



**Morfometría, Hidrología e Hidrometría de la cuenca Urcuhuaycu y propuesta de
recuperación.**

Hurtado Bolaños, William David y Jiménez Alvarez, Patricio Daniel

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Carrera Villacrés, David Vinicio PhD.

Ing. Guerrón Varela, Edgar Ramiro Mgs.

13 de septiembre del 2021



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS HURTADO_JIMENEZ.pdf (D112249954)
Submitted: 9/8/2021 7:19:00 PM
Submitted By: jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Significance: 7 %

Firma DAVID
VINICIO
CARRERA
VILLACRES

Firmado digitalmente por
DAVID VINICIO
CARRERA VILLACRES
Fecha: 2021.09.10
12:04:09 -05'00'

.....
Ing. Carrera Villacrés David Vinicio PhD.
C.C.: 1712218518

Firma

 Firmado electrónicamente por:
EDGAR RAMIRO
GUERRON VARELA

.....
Ing. Guerrón Varela Edgar Ramiro Mgs.
C.C.: 1707312698



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el trabajo de titulación, “**Morfometría, Hidrología e Hidrometría de la cuenca Urcuaguaycu y propuesta de recuperación**” fue realizado por los señores **Hurtado Bolaños, William David y Jiménez Alvarez, Patricio Daniel**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de septiembre del 2021

Firma

DAVID VINICIO
CARRERA
VILLACRES

Firmado digitalmente
por DAVID VINICIO
CARRERA VILLACRES
Fecha: 2021.09.10
12:03:42 -0500

.....
Ing. Carrera Villacrés David Vinicio PhD.

C.C.: 1712218518

Firma



Firmado electrónicamente por:
**EDGAR RAMIRO
 GUERRON VARELA**

.....
Ing. Guerrón Varela Edgar Ramiro Mgs.

C.C.: 1707312698



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Hurtado Bolaños, William David y Jiménez Alvarez, Patricio Daniel**, con cédulas de ciudadanía N°. **1718056771 y 1004454334**, respectivamente; declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación "**Morfometría, Hidrología e Hidrometría de la cuenca Urcuwaycu y propuesta de recuperación**", es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de septiembre del 2021

Firma

Hurtado Bolaños, William David
C.C.: 1718056771

Firma

Jiménez Alvarez, Patricio Daniel
C.C.: 1004454334



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Hurtado Bolaños, William David y Jiménez Alvarez, Patricio Daniel**, con cédulas de ciudadanía N°. **1718056771 y 1004454334**, respectivamente, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“Morfometría, Hidrología e Hidrometría de la cuenca Urcuwaycu y propuesta de recuperación”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de septiembre del 2021

Firma

.....
Hurtado Bolaños, William David
C.C.: 1718056771

Firma

.....
Jiménez Alvarez, Patricio Daniel
C.C.: 1004454334

Dedicatoria

A Dios y mi familia, dedico todos mis logros, que, gracias a su amor, confianza y apoyo incondicional, formaron en mi lo que soy ahora.

Hurtado Bolaños, William David

Este trabajo de titulación simboliza todos estos años de esfuerzo, se lo dedico a mi padre y madre por haberme hecho la persona que soy el día de hoy, todos mis logros se los debo a ustedes, me formaron con reglas y con algunas libertades, pero siempre confiando en lo capaz que puedo llegar a ser.

Jiménez Alvarez, Patricio Daniel

Agradecimiento

Agradezco a Dios por culminar esta etapa de mi vida, llena de experiencias y conocimiento. Quiero agradecer a todos los que me han acompañado en este camino de esfuerzo, alegrías y dedicación.

A mis padres, Elizabeth y William, que con su amor, esfuerzo y cuidado me han permitido lograr los éxitos alcanzados. Por cada día enseñarme a ser buena persona y por cultivar en mí, valores que día a día los guardo en base a su historia y ejemplo.

A mi hermana, Melanie, por sus ocurrencias y cariño que supieron levantarme en este camino, por muchas alegrías y apoyo brindado, porque con solo una risa alegre la vida de los que la tenemos cerca, siempre gracias.

A los amigos que estuvieron en los tiempos de formación y convirtieron parte de esta etapa en una alegría: Majo, Daniel, Steeven y Caleb, por apoyarme y aconsejarme, siempre gracias colegas.

A Stephen, Diego y Clemente que gracias a su ayuda y colaboración se llevó a cabo el cumplimiento del presente trabajo y a mis tutores que brindaron los conocimientos y enseñanzas.

Hurtado Bolaños, William David

Agradecimiento

A Dios porque siempre sentí su compañía en los tiempos más difíciles.

A mis padres, Denny y Patricio, por nunca dejarme abandonar este sueño y por enseñarme que el trabajo duro y la perseverancia me harán alcanzar mis metas.

A mis hermanos, Doménica y José Luis, que me brindaron su apoyo con sus ocurrencias y risas cuando pasaba por días en los que el estrés y la frustración inundaban mi cabeza.

A mis abuelitos que siempre están en mi mente y en mi corazón, sus historias y su cariño han sido la mejor inspiración para aprender y conocer más de este mundo.

A las personas que estuvieron a mi lado desde el principio de este camino, y a las que se quedaron, que ahora más que poder llamarlos amigos son mi familia, Lenin, Jurgén, Jefry, Pablo, Paúl, David, Majo, Steeven, Caleb, Kevin y Raúl, gracias por darme su confianza y tantas anécdotas que contar.

Y finalmente gracias a mis tutores y a las personas que se interesaron y nos permitieron realizar este proyecto Stephen, Diego, Clemente, Carlos y Cinthya que me enseñaron que los pequeños actos pueden resultar en grandes cambios para las personas.

Jiménez Alvarez, Patricio Daniel

“Nunca es tarde para ser quien quieras ser. Espero que vivas una vida de la que te sientas orgulloso, y si no lo estas, espero que tengas la fortaleza para empezar de nuevo”

F. Scott Fitzgerald

Índice de Contenido

Portada _____	1
Similitud de contenido _____	2
Certificado del director _____	3
Responsabilidad de autoría _____	4
Autorización de publicación _____	5
Dedicatoria _____	6
Agradecimiento _____	7
Índice de Contenido _____	9
Índice de Tablas _____	15
Índice de Figuras _____	17
Resumen _____	20
Abstract _____	21
Capítulo I Introducción – Aspectos Generales _____	21
Planteamiento del problema _____	22
Delimitación del área de estudio _____	23
Delimitación de la microcuenca Urcuwaycu _____	23
Delimitación temporal _____	24
Justificación e importancia _____	24
Objetivo general _____	25
Objetivos específicos _____	25
Capítulo II Fundamentación teórica _____	27
Cuencas hidrográficas _____	27
Clasificaciones de las cuencas hidrográficas _____	27
Por su tamaño _____	28
Por el sitio de su desembocadura _____	29
Por su uso _____	30

Morfometría	30
Parámetros generales	32
Parámetros de forma	32
Parámetros de relieve	34
Parámetros de la red hídrica	37
Hidrología	38
Precipitación	39
Determinación de la precipitación media	39
Deducción de datos faltantes para el cálculo de precipitación de una Cuenca Hidrográfica.	40
Método de regresión lineal	40
Calidad de agua en cuencas hidrográficas	41
Hidrometría	42
Métodos de Medición de Caudales en una Cuenca Hidrográfica	42
Método de área-velocidad o flotadores	42
Método del vertedero	42
Análisis del suelo en cuencas hidrográficas	43
Erosión del suelo de cuencas hidrográficas	44
Erosión del suelo en el volcán Ilaló	44
Ecuación universal de la pérdida del suelo (USLE)	45
Factor R (erosividad de las lluvias)	46
Factor K (erodabilidad del suelo)	47
Factor LS (topográfico)	47
Factor C (cubierta vegetal)	48
Factor P (prácticas de conservación)	48
Restauración hidrológica	49
Métodos de restauración hidrológica	49

Fajinas	50
Albarradas	51
Diques	52
Capítulo III Metodología y materiales	54
Parámetros morfométricos	55
Trazado de la microcuenca hidrográfica	55
Parámetros generales	56
Área (A)	56
Perímetro (P)	56
Longitud del cauce principal (L)	56
Longitud axial (La)	57
Ancho promedio de la cuenca (W)	58
Desnivel altitudinal (DA)	58
Parámetros de forma	59
Factor de forma Horton (Rf)	59
Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc)	59
Coeficiente de circularidad (Cc)	60
Parámetros de relieve	60
Pendiente media del cauce (j) (%)	60
Pendiente media de la cuenca (J) (%)	60
Curva Hipsométrica	61
Coeficiente de masividad (Km)	62
Parámetros de la red hídrica	62
Densidad de drenaje (Dd)	62
Orden de la cuenca	63
Tiempos de Concentración	63
Kirpich	64

Témez	64
Giandotti	64
Parámetros hidrológicos	65
Cálculo de la precipitación media	65
Método aritmético	66
Método de los polígonos de Thiessen (Th)	66
Método de isoyetas (Iso)	66
Medición de la calidad de agua mediante equipo multiparámetro	67
Parámetros hidrométricos	68
Mediciones de caudal en campo por método del vertedero	68
Ensayos de caracterización de Suelos	69
Ensayo triaxial	70
Ensayo de permeabilidad in situ	70
Determinación de contenido de materia orgánica	72
Ensayo de granulometría	72
Granulometría por lavado	72
Granulometría por sedimentación	73
Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE)	74
Erosividad de las lluvias (factor R)	74
Erodabilidad del suelo (factor K)	74
Longitud de pendiente (factor LS)	75
Factor de cobertura vegetal (C)	75
Prácticas de conservación de suelos (factor P)	75
Erosión de suelos (A)	76
Métodos de restauración hidrológica	76
Estudio de prefactibilidad	76
Construcción de fajinas	76

Construcción de albardas	78
Construcción de diques	78
Estudio de factibilidad	82
Capítulo IV Resultados y Discusión	83
Delimitación de la microcuenca Urcuwaycu	83
Parámetros morfométricos	84
Parámetros generales	84
Parámetros de forma	85
Parámetros de relieve	86
Curva hipsométrica	86
Parámetros de la red hídrica	89
Orden de la red hídrica	91
Parámetros hidrológicos	92
Validación de datos	92
Cálculo de la precipitación media anual	92
Método aritmético	93
Método de polígonos de Thiessen (Th)	93
Método de isoyetas (Iso)	94
Precipitación media anual temporal	96
Calidad de agua	98
Parámetros hidrométricos	100
Medición de caudal en campo	100
Ensayos de caracterización de suelos	101
Ensayo Triaxial (UU)	101
Ensayo de permeabilidad in situ	104
Determinación de contenido de materia orgánica	105
Ensayo de granulometría	106

Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) _____	108
Método de restauración hidrológica _____	111
Estudios definitivos de la alternativa _____	111
Selección del lugar de construcción y levantamiento del perfil transversal _____	111
Diseño del dique _____	114
Cálculo de resistencia para el diseño del dique _____	116
Construcción del Dique _____	117
Presupuesto referencial _____	123
Socialización de propuesta de recuperación _____	124
Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones _____	126
Conclusiones _____	126
Recomendaciones _____	128
Bibliografía _____	129
Anexos _____	144
Anexo 1: Datos de precipitación _____	144
Anexo 2: Ensayo Triaxial _____	144
Anexo 3: Granulometría por sedimentación _____	144
Anexo 4: Validación de datos _____	144
Anexo 5: Ensayo de granulometría. _____	144
Anexo 6: Nomograma factor K. _____	144

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Ejemplos de cuencas del Ecuador por su tamaño.</i> _____	29
Tabla 2 <i>Clasificación de Áreas.</i> _____	32
Tabla 3 <i>Relación de Forma Horton.</i> _____	33
Tabla 4 <i>Clasificación del coeficiente de compacidad o Gravelius.</i> _____	33
Tabla 5 <i>Clases de pendientes del cauce (%)</i> _____	34
Tabla 6 <i>Clases de pendientes de la cuenca (%)</i> _____	35
Tabla 7 <i>Rangos de masividad</i> _____	36
Tabla 8 <i>Factor de Drenaje.</i> _____	37
Tabla 9 <i>Orden de corriente.</i> _____	38
Tabla 10 <i>Tiempos de concentración.</i> _____	38
Tabla 11 <i>Valores para Índice de Fournier Modificado (IFM).</i> _____	47
Tabla 12 <i>Valores según el índice de erodabilidad.</i> _____	47
Tabla 13 <i>Valores según el pendiente.</i> _____	48
Tabla 14 <i>Factor C.</i> _____	48
Tabla 15 <i>Factor P.</i> _____	49
Tabla 16 <i>Clasificación de la pérdida de suelo causado por la Erosión.</i> _____	76
Tabla 17 <i>Parámetros generales de la Microcuenca Urcuwaycu.</i> _____	84
Tabla 18 <i>Parámetros de forma de la Microcuenca Urcuwaycu.</i> _____	85
Tabla 19 <i>Parámetros de relieve de la Microcuenca Urcuwaycu.</i> _____	86
Tabla 20 <i>Parámetros de la red hídrica de la microcuenca Urcuwaycu.</i> _____	89
Tabla 21 <i>Tiempos de concentración.</i> _____	89
Tabla 22 <i>Resultados pruebas de normalidad.</i> _____	92
Tabla 23 <i>Resultados de precipitación media, método aritmético.</i> _____	93
Tabla 24 <i>Resultados de precipitación media, método de polígonos de Thiessen (Th).</i>	93

Tabla 25	<i>Resultados de precipitación media, método de isoyetas.</i>	95
Tabla 26	<i>Precipitación media evaluada por los tres métodos.</i>	96
Tabla 27	<i>Precipitación media anual temporal de la microcuenca Urcuahuaycu.</i>	97
Tabla 28	<i>Parámetros de la calidad de agua cruda de la microcuenca Urcuahuaycu.</i>	99
Tabla 29	<i>Mediciones de caudales microcuenca Urcuahuaycu.</i>	101
Tabla 30	<i>Resultado del ensayo triaxial (UU) del suelo de la microcuenca Urcuahuaycu.</i>	102
Tabla 31	<i>Resultado del ensayo de permeabilidad del suelo de la microcuenca Urcuahuaycu.</i>	104
Tabla 32	<i>Contenido de materia orgánica del suelo de la microcuenca Urcuahuaycu.</i>	105
Tabla 33	<i>Porcentaje del suelo de la microcuenca Urcuahuaycu.</i>	107
Tabla 34	<i>Valores de parámetros de la ecuación universal de pérdida de suelo USLE.</i>	108
Tabla 35	<i>Valores de parámetros de la ecuación universal de pérdida de suelo USLE.</i>	109
Tabla 36	<i>Presupuesto referencial dique de la microcuenca Urcuahuaycu.</i>	123

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Ubicación Microcuenca Urcuwaycu</i> _____	23
Figura 2 <i>Tipos de cuenca por desembocadura.</i> _____	30
Figura 3 <i>Morfometría Urcuwaycu</i> _____	31
Figura 4 <i>Curva Hipsométrica.</i> _____	36
Figura 5 <i>Regresión Lineal Simple.</i> _____	41
Figura 6 <i>Vertedero Triangular.</i> _____	43
Figura 7 <i>Fajina de trenza de mimbre.</i> _____	51
Figura 8 <i>Albarradas construidas en cárcavas.</i> _____	52
Figura 9 <i>Diques, control de erosión.</i> _____	53
Figura 10 <i>Tabla de atributos QGIS.</i> _____	56
Figura 11 <i>Estadísticas básicas para campo QGIS.</i> _____	57
Figura 12 <i>Comando medir línea.</i> _____	57
Figura 13 <i>Cambio de forma de la cuenca hidrográfica.</i> _____	61
Figura 14 <i>Orden de la red de drenaje.</i> _____	63
Figura 15 <i>Ubicación de las estaciones meteorológicas.</i> _____	65
Figura 16 <i>Equipo multiparámetro.</i> _____	68
Figura 17 <i>Vertedero Triangular.</i> _____	69
Figura 18 <i>Ensayo triaxial.</i> _____	70
Figura 19 <i>Toma de mediciones de permeabilidad in situ.</i> _____	71
Figura 20 <i>Ensayo de calcinación o de determinación de materia orgánica.</i> _____	72
Figura 21 <i>Ensayo de granulometría por lavado.</i> _____	73
Figura 22 <i>Ensayo de granulometría por sedimentación.</i> _____	73
Figura 23 <i>Nomograma para la asignación del factor K.</i> _____	75
Figura 24 <i>Fajinado Manual.</i> _____	77
Figura 25 <i>Criterios constructivos de albarradas.</i> _____	78

Figura 26	<i>Dimensiones del vertedero.</i>	80
Figura 27	<i>Presa de costales en una cárcava.</i>	81
Figura 28	<i>Delimitación de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	83
Figura 29	<i>Área en base a la altura de la microcuenca Urcuwaycu</i>	87
Figura 30	<i>Curva hipsométrica de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	87
Figura 31	<i>Histograma de frecuencias de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	88
Figura 32	<i>Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	90
Figura 33	<i>Orden de la red hídrica de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	91
Figura 34	<i>Polígonos de Thiessen de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	94
Figura 35	<i>Isoyetas de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	95
Figura 36	<i>Toma de muestras en la microcuenca Urcuwaycu.</i>	98
Figura 37	<i>Toma de muestras en la microcuenca Urcuwaycu.</i>	99
Figura 38	<i>Mediciones de caudales en la microcuenca Urcuwaycu.</i>	100
Figura 39	<i>Muestra del ensayo triaxial suelo de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	102
Figura 40	<i>Círculos de Mohr, ensayo triaxial suelo de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	103
Figura 41	<i>Permeabilidad del suelo de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	104
Figura 42	<i>Ensayo de calcinación del suelo de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	106
Figura 43	<i>Granulometría por sedimentación del suelo de la microcuenca Urcuwaycu.</i>	107
Figura 44	<i>Factor topográfico LS longitud y grado de pendiente.</i>	110
Figura 45	<i>Reconocimiento del lugar de la obra.</i>	112
Figura 46	<i>Ubicación de la construcción del dique.</i>	112
Figura 47	<i>Selección del lugar de anclaje del dique.</i>	113
Figura 48	<i>Levantamiento perfil transversal del cauce.</i>	114
Figura 49	<i>Diseño del dique, vista frontal – aguas arriba.</i>	114
Figura 50	<i>Diseño del dique, vista frontal – aguas arriba.</i>	115

Figura 51	<i>Detalle de corte de elementos para la construcción del dique.</i>	115
Figura 52	<i>Compra de la caña guadua.</i>	118
Figura 53	<i>Excavación de la zanja.</i>	118
Figura 54	<i>Preparación de las cañas.</i>	119
Figura 55	<i>Anclaje de las cañas guaduas a las laderas del cauce.</i>	120
Figura 56	<i>Juntas amarradas con alambre galvanizado.</i>	120
Figura 57	<i>Relleno y ubicación de costales.</i>	121
Figura 58	<i>Vista de la construcción del dique aguas abajo.</i>	121
Figura 59	<i>Vista de la construcción del dique aguas arriba.</i>	122
Figura 60	<i>Dique, microcuenca Urcuhuaycu.</i>	122
Figura 61	<i>Entrevista por parte del grupo Minga por la Pachamama</i>	124
Figura 62	<i>Entrevista realizada por parte de la Corporación Red Ambiental</i>	125

Resumen

El volcán Ilaló presenta problemas como: actividades agrícolas inadecuadas, destrucción de bosques y ojos de agua por el ganado, pero el principal problema es la erosión del suelo, lugar en el cual se forman cárcavas que dificultan la cosecha de agua, por lo tanto, este trabajo es importante para solventar los problemas antes mencionados.

El objetivo del presente estudio fue determinar los parámetros morfométricos, hidrológicos e hidrométricos de la microcuenca Urcuwaycu, ubicada en el volcán Ilaló a unos 35 km al suroeste de la capital Quito, Ecuador. Se propuso un plan piloto de recuperación hidrológica para contribuir al manejo del recurso hídrico.

El modelamiento se realizó tomando información de las estaciones meteorológicas de Tumbaco - M5040, Los Chillos – M5041 y la del Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA), además de visitas técnicas y recolección de muestras en la zona de estudio, estos datos fueron analizados en el software libre QGIS 3.18.3.

Se realizó ensayos que comprobaron con éxito que el suelo del volcán Ilaló es cangahua, ligeramente erosivas cuando sus pendientes son muy pronunciadas, adicionalmente se tomó muestras de agua con un equipo multiparámetro para medir su calidad.

Se diseñó la propuesta de rehabilitación tomando como base los problemas de cárcavas que se forman por la erosión del suelo en esta zona del volcán Ilaló, la falta de vegetación en estas zonas y sus altas pendientes, por tal motivo se eligió diseñar un dique como plan piloto en la zona de estudio.

Palabras clave:

- **URCUHUAYCU**
- **MICROCUENCA**
- **EROSIÓN**
- **RECUPERACIÓN HIDROLÓGICA**

Abstract

The Ilaló volcano presents problems such as: inadequate agricultural activities, destruction of forests and water holes by cattle, but the main problem is soil erosion, where gullies are formed that hinder water harvesting, therefore, this work is important to solve the problems mentioned above.

The objective of this study was to determine the morphometric, hydrological and hydrometric parameters of the Urcuwaycu micro-watershed, located on the Ilaló volcano about 35 km southwest of the capital Quito, Ecuador. A pilot hydrological recovery plan was proposed to contribute to water resource management.

The modeling was carried out taking information from the meteorological stations of Tumbaco - M5040, Los Chillos - M5041 and the Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA), in addition to technical visits and sample collection in the study area, these data were analyzed in the free software QGIS 3.18.3.

Tests were carried out that successfully proved that the soil of the Ilaló volcano is cangahua, slightly erosive when its slopes are very steep; additionally, water samples were taken with multi-parameter equipment to measure its quality.

The rehabilitation proposal was designed based on the problems of gullies formed by soil erosion in this area of the Ilaló volcano, the lack of vegetation in these areas and their high slopes, for this reason it was chosen to design a dam as a pilot plan in the study area.

Key words:

- **URCUHUAYCU**
- **MICROBASIN**
- **EROSION**
- **HYDROLOGICAL RECOVERY**

Capítulo I

Introducción – Aspectos Generales

Planteamiento del problema

Los estudios sobre el manejo de microcuencas hidrográficas aún no están ampliamente difundidos, desde el inicio de la década de los ochenta se nota un creciente interés por racionalizar el uso y manejo de los recursos naturales, principalmente el suelo y el agua, antes de la interferencia humana, los sistemas hidrográficos estaban en una condición de equilibrio (Braz et al., 2020).

El volcán Ilaló se ha convertido en una zona de rápida de urbanización y debido a esto el deterioro de sus zonas hídricas como sus quebradas y microcuencas se ha vuelto cada vez mayor, a pesar de que comunidades como en este caso la Comuna “San Francisco de Baños” han mostrado gran interés para practicar diferentes estrategias de mejora y recuperación de microcuencas, carecen de conocimientos técnicos para organizar estas ideas (Visscher, 2016).

La microcuenca Urcuwaycu presenta problemas como: actividades agrícolas inadecuadas, plantaciones exóticas, empobrecimiento crítico del suelo, destrucción de bosques y ojos de agua por el ganado, construcciones en zonas inadecuadas, además de demasiadas vías de acceso, pero el principal problema que se puede observar es la erosión del suelo, formando cárcavas que dificultan la cosecha de agua para su comuna (Ambiente, 2013) .

Esta investigación solventó estos problemas mediante un estudio morfométrico, hidrológico e hídrico, para evaluar las condiciones en la que se encuentra esta microcuenca, además de comprobar que la cangahua es el estrato principal del suelo y proponer una propuesta piloto para la recuperación de Urcuwaycu.

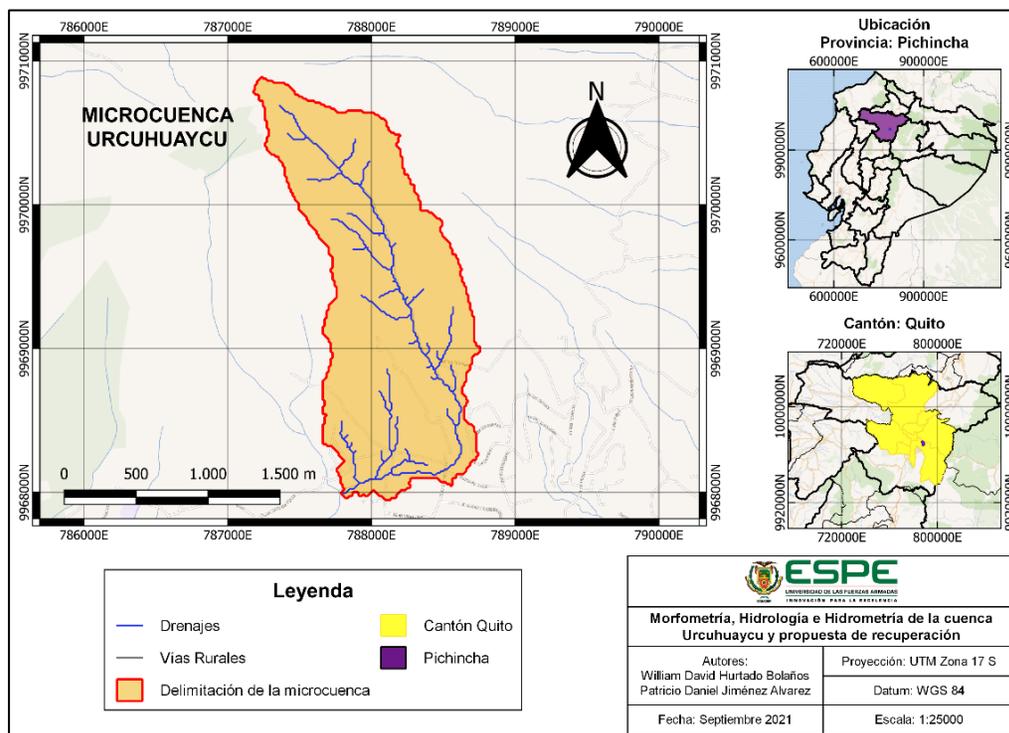
Delimitación del área de estudio

Delimitación de la microcuenca Urcuahuaycu

La microcuenca Urcuahuaycu se ubica 25 km al este de Quito, al sur del volcán Illaló, en el valle de los Chillos, formado por la Merced con un 4,72% de la superficie terrestre del valle y tiene una población total de 8,394 personas, lo que representa el 5,03% de la población total del valle (Visscher, 2016), entre un barrio y una comunidad. El barrio se llama Guangal y la comunidad se conoce como Comuna San Francisco de Baños (Comuna), como se puede observar en la Figura 1. Con coordenadas UTM: 787789,744 – 9967995,403; 787292,841 – 9970760,506, zona 17S.

Figura 1

Ubicación Microcuenca Urcuahuaycu



Nota. En el gráfico se observa la Microcuenca Urcuahuaycu y su ubicación en el volcán Illaló.

Delimitación temporal

Este proyecto de investigación se llevó a cabo durante un período de 4 meses, con fecha de inicio el 17 de mayo de 2020 hasta el 10 de septiembre de 2020, cumpliendo con los objetivos planteados.

Justificación e importancia

En Ecuador, casi todos los sistemas fluviales se originan en los páramos, y el riego, agua potable y los sistemas hidroeléctricos dependen en gran medida de su capacidad para regular el agua. Existe una superposición considerable en los tipos de planificación del uso de la tierra en todo el país, con más de 9 millones de hectáreas de bosques y tierras propiedad de antepasados, pueblos indígenas, comunidades rurales y colonos. En todas partes del país, alrededor del 50% del uso y la propiedad de la tierra están en conflicto (Camacho, 2019).

En general, la protección y la gestión de los bosques y reservas naturales de la biodiversidad, productividad, capacidad de regeneración y vitalidad. El país cuenta con abundantes recursos biológicos y forestales, pero todavía está en su infancia. Como una opción para hacer frente a nuevos problemas y establecer vínculos entre los propietarios de las cuencas hidrográficas y los usuarios del servicio de aguas abajo, los mecanismos de pago por servicios ambientales para la conservación de las cuencas hidrográficas están en su lugar (Camacho, 2019).

La ONU en el año 2015 estableció 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) que sirven para tratar diversos problemas mundiales entre ellos el cuidado y la preservación del agua. En base a lo antes mencionado, esta investigación busca dar cumplimiento al objetivo 6: "Agua limpia y saneamiento: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos" y el objetivo 15: "Vida de

ecosistemas terrestres: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y obtener la pérdida de biodiversidad” (ONU, 2015):

Los paisajes están en contacto con la naturaleza y la realidad humana, y también son productos ecológicos, psicológicos y sociales. Su trabajo puede combinar visiones holísticas, dialécticas y sistemáticas típicas de la geografía y proporciona un medio para dar forma a políticas ambientales y herramientas para la planificación y gestión de cuencas hidrológicas (Aguirre et al., 2017).

Uno de los principales problemas de la microcuenca hidrográfica Urcuwaycu, que se puede percibir es la erosión del suelo y la inestabilidad de sus laderas, para combatir estos problemas se evaluaron algunas alternativas, que después de analizarse se propuso la mejor opción que sea viable técnica, económica y ambiental.

Objetivo general

Determinar los parámetros de morfometría, hidrología e hidrometría de la cuenca Urcuwaycu, ubicada en el volcán Ilaló, sector La Merced, cantón Quito, con el propósito de generar una propuesta global para rescatar la cuenca y un plan piloto de implementación.

Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento de datos morfométricos, hidrológicos e hidrométricos mediante estaciones meteorológicas y la visita técnica a la cuenca hidrográfica Urcuwaycu para la obtención de registros históricos e información para su modelamiento.

- Desarrollar el modelamiento de la microcuenca hidrográfica Urcuwaycu mediante el software libre QGIS 3.18.3 y sus complementos GRASS GIS 7.8.5 y SAGA GIS 2.3.2 para evaluar sus parámetros morfométricos, hidrológicos e hidrométricos.
- Analizar muestras de terreno de la microcuenca Urcuwaycu mediante la ecuación universal de la pérdida de suelo (USLE) para determinar su erosión en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Diseñar y construir una técnica de recuperación en la microcuenca Urcuwaycu como plan piloto mediante el análisis de diferentes alternativas, para su conservación.
- Socializar el plan piloto implementado de recuperación de la microcuenca Urcuwaycu a través de medios virtuales con la comuna San Francisco de Baños ubicada en el volcán Ilaló para generar un espacio de conocimiento, participación y responsabilidad compartida.

Capítulo II

Fundamentación teórica

Cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas pueden variar significativamente debido a cambios en el uso y cobertura de la tierra. Antes de la intervención humana, los sistemas hidrológicos generalmente estaban casi en equilibrio. Por lo tanto, todas las intervenciones deben realizarse de manera racional, teniendo en cuenta la conservación de la naturaleza y los recursos naturales. Por ello, la gestión territorial contribuye a propuestas adecuadas. Agilizar el uso, búsqueda y conservación de cuencas hidrográficas. Principalmente en zonas rurales (Braz et al., 2020).

La cuenca hidrológica debe entenderse como la unidad básica de análisis ambiental. Esto le permite comprender y evaluar los diversos componentes de la cuenca hidrológica y los procesos e interacciones que ocurren allí. Una visión integrada y sistemática del medio ambiente está implícita en la aplicación de las cuencas hidrológicas como unidad básica de estos estudios (Braz et al., 2020).

La importancia de las cuencas hidrográficas como unidad de ordenación y ordenación es una unidad geográfica natural con condiciones muy específicas y adaptadas como independencia relativa, límites claros, funciones naturales y dinámicas (Visscher, 2016).

Clasificaciones de las cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas se pueden clasificar de varias formas. A continuación, se muestra una clasificación de las cuencas hidrológicas, teniendo en cuenta los parámetros topográficos más utilizados. Sin embargo, la clasificación puede diferir

dependiendo del propósito y la clasificación útil para la actividad de suministro de agua puede no ser útil para la actividad de protección ambiental (Vásconez et al., 2019).

Por su tamaño

Se puede agrupar de diferentes formas, según el tamaño del área superficial. Se han propuesto las siguientes clasificaciones para la cuenca ecuatoriana indicadas en la Tabla

1:

- **Cuenca muy grande:** Cuencas hidrográficas con una superficie mayor a 5000 km².
- **Cuenca grande:** Son cuencas hidrográficas con una superficie entre un rango de 2500 km² a 5000 km².
- **Cuenca intermedia grande:** Son cuencas hidrográficas con una superficie entre un rango de 500 km² a 2500 km².
- **Cuenca intermedia pequeña:** Son cuencas hidrográficas con una superficie entre un rango de 250 km² a 500 km².
- **Cuenca pequeña:** Son cuencas hidrográficas con una superficie entre un rango de 25 km² a 250 km².
- **Cuenca muy pequeña o Microcuenca:** Son cuencas hidrográficas con una superficie entre un rango menor de 25 km².

Tabla 1

Ejemplos de cuencas del Ecuador por su tamaño.

Cuencas del Ecuador		
Clasificación	Río	Superficie (km ²)
Muy grande	Cayapas	6080
Muy grande	Guayllabamba	8232
Grande	Chone	2325
Grande	Quinindé	4134
Intermedia Grande	San Juan	1185
Intermedia Grande	Jama	1370
Intermedia pequeña	Estero Las Saibas	277
Intermedia pequeña	Milagro	342
Pequeña	Alao	108
Pequeña	Yanahurco	78
Muy pequeña	Marcos	23
Muy pequeña	Blanco	18

Nota. Cuencas Hidrográficas del Ecuador. Tomado de (Vásconez et al., 2019)

Por el sitio de su desembocadura

Depende de si el río o cuerpo de agua de la unidad del canal principal desemboca en el mar o en un lago o laguna (Vásconez et al., 2019).

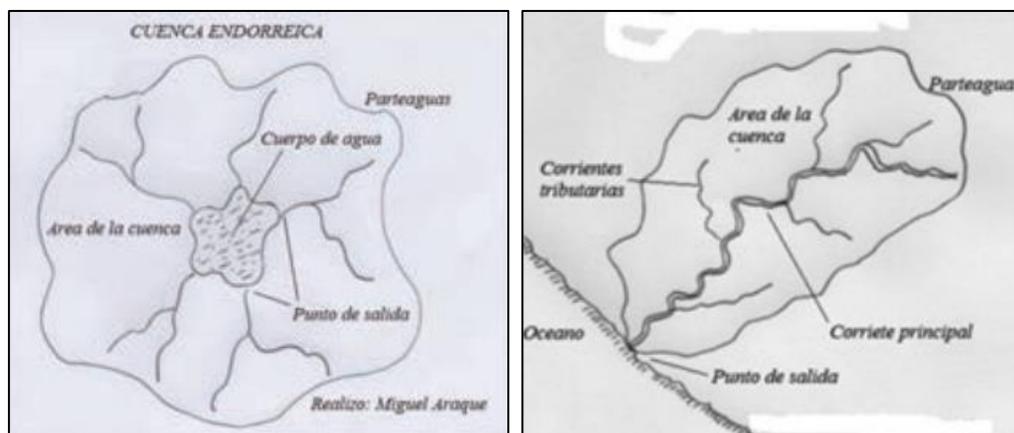
- **Cuenca endorreica:** Se trata de cuencas hidrológicas donde las salidas de agua superficial se ubican en la misma cuenca, tanto en lagos como en lagunas, observar Figura 2.

- **Cuenca exorreica:** Se trata de cuencas de cauce, donde la desembocadura de las aguas superficiales son los principales ríos que desembocan en el mar. En Ecuador, la mayoría de las cuencas son de este tipo, divididas en dos lados, el Océano Pacífico y el Amazonas, lugares en los que las cuencas desembocan.

- **Cuenca arreica:** Estas cuencas no desembocan en ningún cuerpo de agua ante mencionada, el agua se evapora o se filtra en el suelo de la propia cuenca, estas cuencas se ubican en los páramos del Ecuador.

Figura 2

Tipos de cuenca por desembocadura.



Nota. En el gráfico se observa las cuencas hidrológicas endorreica y exorreica. Tomado por (Vásconez et al., 2019).

Por su uso

Las cuencas hidrográficas realizan múltiples funciones al mismo tiempo, pero las cuencas se pueden agrupar según sus funciones principales. Aunque la funcionalidad principal puede variar de un actor a otro (Vásconez et al., 2019).

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

Morfometría

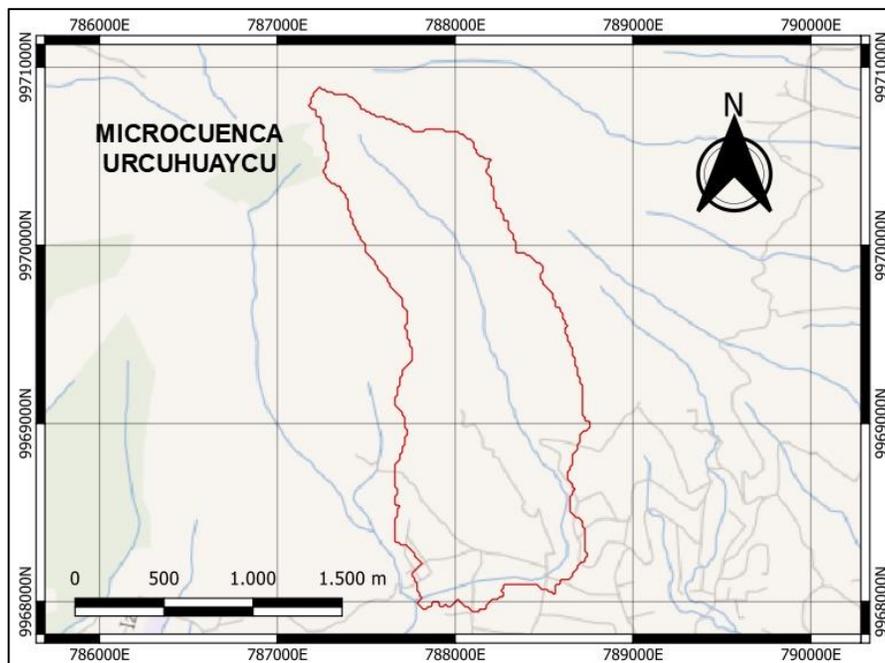
El análisis morfométrico brinda información sobre el funcionamiento hidrológico, es un análisis cuantitativo y matemático de la geomorfología. Desempeña un papel importante en la comprensión de las características hidrogeológicas de la cuenca en relación con su topografía y patrones de flujo (Ramírez-Granados et al., 2021). También

ayuda a estimar la permeabilidad y el caudal, así como otras características hidrológicas relevantes de la cuenca que tienen un fuerte impacto en la conservación de los recursos naturales, como la erosión y el transporte de sedimentos (Asfaw & Workineh, 2019).

El análisis morfométrico de la cuenca es la mejor manera de determinar las relaciones entre diferentes aspectos de la región. Esta es una evaluación comparativa de diferentes cuencas fluviales bajo diferentes condiciones y topográficas. Una cuenca es una entidad hidrológica natural desde la cual las escorrentías superficiales fluyen hacia sistemas de drenaje definidos, canales, arroyos o ríos en puntos específicos. Muy importante para el diseño de cuencas hidrológicas como se observa en la Figura 3, puede ver aspectos de parámetros lineales, de superficie y de flotabilidad (Sukristiyanti et al., 2018).

Figura 3

Morfometría Urcuhuaycu



Nota: En el gráfico se puede observar la forma de la microcuenca Urcuhuaycu.

Parámetros generales

La forma de la cuenca afecta el caudal y la escorrentía hidrológica debido a la cantidad específica de precipitación. Los indicadores utilizados para representar estas características son (Albarracín et al., 2020):

- **Área de la cuenca (A) (km²):** este factor se obtiene a partir de un software GIS, mediante el levantamiento de datos en cartas topográficas digitalizadas, se pueden clasificar según la Tabla 2.

Tabla 2

Clasificación de Áreas.

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

Nota: Recuperado de (Reyes Trujillo et al., 2014).

- **Perímetro (P)(km):** es la medida de la línea divisoria de la cuenca hidrográfica.
- **Longitud axial y ancho promedio (km):** Es la longitud total de todas las longitudes de los cursos de agua que drenan por la cuenca.
- **Longitud del cauce principal (Ln)(km):** Es la longitud total del cauce principal en las que se drenan las redes de la cuenca.

Parámetros de forma

- **Factor de forma Horton (Rf):** Este factor adimensional indica como se regula la concentración. Se relaciona el área de la cuenca y la longitud axial de la misma, con esto se puede determinar la forma de la cuenca indicadas en la Tabla 3.

Tabla 3*Relación de Forma Horton.*

Rango de Valores	Forma de la Cuenca
< 0,22	Muy Alargada
0,22 - 0,30	Alargada
0,30 - 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: Recuperado de Strahler (1957), citado por (Sellers et al., 2017).

- **Coefficiente de compacidad de Gravelius (Kc):** se expresa como una relación entre el perímetro y el área de la cuenca hidrográfica. Según el valor que tome este coeficiente, la cuenca tendrá diferentes formas, observar Tabla 4, Es una de las características más fundamentales que se analiza sobre este fenómeno, la dimensión fractal tiene una gran importancia para comprender y predecir los cambios de los ríos (Fattahi & Talebzadeh, 2017).

Tabla 4*Clasificación del coeficiente de compacidad o Gravelius.*

Kc	Clasificación	Interpretación Ambiental
1 a 1,25	Casi redonda a oval-redonda	Alta tendencia a inundaciones
1,25 a 1,5	Oval redonda a oval-alargada	Mediana tendencia a inundaciones
1,5 a 1,75	Oval alargada a alargada	Baja tendencia a inundaciones
> 1,75	Alargada	Cuencas propensas a la conservación

Nota: Recuperado de Villela a Matos (1975), citado por (Sellers et al., 2017).

- **Coefficiente de circularidad (Cc):** Este coeficiente de circularidad varía entre 0 y 1, los valores cercanos a 1 indican morfometría ensanchadas mientras que los

coeficientes cercanos a 0 indican que son cuencas alargadas (Geográfica De Lima, 2011).

Parámetros de relieve

El relieve de la cuenca, junto con su forma, afecta su respuesta hidrológica e influye en la dinámica geoespacial de los flujos superficiales (Senisterra et al., 2014).

- **Pendiente media del cauce (j) (%):** La pendiente promedio de un canal se deriva de las anomalías topográficas que ocurren en el canal principal y la longitud del canal. Expresado como porcentaje. Las pendientes más altas aumentan la velocidad del agua a través de la red hidrológica, haciendo que la cuenca sea más susceptible a procesos de corrosión y arrastre de material, las clases de pendientes se pueden ver en la siguiente Tabla 5 (F. J. Gaspari et al., 2013) .

Tabla 5

Clases de pendientes del cauce (%)

Rango de Pendiente	Clases
< 10	Suave
10 – 30	Moderada
> 30	Fuerte

Nota: Recuperado de (García & Ollero, 2011).

- **Pendiente media de la cuenca (J) (%):** Este es uno de los parámetros importantes que caracterizan la ondulación de la cuenca del canal y está relacionado con la contribución del agua subterránea a la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la escorrentía del canal. Tabla 6 (Guerra & Gonzales, 2002).

Tabla 6*Clases de pendientes de la cuenca (%)*

Rangos de Pendiente (%)	Descripción
00 – 4	Nula o casi Nivel
4 – 8	Ligeramente inclinada
8 – 15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada
15 – 25	Moderadamente empinada
25 – 50	Empinada
50 – 75	Muy empinada
> 75	Extremadamente empinada

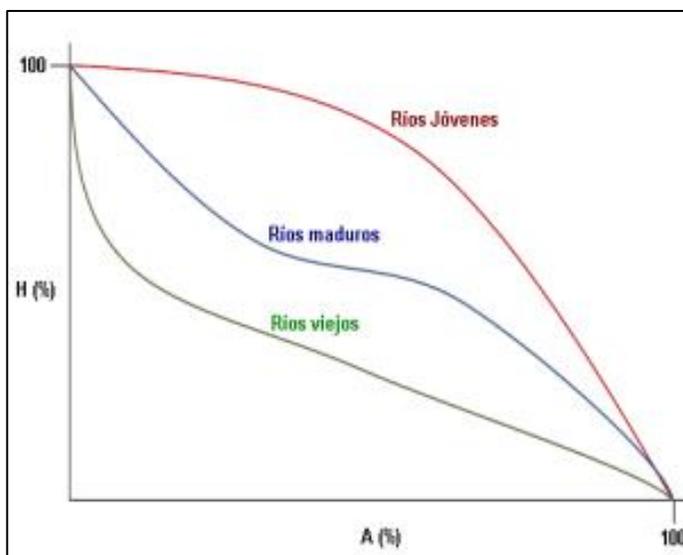
Nota: Recuperado de (Alcántara, 2015)

- **Curva Hipsométrica:** Este parámetro representa el porcentaje de la superficie de la cuenca en km² en relación a la cota determinada, este dato lo encontramos reflejado en la tabla de la frecuencia de altitudes. Este resultado ha sido asociado con las edades de los ríos de las cuencas, definiéndose así jóvenes, maduros o viejos. En este parámetro encontramos los siguientes factores: La ordenada que representa a la Altura relativa, y a la abscisa representa al área relativa. Junto con la frecuencia relativa (Intriago Zambrano et al., 2021).

Si la curva hipsométrica muestra variabilidad porque está lejos de la línea teórica o debido a múltiples puntos de inflexión, esto puede estar relacionado con un control estructural o petrográfico en particular, una curva típica se muestra en la Figura 4 (J. F. Gaspari et al., 2012).

Figura 4

Curva Hipsométrica.



Nota: La imagen indica si el Río es Joven, Maduros o Viejos. Tomado de (Ibañez Asensio et al., 2011)

- **Coefficiente de Masividad (km):** Este coeficiente representa la razón de la elevación promedio de la cuenca, en metros (m) a su superficie, en kilómetros cuadrados (km²) (Clavijo & Pérez, 2016), se puede observar sus rangos en la Tabla7:

Tabla 7

Rangos de masividad

Rangos de K_m	Clases de Masividad
0 – 35	Muy montañosa
35 – 70	Montañosa
70 – 105	Moderadamente montañosa

Nota: Recuperado de (Clavijo & Pérez, 2016)

Parámetros de la red hídrica

Estos parámetros representan un sistema jerárquico de canales desde pequeñas zanjas hasta ríos que convergen para formar un receptor importante de toda la cuenca (Demetrio, 2006).

- **Densidad de Drenaje:** Este es un parámetro que le permite cuantificar el desarrollo del sistema de vías navegables y comprender su complejidad. Esta es la relación entre la longitud total (Lt) del canal permanente, discontinuo y temporal en la cuenca y su área (A). Cuanto mayor sea la densidad del agua, menor será el tiempo de flujo. Por eso se considera otro indicador de peligro (Camino et al., 2018), se observan los límites de las categorías de drenajes en la Tabla 8.

Tabla 8

Factor de Drenaje.

Densidad de Drenaje (km/km²)	Categoría	Interpretación Ambiental
< 1	Baja	Baja la escorrentía y aumentan la infiltración
1 – 2	Moderada	Tendencia media de escorrentía
2 – 3	Alta	Alta tendencia a fluir y a las inundaciones
> 3	Muy Alta	Alta tendencia a la escorrentía, y a la erosión

Nota: Recuperado de (Camino et al., 2018).

- **Orden de la Cuenca Hidrográfica:** Este indicador refleja el grado de ramificación o dicotomía, señalado en la Tabla 9 de la cuenca donde se controla el orden de flujo. Cuanto mayor sea el número de secuencia, más probable será que se corra y más robusto será el transporte, por lo que el flujo directo es más importante que otras cuencas en la misma zona, por lo que también se puede determinar el orden de las cuencas. Cuanto más grande es el río, mayor es el grado de desarrollo del río (Cáceres & Castillo, 2018).

Tabla 9*Orden de corriente.*

Rangos de ordenes	Tipo
1 – 2	Bajo
2,1 – 4	Medio
4,1 – 6	Alto

Nota: Recuperado de (Rizo Machado et al., 2011).

- **Tiempo de Concentración:** El tiempo de concentración es el tiempo mínimo requerido para que todo el sistema (todos los puntos de la cuenca) alimente simultáneamente la esorrentía (el agua desciende y es guiada a través del lecho del río) en el punto de esorrentía, salida o final (UPEGUI & GUTIÉRREZ, 2011), el tiempo que recorre la gota de lluvia desde el punto más lejano de la cuenca hasta llegar al punto de cierre (Intriago Zambrano et al., 2021) , los tiempos de Tc se clasifican en la Tabla 10.

Tabla 10*Tiempos de concentración.*

Rangos de Tc	Clases
< 40	Rápido
40 – 80	Moderado
> 80	Lento

Nota: Recuperado de (Baldeon Jara, 2016).

Hidrología

Las observaciones a largo plazo y los datos experimentales sobre las cuencas fluviales forman la base de la hidrología como ciencia de la tierra. Estos permiten comparaciones de compresión, observando tendencias y ciclos naturales, y son esenciales para probar modelos predictivos (Tetzlaff et al., 2017).

Estos estudios proporcionan una base importante para comprender y gestionar los suministros de agua potable, predecir y mitigar los impactos de las inundaciones y proteger los servicios de los ecosistemas proporcionados por ríos y humedales. También muestra cómo gestionar la tierra y el agua de forma integrada y sostenible para reducir los costes económicos y medioambientales (Tetzlaff et al., 2017).

Las cuencas hidrográficas son consideradas sistemas despejados, que reciben energía y materia de la atmósfera y la pierden a través del caudal y la descarga de residuos (Geraldi et al., 2010). La hidrología es fundamental para muchos procesos biogeoquímicos y se ha demostrado que es un factor importante que controla la calidad del agua de los ríos. La precipitación anual regula las entradas atmosféricas y las fluctuaciones que conducen a la producción de nutrientes son controladas por el derrame (Tetzlaff et al., 2017).

Precipitación

En general, las metodologías para el cálculo de umbrales de precipitación se basan en la aplicación de métodos empíricos, métodos basados en modelos hidrológicos o métodos probabilísticos (Castillo Ruales, 2020).

Determinación de la precipitación media

El valor medio de las variables hidrológicas en el área de estudio constituye el valor medio distribuido uniformemente en el área y se determina de acuerdo con el siguiente método (Aragón Hernández et al., 2019):

- **Método Aritmético:** Es el promedio de los valores de la variable registrada en la cuenca.

- **Polígono de Thiessen:** Su procedimiento se calcula, como una ponderación de las precipitaciones de las estaciones respecto al área de influencia.
- **Método de las Isoyetas:** Requiere más tiempo y materiales. Su implementación requirió mediciones periódicas de lluvia y la ubicación de estaciones, así como la precipitación normal en cada estación, el material cartográfico correspondiente y la mayor parte del conocimiento atmosférico y espacial (Alvarado, 2020).

Deducción de datos faltantes para el cálculo de precipitación de una Cuenca Hidrográfica.

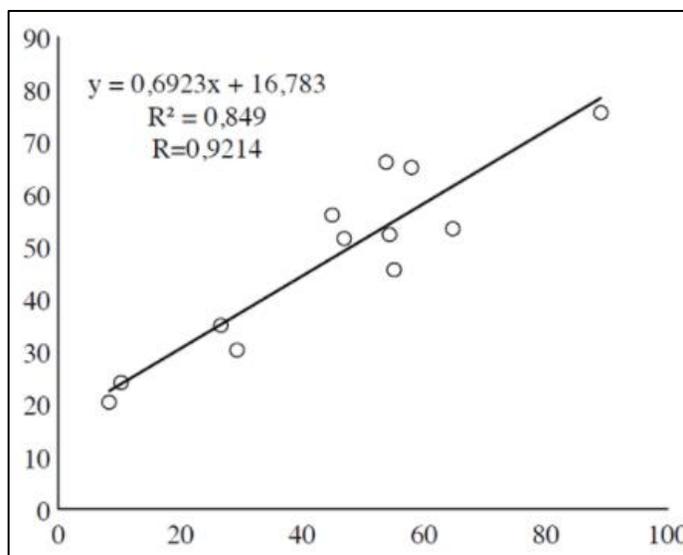
La falta de datos sobre precipitaciones es un problema muy común en el diseño de sistemas de riego y drenaje. Muchas estaciones de lluvia tienen un período corto de tiempo en el que la información no está disponible por alguna razón, debido a un error de registro u otro problema. Tenga en cuenta que, por este motivo, los datos se introducen de diferentes formas como las que se explica a continuación (Legarda Burbano & Viveros Zarama, 1996):

Método de regresión lineal

Puede utilizar una técnica de regresión lineal simple para construir un modelo que represente la relación entre una variable independiente que proporciona datos computacionales representados por la letra X y una variable dependiente calculada. El gráfico la dispersión se representa mediante la Figura 5 para facilitar la visualización (Carrera-Villacrés et al., 2016).

Figura 5

Regresión Lineal Simple.



Nota: Recuperado de (Carrera-Villacrés et al., 2016).

Calidad de agua en cuencas hidrográficas

Desde la antigüedad, los ríos han sido una fuente de riqueza proporcionando el agua necesaria para la supervivencia de las personas y un mayor desarrollo, promoviendo la fertilidad de la tierra para la alimentación y facilitando la comunicación entre las personas. Sin embargo, la calidad del agua de los ríos disminuye, principalmente porque se utiliza como reservorio de áreas densamente pobladas, parques industriales, actividades agrícolas y desechos fluviales.

Una descripción de la calidad del agua de un río significa identificar el grado, grado o intensidad de la contaminación del río. Puede ser de origen físico, químico o biológico e identifica las capacidades del sistema. Propiedades o condiciones mantenidas antes de ser afectado por contaminantes. (Quiroz et al., 2017)

Hidrometría

Los parámetros hidrométricos miden, registran, calculan y analizan la cantidad de agua que fluye por hora a través de un río, canal o tubería (Alvarado E., 2017). Es importante recopilar datos hidrológicos precisos e informados para facilitar las decisiones sobre los recursos hídricos. La combinación de la teoría de la información y la optimización multiobjetivo condujo a una forma de optimizar el contenido de la información proporcionada por la red de medición (Werstuck & Coulibaly, 2018).

Métodos de Medición de Caudales en una Cuenca Hidrográfica

Las mediciones del caudal de los ríos son mediciones muy importantes y, a menudo, se realizan al monitorear cuencas hidrológicas. En algunos casos, la morfometría del río, la profundidad y el ancho del canal, las velocidades de flujo y la accesibilidad a los ríos hacen que esta medición sea una tarea difícil (Guillermo & Molina, 2007).

Método de área-velocidad o flotadores

En este método, se mide la velocidad del agua en una sección de la quebrada o río. El método de flotadores es sencillo, pero inexacto (Dunán-Ávila et al., 2020), Esta metodología mide el caudal determinando la velocidad a que marcha un flotador en su cauce en ciertos períodos de tiempo, en un área regular de la cuenca hidrográfica (Adolfo González et al., 2016).

Método del vertedero

Un canal de volumen es un dispositivo para medir el flujo ver Figura 6. Los canales volumétricos consisten en canales de acceso de sección transversal rectangular o triangulares con vertederos a través de los cuales fluye el flujo (Piuma & Rattin, 2018).

Figura 6

Vertedero Triangular.



Nota: Recuperado de (Piuma & Rattin, 2018).

Análisis del suelo en cuencas hidrográficas

Determinación de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, que definen su calidad ambiental (TULSMA LIBRO VI, 2015). El suelo es un componente fundamental del medio ambiente y se compone de minerales, aire, agua, materia orgánica, y organismos que llevan a cabo procesos permanentes. Realiza funciones básicas para la sociedad y el planeta. Cubre la mayor parte de la superficie de la Tierra, su composición depende de la profundidad, la materia más fina se acumula en la superficie, y más gruesas predomina la materia más profunda (MINAMBIENTE, 2016).

Entre los más importantes se encuentran la estructura, la profundidad, la retención de agua, la textura, el color, la consistencia, la porosidad, la densidad, el movimiento del agua en el suelo, el pH y el carbono orgánico. La estructura del suelo corresponde a una combinación de limo, arcilla, agregados arenosos y pedúnculos posteriores. Este tejido afecta directamente la aireación, la circulación del agua en el suelo, la conducción de

calor, el crecimiento de las raíces y la resistencia a la erosión (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura., 2018).

Erosión del suelo de cuencas hidrográficas

La erosión se puede definir en términos generales como el proceso de arrastrar el suelo bajo la acción del agua o el viento, o el proceso de acelerar la separación y tirar de las partículas del suelo causadas por el agua o el viento. Esto significa que hay dos factores involucrados en este proceso. El elemento pasivo es la tierra y el elemento activo es el agua, el viento o su participación alterna. En cuanto a la vegetación, juega un papel en la coordinación de la relación entre estos dos factores (León Acero, 2018).

La pérdida de suelos debido a la erosión hídrica es uno de los problemas de que podrían tener un impacto significativo en las actividades agrícolas de en el mediano y largo plazo. Esto se debe a que estimaciones más conservadoras sugieren que existe hasta un 45% de cierta erosión del suelo (López et al., 2003).

Los estudios relacionados con el cambio de uso de la tierra en las cuencas hidrográficas son cada vez más importantes en los estudios ambientales. Estos estudios pueden evaluar las tendencias espacio-temporales en procesos como la expansión urbana descontrolada, la deforestación, los incendios forestales y la degradación ambiental (Falls, 2018).

Erosión del suelo en el volcán Ilaló

En la Sierra del Ecuador, las malas prácticas agrícolas, la presencia de pendientes y su composición agravan el problema de la erosión del suelo. Dado que el suelo andino es de origen volcánico, es común encontrar cangahua (Orejuela et al., 2018).

El cerro Ilaló, siendo parte de un área protegida declarada en emergencia por el alcalde Jorge Yunda en el año 2019, (Bosque y Vegetación Protectores del Flanco Oriental del Pichincha y Cinturón Verde de Quito), presenta actualmente un claro deterioro de sus remanentes verdes a causa de la tala indiscriminada de sus bosques, que potencia aún más el afloramiento de cangahua y por ende la erosión del suelo. Las pendientes pronunciadas (mayores a 45°), sumado a las precipitaciones y el cambio de uso de suelo, resultan en la aparición de cárcavas de grandes dimensiones, que reflejan la problemática existente en esta zona (Palacios Orejuela et al., 2020).

Ecuación universal de la pérdida del suelo (USLE)

La erosión del suelo implica el desprendimiento de sedimentos de la superficie del suelo, tanto por el impacto de las gotas de lluvia como por el agua que fluye. La erosión tiene como resultado la degradación de productividad del suelo de muchas maneras, como la disminución de la profundidad de enraizamiento de las plantas. Las interacciones entre el uso de la tierra, la erosión y la producción de sedimentos pueden ser bastante compleja, sobre todo en zonas con un uso del suelo y prácticas agrícolas (Delgado, 2018).

La ecuación universal es un método cuantitativo para evaluar indirectamente la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica. La estimación de la erosión se realiza simulando la respuesta de los sistemas naturales del suelo a la precipitación. Esta ecuación es un modelo paramétrico que indica la importancia de seis factores que corresponden a características ambientales específicas de la erosión, todos considerados independientes (León Acero, 2018).

$$A = R * K * LS * C * P \dots (1)$$

Donde:

A = Pérdida de suelo promedio anual en [t/ha/año].

R = Factor erosividad de las lluvias en [MJ/ha*mm/h].

K = Factor erodabilidad del suelo en [t/ha. MJ*ha/mm*h].

LS = Factor topográfico (función de longitud y la pendiente), adimensional.

C = Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal), adimensional.

P = Factor de prácticas de conservación (conservación de la estructura del suelo), adimensional

La idea es asignar a cada elemento un valor que refleje el grado de responsabilidad por la degradación local debido a la erosión hídrica, de modo que a cada elemento se le pueda asignar el valor apropiado para calcular la cantidad anual de erosión. Expresado en toneladas por hectárea, para cada área homogénea dividida en el área de trabajo (León Acero, 2018).

Factor R (erosividad de las lluvias)

El factor R de la Tabla 11, llamado también “Factor de la precipitación”, expresa el efecto de erosividad por lluvia en un área, si existe falta de información en la recopilación de datos se puede utilizar métodos de triangulación de datos meteorológicos (Roder & Villavicencio, 2006).

Tabla 11

Valores para Índice de Fournier Modificado (IFM).

Clase	Descripción	Rango
1	Muy Bajo	0 - 60
2	Bajo	60 - 90
3	Moderado	90 - 120
4	Alto	120 - 160
5	Muy Alto	> 160

Nota: Recuperado de (León Acero, 2018).

Factor K (erodabilidad del suelo)

Representa un valor promedio integrado de la reacción total del suelo y del perfil del suelo a un gran número de procesos erosivos e hidrológicos. Los datos necesarios para su estimación se obtuvieron de la descripción de Unidades Cartográficas de Suelos (UCE), explicados en la Tabla 12 (Delgado, 2018).

Tabla 12

Valores según el índice de erodabilidad.

Clase	Descripción	Rango
1	Bajo	0 - 3
2	Moderado	3 - 6
3	Alto	> 6

Nota: Recuperado de (León Acero, 2018).

Factor LS (topográfico)

El factor LS, es también llamado “factor topográfico” por asociar los factores de longitud y porcentaje de la pendiente, sus valores se explican en la Tabla 13 (Roder & Villavicencio, 2006).

Tabla 13

Valores según el pendiente.

Clase	Descripción	Rango
1	Ondulado a Plano	< 5%
2	Ondulado	5 - 15%
3	Empinado	15 - 30%
4	Muy Empinado	> 30%

Nota: Recuperado de (León Acero, 2018).

Factor C (cobertura vegetal)

El factor de cobertura vegetal indica la capacidad de la vegetación para disminuir la fuerza erosiva, Tabla 14 (Roder & Villavicencio, 2006).

Tabla 14

Factor C.

Cobertura	Factor C
Arbolado forestal denso	0,001
Arbolado forestal claro	0,03
Matorral con buena cobertura	0,08
Matorral ralo y eriales	0,20
Cultivos arbóreos y viñedos	0,40
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Cultivos en regadío	0,04

Nota: Recuperado de (Edgar Uribe, 2019).

Factor P (prácticas de conservación)

Este factor sirve para cuantificar el impacto de las medidas de control de la erosión. El valor de este factor es 1 porque no hay estructuras protegidas en la zona de estudio, los valores del factor P se indican en la Tabla 15 (Roder & Villavicencio, 2006).

Tabla 15*Factor P.*

Pendiente (%)	Cultivo a nivel	Cultivo en Fajas	Terrazas	
			<i>a</i>	<i>b</i>
1-2	0,60 (L<400)	0,30	0,12	0,05
3-8	0,50 (L<200)	0,25	0,1	0,05
9-12	0,60 (L<120)	0,30	0,12	0,05
13-16	0,70 (L<80)	0,35	0,14	0,05
17-20	0,80 (L<60)	0,40	0,16	0,06
21-25	0,90 (L<50)	0,45	0,18	0,06

L = longitud de la ladera (en pies)
a = terrazas de desagüe encespedadas
b = terrazas de infiltración con contrapendiente

Nota: Recuperado de (Edgar Uribe, 2019).

Restauración hidrológica

El creciente interés en el manejo, uso, protección, conservación y uso racional de los recursos hídricos se refleja en la necesidad de establecer planes y parámetros que permitan evaluar el comportamiento del abastecimiento de agua en múltiples escalas territoriales, y a su vez, determinar si esto podría ser una limitación al desarrollo sostenible de la población (Parra Rodríguez & Montealegre M, 2020).

El área de captación es una unidad adecuada para la planificación ambiental del territorio ya que sus límites fisiológicos se mantienen significativamente más tiempo que otras unidades de análisis. También incluye un conjunto de factores y elementos espaciales y sociales, que permiten la inclusión integral de la realidad del territorio (Parra Rodríguez & Montealegre M, 2020).

Métodos de restauración hidrológica

Considerando la magnitud del problema, es fundamental estudiar y aplicar técnicas de restauración de taludes y suelos para controlar el crecimiento de los sistemas

de alcantarillado activos. La restauración es un proceso de intervención para apoyar la autorrenovación de ecosistemas dañados, cuyo objetivo es simular la estructura, función (restauración de servicios ecosistémicos), diversidad y dinámica de ecosistemas históricos y nativos (SAA YANEZ, 2019).

Fajinas

Las llamadas fajinas vivientes es una colección de racimos o ramas unidas a un haz cilíndrico para una mayor resistencia a la erosión y presión. En la Figura 7 se observa la construcción de la misma, Las ramas se sujetan en el suelo mediante estacas y se caracterizan por su facilidad de germinación para que la revegetación se note en poco tiempo (Palmett-Plata, 2019).

La red incorpora plantas, hierbas herbáceas y esquejes de la zona de recuperación rápida. Los materiales vegetales asociados a los trabajos de bioingeniería se someten a una selección particular de control de la erosión, cuyos criterios dependen del sistema radicular, el aporte de materia orgánica, la altura o tamaño máximo, la morfometría y las necesidad climáticas o hídricas (Palmett-Plata, 2019).

La forma, densidad y textura del follaje también contribuye a la protección y estabilidad de la estructura constructivas. Dado que tratamos de utilizar plantas regenerativas a corto plazo, les proporcionamos un crecimiento y desarrollo de raíces superiores, así como fuerza, apoyo y mayor fijación de la estructura biodegradable al final de su vida útil, dejando la función de la estructura de la planta (Palmett-Plata, 2019).

Figura 7

Fajina de trenza de mimbre.



Nota. Realizada por estudiantes con estacas clavadas al suelo que permiten intercalar ramas entrelazadas. Tomado de (Palmett-Plata, 2019).

Albarradas

Son estructuras realizadas en cañones, desagües o bozales ubicados perpendiculares a la cárcava para los siguientes propósitos (Vallejo Aristizábal, 2019):

- Evitar el crecimiento del cañón y reducir la circulación de agua corriente (hacia los lados y crestas del talud) tanto en el suelo como en la cima del caño, causa de la erosión ascendente, como se observa en la Figura 8.
- Actúa como barrera filtrante para sujetar el material acompañante.
- Promueve la generación natural aguas arriba de la estructura al promover la acumulación de sustratos preferidos.

Figura 8

Albarradas construidas en cárcavas.



Nota. Tomado de (Vallejo Aristizábal, 2019).

Diques

Son barreras que cruzan arroyos o conductos para controlar los niveles y velocidades del agua. Su propósito es resistir el desgaste del fondo de la cárcava o de la quebrada por efecto de la fuerza de carga ejercida por el agua, estabilizar las pendientes del lecho en las cárcavas y prepara las condiciones de siempre en sus laderas (Valdebenito et al., 2020).

El material de construcción de los diques puede ser de piedra sobre piedra (mampostería en seco), de piedra con cemento (mampostería hidráulica), diques de madera como se indica en la Figura 9 y/o diques de postes con bolsas de arena (Valdebenito et al., 2020).

Figura 9

Diques, control de erosión.



Nota: Tomado de (Valdebenito et al., 2020).

Capítulo III

Metodología y materiales

La metodología que se utilizó en este proyecto es cuantitativa e informativa sobre las características morfométricas, hidrológicas e hidrométricas estudiadas en fuentes biográficas como libros, revistas y artículos científicos, además se realizaron visitas técnicas periódicas para el reconocimiento de diferentes factores, la toma de muestras y la construcción del plan de recuperación, estos datos recopilados nos dieron información sobre peligros potenciales de la microcuenca Urcuwaycu, se ha extraído y desarrollado la estructura de un sistema de estudio de método cuantitativo que permite utilizar esta información para realizar modelos de simulación hidrológica obtenidos a partir de una serie de datos, pertenecientes a las estaciones meteorológicas (Intriago Zambrano et al., 2021).

Dentro de los materiales tenemos softwares y programas como herramientas que son fundamentales y de gran ayuda para el proyecto de investigación, tal como son el software de sistema de información geográfica de software libre y código abierto QGIS con sus complementos GRASS GIS 7.8.5 y SAGA GIS 2.3.2, que a través del Modelo Digital de Terreno (DTM) proporcionado por un vuelo de dron a cargo de Carlos Carrera Reyes. M.Sc. Docente de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Central del Ecuador se accede con simplicidad a modelar la representación de la microcuenca de forma manual (Intriago Zambrano et al., 2021).

También se utilizó el programa RStudio que es un entorno de desarrollo integrado para el lenguaje de programación R, dedicado a la computación, estadística y gráficos. Este programa se utilizó en la presente investigación para analizar los datos de variables meteorológicas de las estaciones para comprobar si esta serie cumple una distribución

normal y a su vez son datos homogéneos (Contreras et al., 2018) y (Ward, RC; Robinson, 1990).

Parámetros morfométricos

Mediante el software QGIS, se determinó los parámetros generales de la cuenca Urcuwaycu utilizando las herramientas (GRASS GIS 7.8.5) y (SAGA GIS 2.3.2) disponibles como Plugin en los complementos (Intriago Zambrano et al., 2021), para los demás cálculos se utilizó las fórmulas de la bibliografía investigada.

Trazado de la microcuenca hidrográfica

Aplicando la herramienta r.watershed mediante el software libre QGIS y sus complementos GRASS GIS 7.8.5 y SAGA GIS 2.3.2, se determina la línea de demarcación está siempre en la parte superior del perfil y no corta las corrientes de agua naturales. Por lo tanto, se deben tener en cuenta los siguientes puntos para esta característica (Intriago Zambrano et al., 2021):

- La línea divisoria desciende por la parte más cóncava de las curvas de nivel.
- Un río siempre desciende por la parte más convexa de las curvas de nivel.

Teniendo en cuenta estas dos reglas, se trazó una línea desde el punto de interés en el canal que separa los polígonos cerrados cuyo punto final coincide con el punto de partida. Esto se puede hacer manualmente en el mapa topográfico del área de estudio. También se utilizó software de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

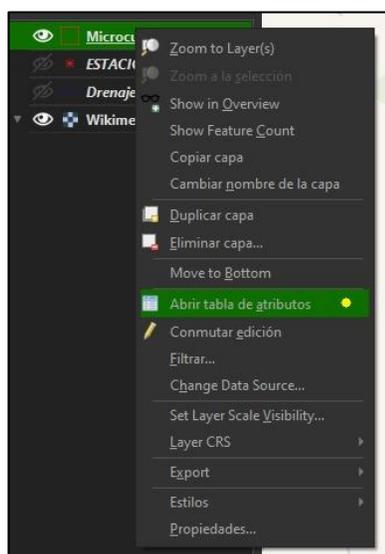
Parámetros generales

Área (A)

El área de la cuenca, Figura 10, es el espacio terrestre rodeado por la comitiva o curva de la cuenca, representada por A (km²), y en el software QGIS obtenido gracias a la tabla de atributos del polígono podemos obtener el área de la cuenca de estudio. es el parámetro más importante para asociar un flujo a una morfometría (Intriago Zambrano et al., 2021).

Figura 10

Tabla de atributos QGIS.



Perímetro (P)

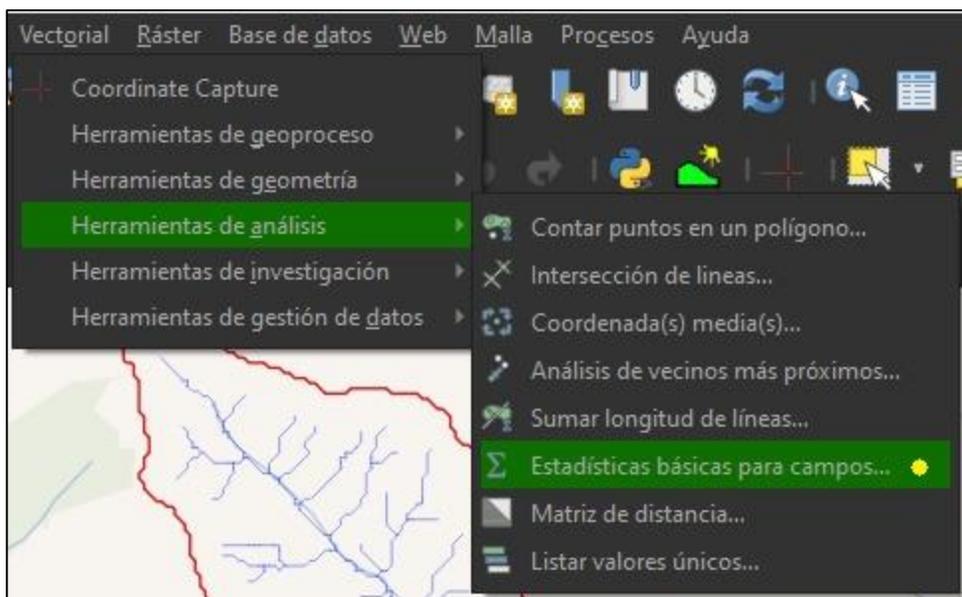
Este parámetro define la forma de la cuenca, Figura 10, separa el perfil de la cuenca utilizando las herramientas de cálculo en la tabla de atributos de QGIS y especifica las opciones de geometría que representan los valores del perímetro en (km) (Intriago Zambrano et al., 2021).

Longitud del cauce principal (L)

Es la longitud del cauce principal de la cuenca, desde el punto más lejano del cauce hasta la desembocadura, se la calcula en mediante la caja de herramientas de procesos de QGIS en la opción estadísticas básicas para campo QGIS, Figura 11 (Mogollón & Sánchez, 2018).

Figura 11

Estadísticas básicas para campo QGIS.

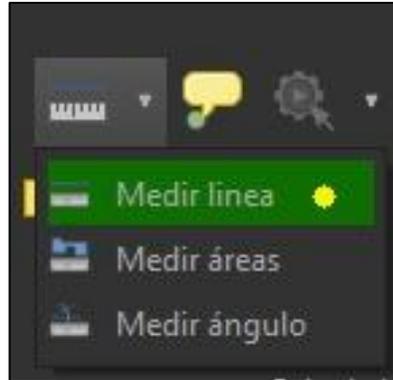


Longitud axial (La)

La longitud axial corresponde a la magnitud de la longitud de la recta que va desde el punto de la entrada del canal principal analizado hasta el punto más alejado, de un extremo de la cuenca al otro sin tener en cuenta el nivel de relieve. Estime el verdadero desplazamiento aproximado en el borde. Representado en km, se lo realiza mediante el comando medir línea del software QGIS como se muestra en la Figura 12. (POMCA, 2014)

Figura 12

Comando medir línea.



Ancho promedio de la cuenca (W)

Se calculó con la relación entre el área (A) y la longitud axial de la cuenca (La),
Su ecuación es la siguiente:

$$W = \frac{A}{La} \dots (2)$$

Donde:

A = Superficie de la cuenca (km²).

La = Longitud axial de la cuenca (km).

Desnivel altitudinal (DA)

Diferencia entre la cota de nivel más alta y la más baja de la cuenca (Rivas
Ramírez & Moreno Rivas, 2019).

$$DA = HM - Hm \dots (3)$$

Donde:

HM = Cota Máxima (msnm).

La = Cota Mínima (msnm).

Parámetros de forma

Factor de forma Horton (Rf)

Este factor relaciona el área de la cuenca (A), y el cuadrado del ancho promedio de la misma (La) (Palacios & Loor, 2021).

$$Rf = \frac{A}{La^2} \dots (4)$$

Donde:

A = Superficie de la cuenca (km²).

La = Longitud axial de la cuenca (km).

Coefficiente de compacidad de Gravelius (Kc)

Relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área (A) con unidad adimensional (Palacios & Loor, 2021). Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \dots (5)$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca (km).

$A = \text{Área de la cuenca (km}^2\text{)}.$

Coefficiente de circularidad (Cc)

Forma de la cuenca acorde al coeficiente de circularidad de Miller (Palacios & Llor, 2021).

$$Cc = 4\pi \frac{A}{P^2} \dots (6)$$

Donde:

$P = \text{Perímetro de la cuenca (km)}.$

$A = \text{Área de la cuenca (km}^2\text{)}.$

Parámetros de relieve

Pendiente media del cauce (j) (%)

Se utilizó el método de compensación el cual es una manera exacta de evaluar la pendiente media del cauce (Ramírez-Granados et al., 2021), de la siguiente manera:

$$j = \frac{Da}{L} \dots (7)$$

Donde:

$Da = \text{Desnivel Altitudinal (km)}.$

$L = \text{Longitud del cauce principal (km)}.$

Pendiente media de la cuenca (J) (%)

Se determinó con el método de Alvord, se utilizan las pendientes entre las curvas de nivel, dividiendo el área de la cuenca en áreas individuales por medio de las curvas antes mencionadas (Ramírez-Granados et al., 2021).

$$J = 100 \frac{\sum Li * E}{A} \dots (8)$$

Donde:

Li = Longitud de cada una de las curvas de nivel (km).

E = Distancia entre las curvas de nivel (km).

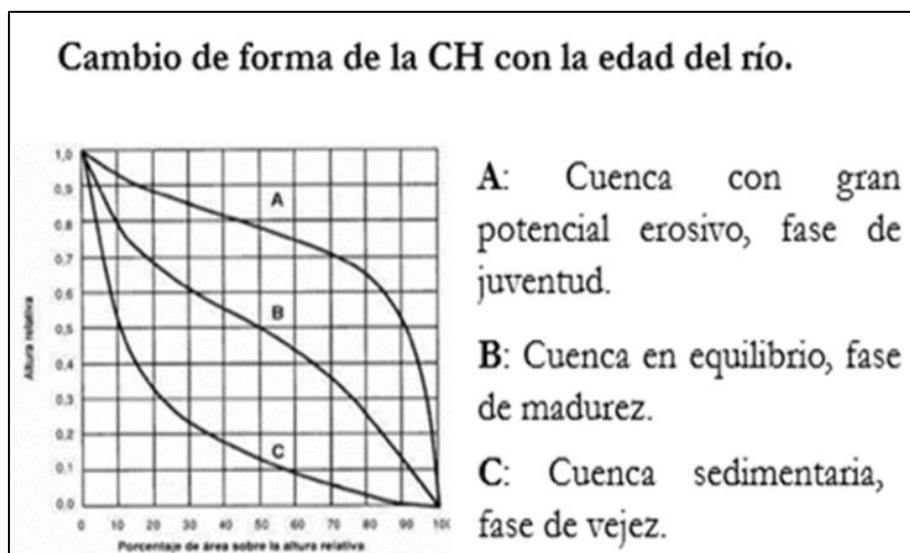
A = Área de la cuenca (km²).

Curva Hipsométrica

Ésta es una representación gráfica de la atenuación media del relieve. El porcentaje de área acumulada entre la curva en el eje x y las cotas de las curvas de nivel consideradas en el eje y, como se puede observar en la Figura 13 (EscobarTobón et al., 2020).

Figura 13

Cambio de forma de la cuenca hidrográfica.



Nota: Recuperado de (Palacios & Loor, 2021).

Coeficiente de masividad (Km)

Representa la relación entre la altura media de la cuenca y su superficie (Buchar et al., 2018).

$$Km = \frac{\text{Altura media de la cuenca (m)}}{\text{Área de la cuenca (km}^2\text{)}} \dots (9)$$

Parámetros de la red hídrica

Densidad de drenaje (Dd)

Buen indicador del relieve superficial de la cuenca y sus características geológicas (Zucarelli, 2017), su expresión es la siguiente:

$$Dd = \frac{\Sigma L}{A} \dots (10)$$

Donde:

L = Longitud de las corrientes de la cuenca (km).

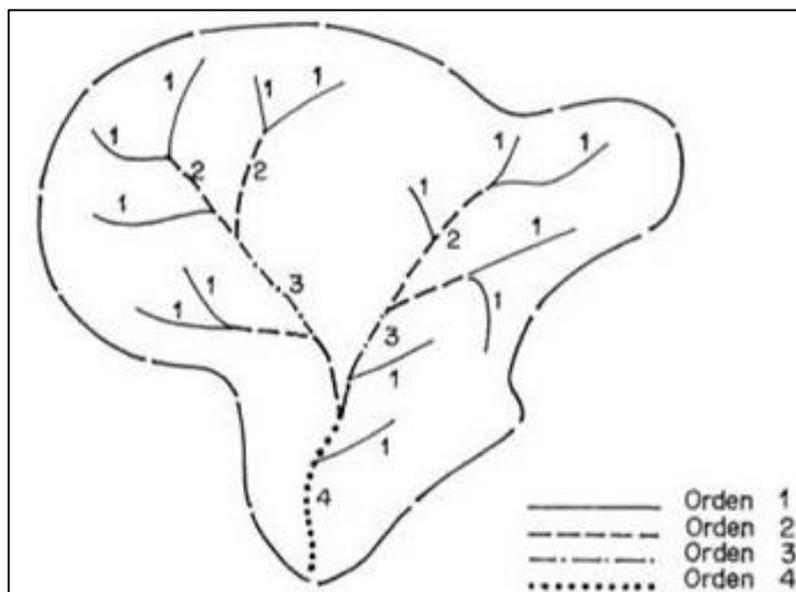
A = Área de la cuenca (km²).

Orden de la cuenca

Se tomó segmentos del cauce, se los clasificó de la siguiente manera, son de primer orden cuando no recibe afluentes, de segundo orden, cuando dos de primer orden se juntan, de tercer orden por la afluencia de dos de segundo y así sucesivamente. Si dos ríos de diferente orden se encuentran, el orden del canal resultante será el valor del río de orden superior como se indica en la Figura 14. (Villota Rosero, 2019).

Figura 14

Orden de la red de drenaje.



Nota: Recuperado de (Vega, 2020).

Tiempos de Concentración

Existen varias ecuaciones que permiten determinar el tiempo de concentración (T_c) de una cuenca, las más utilizadas para son las siguientes (Cárdenas Gamboa et al., 2018):

Kirpich

$$T_c = 0,06628 \left(\frac{L}{S^{0,5}}\right)^{0,77} \dots (11)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (horas).

L = Longitud del cauce principal (km).

S = Pendiente total del cauce principal de la cuenca (m/m)

Témez

$$T_c = 0,30 \left(\frac{L}{S^{0,25}}\right)^{0,76} \dots (12)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (horas).

L = Longitud del cauce principal (km).

S = Pendiente total del cauce principal de la cuenca (m/m)

Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H}} \dots (13)$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (horas).

L = Longitud del cauce principal (km).

A = Área de la cuenca (km^2).

H = Elevación media de la cuenca (m)

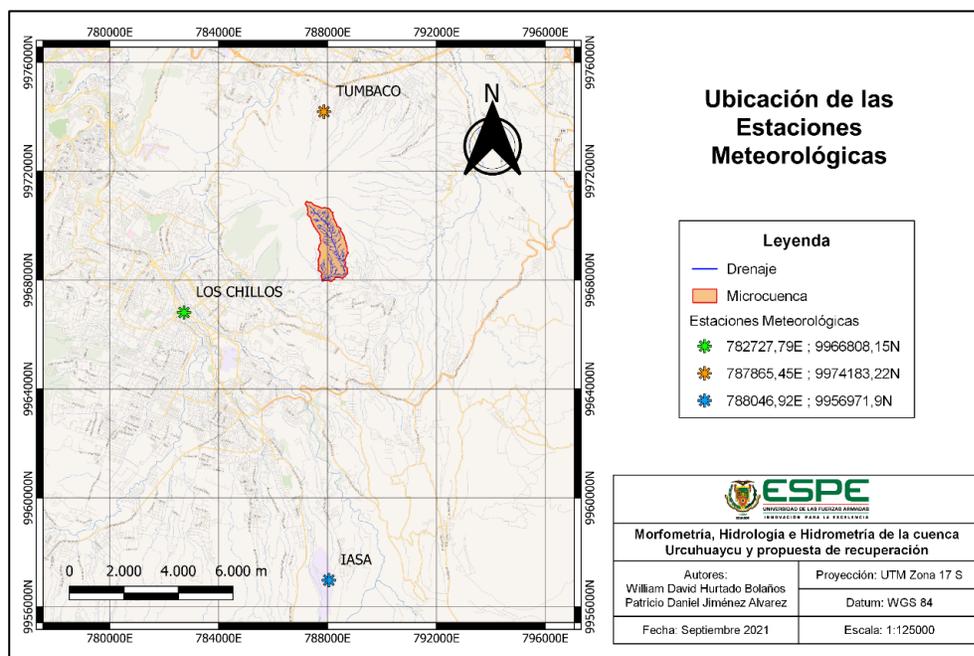
Parámetros hidrológicos

Cálculo de la precipitación media

Se realizó el cálculo de la precipitación media mediante las estaciones meteorológicas Tumbaco - M5040, Los Chillos – M5041 y la del Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA), indicadas en la Figura 15, se muestran los datos de precipitación en el Anexo 1.

Figura 15

Ubicación de las estaciones meteorológicas.



Nota: Ubicación y coordenadas de las estaciones meteorológicas.

Método aritmético

Este método es el promedio de los valores de la precipitación de los datos tomados por las estaciones meteorológicas (Aragón Hernández et al., 2019).

$$Pm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i(x, y) \dots (14)$$

Donde:

Pm = Precipitación media (mm).

P_i = Precipitación en la estación (mm).

l y n = número de estaciones

Método de los polígonos de Thiessen (Th)

Se basa en ponderar los datos de precipitación de cada una de las estaciones meteorológicas en función del área que influye (Sánchez, 2017).

$$Pmj = \frac{\sum_{i=1}^n S_i P_{ij}}{\sum_{i=1}^n S_i} \dots (15)$$

Donde:

Pmj = Precipitación media del área de estudio en el tiempo j (mm).

P_{ij} = Precipitación en la estación i en el tiempo j (mm).

S_i = Superficie de influencia de la estación i (km²).

Método de isoyetas (Iso)

Se trazó una línea en el mapa que conecta los puntos con la misma precipitación en unidades de tiempo específicas. Por lo tanto, dentro de un área, se pueden establecer valores más iguales para la misma área, según el período de tiempo. Por ejemplo, igual densidad de precipitación promedio para cada mes del año o igual densidad corresponde a precipitación promedio anual. (Liliana et al., 2020).

$$Pm = \frac{\sum P_i * A_i}{\sum A_i} \dots (15)$$

Donde:

Pm = Precipitación media (mm).

Pi = Precipitación en la estación i (mm).

Ai = Área de isoyetas (km²).

Medición de la calidad de agua mediante equipo multiparámetro

Se tomó mediciones de agua mediante el equipo multiparámetro modelo HI 9813-5 & HI 9813-6 Portable, Figura 16, el cual nos dio información acerca de pH, conductividad (CE), sólidos disueltos totales (TDS) y temperatura con una sola onda. La operación del medidor se simplifica con botones dedicados para los modos de medición y calibración. El factor de conversión a TDS configurable asegura que los resultados sean correctos desde la primera vez.

Figura 16

Equipo multiparámetro.



Nota: Equipo multiparámetro y medición de calidad de agua en campo.

Parámetros hidrométricos

Mediciones de caudal en campo por método del vertedero

El canal aforado es un dispositivo que permite la medición de caudales, Figura 17. El canal aforado está constituido por un canal de aproximación se sección rectangular con un vertedero de forma triangular sobre la cual circula el flujo (Piuma & Rattin, 2018). Se calcula con la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{8000}{15} \sqrt{2 \cdot g} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} C_d (H)^{5/2}$$

$$C_d = -0,11 + 1,2 H - 0,44 \log H - \frac{0,05}{H} + \frac{0,0144}{H^2} - \frac{0,0000187}{H^3} \dots (16)$$

Donde:

g = aceleración de la gravedad.

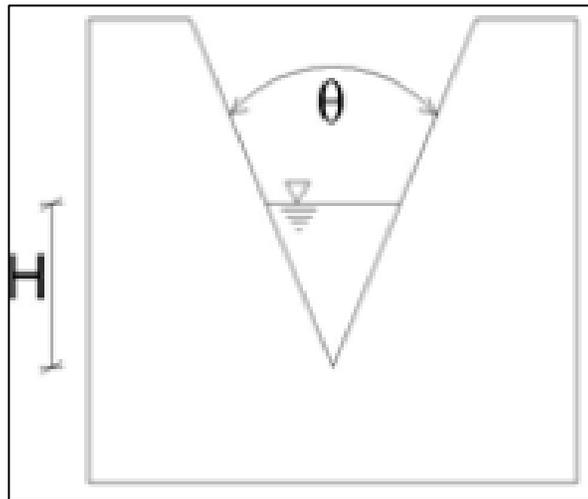
θ = ángulo de escotadura del vertedero.

H = tirante de agua (m).

C_d = Coeficiente de descarga

Figura 17

Vertedero Triangular.



Nota: Modelo geométrico del vertedero. Recuperado de (Piuma & Rattin, 2018).

Ensayos de caracterización de Suelos

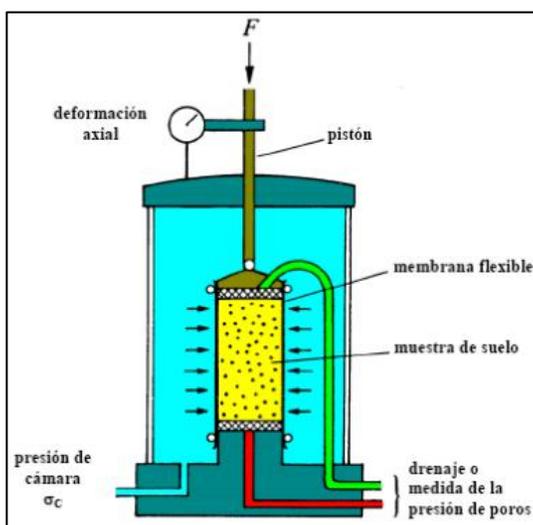
Se realizó prácticas de laboratorio para determinar el tipo de suelo del que está formado la microcuenca hidrográfica, El muestreo se realizado siguiendo la norma del TULSMA (TULSMA LIBRO VI, 2015), además estos ensayos sirvieron para determinar los factores de la formula (USLE).

Ensayo triaxial

Se sigue la norma ASTM D 2850 para análisis en suelos cohesivos (UU), no consolidado no drenado como se observa en la Figura 18, se escoge este tipo de ensayo ya que son necesarios para poder caracterizar el suelo su ángulo de fricción y su cohesión (ASTM D 2850, 1996), se muestran los datos del ensayo en el Anexo 2.

Figura 18

Ensayo triaxial.



Nota: Recuperado de (Vega, 2020).

Ensayo de permeabilidad in situ

Para este ensayo, se tomaron cuatro mediciones in situ a lo largo de la microcuenca hidrográfica Urcuwaycu como si indican en la Figura 19, a continuación, se siguió el procedimiento de la norma INVE-E-130-13. (ASTM 2434-68, 2006) y la fórmula a aplicar a continuación:

$$K = \frac{2\pi * R}{11 * \Delta t} * \ln \frac{h1}{h2} \dots (17)$$

Dónde:

K: Coeficiente de permeabilidad.

R: Radio (cm).

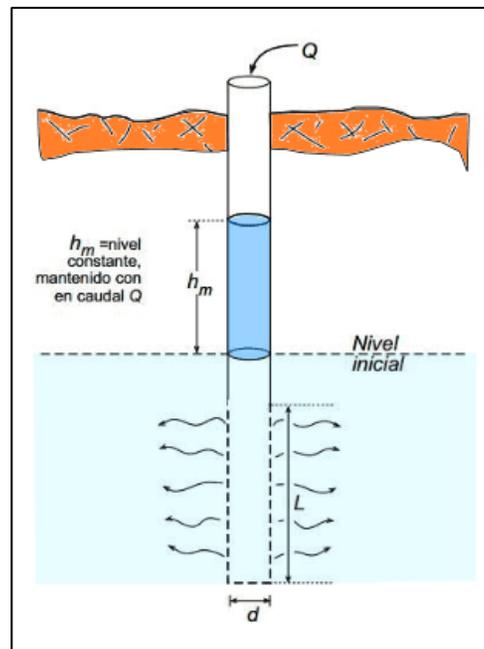
Δt : Variación del tiempo (s).

H1: Altura principal

H2: Altura secundaria

Figura 19

Toma de mediciones de permeabilidad in situ.



Nota: Recuperado de (Vega, 2020)

Determinación de contenido de materia orgánica

Se realizó el ensayo de materia orgánica como parte de los parámetros para calcular la ecuación de pérdida de suelo (USLE), este se puede observar en la Figura 20, se siguió el procedimiento de la norma INEN 160 (NTE INEN 160, 2015).

Figura 20

Ensayo de calcinación o de determinación de materia orgánica.



Nota: Recuperado de (NTE INEN 160, 2015).

Ensayo de granulometría

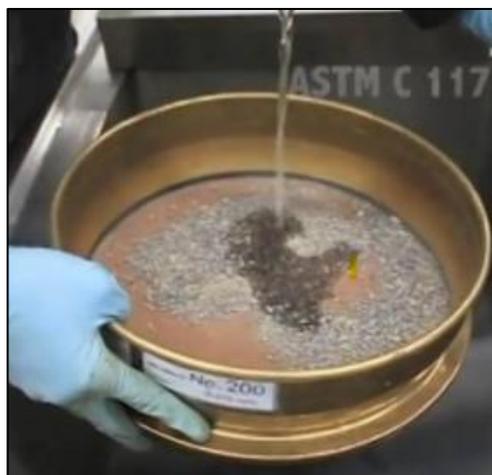
Se efectuó este ensayo con la principal finalidad de poder tener una curva granulométrica completa de las muestras de suelos recogidas en la cuenca hidrográfica es decir tanto la parte gruesa como la fina.

Granulometría por lavado

Se realizó el siguiente ensayo para determinar los porcentajes de partículas gruesas mediante la norma NTE INEN 696, como se observa en la Figura 21.

Figura 21

Ensayo de granulometría por lavado.



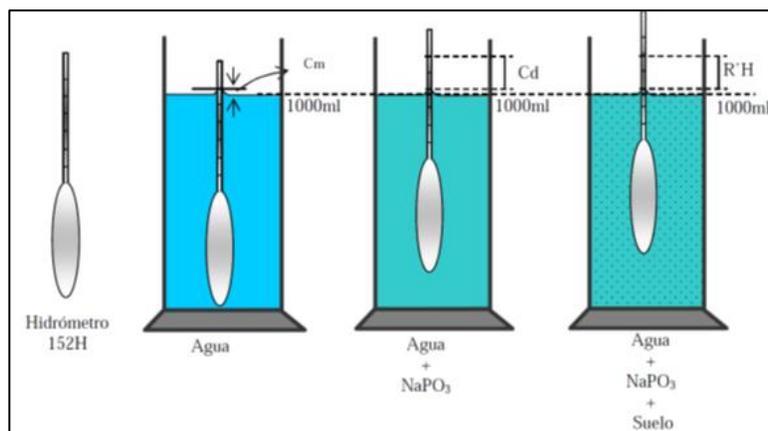
Nota: Recuperado de (Norma ASTM C 117).

Granulometría por sedimentación

Se realizó el siguiente ensayo para determinar los porcentajes de partículas finas mediante la norma INVE 124-07 (ASTM D422-63, 2007), como se observa en la Figura 22, se muestran los datos del ensayo en el Anexo 3.

Figura 22

Ensayo de granulometría por sedimentación.



Nota: Recuperado de (ASTM D422-63, 2007)

Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE)

A continuación, presentamos la metodología que se utilizó para sacar el porcentaje de pérdida de suelo.

Erosividad de las Lluvias (factor R)

Se utilizó un método de regresión simple para obtener datos de lluvia total mensual de estaciones meteorológicas cercanas al área y generar datos de lluvia en el área de estudio para determinar el coeficiente de erosión (Pham et al., 2018), se lo representa con la siguiente ecuación.

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \dots (18)$$

Dónde:

IFM: Índice de Fournier Modificado.

P_i: Precipitación total en el mes i (mm).

P: Precipitación total media anual (mm).

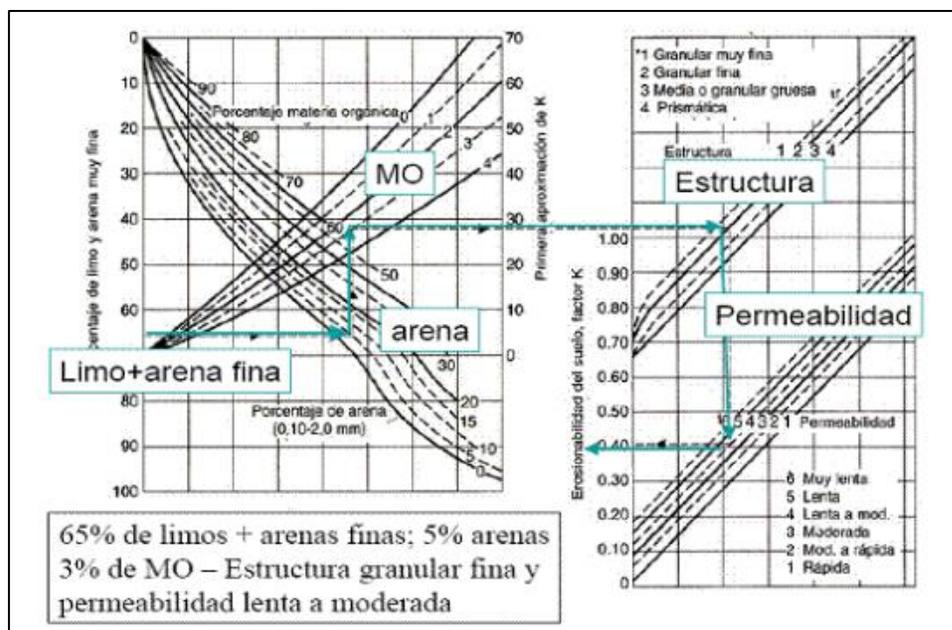
Erodabilidad del suelo (factor K)

Se evaluó considerando la pedregosidad, la profundidad y la granulometría del suelo superficial como se muestra en el nomograma indicado en la Figura 23 (Pham et al., 2018). Para lo cual se tomará muestras de suelo en la zona y se analizarán en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

$$\text{Índice de Erodabilidad} = \text{Textura} * \text{Profundidad} * \text{Pedregosidad} \dots (19)$$

Figura 23

Nomograma para la asignación del factor K.



Nota: Tomado de (Edgar Uribe, 2019)

Longitud de pendiente (factor LS)

Los datos topográficos fueron obtenidos de un levantamiento realizado por dron, sus resultados se procesarán en el software QGIS.

Factor de cobertura vegetal (C)

Este factor se estimó según los requerimientos y la zona de estudio, refiriéndonos a la Tabla 14, una vez realizada la visita de campo a la cuenca Urcuwaycu.

Prácticas de conservación de suelos (factor P)

Se recorrió el área de investigación en la localidad de la cuenca Urcuwaycu para verificar la existencia de algún método de prácticas de conservación de suelos en los terrenos que los realizan, el valor de P, Tabla 15, depende de la pendiente del terreno,

que varía entre 0 a 1, hay que tener en cuenta que si no se realizan prácticas de conservación el valor de P será igual a 1 (Pham et al., 2018).

Erosión de suelos (A)

Una vez determinados todos los parámetros aplicamos la ecuación universal explicada anteriormente (Ecuación 1) y se utilizó la Tabla 16 para clasificarla (Pham et al., 2018):

Tabla 16

Clasificación de la pérdida de suelo causado por la Erosión.

Categoría	Perdida de suelo (t/ha-año)
Ninguna a Ligera	<10
Moderada	10-50
Alta	50-200
Muy Alta	>200

Nota: Recuperado de (Edgar Uribe, 2019).

Métodos de restauración hidrológica

Estudio de prefactibilidad

Con varias alternativas preseleccionadas, se realiza una evaluación técnica para determinar la mejor alternativa para el proyecto, a continuación, se detallan los procesos constructivos de las opciones de recuperación hidrológica investigadas.

Construcción de fajinas

El proceso constructivo para el fajinado a mano será el siguiente (Carrascal Dominguez, 2019):

Cortar y enrollar a una longitud manejable de aproximadamente 3 m como se observa en la Figura 24, que no sea desigual y tenga un diámetro de menos de 10 cm.

Alineación de fajinas de unos 3 m de longitud promedio mediante el apoyo de 1-2 trozos rectos puestos uno encima del otro sobre árboles, se utilizan piedras de 30-35 cm de altura, hasta alcanzar los 30 cm de altura.

Relleno de huecos inferiores con partes sobrantes y ramas gruesas y finas, finalizando con un rastrillo de ramas finas partidas a menos de 30 cm y apisonadas, a lo largo de la fajina, de 140 cm de ancho y unos 30 cm de elevación.

Es importante poner estos esquejes en contacto con el suelo por los efectos hidrológicos. Simplemente apilar ramas sin podar o comprimir será menos eficiente.

Figura 24

Fajinado Manual.



Nota: Tomado de (Carrascal Dominguez, 2019)

Construcción de albarradas

Tendrán una altura promedio de al menos 60 cm, no superando los 100 cm. Su longitud será variable de acuerdo al ancho del cauce y su profundidad, para su ejecución se debe seguir el siguiente procedimiento (Gomez, 2012):

Se ancla estacas verticales con un diámetro sugerido de 10 cm y una altura de acuerdo a la altura de la albarrada, su instalación comienza por el punto más bajo, primero hincando las estacas a una distancia 30 a 50 cm y posteriormente aparejando el armazón con trozos horizontales, se muestra un modelo de albarrada en la Figura 25.

Figura 25

Criterios constructivos de albarradas.



Nota: Tomado de (Gomez, 2012).

Construcción de diques

Como primera actividad en la construcción del dique se procede a realizar una zanja de 1/4 parte de la altura total de la misma y de un ancho necesario para empotrar la estructura (SEMARNAT, 2004).

A continuación, se coloca las cañas a lo largo de la zanja excavada, el anclado o empotramiento en las partes laterales deben quedar seguras evitando que los escurrimientos socaven los extremos y afecten su funcionamiento.

Adicionalmente se coloca una hilera de cañas en sentido vertical y transversal a la cárcava, separadas al menos 0,80 m, ancladas al suelo la profundidad de la zanja excavada, sujetando con las cañas en sentido horizontal con alambre galvanizado u otro material resistente.

Se recomienda compactar el suelo cercano al dique con el fin de dar estabilidad a la estructura, adicional se debe realizar un corte en la parte mitad superior del dique para generar un vertedero que controle el flujo del agua.

Las dimensiones recomendadas para el vertedero son de $\frac{1}{3}$ de la longitud horizontal y $\frac{1}{4}$ de la altura total del dique. Por ejemplo, como se indica en la Figura 26, si el dique tiene una altura de 1,20 m y una longitud de 2,00 m, el vertedero aproximadamente tendrá 0,30 m de altura y 0,70 m de longitud.

Figura 26

Dimensiones del vertedero.



Nota: Tomado de (SEMARNAT, 2004).

Se recomienda construir un delantal aguas debajo de la presa, con el fin de proteger el fondo de la cárcava de la erosión hídrica causada por la caída de agua del vertedero y a su vez mantener la estabilidad del dique.

La construcción del delantal no requiere de medidas estrictas ni uso de materiales específicos, sin embargo, es recomendable aquellos que no sean de fácil arrastre por la corriente de agua, por lo cual una alternativa es el uso de costales (Figura 27) de 0,60 m de ancho y 0,90m de largo, llenos de tierra del área cercana al dique, acomodados de forma intercalada, para dar mayor estabilidad se puede mezclar la tierra con cemento en una proporción de 5:1. En el proceso de obtención del suelo se debe procurar no erosionar y/o promover la formación de nuevas cárcavas.

Los diques son altamente efectivos para suelos con alto nivel de cohesión entre sus partículas debido a que tienen que soportar a la estructura, se los utilizan en cuencas hidrográficas con altas pendientes para frenar las velocidades críticas del agua y así evitar

erosiones hídricas. son viables económicamente ya que sus materiales constructivos pueden tomarse de la zona o si se requiere materiales de mayor resistencia sus costos no son elevados.

Figura 27

Presas de costales en una cárcava.



Nota: Tomado de (SEMARNAT, 2004).

Estudio de factibilidad

En el presente estudio se considera la mejor alternativa del nivel de prefactibilidad, no requiere de mayores estudios y se utilizan para poner en ejecución, a continuación, se resumen las características principales de las opciones de restauración hidrológicas:

- **Fajinas:** Esta técnica de método de restauración es aplicable para terrenos afectados por incendios forestales y que tienen un porcentaje de pérdidas altas de suelo, es decir son altamente erosionables, la fajina ayuda a la infiltración de agua en el terreno, debido a esto no es aplicable para suelos bajamente permeables, son viables económicamente y ambientalmente ya que sus materiales constructivos pueden tomarse de la zona.

- **Albarradas:** Esta técnica de método de restauración es aplicable para terrenos afectados por incendios forestales y que tienen un porcentaje de pérdidas altas de suelo, la albarrada ayuda a disminuir la velocidad de la erosión reduciendo la velocidad del agua, se recomienda construir albarradas en cárcavas pequeñas transversales al cauce principal, son viables económicamente y ambientalmente ya que sus materiales constructivos pueden tomarse de la zona.

- **Diques:** Los diques son altamente efectivos para suelos con alto nivel de cohesión entre sus partículas debido a que tienen que soportar a la estructura, se los utilizan en cuencas hidrográficas con altas pendientes para frenar las velocidades críticas del agua y así evitar erosiones hídricas, son viables económicamente y ambientalmente ya que sus materiales constructivos pueden tomarse de la zona o si se requiere materiales de mayor resistencia sus costos no son elevados.

Capítulo IV

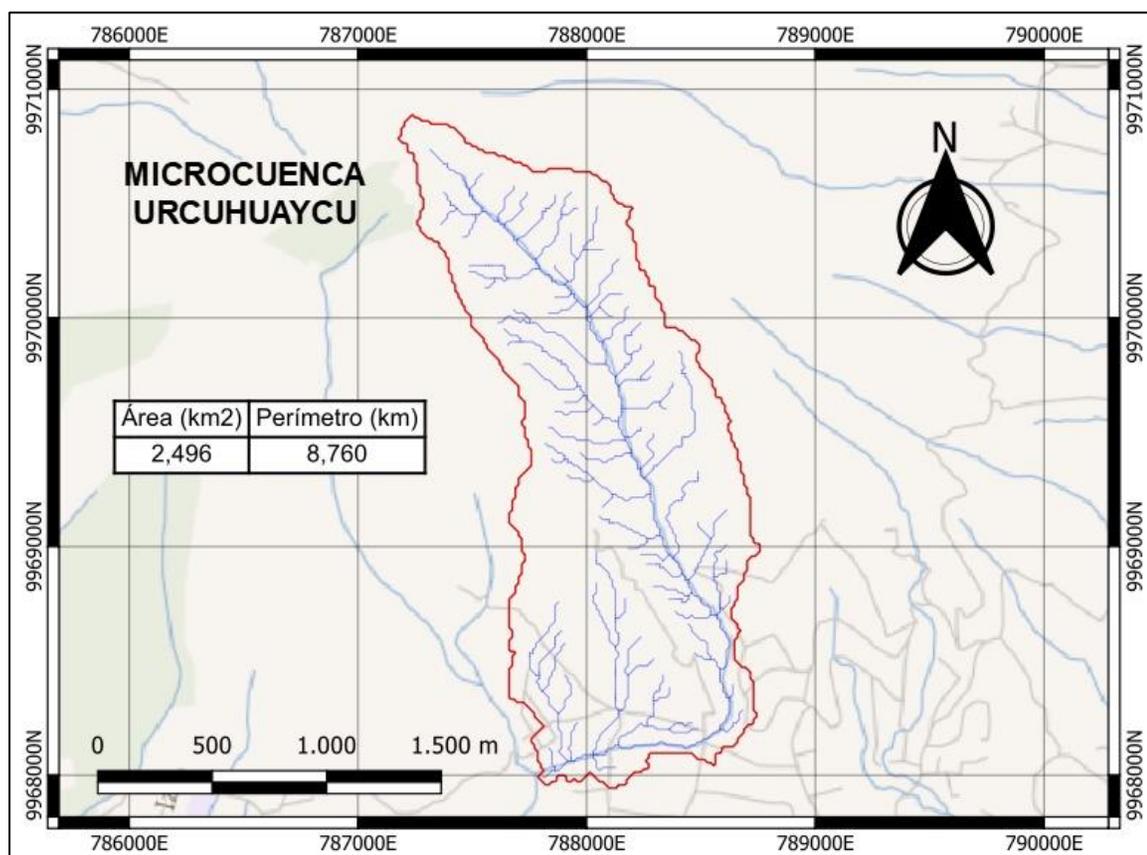
Resultados y Discusión

Delimitación de la microcuenca Urcuhuaycu

Se delimitó la Microcuenca Urcuhuaycu, Figura 28, formada por la quebrada del mismo nombre, con coordenadas UTM: 787789,744 – 9967995,403; 787292,841 – 9970760,506, zona 17S.

Figura 28

Delimitación de la microcuenca Urcuhuaycu.



Parámetros morfométricos

Parámetros generales

En la Tabla 17 se muestran los resultados de los parámetros generales de la microcuenca Urcuwaycu:

Tabla 17

Parámetros generales de la Microcuenca Urcuwaycu.

Parámetro	Valor	Unidad	N° Fórmula
Área (A)	2,497	km ²	-
Perímetro (P)	8,760	km	-
Longitud del cauce principal (L)	4,085	km	-
Longitud axial de la cuenca (La)	2,970	km	-
Ancho de la cuenca (W)	0,841	km	2
Desnivel altitudinal (DA)	664,389	msnm	3
Cota máxima (Cmáx)	3186,867	msnm	-
Cota mínima (Cmín)	2522,478	msnm	-
Altura media de la cuenca (Amc)	2854,225	msnm	-
Altura más frecuente (Amf)	2588,917	msnm	-

La cuenca Urcuwaycu cuenta con un área de 2,497 km², de acuerdo a la clasificación de las cuencas ecuatorianas se consideró como una cuenca muy pequeña o microcuenca, también se la clasificó como unidad en base a la Tabla 2, el perímetro de la cuenca es de 8,760 km, esta medida fue relevante para próximos cálculos.

Las cotas registradas para la microcuenca Urcuwaycu fueron: Cota máxima 3186,867 msnm y su cota mínima 2522,478 msnm, con un desnivel altitudinal 664,389 msnm.

Parámetros de forma

En la Tabla 18 se muestran los resultados de los parámetros de forma de la microcuenca Urcuwaycu:

Tabla 18

Parámetros de forma de la Microcuenca Urcuwaycu.

Parámetro	Valor	Unidad	Clasificación	N° Fórmula
Factor de forma (Rf)	0,283	adimensional	Alargada	4
Coefficiente de compacidad (Kc)	1,552	adimensional	Alargada	5
Coefficiente de circularidad (Cc)	0,409	adimensional	Alargada	6

Para la microcuenca Urcuwaycu, el factor de forma calculado fue de 0,283 lo cual indicó que tiene una forma alargada según la Tabla 3. El valor del coeficiente de compacidad de Gravelius fue 1,552 lo cual confirmó que tiene una forma alargada de acuerdo a la Tabla 4. El valor del coeficiente de circularidad fue de 0,409, lo cual afirmó que es una cuenca alargada ya que su valor es cercano de 0.

Debido a los valores de varios parámetros, la microcuenca Urcuwaycu presentó una forma "alargada" que da como resultado una concentración de agua más pausada. Esta clase de cuencas hidrográficas alargadas con períodos prolongados de concentración son mucho menos peligrosas para las cuencas hidrográficas propensas a inundaciones en caso de lluvia que las cuencas fluviales circulares en la misma zona (Cañibano et al., 2016).

Parámetros de relieve

En la Tabla 19 se muestran los resultados de los parámetros de relieve de la microcuenca Urcuwaycu:

Tabla 19

Parámetros de relieve de la Microcuenca Urcuwaycu.

Parámetro	Valor	Unidad	Clasificación	N° Fórmula
Altitud mayor del cauce	3147,763	msnm	-	-
Altitud menor del cauce	2532,502	msnm	-	-
Pendiente media de la cuenca	16,26	%	Moderadamente empinada	8
Pendiente media del cauce	15,06	%	Moderada	7
Coeficiente de masividad (Km)	1143,062	m/km ²	Moderadamente montañosa	9

La pendiente media del cauce de la microcuenca calculada fue de 15,06 % que indicó que tiene una clasificación moderada según la Tabla 5. La pendiente media de la cuenca obtenida fue de 16,26% lo cual la clasifica como Moderadamente empinada según la Tabla 6. El factor de coeficiente de masividad fue de 1143,062 m/km² lo cual afirmo que la microcuenca presenta un terreno moderadamente montañoso según la Tabla 7.

Este efecto indica que a mayor gradiente, menor duración de la concentración de escorrentía en la red de drenaje y los principales afluentes de esta microcuenca, facilitando claramente la superficie del flujo (Cruz Romero et al., 2015).

Curva hipsométrica

Con los datos obtenidos del programa QGIS explicados en la Figura 29, se realizó los cálculos de la curva hipsométrica indicada en la Figura 30 y también del histograma indicado en la Figura 31.

Figura 29

Área en base a la altura de la microcuenca Urcuahuaycu

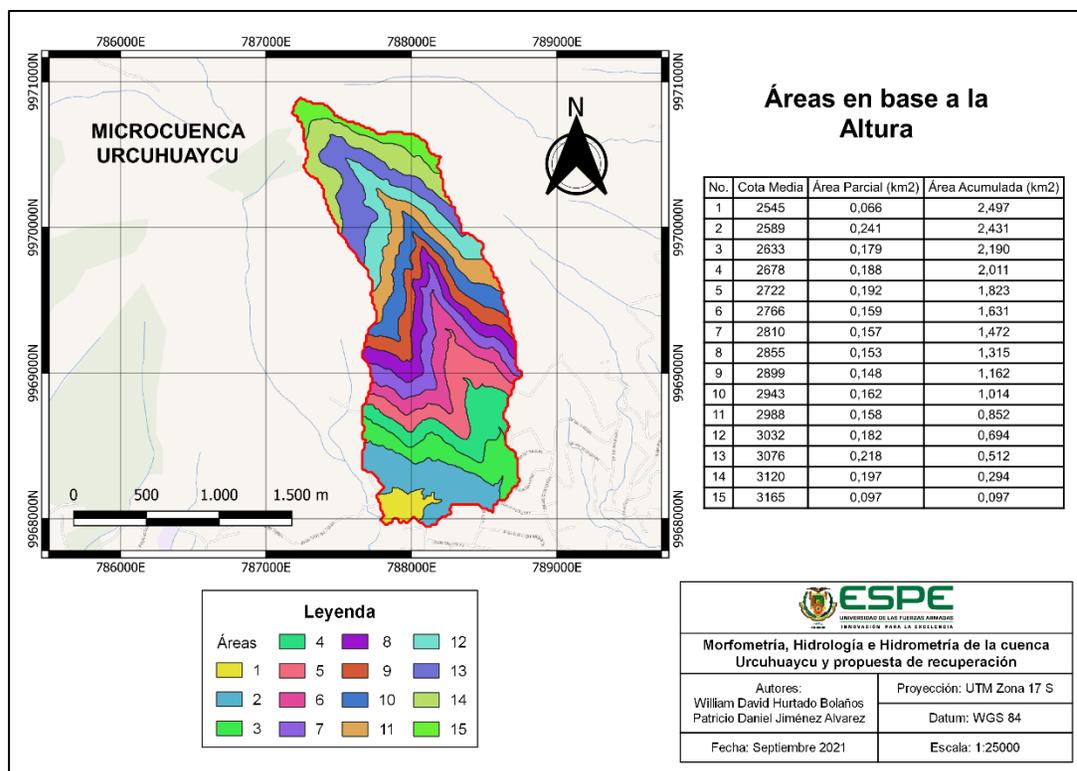


Figura 30

Curva hipsométrica de la microcuenca Urcuahuaycu.

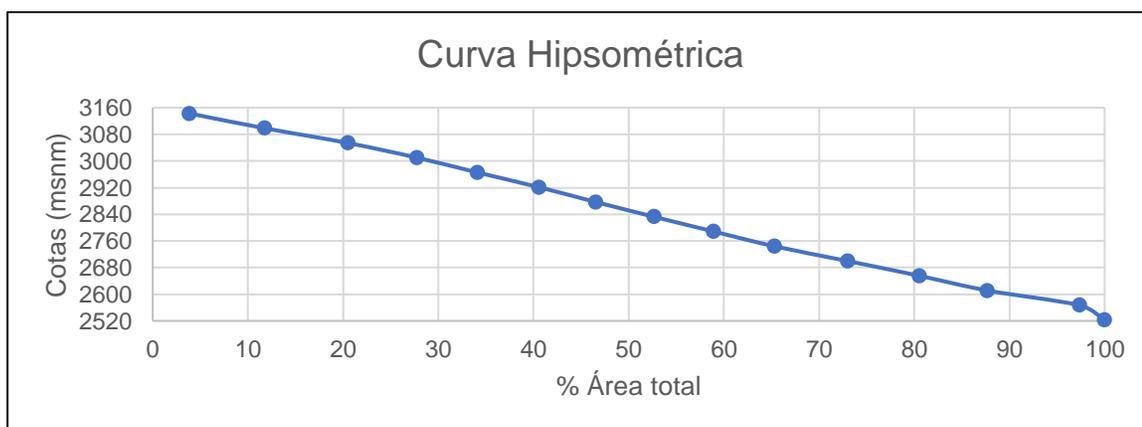
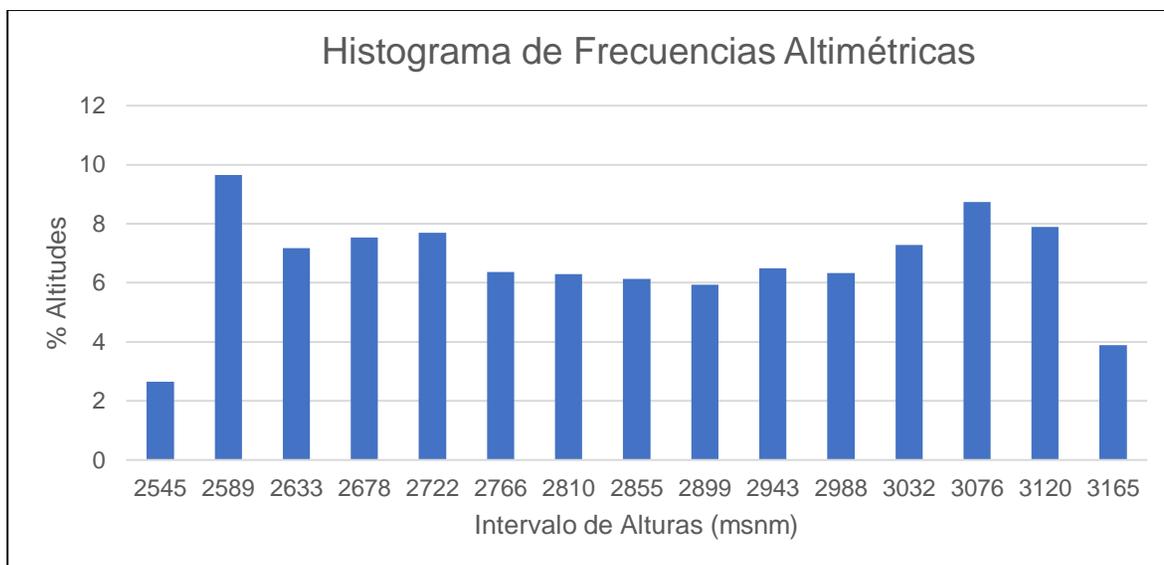


Figura 31

Histograma de frecuencias de la microcuenca Urcuwaycu.



La curva hipsométrica de la microcuenca Urcuwaycu, que se observa en la Figura 30, comparada con la Figura 4 sobre las curvas hipsométricas propuestas, señalo que la misma representa a un río maduro, debido a su estado de equilibrio.

El histograma de frecuencias altimétricas, como se aprecia en la Figura 31, indicó que las alturas de 3032 a 3165 msnm y 2545 a 2633 msnm, presentan pendientes elevadas debido a su diferencia de alturas, desde los 2633 a 3032 msnm, el histograma representó una pendiente moderadamente elevada, lo cual da a presencia de llanuras o zonas montañosas.

Según (Rabanal Silva, 2018). De manera similar, la pendiente del río no es tan empinada y se puede juzgar que fluye lentamente. Lo proporcionan muchos afluentes. Se cree que a medida que el río madura, su sección transversal se ensancha, provocando pequeñas llanuras aluviales y algunos meandros. Esta condición se ha corroborado en esta área de estudio al encontrar situaciones similares mencionadas por el autor.

Parámetros de la red hídrica

En la Tabla 20 se muestran los resultados de los parámetros de la red hídrica de la microcuenca Urcuwaycu:

Tabla 20

Parámetros de la red hídrica de la microcuenca Urcuwaycu.

Parámetro	Valor	Unidad	Clasificación	N° Fórmula
Orden de la cuenca	4	Adimensional		-
Longitud total drenajes	22,099	km	Cuenca bien drenada	-
Densidad de Drenaje (Dd)	8,850	/km ²		10

Para la determinación de la longitud total de drenajes se realizó la suma total de las corrientes intermitentes, efímeras y perennes de la red hídrica, resultando un total de 22,099 km, el mismo se utilizó para el cálculo de la densidad de drenaje.

La microcuenca Urcuwaycu presentó una densidad de drenaje de 8,850 km de río por km², este valor categorizó, según la Tabla 8, que la microcuenca presenta un drenaje muy alto y a su vez la clasificó como cuenca bien drenada. Según (Camino et al., 2018), la microcuenca presenta una alta tendencia a la erosión y a la escorrentía, debido a su forma alargada.

En la Tabla 21 se muestran los resultados de los tiempos de concentración de la microcuenca Urcuwaycu:

Tabla 21

Tiempos de concentración.

Fórmulas (Tc)	Valor	Unidad	Promedio (min)	Clasificación	N° Fórmula
Kirpich	0,406	h	30,64	Rápido	11

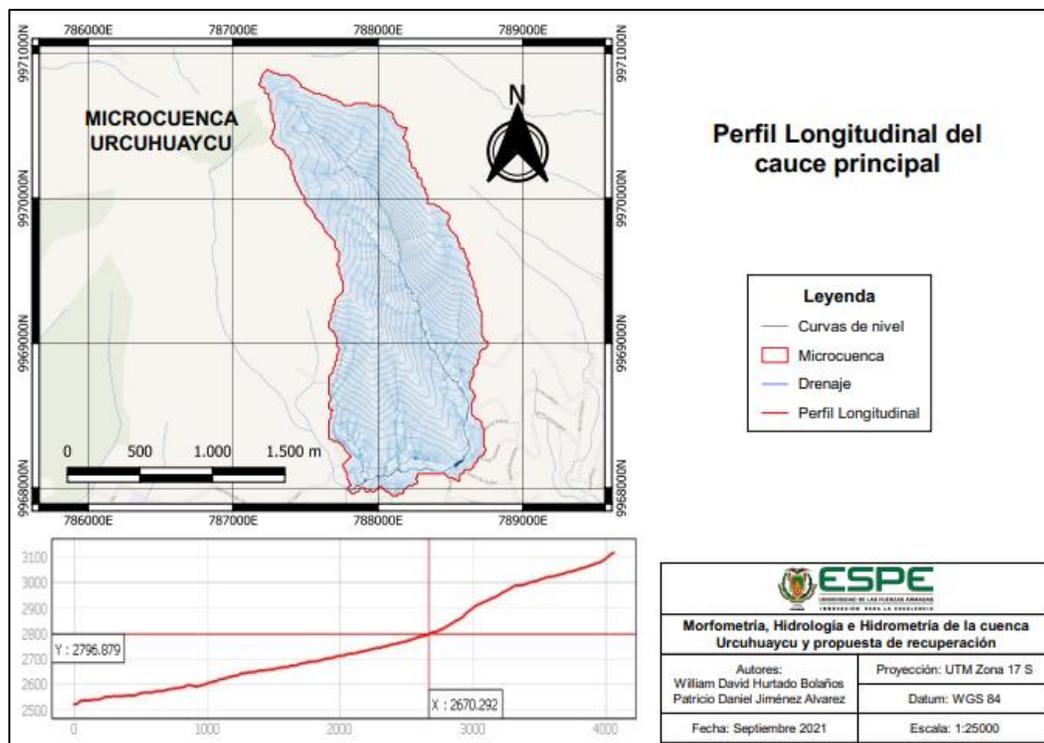
Giandotti	0,604	h	13
Témez	0,522	h	12

Los tiempos de concentración estimados por las fórmulas 11, 12 y 13, proyectaron un promedio de 30,64 minutos, lo cual en base a la Tabla 10, el tiempo de concentración es “rápido”, que según (Intriago Zambrano et al., 2021) la forma de la microcuenca tiene una notable influencia, ya que, al ser alargada, el tiempo que recorre la gota de lluvia desde el punto más lejano de la cuenca hasta llegar al punto de cierre, es mayor.

En la Figura 32 se muestra el perfil longitudinal del cauce de la microcuenca Urcuahuaycu:

Figura 32

Perfil longitudinal del cauce de la microcuenca Urcuahuaycu.



Se apreció la existencia de pendientes elevadas en las partes altas de la microcuenca entre los 2790 a 3100 msnm, a su vez en la zona media y baja de la misma

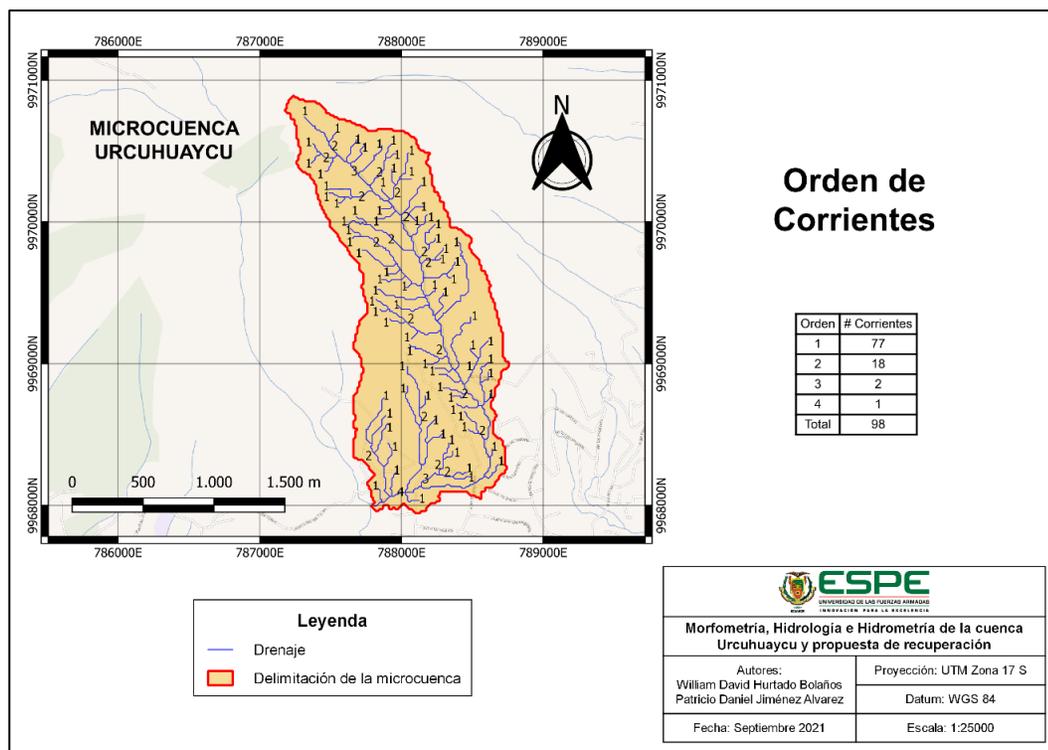
se evidenció pendientes pronunciadas, que están alrededor de los 2790 msnm para abajo.

Orden de la red hídrica

En la Figura 33 se muestra el orden de la red hídrica de la microcuenca Urcuwaycu:

Figura 33

Orden de la red hídrica de la microcuenca Urcuwaycu.



El orden de la red hídrica de la microcuenca Urcuwaycu es de tipo “4”, en base a la Tabla 9, se clasificó como tipo de corriente de un grado de bifurcación “medio”. Al ser un grado de corriente mayor, más clara es la estructura de la cuenca, más amplia la red y más representativa el área de relieve aplicable al área de estudio, apuntando a la estructura de una cuenca más antigua (Rizo Machado et al., 2011).

Parámetros hidrológicos

Validación de datos

Para la validación de datos se realizó un análisis estadístico descriptivo en el programa Rstudio de la información recopilada de la variable de precipitación de las estaciones meteorológicas Tumbaco - M5040, Los Chillos – M5041 y la del Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA) desde el año 2004 a 2019, se realizó pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y de Kolmogorov – Smirnof, se indican los resultados en la Tabla 22.

Tabla 22

Resultados pruebas de normalidad.

Estación meteorológica	Shapiro – Wilk p-value	Kolmogorov – Smirnof p-value
Tumbaco – M5040	0,1370	0,1649
Los Chillos – M5041	0,6243	0,4000
IASA	0,0629	0,0601

Basados en la prueba de Shapiro – Wilk y de Kolmogorov – Smirnof que nos dan valores mayores a 0.05 (nivel de significancia) se indica que los datos forman una tendencia normal (Ver Anexo 4) y por lo tanto son utilizables para el análisis de la precipitación media en el área de estudio.

Cálculo de la precipitación media anual

A continuación, se muestran los resultados de la precipitación media anual calculados por los diferentes métodos:

Método aritmético

En la Tabla 23 se muestran los resultados de la precipitación media anual de las estaciones meteorológicas antes mencionadas, siendo 1094,95 mm la precipitación promedio para la zona en estudio.

Tabla 23

Resultados de precipitación media, método aritmético.

Estación	Código INAMHI	Precipitación media anual (mm)	Precipitación Promedio (mm)
Los Chillos	M5041	1236,32	
Tumbaco	M5040	740,22	1094,95
IASA	-	1308,32	

Método de polígonos de Thiessen (Th)

En la Tabla 24 se muestran los resultados del método de polígonos de Thiessen para la precipitación media anual, siendo la precipitación ponderada calculada de 825,29 mm para la zona en estudio.

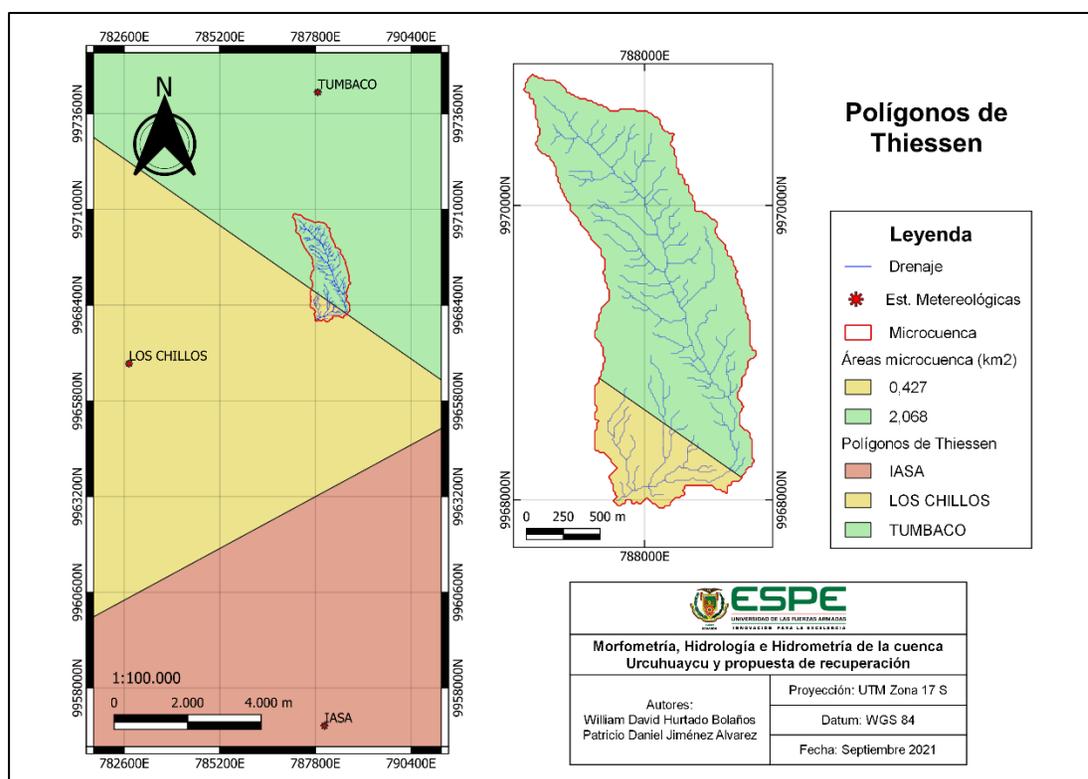
Tabla 24

Resultados de precipitación media, método de polígonos de Thiessen (Th).

Estación	Código INAMHI	Precipitación (mm)	Área (km ²)	Área Ponderada	Precipitación Ponderada (mm)
Los Chillos	M5041	1236,32	0,428	0,17	212,00
Tumbaco	M5040	740,22	2,068	0,83	613,29
		Suma:	2,496	1	825,29

Figura 34

Polígonos de Thiessen de la microcuenca Urcuwaycu.



En la Figura 34 se indica el análisis realizado con el software QGIS para la zona de estudio, dando como resultado que la estación del Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA) es un área no representativa para evaluar la precipitación dentro de la microcuenca Urcuwaycu.

Método de isoyetas (Iso)

En la Tabla 25 se muestran los resultados del método de isoyetas para la precipitación media anual, considerado como el método de mayor precisión, dando un valor de 985,96 mm de precipitación ponderada.

Tabla 25

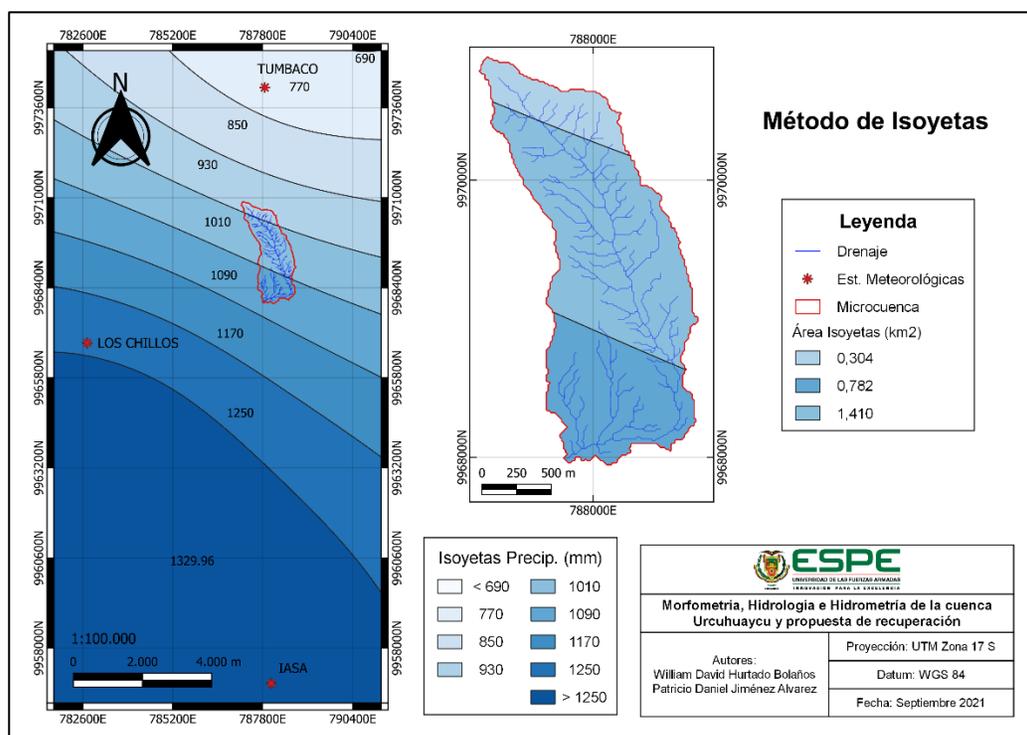
Resultados de precipitación media, método de isoyetas.

Zona	Isoyeta mín.	Isoyeta máx.	Isoyeta Promedio	Área (km ²)	Área Ponderada	Precipitación Ponderada (mm)
4	908,563	930,499	919,531	0,304	0,12	111,99
5	930,501	1010,499	970,500	1,410	0,56	548,24
6	1010,500	1068,812	1039,656	0,782	0,31	325,73
Suma:				2,496	1	985,96

De la misma manera se indica a continuación en la Figura 35 el análisis con el software QGIS, realizado con curvas cada 80 mm de precipitación.

Figura 35

Isoyetas de la microcuenca Urcuahuaycu.



A continuación se indican en la Tabla 26, los resultados finales de las precipitaciones medias anuales de las estaciones Tumbaco - M5040, Los Chillos – M5041

e Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA), analizadas por los métodos: Aritmético, Polígonos de Thiessen e Isoyetas, siendo el método de Isoyetas el de mayor precisión y tomado como valor de referencia como lo menciona Aragón et al. (2019), posterior a este se encuentra el método de polígonos de Thiessen y por último el método Aritmético, con una diferencia de 16,30%, y 11,05% respectivamente del método de Isoyetas.

Tabla 26

Precipitación media evaluada por los tres métodos.

Método	Pm (mm)	ER (%)
Aritmético	1094,95	11,05
Polígonos de Thiessen	825,29	16,30
Isoyetas	985,96	-

Con base en investigaciones realizadas en la región andina del Ecuador, el método más confiable para el área de estudio es el método de Isoyetas versus el método Aritmético o Polígonos de Thiessen, ya que los dos métodos no consideran factores determinantes como la topografía (Duque-Sarango et al., 2019).

Precipitación media anual temporal

Se realizó un análisis de la precipitación media anual temporal para las estaciones de Tumbaco - M5040, Los Chillos – M5041 e Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA) desde el año 2004 al 2019, los resultados se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27

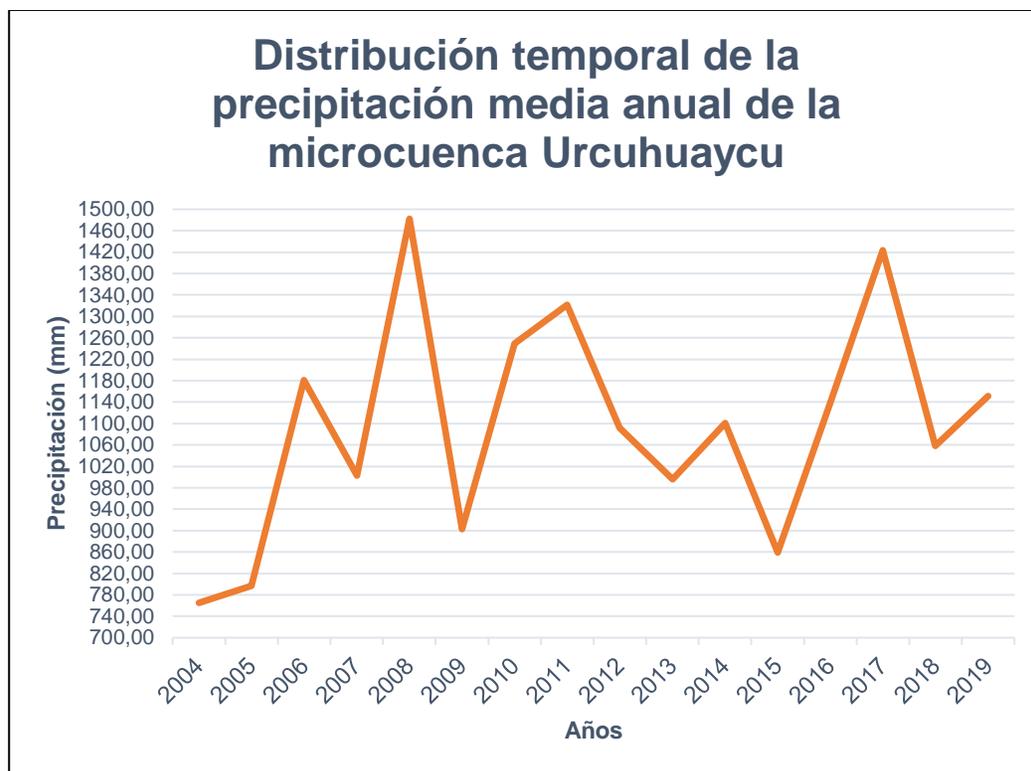
Precipitación media anual temporal de la microcuenca Urcuwaycu.

Precipitación media anual Microcuenca Urcuwaycu	
Años	P (mm)
2004	765,10
2005	796,83
2006	1180,97
2007	1002,87
2008	1482,30
2009	902,27
2010	1249,13
2011	1321,17
2012	1092,23
2013	995,93
2014	1100,37
2015	859,55
2016	1138,73
2017	1423,17
2018	1057,77
2019	1150,90

En la Figura 36 se observa la distribución temporal de la precipitación media anual en la microcuenca Urcuwaycu, en la cual los años de 2008 y 2017 son los de mayor precipitación con un volumen de precipitación promedio de 1482,30 mm y 1423,17 mm respectivamente, mientras que los años de 2004 y 2005 son los de menor precipitación con un volumen de precipitación promedio de 765,10 mm y 796,83 mm respectivamente

Figura 36

Toma de muestras en la microcuenca Urcuwaycu.



Calidad de agua

Se realizó el análisis de la calidad de agua de la microcuenca Urcuwaycu mediante un equipo multiparámetro, en la Figura 37 se indican las coordenadas de los puntos de toma de muestras, se los comparó con el límite permisible para el agua cruda del TULSMA tabla 1 (TULSMA, 2011) y para el agua consumo de agua potable se basó en la norma INEN 1108 (INEN, 2014), a continuación, se muestran los resultados en la Tabla 28.

Figura 37

Toma de muestras en la microcuenca Urcuwaycu.

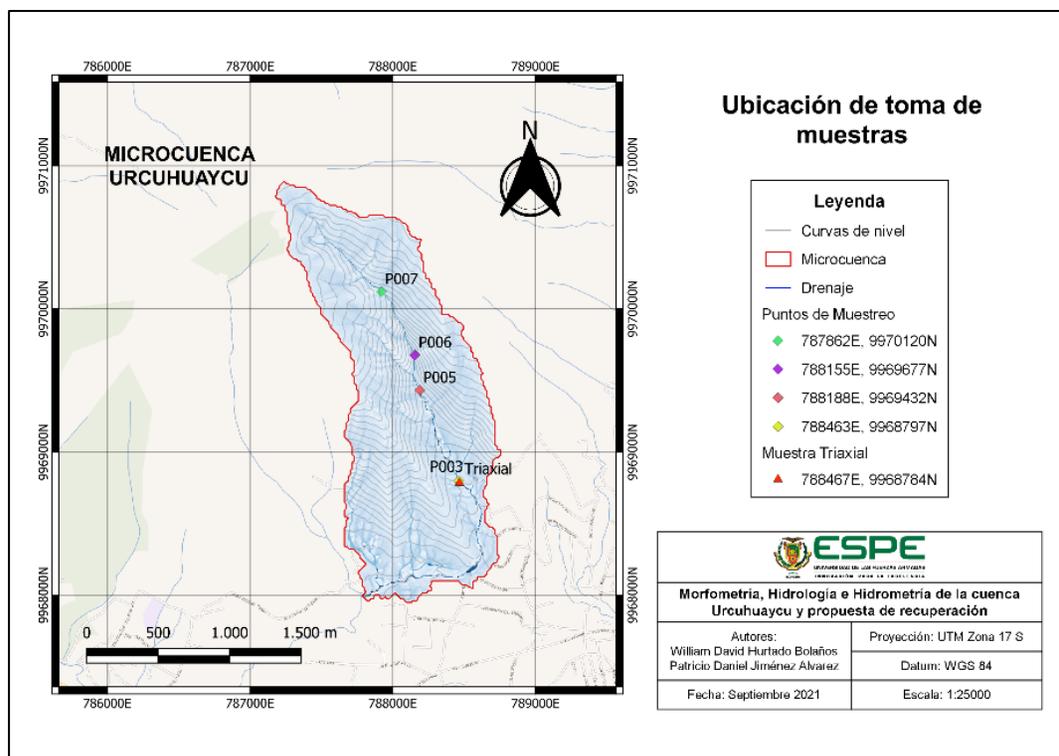


Tabla 28

Parámetros de la calidad de agua cruda de la microcuenca Urcuwaycu.

Muestras y Normas	P003	P005	P006	P007	Límites TULSMA	INEN 1108	Cumple con los límites permisibles
pH	6,9	7,6	7,3	7,2	6 - 9	6,5 – 8,5	Cumple
Temperatura (°C)	14,4	15,7	13,5	13,1	-	-	No aplica
CE (mS/cm)	0,12	0,12	0,12	0,12	0,125	-	Cumple
TDS ppm (mg/L)	93	89	92	110	1000	500	Cumple

La conductividad del agua es una propiedad importante del agua que proporciona una estimación de la concentración total de iones disueltos en el agua y, a menudo, se utiliza como indicador de la mineralización del agua (concentración total de iones).

En la Tabla 28 se observa los parámetros de pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (TDS) de las 4 muestras tomadas, comparadas con los límites del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) (TULSMA, 2011) y la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 (INEN, 2014), los 4 parámetros mencionados cumplen con el límite máximo permisible, sin embargo, no se recomienda beber el agua, debido a que existe ganado en esta zona que está en constante contacto con el cauce.

Parámetros hidrométricos

Medición de caudal en campo

Se tomó cuatro mediciones del caudal de la microcuenca Urcuwaycu, el método utilizado fue el del vertedero triangular, indicado en la Figura 38 ya que al ser un cauce irregular se dificulta la toma de mediciones por el método de los flotadores, las coordenadas de la toma de mediciones se indican en la Figura 37, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en la Tabla 29:

Figura 38

Mediciones de caudales en la microcuenca Urcuwaycu.



Tabla 29

Mediciones de caudales microcuenca Urcuwaycu.

Muestra	P003	P005	P006	P007
Tirante de agua (H) (m)	0,07	0,04	0,035	0,05
Cd	2,652	8,011	10,463	5,133
Caudal (L/s)	5,412	4,035	3,775	4,517
Caudal Promedio (L/s)	4,43			

En la Tabla 29 se observan los resultados de las 4 muestras tomadas, siendo 4,43 L/s el caudal promedio del cauce de la microcuenca Urcuwaycu, cabe mencionar que en investigaciones pasadas el cálculo del caudal dio alrededor de 1,5 a 2 L/s, sin embargo, este dato no es realista, “debido a que el cálculo mencionado fue llevado a cabo por una persona de la oficina de Quito, que no ha medido el caudal de agua real, ni ha visitado el lugar de la microcuenca “ según (Visscher, 2016).

Ensayos de caracterización de suelos

Ensayo Triaxial (UU)

Para este ensayo se tomó una muestra de suelo representativa, es decir, un cubo de suelo de dimensiones 30x30x30 cm de la cuenca hidrográfica Urcuwaycu, como se indica en la Figura 39.

Figura 39

Muestra del ensayo triaxial suelo de la microcuenca Urcuahuaycu.



A continuación, en la Tabla 30, se enseñan los resultados del ensayo triaxial de suelo no confinado no drenado (UU), para suelos cohesivos, además se pueden observar los círculos de Mohr en la Figura 40 y parte del proceso del ensayo, los datos del ensayo completo se encuentran en el Anexo 2.

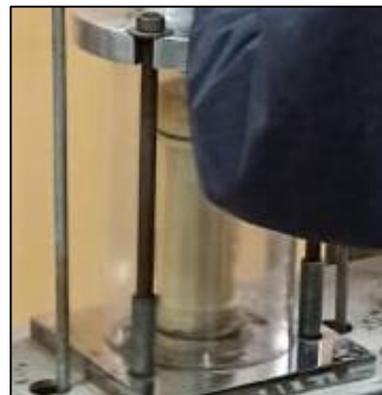
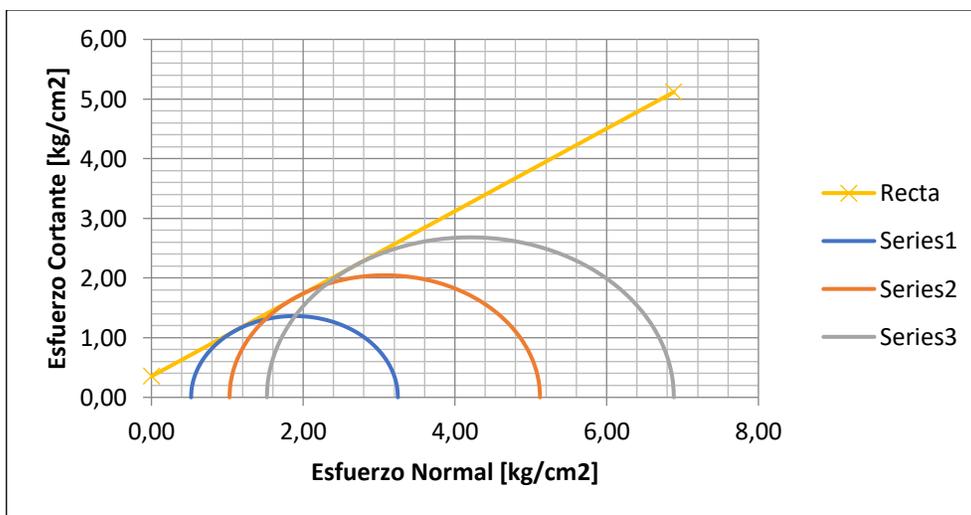
Tabla 30

Resultado del ensayo triaxial (UU) del suelo de la microcuenca Urcuahuaycu.

Muestra	P003
Ángulo de fricción	34,69°
Cohesión (kg/cm ²)	0,35
Compresión no confinada (kg/cm ²)	1,36

Figura 40

Círculos de Mohr, ensayo triaxial suelo de la microcuenca Urcuwaycu.



En la Tabla 30 se observan los resultados del ángulo de fricción con un valor de $34,69^\circ$ y una cohesión de $0,35 \text{ kg/cm}^2$, en base a investigaciones realizadas al tipo de suelo cangahua nos menciona que los valores de cohesión fluctúan entre $0,5$ a $1,5 \text{ kg/cm}^2$ y el ángulo de fricción presenta valores entre 23° a 32° (León, 2017). Comparando con los resultados obtenidos de nuestra zona de estudio, podemos afirmar que las características geomecánicas del suelo son de tipo cangahua.

Ensayo de permeabilidad in situ

En la siguiente Tabla 31, se muestran los resultados de la permeabilidad que existe en el suelo tipo cangahua de la microcuenca Urcuwaycu (Figura 41), se tomó tres mediciones por cada punto de muestreo como se puede ver en la Figura 37 y se sacó el promedio.

Figura 41

Permeabilidad del suelo de la microcuenca Urcuwaycu.



Tabla 31

Resultado del ensayo de permeabilidad del suelo de la microcuenca Urcuwaycu.

Muestra	P003	P005	P006	P007
K, primera medición	$2,65 \times 10^{-6}$	$2,11 \times 10^{-6}$	$4,68 \times 10^{-6}$	$4,68 \times 10^{-6}$
K, segunda medición	$1,59 \times 10^{-6}$	$2,30 \times 10^{-6}$	$2,80 \times 10^{-6}$	$2,80 \times 10^{-6}$
K, tercera medición	$5,30 \times 10^{-6}$	$2,30 \times 10^{-6}$	$2,24 \times 10^{-6}$	$2,24 \times 10^{-6}$
K Promedio	$3,48 \times 10^{-6}$			

En la Tabla 31 se aprecia el promedio del coeficiente de permeabilidad de las muestras tomadas de la microcuenca Urcuwaycu que tiene un valor de $3,48 \times 10^{-6}$, en base a investigaciones realizadas al tipo de suelo cangahua nos menciona que los valores

del coeficiente de permeabilidad "K" varían entre $1,35 \times 10^{-6}$ y $4,48 \times 10^{-6}$, comparando con los resultados obtenidos de nuestra zona de estudio, podemos verificar que se encuentra dentro de este rango, por lo tanto es un suelo tipo cangahua poco permeable (León, 2017).

Determinación de contenido de materia orgánica

En la Tabla 32, se puede visualizar el cálculo del contenido de la materia orgánica registrada en el suelo tipo cangahua de la microcuenca hidrográfica Urcuahuaycu, los puntos de muestreo se visualizan en la Figura 37, en ensayo se puede observar en la Figura 42.

Tabla 32

Contenido de materia orgánica del suelo de la microcuenca Urcuahuaycu.

Muestra	P003	P005	P006	P007
Peso crisol (g)	99,33	145,76	150,13	160,28
Crisol + muestra (g)	104,33	150,78	150,13	160,28
Crisol + muestra calcinada (g)	104,02	150,52	154,89	164,96
Porcentaje (%)	0,3	0,17	0,2	0,1
Porcentaje promedio (%)			0,2	

Se puede observar en la Tabla 32 que el porcentaje promedio de materia orgánica es 0,2 %, que evidencia la poca cantidad que se encuentra en los suelos tipo cangahua, debido a su estructura.

Figura 42

Ensayo de calcinación del suelo de la microcuenca Urcuhuaycu.

***Ensayo de granulometría***

Para este ensayo se siguió el procedimiento de granulometría por lavado y por sedimentación (Figura 43), para tener una curva característica completa, a continuación, en la Tabla 33 se observan los porcentajes de agregados finos y grueso, en el Anexo 5 se puede observar el ensayo de granulometría con los datos completos.

Figura 43

Granulometría por sedimentación del suelo de la microcuenca Urcuhuaycu.

**Tabla 33**

Porcentaje del suelo de la microcuenca Urcuhuaycu.

Muestra	P003	P005	P006	P007
Agregados	%	%	%	%
Grava	4	15	13	4
Arena	73	67	69	78
Limo	13	7	5	7
Arcilla	10	11	13	11

Los porcentajes evidenciados en la Tabla 33 señalan que el tipo de suelo en la zona de estudio de la microcuenca Urcuhuaycu es un “Franco Arenoso” siendo este un suelo abundante en arena, pero también cuenta con limo y arcilla, lo cual le da más cohesión entre partículas. La cangahua está conformada aproximadamente por un 10% de arena gruesa, 35% arena media, 30% arena fina y 25% restante de limos y arcillas, clasificándola como una arena limosa SM (León, 2017).

Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE)

En la Tabla 34 se observa el resumen de la ecuación de pérdida de suelo, y el factor de erosión de suelos (A) de la microcuenca Urcuwaycu.

Tabla 34

Valores de parámetros de la ecuación universal de pérdida de suelo USLE.

Factor	Símbolo	Valor	Unidad	Categoría	Fórmula
Erosividad de las lluvias	<i>R</i>	115,600	t/ha/año	Moderado	18
Erodabilidad del suelo	<i>K</i>	0,275	MJ/ha*mm/hr	Bajo	19
Topográfico (Longitud y Pendiente)	<i>LS</i>	2,817	t/ha. MJ*ha/mm*hr	Ondulado a Plano	-
Cobertura vegetal	<i>C</i>	0,030	adimensional	Arbolado forestal claro	-
Conservación de suelos	<i>P</i>	1,000	adimensional	No se realizan prácticas	-
<i>Erosión de los suelos</i>	<i>A</i>	2,687	t/ha/año	Ligera	-

El valor calculado del factor de erosividad de las lluvias R fue de 115,60, el cálculo de este valor puede observarse en la Tabla 35:

Tabla 35

Valores de parámetros de la ecuación universal de pérdida de suelo USLE.

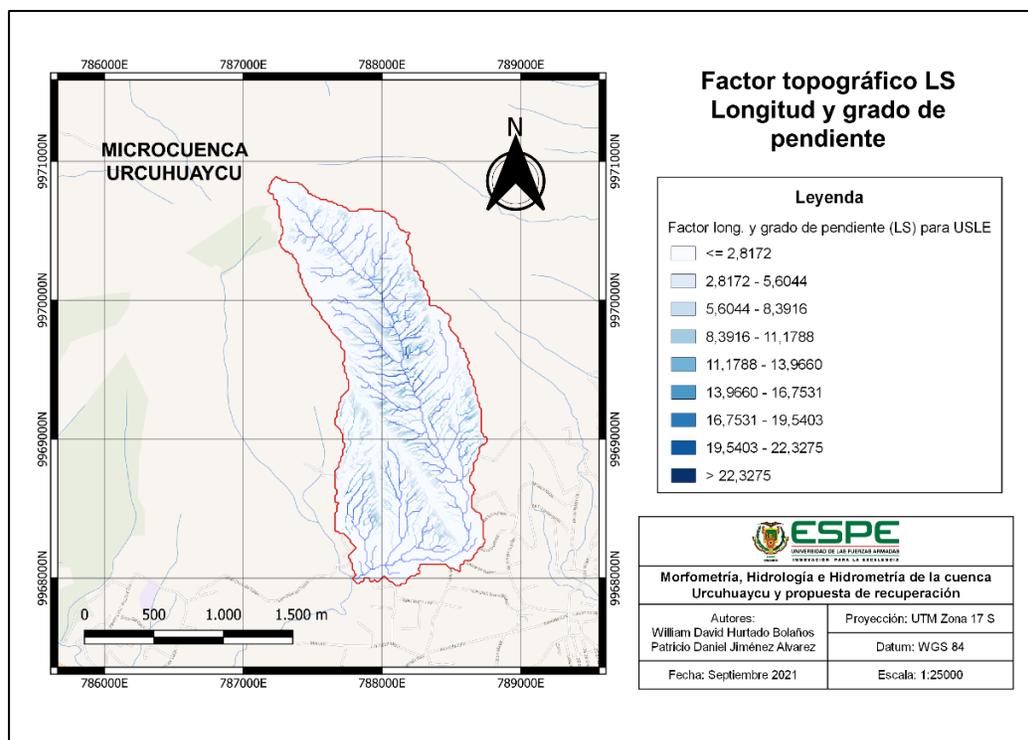
PROMEDIO DE PP MENSUALES Unidad de precipitación = (mm)													
Estación	Promedio Precipitaciones Mensuales												PP Anual
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
IASA	128,57	147,81	184,69	145,42	95,43	40,14	26,77	28,83	41,69	147,34	155,92	165,72	1308,32
Tumbaco	63,98	76,17	122,34	109,43	63,69	28,24	15,03	20,58	35,18	76,46	68,31	60,81	740,22
Los Chillos	137,42	107,44	165,17	184,43	107,76	41,86	18,54	24,05	64,00	155,44	127,58	102,63	1236,32
CÁLCULO FACTOR R POR MÉTODO DE FORNIER = (mm)													
Estación	Cálculo IMF												Factor R
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
IASA	12,64	16,70	26,07	16,16	6,96	1,23	0,55	0,64	1,33	16,59	18,58	20,99	138,44
Tumbaco	5,53	7,84	20,22	16,18	5,48	1,08	0,30	0,57	1,67	7,90	6,30	5,00	78,07
Los Chillos	15,27	9,34	22,07	27,51	9,39	1,42	0,28	0,47	3,31	19,54	13,17	8,52	130,29

El factor K de erodabilidad de suelos se calculó en base al nomograma de la Figura 23, con los datos de los ensayos de caracterización de suelos, como valor promedio entre las cuatro muestras de suelo el resultado fue de 0,275 MJ/ha*mm/hr lo que categoriza a este factor como bajo en erodabilidad según la Tabla 12, el cálculo completo del nomograma se encuentra en el Anexo 6.

El factor LS también llamado factor topográfico de longitud y pendiente se determinó con el software QGIS y dio un valor de 2,817 t/ha. MJ*ha/mm*hr como se aprecia en la Figura 44, y se la clasificó según la Tabla 13 como “ondulado a plano”.

Figura 44

Factor topográfico LS longitud y grado de pendiente.



El factor C de cobertura vegetal se calculó en base a la Tabla 14, se la determinó debido a la zona de estudio como arbolado forestal claro, esto se visualizó en las múltiples visitas de campo a la cuenca Urcuwaycu por lo tanto su valor se tomó de 0,30.

El factor P de prácticas de conservación, se calculó en función de las visitas técnicas a la microcuenca Urcuwaycu, se escogió un valor de 1 ya que no hay prácticas de conservación en la zona.

Una vez terminados los cálculos de todos los factores de la ecuación de pérdida de suelo universal (USLE), se encontró el factor A, también llamado factor de erosión de suelos, cuyo valor es de 2,687 t/ha/año lo cual indicó una categoría ligera de erosión de suelo, este valor se comparó con la investigación de pérdida de suelo llamada "Dynamic model and geospatial study for soil loss in the ancestral community of La Toglla" por

(Vinicio Carrera Villacrés et al., 2020), en la cual se evidencia que los resultados de pérdida de suelo mediante una modelación dinámica en la comunidad la Toglla, perteneciente a la zona del Ilaló es de 2 t/ha/año, lo que comprueba nuestro cálculo realizado.

Método de restauración hidrológica

Estudios definitivos de la alternativa

En base a los estudios de prefactibilidad y factibilidad se escogió la alternativa del Dique, por lo tanto, se procedió a realizar los estudios definitivos del mismo.

Selección del lugar de construcción y levantamiento del perfil transversal

El reconocimiento del lugar se llevó a cabo en compañía del Arq. Jaime Diego Chungandro Gualli y su hermano Ángel Clemente Chungandro Gualli (Figura 45), debido a que el lugar de construcción sería en su propiedad, en la Figura 46 se observa el sitio de construcción elegido, este lugar presentó las condiciones adecuadas al ser su ubicación en la parte alta de la cuenca y mostrar un perfil transversal regular.

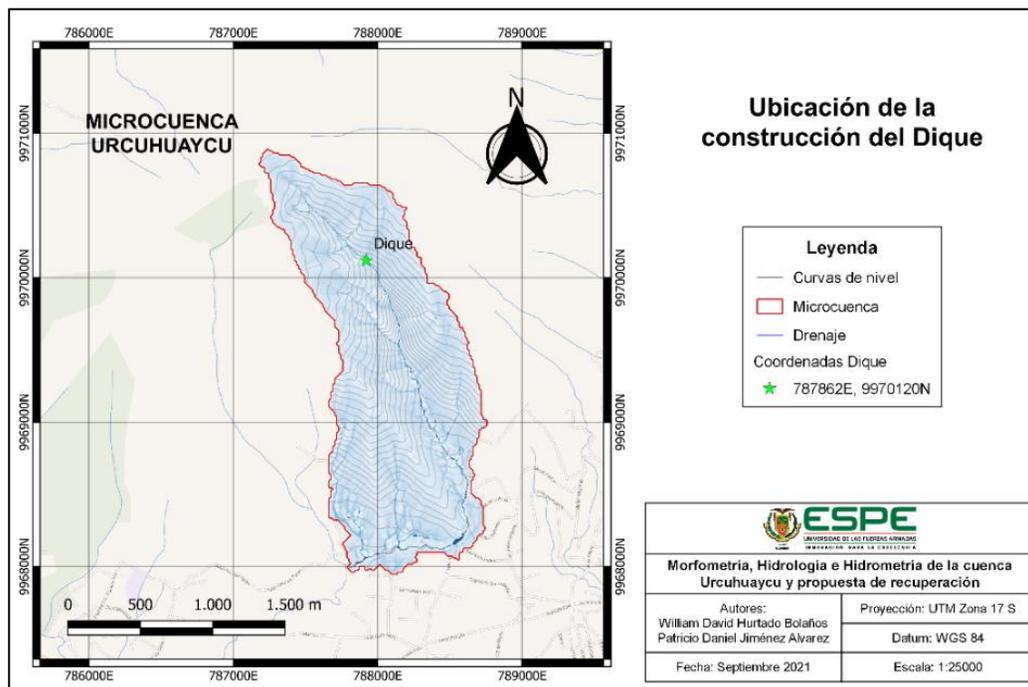
Figura 45

Reconocimiento del lugar de la obra.



Figura 46

Ubicación de la construcción del dique.



Una vez en la propiedad, se recorrió río arriba hasta encontrar el lugar óptimo de construcción que presente unas laderas pronunciadas para un buen anclaje del dique como se indica en la Figura 47.

Figura 47

Selección del lugar de anclaje del dique.



Se levantó la sección transversal del cauce, con la ayuda de clavos, piola, nivel y flexómetro, para poder diseñar el dique de acuerdo a las dimensiones de la cárcava, como se muestra a continuación en la Figura 48.

Figura 48

Levantamiento perfil transversal del cauce.



Diseño del dique

Una vez obtenido el perfil transversal y sus dimensiones, se diseñó en base a los procesos constructivos (SEMARNAT, 2004) explicados en la fase de prefactibilidad del dique, dando los siguientes resultados que se aprecia en las Figuras 49, 50 y 51.

Figura 49

Diseño del dique, vista frontal – aguas arriba.

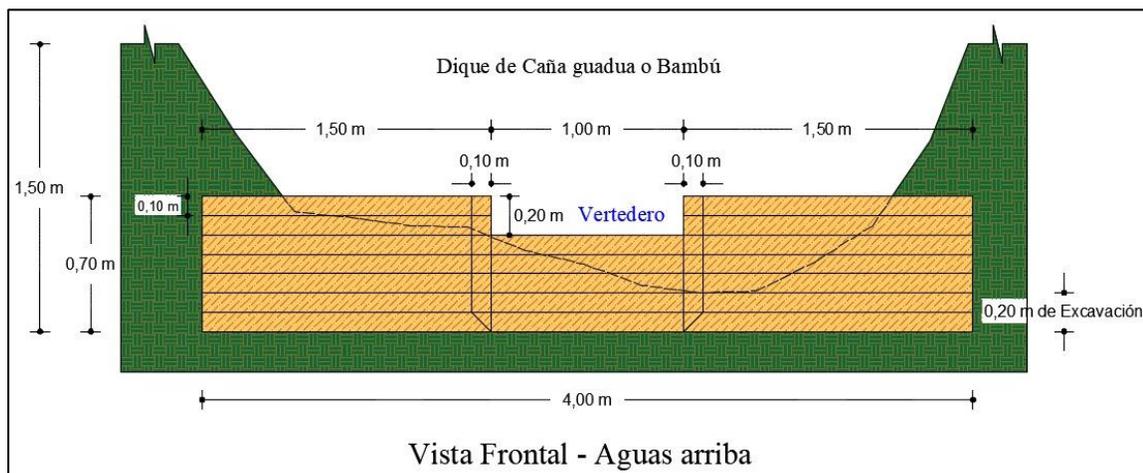


Figura 50

Diseño del dique, vista frontal – aguas arriba.

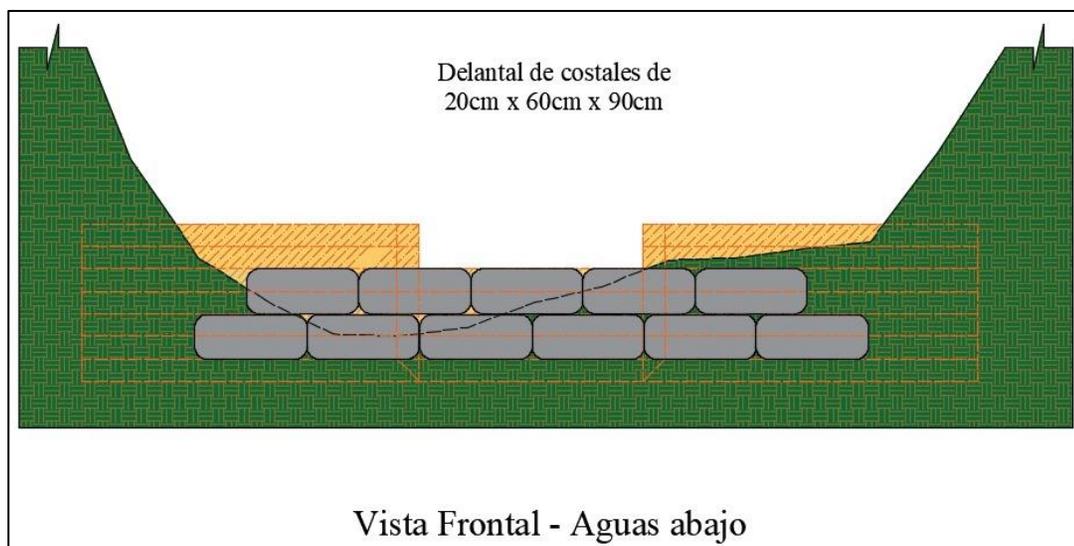
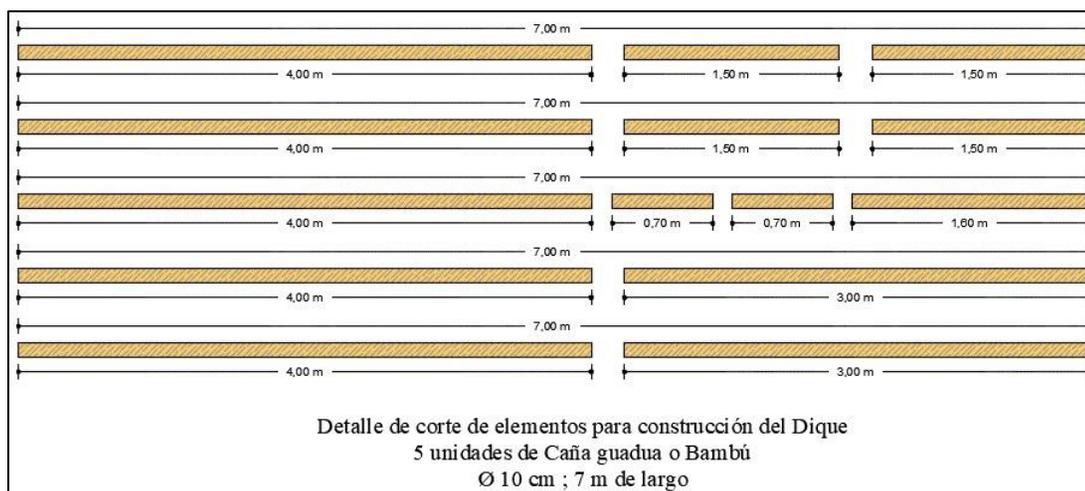


Figura 51

Detalle de corte de elementos para la construcción del dique.



Cálculo de resistencia para el diseño del dique

Se realizó un cálculo aproximado de la resistencia estructural del diseño del dique, se evaluó su comportamiento como una viga apoya – apoyada, el procedimiento de cálculo se tomó en base a la investigación “Nuevo elemento para controlar la erosión” de (Tardío Cerrillo, 2008), por su diseño geométrico el dique funcionará a una carga de flexión aplicada por el agua acumulada en su pared aguas arriba, al estar apoyado en las paredes del cauce a una profundidad de 20 cm a cada lado, además estar conformado también con un apoyo de costales de terrocemento aguas abajo, no hay riesgo de volcamiento, los datos para la resistencia a flexión fueron extraídos de la NEC-SE-GUADUA (NEC-SE-GUADÚA, 2016), a continuación se resume el procedimiento de cálculo:

- **Geometría de las cañas guaduas**

$$\phi = 0,10 \text{ cm}$$

$$L = 4,0 \text{ m}$$

- **Cálculo de la resistencia del dique de caña guadua**

$$k_{mod} = 0,7$$

$$g_m = 1,3$$

$$X_k = 15 \text{ MPa} = 152 \text{ kg/cm}^2$$

$$X_d = \frac{\text{Coeficiente de factor de modificación} * \text{Resistencia flexión caña guadua}}{\text{Coeficiente de seguridad}}$$

$$X_d = \frac{0,7 * 1520 \text{ t/m}^2}{1,3}$$

$$X_d = 818,46 \text{ t/m}^2$$

- **Cálculo de presión de agua**

$$F_t = \frac{\text{Peso específico del agua más sedimentos} * \text{altura} * \text{área}}{2}$$

$$F_t = \frac{1,2 * 1000 \frac{kg}{m^3} * (0,6 m) * (0,6 m * 4,0 m)}{2}$$

$$F_t = 864 kg$$

$$P_t = \frac{F_t}{A}$$

$$P_t = \frac{864 kg}{0,6 m * 4,0 m}$$

$$P_t = 360 kg/m^2$$

$$P_t = 0,36 t/m^2$$

- **Por lo tanto:**

$$X_d = 818,46 \frac{t}{m^2} > P_t = 0,36 \frac{t}{m^2}$$

Como se puede observar en el procedimiento, el dique construido podrá soportar la carga de presión de agua más sedimentos incluso cuando trabaje en su totalidad, al momento de este cálculo el agua acumulada se mantiene en los 50 cm de altura, y sus sedimentos mantienen una altura de 15 cm.

Construcción del Dique

Basados en los diseños se procedió a la compra de los materiales a utilizar en el proceso constructivo, como se indica en la Figura 52, se llevó en camioneta hasta el lugar de trabajo los materiales y herramientas.

Figura 52

Compra de la caña guadua.



Una vez en el punto de construcción del dique, se excavó la zanja con una profundidad de 20 cm, tanto en el fondo como en las laderas del cauce, como se indica en la Figura 53.

Figura 53

Excavación de la zanja.



Posteriormente, como se indica en la Figura 54, se cortó las cañas guaduas en base a las medidas del esquema de la Figura 51.

Figura 54

Preparación de las cañas.



Una vez excavada la zanja y cortadas las cañas guaduas, se emplazó el dique de acuerdo a los esquemas de las Figuras 49 y 50, asegurando en las laderas un anclaje adecuado con el suelo de la zona, como se indica en la Figura 55, adicionalmente se amarró con alambre galvanizado las cañas de sentido longitudinal con las de sentido transversal, como se aprecia en la Figura 56.

Figura 55

Anclaje de las cañas guaduas a las laderas del cauce.

**Figura 56**

Juntas amarradas con alambre galvanizado.



A continuación, se rellenó los costales con terrocemento, proporción 5:1 (tierra - cemento), los cuales se ubicaron aguas abajo, ya que conformaron el delantal del dique como se indica en la Figura 57.

Figura 57

Relleno y ubicación de costales.



El resultado final de la construcción del dique se aprecia en la Figura 58. Adicionalmente se evidenció inmediatamente el funcionamiento del dique, como se aprecia en la Figura 59.

Figura 58

Vista de la construcción del dique aguas abajo.



Figura 59

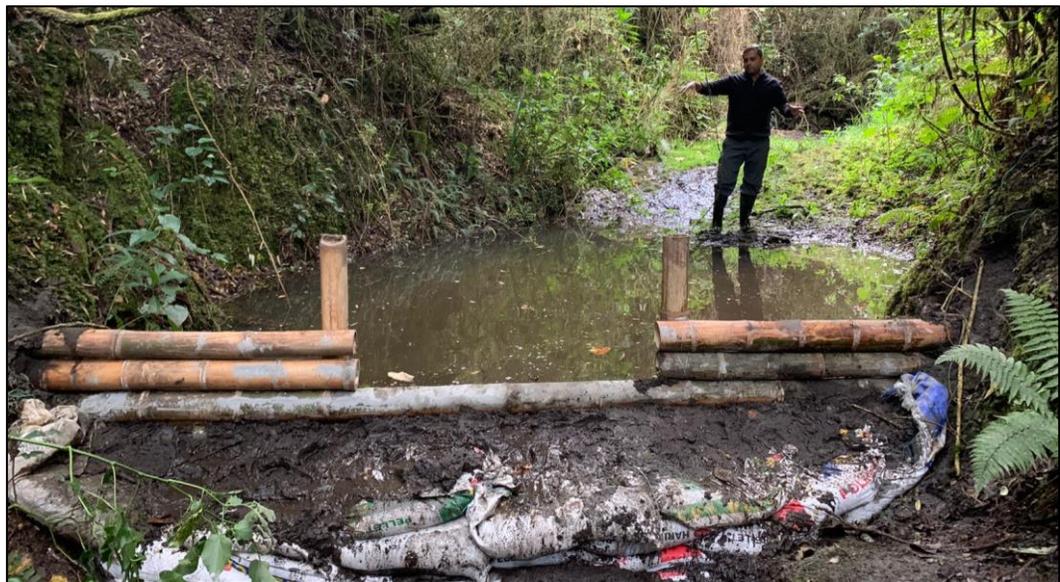
Vista de la construcción del dique aguas arriba.



En los días posteriores a la construcción se pudo observar el correcto funcionamiento del dique, esto se indica en la Figura 60.

Figura 60

Dique, microcuenca Urcuhuaycu.



Presupuesto referencial

A continuación, en la Tabla 36, se presenta el presupuesto referencial de los materiales utilizados para la construcción del dique, hay que recalcar que las características de los materiales pueden variar y también su costo.

Tabla 36

Presupuesto referencial dique de la microcuenca Urcuwaycu.

CÓDIGO	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	PRECIO SIN IVA	PRECIO IVA 12%	PRECIO TOTAL
CAÑA GUADÚA							
1	Cañas guadúas 7 metros	u	5,00	\$4,00	\$20,00		\$20,00
SUBTOTAL							\$20,00
DELANTAL DE COSTALES Y MATERIALES VARIOS							
2	Cemento Holcim 50 KG	saco	1,00	\$6,83	\$6,83	\$0,82	\$7,65
3	Costales	u	24,00	\$0,15	\$3,60	\$0,43	\$4,03
4	Alambre galvanizado 14	Kg	4,00	\$1,00	\$4,00	\$0,48	\$4,48
SUBTOTAL							\$16,16
TRANSPORTE Y MANO DE OBRA							
5	Obra civil	diario	1,00	\$60,00			\$60,00
6	Transporte de cañas	viaje	1,00	\$10,00			\$10,00
7	Diseño del Dique	diario	1,00	\$90,00			\$90,00
SUBTOTAL							\$160,00
TOTAL							\$196,16

Socialización de propuesta de recuperación

Con el fin de socializar los estudios y resultados que se llevó a cabo, tuvimos una entrevista por parte de Marcelo Aizaga y Eliana Estrella de la Coordinadora de Medios Comunitarios Populares y Educativos del Ecuador – CORAPE, realizado en la Granja Urkuwayku, propiedad de Stephen Sherwood, (Figura 61), la cual fue transmitida por “Minga por la Pachamama”, (12 de agosto de 2021). 📝 #Cosecha De Agua y #Riego Por Goteo [Archivo de video], YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=yBUn5Gb-zSo>.

Figura 61

Entrevista por parte del grupo Minga por la Pachamama



Adicionalmente, se realizó la difusión de la construcción del dique por medio de la Ing. Cinthya Peñaherrera, Directora de la Corporación Red Ambiental, a través de la página “Red Ambiental”, <https://redambientalecuador.org/index.html> , la cual estuvo el día de la construcción grabando los procesos constructivos (Figura 62).

Figura 62

Entrevista realizada por parte de la Corporación Red Ambiental



Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se delimitó la microcuenca Urcuwaycu, con el modelo digital de elevación en el software QGIS 3.18.3 y sus complementos GRASS GIS 7.8.5 y SAGA GIS 2.3.2, se generó mapas de ubicación y de resultados, se identificó los parámetros morfométricos e hidrométricos, que permitió caracterizar la forma en base a su topografía y su comportamiento hidráulico.

Los parámetros de relieve de la microcuenca clasificaron a la misma como una pendiente moderadamente empinada con un cauce principal de pendiente moderada. La curva hipsométrica al encontrarse en una etapa intermedia, caracterizó al cauce como un río maduro, debido a su estado de equilibrio.

Los parámetros de la red hídrica de la microcuenca determinaron que es una cuenca bien drenada con un medio grado de bifurcación, presentando una alta tendencia a la erosión y escorrentía, debido la forma alargada que tiene la microcuenca.

Los parámetros hidrológicos de la microcuenca Urcuwaycu, en base a las estaciones meteorológicas Tumbaco - M5040, Los Chillos – M5041 y la del Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA) desde el año 2004 a 2019, reflejaron 3 métodos de cálculo donde se obtuvo la precipitación media anual, el método aritmético, polígonos de Thiessen y el de Isoyetas, siendo este último el método de mayor precisión para la base de datos.

La calidad de agua de la microcuenca Urcuwaycu, evidenciaron un cumplimiento respecto a los límites máximos permisibles de las normas del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) (TULSMA, 2011) y la

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 (INEN, 2014), sin embargo, no es recomendable beber el agua, debido a las malas condiciones que deja ganado de la zona en el cauce.

Los estudios de la caracterización del suelo en base a los resultados de cohesión, ángulo de fricción, contenido de materia orgánica, permeabilidad y granulometría, afirmaron que las características geomecánicas del suelo son de tipo cangahua, poco permeable, con una estructura “franco arenosa”.

El factor de erosión basado en la ecuación de pérdida de suelo universal (USLE), indicó una categoría ligera de erosión de suelo, en el cual se comparó el resultado obtenido con los estudios realizados en la comunidad la Toglla, perteneciente a la zona del Ilaló, evidenciando la similitud del mismo aprobando la fidelidad de este método.

La construcción del dique reflejó un funcionamiento óptimo esperado, ya que la estructura permitió disminuir la velocidad del agua, evitando erosiones hídricas en el cauce, siendo favorable para futuras épocas de lluvias, y a su vez con la retención de agua ayuda a la revegetación de las laderas, además de que se podrá cosechar agua para los tiempos de sequía.

Finalmente, la socialización se llevó a cabo en medios virtuales por medio de entrevistas, fotografías y videos, con el fin de llegar a la conciencia de la comunidad en lo que respecta la recuperación de una cuenca hidrográfica, motivando a replicar el plan piloto propuesto de recuperación.

Recomendaciones

Se recomienda realizar el cálculo de los parámetros morfométricos, hidrológicos e hidrométricos de la microcuenca Urcuwaycu aplicando distintas metodologías para corroborar los resultados obtenidos dentro del área de estudio.

Instalar una estación meteorológica convencional en la zona del Ilaló para registrar diversas variables climáticas, enfocarse más en la toma de decisiones y demostrar la importancia del área de estudio que es la fuente de agua para La comuna San Francisco de Baños, el barrio Guangual y en general la parroquia la Merced.

Procurar para futuros análisis de variables meteorológicas la toma de datos de al menos 30 años, y de una mayor cantidad de estaciones, con el fin de comprender de mejor manera el comportamiento hidrológico en diferentes épocas del año.

Proteger el cauce de la microcuenca Urcuwaycu, con la ayuda de cerramientos, construcción de puentes peatonales y bebederos adecuados para el ganado, para poder mantener una calidad de agua óptima y la protección de la zona.

Se recomienda realizar un mantenimiento periódico para la obra de recuperación de la microcuenca Urcuwaycu, al menos una vez al año, verificando la altura de los sedimentos para no comprometer el funcionamiento de la estructura.

Replicar la construcción del dique en la microcuenca Urcuwaycu y en las demás quebradas del volcán Ilaló, ya que es una propuesta piloto viable económica, técnica y ambientalmente para la recuperación de las mismas.

Bibliografía

- Adolfo González, G., Jara, V., Jiménez, K., Alejandro Valencia, L., & Varela, A. (2016). *Análisis y comparación de metodologías de aforo de caudal en la microcuenca del Río San Lorencito, Costa Rica.*
- Aguirre, M. A., López Ibarra, L. I., Bolaños Trochez, F. V., & González Guevara, D. F. (2017). Perception of landscape, water and ecosystems in the watershed of the Dagua river, Valle del Cauca, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 22(1), 109–126. <https://doi.org/10.19053/01233769.5402>
- Albarracín, F. S., Alvarenga, F., Sanclemente, E., & Pauluzck, A. (2020). Vista de Aspectos morfológicos de la cuenca del arroyo Nagel (Misiones, Argentina). *Ingenio: Revista de Ciencia Tecnología e Innovación*, 2, 9. <https://revistas.fio.unam.edu.ar/index.php/masingenio/article/view/193/548>
- Alcántara, M. (2015). *Caracterización Hidromorfométrica de la Microcuenca Puyllucana - Baños del Inca - Cajamarca, mediante la aplicación de ARCGIS.* Universidad Nacional de Cajamarca.
- Alvarado, D. (2020). *ESTIMACIÓN DEL BALANCE HIDRICO DE LA CUENCA DEL RIO MILAGRO MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA.* <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ALVARADO MOLINA DAVID LEONARDO.pdf>
- Alvarado E. (2017). Manual de Medición de Caudales. In *Instituto Privado de Investigacion sobre cambio climatico.* <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medición-de-caudales-ICC.pdf>
- Ambiente, S. (2013). *Una acción conjunta para recuperar el Ilaló* (p. 34).
- Aragón Hernández, J. L., Aguilar Martínez, G. A., Velázquez Ríos, U., Jiménez Magaña,

- M. R., & Maya Franco, A. (2019). Spatial distribution of hydrological variables. Implementation and evaluation of interpolation methods. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(2), 1–15. <https://doi.org/10.22201/FI.25940732E.2019.20N2.023>
- Asfaw, D., & Workineh, G. (2019). Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(2), 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.02.003>
- ASTM 2434-68. (2006). *Permeabilidad Norma INV-E- 1*.
- ASTM D 2850. (1996). *ASTM: Designación D 2850 MÉTODO ESTANDAR DE PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL EN SUELOS COHESIVOS NO CONSOLIDADOS NO DRENADOS*. 1–10. <https://toaz.info/doc-viewer>
- ASTM D422-63. (2007). *ASTM D422 Standard Test Method for Particle*. <https://www.astm.org/Standards/D422>
- Baldeon Jara, L. C. (2016). *Modelamiento hidrológico de la sub cuenca del Rio Achamayo*.
- Braz, A. M., Garcia, P. H. M., Pinto, A. L., Chávez, E. S., & Oliveira, I. J. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra - Dialnet. *Dialnet*, 29, 69–85. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7218214>
- Buchar, A., Henández, D., López, C., & Robles, E. (2018). *ESTRATEGIA PARA LA RECUPERACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO SEVILLA ENTRE LAS ABSCISAS K7+951.94 Y K17+086.63 (DESDE LA C.G.S.M), COMO APORTE AL*

RESTABLECIMIENTO DE LA DINÁMICA HIDROLÓGICA DE LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA. <https://core.ac.uk/download/pdf/158274997.pdf>

Cáceres, M., & Castillo, J. (2018). "EVALUACION HIDROLOGICA E HIDRAULICA EN EL RIO GRANDE DE MATAGALPA, EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL PUENTE PEATONAL DE LA UNAN Y EL BARRIO LUCIA MANTILLA, CIUDAD DE MATAGALPA."

Camacho, J. (2019). Introducción. *Miedo Negro, Poder Blanco En La Cuba Colonial*, 17(1), 13–28. <https://doi.org/10.31819/9783954878284-001>

Camino, M., Del Río, J., Cionchi, J., & De Marco, S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 19. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3832/383257036005/383257036005.pdf>

Cañibano, A., Sastre, P., & D'Andrea, R. E. (2016). Área y perímetro para la caracterización de formas. <http://revistasuma.es/>

Cárdenas Gamboa, M. C., Santillán Quiroga, L. M., Brito Mancero, M. Y., Orejuela Romero, J. A., & Rosero Erazo, C. R. (2018). BASELINE MODELING OF THE TEMPORARY DISTRIBUTION OF A HEAVY RAINFALL EVENT OCCURRED ON A SOIL AREA IN THE QUEBRADA DE CUNDUANA, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCE OF CHIMBORAZO. *Caribeña de Ciencias Sociales*, noviembre.

Carrascal Dominguez, R. (2019). *III Congreso forestal de la CV: Gestión de incendios forestales en el ... - AAVV - Google Books*. https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=lang_en&id=li6WDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA29&dq=construcción+de+fajinas&ots=9Xz6xaPKIx&sig=ZV6Lwzf9t32l8aTfy

__nAwBDSCI&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Carrera-Villacrés, D. V., Guevara-García, P. V., Tamayo-Bacacela, L. C., Balarezo-Aguilar, A. L., Narváez-Rivera, C. A., & Morocho-López, D. R. (2016). Filling series annual meteorological data by statistical methods in the coastal zone from Ecuador and Andes, and calculation of rainfall. *Idesia (Arica)*, 34(3), 81–90. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000300010>

Castillo Ruales, A. (2020). Rainfall thresholds based on intensity for flash floods in the Manizales River, Colombia. *Revista EIA*, 17(33), 27–42. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i33.1302>

Clavijo, L., & Pérez, C. (2016). *CÁLCULO DEL CAUDAL DE CRECIENTE EN LA QUEBRADA CANOAS HASTA SU DESEMBOCADURA EN LA QUEBRADA TAPIAS, MUNICIPIO DE CUITIVA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ*. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4957/PérezVarónCristianCamilo2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Contreras, W., Galban, M. G., & Sepúlveda, S. B. (2018). Statistical analysis of solar radiation in the city of Cúcuta. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(23), 16. <https://doi.org/10.31908/19098367.3698>

Cruz Romero, B., Gaspari, F., Rodríguez Vagaría, A., Carrillo González, F., & Téllez-López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia*, 23(64), 26–34.

Delgado, M. I. (2018). Soil loss as a result of the interactions between natural landscape attributes and human activities in Ventania, Argentina. *Ecología Austral*, 028(01), 074–080.

https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/ecologiaaustral/document/ecologiaaustral_v028_n01_p074

Demetrio, M. (2006). *CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA AYUQUILA-ARMERÍA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.*

https://www.researchgate.net/publication/305808562_CHARACTERIZACION_HIDROGRAFICA_DE_LA_CUENCA_AYUQUILA-ARMERIA_MEDIANTE_LA_APLICACION_DE_UN_SISTEMA_DE_INFORMACION_GEOGRAFICA

Dunán-Ávila, P. L., Riverón-Zaldívar, A. B., Fernández-Rodríguez, M., Fuentes-Londres, Y., & Marrero-Doimeadios, L. (2020). Evaluación de los procesos erosivos, la materia sedimentable y el caudal en la cuenca del río Yamanigüey. *Ciencia & Futuro*, 10(2), 19–37. http://200.14.55.89/index.php/revista_estudiantil/article/view/1923

Duque-Sarango, P., Cajamarca-Rivadeneira, R., Wemple, B. C., & Delgado-Fernández, M. E. (2019). Estimation of the water balance of for a small tropical andean catchment [Estimación Del Balance Hídrico De Una Cuenca Andina Tropical]. *Granja*, 29(1), 56–69. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85063745116&doi=10.17163%2Figr.n29.2019.05&partnerID=40&md5=f8ae73d0afa5c39a620d8492ac313e84>

Edgar Uribe. (2019). (PDF) Mapa Nacional de Erosión Potencial. *Tecnología y Ciencias Del Agua*. https://www.researchgate.net/publication/317442120_Mapa_Nacional_de_Erosion_Potencial

- EscobarTobón, M., Valdés Quintero, J. C., & Marín Arroyave, L. M. (2020). Caracterización geomorfológica de la cuenca del Río Negro utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). *Formalization of Domain Problems Described in the Cause-and-Effect Diagram in the Context of the Software Development Process*. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1108>
- Falls, Z. (2018). *ANÁLISIS DEL CAMBIO EN LA COBERTURA Y EROSIÓN DEL SUELO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DE LAGUNA DE TÉRMINOS, CAMPECHE*. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/26230/1/perezfa1.pdf>
- Fattahi, M. H., & Talebzadeh, Z. (2017). *The Relationship Between Watershed Compactness Coefficient and the Fractal Characteristics M.H.* 13(1).
- García, J., & Ollero, A. (2011). Clasificación geomorfológica de cursos fluviales a partir de sistemas de información geográfica (S.I.G.) . *Dialnet*, 373–396. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3722514>
- Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra María, G. E., Delgado, I., & Besteiro, S. I. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas Libros de Cátedra*. www.editorial.unlp.edu.ar
- Gaspari, J. F., Rodríguez M Alfonso, & Denegri Gerardo. (2012). Morphometric characterization of the upper watershed of the Sauce Grande river, Buenos Aires, Argentina. *Revistas.Unip.Edu.Ar*. <https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/6041/Gaspari - Caracterización morfométrica de la.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Geográfica De Lima, S. (2011). *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. <https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp->

sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf

Geraldi, A. M., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2010). Delimitación y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. *Investigaciones Geográficas*, 52, 215. <https://doi.org/10.14198/INGEO2010.52.08>

Gomez, E. (2012). Manual para la realización de albarradas y fajinas para el control de la erosión en zonas forestales afectadas por el incendio de Hellín (Albacete) de 2012. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 89–112. https://www.researchgate.net/publication/322077688_Manual_para_la_realizacion_de_albarradas_y_fajinas_para_el_control_de_la_erosion_en_zonas_forestales_affected_por_el_incendio_de_Hellin_Albacete_de_2012

Guerra, F., & Gonzales, J. (2002). MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF LA BERMEJA DRAINAGE BASIN, SAN CRISTOBAL, STATE OF TÁCHIRA, VENEZUELA. *Geoenseñanza*, 7, 88–108. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36070208>

Guillermo, C., & Molina, J. (2007). Vista de Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón Parte II: Modelo utilizado en la medición de caudales investigados. *Tecnología En Marcha*, 20–3, 9. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/96/95

Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2011). *Morfología de las cuencas hidrológicas*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/10782>

INEN. (2014). Agua Potable. Requisitos. Nte Inen 1108. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 5, 1–10. <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>

- Intriago Zambrano, P. E., Rodríguez Bravo, M. E., Caicedo Toro, M. D., Espinales Cedeño, F. R., & Cabrera Estupiñán, E. (2021). Hydromorphological study of the ephemeral Maconta Basin in relation to the risk of flash floods. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 8(spe2). <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2597>
- Legarda Burbano, L., & Viveros Zarama, M. (1996). La importancia de la hidrología en el manejo de cuencas hidrográficas. In *Revista de Ciencias Agrícolas* (Vol. 14, Issue 1, pp. 33–51).
- León, A. (2017). *Características geomecánicas de la cangahua*.
- León Acero, G. R. (2018). Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo para estimar la pérdida de suelos ocasionado por la erosión hídrica en la microcuenca del río Punyarure: sector de Shapashmarca -Carhuaz, 2015. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2662>
- Liliana, M., Cruz, L., Daniel, J., Romero, Z., Arcesio, J., & Suarez, O. (2020). *Análisis en el nivel de precipitaciones por medio de la elaboración de los mapas de isohietas y curvas IDF (intensidad, duración, frecuencia) del departamento de Cundinamarca*.
- López, H. E. F., Menes, M. M., Mota, J. L. O., Saens, E. M., & González, R. C. (2003). Integration of the USLE to a GIS to Estimate the Soil Erosion by Water in a Watershed of Tepatitlán, Jalisco, Mexico. *Terra Latinoamericana*, 21(2), 233–244. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57315595010>
- MINAMBIENTE. (2016). *Suelo - IDEAM*. <http://www.siac.gov.co/suelo>

- Mogollón, D., & Sánchez, E. (2018). *Análisis de Estabilidad de Cauces en ríos de montaña empleando el método químico*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- NEC-SE-GUADÚA. (2016). Estructuras de guadúa (GaK). *NEC Norma Ecuatoriana de La Construcción*, 94.
- NTE INEN 160. (2015). Ecuatoriana Nte Inen 160. In *Annual book of INEN* (p. 67).
- ONU. (2015). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible – Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Orejuela, I. F. P., Huera, D. P. U., & Villacrés, D. V. C. (2018). Identificación de Cangahuas para su recuperación mediante estudio multicriterio y constatación in situ en comunas del volcán Ilaló. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 13(1). <https://doi.org/10.24133/cctespe.v13i1.649>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Portal de Suelos de la FAO*. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Palacios, C. R., & Loor, J. R. A. (2021). Hydromorphological study of the La Mona, El Cady Basin and the risk of unforeseen floods. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/DILEMAS.V8I.2598>
- Palacios Orejuela, I., Ushiña, D., & Carrera Villacrés, D. (2020). GIS TECHNIQUES TO CANGAHUOSOS SOIL RECOVERY, FOR COMMUNITY AGRICULTURE PURPOSES IN THE ILALÓ. *Argentina*, 38(2), 295–309.
- Palmett-Plata, O. (2019). Bioengineering materials and techniques. *Journal of Physics: Conference Series*, 1257(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1257/1/012005>

Parra Rodríguez, L. K., & Montealegre M, H. (2020). Design of conservation, improvement and use of water resources strategies in the area of influence of the municipalities of Girardot, Nariño, Guataquí, Jerusalén and Tocaima located in the south sector of watershed Rio Seco. *Journal of Business and Entrepreneurial Studie*, 4(1), 1–9. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=573661266019>

Pham, T. G., Degener, J., & Kappas, M. (2018). Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>

Piuma, J., & Rattin, P. (2018). Medición De Caudales En Canales De Aforo Mediante Sistema Telemétrico. *2018 IEEE 9th Power, Instrumentation and Measurement Meeting, EPIM 2018*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/EPIM.2018.8756394>

POMCA. (2014). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica*. https://cortolima.gov.co/sites/default/files/POMCAS/2020/POMCA_RECIO_VENADILLO/3_5_Morfometria.pdf

Quiroz, L., Izquierdo, E., & Menéndez, C. (2017). Application of the water quality index in the Portoviejo River, Ecuador. *SciELO*, 38. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382017000300004&script=sci_arttext&tlng=pt

Rabanal Silva, D. J. (2018). Zonificación de áreas inundables del barrio La Breña ocasionado por avenidas extraordinarias del río Grande de Celendín - Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2031>

Ramírez-Granados, P., Alfaro-Jiménez, K., Álvarez-Jiménez, M., Solís-Torres, L. D.,

- Castro Solís, J., Ramírez-Granados, P., Alfaro-Jiménez, K., Álvarez-Jiménez, M., Solís-Torres, L. D., & Castro Solís, J. (2021). Morphometry of the Páez River hydrographic sub-basin, Cartago, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 67, 121–143. <https://doi.org/10.15359/RGAC.67-2.5>
- Reyes Trujillo, A., Ulises Barroso, F., & Carvajal Escobar, Y. (2014). Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas. In *Princeton University Library Catalog*. <https://catalog.princeton.edu/catalog/99103986613506421>
- Rivas Ramírez, D. C., & Moreno Rivas, M. A. (2019). *Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrico de la cuenca del río Metica*. <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/11680>
- Rizo Machado, R., Romero González, L. J., & Zeledón Chavarría, J. J. (2011). *Caracterización biofísica y socioeconómica de la microcuenca La Jabonera, perteneciente a la subcuenca del Río Estelí*.
- Roder, J., & Villavicencio, R. (2006). APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO “USLE” EN SIG PARA ESTIMAR RIESGO POTENCIAL DE EROSIÓN EN EL ÁREA PROTEGIDA “SIERRA DE QUILA.” *Avances En La Investigación Científica En El CUCBA XVII*. http://www.floradejalisco.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances_2006/Agronomia/RoederJan/Roeder_Jan.pdf
- SAA YANEZ, L. M. (2019). *Erosión por cárcavas en olivar: proyecto de restauración de la cuenca del Arroyo Ibros (Ibros, Jaén)*. <http://tauja.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/9818>
- Sánchez, N. (2017). *Cálculo de la precipitación media sobre la península de la guajira*

usando el método thiessen. 12.

<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16671>

Sellers, C., Buján, S., Corbelle, E., & Miranda David. (2017). Morfología interpretativa de alta resolución usando datos LiDAR en la cuenca hidrográfica del río Paute en Ecuador. *Eje 7 Métodos y Análisis Con Tecnologías de La Información Geográfica*, 14. <http://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/87/81>

SEMARNAT. (2004). *Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de Obras y prácticas.*

Senisterra, V., Rodríguez Vagaría, G. E. ;, Gaspari, A. M. ;, Mazzucchelli, F. J. ;, & Gabriela, M. (2014). Morphometric aspects of the mountain region of the stream Napaleofú, Provincia of Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 55(2), 287–303. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347733745004>

Sukristiyanti, S., Maria, R., & Lestiana, H. (2018). Watershed-based Morphometric Analysis: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012028>

Tardío Cerrillo, G. (2008). Nuevo elemento para controlar la erosión. *Congreso Nacional de Medioambiente (CONAMA 9)*.

Tetzlaff, D., Carey, S. K., McNamara, J. P., Laudon, H., & Soulsby, C. (2017). The essential value of long-term experimental data for hydrology and water management. In *Water Resources Research* (Vol. 53, Issue 4, pp. 2598–2604). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/2017WR020838>

TULSMA. (2011). Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso

Agua. In *Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente* (pp. 8–9).

TULSMA LIBRO VI. (2015). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS*.
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112181.pdf>

UPEGUI, J. J. V., & GUTIÉRREZ, A. B. (2011). ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES. *DYNA*, 78(165), 58–71.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640>

Valdebenito, G., Hormazábal, M., & Álvarez, A. (2020). *Obras de recuperación y conservación de suelo*.

Vallejo Aristizábal, M. F. (2019). Albarradas. *Revista de Ciências Sociais: RCS, ISSN-e 2318-4620, Vol. 50, Nº. 3, 2019 (Ejemplar Dedicado a: Novos Sujeitos, Novos Direitos e Cidadania: Pluralismos e Perspectivas Do Sul)*, Págs. 223-247, 50(3), 223–247.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7167792&info=resumen&idioma=SPA>

Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., Ortiz, L., & Arellano, M. (2019). Cuencas Hidrográficas. *Publicación Arbitrada de La Universidad Politécnica Salesiana*, 1, 136.

Vega, X. (2020). Different solutions for the delimitation and coding of surface basins. *SciELO*, 2. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000200075

- Villota Rosero, M. A. (2019). *Metodología para el cálculo de los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica por medio de Sistemas de Información Geográfica. Caso de estudio – Río Mulaló (Yumbo - Colombia)*.
<http://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/843>
- Vinicio Carrera Villacrés, D., Alberto Leiva González, C., Belén Zapata Ramos, M., Adrián Aguirre Rosales, E., Fernanda Díaz Valarezo, M., Francisco Galarraga Benavidez, L., & Sebastián Jaramillo Bravo, A. (2020). *Dynamic model and geospatial study for soil loss in the ancestral community of La Toglla*.
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.156>
- Visscher, A. M. (2016). *Micro-Watershed Management Conservation and restoration of the Urcuwayacu. October*.
- Ward, RC; Robinson, M. (Mark). (1990). *Principios de hidrología / RC Ward, M. Robinson*.
- *Universidad de Rice*.
https://onsearch.library.rice.edu/discovery/fulldisplay?vid=01RICE_INST:RICE&search_scope=MyInst_and_CI&tab=Everything&docid=alma991006021809705251&lang=en&context=L&adaptor=Local Search Engine&query=sub,exact, water balance ,AND&mode=advanced
- Werstuck, C., & Coulibaly, P. (2018). Assessing Spatial Scale Effects on Hydrometric Network Design Using Entropy and Multi-objective Methods. *Journal of the American Water Resources Association*, 54(1), 275–286. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12611>
- Zucarelli, V. (2017). *Regionalización hidrológica con métodos estadísticos multivariados*.
https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/19463/Zucarelli_GracielaViviana_

TD_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Anexos

Anexo 1: Datos de precipitación

Anexo 2: Ensayo Triaxial

Anexo 3: Granulometría por sedimentación

Anexo 4: Validación de datos

Anexo 5: Ensayo de granulometría.

Anexo 6: Nomograma factor K.