., Pal, D., y Palmasanta, B. (2018). Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Applied Water Science*, 8, 44-102. doi:10.1007/s13201-018-0710-1
- Sandoval, H. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. . GAD Angochahua.
- Santillán, V. (2013). *Aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) para la elaboración de modelos zoogeográficos: un estudio del caso*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Schumm, S. (1963). Sinuosity of Alluvial Rivers in the Great Plains. 74, 1089-1100. doi:http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606
- Secretaría De Gestión de Riesgos. (2014). *Amenaza a Inundaciones: Escenario Mensual*. Quito: Sala de Situación Nacional.
- Secretaría Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2016). *Caracterización hidrológica de los distritos de Pampas y Santiago de Tucuma*. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

- Senciales, J. (2008). *El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio Hidrográfico*. Málaga: Departamento de Geografía, Universidad de Málaga.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, (2013). *Catálogo Nacional de Objetos Geográficos*. Quito: SENPLADES.
- Smichowski, H., y Contreras, F. (2022). *Análisis morfométrico de la cuenca río Santa Lucía (Corrientes, Argentina)*. Centro de Ecología Aplicada del Litoral – CECOAL (CONICET / UNNE), Argentina.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2011). *Factores y su valoración para la metodología preliminar de elaboración de mapas de amenaza por inundaciones a escala 1:50.000*. Secretaría Nacional de Riesgos.
- Sistema Nacional de Información. (2010). *Factores y su valoración para la metodología preliminar de elaboración de mapas de amenaza por inundaciones a escala 1:50.000*. Obtenido de <https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/SNRG/ATLAS%20B%20C3%81SICO%20PRELIMINAR/METODOLOGIA/Methodolog%20ADa%20INUNDACIONES.pdf>
- Sosa, G., y Ojeada, G. (2014). Morfometría comparada de tres cuencas hídricas en la ladera occidental de la sierra de Comechingones. San Luis, Argentina. *Revista De Geología Aplicada a La Ingeniería Y Al Ambiente*, 33, 73 - 81.
doi:<https://www.editoriasagai.org.ar/ojs/index.php/rgaia/article/view/73>
- Stephen, N. (2018). *Sedimentos y Rocas Sedimentarias*. Universidad de Tulane.
- StormAdvisor. (2023). *Does Flooding Cause Soil Erosion?* Obtenido de <https://stormadvisor.com/does-flooding-cause-soil-erosion/>
- Strahler, A. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. C. *Transaction, American Geophysical Union*, 38(6). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/463221436/STRAHLER-1957-pdf>
- Strahler, A. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. New York: Handbook of Applied Hydrology.
- Suárez, A. (2017). *Caracterización de la ripabilidad de materiales andesíticos del túnel de Bombolí, en la localidad de Tandapi (Ecuador)*. Valencia, España: Universitat Politècnica de València.

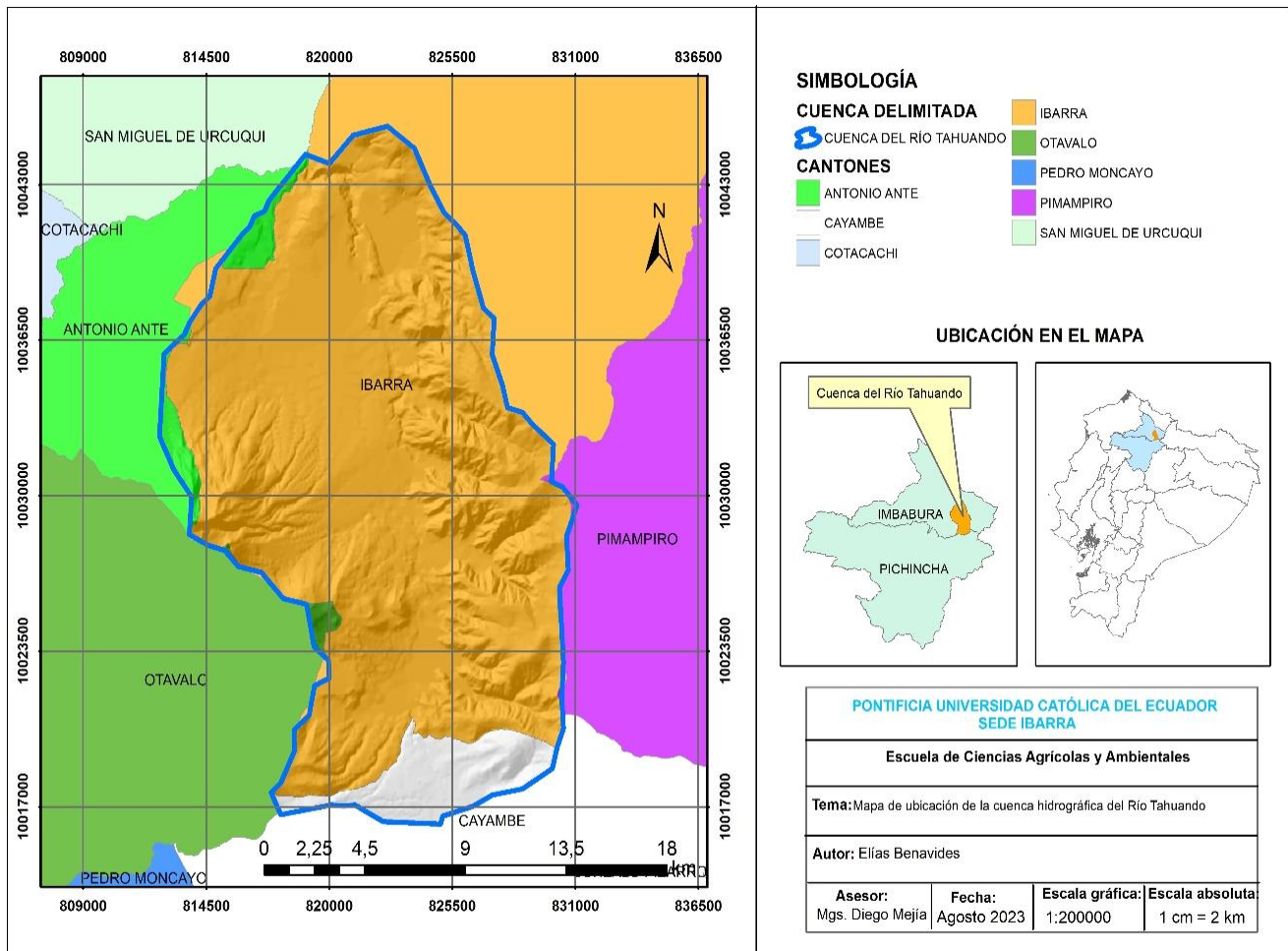
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, Gobierno de Chile. (2013). *Guía Análisis y Zonificación de Cuencas Hidrográficas para el Ordenamiento Territorial*. Ibarra: CEPAL.
- Tamayo, L. (2016). *Calidad de agua y suelo en la cuenca de río Ambi, para uso agrícola en los campos experimentales de la Ciudad del Conocimiento Yachay mediante análisis físico - químico*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE".
- Torres, A. (S.F). *Estudio de las tobas azufradas del volcan nevado del Chiles*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., y Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Quito: Abya-Yala.
- Vélez, J., y Botero , A. (2010). *Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales*. Manizales, Colombia: Dyna.
- Verdugo, M. (2017). *Análisi morfométrico de las microcuencas a las que pertenece el bosque y la vegetación protectora Aguarongo (BVPA), influencia en el comportamiento Hidrológico*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador.
- Villamarín, C., Narcís, P., y Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *42(5)*, 1072-1086. doi:<http://dx.doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-12>.
- Volonté, A., Gil, V., y Campo, A. (2018). Estudio de la vegetación y sus efectos en la dinámica fluvial en cuencas serranas, Argentina. *59(2)*, 366-380. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347760473009>
- Weerasinghe, K., Malalasekara, A., Dahanayake, K., y Jayashantha, S. (2008). *Learning to live with LANDSLIDES Natural Hazards and Disasters*. The German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development and implemented with assistance of the German Technical Cooperation - GTZ.
- Yáñez, M. (2019). *Balance Hídrico de la Microcuenca del río Tahuando, parroquia Angochagua – Ibarra*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE".
- Yeguez, M., Ablan, M., Buytaert, W., Acevedo, D., Rodríguez, M., y Mchado, D. (2019). Modelado hidrológico de un páramo andino venezolano con afloramientos. Mérida, Venezuela: Maskana. doi: <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.06>

Youssef, A., Pradhan, B., Gaber, A., y Buchroithner, M. (2009). Geomorphological hazard analysis along the Egyptian Red Sea coast between Safaga and Quseir. *9*(3), 751-766.
doi:<https://doi.org/10.5194/nhess-9-751-2009>

ANEXOS

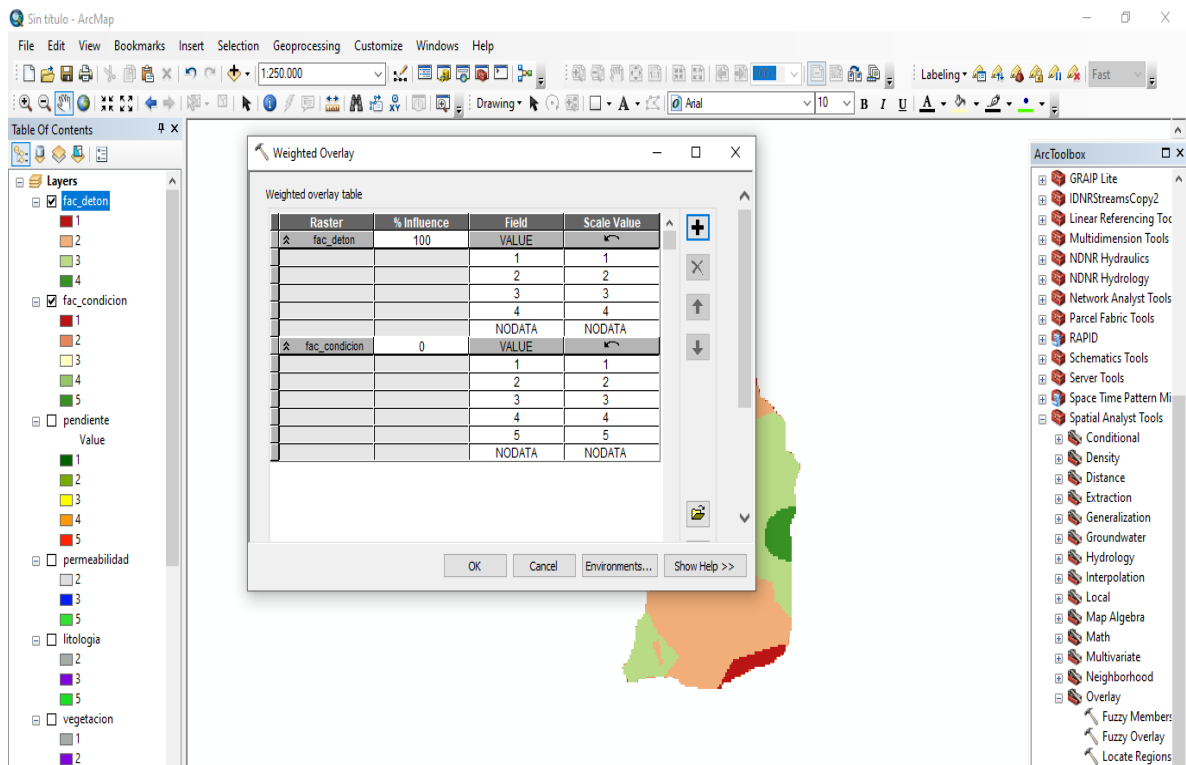
Anexo 1

Mapa de ubicación de la cuenca del Río Tahuando



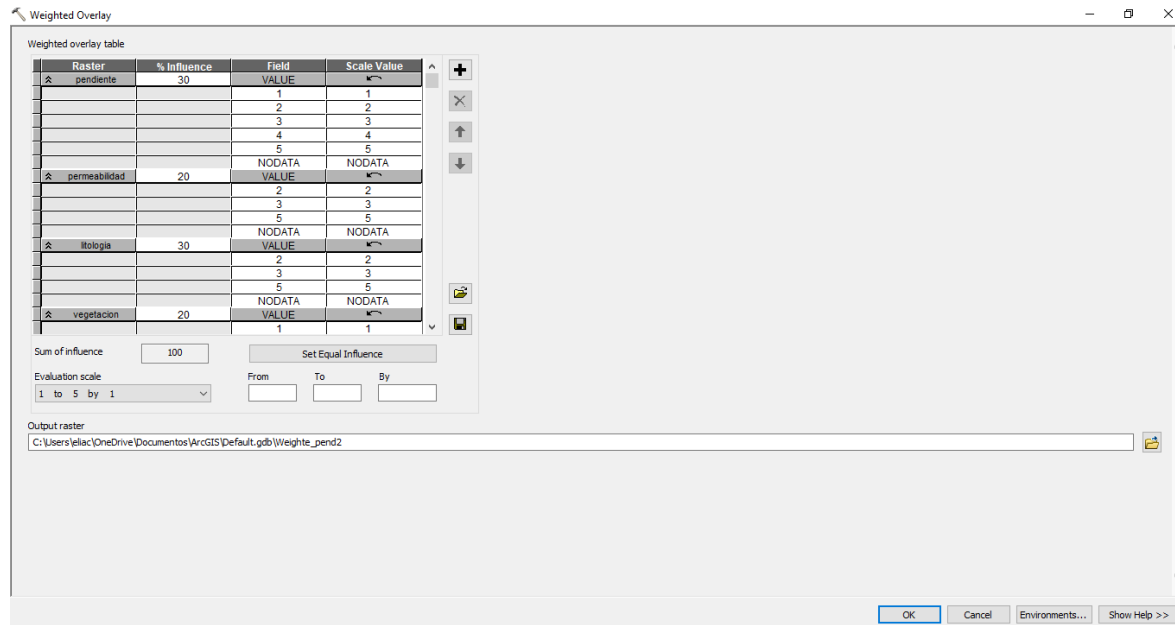
Anexo 2

Raster Calculator para susceptibilidad ante deslizamientos



Anexo 3

Raster Calculator para susceptibilidad ante inundaciones



Anexo 4

Cálculo de factores condicionantes y detonantes en la susceptibilidad ante deslizamientos

Factores condicionantes

Pendiente
(30%)

*

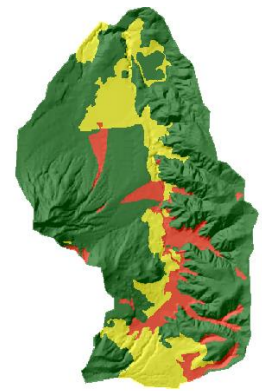
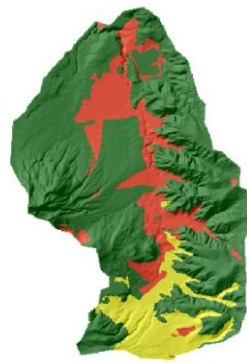
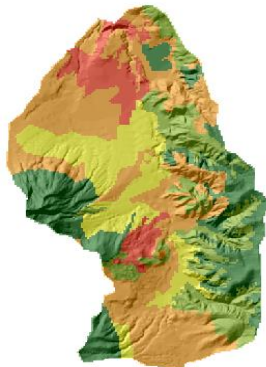
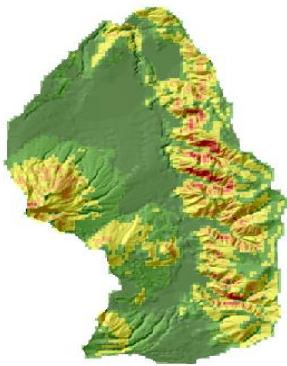
Cobertura vegetal
(20%)

*

Permeabilidad
(20%)

*

Litología
(30%)

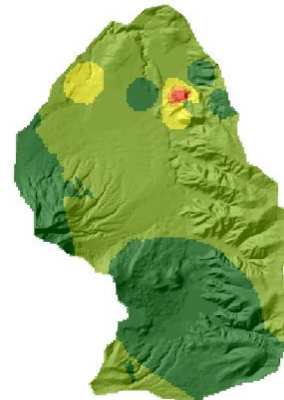


Factores detonantes

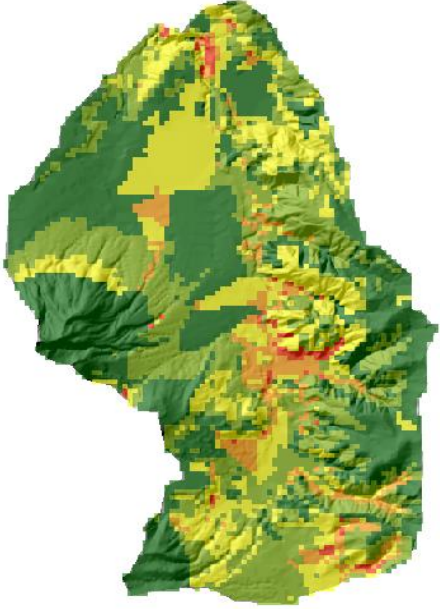
Precipitación
(75%)

+

Sismicidad
(25%)

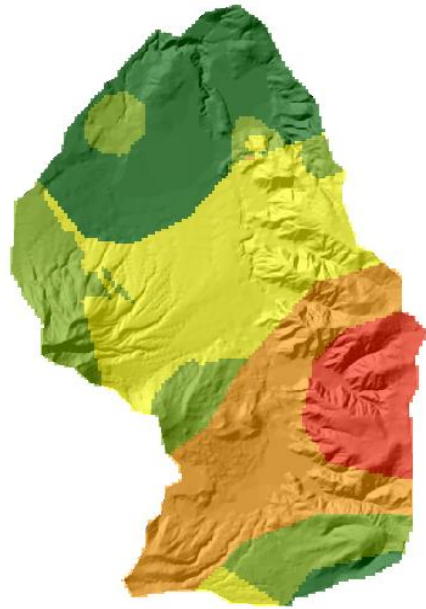


Factores condicionantes
(75 %)



*

Factores detonantes
(25 %)

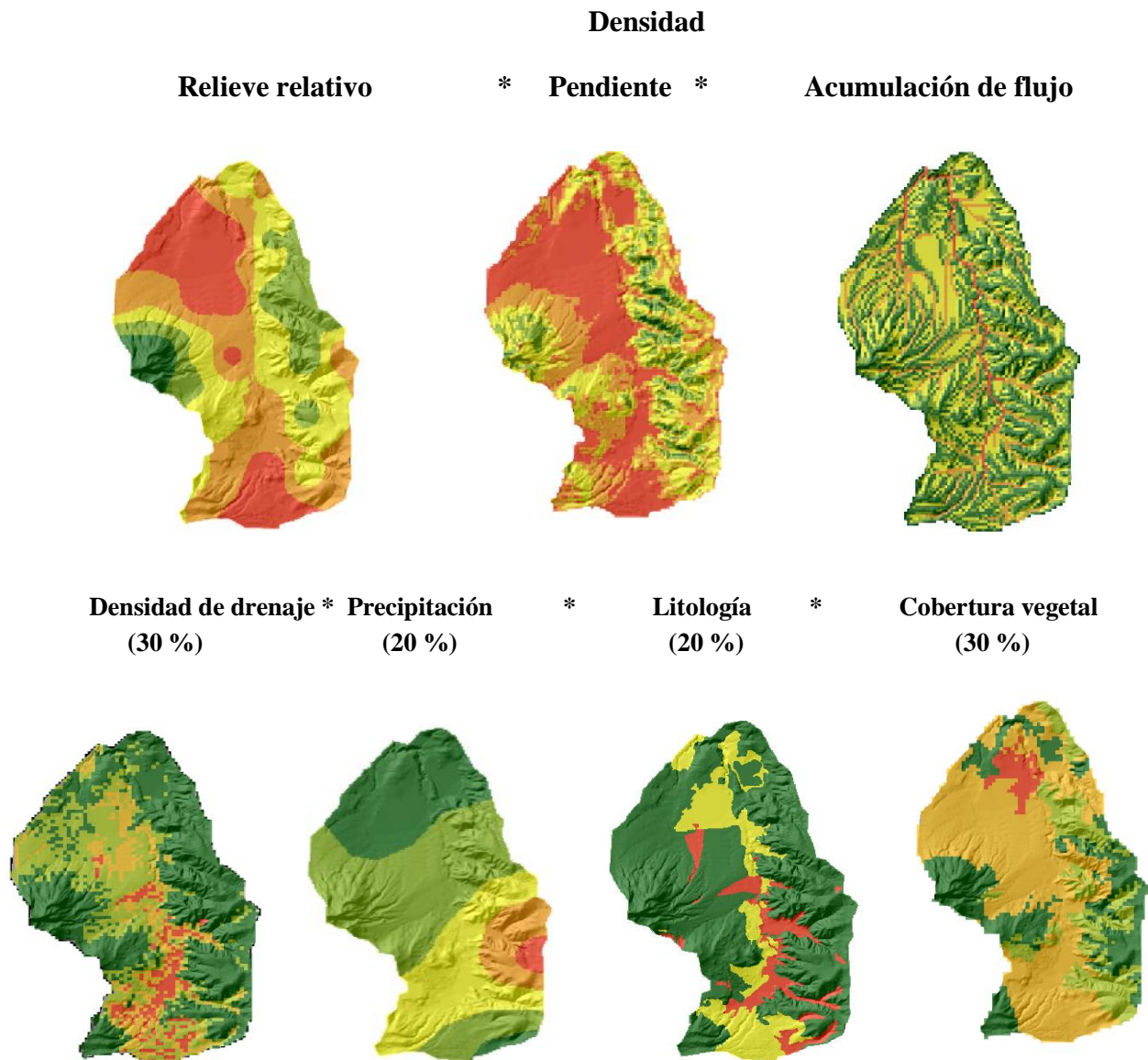


Susceptibilidad ante deslizamientos



Anexo 5

Cálculo de factores en la susceptibilidad ante inundaciones



Susceptibilidad ante inundaciones

