



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA
DEL AGUA EN LAS MICROCUENCAS CHAGRASACHA,
QUILLOPACCHA Y TALATAG DEL PARQUE NACIONAL
LLANGANATES”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORES: ISRAEL JOSÉ GUAMINGA MENDOZA

DAYANA SOLANGE TERÁN HIDALGO

DIRECTOR: Ing. CARLOS ROLANDO ROSERO ERAZO Msc.

Riobamba – Ecuador

2022

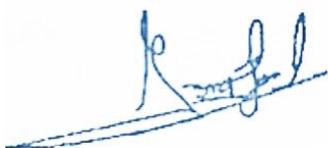
©2022, Israel José Guaminga Mendoza & Dayana Solange Terán Hidalgo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, ISRAEL JOSÉ GUAMINGA MENDOZA y DAYANA SOLANGE TERÁN HIDALGO declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de julio de 2022



Israel José Guaminga Mendoza
020233172-4



Dayana Solange Terán Hidalgo
180531582-5

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: el Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación. “**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA EN LAS MICROCUENCAS CHAGRASACHA, QUILLOPACCHA Y TALATAG DEL PARQUE NACIONAL LLANGANATES**”, realizado por los señores **ISRAEL JOSÉ GUAMINGA MENDOZA, DAYANA SOLANGE TERÁN HIDALGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

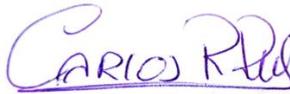
FECHA

Ing. Juan Carlos González García Msc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2022-07-11

Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo Msc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



2022-07-11

Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce Msc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



2022-07-11

DEDICATORIA

El siguiente trabajo lo dedico primeramente a Dios por ser el guía en cada uno de mis pasos frente a obstáculos y adversidades presentes en mi vida. A mi madre Luz por su incondicional muestra de amor, afecto y cariño, por brindarme todo su apoyo, ser base de lucha y esfuerzo, e impartir sus valores con el propósito de cumplir con coraje y determinación cada una de mis metas.

A ti querido hermano Ronital, al ser después de mi madre, el apoyo y consejo que siempre ha estado presente en mi vida siendo mi fuente de inspiración para seguir superándome. A ustedes hermanos Darío, Jorge, Estefanía, Ximena quienes han estado presentes en todo momento, brindándome sus palabras de aliento. Finalmente quiero agradecer a Elvita quien ha sido pilar fundamental en mi vida, por todo tu apoyo, amor y cariño haciendo de mí una mejor persona.

Israel

Dedico esta tesis a mi madre Cecilia, ya que fue uno de sus sueños y espero haber cumplido con sus expectativas, nunca me dejó sola, ni en mis peores adversidades y claramente a mi padre José que ha sido pilar fundamental para cumplir esta meta, agradezco su amor y cariño infinito para guiarme por el camino del bien. A mi prima Evelyn, que ha sido hermana y madre a la vez, por los consejos y el ejemplo que me ha dado y finalmente a mis tíos William y Marlene que han velado por mi bienestar, espero que todos y cada uno de mis amigos y familiares los cuales me ayudaron a llegar hasta aquí se sientan orgullosos, porque lo logré y lo logramos.

Solange

“Mientras Haya Vida, Hay Esperanza”

Stephen Hawking

AGRADECIMIENTOS

Nuestro sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarnos la formación necesaria, una profesión y la oportunidad de servir a la sociedad y al país.

Al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica por su colaboración y apoyo constante, para alcanzar los objetivos propuestos en el Trabajo de Titulación.

Un sincero agradecimiento al Grupo de Investigación, Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático "GIDAC" por su colaboración y apoyo, permitirnos ser partícipes en sus proyectos mostrándonos la importancia y el cuidado del medio ambiente.

Al Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo, por su gran muestra de afecto, paciencia y apoyo durante el transcurso y culminación del trabajo de titulación y por la buena amistad establecida.

Al Ing. Freddy Armijos por su asistencia y guía durante el transcurso del presente trabajo investigativo.

A la Ing. Natali Figueroa por su total confianza, carisma y ayuda presente a lo largo de todo el proceso investigativo.

Finalmente, a todos los amigos, compañeros, que tuvieron la oportunidad de ser partícipes y formaron parte del programa de muestreo, salidas de campo y análisis de datos.

Israel & Solange

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Antecedentes de la Investigación.....	4
1.2. Gestión Integral de Recursos Hídricos.....	6
1.3. Marco Conceptual.....	6
1.3.1. <i>El Agua</i>.....	6
1.3.2. <i>Cuenca Hidrográfica</i>.....	7
1.3.2.1. <i>Funciones de una Cuenca Hidrográfica</i>.....	7
1.3.2.2. <i>Elementos de una Cuenca Hidrográfica</i>.....	7
1.3.3. <i>Determinación de una cuenca hidrográfica</i>.....	9
1.3.3.1. <i>Delimitación</i>.....	9
1.3.3.2. <i>Área (A)</i>.....	9
1.3.3.3. <i>Forma de la cuenca</i>.....	10
1.3.3.4. <i>Factor de formación de Horton (kf)</i>.....	10
1.3.3.5. <i>Perímetro de la cuenca</i>.....	11
1.3.3.6. <i>Factor de compacidad (Kc)</i>.....	11
1.3.3.7. <i>Red de drenaje</i>.....	11
1.3.3.8. <i>Orden de la cuenca</i>.....	12
1.3.4. <i>Características Físicas y Biofísicas de una Cuenca Hidrográfica</i>.....	13
1.3.4.1. <i>Uso de Suelo</i>.....	13
1.3.4.2. <i>Pendiente</i>.....	13
1.3.4.3. <i>Cobertura Vegetal</i>.....	13
1.3.4.4. <i>Accesibilidad</i>.....	13
1.3.4.5. <i>Red de Drenaje</i>.....	13
1.3.5. <i>Parque Nacional Llanganates, Complejo Pisayambo</i>.....	14
1.3.5.1. <i>Microcuenca Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag</i>.....	14

1.3.6.	<i>Muestreo de Aguas</i>	15
1.3.7.	<i>Aspectos Generales sobre los Muestreos</i>	15
1.3.7.1.	<i>Representatividad de una Muestra</i>	15
1.3.7.2.	<i>Técnicas de Muestreo</i>	15
1.3.7.3.	<i>Preservación de Muestras</i>	15
1.3.7.4.	<i>Análisis de los Resultados</i>	16
1.3.8.	<i>Tipos de Muestras</i>	16
1.3.8.1.	<i>Muestra Simple</i>	16
1.3.8.2.	<i>Muestra Compuesta</i>	16
1.3.9.	<i>Tipos de Muestreo</i>	17
1.3.9.1.	<i>Muestreo Manual</i>	17
1.3.9.2.	<i>Muestreo Automático</i>	17
1.3.10.	<i>Parámetros Físicos del Agua</i>	17
1.3.10.1.	<i>Conductividad Eléctrica</i>	17
1.3.10.2.	<i>Sólidos</i>	17
1.3.10.3.	<i>Turbidez</i>	18
1.3.10.4.	<i>Temperatura</i>	18
1.3.10.5.	<i>Color</i>	18
1.3.11.	<i>Parámetros Químicos del Agua</i>	18
1.3.11.1.	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i>	18
1.3.11.2.	<i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	18
1.3.11.3.	<i>Oxígeno Disuelto</i>	19
1.3.11.4.	<i>pH</i>	19
1.3.11.5.	<i>Sulfatos</i>	19
1.3.11.6.	<i>Fosfatos</i>	19
1.3.11.7.	<i>Nitritos y Nitratos</i>	20
1.3.12.	<i>Parámetros Microbiológicos del Agua</i>	20
1.3.12.1.	<i>Coliformes Fecales</i>	20
1.4.	Marco Legal	20

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	22
2.1.	Características e identificación de la zona de estudio	22
2.1.1.	<i>Descripción General</i>	22
2.2.	Ubicación Geográfica	24
2.3.	Muestreo	25

2.3.1.	<i>Determinación de los puntos de muestreo</i>	25
2.3.2.	<i>Tipo de Muestra</i>	27
2.3.3.	<i>Frecuencia</i>	27
2.4.	Toma, identificación y conservación de muestras	27
2.4.1.	<i>Toma de las muestras</i>	27
2.4.2.	<i>Identificación de la muestra</i>	27
2.4.3.	<i>Conservación y transporte de las muestras</i>	28
2.5.	Materiales y Métodos	28
2.5.1.	<i>Materiales para la determinación del caudal</i>	28
2.6.	Medición de parámetros morfométricos	30
2.6.1.	<i>Características Morfométricas</i>	30
2.6.1.1.	<i>Parámetros físicos de la cuenca</i>	30
2.6.1.2.	<i>Parámetros de forma de la cuenca</i>	30
2.6.1.3.	<i>Características de relieve de la cuenca</i>	31
2.6.1.4.	<i>Parámetros de la red hídrica</i>	32
2.6.1.5.	<i>Curva Hipsométrica</i>	32
2.7.	Metodología para Determinar el Índice de Calidad ICA-NSF	32
2.7.1.	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	33
2.7.2.	<i>Oxígeno Disuelto</i>	34
2.7.3.	<i>pH</i>	34
2.7.4.	<i>Turbidez</i>	35
2.7.5.	<i>Fosfatos</i>	35
2.7.6.	<i>Nitratos</i>	36
2.7.7.	<i>Temperatura</i>	36
2.7.8.	<i>Coliformes Fecales</i>	37
2.7.9.	<i>Sólidos Disueltos Totales</i>	37
2.8.	Metodología para la medición de caudales	39
2.9.	Medición de parámetros en el laboratorio	39
2.9.1.	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	39
2.9.2.	<i>Coliformes fecales</i>	39
2.9.3.	<i>Nitratos</i>	40
2.9.4.	<i>Nitritos</i>	40
2.9.5.	<i>Fosfatos</i>	41
2.9.6.	<i>Sulfatos</i>	41
2.10.	Medición de cationes	42
2.10.1.	<i>Sodio</i>	42
2.10.2.	<i>Potasio</i>	42

2.10.3.	<i>Calcio</i>	42
2.10.4.	<i>Magnesio</i>	43
2.10.5.	<i>Aluminio</i>	43
2.11.	Procesamiento de datos	44

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE DISCUSIÓN Y RESULTADOS	45
3.1.	Resultados morfométricos correspondiente a la microcuenca Talatag	45
3.1.1.	<i>Morfometría para la Microcuenca Talatag</i>	45
3.1.1.1.	<i>Parámetros físicos de la cuenca</i>	45
3.1.1.2.	<i>Parámetros de forma de la cuenca</i>	45
3.1.1.3.	<i>Características de relieve de la cuenca</i>	45
3.1.1.4.	<i>Parámetros de la red hídrica</i>	46
3.1.1.5.	<i>Curva Hipsométrica</i>	47
3.2.	Resultados morfométricos correspondiente a la microcuenca Talatag	49
3.3.	Resultados morfométricos correspondientes a la microcuenca Quillopaccha ... 51	
3.3.1.	<i>Morfometría para la Microcuenca Quillopaccha</i>	53
3.3.1.1.	<i>Parámetros físicos de la cuenca</i>	53
3.3.1.2.	<i>Parámetros de forma de la cuenca</i>	53
3.3.1.3.	<i>Características de relieve de la cuenca</i>	53
3.3.1.4.	<i>Parámetros de la red hídrica</i>	53
3.3.1.5.	<i>Curva Hipsométrica</i>	55
3.4.	Resultados morfométricos correspondientes a la microcuenca Chagrasacha ... 57	
3.4.1.	<i>Morfometría para la Microcuenca Chagrasacha</i>	59
3.4.1.1.	<i>Parámetros físicos de la cuenca</i>	59
3.4.1.2.	<i>Parámetros de forma de la cuenca</i>	59
3.4.1.3.	<i>Características de relieve de la cuenca</i>	59
3.4.1.4.	<i>Parámetros de la red hídrica</i>	59
3.4.1.5.	<i>Curva Hipsométrica</i>	61
3.4.1.6.	<i>Variabilidad de los parámetros morfométricos para las microcuencas</i>	62
3.5.	Determinación y análisis de caudales	64
3.6.	Cálculo del índice de calidad del agua (ICA-NSF) en las microcuencas	66
3.6.1.	<i>Resultados de diferentes índices de calidad del agua para las microcuencas</i>	67
3.7.	Caracterización fisicoquímica de las microcuencas	72
3.7.1.	<i>Fosfatos</i>	72
3.7.2.	<i>Nitratos</i>	74

3.7.3.	<i>Nitritos</i>	76
3.7.4.	<i>Sulfatos</i>	78
3.7.5.	<i>Turbidez (Color)</i>	80
3.7.6.	<i>Potencial de Hidrógeno (pH)</i>	82
3.7.7.	<i>Temperatura (°C)</i>	84
3.7.8.	<i>Conductividad Eléctrica</i>	86
3.7.9.	<i>Oxígeno Disuelto</i>	88
3.7.10.	<i>Sólidos Totales Disueltos</i>	90
3.7.11.	<i>Coliformes Fecales</i>	92
3.7.12.	<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	94
3.8.	<i>Análisis de Cationes</i>	96
 CONCLUSIONES		97
RECOMENDACIONES		99
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Partes de una cuenca hidrográfica	9
Tabla 2-1: Valores de forma de la cuenca.....	10
Tabla 3-1: Datos para la Recolección de Muestras	16
Tabla 1-2: Coordenadas de los puntos de muestreo.....	26
Tabla 2-2: Métodos utilizados para medición de parámetros In situ	28
Tabla 3-2: Materiales para la determinación del caudal	29
Tabla 4-2: Materiales para análisis de muestras	29
Tabla 5-2: Equipos para análisis de muestras	29
Tabla 6-2: Reactivos para análisis de muestras.....	30
Tabla 7-2: Pesos relativos -ICA NSF.....	33
Tabla 8-2: Rangos de Calidad del Agua	38
Tabla 9-2: Métodos empleados para el análisis de laboratorio	43
Tabla 1-3: Parámetros físicos.....	45
Tabla 2-3: Parámetros de forma.....	45
Tabla 3-3: Parámetros de relieve	45
Tabla 4-3: Parámetros red hídrica.....	46
Tabla 5-3: Construcción de la Curva Hipsométrica.....	47
Tabla 6-3: Parámetros físicos.....	53
Tabla 7-3: Parámetros de forma.....	53
Tabla 8-3: Parámetros de relieve	53
Tabla 9-3: Parámetros red hídrica.....	53
Tabla 10-3: Construcción de la Curva Hipsométrica Quillopaccha.....	55
Tabla 11-3: Parámetros físicos.....	59
Tabla 12-3: Parámetros de forma.....	59
Tabla 13-3: Parámetros de relieve	59
Tabla 14-3: Parámetros red hídrica.....	59
Tabla 15-3: Construcción de la Curva Hipsométrica para la microcuenca Chagrasacha	61
Tabla 16-3: Caudales correspondiente zona de estudio	64
Tabla 17-3: Resultados correspondientes a los diferentes índices de calidad.....	66
Tabla 18-3: Estadística descriptiva para Fosfatos	72
Tabla 19-3: Análisis de varianza para Fosfatos	73
Tabla 20-3: Estadística descriptiva para Nitratos.....	74
Tabla 21-3: Análisis de varianza unifactorial para Nitratos.....	75

Tabla 22-3: Estadística descriptiva para Nitritos	76
Tabla 23-3: Estadística descriptiva para Sulfatos	78
Tabla 24-3: Análisis de varianza unifactorial para Sulfatos	79
Tabla 25-3: Estadística descriptiva para Turbidez	80
Tabla 26-3: Análisis de varianza unifactorial para Turbidez	81
Tabla 27-3: Estadística descriptiva para pH	82
Tabla 28-3: Análisis de varianza unifactorial para Potencial de Hidrógeno.....	83
Tabla 29-3: Aplicación del método LSD – Fisher para pH	83
Tabla 30-3: Estadística descriptiva para Temperatura	84
Tabla 31-3: Análisis de varianza unifactorial para Temperatura	85
Tabla 32-3: Estadística descriptiva para Conductividad Eléctrica.....	86
Tabla 33-3: Análisis de varianza unifactorial para Conductividad Eléctrica.....	87
Tabla 34-3: Estadística descriptiva para Oxígeno Disuelto	88
Tabla 35-3: Análisis de varianza unifactorial para Oxígeno Disuelto	89
Tabla 36-3: Estadística descriptiva para Sólidos Totales Disueltos.....	90
Tabla 37-3: Análisis de varianza unifactorial para Sólidos Totales Disueltos.....	91
Tabla 38-3: Estadística descriptiva para Coliformes Fecales	92
Tabla 39-3: Análisis de varianza unifactorial para Coliformes Fecales.....	93
Tabla 40-3: Estadística descriptiva para DBO ₅	94
Tabla 41-3: Análisis de varianza unifactorial para la DBO ₅	95
Tabla 42-3: Análisis de cationes	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Divisora de aguas en una cuenca.....	8
Figura 2-1. Cause principal.....	8
Figura 3-1. Delimitación de una cuenca hidrográfica.....	9
Figura 4-1. Grado de ramificación.....	12
Figura 5-1. Orden de una cuenca hidrográfica.....	12
Figura 6-1. Red Hídrica Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag.....	14
Figura 1-2. Red hídrica PNL.....	22
Figura 2-2. Complejo Pisayambo.....	23
Figura 3-2. Red Hídrica de Pisayambo – Parque Nacional Llanganates	23
Figura 4-2. Red Hídrica de Pisayambo – Parque Nacional Llanganates	24
Figura 5-2. Ubicación Geográfica de la Zona de Estudio	24
Figura 6-2. Ubicación de los Puntos de Muestreo	26
Figura 7-2. Identificación de las muestras	28
Figura 8-2. Evaluación del ICA en función de la DBO ₅	33
Figura 9-2. Evaluación del ICA en función del OD.....	34
Figura 10-2. Evaluación del ICA en función del pH	34
Figura 11-2. Evaluación del ICA en función de la turbidez	35
Figura 12-2. Evaluación del ICA en función de fosfatos.....	35
Figura 13-2. Evaluación del ICA en función de Nitratos.....	36
Figura 14-2. Evaluación del ICA en función del ΔT	36
Figura 15-2. Evaluación del ICA en función de coliformes	37
Figura 16-2. Evaluación del ICA en función de TDS.....	37
Figura 1-3. Modelo de elevación digital y mapa de dirección de flujo para la microcuenca Talatag.....	49
Figura 2-3. Mapa de pendientes, dirección de flujo e hipsometría para la microcuenca Talatag	50
Figura 3-3. Modelo de elevación digital y mapa de dirección de flujo para la microcuenca Quillopaccha.....	51
Figura 4-3. Mapa de pendientes, flujo de acumulación e hipsometría.....	52
Figura 5-3. Modelo de elevación digital y dirección de flujo de la microcuenca Chagrasacha.	57
Figura 6-3. Acumulación de Flujo, mapa de pendientes e hipsometría	58
Figura 7-3. Variación de caudal - Chagrasacha	62
Figura 8-3. Actividades antropogénicas registradas en las microcuencas	69

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Curva Hipsométrica para la microcuenca Talatag	47
Gráfico 2-3. Curva Hipsométrica para la microcuenca Quillopaccha.....	55
Gráfico 3-3. Curva Hipsométrica para la microcuenca Chagrasacha.....	61
Gráfico 4-3. Parámetros de Forma para las microcuencas de estudio.....	62
Gráfico 5-3. Parámetros de Relieve para las microcuencas de estudio	63
Gráfico 6-3. Variación del caudal en las microcuencas de estudio	65
Gráfico 7-3. Variabilidad del índice de calidad del agua en diferentes puntos de muestreo.....	67
Gráfico 8-3. Comportamiento del índice de calidad en las microcuencas	70
Gráfico 9-3. Diagrama de cajas para Fosfatos	72
Gráfico 10-3. Valores máximos y mínimos para Fosfatos	73
Gráfico 11-3. Diagrama de cajas para Nitratos	74
Gráfico 12-3. Valores máximos y mínimos para Nitratos.....	75
Gráfico 13-3. Diagrama de cajas para Nitritos.....	76
Gráfico 14-3. Valores máximos y mínimos para Nitritos	77
Gráfico 15-3. Diagrama de cajas para Sulfatos.....	78
Gráfico 16-3. Valores máximos y mínimos para Sulfatos	79
Gráfico 17-3. Diagrama de cajas para Turbidez.....	80
Gráfico 18-3. Máximos y mínimos para Turbidez.....	81
Gráfico 19-3. Diagrama de cajas para pH.....	82
Gráfico 20-3. Diagrama de cajas para Temperatura.....	84
Gráfico 21-3. Máximos y mínimos para Temperatura	85
Gráfico 22-3. Diagrama de cajas para Conductividad Eléctrica	86
Gráfico 23-3. Máximos y mínimos para Conductividad Eléctrica.....	87
Gráfico 24-3. Diagrama de cajas para Oxígeno Disuelto.....	88
Gráfico 25-3. Máximos y mínimos para Oxígeno Disuelto	89
Gráfico 26-3. Diagrama de cajas para Sólidos Disueltos Totales	90
Gráfico 27-3. Valores máximos y mínimos para SDT	91
Gráfico 28-3. Diagrama de cajas para Coliformes Fecales	92
Gráfico 29-3. Diagrama de cajas para Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	94
Gráfico 30-3. Valores máximos y mínimos para DBO ₅	95
Gráfico 31-3. Comportamiento de los cationes en los puntos de muestro	96

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

ANEXO B. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

ANEXO C. MORFOMETRÍA PARA LA MICROCUENCA QUILLOPACCHA

ANEXO D. MORFOMETRÍA PARA LA MICROCUENCA CHAGRASACHA

ANEXO E. MORFOMETRÍA PARA LA MICROCUENCA TALATAG

**ANEXO F. PERMISO DE INVESTIGACIÓN ESTIPULADO POR EL MINISTERIO DEL
AMBIENTE**

ANEXO G. PREPARACIÓN Y TOMA DE MUESTRAS

ANEXO H. MEDICIÓN DE CAUDALES

ANEXO I. DETERMINACION DE VELOCIDAD DEL CAUDAL

ANEXO J. MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

ANEXO K. MEDICIÓN DE LA DBO₅

ANEXO L. MEDICIÓN DE VOLÚMENES PARA DBO₅

ANEXO M. DETERMINACIÓN DE SULFATOS

ANEXO N. DETERMINACIÓN DE COLIFORMES FECALES

ANEXO O. DETERMINACIÓN DE NITRITOS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DEM	Modelo de Elevación Digital
DQO	Demanda Química de Oxígeno
GIDAC	Grupo de Investigación - Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático
GIRH	Gestión Integral de Recursos Hídricos
ICA	Índice de Calidad del Agua
ICA-NSF	Índice de Calidad del Agua de la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU.
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
LMP	Límite Máximo Permitido
MSNM	Metros sobre el nivel del mar
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
OD	Oxígeno Disuelto
PNL	Parque Nacional Llanganates
SDT	Sólidos Totales Disueltos
SUIA	Sistema Único de Gestión Ambiental
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiental
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
WPCF	Water Pollution Control Federation
WWAP	World Water Assessment Programme

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es evaluar la calidad fisicoquímica del agua en las microcuencas Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag ubicado en el cantón San José de Poaló, provincia de Tungurahua. Se implementó 7 puntos de muestreo a lo largo de la zona de estudio, 2 puntos a cada microcuenca y un punto en la en la intersección de las 3 microcuencas que en conjunto forman la unidad hidrográfica del Río Yanayacu, durante el periodo diciembre 2021-marzo 2022. Los índices morfométricos se obtuvieron a través de modelos de elevación digital generados por Earth Explorer empleando ArcGIS Pro para su procesamiento de datos. Los parámetros pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, sólidos totales disueltos fueron obtenidos con la ayuda de un multiparámetro digital portátil, adicional a esto, la determinación de caudales se efectuó a través del método de flotador. Para los parámetros fosfatos, sulfatos, nitritos, nitratos, turbidez, coliformes, demanda bioquímica de oxígeno fueron analizados en el laboratorio del Grupo de Investigación - Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a través de Standard Methods. Consecutivamente se realizó el cálculo del valor Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF). Los resultados correspondientes a ICA-NSF promedio en el río Yanayacu es 56,03 ocupando el valor más bajo, por su parte la microcuenca Talatag presenta 58,96, seguido de la microcuenca Chagrasacha con 60,55 y la microcuenca Quillopaccha presenta 63,91, siendo este el valor más representativo en el aporte de calidad del agua. Conforme lo establecen las ponderaciones descritas por ICA-NSF, el agua de las microcuencas en mención corresponde a un rango “Media”, esto debido a las afecciones en mayor parte por la presencia de actividades turísticas y ganaderas, siendo necesario la ejecución de un plan de recuperación, mejora y mantenimiento en las microcuencas.

Palabras clave: <AGUA>, <ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DE LA FUNDACIÓN NACIONAL DE SANEAMIENTO>, <ÍNDICES MORFOMÉTRICOS>, <PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS>, <TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA)>.



1491-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The aim of this research is to evaluate the physicochemical water quality in Chagrasacha, Quillopaccha and Talatag micro-watersheds located in San José de Poaló county, Tungurahua province. Seven sampling points were implemented throughout the study area, two points in each micro-watershed and one point in the intersection of the three micro-watersheds which form the hydrographic unit of Yanayacu River, from December 2021 to March 2022. The morphometric indices were obtained through digital elevation models generated by Earth Explorer and ArcGIS Pro for the data processing. The parameters regarding pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, temperature and total dissolved solids were obtained with the help of a portable digital multiparameter; in addition, the determination of flow rates was carried out through the float method. Phosphates, sulfates, nitrites, nitrates, turbidity, coliforms, and biochemical oxygen demand were analyzed in the GIDAC (Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático) Research Group laboratory, belonging to the Faculty of Science, ESPOCH. This process was carried out by using Standard Methods. Then, the Water Quality Index value of the National Sanitation Foundation (ICA-NSF) was calculated. The ICA-NSF average results in Yanayacu River correspond to 56.03, which is the lowest value, while for Talatag micro-watershed the value is 58.96, followed by Chagrasacha micro-watershed with a value of 60.55 and Quillopaccha micro-watershed with 63.91 as the most representative water quality value. According to the weightings established by ICA-NSF, the water from the mentioned micro-watersheds corresponds to a "Medium" range, due to the affection mostly caused by tourism and livestock activities; therefore, it is necessary to implement a recovery, improvement and maintenance plan in the micro-watersheds.

Keywords: <WATER>, <WATER QUALITY INDEX OF THE NATIONAL SANITATION FOUNDATION>, <MORPHOMETRIC INDEX>, <PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS>, <UNIFIED TEXT OF SECONDARY LEGISLATION OF THE MINISTRY OF THE ENVIRONMENT (TULSMA)>.




Firmado electrónicamente por:
PAUL ROLANDO
ARMAS PESANTEZ

INTRODUCCIÓN

El agua dulce es esencial en muchas esferas de la vida humana y, en general, se la considera un insumo esencial para la producción y una herramienta eficaz del desarrollo económico (Izurieta, 2008). Desafortunadamente, en muchos países del mundo, incluido el nuestro, algunos suministros de agua se han contaminado y el deterioro de la calidad de las aguas superficiales se está convirtiendo en un problema grave en muchas partes del mundo (Vaghela et al., 2013).

La contaminación del agua por fuentes difusas son un problema ambiental grave, y también generan un problema económico y de salud humana. Los cambios en las características fisicoquímicas de la calidad del agua están influenciados no solo por factores antropogénicos, sino también por los procesos naturales interactivos combinados, como las condiciones hidrológicas, la topografía, el clima, factores tectónicos, edáficos y erosión en combinación con influencia ambiental. Las fuentes de agua dulce en el Ecuador existen como manantiales naturales, ríos, lagos y acuíferos subterráneos (Icka, 2013).

La calidad del agua se ha evaluado comparando los valores con la legislación ambiental vigente (Acuerdo Ministerial 097-A). Sin embargo, esta técnica no proporciona ninguna información sobre las tendencias espaciales y temporales de la calidad general. Por lo tanto, se han desarrollado técnicas modernas como el índice de calidad del agua. Se han formulado numerosos índices de calidad del agua en todo el mundo. Estos índices se basan en la comparación de los parámetros de calidad del agua con los estándares y dan un valor único para la calidad del agua de una determinada fuente. El ICA resume una gran cantidad de datos de calidad del agua de manera integral en un solo número, en un término simple (por ejemplo, excelente, bueno, malo, etc.), para transmitir la información sobre la calidad del agua, al público en general, distribuidores de agua, planificadores, administradores y hacedores de políticas. El ICA es una de las herramientas más efectivas para expresar la calidad del agua y puede usarse como un parámetro importante para la evaluación y gestión de la fuente de agua, dando una buena idea de la tendencia de evolución de la calidad del agua a evolucionar durante un período de tiempo (Vaghela et al., 2013).

El objetivo principal de este estudio es analizar la calidad del agua en las microcuencas Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag del Parque Nacional Llanganates. El área del Parque Nacional Llanganates abarca un conjunto de lagunas de origen glaciar sustentadas por ríos y riachuelos o inundaciones temporales, además de pantanos y grandes turberas asociadas con otros tipos de vegetación que les otorga características particulares; generan una significativa provisión de agua para los poblados aledaños. Estos ecosistemas congregan peculiaridades afines con su historia geomorfológica, microclimas, vegetación especial y fauna silvestre asociada, tanto

altoandina como de bosques andinos. El mayor valor de preservación de esta área es la variedad de humedales y por la relativa prolongación de los mismos, dado el nivel de protección que simboliza la declaratoria de Parque Nacional y el respectivo aislamiento de la mayor parte de ella (Izurieta, 2008).

En las muestras de agua del proyecto se analizaron pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto, fueron calculados de forma in situ con un equipo multiparamétrico, para los parámetros de turbiedad, DBO₅, nitratos, fosfatos y coliformes fecales, fueron analizados en laboratorio, todo esto se realizó con un triplicado, para generar mayor confianza en los resultados consecuentemente ya con los resultados se procedió a realizar un estudio ANOVA para determinar si existía alguna diferencia entre las diferentes muestras.

JUSTIFICACIÓN

El Parque Nacional Llanganates registra un incremento en el impacto ambiental generado por las actividades antropogénicas, debido a ello existe la necesidad de evaluar y cuantificar la calidad de los cuerpos de agua en las zonas de páramo. En la actualidad estas actividades son ocasionadas por el aumento de la frontera agrícola, agropecuaria, la actividad turística y sus malas prácticas lo que genera el deterioro de los ecosistemas y contaminación de los suelos, ríos y lagunas de la zona. En una búsqueda exhaustiva en la Red de Repositorios de Acceso Abierto del Ecuador no se identificaron estudios específicos relacionados con la calidad fisicoquímica del agua de la zona de la subcuenca del Yanayacu, dentro de las microcuencas Chagrasacha, Quillocpaccha y Talatag, y debido a esta escasez de información se propone este proyecto de investigación, el cual abrirá la puerta a estudios y proyectos más profundos.

Las microcuencas Chagrasacha, Quillocpaccha y Talatag del Parque Nacional Llanganates proporcionan bienes y servicios a la población de las zonas, sin embargo a consecuencia de estas interacciones se originan problemáticas sumando a esto los procesos de crecimiento poblacional, la falta de control de manejo ambiental, el uso inadecuado del suelo, las malas prácticas agrícolas, el monocultivo, la deforestación, etc., todo esto conlleva de forma casi inevitable la alteración profunda y/o destrucción del medio natural, provocando la sustitución de los ecosistemas naturales por ecosistemas artificiales.

La investigación es de conveniencia porque servirá para identificar, analizar y determinar la calidad del agua mediante parámetros fisicoquímicos realizando una comparación con la normativa ambiental vigente y así poder realizar propuestas de mejora, mantenimiento y recuperación de la calidad del agua en las microcuencas.

Es de relevancia social porque la actividad turística podría aplicar esta nueva técnica de mejoramiento que les permitan conservar paisajes, ecosistemas completos, especies, recursos hídricos como apoyo a la conservación.

Es de aplicación práctica porque se realizará en tres etapas de trabajo: campo, laboratorio y el análisis estadístico incluyendo la evaluación y análisis de los parámetros fisicoquímicos de las microcuencas a fin de determinar la calidad del agua aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de toda la formación profesional.

OBJETIVOS

Objetivo General

Identificar los índices de calidad fisicoquímica del agua en las microcuencas Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag perteneciente al cantón Píllaro del Parque Nacional Llanganates.

Objetivos Específicos

Realizar la morfometría de la unidad hidrográfica del Río Yanayacu para las microcuencas Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag.

Determinar parámetros fisicoquímicos del agua en un periodo estimado de tres meses mediante el índice de calidad de agua ICA-NSF.

Establecer comparativas de calidad fisicoquímica del agua en las microcuencas Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag para la verificación del cumplimiento de normativa ambiental vigente (Acuerdo Ministerial 097-A - Libro VI).

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la Investigación

La comprensión de la naturaleza física-química del agua es de vital importancia ya que se encuentra en contacto directo con las distintas esferas ambientales adquiriendo distintos elementos o sustancias que alteran su composición inicial, el agua se representa por propiedades que la distinguen de otras sustancias (Sierra Ramírez, 2011).

El Parque Nacional Llanganates considerado un lugar protegido posee aproximadamente ochenta sistemas lacustres, la mayoría ubicadas en páramos sobre los 3400 msnm, las más representativas se ubican en la zona de Pisayambo y páramos vía Salcedo, otros complejos de humedales se distribuyen en la Cordillera de los Llanganates (BirdLife et al., 2014: pp.7-10).

Según (Debels et al., 2005: pp.301-322), en su trabajo de investigación habla acerca de la evaluar la calidad del agua en el río Chillán mediante parámetros fisicoquímicos utilizando un índice de calidad del agua modificado. Para dar inicio a la caracterización, evaluación de la calidad del agua y su variabilidad espacial a lo largo de la cuenca, se escogieron ubicaciones de aproximadamente 18 estaciones de muestreo, posteriormente se definieron ocho puntos en el curso principal, mientras que los 10 puntos restantes se ubicaron en afluentes. Todos los parámetros fisicoquímicos fueron muestreados y analizados de acuerdo con métodos estándar "Métodos Normalizados para El Análisis de Aguas De Consumo y Residuales". La temperatura, el pH y la conductividad se midieron in-situ mediante un termómetro con una precisión de 0.1°C, un pH-metro portátil calibrado y un conductímetro digital. Los valores de los ocho puntos de muestreo se promediaron para calcular el índice de calidad del agua, los valores obtenidos se pueden interpretar tanto de forma cuantitativa como cualitativa, el análisis de la calidad del agua en la Cuenca de Chillán mediante un mostró una buena calidad general del agua en la mayor parte de la Cuenca. Sin embargo, durante los muestreos en la temporada de verano se detectaron condiciones severamente deterioradas en las estaciones aguas abajo del vertido de aguas residuales urbanas, los parámetros más afectados fueron DQO, amoníaco, nitrato y ortofosfato, los niveles de OD observados rara vez fueron críticos.

Según (Carrillo Alvarado et al., 2016: pp.60-78), realizo un estudio sobre la determinación del índice de calidad de agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindilig, en la cual tiene como objetivo desarrollar un plan de muestreo de acuerdo a las normas INEN 2226:2000 a través del análisis fisicoquímico.

Para la selección de los puntos de muestreo se realizó un recorrido de campo, permitiendo determinar las partes más representativas de ambos ríos, determinando la zona exacta para la toma de muestra abarcando el área de estudio, todo esto se lo llevo a cabo gracias a la cartografía y considerando la accesibilidad, se eligieron en total 5 puntos de muestreo, 2 puntos en la subcuenca del río Mazar y 3 en la del río Pindilig, cubriendo así las zonas más representativas del lugar dentro del área de estudio. Para la toma de muestras se determinó un volumen aproximado de 1.2 litros para las muestras simples y para las muestras compuestas un volumen de 2.4 litros. El plan de muestreo de calidad de agua de las cuencas Mazar y Pindilig se efectuó en base a las sugerencias y recomendaciones establecidas en la norma INEN 2226:00, sobre diseño de planes de muestreo para calidad del agua. Se establecieron muestreos compuestos con una variabilidad en el tiempo (10h00, 11h30, 13h00 y 14h30) prestando atención a la composición del agua presentara cierta variabilidad. El pH, temperatura y OD fueron calculados de forma in situ con un equipo multiparamétrico, para los parámetros de turbiedad, DBO, SDT, nitratos, fosfatos y coliformes fecales, fueron analizados en laboratorio.

Finalmente, (Cárdenas Novillo, 2020, pp-42-65), realizó un estudio sobre evaluación de calidad del agua en la microcuenca del río Tutanangoza mediante un estudio de análisis fisicoquímicos. Con ayuda de información geoespacial y teniendo en cuenta los sitios de acceso y actividades antrópicas en la zona de estudio se establecieron los puntos de muestreo, mediante la salida de campo recorriendo los tramos, e identificando la accesibilidad del río Tutanangoza seleccionando 4 puntos claves con ayuda de un GPS a manera de referencia. Para la toma de muestras se seleccionó intervalos de tiempo desde febrero hasta junio 2020 con el fin de tomar épocas secas y lluviosas en las zonas de análisis. Con las recomendaciones establecidas en la norma INEN 2176: 2013 se establecieron los tipos muestra para el posterior análisis de calidad. Al momento de efectuar la comparativa de los análisis de cada parámetro con la legislación ambiental vigente (Acuerdo Ministerial 097-A), se dio a conocer el incumplimiento para los puntos p2, p3 y p4, mostrando valores máximos registrados que superan los límites permisibles de los siguientes parámetros: DBO₅, Turbiedad y Coliformes, en cierta parte los resultados fueron a la presencia de altas precipitaciones en el mes de febrero, originando material orgánico.

La metodología que más se acoge a este trabajo de investigación es el estudio sobre la evaluación de la calidad del agua en la microcuenca hidrográfica del río Tutanangoza ya que se pudo determinar en este estudio realizado mediante análisis fisicoquímicos existe una gran variación en cuanto a los parámetros analizados en intervalos de tiempo pudiendo realizar una comparación con la legislación ambiental vigente en las microcuencas Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag del Parque Nacional Llanganates.

1.2. Gestión Integral de Recursos Hídricos

Según (Bruhl et al., 2009: pp.10-11) los enfoques llevados a cabo por la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH) ayuda en la administración de este valioso recurso de una forma equilibrada y sostenible siempre de la mano con factores tanto sociales como ambientales y económicos. Como sabemos el agua es el principal objetivo para el desarrollo social y económico de los países, además tiene una función importante la cual es el mantenimiento de la integridad de los ecosistemas. Sin embargo, el agua es solo uno de varios recursos naturales vitales e inevitable que los problemas del agua no se consideren de forma aislada. Los administradores, ya sean gobiernos o en el sector privado, tienen que tomar decisiones difíciles sobre la asignación del agua. Cada vez más, tienen que distribuir los suministros entre demandas mayores, los factores impulsores como los cambios demográficos y climáticos aumentan aún más la presión sobre los recursos hídricos, el enfoque tradicional ya no es viable y es esencial un enfoque más holístico de la gestión del agua. Este es el fundamento del enfoque de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos que ahora ha sido aceptado internacionalmente como el camino a seguir para el desarrollo y la administración eficaz, igualitaria y de una manera sostenible hacia los recursos hídricos.

1.3. Marco Conceptual

1.3.1. El Agua

El agua es considerada un compuesto con características únicas y especiales para la vida, además se ser el recurso más abundante en los ecosistemas y considerado como un factor determinante para los procesos físicos, químicos y biológicos de la naturaleza (García et al., 2001: pp.115-116). El agua transita de manera natural a través de la atmósfera, océanos, sistemas lacustres, cuencas hidrográficas, aguas subterráneas y glaciares interconectados entre sí, su alta variedad de sistemas y regímenes que los componen hace que adopten formas, tamaños, condiciones climáticas y caudales que son factores característicos (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

Los recursos hídricos, aunque disponibles ya sea en mayor o en menor cantidad han sido contaminadas progresivamente siendo responsables de enfermedades, a finales del siglo 18 y comienzos del siglo 20 se inició con la apertura de procesos para el tratamiento del agua, así mismo, con la implementación de sistemas de tratamiento de aguas de tipo residual provenientes de las distintas actividades antropogénicas (industriales, domésticas, agrícolas) debido a que una de las principales necesidades de las personas es adquirir este recurso con índices de calidad establecidos mediante normas nacionales e internacionales (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

1.3.2. Cuenca Hidrográfica

Es el área de tierra que drena hacia una masa de agua como por ejemplo ríos, sistemas lacustres, arroyos, etc., separando con otras cuencas hidrográficas por puntos altos dependiendo del lugar, como pendientes o laderas incluyendo la zona de tierra que drena hacia ella, abarca además cuencas de ríos y arroyos de menor proporción. Para (Vásconez et al., 2019: pp.17-18) las cuencas hidrográficas son empleadas como una unidad de planificación dentro de los recursos hídricos, además dentro de las funciones que constituyen podemos encontrar componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales, etc.

1.3.2.1. Funciones de una Cuenca Hidrográfica

Como se mencionó en el apartado anterior, una cuenca hidrográfica está constituida por componentes tanto ecológicos, ambientales socio-ecológicos. Dentro de estas funciones se pueden identificar los siguientes: regulación de recarga hídrica, conservación de la biodiversidad, mantenimiento de la diversidad en suelos, sumideros de CO₂, etc. Las funciones ecológicas se identifican el proporcionar los hábitats para la fauna, flora, e influencia sobre la calidad del agua. En cuanto a las funciones hidrológicas se puede identificar el escurrimiento del agua de la precipitación, llenado de fuentes tanto de agua superficial como subterránea. Finalmente, las funciones socioeconómicas se pueden verificar ciertas acciones como: suministrar espacio tanto para el desarrollo cultural como social y abastecer de recursos naturales tanto de origen renovable como no renovable (Vásconez et al., 2019: pp.17-18).

1.3.2.2. Elementos de una Cuenca Hidrográfica

Entre los elementos que componen una cuenca hidrográfica tenemos los siguientes:

- **Divisoria de Aguas**

Para (Ibáñez Asensio et al., 2018: pp.4-5) las divisorias de aguas son líneas de carácter imaginario que tienen como función separar laderas opuestas en una elevación determinada, el agua fluye de ambos lados de la divisoria hacia un cause principal tal como se aprecia en la Figura 1-1.

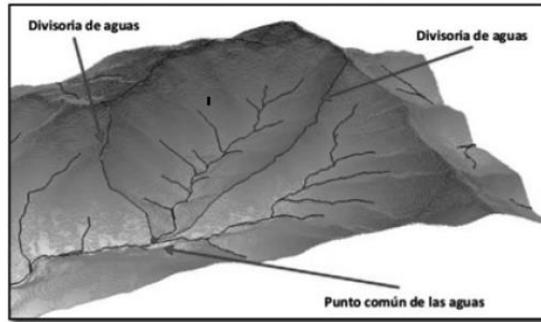


Figura 1-1. Divisora de aguas en una cuenca

Fuente: Vásconez et al., 2019: pp.17-18

- **Rio Principal**

El río o cause principal dispone de una longitud mayor y a la vez encamina el mayor caudal en los diferentes tramos que los compone (superior, parte intermedia, e inferior), la parte superior es característico por poseer caudales provenientes de manantiales, deshielos y alimentaciones de origen natural, con características fisicoquímicas de excelente calidad al no poseer actividades de origen antropogénico (Vásconez et al., 2019: pp.17-18).

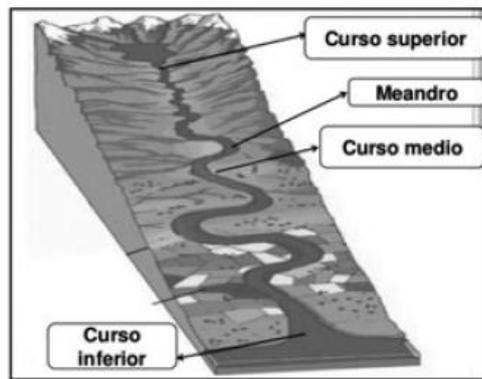


Figura 2-1. Cause principal

Fuente: Vásconez et al., 2019: pp.17-18

Los cursos o puntos medios se caracterizan por constantes sus valores de caudales, su nivel de contaminación se debe a la presencia de actividades de origen antrópico ejemplo: pesticidas y herbicidas, agricultura, descargas de aguas residuales. Finalmente, en el curso inferior los cursos de la cuenca suelen ser muy anchos y presentan grandes profundidades con altos caudales y bajas velocidades, los inconvenientes que presentan son las inundaciones en periodos invernales (Vásconez et al., 2019: pp.17-18).

Tabla 1-1: Partes de una cuenca hidrográfica

Subcuenca	Área de tierra drenada por un río y sus afluentes
Microcuenca	Unidad hidrológica más pequeña en el sistema jerárquico
Quebrada	Corriente de agua natural normalmente más pequeña y a menudo tributaria de un río.
Cuenca alta	Lugar de gran altitud limitado en su punto más alto superior por un divisorio de aguas.
Cuenca media	Lugar donde se conjugan las aguas recolectadas en las partes altas y en donde el río dominante mantiene su cauce definido.
Cuenca baja	Ríos que desemboca a otros mayores o a lugares más bajos.

Fuente: Ordoñez, 2011.

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

1.3.3. Determinación de una cuenca hidrográfica

1.3.3.1. Delimitación

Trazo de líneas denominadas divisoras de drenaje, la salida o punto de fluidez, es el punto en la superficie en el que el agua fluye fuera de un área. Hoy en día existen distintos tipos de recursos gratuitos de forma virtual que permiten obtener imágenes satelitales (Vásconez et al., 2019: pp.17-18).

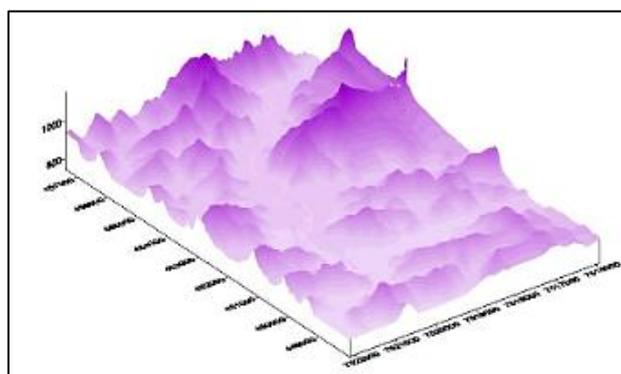


Figura 3-1. Delimitación de una cuenca hidrográfica

Fuente: Ramos, 2016.

1.3.3.2. Área (A)

Lugar donde toda la precipitación fluye a un solo sistema de drenaje o un conjunto de estos. Según (Vásconez et al., 2019: pp.17-18), en Ecuador las cuencas hidrográficas se dan origen en lugares montañosos, su área se la podrá definir de distintos métodos, sin embargo, es fundamental poseer una representación gráfica de la cuenca de interés ya sea como mapa topográfico o imagen satelital.

1.3.3.3. Forma de la cuenca

Superficie dentro del cual puede adoptar ciertas características o formas según sea desarrollada. Para (Vásconez et al., 2019: pp.17-18) la forma que está constituida una cuenca es determinada por ciertos factores de origen geológico, además el factor de forma tiene influencia en el índice de Gravelius, este índice nos indica cuan circular es la cuenca siendo un factor de tendencia a inundaciones.

1.3.3.4. Factor de formación de Horton (kf)

Factor de forma que puede definirse como la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud de la cuenca (Briera, 2018, pp.21-22).

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

Donde:

- **Kf:** Divisor de forma establecido (de característica adimensional)
- **A:** Área de la cuenca (Km²)
- **L:** Longitud de la cuenca (Km)

Fundamentalmente, los factores geológicos son quienes están a cargo de dar forma a la fisiografía de una región y la forma que caracteriza a cada cuenca hidrográfica, un grado mayor de Kf a la unida nos indica que el grado de achatamiento tiene tendencia a concentrar la acumulación de lluvia fuerte formando de manera sencilla grandes crecientes (Briera, 2018, pp.21-22).

Tabla 2-1: Valores de forma de la cuenca

Kf	Cuenca
<0,22	Bastante extenso
0,22-0,30	Extenso
0,3-0,37	Levemente extenso
0,37-0,45	Ni corta, ni larga
0,60-0,80	Ancha
0,80-1,12	Muy Ancha
>1,12	Circular

Fuente: Villa, 2016.

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

1.3.3.5. *Perímetro de la cuenca*

Límite exterior de la cuenca que delimita su área, midiendo a lo largo de las divisiones entre las cuencas hidrográficas (Ibáñez Asensio et al., 2018: pp.4-5).

1.3.3.6. *Factor de compacidad (Kc)*

Factor definido entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de la cuenca hidrográfica, tomando siempre el valor de 1, creciendo con la irregularidad que posee la cuenca hidrográfica (Ibáñez Asensio et al., 2018: pp.4-5).

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

- **K:** Incide
- **P:** Perímetro (Km)
- **A:** Área (Km²)

1.3.3.7. *Red de drenaje*

Interactúa con la tectónica desviando o no su dirección de flujo durante la formación de la montaña, además, expone la eficiencia del sistema de drenaje con que desaloja la cantidad de agua que recibe. El sistema de drenaje se divide en dos factores:

- **Grado de Ramificación:**

El grado de ramificación es determinado mediante el orden de los ríos de la cuenca, a los ríos que no tienen tributarios se los conoce como de orden 1, al sumar dos ríos que poseen orden 1 se los denomina de orden dos, a su vez la unión de ríos de orden 2 se los caracteriza como de orden 3 y así consecutivamente indicando el grado de ramificación de la cuenca que dependerá del número de ríos que lo posean como se muestra a continuación (Vásconez et al., 2019: pp.17-18).

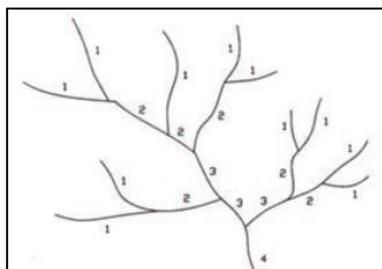


Figura 4-1. Grado de ramificación

Fuente: Vásconez et al., 2019: pp.17-18

- **Densidad de drenaje:**

Conocida como la relación entre la longitud total de los cursos de agua y el área total, simbolizando la longitud de los cursos por unidad de superficie, además depende del tipo de vegetación, clima y tipo de suelo (Vásconez et al., 2019: pp.17-18).

1.3.3.8. Orden de la cuenca

El orden de las cuencas es una medida del tamaño relativo de las corrientes, los afluentes más pequeños se conocen como cuencas de primer orden, mientras que los ríos más grandes es una vía fluvial de duodécimo orden, las cuencas de primer a tercer orden se denominan cuencas de cabecera (Novoa Goicochea, 2011, pp.26-27). La jerarquía nos ayuda a comprender de mejor manera la complejidad y desarrollo de los sistemas de drenaje, siendo los más empleados los métodos de Strahler y de Horton.

- **Método de Horton (1945):** En este método los canales van con numeración tomando en consideración el número de afluentes que posea la cuenca hidrográfica.
- **Método de Strahler (1952):** Posee una similitud con el método de Horton, sin embargo, Strahler plantea que un caudal puede tener varios segmentos en la trayectoria de todo su curso (Gutiérrez Elorza, 2008).

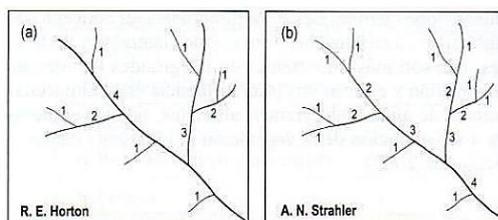


Figura 5-1. Orden de una cuenca hidrográfica

Fuente: Gutiérrez Elorza, 2008

1.3.4. Características Físicas y Biofísicas de una Cuenca Hidrográfica

1.3.4.1. Uso de Suelo

El uso y ocupación del suelo están fuertemente influenciados por las características de generación de escorrentía, puesto que este proceso es indispensable para la formación de cobertura existente. El estudio y evaluación del uso y cobertura del suelo permite analizar la calidad hídrica, el potencial energético y el manejo del drenaje urbano mediante la estimación de las características de la escorrentía, potencial de infiltración, interceptación y la evapotranspiración (Burbano Orjuela, 2016, pp.3-4).

1.3.4.2. Pendiente

Ofrece información sobre su topografía además se considera una variable independiente, la pendiente media de una cuenca influye radicalmente en el valor del tiempo de concentración y, directamente, en la escorrentía generada por una lluvia (Guerra et al., 2002: pp.88-108).

1.3.4.3. Cobertura Vegetal

Capa de vegetación cubierta en la superficie y es determinante en el manejo agronómico de cultivos y la existencia de vegetación en ciertas zonas (Sánchez Vélez et al., 2003: pp.28-29).

1.3.4.4. Accesibilidad

Actividades relacionadas a la comunicación, turismo y transporte, los parques nacionales son considerados recursos invaluable generando una valiosa aportación a la conservación del medio ambiente para las generaciones presentes y futuras (Hernández Galán et al., 2017: pp.7-8).

1.3.4.5. Red de Drenaje

Transferencias o flujos de percolación, flujo superficial, infiltración, flujo de tallo, flujo continuo y flujo terrestre por los diferentes causes y afluentes, hay que considerar que si el un número de causes es mayor mejorará el drenaje de la cuenca (Dolores Garay et al., 2018: pp.22-23).

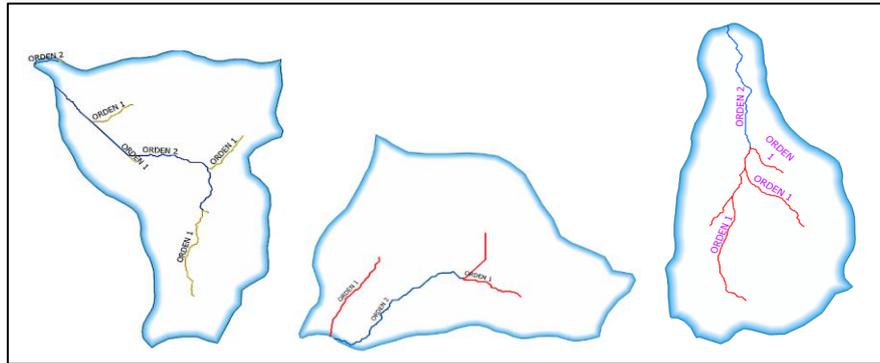


Figura 6-1. Red Hídrica Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag

Realizado por: Guaminga, I.; Terán, D. 2022

1.3.5. Parque Nacional Llanganates, Complejo Pisayambo

La Laguna de Pisayambo se ubica en la zona alta del Parque Nacional Llanganates, cerca de la entrada de Sunfopamba, a 45 km al noreste de Píllaro, la laguna se puede ver desde la carretera dentro del parque y es de acceso fácil. La Laguna de Pisayambo es la mayor fuente de agua del complejo Llanganati, tiene 3 kilómetros de largo y 2,5 kilómetros de ancho, se caracteriza por su forma ovalada, belleza natural y productividad. Esta formación de agua es retenida por el reservorio artificial, cuyo propósito es generar energía hidroeléctrica a través de la central hidroeléctrica Pucará ubicada en la periferia del parque. Luego de que el agua es utilizada por la central hidroeléctrica, es devuelta al río para su cloración. tratamiento y se utiliza para riego después del consumo (Jácome Sánchez et al., 2017: pp.57-58).

1.3.5.1. Microcuenca Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag

Los humedales de Llanganati son antiguos, se originaron a partir del deshielo de los glaciares, existen más de 100 lagunas en los Altos Andes de Llanganates, muchas de las cuales ya no existen por pérdida de agua o por mantener la humedad. El embalse de Pisayambo recibe agua de los ríos Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag.

El complejo Pisayambo tiene una de las áreas más distintivas del valle formado en la historia, mantiene el nivel de conexión del espejo de agua a través de los hundimientos, microcuencas y humedales de manera permanente, mantiene la escorrentía superficial, ayuda a estabilizar el nivel del agua, agua superficial y retener agua subterránea, el principal aporte de la microcuenca es el río Quillopaccha aunque recibe agua de otras lagunas, es considerado el punto de confluencia de la mayoría de los humedales de la zona (Izurieta, 2007, pp.8-9).

1.3.6. Muestreo de Aguas

El muestreo de agua para análisis subsiguiente se considera a menudo algo más fácil que el muestreo de, por ejemplo, suelos por dos razones principales:

- El agua tiende a ser más homogénea que los suelos, hay menos variabilidad de punto a punto entre dos muestras recolectadas dentro del en la misma vecindad.
- A menudo es físicamente más fácil recolectar muestras de agua porque se puede hacer con bombas y mangueras.
- Se pueden recolectar volúmenes conocidos de agua de profundidades conocidas con relativa facilidad (Barreto Sáenz et al., 2009: pp.5-7).

1.3.7. Aspectos Generales sobre los Muestreos

1.3.7.1. Representatividad de una Muestra

Los flujos u corrientes de aguas varían en su composición de tal manera no pueden encontrarse uniformemente mezcladas al momento de tomar la muestra en un lugar determinado, en muchos casos existirán dificultades al seleccionar puntos adecuados, por esto es fundamental el conocimiento de las actividades cotidianas proporcionándonos una visión clara sobre el comportamiento de la calidad del agua (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

1.3.7.2. Técnicas de Muestreo

Al momento de seleccionar una técnica apropiada para la investigación no necesariamente esta debe ser sofisticada, en ciertos casos al emplear instrumental y equipos complicados únicamente mejorará una pequeña fracción en cuanto a la precisión del resultado, solo el conocimiento de los equipos que se encuentren a disposición y la forma de tomar y manipular la muestra dependerá el éxito del investigador (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

1.3.7.3. Preservación de Muestras

Hay que tomar en consideración el tiempo que transcurre desde que se toma la muestra debido a que pueden existir diversos tipos de reacciones de carácter físico, químico o biológico existiendo una variación en los resultados en ciertos parámetros como por ejemplo Coliformes fecales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, etc. Para evitar esto es recomendable almacenar las muestras en recipientes portátiles añadiendo soluciones de carácter ácidas (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

1.3.7.4. Análisis de los Resultados

En cuando a los resultados es una de las etapas fundamentales ya que posteriormente estos nos ayudaran en la toma de decisiones dentro de la investigación. Es recomendable realizar una revisión exhaustiva de todos los datos reportados al laboratorio desde la etapa preliminar del muestreo (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

Tabla 3-1: Datos para la Recolección de Muestras

Localización donde se realiza
Sitio preciso de recolección
Origen de la muestra
Fecha y hora
Tipo de muestra (sea simple o compuesta)
Datos in-situ medidos en el sitio (<i>pH</i> , conductividad, <i>OD</i>)
Observaciones (olor, color, etc.)
Nombre del responsable de la toma de muestra

Fuente: Ruiz, 2015.

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

1.3.8. Tipos de Muestras

1.3.8.1. Muestra Simple

Es una muestra única recogida en un recipiente individual, la muestra es representativa solo en el momento y lugar en que se tomó la muestra. El período de tiempo se define generalmente en menos de 15 minutos. Por tanto, las muestras discretas son apropiadas cuando la composición de la muestra no depende del tiempo (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

1.3.8.2. Muestra Compuesta

Una muestra compuesta consiste en una colección de numerosas muestras individuales discretas tomadas a intervalos regulares durante un período de tiempo, generalmente 24 horas (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

1.3.9. Tipos de Muestreo

1.3.9.1. Muestreo Manual

Se recomienda que lo use cuando tenga lugares de fácil acceso, estas ubicaciones solo se pueden determinar después de que una visita al sitio y se haya identificado el punto de descarga, la parte o la ubicación donde la geometría del arroyo ha cambiado significativamente, la ventaja del muestreo manual es que permite a la persona que toma la muestra notar cualquier característica especial de la muestra o corregir inmediatamente cualquier defecto que pueda ocurrir, por tanto, el muestreo manual facilita la apreciación de sustancias flotantes, cambios de color y olores (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

1.3.9.2. Muestreo Automático

Cuando se recolectan muestras compuestas que tardan varias horas en formarse, o cuando los puntos de muestreo son de difícil acceso, se recomienda el muestreo automático, la ventaja de utilizar este tipo de muestreos es que ahorran mano de obra y son más precisos, aunque requieren una inspección continua para evitar obstrucciones y otros fallos de funcionamiento (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

1.3.10. Parámetros Físicos del Agua

1.3.10.1. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica del agua es una medida de la capacidad de una solución para transportar o conducir una corriente eléctrica, dado que la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, la conductividad aumenta a medida que aumenta la concentración de iones (Solís Castro et al., 2018: pp.3-4).

1.3.10.2. Sólidos

Los sólidos se encuentran en el agua en solución o en suspensión, estos dos tipos de sólidos se pueden identificar utilizando un filtro de fibra de vidrio por el que pasa la muestra de agua. Por definición, los sólidos en suspensión se retienen en la parte superior del filtro y los sólidos disueltos pasan a través del filtro con el agua (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

1.3.10.3. Turbidez

Es una medida de la capacidad de la luz para atravesar el agua. Es causada por material en suspensión como arcilla, limo, material orgánico, plancton y otros materiales particulados en el agua, entre las más importantes se puede mencionar la erosión producida de forma natural en las cuencas, y la contaminación de carácter antropogénico (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

1.3.10.4. Temperatura

La temperatura influye en el sabor, la viscosidad, la solubilidad, el olor y las reacciones químicas, por tanto, los procesos de sedimentación y cloración y la demanda biológica de oxígeno (DBO) dependen de la temperatura, también afecta el proceso de biosorción de los metales pesados disueltos en el agua. La mayoría de las personas encuentran más apetecible el agua a temperaturas de 10 a 15 °C. Los materiales en descomposición de la materia orgánica, es decir, la vegetación y la materia inorgánica, como la tierra, las piedras y las rocas, imparten color al agua, lo que es objetable por razones estéticas, no por razones de salud (Vives De Andréis, 2003, p.21).

1.3.10.5. Color

El color está ligado de forma directa por sustancias disueltas y coloides presentes en el área de estudio y también de metales como por ejemplo el hierro y magnesio, es expresado en unidades de platino-cobalto obtenido mediante colorímetros (Sierra et al., 2011: pp.27-28).

1.3.11. Parámetros Químicos del Agua

1.3.11.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Las bacterias y otros microorganismos utilizan sustancias orgánicas como alimento, a medida que metabolizan el material orgánico, consumen oxígeno. La materia orgánica se descompone en compuestos más simples, como CO₂ y H₂O, y los microorganismos utilizan la energía liberada para su crecimiento y reproducción (Vives De Andréis, 2003, p.21).

1.3.11.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es un parámetro que mide todos los compuestos orgánicos: las sustancias biodegradables y no biodegradables, es una prueba química que utiliza productos químicos oxidantes fuertes (dicromato de potasio), ácido sulfúrico y calor, y el resultado puede

estar disponible en solo 2 horas, los valores de DQO son siempre superiores a los valores de DBO para la misma muestra (Vives De Andrés, 2003, p.21).

1.3.11.3. Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto se considera uno de los parámetros más importantes de la calidad del agua en arroyos, ríos y lagos, es una prueba clave de la contaminación del agua, cuanto mayor sea la concentración de oxígeno disuelto, mejor será la calidad del agua (Vives De Andrés, 2003, p.21).

1.3.11.4. pH

El pH es uno de los parámetros más importantes de la calidad del agua, se conoce como el logaritmo negativo de la concentración de iones H^+ , al poseer valores establecidos sin dimensiones indicándonos la naturaleza de la solución ya sea de carácter ácido o básico, el agua ácida contiene iones de hidrógeno H^+ y el agua básica contiene iones de hidroxilo OH^- (Vives De Andrés, 2003, p.21).

1.3.11.5. Sulfatos

Los iones de sulfato se encuentran en el agua natural y en las aguas residuales, la alta concentración de sulfato en el agua natural generalmente es causada por la lixiviación de depósitos naturales de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, si se consumen altas concentraciones en el agua potable, puede haber sabores desagradables o efectos laxantes no deseados. La concentración de este ion tanto en la lluvia como el agua superficial se encuentra entre 1 -3.8 mg/l además estos niveles de concentración se correlacionan con las distintas emisiones de SO_2 que son provocados por actividades antrópicas. Las concentraciones de sulfatos que superan los 200 mg/l causan corrosión de metales además de causar un cambio en el sabor del agua, en el cuerpo humano provoca deshidratación provocando daños más severos a adultos mayores y niños (Bolaños Alfaro et al., 2017: pp.3-4).

1.3.11.6. Fosfatos

Este ion se forma mediante el fósforo inorgánico presente como mineral, también se lo puede encontrar en cuerpos acuáticos como pequeños fragmentos y en el agua de lluvia que posteriormente se depositará en el suelo. Sin embargo, al existir una excesiva cantidad de este ion se observará un desmesuro aumento de algas, reduciendo la cantidad de oxígeno que llevará a la producción excesiva de material orgánica viva que finalmente terminará con un proceso de eutrofización (Bolaños Alfaro et al., 2017: pp.3-4).

1.3.11.7. Nitritos y Nitratos

Son un tipo de compuestos que están formados por oxígeno y nitrógeno, por lo general el nitrito se convierte en nitrato de una manera sencilla en la naturaleza lo que hace que la forma nitrito no sea habitual en aguas de tipo subterráneas. Estos compuestos se encuentran de forma natural en el ciclo del nitrógeno, sin embargo, las actividades antropogénicas hacen que sus concentraciones incrementen principalmente en el suelo gracias a la solubilidad que se produce en el agua. Existen dos tipos de contaminación que generan la introducción de compuestos nitrogenados hacia cuerpos de agua, la primera se lleva a cabo a través de actividades industriales, ganaderas, lixiviados, mientras que la segunda opción la actividad agronómica es el principal problema (Bolaños Alfaro et al., 2017: pp.3-4).

1.3.12. Parámetros Microbiológicos del Agua

1.3.12.1. Coliformes Fecales

Es considerado un indicador de contaminación debido a su gran diversidad en términos de especie y de género, entre los más distinguidos y utilizados como indicadores son coliformes totales y termo tolerantes *Escherichia coli* y enterococos (Larrea Murrell et al., 2012). Para (Sierra et al., 2011: pp.27-28) el grupo de coliformes no es considerado de tipo patógeno (al encontrarse en menor concentración) al encontrarse en el intestino tanto del hombre como de los animales. Los grupos coliforme al encontrarse en mayor proporción y vivir más tiempo que los organismos patógenos, siendo la principal razón para realizar sus análisis de inmediato a su recolección.

1.4. Marco Legal

La base legal que acompaña la presente investigación es la Constitución de la República del Ecuador en sus artículos 12, 66, 318 que nos dicen el derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable, el agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, el derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua, vivienda, saneamiento ambiental, prohibiendo toda forma de privatización del agua (CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2008, pp.12-160).

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos establece que la planificación hídrica se orientará a la satisfacción de las demandas de agua y a la protección del recurso y de los ecosistemas en los que ésta se encuentra, igualmente servirá para el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando

su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio y los recursos naturales
(SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA, 2015)

Finalmente, el acuerdo no. 097-A reforma del Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria contempla la evaluación y control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores, dichos lineamientos se encuentran detallados en el Anexo I de la normativa
(MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Características e identificación de la zona de estudio

2.1.1. Descripción General

El Parque Nacional Llanganates, fundado alrededor de los años 1990, está localizado en la zona céntrica del país entre las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Napo y Pastaza. Alrededor del 90 por ciento se encuentra dividida entre las provincias de Tungurahua y Napo dando origen a numerosos sistemas hídricos que posteriormente forman los gigantescos ríos de Pastaza y Napo afluente del Amazonas. El Parque Nacional Llanganates integra un área protegida de mucha importancia al poseer una gran biodiversidad (Ortíz et al., 2000: pp.5-7).

El agua es un factor que caracteriza a los Llanganates, gracias a su alta precipitación, neblina, lagunas, pantanos, etc. Toda el área está conformada por diversas vertientes que dan paso a las cuencas hidrográficas, estas incluyen cerca de 80 lagunas ubicadas en páramos a los 3400 m.s.n.m., las más destacadas se localizan en el sector de Pisayambo y los páramos que conducen a Salcedo y el Tena, los demás humedales se encuentran situados en el trayecto de la cordillera que forma el Llanganates (Endara et al., 2013).

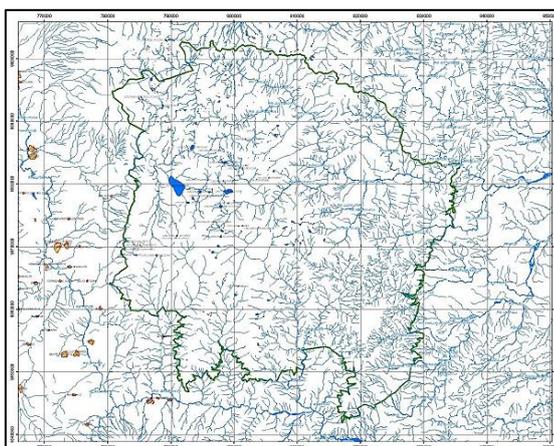


Figura 1-2. Red hídrica PNL

Fuente: (Endara et al., 2013)

La zona de Pisayambo, el área de estudio se encuentra localizada en las inmediaciones de la laguna, en la parroquia San José de Poaló, cantón Píllaro, provincia de Tungurahua con coordenadas 01° 06'25" S y 78° 22' 04" O, a una altura de 3576 m.s.n.m., donde se encuentran las microcuencas Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag que en conjunto forman el Rio Yanayacu. Su temperatura oscila entre los 2 y 22 °C (Ortíz et al., 2000: pp.5-7).

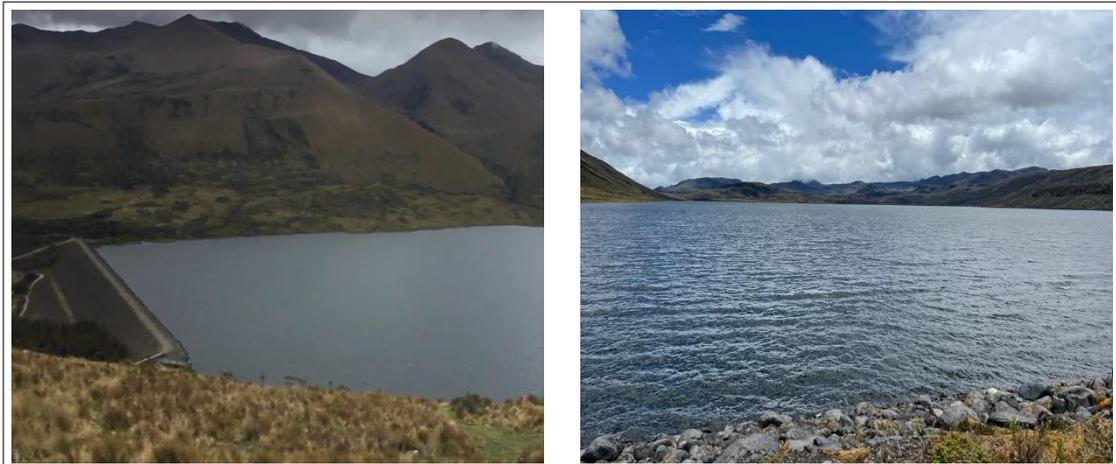


Figura 2-2. Complejo Pisayambo

Realizado por: Guaminga, I.; Terán, D. 2022

Esta forma característica se encuentra retenida por un embalse de carácter artificial cuyo objetivo principal es la generación de energía llevada a cabo por la existencia de una central hidroeléctrica localizada en el perímetro del parque, posteriormente el agua regresa a la microcuenca Chagrasacha para ser utilizada para consumo y riego agrícola por sectores aledaños (López, 2019).



Figura 3-2. Red Hídrica de Pisayambo – Parque Nacional Llanganates

Realizado por: Guaminga, I.; Terán, D. 2022

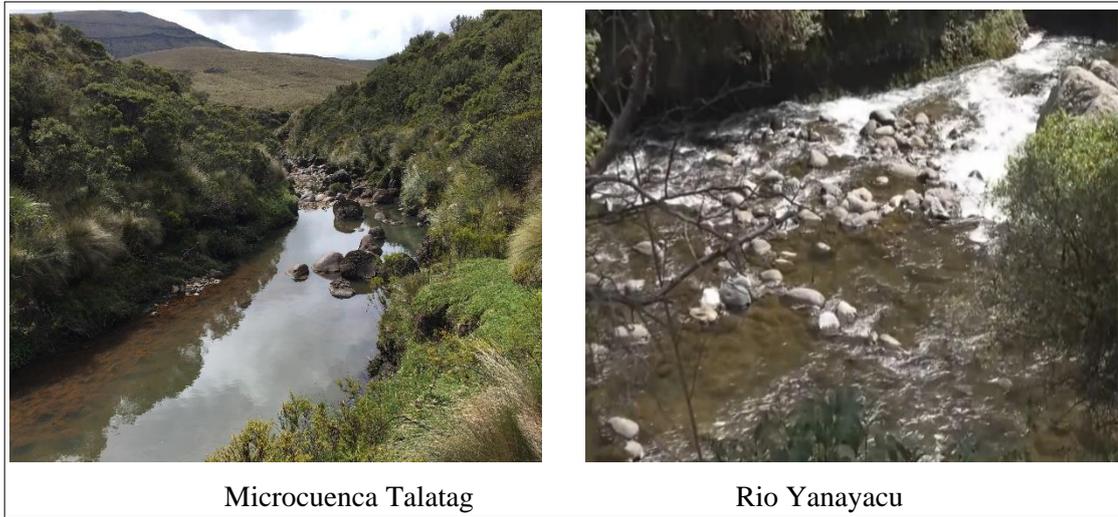


Figura 4-2. Red Hídrica de Pisayambo – Parque Nacional Llanganates

Realizado por: Guaminga, I.; Terán, D. 2022

2.2. Ubicación Geográfica

La red hídrica del sector Pisayambo se encuentra localizado en la zona 17 de América del sur, con coordenadas UTM WGS84 " 798640 - 9880127"

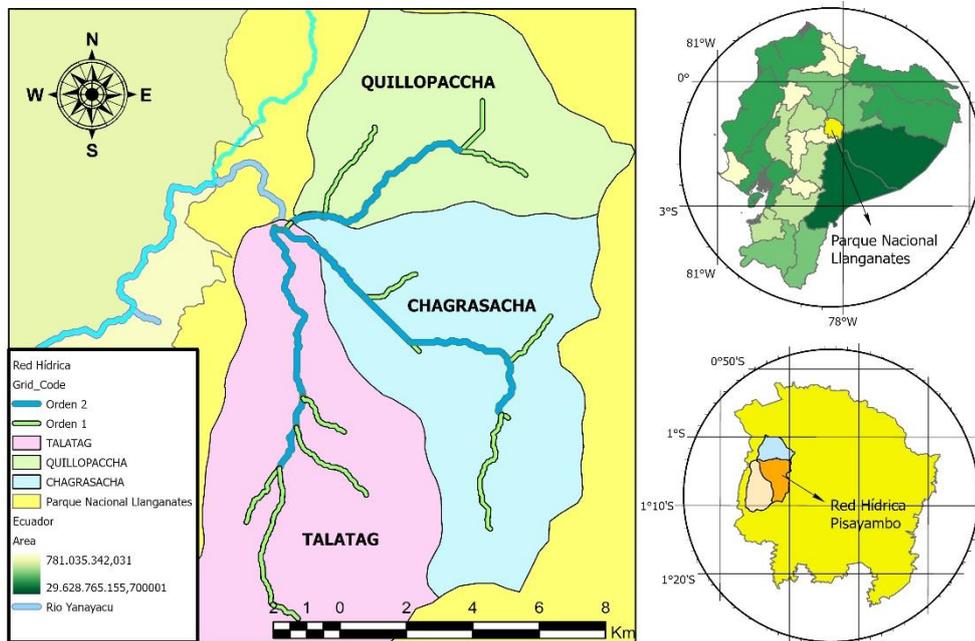


Figura 5-2. Ubicación Geográfica de la Zona de Estudio

Realizado por: Guaminga, I.; Terán, D. 2022

2.3. Muestreo

Tomando en consideración que El Parque Nacional Llanganates es un área protegida, como parte preliminar antes de dar inicio a las campañas de muestreo se realizó el procedimiento para la obtención de permisos para la investigación en el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) con el nombre del proyecto general "Los sistemas lacustres del centro del Ecuador como fuentes o sumideros de dióxido de carbono como determinante para su conservación". Una vez obtenido la autorización se procedió con el muestreo procurando mantener la integridad ecológica de las zonas seleccionadas evitando generar algún perjuicio a la flora y fauna.

2.3.1. Determinación de los puntos de muestreo

Al momento de la selección del lugar óptimo y el número de puntos de muestreo se previó a una visita preliminar, con el propósito de realizar un sondeo, análisis y verificar las condiciones y factores determinantes durante la toma de muestras.

Los puntos de recolección de las muestras de agua fueron seleccionados tomando en consideración con las características de la red hídrica, lo que significa que las muestras no deben recibir influencias de afluentes, no deben tomarse las muestras cerca de la orilla, o algún factor que cambien o altere las condiciones al momento de realizar la toma.

Otro de los aspectos que fueron considerados al momento de seleccionar los puntos de muestreo fueron que estos debían presentar accesibilidad en cuanto a: acceso a través de vehículos, transporte de las muestras hacia el laboratorio y movilidad tanto de materiales como equipos con la intensidad de reducir cualquier tipo de accidente antes, durante y después del muestreo.

Tomando en consideración todo lo descrito anteriormente se consideró la toma de 7 puntos de muestreo, de los cuales 2 puntos fueron asignados a cada microcuenca, estos fueron colocados en las intersecciones de formación de la red hídrica de segundo orden, finalmente se consideró un punto en la unión de los tres tramos Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag que en conjunto alimentan al Río Yanayacu, cubriendo así todos los sitios de la zona de estudio.

Los puntos de muestreo se los puede visualizar en el siguiente gráfico:

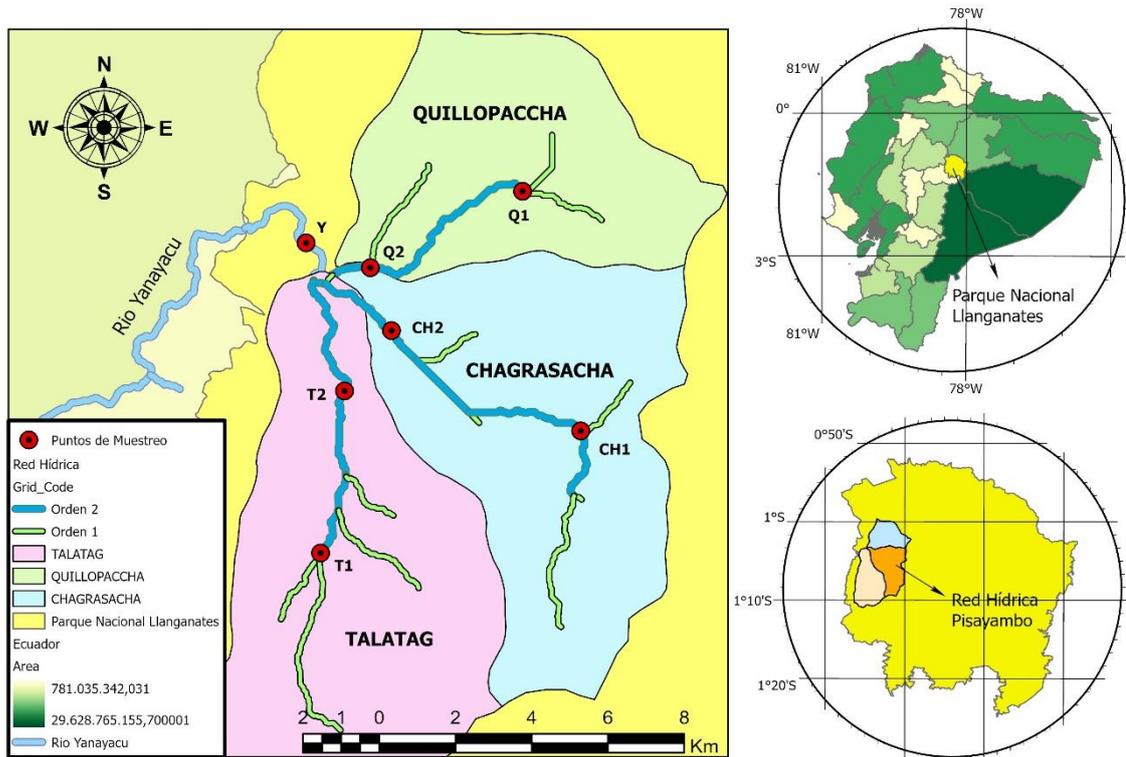


Figura 6-2. Ubicación de los Puntos de Muestreo

Realizado por: Guaminga, I.; Terán, D. 2022

A continuación, se enlistan los puntos de muestreo de cada microcuenca con sus respectivas coordenadas:

Tabla 1-2: Coordenadas de los puntos de muestreo

Microcuenca	Punto	COORDENADAS Proyección UTM WGS 84 ZONA 17 SUR	
		X	Y
Chagrasacha	CH ₁	794540	9879035
	CH ₂	789528	9881175
Quillopaccha	Q ₁	792820	9885184
	Q ₂	788851	9883172
Talatag	T ₁	787027	9873026
	T ₂	787936	9880510
Yanayacu	Y	785451	9884201

Realizado por: Guaminga, I.; Terán, D. 2022

2.3.2. Tipo de Muestra

De acuerdo con los objetivos establecidos en la presente investigación se procedió con la toma de muestras puntuales que consistió en la extracción de volúmenes en los diferentes cuerpos de agua seleccionados, siguiendo con los lineamientos y pautas establecidos en la Norma Técnica INEN 21-76:2013 Calidad del Agua y Técnicas de Muestreo.

2.3.3. Frecuencia

Se efectuó un muestreo mensual en los puntos del área de estudio, para obtener una mayor representatividad de la calidad de las microcuencas las muestras fueron tomadas durante el periodo diciembre 2021 - marzo 2022, tratando de abarcar épocas de invierno y verano considerando además los meses de diciembre y enero como meses representativos de la época invernal, siendo febrero el mes de transición y marzo como mes representativo de la época de verano.

2.4. Toma, identificación y conservación de muestras

2.4.1. Toma de las muestras

Para la toma de muestras, parámetros in situ y análisis complementarios:

- Se realizaron a través de la recolección de muestras puntuales, midiendo el nivel de agua en el punto de muestreo de cada microcuenca.
- Se ingreso la botella ámbar de un litro completamente abierta en la microcuenca evitando el ingreso de algún tipo de sedimentos, llenándola al ras evitando la formación de burbujas.
- Inmediatamente se extrajo una muestra de cada microcuenca, se trasvaso hacia una cubeta limpia y se introdujo 2 sondas del multiparámetro, finalmente se reportaron los valores de medición de cada parámetro: temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, pH.

2.4.2. Identificación de la muestra

Cada botella ámbar con las muestras de agua fueron colocadas etiquetas con la siguiente información:

 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL 		
Microcuenca:		Punto 1 (Parte Superior)
Fecha:		
Hora:		
Temperatura:		
Responsables:	Israel Guaminga Solange Terán	

Figura 7-2. Identificación de las muestras

Realizado por: Guaminga, I.; Terán, D. 2022

2.4.3. *Conservación y transporte de las muestras*

Las muestras recolectadas fueron transportadas en un cooler, conservándolas a 4 °C, para los 3 primeros muestreos no se requirió preservantes ya que los análisis se lo realizaron dentro de las 24 horas posterior a la toma de muestras, sin embargo, para el último muestreo se realizó la toma de una muestra, adicional por cada punto donde se le adicionó ácido nítrico como conservante.

Tabla 2-2: Métodos utilizados para medición de parámetros In situ

Parámetro	Método
Muestreo, toma, recolección e identificación de muestras	NTE INEN 2226 – 2013 - campañas de muestreo NTE INEN 2169 - 2013 – Conservación y Manejo de muestras
Oxígeno Disuelto	Standar Methods 23rd Edition 2017 - 4500-O G
pH	Standar Methods 23rd Edition 2017 - 4500-H+B
Temperatura	Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos
Sólidos Disueltos Totales	Standard Methods, Ed. 23. 2017 2510 B
Conductividad eléctrica	Standar Methods 23rd Edition 2017 - 2510 B

Realizado por: Guaminga, I.; Terán, D. 2022

2.5. **Materiales y Métodos**

2.5.1. *Materiales para la determinación del caudal*

Tabla 3-2: Materiales para la determinación del caudal

Material	Parámetro	Sitio de análisis
Flexómetro	Caudal	In Situ
Estacas		
Cuerda		
Flotador		
Cronómetro		

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

Tabla 4-2: Materiales para análisis de muestras

Materiales	Parámetro	Sitio de análisis
Botellas Ámbar de 500 y 100 ml	Almacenamiento de muestras	-
Frasco Winkler	Oxígeno Disuelto	Laboratorio
Cooler	Almacenamiento y transporte	-
Vaso de Precipitación 100 ml	Parámetros fisicoquímicos	Laboratorio
Micropipetas		
Probetas		
Matriz Erlenmeyer, papel aluminio		
Cinta adhesiva		
Rotulador		
Gradillas y tubos de ensayo		
Piseta		
Celda de colorímetro		
Celda de cuarzo para UV		

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022

Tabla 5-2: Equipos para análisis de muestras

Equipo	Parámetro	Sitio de análisis
Medidor Multiparamétrico	pH, temperatura, conductividad eléctrica	In situ
Frascos Oxytop	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Laboratorio
Colorímetro	Nitritos y nitratos	
Espectrofotómetro	Fosfatos y Sulfatos	
Bomba de vacío	Cationes	
Estufa	Coliformes	

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022

Tabla 6-2: Reactivos para análisis de muestras

Reactivos		Sitio de análisis
Agua destilada	Análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y cationes	Laboratorio
Reactivos hanna para nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos		
Agua ultrapura		
Agua de peptona		
Agar brilliant green bile		
Ácido Nítrico		

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

2.6. Medición de parámetros morfométricos

A partir de vectores de las 3 microcuencas otorgados por el Grupo de Investigación Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC), y el Modelo de elevación Digital obtenido mediante Earth Explorer se procedió con el desarrollo del mapa base, estos procesos se llevaron a cabo con la ayuda de ArcGIS Pro. Las características analizadas se presentan a continuación:

2.6.1. Características Morfométricas

Las características morfométricas consisten en una serie de parámetros físicos, de forma, relieve, de red hídrica, etc., que nos proporciona cada microcuenca. A continuación, se muestra los diferentes procedimientos utilizados para el cálculo de los parámetros:

2.6.1.1. Parámetros físicos de la cuenca

Para la determinación de los parámetros físicos: área, perímetro fueron calculados directamente a través de la tabla de atributos de cada microcuenca, mediante la herramienta Add file y Calculate Geometry. La longitud máxima de la cuenca y el ancho de la cuenca fueron determinados mediante la herramienta de medición (*Measure*).

2.6.1.2. Parámetros de forma de la cuenca

Para el índice de Gravelius se determinó empleando la siguiente ecuación:

$$Kc = \frac{P_{cuenca}}{2\pi \left(\frac{A_{cuenca}}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca (Km)

A = Área de la cuenca (Km²)

Para el factor de forma Kf se determinó a través de la relación propuesta por Gravelius, esta relación involucra el área de la cuenca y el perímetro de esta al cuadrado como se muestra a continuación:

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

El índice de alargamiento se lo analizo mediante la siguiente expresión:

$$\mathbf{IA} = \frac{L}{An}$$

Donde:

L= Longitud de la cuenca

An = Ancho de la cuenca

Finalmente, para el índice de asimetría fue utilizada la siguiente relación:

$$\mathbf{Ias} = \frac{Amayor}{Amenor}$$

Donde:

Ias= índice asimétrico (adimensional)

Amayor = Vertiente mayor en Km²

Amenor =Vertiente menor en Km²

2.6.1.3. Características de relieve de la cuenca

El análisis de la pendiente media de la cuenca se llevó a cabo con la herramienta SLOPE que se obtuvo a través del modelo de elevación digital, inmediatamente se evaluó la estadística media de la pendiente con la herramienta Zonal Statistics donde los datos de entrada fue la microcuenca de estudio y el Slope generado anteriormente.

El desnivel altitudinal se obtuvo a través de la diferencia de cotas en cada microcuenca lo que nos proporcionó un valor en unidades de m.s.n.m. Para la determinación de los centroides x, y, z fueron calculados directamente a través de la tabla de atributos de cada microcuenca, mediante la herramienta Add file y Calculate Geometry.

2.6.1.4. Parámetros de la red hídrica

La longitud del cauce principal se determinó mediante la red hídrica anteriormente establecida por Strahler. Finalmente, para la cota máxima y mínima fueron establecidos mediante el modelo de elevación digital donde se establecen las alturas mayores donde se encuentran la divisora de agua y la cota menor donde la microcuenca desemboca sus aguas.

2.6.1.5. Curva Hipsométrica

Para la construcción de la curva hipsométrica se realizó una clasificación al ráster de alturas del modelo de elevación digital mediante la herramienta Reclassify en 10 intervalos generando un archivo para las curvas.

Inmediatamente, se generó una estadística zonal a través de la caja de herramientas de Spatial Analyst Tools – Zonal Statistics as Table donde nos solicitó el modelo de elevación digital reclasificado y el modelo digital de elevaciones generados anteriormente, finalmente se obtuvo una base de datos donde nos permitió conocer el área entre las curvas para cada microcuenca.

Los resultados obtenidos en la base de datos fueron llevados hacia una hoja de cálculo donde se realizaron los respectivos gráficos. Mediante los campos "altura promedio" y "áreas acumuladas entre curvas" se procedió a realizar la curva hipsométrica de la cuenca.

2.7. Metodología para Determinar el Índice de Calidad ICA-NSF

En la determinación de índice de calidad del agua ICA-NSF se realizó en base a la expresión propuesta por Brown, que según la distinta bibliografía menciona que se debe realizar la suma ponderada lineal de los nueve sub índices, de acuerdo como se detalla en la siguiente ecuación:

$$ICA_{NSF} = \sum_{i=1}^9 (Subi * Wi)$$

Donde:

ICA_{NSF}: Índice de calidad del agua

W_i: Peso relativo asignado a cada variable ponderado entre 0 hasta 1

Sub_i: Subíndice del parámetro

Tabla 7-2: Pesos relativos -ICA NSF

i	Sub_i	W_i
1	Coliformes Fecales	0.15
2	pH	0.12
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos totales	0.08
9	Oxígeno disuelto	0.17

Fuente: (Ruiz y Sandoval 2015).

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

Según Brown & Barnwell (1987, pp.4-7), nos indica que cada una de las variables posee una curva modelada que correlaciona la concentración con la calidad de la misma, indicándonos que en base al resultado del parámetro (i) se obtuvo el valor del subíndice (Sub_i), valor que se obtiene de la curva a partir de la concentración de la variable específica ubicada en el eje X para su posterior determinación de la calidad en el eje Y conteniendo valores de 0 hasta 100.

2.7.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Si la DBO₅ es mayor a 30 mg/l el S₁ es igual a 2, si su valor posee un valor menor a 30 ml/L se identifica el valor en el eje X interpolando el valor en el eje Y, el valor hallado en el S₁ de la Demanda Bioquímica de Oxígeno posteriormente se procede a multiplicar su peso asignado por el índice de calidad (Brown et al., 1972: pp.4-7).

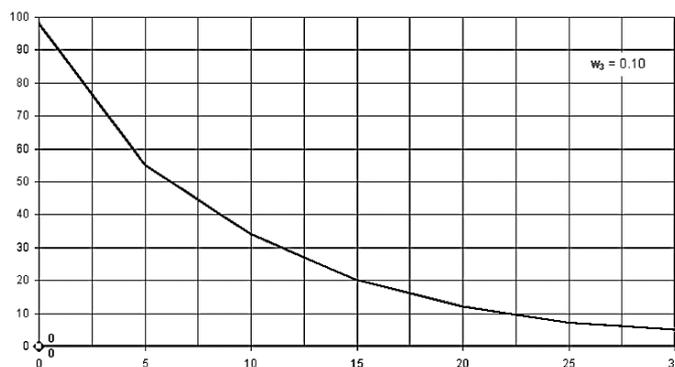


Figura 8-2. Evaluación del ICA en función de la DBO₅

Fuente: Navas Gallo, 2019, pp.6-14

2.7.2. Oxígeno Disuelto

El porcentaje de saturación del oxígeno disuelto es mayor a 140 % el S_2 tendrá un valor de 50, si el valor obtenido es menor al 140% de saturación de Oxígeno disuelto, identificar el valor en el eje X, posteriormente realizar una interpolación en el eje Y, El valor hallado es S_2 de OD que posteriormente se procedera a multiplicar por su peso (Brown et al., 1972: pp.4-7).

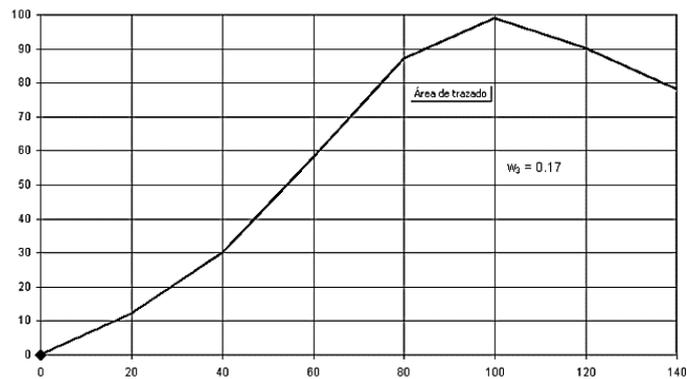


Figura 9-2. Evaluación del ICA en función del OD

Fuente: Navas Gallo, 2019, pp.6-14

2.7.3. pH

Si el valor de pH posee un valor menor o igual a 2 o mayor a 12 unidades el valor de S_3 tendrá un valor de cero, en el caso de que el valor este fuera de rango identificar el valor en el eje X, inmediatamente interpolar el valor en el eje Y, obteniendo el valor de S_3 de pH, finalmente multiplicando por su peso correspondiente (Brown et al., 1972: pp.4-7).

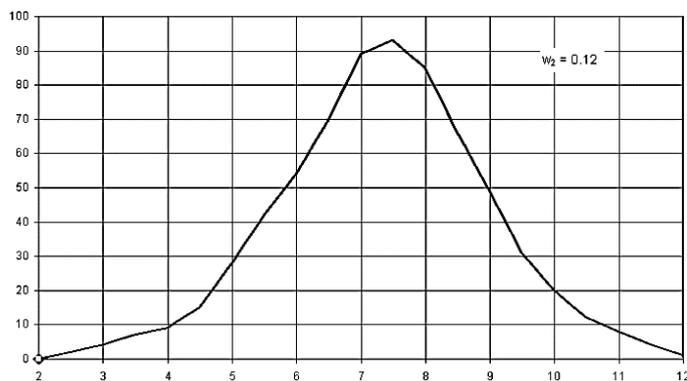


Figura 10-2. Evaluación del ICA en función del pH

Fuente: Navas Gallo, 2019, pp.6-14

2.7.4. Turbidez

Si el valor de la turbidez es mayor a 100 NTU, S_4 tendrá un valor de 5, si su valor adopta un valor menor a 100 NTU, se busca el valor en el eje X, posteriormente interpolando en el eje Y, el valor encontrado S_4 se lo multiplicará por su peso (Brown et al., 1972: pp.4-7).

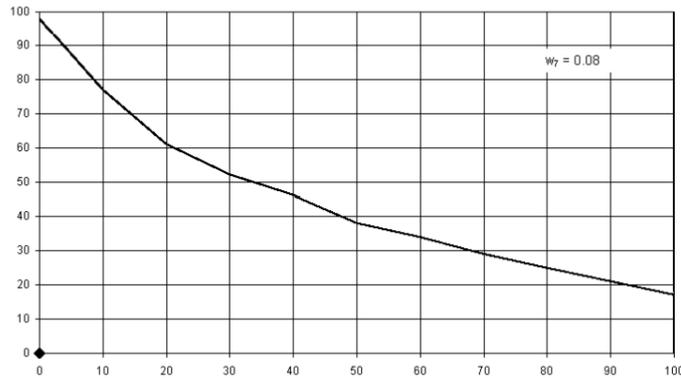


Figura 11-2. Evaluación del ICA en función de la turbidez

Fuente: Navas Gallo, 2019, pp.6-14

2.7.5. Fosfatos

Si el valor es mayor a 10 mg/l S_5 será igual a 2, de lo contrario si el valor es menor a 10 mg/l se buscará el valor en el eje X, interpolando hacia el eje Y, el valor encontrado S_5 se multiplicará por su peso asignado por el índice de calidad.

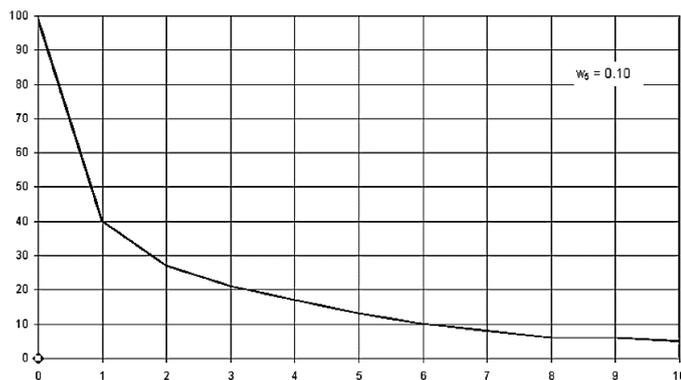


Figura 12-2. Evaluación del ICA en función de fosfatos

Fuente: Navas Gallo, 2019, pp.6-14

2.7.6. Nitratos

Si el valor es mayor a 100 mg/l, S_6 será igual a 1, de lo contrario si el valor es menor a 100 se procederá a buscar el valor en el eje X y de inmediato se interpolará en el eje Y, el valor hallado S_6 se multiplicará por su peso asignado (Brown et al., 1972: pp.4-7).

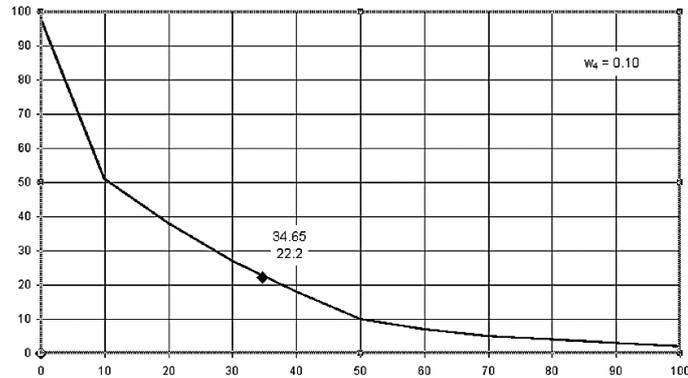


Figura 13-2. Evaluación del ICA en función de Nitratos

Fuente: Navas Gallo, 2019, pp.6-14

2.7.7. Temperatura

Para la temperatura S_7 se deberá realizar la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de la muestra, en el caso de que el valor de la diferencia sea mayor a 15 grados $^{\circ}\text{C}$ el valor S_7 será igual a 5, de lo contrario si el valor es menor a los 15 $^{\circ}\text{C}$ se buscará el valor en el eje X procediendo a interpolar en el eje Y, obtenido el valor S_7 se multiplicará por su peso asignado (Brown et al., 1972: pp.4-7).



Figura 14-2. Evaluación del ICA en función del ΔT

Fuente: Navas Gallo, 2019, pp.6-14

2.7.8. Coliformes Fecales

Si el valor de coliformes es mayor a 10^5 NMP/100 ml el valor de S_8 será igual a dos, caso contrario si el valor es menor a 10^5 NMP/100ml se procederá a buscar el valor en el eje X seguido se interpolara hacia el eje Y, el valor que se verifique S_8 se multiplicará por el peso asignado por el índice de calidad (Brown et al., 1972: pp.4-7).

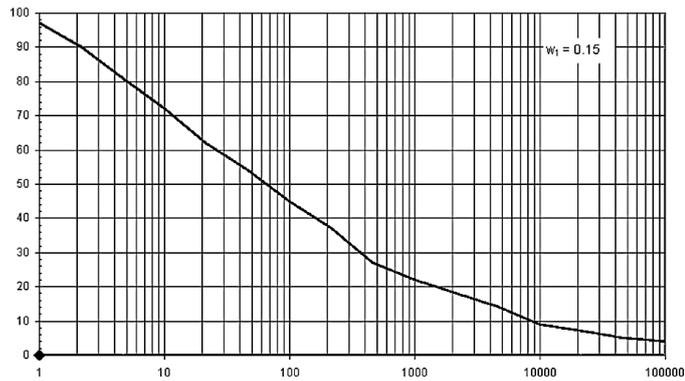


Figura 15-2. Evaluación del ICA en función de coliformes

Fuente: Navas Gallo, 2019, pp.6-14

2.7.9. Sólidos Disueltos Totales

Si su valor es mayor a 500 mg/l, S_9 tomará el valor de 20, caso contrario si es menor a 500 mg/l se procederá a buscar el valor en el eje X, de inmediato interpolando en el eje Y, el valor encontrado S_9 se multiplicará por su peso asignado por el índice de calidad (Brown et al., 1972: pp.4-7).

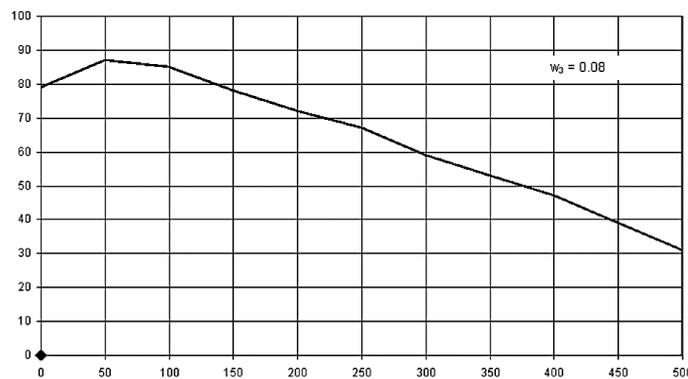


Figura 16-2. Evaluación del ICA en función de TDS

Fuente: Navas Gallo, 2019, pp.6-14

Encontrado los valores de cada parámetro, de inmediato se aplicará la fórmula respectiva para el cálculo del índice de calidad en cada punto de muestreo y clasificándolo de acuerdo a los resultados obtenidos en distintos tipos de rangos conforme lo establece el modelo NSF.

Tabla 8-2: Rangos de Calidad del Agua

Criterio de Calidad	Rangos
Excelente	91-100
Buena	71-90
Media	51-70
Mala	26-50
Muy mala	0-25

Fuente: Brown et al., 1972: pp.4-7

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

2.8. Metodología para la medición de caudales

Para el análisis de caudales se siguió el siguiente procedimiento:

- Se colocaron estacas cada 10 metros obteniendo un tramo de 30 metros en total, en cada uno de los puntos se colocó un hilo para tomar las medidas.
- En cada uno de los puntos marcados se procedió con la medición del ancho como la profundidad obteniendo así el área.
- Para la medición de la velocidad se utilizó un flotador que fue introducido en la trayectoria de 30 metros seleccionada anteriormente, obteniendo así el tiempo que le tomó en recorrer al flotador, que nos servirá para calcular la velocidad de cada caudal.
- Una vez obtenido el área y la velocidad se procedió con el cálculo del caudal para cada microcuenca.

2.9. Medición de parámetros en el laboratorio

2.9.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Para la determinación de la DBO₅ se procedió mediante el siguiente método:

- Con la ayuda de un vaso de precipitación y una pipeta se midió 365 ml de cada muestra, posteriormente se vertieron en cada frasco WTW Oxytop.
- Se colocaron los cabezales de medición a cada equipo, seguido se realizó la configuración del volumen y del tiempo de medición (5 días).
- Al quinto día se verificó y se registró los resultados.

2.9.2. Coliformes fecales

Para el análisis de coliformes fecales se siguió la siguiente metodología:

- Con una micropipeta estéril, se tomó 100 µL de la muestra de agua y se depositó en el centro de la placa Petri con el agar MacConkey nutritivo.
- Se tomó un asa Digrafsky estéril y se extendió la muestra sobre toda la superficie de la placa Petri. Se retiró el rastrillo una vez que la muestra quedó totalmente adherida al medio de cultivo.
- Se rotuló la placa de Petri inoculada indicando el nombre del grupo de trabajo.
- Se incubó a 35 ± 2 °C durante 24 horas.
- Se anotó las observaciones y se realizó el conteo de colonias.

2.9.3. *Nitratos*

Para el análisis de nitratos se siguió la siguiente metodología:

- Para la configuración del fotómetro, se seleccionó en número de programa acorde al parámetro a analizar, en este caso nitratos.
- Con la ayuda de la pipeta se seleccionó 6 ml de la muestra y se colocó en la cubeta del fotómetro, una vez lista y tapada se colocó la cubeta en el equipo para encerrarlo, dejándolo listo para la medición.
- Se procedió a retirar la cubeta y se colocó el reactivo correspondiente para nitratos.
- Con el reactivo en la cubeta se realizó la agitación de este durante 60 segundos cuidando de que no se formen burbujas de aire.
- Inmediatamente de la agitación se procedió a colocar la cubeta en el fotómetro, y se presionó el temporizador del equipo (4 min, 30 segundos) con el fin de que la muestra repose durante ese tiempo.
- Una vez finalizado el tiempo, se procedió a verificar y reportar el resultado.
- Debido a que el fotómetro muestra directamente la concentración en mg/L de nitrógeno se realizó una multiplicación por un factor de 4.43 para obtener el resultado en m/L de Nitrato.

2.9.4. *Nitritos*

Para el análisis de nitritos se siguió la siguiente metodología:

- Para la configuración del fotómetro, se seleccionó en número de programa acorde al parámetro a analizar, en este caso nitritos.
- Con la ayuda de la pipeta se seleccionó 10 ml de la muestra y se colocó en la cubeta del fotómetro, una vez lista y tapada se colocó la cubeta en el equipo para encerrarlo, dejándolo listo para la medición.
- Se procedió a retirar la cubeta y se colocó el reactivo correspondiente para nitritos (*NitriVer en polvo*).
- Con el reactivo en la cubeta se realizó la agitación de este durante 15 segundos cuidando de que no se formen burbujas de aire.
- Inmediatamente de la agitación se procedió a colocar la cubeta en el fotómetro, y se presionó el temporizador del equipo (6 min) con el fin de que la muestra repose durante ese tiempo.
- Una vez finalizado el tiempo, se procedió a verificar y reportar el resultado.

- Debido a que el fotómetro muestra directamente la concentración en mg/L de nitrógeno se realizó una multiplicación por un factor de 3.29 para obtener el resultado en m/L de Nitrito

2.9.5. Fosfatos

Para el análisis de fosfatos se siguió la siguiente metodología:

- Para la configuración del fotómetro, se seleccionó en número de programa acorde al parámetro a analizar, en este caso fosfatos.
- Con la ayuda de la pipeta se seleccionó 10 ml de la muestra y se colocó en la cubeta del fotómetro, una vez lista y tapada se colocó la cubeta en el equipo para encerrarlo, dejándolo listo para la medición.
- Se procedió a retirar la cubeta y se colocó el reactivo correspondiente para fosfatos.
- Con el reactivo en la cubeta se realizó la agitación de este durante 2 minutos cuidando de que no se formen burbujas de aire.
- Inmediatamente de la agitación se procedió a colocar la cubeta en el fotómetro, y se presionó el temporalizador del equipo (3 min) con el fin de que la muestra repose durante ese tiempo.
- Una vez finalizado el tiempo, se procedió a verificar y reportar el resultado.

2.9.6. Sulfatos

Para el análisis de sulfatos se siguió la siguiente metodología:

- Para la configuración del espectrofotómetro, se introdujo el número de onda acorde (466 nm) para el análisis de sulfatos.
- Con la ayuda de una micropipeta se tomó 10 ml de agua destilada, se colocó en la celda y se procedió a encerrar el equipo
- Inmediatamente con una pipeta se tomó 10 ml de cada muestra y se colocó en la celda del espectrofotómetro, una vez lista y tapada se colocó la celda en el equipo para nuevamente encerrarlo, en este caso con el agua de las muestras.
- Se procedió a retirar la celda y se colocó el reactivo correspondiente para sulfatos (*SulfVer en polvo*).
- Con el reactivo en la celda se realizó la agitación de este durante 60 segundos cuidando de que no se formen burbujas de aire.
- Inmediatamente de la agitación se procedió a tomar el tiempo (5 minutos) con el fin de que la muestra repose durante ese tiempo.
- Una vez finalizado el tiempo, se procedió a colocar la celda en el espectrofotómetro, a

continuación, se verificó y se reportó el resultado.

- Debido a que el espectrofotómetro muestra el resultado en Armstrong se realizó una conversión con la ayuda de una curva de calibración obteniendo así los resultados en mg/L de sulfatos.

2.10. Medición de cationes

2.10.1. Sodio

Para la medición del catión sodio se utilizó la siguiente metodología:

- Se realizó diluciones para cada una de las muestras en proporción 10:50
- Con la ayuda de una pipeta se tomó 10 ml de muestra y se aforó con 40 ml de agua ultrapura.
- Se procedió a etiquetar e inmediatamente fueron llevadas al espectrofotómetro de llama, verificando y reportando el resultado.

2.10.2. Potasio

Para la medición del catión potasio se utilizó la siguiente metodología:

- Se realizó diluciones para cada una de las muestras en proporción 10:50
- Con la ayuda de una pipeta se tomó 10 ml de muestra y se aforó con 40 ml de agua ultrapura.
- Se procedió a etiquetar e inmediatamente fueron llevadas al espectrofotómetro de llama, verificando y reportando el resultado.

2.10.3. Calcio

Para la medición del catión calcio se utilizó la siguiente metodología:

- Se realizó diluciones para cada una de las muestras en proporción 10:50
- Con la ayuda de una pipeta se tomó 10 ml de muestra y se aforó con 40 ml de agua ultrapura.
- Se procedió a etiquetar e inmediatamente fueron llevadas al espectrofotómetro de llama, verificando y reportando el resultado.

2.10.4. Magnesio

Para la medición del catión magnesio se utilizó la siguiente metodología:

- Se realizó diluciones para cada una de las muestras en proporción 10:50
- Con la ayuda de una pipeta se tomó 10 ml de muestra y se aforó con 40 ml de agua ultrapura.
- Se procedió a etiquetar e inmediatamente fueron llevadas al espectrofotómetro de llama, verificando y reportando el resultado.

2.10.5. Aluminio

Para la medición del catión aluminio se utilizó la siguiente metodología:

- Se realizó diluciones para cada una de las muestras en proporción 10:50
- Con la ayuda de una pipeta se tomó 10 ml de muestra y se aforó con 40 ml de agua ultrapura.
- Se procedió a etiquetar e inmediatamente fueron llevadas al espectrofotómetro de llama, verificando y reportando el resultado.

Tabla 9-2: Métodos empleados para el análisis de laboratorio

Parámetro	Método	Manual
DBO ₅	EPA Oxi Top por autocontrol	Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition
Coliformes fecales	Unidades Formadoras de Colonias - MacConkey	
Nitratos	Adaptación del método de reducción por cadmio	
Nitritos	Adaptación del método de Diazotización 354.1 de EPA	
Fosfatos	Adaptación del método ácido ascórbico	
Sulfatos	Precipitación del sulfato con cristales de cloruro de bario	
Cationes (Na, K, Ca, Mg, Al)	Espectrofotómetro de Llama	

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

2.11. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos se utilizó hojas de cálculo para llevar a cabo reportes, almacenamiento, análisis de datos y representación gráfica y RStudio para la representación gráfica de los parámetros analizados previamente.

Una vez realizado los respectivos análisis fisicoquímicos de acuerdo con la metodología anteriormente mencionada los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico descriptivo donde se determinará la Media, Mediana, Cuartiles, Mínimo y Máximo, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación.

Los datos obtenidos fueron representados en Diagramas de Caja; además se realizaron Análisis de Varianza Unifactorial (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias significativas entre los conjuntos de datos para cada parámetro estudiado.

Finalmente se efectuó el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, para establecer si los parámetros guardan relación entre ellos.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE DISCUSIÓN Y RESULTADOS

3.1. Resultados morfométricos correspondiente a la microcuenca Talatag

3.1.1. Morfometría para la Microcuenca Talatag

A continuación, se evidencian de manera general los resultados de los distintos parámetros calculados para la microcuenca Talatag:

3.1.1.1. Parámetros físicos de la cuenca

Tabla 1-3: Parámetros físicos

Área	Perímetro	Longitud máxima de la cuenca	Ancho de la cuenca
68.66 Km ²	45.34 km	13.90 km	7.38 Km

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

3.1.1.2. Parámetros de forma de la cuenca

Tabla 2-3: Parámetros de forma

Índice de Gravelius	Factor de forma	Índice de Alargamiento	Índice de Asimetría
1.54	0.35	1.88	1.49

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

3.1.1.3. Características de relieve de la cuenca

Tabla 3-3: Parámetros de relieve

Pendiente media de la cuenca	Desnivel Altitudinal	Centroide X	Centroide Y	Centroide Z
23.85 %	847 msnm	788351.08	9875094.68	0

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

3.1.1.4. Parámetros de la red hídrica

Tabla 4-3: Parámetros red hídrica

Longitud del cauce principal	Cota Máxima	Cota Mínima	Densidad de drenaje
18.84 km	4305 msnm	3458 msnm	0.29 km/km ²

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

La microcuenca Talatag posee un área de 68.66 Km², según (Vásconez et al., 2019: pp.17-18) las cuencas hidrográficas pueden ser clasificadas por su área, en este caso la presente unidad hidrográfica se considera como "microcuenca". Talatag posee un perímetro de 45.34 Km considerado un parámetro determinante para el cálculo de índices morfométricos.

Para el coeficiente de compacidad o índice de Gravelius su valor fue de 1.54 indicándonos que la microcuenca Talatag tiene una forma oval-oblonga a rectangular indicándonos su baja susceptibilidad a concentrar fuertes cantidades de volúmenes de agua de escurrimiento, para (Ibáñez Asensio et al., 2018: p.4), las microcuencas circulares poseen ciertas tendencias a concentrar fuertes cantidades de volúmenes de aguas de escurrimiento. Según (Ibáñez Asensio et al., 2018: p.4) si la cuenca posee una forma más circular los puntos limítrofes están más próximos al cause, por lo que existe una gran posibilidad de inundaciones.

El resultado del factor de forma 0.35 indicó que la microcuenca tiende a ser alargada por lo que no es propensa a presentar crecidas violentas con la presencia de lluvias intensas ya sea en una parte o en toda la superficie. El índice de alargamiento para esta microcuenca fue de 1.88 adoptando un sistema de drenaje capaz de absorber fácilmente las altas precipitaciones sin la generación de crecidas de grandes proporciones. En cuando al índice asimétrico que nos proporciona Talatag es 1.49 que según evidenciado que existe una mayor cantidad de afluentes hacia la vertiente izquierda.

Dentro de los parámetros de relieve de la cuenca podemos encontrar a la pendiente media, que para el caso de esta microcuenca nos dio un valor de 23.85 % fuertemente accidentado, para (Corporación Autónoma Regional del Quindío et al., 2008: pp.12-15) las cuencas que presentan pendientes fuertemente pronunciadas existe la posibilidad de la existencia de crecientes, en este caso el valor de Talatag no se encuentra dentro del rango de las cuencas con altos valores de pendiente al poseer un valor intermedio dentro de la clasificación de pendientes.

Para el valor del desnivel altitudinal el valor encontrado fue de 847 metros, según indica (Ibáñez Asensio et al., 2018: p.4) este parámetro es relacionado con la variabilidad tanto ecológica como climática, si la cuenca presenta mayor cantidad de pisos altitudinales, albergará en ella una gran variedad de ecosistemas por sus variaciones de temperatura y precipitación.

3.1.1.5. Curva Hipsométrica

Tabla 5-3: Construcción de la Curva Hipsométrica

N	Cota (msnm)			Área (km ²)			
	Mínimo	Máximo	Altura Promedio	Área entre intervalos	Acumulado	% Acum	% Área entre curvas
1	3500	3540	3520	1.23	68.73	100	1.8
2	3540	3580	3560	2.69	67.51	98	3.9
3	3580	3620	3600	9.95	64.81	94	14.5
4	3620	3660	3640	14.15	54.87	80	20.6
5	3660	3700	3680	10.38	40.72	59	15.1
6	3700	3740	3720	7.36	30.33	44	10.7
7	3740	3780	3760	9.20	22.97	33	13.4
8	3780	3820	3800	7.42	13.77	20	10.8
9	3820	3860	3840	5.46	6.36	9	7.9
10	3860	3900	3880	0.90	0.90	1	1.3
Total			3700.00	68.74			

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

A continuación, se muestra la Curva Hipsométrica & Frecuencia De Altitudes para la microcuenca Talatag:

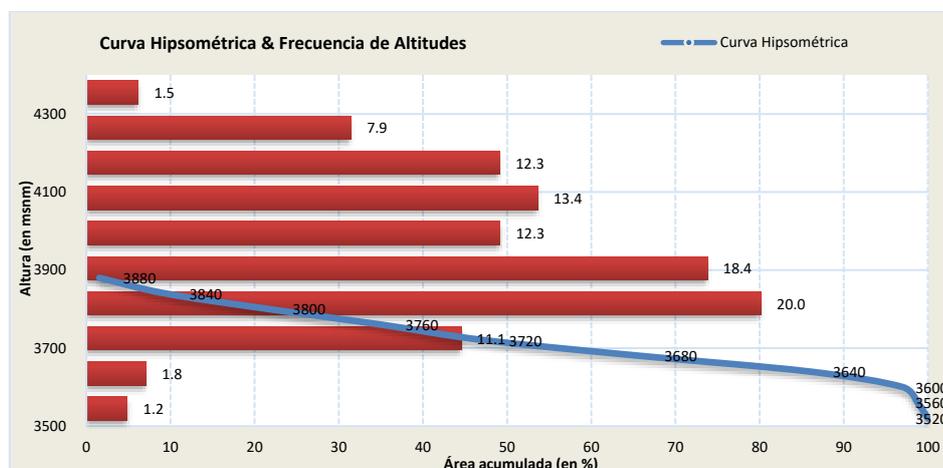


Gráfico 1-3. Curva Hipsométrica para la microcuenca Talatag

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La curva hipsométrica de la microcuenca Talatag mostrada en el Gráfico 1-3 al realizar la comparativa con las curvas propuestas por Strahler se puede inferir que esta microcuenca posee características de una fase joven porque se localizan en las vertientes de montaña, tienen pendientes altas, son irregulares y están en proceso de degradación.

3.2. Resultados morfométricos correspondiente a la microcuenca Talatag

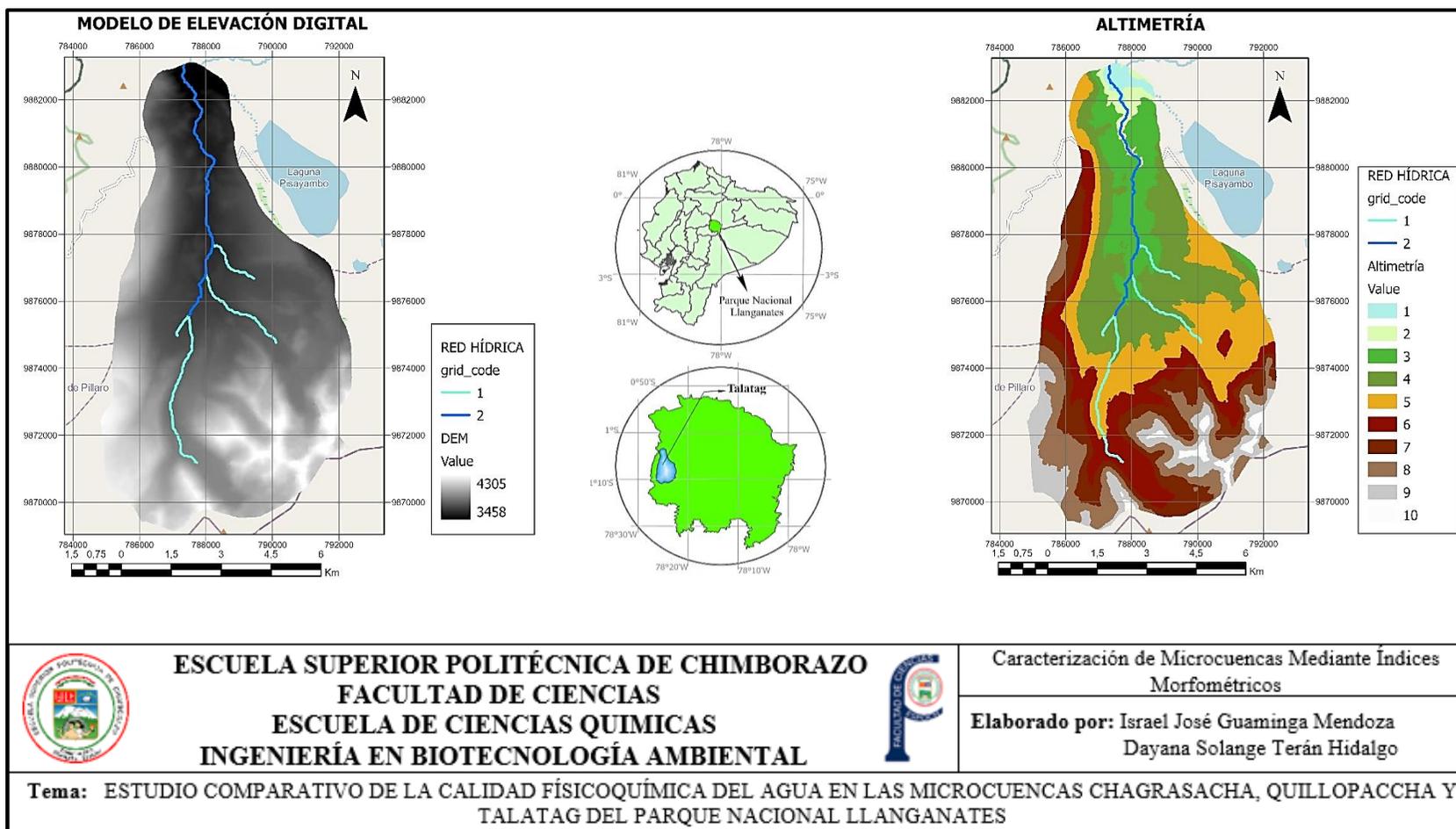


Figura 1-3. Modelo de Elevación Digital y Altimetría para la microcuenca Talatag

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022

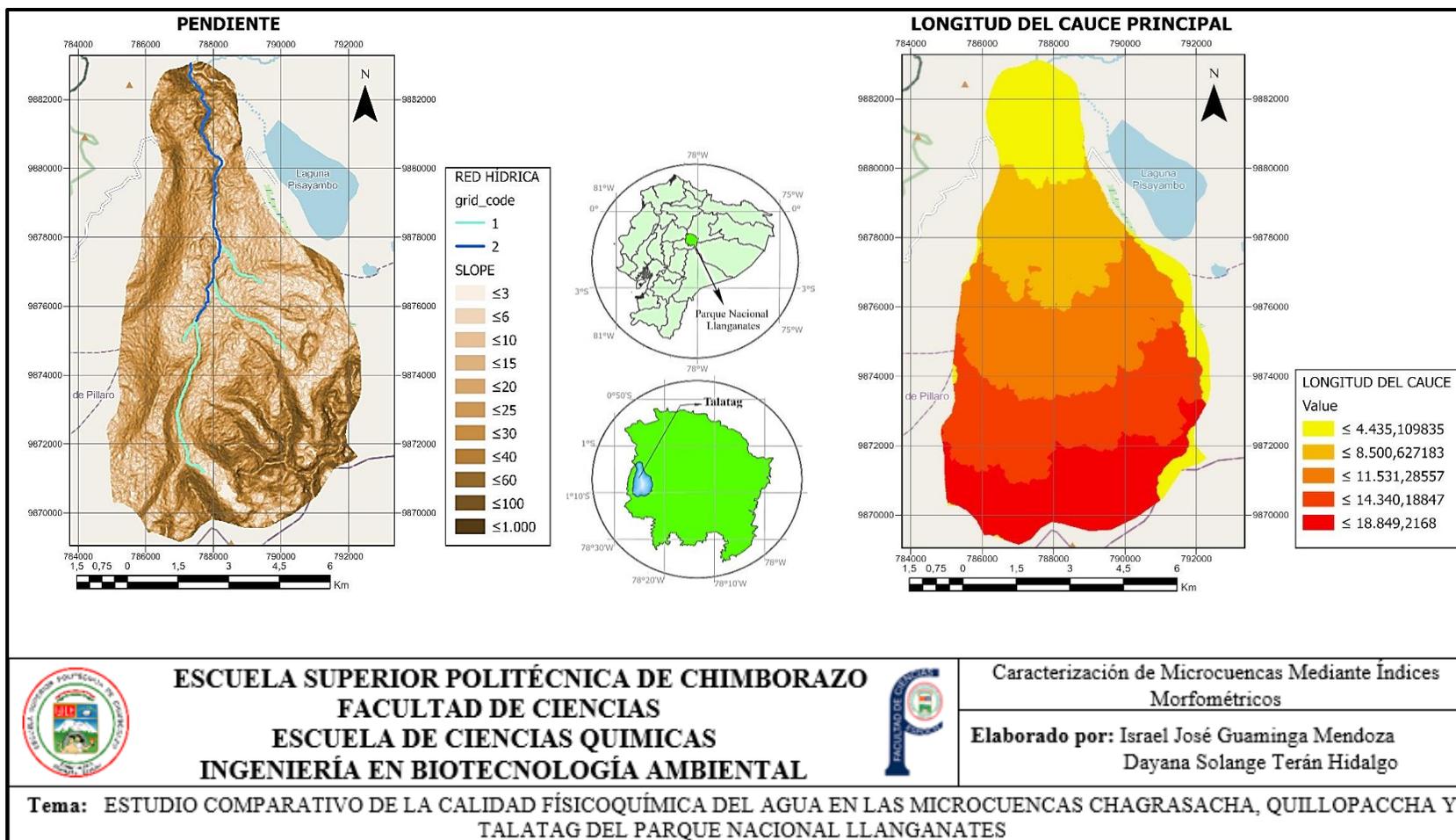


Figura 2-3. Mapa de pendientes y Longitud del Cauce Principal para la microcuenca Talatag

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022

3.3. Resultados morfométricos correspondientes a la microcuenca Quillocpaccha

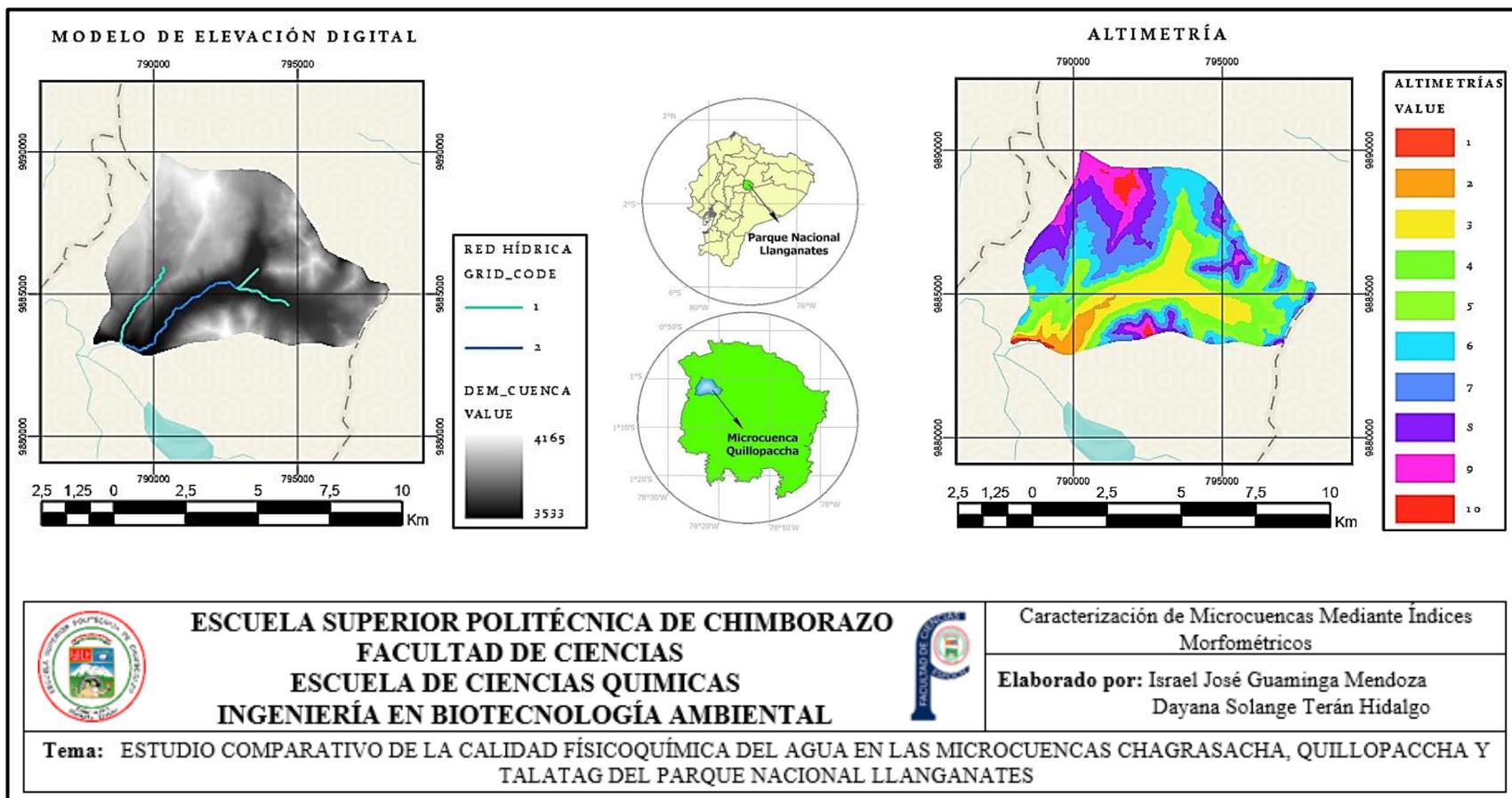


Figura 3-3. Modelo de elevación digital y altimetría para la microcuenca Quillocpaccha

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

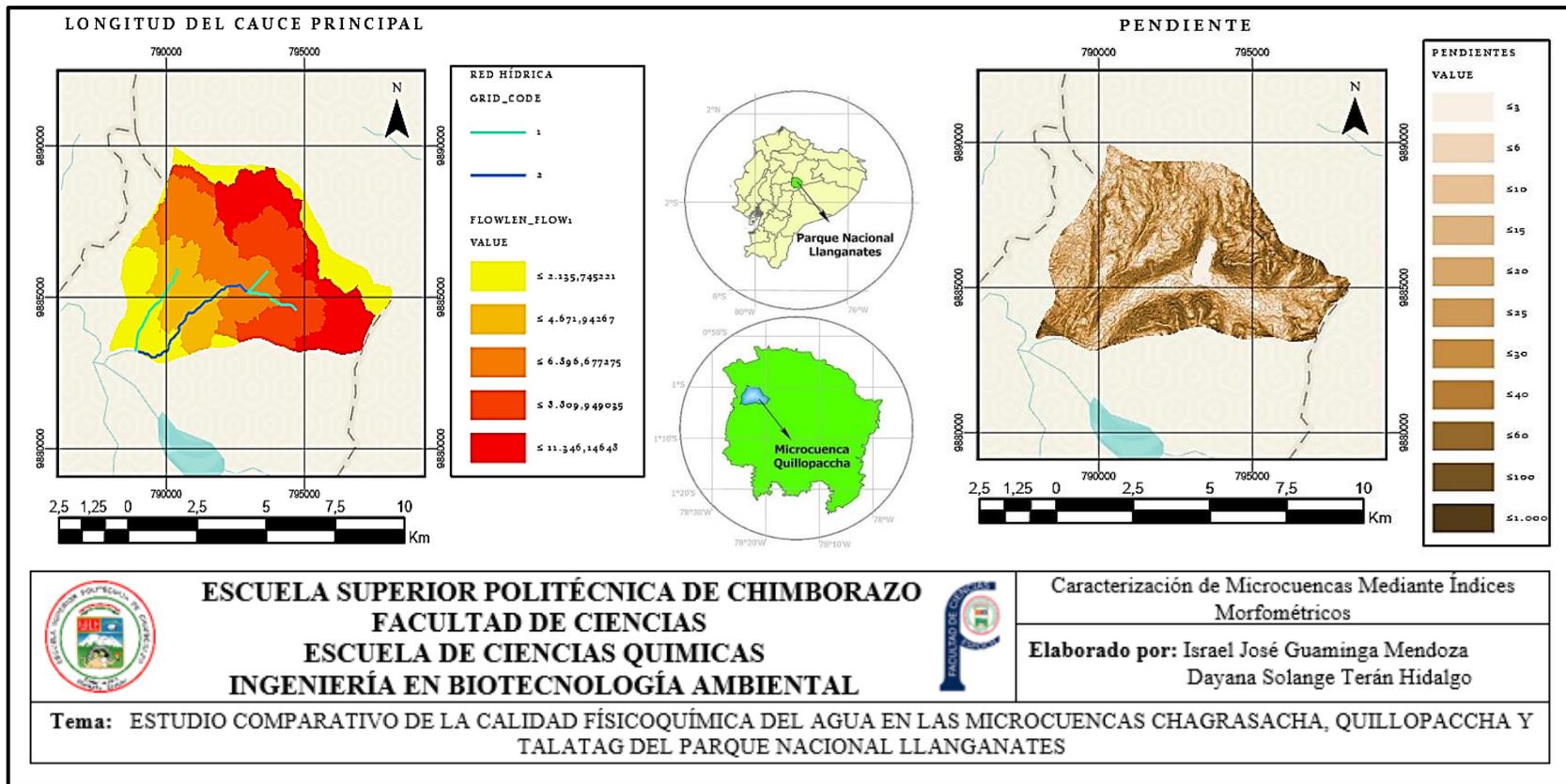


Figura 4-3. Longitud del cauce principal y Mapa de pendiente

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

3.3.1. Morfometría para la Microcuenca Quillopaccha

3.3.1.1. Parámetros físicos de la cuenca

Tabla 6-3: Parámetros físicos

Área	Perímetro	Longitud máxima de la cuenca	Ancho de la cuenca
45.89 Km ²	36.82 km	10.43 km	7.65 km

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

3.3.1.2. Parámetros de forma de la cuenca

Tabla 7-3: Parámetros de forma

Índice de Gravelius	Factor de forma	Índice de Alargamiento	Índice de Asimetría
1.53	0.33	1.36	1.68

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

3.3.1.3. Características de relieve de la cuenca

Tabla 8-3: Parámetros de relieve

Pendiente media de la cuenca	Desnivel Altitudinal	Centroide X	Centroide Y	Centroide Z
25.36%	632 m	792639.62	9885945.71	0

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

3.3.1.4. Parámetros de la red hídrica

Tabla 9-3: Parámetros red hídrica

Longitud del cauce principal	Cota Máxima	Cota Mínima	Densidad de Drenaje
11.34 km	4165 msnm	3533 msnm	0.26 km/km ²

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

La microcuenca Quillopaccha posee un área de 45.89 Km², para (Vásconez et al., 2019: p.17) las cuencas hidrográficas pueden ser clasificadas por su área, en este caso la presente unidad hidrográfica fue considerada como "cuenca pequeña". Quillopaccha posee un perímetro de 36.82 Km considerado un parámetro determinante para el cálculo de índices morfométricos.

Para el coeficiente de compacidad o índice de Gravelius su valor fue de 1.53 indicándonos que la microcuenca Quillopaccha tiene una forma oval- oblonga a rectangular indicando su baja susceptibilidad a las aguas de escurrimientos, para (Ibáñez Asensio et al., 2018: p.4), las microcuencas circulares poseen ciertas tendencias a concentrar fuertes cantidades de volúmenes de aguas de escurrimiento. Según (Ibáñez Asensio et al., 2018: p.4) si la cuenca posee una forma más circular los puntos limítrofes están más próximos al cause, por lo que existe una gran posibilidad de inundaciones.

El resultado del factor de forma 0.42 indicó que la microcuenca tiende a ser alargada por lo que no es propensa a presentar crecidas violentas con la presencia de lluvias intensas ya sea en una parte o en toda la superficie. El índice de alargamiento para esta microcuenca fue de 1.36 adoptando un sistema de drenaje capaz de absorber fácilmente las altas precipitaciones sin la generación de crecidas de grandes proporciones. En cuando al índice asimétrico que nos proporciona Quillopaccha es 1.68 que según evidenciado que existe una mayor cantidad de afluentes hacia la vertiente izquierda.

Dentro de los parámetros de relieve de la cuenca podemos encontrar a la pendiente media, que para el caso de esta microcuenca posee un valor de 25.36 % fuertemente accidentado, para (Corporación Autónoma Regional del Quindío et al., 2008: pp. 12-15) las cuencas que presentan pendientes pronunciadas existe la posibilidad de la existencia de crecientes, en este caso el valor de Quillopaccha no se encuentra dentro del rango de las cuencas con altos valores de pendiente al poseer un valor intermedio dentro de la clasificación de pendientes.

Para el valor del desnivel altitudinal el valor encontrado fue de 632 metros, según indica (Ibáñez Asensio et al., 2018: p.4) este parámetro es relacionado con la variabilidad tanto ecológica como climática, si la cuenca presenta mayor cantidad de pisos altitudinales, albergará en ella una gran variedad de ecosistemas por sus variaciones de temperatura y precipitación.

3.3.1.5. Curva Hipsométrica

Tabla 10-3: Construcción de la Curva Hipsométrica Quillopaccha

N	Cota (msnm)			Área (km ²)			
	Mínimo	Máximo	Altura Promedio	Área entre intervalos	Acumulado	% Acum	% Área entre curvas
1	3600	3650	3625	0,46	44,8	100,00	1,02
2	3650	3700	3675	6,02	44,4	98,98	13,43
3	3700	3750	3725	2,97	38,3	85,55	6,62
4	3750	3800	3775	5,75	35,4	78,93	12,83
5	3800	3850	3825	4,09	29,6	66,10	9,14
6	3850	3900	3875	9,24	25,5	56,96	20,61
7	3900	3950	3925	4,79	16,3	36,35	10,69
8	3950	4000	3975	7,28	11,5	25,66	16,24
9	4000	4050	4025	2,11	4,2	9,43	4,71
10	4050	4100	4075	2,11	2,1	4,72	4,72
TOTAL			3850,00	44,81			

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

A continuación se muestra la curva hipsométrica & frecuencia de altitudes para la microcuenca Quillopaccha:

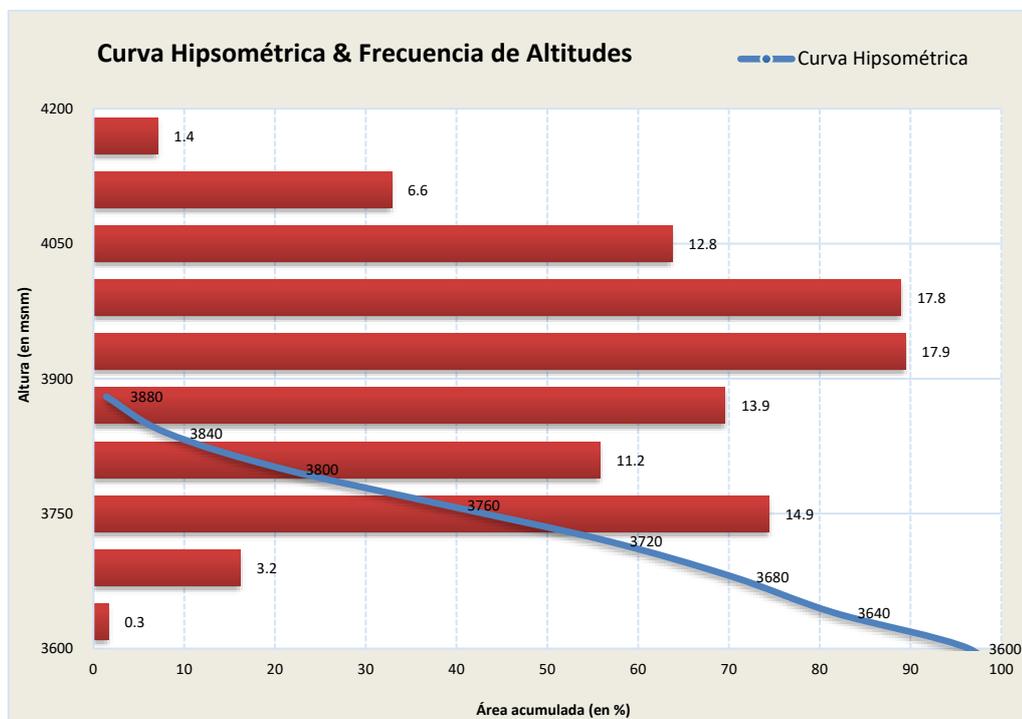


Gráfico 2-3: Curva Hipsométrica para la microcuenca Quillopaccha

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

El Gráfico 2-3 muestra a la microcuenca Quillopaccha se encuentra en su etapa de juventud, esto se puede evidenciar por la ausencia planicies, secciones irregulares, pendientes pronunciadas y el desarrollo de corrientes rápidas y tributarios de longitud pequeña. La curva hipsométrica presenta una pendiente relativamente moderada y constante con mínimos puntos de inflexión desde la cota 3750 m.s.n.m. hasta los 3760 m.s.n.m. seguido de una pendiente encontrándose a una cota entre 3600 hasta 3750 m.s.n.m. Además, el 80% de la zona acumulada predomina altitudes de 3900 y 4050 m.s.n.m. (Méndez Gutiérrez et al., 2021: p.7) reportan valores similares en su curva hipsométrica caracterizándola con una cuenca madura y estable.

3.4. Resultados morfométricos correspondientes a la microcuenca Chagrasacha

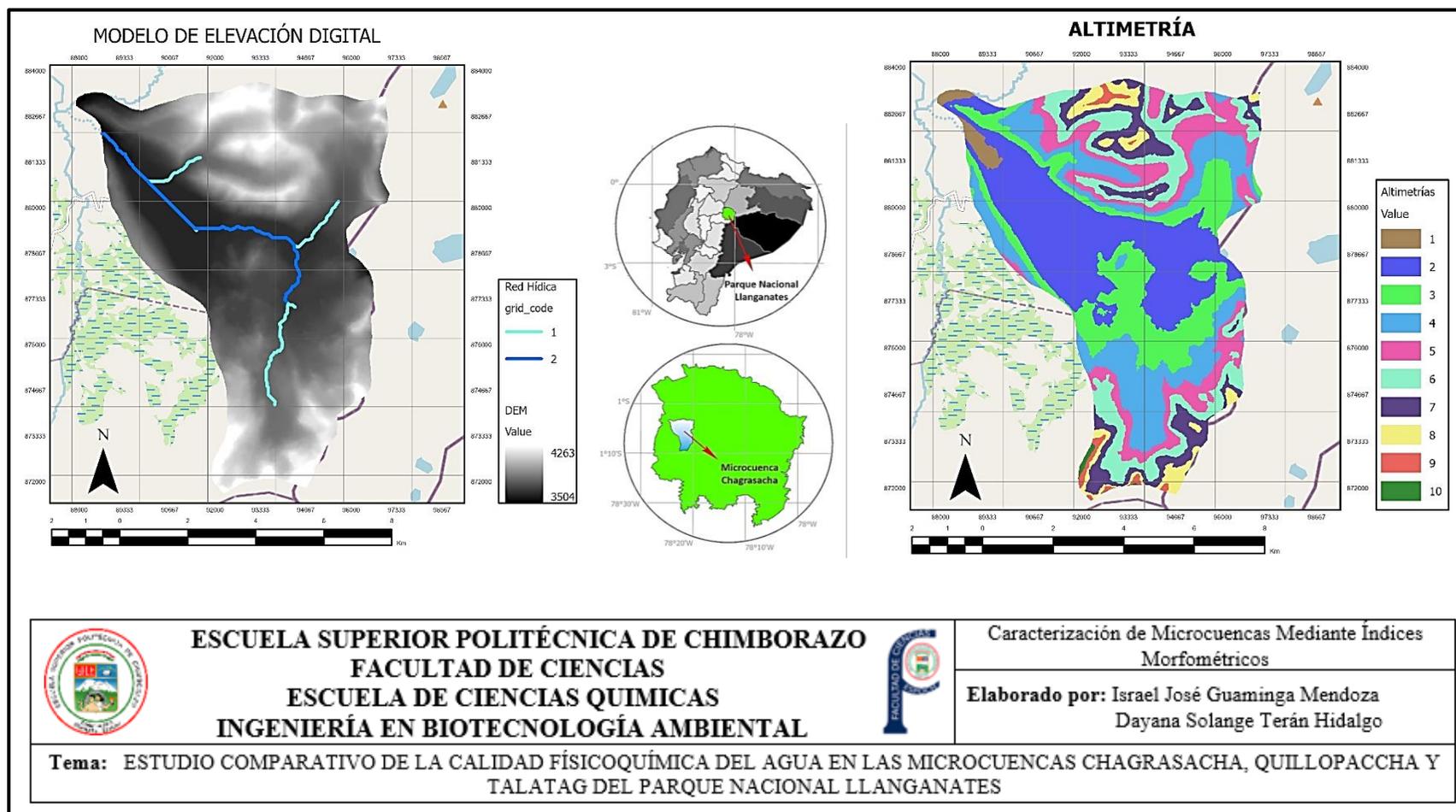


Figura 5-3. Modelo de elevación digital y Altimetría

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

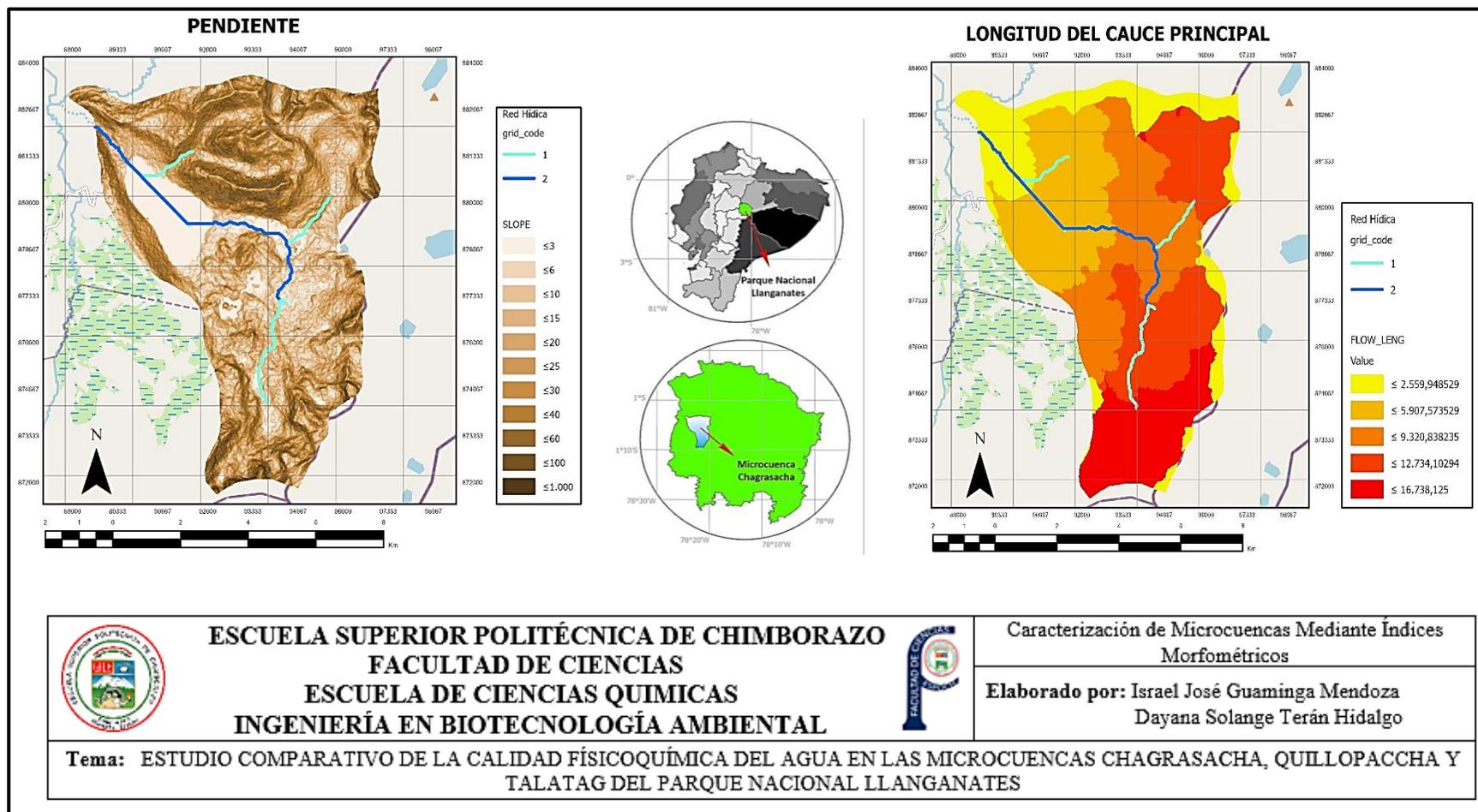


Figura 6-3. Longitud de Cauce Principal y Mapa de Pendientes

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

3.4.1. Morfometría para la Microcuenca Chagrasacha

3.4.1.1. Parámetros físicos de la cuenca

Tabla 11-3: Parámetros físicos

Área	Perímetro	Longitud máxima de la cuenca	Ancho de la cuenca
65.471 Km ²	47.89 km	12.60 km	7.74 km

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

3.4.1.2. Parámetros de forma de la cuenca

Tabla 12-3: Parámetros de forma

Índice de Gravelius	Factor de forma	Índice de Alargamiento	Índice de Asimetría
1.67	0.41	1.63	2.09

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

3.4.1.3. Características de relieve de la cuenca

Tabla 13-3: Parámetros de relieve

Pendiente media de la cuenca	Desnivel Altitudinal	Centroide X	Centroide Y	Centroide Z
24.13 %	759 m	793331	9878726	0

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

3.4.1.4. Parámetros de la red hídrica

Tabla 14-3: Parámetros red hídrica

Longitud del cauce principal	Cota Máxima	Cota Mínima	Densidad de Drenaje
16.73 km	4263 msnm	3504 msnm	0.259 km/km ²

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

La microcuenca Chagrasacha posee un área de 65.471 Km², para (Vásconez et al., 2019: pp.17-18) las cuencas hidrográficas pueden ser clasificadas por su área, en este caso la presente unidad hidrográfica fue considerada como "cuenca pequeña". Chagrasacha posee un perímetro de 47.89 km considerado un parámetro determinante para el cálculo de índices morfométricos.

Para el coeficiente de compacidad o índice de Gravelius su valor fue de 1.67 indicándonos que la microcuenca Chagrasacha tiene una forma oval oblonga, para (Camino et al., 2018: p.6) cuando los valores incrementan hasta 1.75 la forma que adoptará la microcuenca será alargada existiendo un menor grado de peligro en cuanto a las crecidas.

El resultado del factor de forma 0.41 indicó que la microcuenca tiende a ser alargada por lo que no es propensa a presentar crecidas violentas con la presencia de lluvias intensas ya sea en una parte o en toda la superficie. El índice de alargamiento para esta microcuenca fue de 1.66 adoptando un sistema de drenaje capaz de absorber fácilmente las altas precipitaciones sin la generación de crecidas de grandes proporciones. En cuanto al índice asimétrico que nos proporciona Chagrasacha es 2.09 que según evidenciado que existe una mayor cantidad de afluentes hacia la vertiente izquierda.

Dentro de los parámetros de relieve de la cuenca podemos encontrar a la pendiente media, que para el caso de esta microcuenca posee un valor de 24.13 % fuertemente accidentado, para (Corporación Autónoma Regional del Quindío et al., 2008: pp. 12-15) las cuencas que presentan pendientes pronunciadas existe la posibilidad de la existencia de crecientes, en este caso el valor de Chagrasacha no se encuentra dentro del rango de las cuencas con altos valores de pendiente al poseer un valor intermedio dentro de la clasificación de pendientes.

Para el valor del desnivel altitudinal el valor encontrado fue de 759 metros, según indica (Ibáñez Asensio et al., 2018: p.4) este parámetro es relacionado con la variabilidad tanto ecológica como climática, si la cuenca presenta mayor cantidad de pisos altitudinales, albergará en ella una gran variedad de ecosistemas por sus variaciones de temperatura y precipitación.

3.4.1.5. Curva Hipsométrica

Tabla 15-3: Construcción de la Curva Hipsométrica para la microcuenca Chagrasacha

N	Cota(msnm)			Área (km ²)			
	Mínimo	Máximo	Altura Promedio	Área entre intervalos	Acumulado	% Acum	% Área entre curvas
1	3504	3579,9	3541,9	1,5	65,6	100	2,30
2	3579,9	3655,8	3617,8	17,9	64,1	97,7	27,3
3	3655,8	3731,7	3693,7	11,0	46,2	70,3	16,8
4	3731,7	3807,6	3769,6	11,1	35,1	53,4	17
5	3807,6	3883,5	3845,5	7,9	23,9	36,4	12,1
6	3883,5	3959,4	3921,4	7,6	15,9	24,3	11,5
7	3959,4	4035,3	3997,3	5,1	8,3	12,7	7,7
8	4035,3	4111,2	4073,2	2,4	3,2	4,9	3,7
9	4111,2	4187,1	4149,1	0,6	0,7	1,2	1,0
10	4187,1	4263	4225,0	0,1	0,1	0,2	0,2
Total			3883,50	65,66			

Realizado por: Guaminga, I & Terán, D, 2022.

A continuación, se muestra la Curva Hipsométrica & Frecuencia De Altitudes para la microcuenca Chagrasacha:

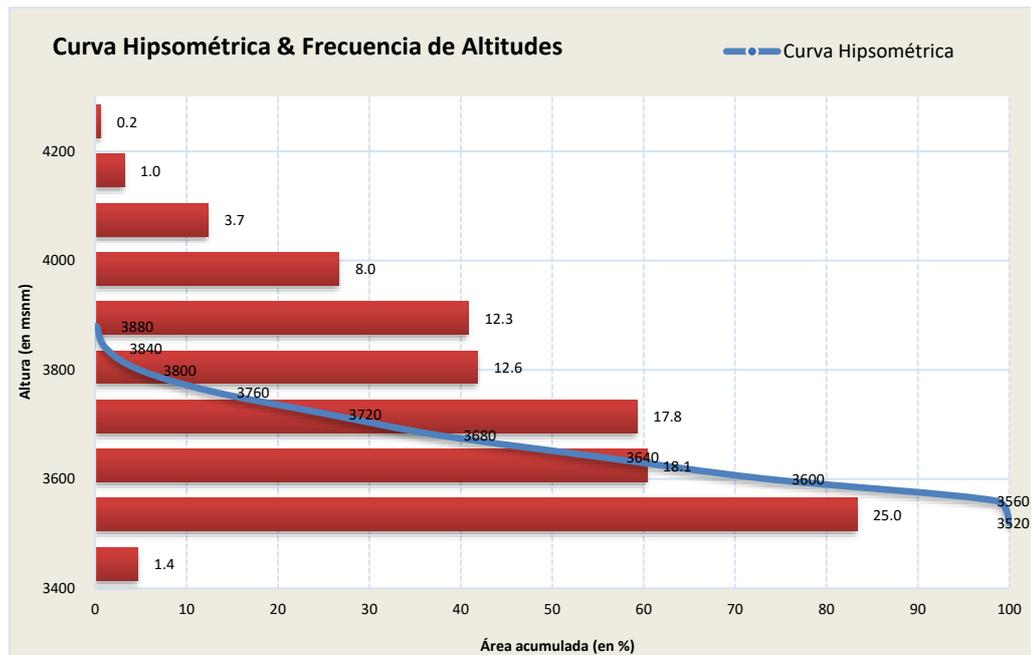


Gráfico 3-3. Curva Hipsométrica para la microcuenca Chagrasacha

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

El Gráfico 3-3 la microcuenca Chagrasacha se encuentra en una etapa de equilibrio porque presenta una pendiente relativamente moderada y constante con mínimos puntos de infección desde la cota 3750 m.s.n.m. hasta los 3760 m.s.n.m. Además, el 80% de la zona acumulada predomina altitudes de 3900 y 4050 m.s.n.m.) a caracterizándola con una cuenca madura y estable.



Figura 7-3. Variación de caudal - Chagrasacha

Realizado por: Guaminga, I.; Terán, D. 2022

3.4.1.6. Variabilidad de los parámetros morfométricos para las microcuencas Quillopaccha, Chagrasacha y Talatag

- Parámetros de forma en las diferentes microcuencas muestreadas

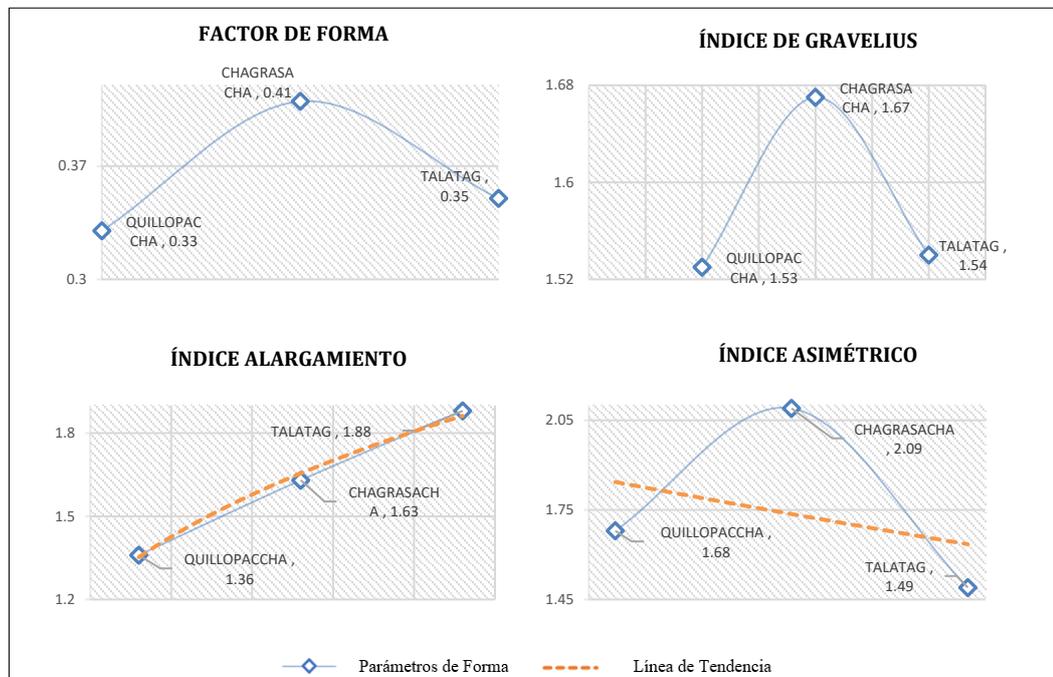


Gráfico 4-3. Parámetros de Forma para las microcuencas de estudio

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

El gráfico 4-3 representa la variabilidad de los índices morfométricos con rangos adimensionales para cada una de las microcuencas en el periodo previamente establecido. Quillopaccha presenta un factor de forma de 0.33, Chagrasacha con un valor de 0.41 y Talatag con 0,35 respectivamente, indicando que poseen formas alargadas con baja susceptibilidad a las avenidas.

El índice de Gravelius correspondiente a las microcuencas Quillopaccha Chagrasacha y Talatag presentan un valor de 1.53, 1,67 y 1.54 encontrándose en el último rango de clasificación adoptando una forma oval oblonga a rectangular, dicho comportamiento se registra en los modelos de elevación digital anteriormente descritos, indicando una baja tendencia a concentrar volúmenes de agua, este comportamiento se puede evidenciar en el Gráfico 4-3 donde se aprecia una gran reducción de caudal conforme la precipitación disminuye. Los índices de alargamiento registrados en las 3 microcuencas presentan valores en intervalos de 1.36 – y 1.88 obteniendo un sistema capaz de absorber las altas precipitaciones. Para (Corradine, 2017, p.12) una cuenca alargada las lluvias no se distribuyen en un solo punto, ocurriendo diversos eventos en la trayectoria de la cuenca, drenando el agua de forma paulatina evitando la generación de crecidas espontaneas.

Las microcuencas presentan índices de asimétricos mayores a 1 por lo que estas tienden a generar mayor densidad de drenajes en la zona izquierda por lo tanto aporta mayor cantidad de agua hacia el drenaje principal.

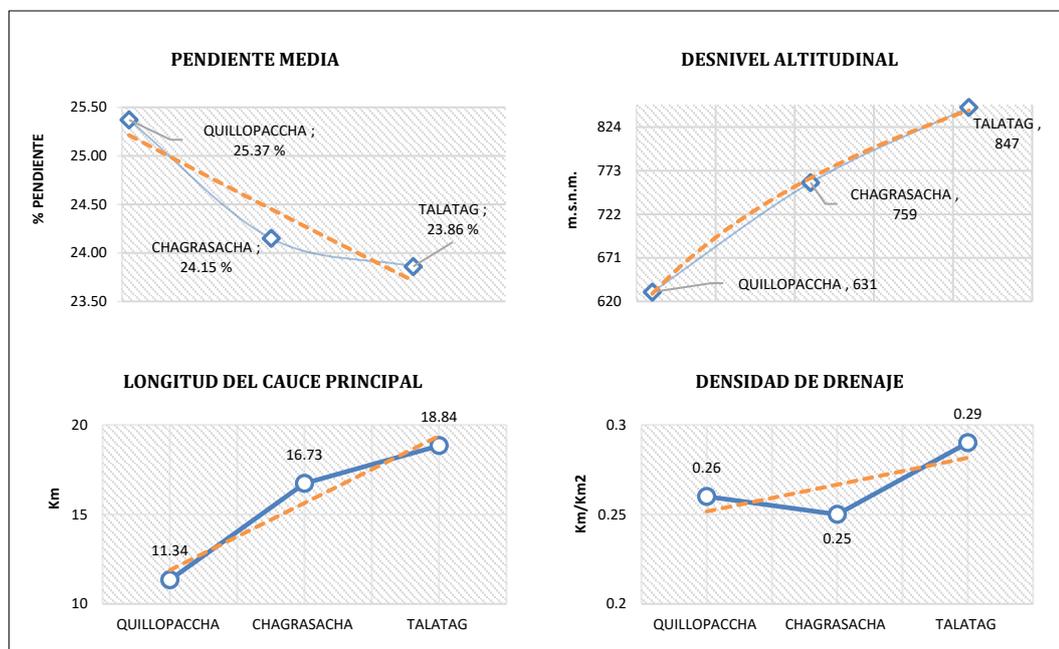


Gráfico 5-3. Parámetros de relieve y drenaje para las microcuencas de estudio

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Los valores de pendiente media de las 3 microcuencas se encuentran entre 23.86 y 25.37% favoreciendo a la escorrentía, sin embargo, se resalta la cobertura vegetal herbácea y/o arbustiva que ocupan superficies a lo largo de la microcuenca favoreciendo a la infiltración. Las actividades antropogénicas y el aumento de la frontera agrícola han ocasionado el deterioro de la cobertura vegetal favoreciendo hacia el escurrimiento superficial, favoreciendo procesos de erosión (Caracterización Morfométrica de la Cuenca La Berbeja, 2002).

El desnivel altitudinal corresponde a la variabilidad climática y ecológica, para el caso de la microcuenca Talatag, esta posee un mayor desnivel altitudinal que Chagrasacha y Quillopaccha, con valores de 847, 759 y 631; (Dolores Garay et al., 2018: p.22) menciona que una mayor cantidad de pisos altitudinales posee una mayor cantidad de ecosistemas al poseer variaciones en su temperatura y precipitaciones.

En cuanto a la longitud del cauce principal las microcuencas Quillopaccha, Chagrasacha y Talatag presentan valores 11.34, 16.73 y 18.84 respectivamente, donde se evidencia que Talatag posee un mayor valor en comparación a las otras microcuencas, por lo general los caudales tienden a relacionarse con las longitudes y sus áreas de las cuencas de modo del área crece con la longitud y superficie de captación. Además, Talatag posee una mayor respuesta frente a una tormenta evacuando sus aguas en un tiempo menor al registrar un valor de densidad de drenaje de 0,29 Km/Km² en comparación con Quillopaccha y Chagrasacha.

3.5. Determinación y análisis de caudales

Tabla 16-3: Caudales correspondiente zona de estudio

CAUDAL (l/s)				
Microcuenca	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Quillopaccha	7,93	6,86	5,76	4,33
Chagrasacha	3,02	2,91	0,92	0,1
Talatag	5,32	4,91	2,98	1,14
Yanayacu	16,7	13,3	10,2	7,52

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Basándose en la metodología descrita en el apartado anterior se efectuó el cálculo del caudal en cada microcuenca del Río Yanayacu, como se puede observar existe una gran variación de caudales conforme avanza los respectivos muestreos, disminuyendo progresivamente.

Como se puede observar en la tabla 4-3 se registraron caudales mayores en los periodos diciembre 2021 – enero 2022, en intervalos de 7.93 y 16.7 m³/s, esto se debió a la precipitación constante durante estos dos periodos, sin embargo, para el periodo enero 2022 existe una pequeña disminución encontrándose con valores de 6.86 y 13.3 m³/s al encontrarse en un periodo de transición.

Finalmente, para el periodo febrero – marzo 2022, los respectivos caudales continuaron registrando disminución en sus volúmenes, para la microcuenca Chagrasacha ubicada en la zona céntrica del área de estudio presentó esta disminución hasta el punto de no ser medible (0.1 m³/s), para las microcuencas Quillopaccha, Talatag y Río Yanayacu sus valores se encontraban entre 4.33 y 7.52 respectivamente.

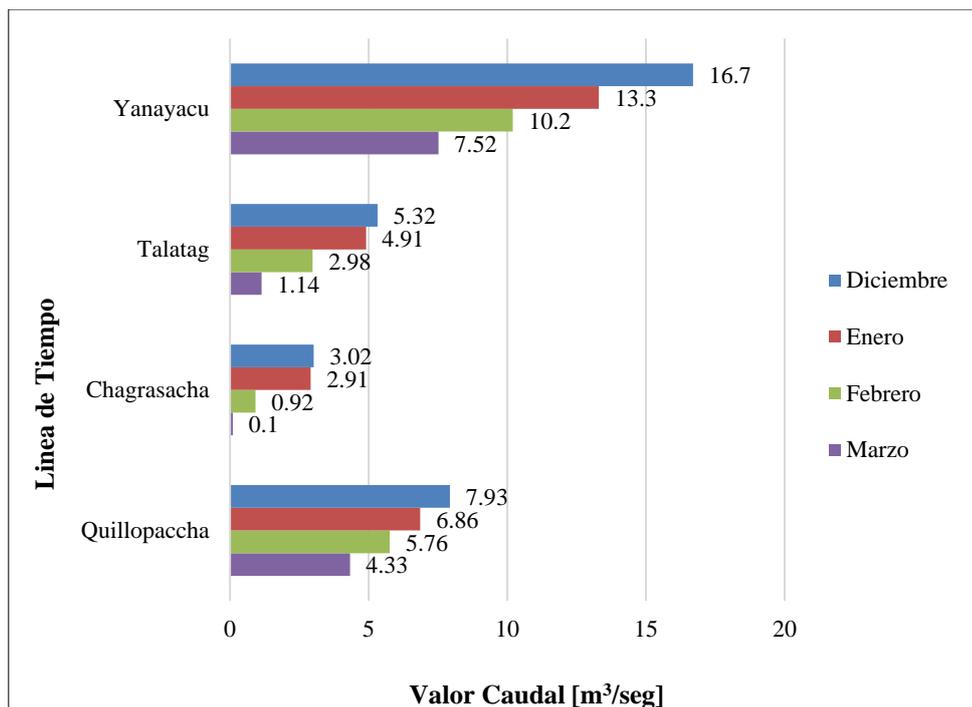


Gráfico 6-3: Variación del caudal en las microcuencas de estudio

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Como se puede observar en el gráfico 6-3 existe una notoria disminución del índice de calidad del agua ICA-NSF conforme va disminuyendo el caudal. Según datos registrados en el Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología reportó la existencia de lluvias frecuentes en la zona de Pisayambo y San José de Poaló de las provincias de Cotopaxi y Latacunga.

3.6. Cálculo del índice de calidad del agua (ICA-NSF) en las microcuencas Quillopaccha, Chagrasacha y Talatag

Tabla 17-3: Resultados correspondientes a los diferentes índices de calidad

Microcuenca		Quillopaccha		Chagrasacha		Talatag		Yanayacu	
Mes	Punto	ICA-NSF	Clasificación del Índice de Calidad	ICA-NSF	Clasificación del Índice de Calidad	ICA-NSF	Clasificación del Índice de Calidad	ICA-NSF	Clasificación del Índice de Calidad
Diciembre	1	72,07	Buena	60.11	Media	60.65	Media	53.77	Media
	2	57,72	Media	65.35	Media	60.35	Media		
Enero	1	72,50	Buena	64.97	Media	59.66	Media	59.87	Media
	2	63,86	Media	62.17	Media	57.32	Media		
Febrero	1	65,49	Media	62.43	Media	62.94	Media	50.65	Regular
	2	67,94	Media	56.46	Media	57.50	Media		
Marzo	1	55,28	Media	55.25	Media	58.10	Media	59.84	Media
	2	56,45	Media	57.68	Media	55.15	Media		

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La tabla 17-3 nos muestra los diferentes índices de calidad del agua para las microcuencas Quillopaccha, Chagrasacha y Talatag, donde se puede evidenciar los diferentes rangos de clasificación, existiendo un incremento en los meses con mayor precipitación, para los meses de febrero y marzo sus índices de calidad presentan una disminución debido a la escasa precipitación, generando una escasa vegetación arbórea que se encuentran cerca de las riberas.

El Río Yanayacu posee un índice de calidad del agua intermedia, sin embargo, en el periodo febrero 2022 su calidad disminuye hasta llegar a un valor de 50.65, que corresponde a un agua de Mala con tendencia a Intermedia.

3.6.1. Resultados de los diferentes índices de calidad del agua para las microcuencas

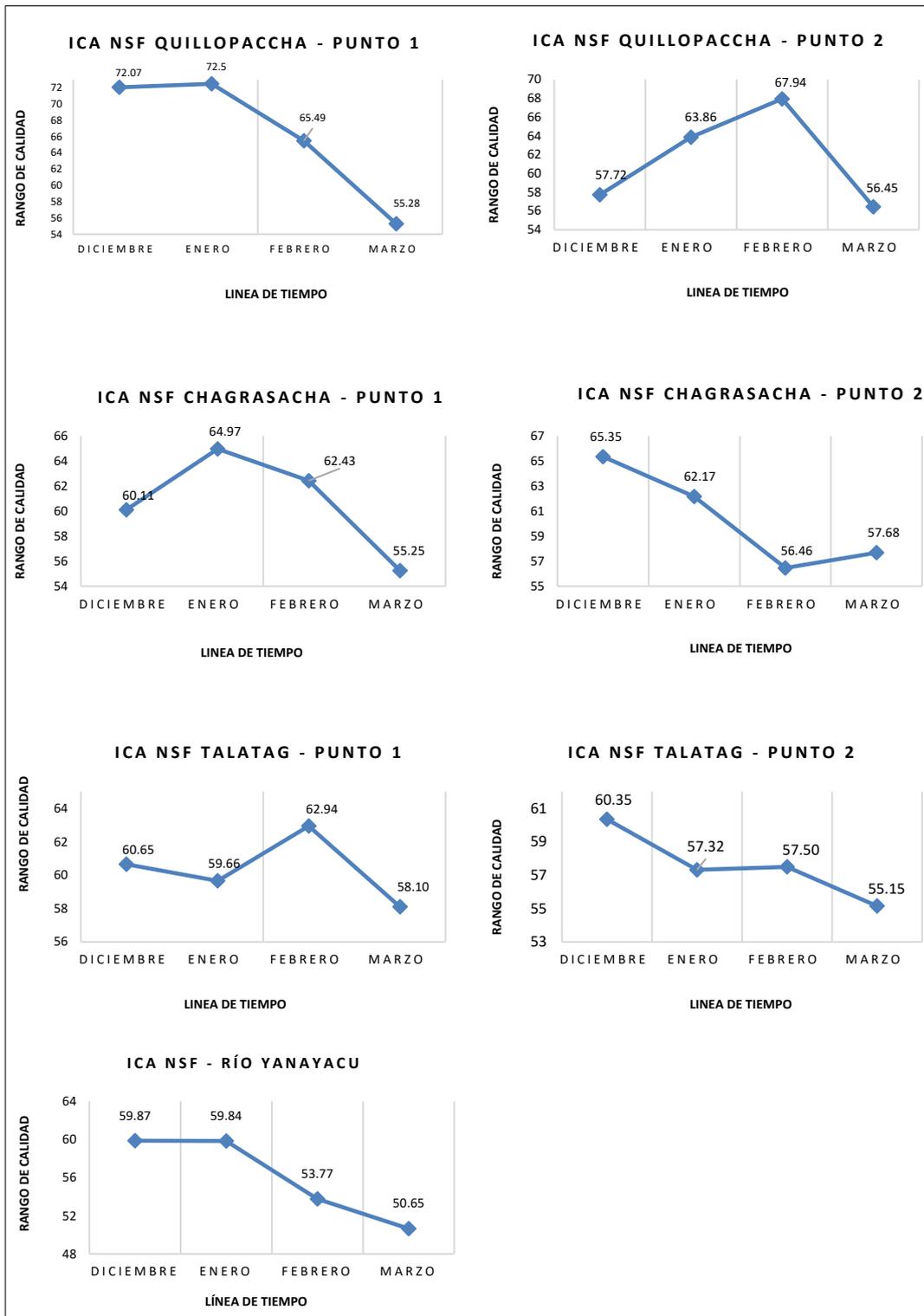


Gráfico 7-3. Variabilidad del índice de calidad del agua en diferentes puntos de muestreo

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

El Gráfico 7-3 representan la variabilidad del índice de calidad del agua existente conforme fue tomada cada muestra en cada uno de los 7 puntos de muestreo dentro del periodo previamente establecido.

El índice de calidad en la microcuenca Quillopaccha - punto 1 existe un periodo de crecimiento en los meses de diciembre - enero, con intervalos de calidad de 72.07 a 72.50, de acuerdo a la escala de clasificación descrita por (Brown Met al., 1972: p.4) se encuentra en el rango "Buena", indicando que sus aguas poseen una mínima fracción de contaminación por lo que estas pueden ser utilizadas para el uso humano previo a un proceso de purificación, sin embargo, los meses posteriores se evidencio un decrecimiento en el índice de calidad con valores entre 65.49 – 55.28 que de acuerdo al rango de clasificación se encuentra con una calidad "Media", esto debido a la escaza precipitación en la zona durante los periodos finales.

Para el caso de Quillopaccha – Punto 2, en el periodo diciembre 2021 – febrero 2022 existe un incremento en el índice de calidad del agua, entre intervalos de 57.72 y 67.94 que fue su pico máximo, la ausencia de precipitaciones registradas en marzo generó una reducción en el índice de calidad con un valor de 56.45 que de acuerdo con el rango de clasificación establecida por Brown se encuentra con una calidad "Media".

Chagrasacha - Punto 1 presente un incremento en su índice de calidad en el periodo diciembre 2021-enero 2022 con valores de 60.14 y 64.97, seguido de una disminución en los meses de febrero y marzo, esto debido a la reducción del caudal producido por la escasez de precipitación. Para el Punto 2 el índice de calidad presenta una reducción acelerada de su caudal conforme avanzó el monitoreo registrando bajos valores en su calidad del agua con un valor mínimo de 56.46 que de acuerdo con su clasificación corresponde a agua "Media".

El índice de calidad del agua en Talatag – Punto 1 posee una tendencia constante en los meses de diciembre y enero, su valor obtuvo un punto máximo en febrero registrando un valor de 62.94 correspondiente a "Media" según el rango de clasificación, para el último muestreo realizado en marzo su valor presento una disminución importante en su índice de calidad, esto se vio influenciado por la escasez de lluvias. Talatag - Punto 2 registro un decrecimiento en la calidad de sus aguas hasta registran un valor de 55.15 correspondiente a un agua de mediana calidad.

Talatag presentó en sus aguas una tonalidad amarillenta, esto debido a la presencia de ciertos minerales con altos índices de hierro procedentes de procesos oxidativos que realizan los microorganismos, además el bajo caudal que fue adquiriendo conforme se tomaron las muestras, generó zonas sin flujo de caudal. (Para Chavarría, 2017) el arrastre de piritas (*mineral del grupo*

sulfuro) son oxidadas por acción de los microorganismos son oxidados generando compuestos ricos en hierro, adoptando el agua una tonalidad amarillenta.

Finalmente, el Río Yanayacu registra una tendencia de disminución del índice de calidad conforme avanzó la campaña de muestreo, para el periodo diciembre 2021- enero 2022 su calidad presentó un punto máximo de 59.87 con un rango de "Mediana", para el periodo marzo 2022 su calidad disminuyó hasta registrar un valor de 50.65 encontrándonos con un rango de calidad de "Regular", presentando una mala calidad.

La cuenca del Río Yanayacu al ser alimentada por 3 microcuencas, Quillopaccha, Chagrasacha, y Talatag, según (Estupiñan et al., 2009: p.2) los páramos al ser ecosistemas de carácter estratégico por su capacidad de almacenamiento y regulación hídrica son considerados de gran importancia al prestar servicios ambientales en beneficio de comunidades y zonas rurales; a lo largo de las microcuencas que dan origen al río Yanayacu se evidenciaron procesos y actividades que perjudican a la calidad del agua como actividades ganaderas, varios autores mencionan que un aumento considerable de actividades ganaderas generan compactación en el suelo, generando pérdida de espacios porosos y capacidad de infiltración y flujo de agua en el suelo.



Figura 8-3. Actividades antropogénicas registradas en las microcuencas

Realizado por: Guaminga, I.; Terán, D. 2022



Gráfico 8-3. Comportamiento del índice de calidad en las microcuencas

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La grafica 8-3 muestra el comportamiento del índice de calidad del agua ICA-NSF para las tres microcuencas conforme va avanzando la campaña de muestreo. Para el caso de la microcuenca Quillopaccha el comportamiento presenta una mínima variación, para el periodo febrero – marzo 2022 existe una disminución de su calidad, esto debido principalmente a la escasa precipitación de la zona.

Para la microcuenca Chagrasacha su reducción se registra a inicios de la campaña de muestreo, esto se registró por la reducción casi en su totalidad de su caudal registrando valores de detectables.

Talatag registra un índice de calidad del agua intermedio conforme se van tomando las muestras, para el periodo febrero-marzo 2022 su valor disminuyo parcialmente debido a los bajos niveles de caudales registrados.

Finalmente, la cuenca del rio Yanayacu posee cierta característica en su índice de calidad con picos máximos de 59.87 y 59.84, y mínimos de 53.77 y 50.33; encontrándose en un rango de calidad Media y Regular.

3.7. Caracterización fisicoquímica de las microcuencas Quillopaccha, Chagrasacha y Talatag

3.7.1. Fosfatos

Tabla 18-3: Estadística descriptiva para Fosfatos

Punto de muestreo	\bar{X}	Mínimo	Máximo	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ²	S	r
Q ₁	0,56	0,09	1,04	0,09	0,56	1,03	0,29	0,54	0,96
Q ₂	0,60	0,1	1,83	0,18	0,60	1,57	0,56	0,75	0,95
Ch ₁	1,26	0,25	2,7	0,33	1,26	2,51	1,32	1,15	0,84
Ch ₂	1,43	0,22	2,75	0,27	1,43	2,67	1,74	1,32	0,91
T ₁	0,66	0,22	2,75	0,25	0,66	2,31	1,37	1,17	1,09
T ₂	1,43	0,06	2,73	0,23	1,43	2,58	1,52	1,23	0,87
Y	1,38	0,41	2,75	0,62	1,38	2,44	0,94	0,97	0,65

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

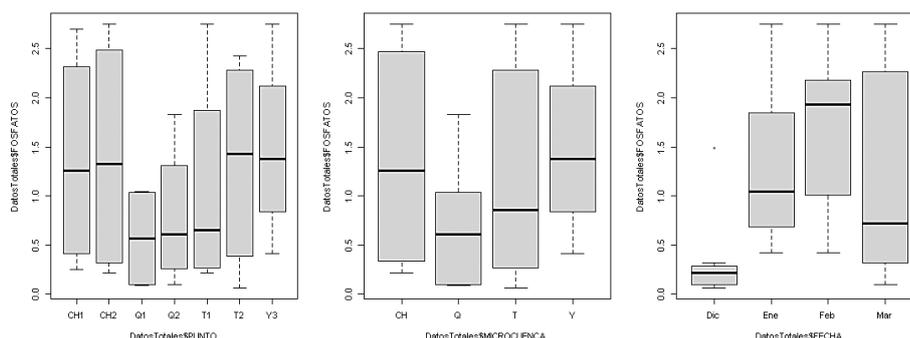


Gráfico 9-3. Diagrama de cajas para Fosfatos

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

El Gráfico 9-3 muestra las concentraciones de fosfato presentes en los diferentes sitios de muestreo en función del tiempo, los valores más altos de cambios de concentración de fosfato están presentes en el río Yanayacu se encuentran en 0.65; en comparación con los valores obtenidos en la microcuenca Chagrasacha entre 0.84 y 0.91; la microcuenca Talatag entre 1.09 y 0.87, y el valor más bajo del conjunto de datos se ubica en la microcuenca Quillopaccha, entre 0.96 y 0.95, además en los datos totales por fecha, se puede evidenciar que los grupos de datos presentan una tendencia ascendente marcada, pero en el mes de marzo decrece; (Silvia et al., 2009: pp.34-45) mencionan que entre los mecanismos por los cuales los fosfatos son transferidos del suelo a los sistemas acuáticos tenemos: disolución y movimiento en forma soluble, transporte en forma de adsorción en relación con el desplazamiento vertical de la parte coloidal y para todos los materiales erosionados.

Por otro lado, (Glyn, 1996) señala que debido a que las rocas de fosfato son escasamente solubles, el agua natural es aportada de fósforo por parte del suelo y las rocas, como el fosfato de calcio $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ y la hidroxiapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$. El aporte de la lixiviación es muy pequeño, resultando en la presencia de cantidades muy bajas, similares a 0.001 ppm, que es fósforo esencial para procesos importantes en los sistemas biológicos, lo que reducirá su concentración, explicando la variación de PO_4^- de un punto a otro.

Tabla 19-3: Análisis de varianza para Fosfatos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	P-valor
Microcuencia	2.697	0.8989	1.173	0.3436
Por fecha	6.311	2.1037	2.746	0.0685

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

En la Tabla 19-3 representa el análisis de varianza unifactorial efectuado a las microcuencas Quillopaccha, Chagrasacha, Talatag y Yanayacu para el parámetro fosfatos consiguiendo un $F = 0.3436$ con un nivel de confianza del 95%, con un valor de P-valor 0.3436, al ser un valor mayor a 0.05 indicando que los resultados de fosfatos no presentan diferencias significativas entre microcuencas, al realizar el análisis por fechas establecidas el P-valor generó un resultado de 0.0685, mostrando, estableciendo que los datos presentan similitud.

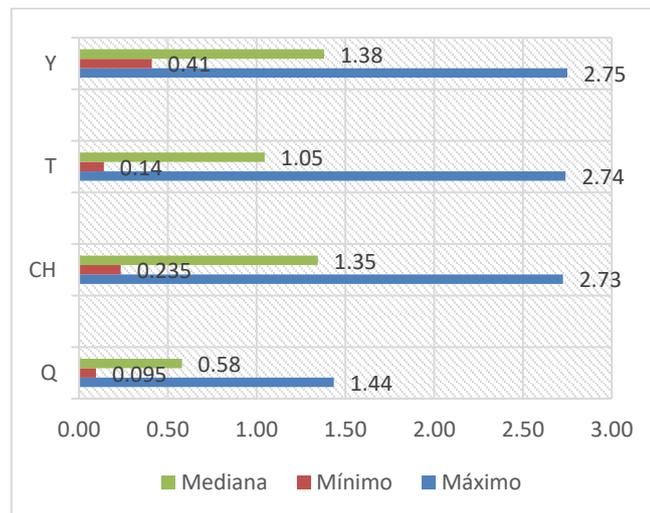


Gráfico 10-3. Valores máximos y mínimos para Fosfatos

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

3.7.2. Nitratos

Tabla 20-3: Estadística descriptiva para Nitratos

Punto de muestreo	\bar{x}	Mínimo	Máximo	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ²	S	r
Q ₁	6.65	0.04	9.04	1.03	6.65	19.61	100.8	10.04	1.10
Q ₂	1.78	0.22	10.63	0.50	1.78	8.53	22.63	4.76	1.32
Ch ₁	5.54	0.00	12.85	0.00	5.54	12.41	48.24	6.95	1.16
Ch ₂	2.66	0.44	13.26	0.77	2.66	10.85	33.95	5.83	1.22
T ₁	1.99	0.44	13.29	0.44	1.99	10.85	37.04	6.09	1.37
T ₂	2.66	0.44	12.85	1.00	2.66	10.30	30.96	5.56	1.20
Y	12.18	7.09	20.38	8.31	12.18	18.39	30.28	5.50	0.42

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

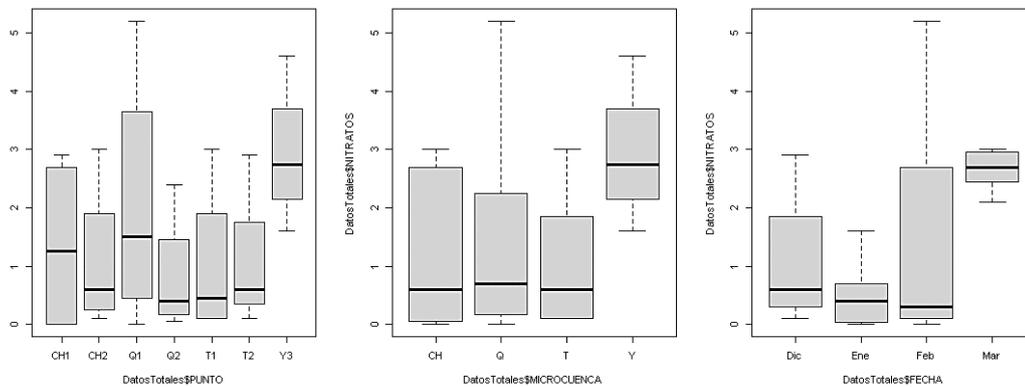


Gráfico 11-3. Diagrama de cajas para Nitratos

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Como se puede apreciar el Gráfico 11-3, la variación de la concentración de Nitrato reportado en el periodo de estudio, los valores medios más bajos en las concentraciones de NO_3^- los presenta las microcuencas Chagrasacha, Quillocpaccha y Talatag con valores promedios entre 3,5 mg/L, frente a los obtenidos en el río Yanayacu con 12, 18 mg/L. Se puede observar en los datos totales por microcuenca que no existe ninguna tendencia que posea las concentraciones de NO_3^- a medida que cada microcuenca avanza por su cauce.

Como puede verse en los datos totales por microcuenca, no hay tendencia en la concentración de NO_3^- a medida que cada microcuenca avanza a lo largo de su cauce. Los 4 ríos tenían valores de NO_3^- relativamente bajos (0,30–1,40 mg/L) en comparación con el valor de referencia recomendado por la OMS para agua potable de 50 mg./L, con exposición a corto plazo. Estas bajas concentraciones de NO_3^- indican que los microorganismos descomponen naturalmente las sustancias nitrogenadas orgánicas como las proteínas de plantas, animales y desechos animales.

Las lecturas de los análisis están fuera de los límites estipulados en la Tabla 2 del anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, que reforma los anexos del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA), referentes a los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios (13 mg/L de NO³⁻ en agua dulce).

Tabla 21-3: Análisis de varianza unifactorial para Nitratos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	P-valor
Microcuenca	5.421	1.747	7.428	0.00193
Por fecha	22.227	7.409	31.506	2.24x10 ⁻⁷

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La Tabla 21-3 muestra los resultados correspondientes al análisis de varianza unifactorial para la zona de estudio, mediante la prueba de normalidad Shapiro Wilk se verifica una distribución normal de los datos con respecto a las microcuencas y fechas de muestreo, aplicando un análisis ANOVA, los p-valores obtenidos reflejan una diferencia significativa entre si al ser < 0.05, este comportamiento se registra en el boxplot del Gráfico 11-3 donde el valor de las medianas presenta variabilidad para el periodo estudiado.

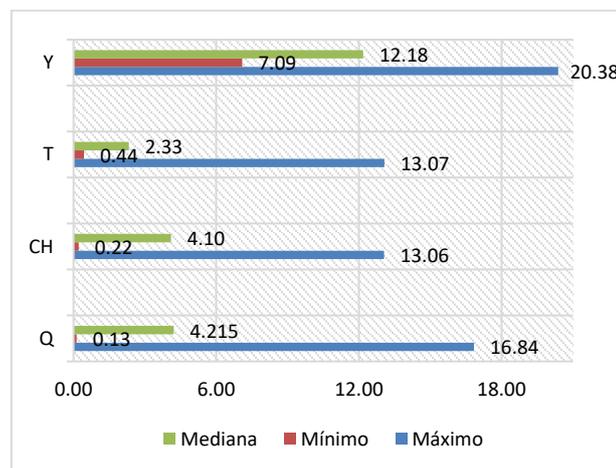


Gráfico 12-3. Valores máximos y mínimos para Nitratos

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Los valores máximos registrados pertenecen al río Yanayacu, y Quillopaccha, para el caso de Chagrasacha y Talatag sus valores promedio mantienen cierta similitud entre sí que van desde los 13.06 a los 13.07 mg/L aproximadamente. Para los valores promedio mínimos, Quillopaccha se encuentra con 0.13, y Yanayacu con 7.09 mg/L respectivamente.

3.7.3. Nitritos

Tabla 22-3: Estadística descriptiva para Nitritos

Punto de muestreo	\bar{x}	Mínimo	Máximo	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ²	S	r
Q ₁	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q ₂	0.02	0.00	0.08	0.01	0.02	0.06	0.00	0.03	1.12
Ch ₁	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	2.00
Ch ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T ₁	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	2.00
T ₂	0.01	0.00	0.06	0.00	0.01	0.05	0.00	0.03	1.63
Y	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	2.00

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

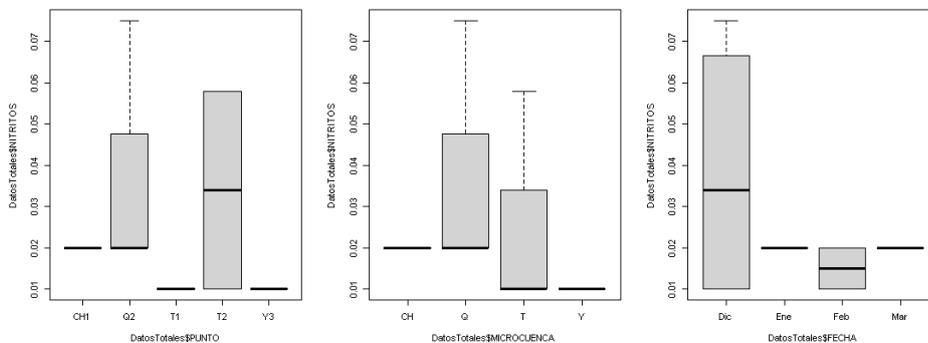


Gráfico 13-3. Diagrama de cajas para Nitritos

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

En aguas superficiales crudas, los vestigios de nitrito indican contaminación. El nitrito es formador de ácido nitroso en solución ácida, cuya combinación con aminas secundarias forma las nitroso-aminas (cancerígenas), debe tener tenerse un riguroso control de este.

Como se observa en los datos totales por punto y microcuenca, la concentración de nitritos es muy baja y disminuye a medida que las microcuencas descienden en altitud, y además al comparar en lapsos de tiempo, como está demostrado en los datos totales por fecha, podemos asumir que la concentración de nitritos aumenta debido a las altas precipitaciones.

El nitrógeno de nitritos es fácilmente oxidable a nitratos y relativamente inestable. La concentración de nitritos ocasionalmente excede la cantidad de 1 mg/L en las aguas servidas y en el caso de las aguas superficiales y subterráneas no supera la cantidad de 0,1 mg/L. Pese a que su presencia a menudo suele darse en concentraciones pequeñas, los nitritos tienen gran relevancia en los estudios de aguas, dada su alta toxicidad para especies acuáticas (Ramírez, 2011).

Las lecturas de los análisis están dentro de los límites estipulados en la Tabla 2 del anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, que reforma los anexos del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, referentes a los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios (0,2 mg/L de NO^{2-} en agua dulce).

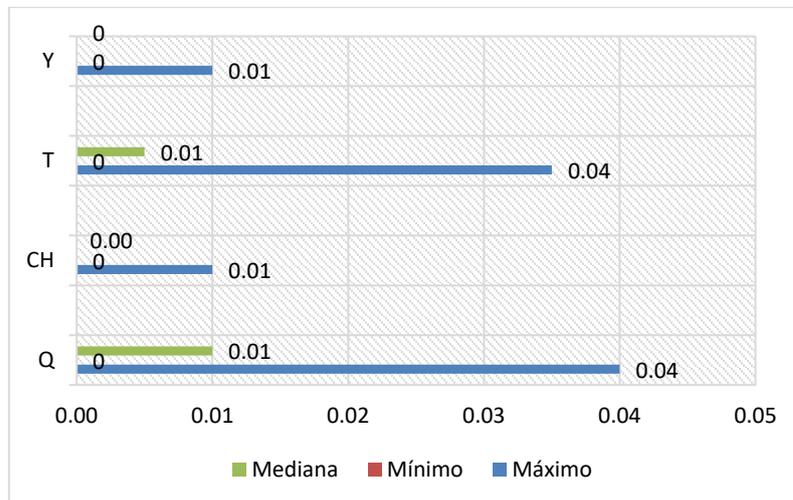


Gráfico 14-3. Valores máximos y mínimos para Nitritos

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Los datos registrados en el Gráfico 14-3 muestran los valores promedio mínimos y máximos obtenidos a lo largo del programa de muestreo, Quillopaccha y Talatag muestran valores máximos de Nitritos de 0.04 mg/L, para el caso de Chagrasacha y Yanayacu con valores de 0.01 mg/L, para el caso de los valores mínimos, no existieron resultados durante los análisis.

3.7.4. Sulfatos

Tabla 23-3: Estadística descriptiva para Sulfatos

Punto de muestreo	\bar{x}	Mínimo	Máximo	Q ₁	Q ₂	Q ₂	S ²	S	r
Q ₁	0.10	0.10	0.30	0.10	0.10	0.25	0.01	0.10	0.67
Q ₂	0.18	0.10	1.30	0.11	0.18	1.03	0.33	0.58	1.32
Ch ₁	0.50	0.10	18.05	0.18	0.50	13.69	78.22	8.84	1.85
Ch ₂	0.83	0.10	5.50	0.18	0.83	4.44	6.28	2.51	1.38
T ₁	0.45	0.10	2.60	0.10	0.45	2.15	1.39	1.18	1.31
T ₂	0.23	0.10	0.80	0.13	0.23	0.66	0.10	0.31	0.93
Y	5.50	0.15	14.95	1.23	5.50	12.85	38.64	6.22	0.95

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

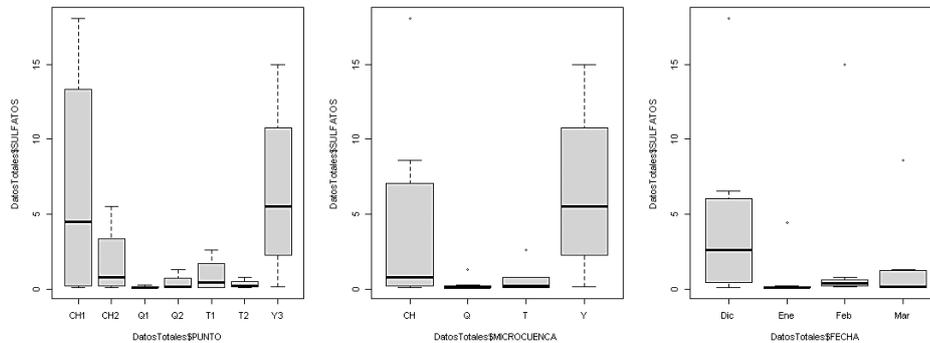


Gráfico 15-3. Diagrama de cajas para Sulfatos

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Sulfato es uno de los principales componentes disueltos de lluvia, los sulfatos pueden tener su origen en que las aguas atraviesen terrenos ricos en yesos o a la contaminación con aguas residuales industriales.

Se puede observar en los datos totales por punto y microcuenca, existe una constante en las tres microcuencas Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag, pero en momento de analizar el río Yanayacu podemos observar un aumento de este componente, esto puede deberse al material rico en yeso que reúnen las microcuencas anteriores y a las altas precipitaciones como se observa en los datos totales por fecha, donde el mes de diciembre presento elevadas precipitaciones y así se generó arrastre de material pétreo de los terrenos y por este motivo el aumento en los valores de sulfatos.

La reglamentación técnico-sanitaria española establece como valor orientador de calidad 250 mg/l y como límite máximo tolerable 400 mg/l, concentración máxima admisible.

Las lecturas de los análisis están dentro de los límites estipulados en la Tabla 1 del anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, que reforma los anexos del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA), referentes a los criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico (500 mg/l).

Tabla 24-3: Análisis de varianza unifactorial para Sulfatos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	P-valor
Microcuenca	27.75	9.24	5.16	0.0094
Por fecha	17.48	5.82	3.25	0.046

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La Tabla 24-3 muestra los resultados correspondientes al análisis de varianza unifactorial para sulfatos, mediante la prueba de normalidad Shapiro Wilk verificando una distribución normal de los datos con respecto a las microcuencas y fechas de muestreo, seguido de una aplicación de análisis ANOVA, los p-valores obtenidos reflejan una diferencia significativa entre sí, al ser < 0.05 , para el caso del análisis por fechas su valor p 0.046 indica que existe una mínima diferencia significativa dentro del conjunto de datos, este comportamiento se registra en el boxplot del Gráfico 15-3 donde el valor de las medianas presenta cierta variabilidad dentro de los grupos.

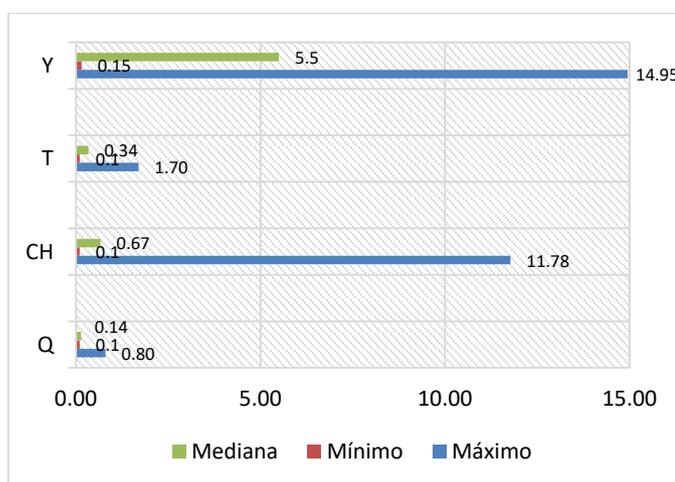


Gráfico 16-3. Valores máximos y mínimos para Sulfatos

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Los valores promedios máximos son registrados por las microcuencas Chagrasacha y Río Yanayacu de 11,78 y 14,95 mg/L respectivamente, frente a Quillopaccha y Talatag con valores de 0,80 y 1,70 mg/L, para el caso de valores mínimos existe un crecimiento exponencial conforme lo establece el Gráfico 16-3.

3.7.5. Turbidez (Color)

Tabla 25-3: Estadística descriptiva para Turbidez

Punto de muestreo	\bar{x}	Mínimo	Máximo	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ²	S	r
Q ₁	0.10	0.00	3.00	0.03	0.10	2.28	2.15	1.47	1.83
Q ₂	0.05	0.00	2.80	0.00	0.05	2.13	1.92	1.38	1.91
Ch ₁	0.15	0.10	2.30	0.10	0.15	1.78	1.18	1.08	1.61
Ch ₂	0.30	0.10	1.20	0.15	0.30	0.98	0.24	0.49	1.04
T ₁	0.85	0.30	1.80	0.43	0.85	1.58	0.39	0.62	0.66
T ₂	0.95	0.30	1.50	0.45	0.95	1.38	0.24	0.49	0.53
Y	0.25	0.10	1.20	0.13	0.25	0.98	0.26	0.51	1.13

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

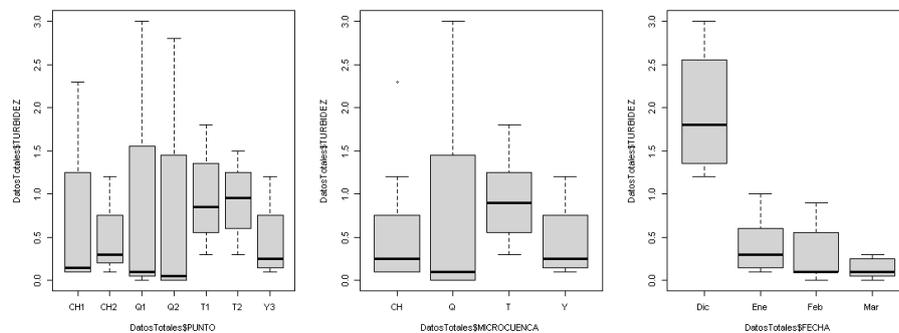


Gráfico 17-3. Diagrama de cajas para Turbidez

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Las lecturas de Turbidez en los sitios de muestreo oscilaron entre 0.1 y 3.0 NTU, según lo determinado por la cantidad de material particulado suspendido en el agua causado por la actividad antropogénica y los procesos de erosión en la microcuenca y las lluvias que ocurrieron en dos de los cuatro meses de muestreo.

La microcuenca Talatag presenta una alta turbiedad debido a la gran contaminación antrópica, al proceso de erosión del medio ambiente circundante y al arrastre del material pétreo por las fuertes lluvias. Sin embargo, se registraron valores bajos de turbidez en enero, febrero y marzo en todos los sitios de muestreo, los cuales se verificaron a simple vista debido a que el agua en realidad era cristalina, excepto en cierta medida observada en diciembre, opaco debido a la presencia de fuertes lluvias en este momento.

Al comparar estos resultados con la Tabla 1 del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, que reforma el Anexo al Tomo VI del Texto Uniforme de Legislación Secundaria (TULSMA) relativo

a las normas de calidad para el uso humano y doméstico del agua, se obtiene un valor que está por debajo del límite máximo permitido (LMP) para este parámetro (100 NTU). En los datos totales por microcuenca se muestra el cambio en la concentración de turbidez en los diferentes puntos de muestreo, la microcuenca Talatag presenta la mayor tasa de cambio con relación a la media, variando de 0.66 a 0.53, seguida de Chagrasacha y Yanayacu valores entre 1.61 y 1.04, y en la microcuenca Quillopaccha, los menores valores de varianza se encontraron en la cuenca entre 1.83 y 1.91.

Los cambios encontrados en los datos totales por fecha indican variabilidad en los valores de turbidez; mencionan que las lluvias pueden tener un gran efecto negativo, provocando el lavado del suelo y la resuspensión de los lechos de los mismos, aumentando los sólidos en suspensión, el color aparente, el carbono orgánico disuelto y el amoníaco, lo que explica la turbidez que presenta el estudio.

Tabla 26-3: Análisis de varianza unifactorial para Turbidez

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	P-valor
Microcuenca	0.85	0.28	1.41	0.026
Por fecha	15.02	5.00	25.01	3.95×10^{-7}

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

El análisis de varianza unifactorial efectuado al parámetro Turbidez para el grupo microcuencas registra un valor P 0.026, evidenciando su diferencia significativa, en el grupo "Fecha" su valor P 3.95×10^{-7} muestra una gran diferencia significativa, este comportamiento se puede evidenciar en el Gráfico 17-3 donde el valor de las medias para cada grupo difiere entre sí. Para los datos máximos Q se encuentra con un valor de 2.90 mg/L, seguido de un decrecimiento para las demás microcuencas, para el caso de mínimos y mediana T registra valores superiores seguido de Y, Ch, y Q, tal como se aprecia en el Gráfico 18-3.

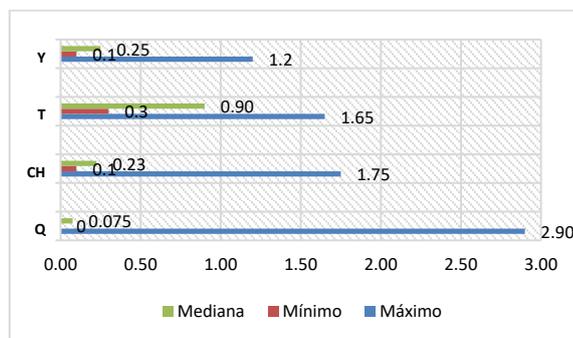


Gráfico 18-3. Máximos y mínimos para Turbidez

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

3.7.6. Potencial de Hidrógeno (pH)

Tabla 27-3: Estadística descriptiva para pH

Punto de muestreo	Mediana	Mínimo	Máximo	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ²	S	r
Q ₁	7.53	6.60	8.20	6.82	7.53	8.04	0.43	0.66	0.09
Q ₂	7.79	6.60	8.26	6.86	7.79	8.18	0.52	0.72	0.09
Ch ₁	7.49	6.40	7.80	6.61	7.49	7.78	0.41	0.64	0.09
Ch ₂	7.36	6.80	7.80	6.85	7.36	7.78	0.25	0.50	0.07
T ₁	7.25	6.20	7.86	6.44	7.25	7.73	0.48	0.69	0.10
T ₂	7.11	6.14	7.46	6.34	7.11	7.41	0.34	0.58	0.08
Y	7.38	7.16	7.65	7.18	7.38	7.62	0.05	0.23	0.03

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

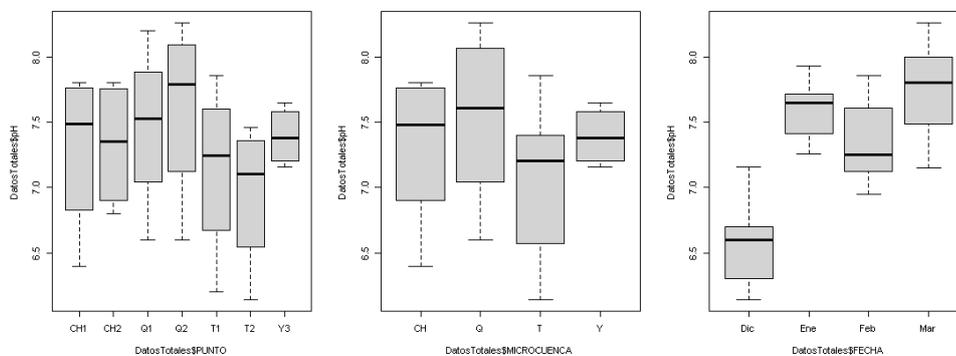


Gráfico 19-3. Diagrama de cajas para pH

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Los valores de pH obtenidos en el punto de muestreo oscilaron entre 6.14 y 8.26, este está por debajo del rango adecuado. Además, el LMP es 6.5 - 9 unidades de pH en agua dulce, especificado en la Tabla 2 del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, que reforma el Anexo al Tomo VI del Texto Uniforme de Legislación Secundaria (TULSMA), referente a los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

Como se puede ver en los datos totales por microcuenca, los valores de pH no varían mucho de la media, con valores casi uniformes en todas las microcuencas, pero al observar en los datos totales por fecha, existe una gran variabilidad, que puede estar influenciada por las condiciones climáticas, la exposición solar intensa que puede ocurrir con el tiempo, aumentando la temperatura del agua y cambiando así el pH.

Los cambios encontrados en los datos totales por fecha indican una disminución del pH en

diciembre, mencionando que esta disminución puede deberse a la descomposición de materia orgánica y resuspensión de sedimentos; por su parte (Castro, 1996) señaló que estas fluctuaciones estuvieron relacionadas con las condiciones de lluvia, pero durante la época seca se producen cambios drásticos de pH, mientras que en la época lluviosa el proceso de dilución favorece su estabilidad.

La acidez es una medida de las propiedades agregadas del agua y solo puede ser explicada por sustancias específicas si se conoce la composición química de la muestra. Los ácidos inorgánicos fuertes, los ácidos débiles y las sales hidrolizables pueden afectar la acidez medida según el método de determinación (Chaquea, 2016, p.67).

Tabla 28-3: Análisis de varianza unifactorial para Potencial de Hidrógeno

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	P-valor
Microcuenca	1.50	0.50	15.36	2.58×10^{-5}
Por fecha	6.11	2.03	62.41	5.02×10^{-10}

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La Tabla 28-3 muestra los resultados correspondientes al análisis de varianza para la zona de estudio, mediante la prueba de normalidad Shapiro Wilk se verifica una distribución normal de los datos con respecto a las microcuencas y fechas de muestreo, aplicando un análisis ANOVA, los p-valores obtenidos reflejan diferencia significativa entre si al ser $p < 0.05$, mostrando una variación en sus mediantes expuestas en el diagrama boxplot del Gráfico 19-3.

Tabla 29-3: Aplicación del método LSD – Fisher para pH

Grupo por Microcuenca			Grupo por Fechas		
Punto	pH	Grupos	Por Fecha	pH	Grupos
Q	7.537500	a	Marzo	7.740000	a
Y	7.470000	ab	Enero	7.585714	a
CH	7.310000	b	Febrero	7.278333	b
Y	6.928571	c	Diciembre	6.456667	c

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

A partir de la aplicación del método LSD Fisher nos indica que los "Grupos por Cuencas" Quillopaccha, Chagrasacha y Talatag son diferentes entre sí, sin embargo, Yanayacu presenta cierta similitud con la Microcuenca Quillopaccha y Chagrasacha. Para el caso del análisis de los "Grupos por Fechas" los periodos enero y marzo presentan similitud entre sí, finalmente, los periodos diciembre y febrero son considerados como grupos diferentes, presentando variación en los valores de pH en el transcurso del programa de muestreo.

3.7.7. Temperatura (°C)

Tabla 30-3: Estadística descriptiva para Temperatura

Punto de muestreo	Mediana	Mínimo	Máximo	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ²	S	r
Q ₁	12.70	11.50	16.20	11.65	12.70	15.48	4.36	2.09	0.16
Q ₂	13.30	12.00	17.10	12.25	13.30	16.23	4.92	2.22	0.16
Ch ₁	11.90	8.00	13.70	8.58	11.90	13.65	7.49	2.74	0.24
Ch ₂	13.95	12.10	14.70	12.50	13.95	14.58	1.27	1.13	0.08
T ₁	13.25	10.20	18.50	10.38	13.25	17.78	15.57	3.95	0.29
T ₂	14.95	13.10	17.30	13.20	14.95	17.08	4.36	2.09	0.14
Y	16.25	13.60	18.60	13.98	16.25	18.30	5.06	2.25	0.14

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

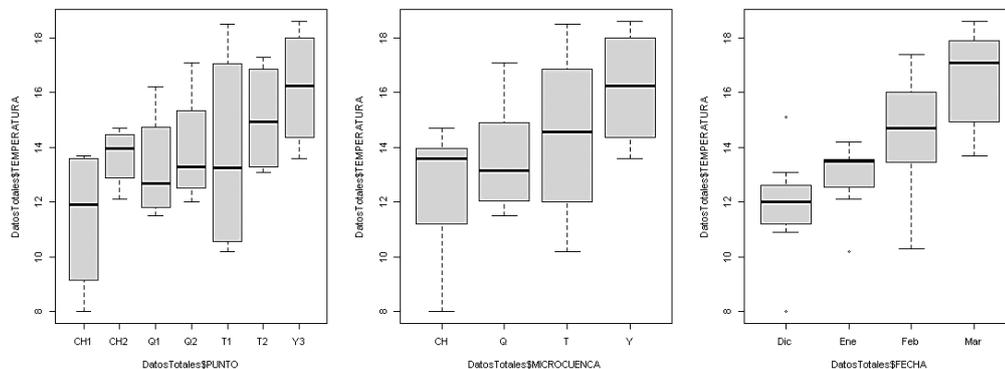


Gráfico 20-3. Diagrama de cajas para Temperatura

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Se puede observar la variación de los resultados obtenidos para el parámetro de temperatura, registrándose la más alta dispersión respecto a la media en el río Yanayacu, con valores de 0.14, seguido por la microcuenca Talatag y Chagrasacha con valores que oscilan entre el 0.29 al 0.14 y del 0.24 al 0.08, respectivamente; y finalmente la microcuenca Quillopaccha con valores entre 0.16.

Esta variación en ΔT entre las unidades de estudio, se debe principalmente a la altitud de un punto a otro y además a las estaciones presentes, como se mencionó anteriormente febrero y marzo fueron meses de sequía y por ende la temperatura se elevó, que por el contrario diciembre y enero fueron meses con bastas lluvias y las temperaturas registradas son las más bajas. Las lecturas de los análisis están dentro de los límites estipulados en la Tabla 9 del anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, que reforma los anexos del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA), referentes a los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (Condición natural $\pm 3^\circ \text{C}$).

Tabla 31-3: Análisis de varianza unifactorial para Temperatura

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	P-valor
Microcuenca	38.86	12.95	4.66	0.011
Por fecha	85.41	28.46	10.24	0.00023

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La Tabla 31-3 muestra los resultados correspondientes al análisis de varianza para temperatura, mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk verificando una distribución normal en el conjunto de datos con respecto a los grupos "microcuencas" y "fechas", seguido de una aplicación de análisis ANOVA, los p-valores obtenidos reflejan una diferencia significativa entre sí, al ser < 0.05 , para el caso del análisis por fechas su P-valor 0.00023 indicando que los datos son estadísticamente distintos, este comportamiento se registra en el boxplot del Gráfico 20-3 donde el valor de las medianas presenta una tendencia exponencial conforme transcurre el muestreo.

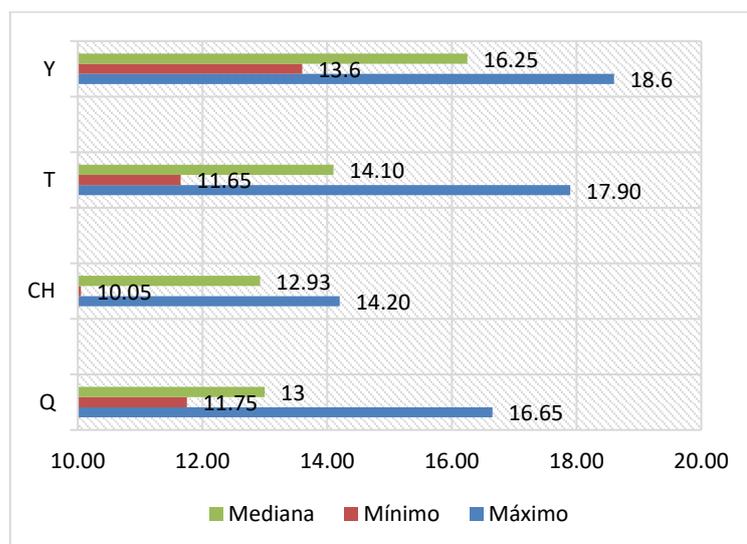


Gráfico 21-3. Máximos y mínimos para Temperatura

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Los valores máximos son registrados por el río Yanayacu seguido de la microcuenca Talatag, Quillopaccha y Chagrasacha 18.6, 17.90, 16.65, y 14.20 respectivamente; para el caso de las medias y datos mínimos Yanayacu manifiesta valores de temperatura superiores seguido de la microcuenca Talatag, Quillopaccha y Chagrasacha tal como se identifica en el Gráfico 21-3.

3.7.8. Conductividad Eléctrica

Tabla 32-3: Estadística descriptiva para Conductividad Eléctrica

Punto de muestreo	Mediana	Mínimo	Máximo	Q1	Q2	Q3	S ²	S	r
Q1	83.50	81.00	241	81.25	83.50	202.00	6270	79.18	0.65
Q2	83.50	82.00	87	82.25	83.50	86.25	467	2.16	0.03
Ch1	55.50	10.00	128	10	55.50	121.25	3761.58	61.33	0.99
Ch2	87.00	10.00	173	27.75	87.00	153.00	4458.92	66.78	0.75
T1	81.00	36.00	104.00	43.50	81.00	102.00	961.00	31.00	0.41
T2	94.50	67.00	101.00	73.50	94.50	99.75	230.92	15.20	0.17
Y	24.60	10.00	103.00	10.83	24.60	86.23	1865.83	43.20	1.07

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

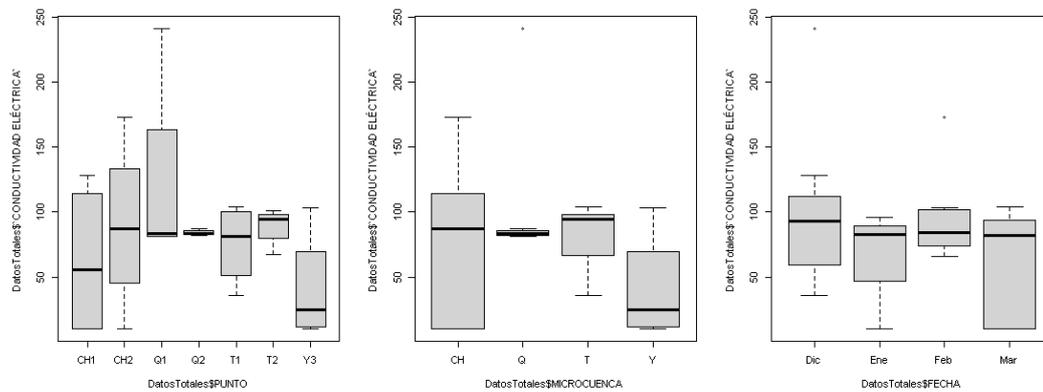


Gráfico 22-3. Diagrama de cajas para Conductividad Eléctrica

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Las sales se descomponen en el agua como cationes y aniones, que son partículas cargadas que conducen la electricidad. Debido a esta característica, los sólidos disueltos, es decir, la salinidad, se pueden medir indirectamente con un medidor de conductividad. La salinidad en agua se mide en partes por millón como sólidos disueltos (ppm TDS) o conductividad en micro Siemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Chaquea, 2016, p.67).

La conductividad varió entre 10.0 y 173 en diferentes puntos de muestreo debido a sustancias inorgánicas disueltas como iones y cationes en el agua. La variación de este parámetro en el punto de muestreo también está relacionada con la temperatura del agua en el momento de la medición y con el contenido de sólidos disueltos. Individualmente, la media de cada muestra es muy diferente, pero al analizarlas mes a mes, vemos como presentan homogeneidad de la media, pero distinta variabilidad en su variabilidad. El valor recomendado para considerar un agua como no apta para el consumo humano es de 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C, y como se puede apreciar los valores están muy por debajo de este valor.

Tabla 33-3: Análisis de varianza unifactorial para Conductividad Eléctrica

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	P-valor
Microcuenca	10688	3563	1.57	0.22
Por fecha	10048	3349	1.48	0.24

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La Tabla 33-3 muestra los resultados correspondientes al análisis de varianza para conductividad, mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk verificando una distribución normal en el conjunto de datos con respecto a los grupos "microcuencas" y "fechas", seguido de una aplicación de análisis ANOVA, los p-valores obtenidos reflejan que no existe diferencia significativa entre sí, al ser > 0.05 , para el caso del análisis por fechas su valor p 0.248 indicando que los datos presentan cierta similitud estadísticamente, este comportamiento se registra en el boxplot del Gráfico 22-3 donde el valor de las medianas presenta cierta tendencia a mantener datos centrales para las diferentes agrupaciones.

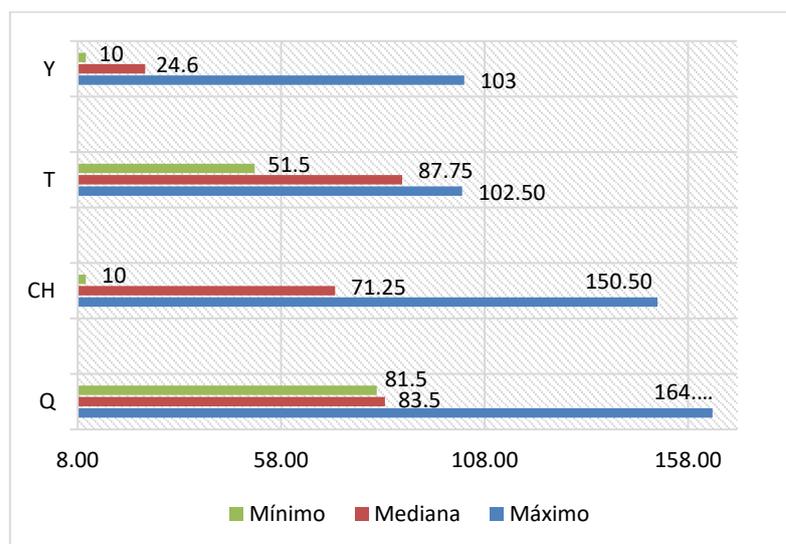


Gráfico 23-3. Máximos y mínimos para Conductividad Eléctrica

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Los valores máximos registrados durante el programa de muestreo se encuentran Quillopaccha, seguido de la microcuenca Chagrasacha, Yanayacu y finalmente Talatag 164, 150.50, 103, y 102.50 respectivamente; para los valores mínimos y medianas se encuentra a Talatag en primera instancia al poseer un valor elevado, seguido de Quillopaccha, Chagrasacha y Yanayacu tal como se parecía en el Gráfico 23-3.

3.7.9. Oxígeno Disuelto

Tabla 34-3: Estadística descriptiva para Oxígeno Disuelto

Punto de muestreo	Mediana	Mínimo	Máximo	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ²	S	r
Q ₁	7.85	6.40	9.20	6.60	7.85	9.03	1.59	1.26	0.16
Q ₂	7.80	7.60	8.80	7.63	7.80	8.58	0.30	0.55	0.07
Ch ₁	7.50	7.10	8.40	7.15	7.50	8.23	0.33	0.57	0.08
Ch ₂	7.50	6.40	7.90	6.63	7.50	7.85	0.44	0.67	0.09
T ₁	7.85	6.10	8.70	6.45	7.85	8.58	1.28	1.13	0.15
T ₂	7.60	6.10	8.50	6.33	7.60	8.43	1.23	1.11	0.15
Y	8.45	7.80	9.10	7.90	8.45	9.00	0.32	0.57	0.07

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

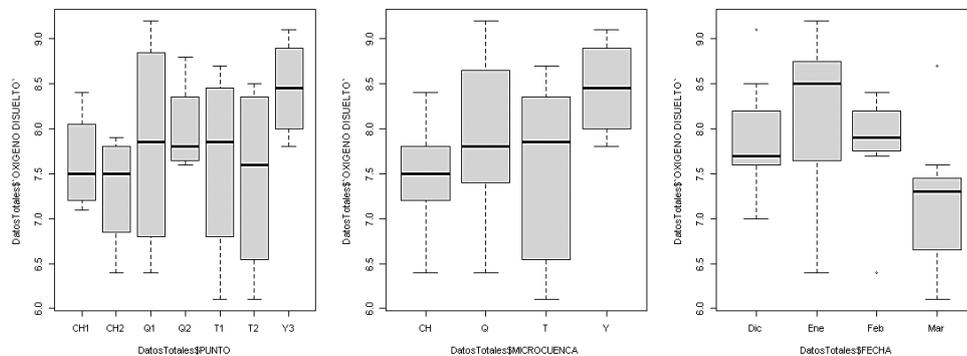


Gráfico 24-3. Diagrama de cajas para Oxígeno Disuelto

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

El cambio de concentración de oxígeno disuelto se debe principalmente a los procesos de respiración y fotosíntesis, descomposición de la materia orgánica y oxigenación natural provocada por el movimiento del agua a lo largo del cauce.

Como se puede observar en los datos totales por microcuencia y fecha, la variación del porcentaje de Oxígeno Disuelto entre las diferentes microcuencias es evidente, siendo el río Talatag el que presenta una mayor variabilidad con respecto a la media, obteniéndose valores entre 0.15, frente a los alcanzados por las microcuencias Quillopaccha con un 0.07 y 0.16, Chagrasacha con 0.09 a 0.08, y Yanayacu con 0.07.

Esta diferencia se debe a los diferentes porcentajes de saturación de O₂ en las diferentes estaciones de muestreo, con los valores más altos en enero y febrero debido a las lluvias que afectan el enriquecimiento de oxígeno, sin embargo, en marzo se observaron niveles bajos de oxígeno disuelto debido a la reducción del caudal y la precipitación.

Las lecturas de los análisis están dentro de los límites estipulados en la Tabla 2 del anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097, que reforma los anexos del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA), referentes a los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios (No menor al 80% del oxígeno de saturación).

Tabla 35-3: Análisis de varianza unifactorial para Oxígeno Disuelto

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	P-valor
Microcuenca	2.87	0.95	1.56	0.22
Por fecha	2.63	0.87	1.43	0.26

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La Tabla 35-3 muestra los resultados correspondientes al análisis de varianza para oxígeno disuelto, mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk verificando una distribución normal en el conjunto de datos con respecto a los grupos "microcuencas" y "fechas", seguido de una aplicación de análisis ANOVA, los p-valores obtenidos reflejan que no existe diferencia significativa entre sí, al ser > 0.05 , para el caso del análisis por fechas su valor p 0.262 indicando que los datos presentan cierta similitud estadísticamente, este comportamiento se registra en el boxplot del Gráfico 24-3 donde el valor de las medianas presenta cierta tendencia a mantener datos centrales para las diferentes agrupaciones.

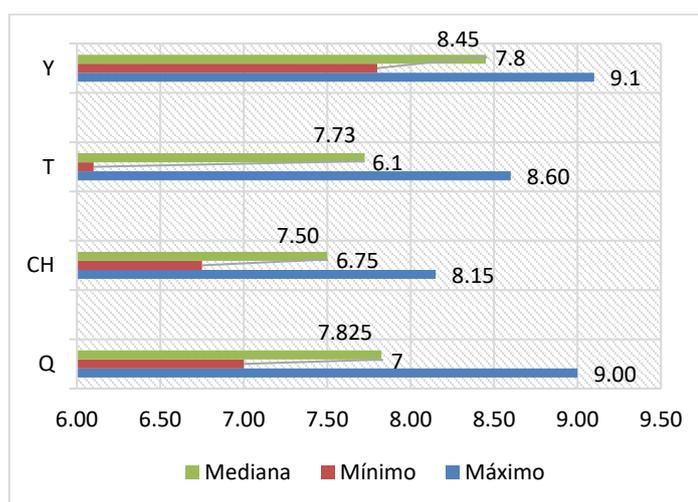


Gráfico 25-3. Máximos y mínimos para Oxígeno Disuelto

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Los valores máximos, mínimos y medianas con valores elevados presentan el río Yanayacu, seguido se encuentra Quillopaccha, Chagrasacha y Talatag.

3.7.10. Sólidos Totales Disueltos

Tabla 36-3: Estadística descriptiva para Sólidos Totales Disueltos

Punto de muestreo	Mediana	Mínimo	Máximo	Q1	Q2	Q3	S ²	S	r
Q1	44.50	10.00	67.00	14.00	44.50	66.00	781.67	27.96	0.67
Q2	31.00	10.00	60.00	12.75	31.00	55.25	488.67	22.11	0.67
Ch1	57.50	10.00	64.00	20.50	57.50	63.75	646.25	25.42	0.54
Ch2	38.00	10.00	63.00	15.00	38.00	58.75	511.58	22.62	0.61
T1	75.00	18.00	185.00	24.75	75.00	165.00	5482.2	74.04	0.84
T2	57.00	34.00	70.00	37.50	57.00	69.00	278.33	16.68	0.31
Y	61.15	30.00	80.10	35.25	61.15	77.90	499.4	22.35	0.38

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

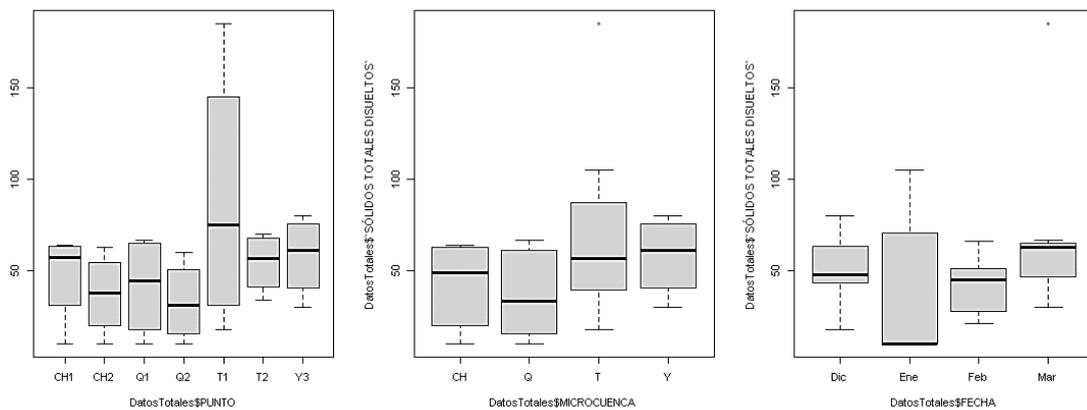


Gráfico 26-3. Diagrama de cajas para Sólidos Disueltos Totales

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Los datos totales por punto y microcuenca muestran la variación de las concentraciones de sólidos totales disueltos (SDT) presentes en los diferentes sitios de muestreo y se encontraron los mayores valores de variación con relación a la media del río Yanayacu, entre 0.38, seguido de la Microcuenca Talatag con 0.84 y 0.31, la microcuenca Chagrasacha entre 0.54 y 0.61, y la microcuenca Quillopaccha entre 0.67, siendo esta última la más limpia en todos los aspectos del análisis ya que tiene poco o ningún contacto humano.

En las microcuencas Chagrasacha y Talatag y en el Río Yanayacu se incrementa la concentración de SDT a medida que avanzan por su cauce, véase datos totales por microcuenca, mientras que en la microcuenca Quillopaccha contrasta esta situación, ubicándose los valores más bajos en los puntos cercanos a la captación, como se mencionó anteriormente esta microcuenca se encuentra alejada de todo contacto humano, pero existe contacto con la fauna nativa de la zona; estos depositan su material fecal cerca de las microcuencas pero existe una capacidad de autodepuración

muy buena, a diferencia de las demás microcuencas que ya no pueden realizar esta función debido a la alta contaminación provocada por el ser humano. Las lecturas de los análisis están dentro de los límites estipulados en la Tabla 5 del anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097, que reforma los anexos del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA), referentes a los criterios de calidad de aguas para uso pecuario (3000 mg/l).

Tabla 37-3: Análisis de varianza unifactorial para Sólidos Totales Disueltos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	P-valor
Microcuenca	1890	630	0.96	0.42
Por fecha	923	307.5	0.47	0.70

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La Tabla 37-3 muestra los resultados correspondientes al análisis de varianza para sólidos disueltos totales, mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk verificando una distribución normal en el conjunto de datos con respecto a los grupos "microcuencas" y "fechas", seguido de una aplicación de análisis ANOVA, los p-valores obtenidos reflejan que no existe diferencia significativa entre sí, al ser > 0.05 , para el caso del análisis por fechas su valor p 0.705 indicando que los datos presentan cierta similitud estadísticamente, este comportamiento se registra en el boxplot del Gráfico 26-3 donde el valor de las medianas presenta cierta tendencia a mantener datos centrales para las diferentes agrupaciones.

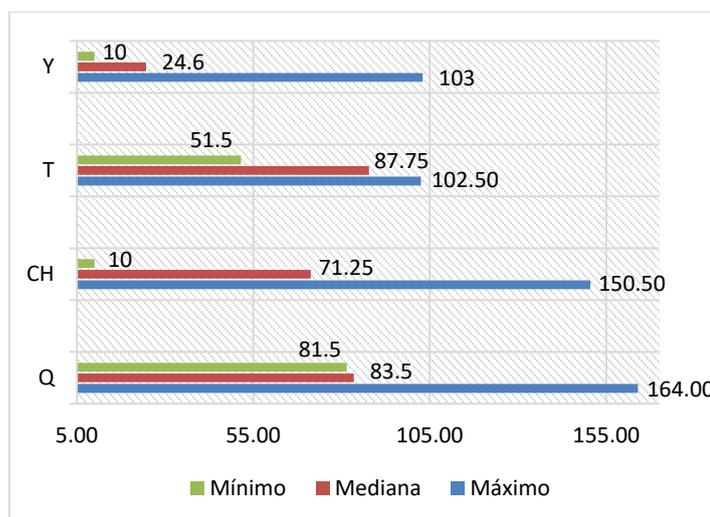


Gráfico 27-3. Valores máximos y mínimos para SDT

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

Los valores máximos promedio registrados durante el programa de muestreo se encuentra a Quillopaccha, seguido de la microcuenca Chagrasacha, Yanayacu y Talatag 164, 150.50, 103,

102.50 respectivamente; esta característica se puede apreciar con los valores mínimos y medianas promedio en Quillopaccha, Talatag, Yanayacu y Chagrasacha planteados en el Gráfico 27-3.

3.7.11. Coliformes Fecales

Tabla 38-3: Estadística descriptiva para Coliformes Fecales

Punto de muestreo	Mediana	Mínimo	Máximo	Q1	Q2	Q3	S2	S	r
Q1	4.0	1.0	34.0	1.25	4.00	27.0	244.7	15.6	1.46
Q2	133.0	98.0	158.0	105.7	133.0	152.7	619.0	24.8	0.19
Ch1	135.5	75.0	1840.0	88.5	135.5	173.5	2020.3	44.9	0.34
Ch2	184.5	118.0	404.0	122.5	184.5	361.2	17151	130.9	0.59
T1	75.0	18.0	185.0	24.7	75.0	165.0	5482.2	74.0	0.84
T2	57.0	34.0	70.0	37.5	57.0	69.0	278.3	16.6	0.31
Y	61.1	30.0	80.1	35.2	61.1	77.9	499.4	22.3	0.38

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

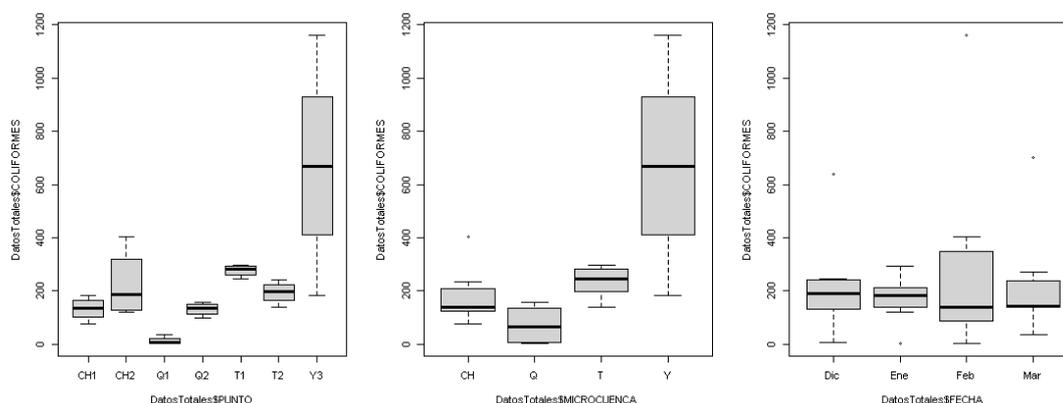


Gráfico 28-3. Diagrama de cajas para Coliformes Fecales

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

En los datos totales por punto y microcuenca, se observaron variaciones en las concentraciones de coliformes fecales reportadas durante el período de estudio y presentaron un alto grado de heterogeneidad en el conjunto de datos. De acuerdo con los datos totales por fecha, el comportamiento bacteriológico en la microcuenca no cambió mucho, y se observó que la precipitación no tuvo un efecto mayor como se muestra en casos anteriores. De acuerdo con los valores reportados, la concentración de colonias tiende a aumentar conforme al descenso de las microcuencas.

En todas las áreas donde se ubica la unidad de investigación predominan las actividades agrícolas relacionadas con la ganadería, de la misma manera que la vida silvestre contribuye a esta

contaminación. Otra de las causas conexas a esta variabilidad en la concentración de Coliformes Fecales, es la carencia de nutrientes a lo largo del cauce, al no tener disponibilidad de fuentes de carbono necesarias para su crecimiento, véase datos totales por microcuenca; la microcuenca Quillopaccha presenta el punto más lejano y por ende la concentración de coliformes comienza a disminuir e incluso a desaparecer por completo.

Los resultados dan a conocer que no se cumple con los límites estipulados en las Tabla 3 y 6 del anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097, que reforma los anexos del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA), referido a criterios de calidad de aguas para riego agrícola (1000 NMP/100ml) y criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto primario (200 NMP/100ml), respectivamente.

Tabla 39-3: Análisis de varianza unifactorial para Coliformes Fecales

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	P-valor
Microcuenca	588360	196120	29.38	2.41×10^{-7}
Por fecha	11.40	380	0.05	0.98

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La Tabla 39-3 muestra los resultados correspondientes al análisis de varianza para coliformes fecales, mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk verificando una distribución normal en el conjunto de datos con respecto a los grupos "microcuencas" y "fechas", seguido de una aplicación de análisis ANOVA, los p-valores obtenidos para el grupo "microcuencas" reflejan que existe diferencia significativa entre sí, al ser < 0.05 , con un valor de 2.41×10^{-7} reflejando una discrepancia en el conjunto de datos; para el caso del análisis realizado al grupo "por fechas" su valor p 0.982 no refleja diferencias significativas indicando la existencia de cierta similitud estadística, este comportamiento se registra en el boxplot del Gráfico 28-3 donde el valor de las medianas presenta cierta tendencia a mantener datos centrales en el grupo fechas, mientras que el grupo microcuencas existen fluctuaciones en sus medidas de dispersión.

3.7.12. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Tabla 40-3: Estadística descriptiva para DBO₅

Punto de muestreo	Mediana	Mínimo	Máximo	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ²	S	r
Q ₁	0.25	0.10	0.90	0.10	0.25	0.78	0.14	0.38	1.01
Q ₂	0.15	0.10	0.90	0.10	0.15	0.73	0.15	0.39	1.19
Ch ₁	1.05	0.10	1.70	0.30	1.05	1.58	0.45	0.67	0.69
Ch ₂	0.60	0.10	1.80	0.10	0.60	1.63	0.69	0.83	1.07
T ₁	0.55	0.10	0.70	0.20	0.55	0.68	0.07	0.26	0.55
T ₂	1.80	0.90	3.30	1.10	1.80	2.95	1.00	1.00	0.51
Y	0.85	0.10	1.20	0.23	0.85	1.18	0.26	0.51	0.68

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

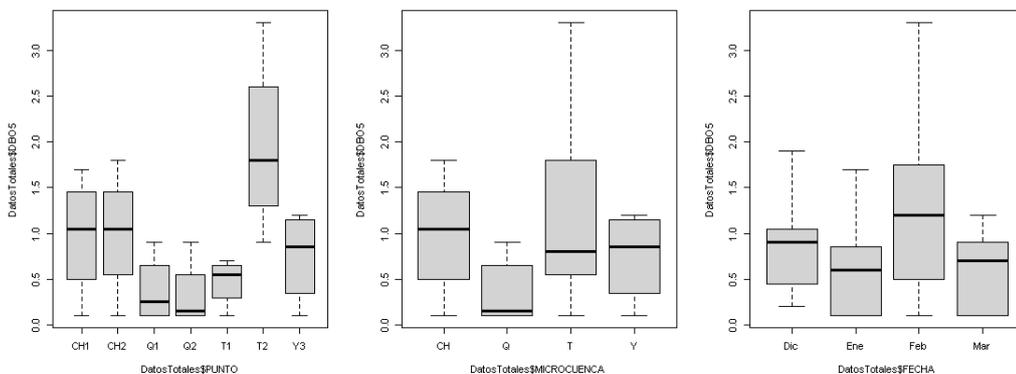


Gráfico 29-3. Diagrama de cajas para Demanda Bioquímica de Oxígeno

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

En los datos totales por microcuenca, se muestra la variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), la cual difiere de 0.69 a 1.19 de la media para cada punto. Este cambio está directamente relacionado con las precipitaciones reportadas, así como el hecho de que la presencia de precipitaciones favorece la dilución de la carga orgánica en los cauces antes mencionados de forma positiva.

Como se puede observar, los datos de DBO₅ por sí solos muestran una variabilidad moderada, la cual disminuye al analizarlos en conjunto, ver datos totales por fecha; la mediana nos dice que el análisis tiene una distribución asimétrica negativa, indicando que la mayoría de los valores de DBO₅ están en el grupo superior.

Esta variación en relación con las otras unidades de estudio puede estar influenciada por un llamativo descenso en los valores de DBO₅ en el mes de enero, el cual fue en mayor respecto a las otras microcuencas, donde se evidencia también el comportamiento de la concentración de

DBO₅ a través del tiempo, esto demuestra la capacidad de autodepuración, acompañado de procesos de dilución debido a las aportaciones de los caudales.

Estos resultados se encuentran dentro de los límites en la Tabla 2 del anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, que reforma los anexos del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA), referido a los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios (20 mg/L). Sin embargo, también cumple los límites determinados en la Tabla 1 de la misma normativa, referente a los criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico (2 mg/L).

Tabla 41-3: Análisis de varianza unifactorial para la DBO₅

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	P-valor
Microcuenca	3.23	1.07	2.34	0.10
Por fecha	2.34	0.78	1.69	0.19

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La Tabla 41-3 muestra los resultados correspondientes al análisis de varianza para la demanda bioquímica de oxígeno, mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk verificando una distribución normal en el conjunto de datos con respecto a los grupos "microcuencas" y "fechas", seguido de una aplicación de análisis ANOVA, los p-valores obtenidos reflejan que no existe diferencia significativa entre sí, al ser > 0.05 , para el caso del análisis por fechas su valor p 0.198 indicando que los datos presentan cierta similitud estadísticamente, este comportamiento se registra en el boxplot del Gráfico 29-3 donde el valor de las medianas presenta cierta tendencia a mantener datos centrales para las diferentes agrupaciones.

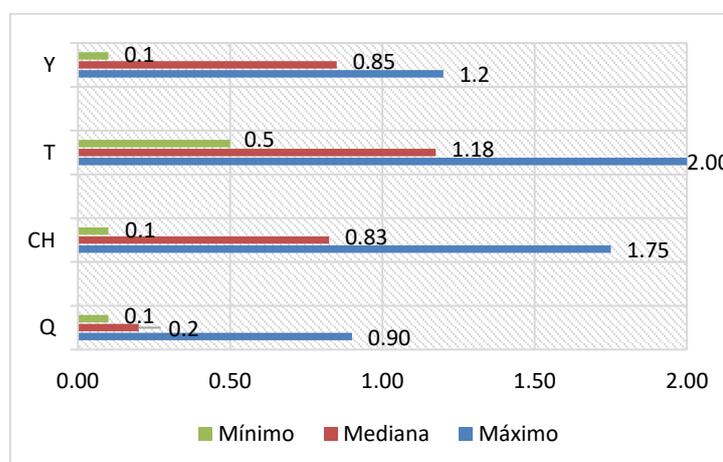


Gráfico 30-3. Valores máximos y mínimos para DBO₅

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

3.8. Análisis de Cationes

Tabla 42-3: Análisis de cationes

Análisis de Cationes							
Microcuenca		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Unidades
Quillopaccha	Q ₁	1.18	0.84	0.63	3.46	< 1	mg/L
	Q ₂	1.22	1.01	1.19	3.86	< 1	
Chagrasacha	CH ₁	0.85	1.08	7.39	8.94	< 1	
	CH ₂	1.46	3.07	6.77	8.74	< 1	
Talatag	T ₁	1.25	2.90	2.22	8.81	< 1	
	T ₂	1.14	2.64	2.28	8.74	< 1	
Yanayacu	Y	1.86	2.71	4.43	12.54	< 1	

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

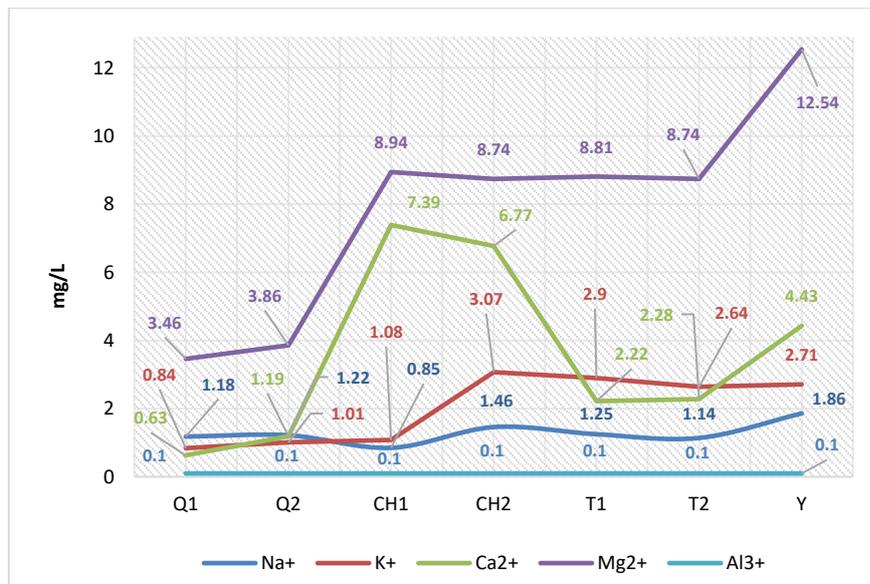


Gráfico 31-3. Comportamiento de los cationes en los puntos de muestreo

Realizado por: Guaminga I., Terán D. 2022

La Gráfica 31-3 muestra los resultados del comportamiento de los cationes Na⁺, K⁺, Ca²⁺, y Mg²⁺ registrados en las microcuencas Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag donde el catión Mg²⁺ presenta una mayor tendencia en su concentración en cada punto de muestreo seguido del catión Ca²⁺ donde su máximo valor se reflejado en el punto Ch₁ de 7.39 mg/L, seguido se encuentra el catión K⁺ con un valor máximo de 3.07 mg/L, finalmente los resultados para Al³⁺ fueron <1 indicando su baja concentración. Para (Beita Sandí et al., 2011: p.8) el comportamiento de la acidez del agua se debe a prácticas agrícolas generando lixiviados, estos al unirse con cationes generan iones H⁺ que posteriormente son transportados hacia cuerpos de agua.

CONCLUSIONES

- A través del índice de Calidad de Agua "Water Quality Index" (WQI), desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, como resultado se identificó nueve variables de mayor importancia, que se muestran a continuación. Este índice tiene la particularidad de ser ampliamente usado en estudios ambientales y por este motivo se seleccionó esta metodología de cálculo para los índices de calidad.
- Se realizó la morfometría de las microcuencas determinado su de tendencia oval – oblonga a rectangular - oblonga, por la referencia >1.5 según Strahler, lo que es un indicador de baja tendencia a inundaciones y de igual manera tiene un gran impacto en la velocidad de respuesta del río ante un evento de precipitación. Por otra parte, la clasificación de los canales de la red de drenaje para cada microcuenca hidrográfica fue efectuada de acuerdo con la metodología propuesta por Strahler (1957) por ser el más difundido y fácil de utilizar, Chagrasacha y Quillopaccha se encuentra conformada por 3 tributarios de primer orden y 1 tributario de segundo orden, obteniendo una densidad de drenaje de 0,259 y 0,26 respectivamente, Talatag presenta 4 canales de primer orden y 1 canal de segundo orden, generando una densidad de drenaje de 0,29. Según el orden de clasificación efectuada por (Vásconez, 2019) las microcuencas antes mencionadas poseen drenajes pobres al obtener valores menores a 0,5 mostrando un alto grado de infiltración y escurrimiento medio debido a su pendiente moderada. Concluyendo que las características morfométricas para las 3 microcuencas no incrementan, sino que más bien atenúan los efectos y la vigorosidad de las crecidas.
- Se puede concluir que el promedio de calidad general de la unidad hidrográfica del río Yanayacu fue 60 que entra en un rango de calidad "Media", este valor se debe a tres focos de contaminación provocado por coliformes fecales, nitratos y pH en las microcuencas Chagrasacha, Yanayacu y Talatag respectivamente, las dos primeras refieren a la presencia de ganado equino y vacuno en las zonas, a diferencia de Talatag que su disminución de pH se debe al aumento de temperatura en horas de la tarde donde el sol está en su punto máximo y genera este aumento de temperatura, también hay que hacer hincapié en el caudal, ya que juega un papel importante en el proceso de autodepuración de las microcuencas, siendo una relación directamente proporcional como se puede observar en las gráficas de ICA, en los meses de diciembre y enero existen mayores precipitaciones y por ende mayor calidad del agua, a diferencia de febrero y marzo que son el caso opuesto.
- Las comparativas de calidad fisicoquímica del agua en las microcuencas Chagrasacha, Quillopaccha y Talatag de acuerdo con la verificación del cumplimiento de normativa

ambiental vigente, Acuerdo Ministerial 097-A Libro VI, referido a los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, presentan incumplimientos en los parámetros de nitratos, coliformes fecales y pH, siendo la causa principal la falta de control en actividades ganaderas en la zona, sin embargo, no todas las microcuencas presentaron esta inconformidad, siendo Quillopaccha el punto más alejado de todo contacto antropogénico y arrojando resultados de coliformes fecales y nitratos escaso o inexistentes, la presencia de fauna autóctona de la zona (venados, aves, roedores, etc.) contaminaba los causes pero este a su vez puede auto depurarse debido a la baja concentración de los estos purines.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ejecutar actividades de monitoreo frecuentes en la zona, considerando aquellos parámetros fisicoquímicos más relevantes, con el propósito de gestionar adecuadamente los recursos hídricos e implementar acciones de mejora y conservación.
- En el presente estudio se realizó un primer acercamiento de cationes (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), presentando concentraciones altas de calcio y magnesio este comportamiento se registró debido a la geología del terreno por donde circula el agua, sin embargo, se recomienda realizar la recolección de muestras dentro de un mayor intervalo de tiempo establecido en el programa de muestreo para la adquisición de resultados más precisos.
- No se recomienda para consumo humano estas aguas, pero no presenta inconvenientes mayores para fines recreativos mediante contacto secundario (4000 NMP/100ml canotaje, remo, pesca deportiva, etc.), riego agrícola y uso pecuario (1000 NMP/100ml).
- Para la reducción de focos de contaminación se recomienda educar a la población, en el uso adecuado de los bienes y servicios que brinda la zona, ya que son un derecho de goce para generaciones presentes y futuras, y además para los entes de control del parque se recomienda mayor rigor en el ingreso y salida de los visitantes de las zonas turísticas de libre acceso.

BIBLIOGRAFÍA

BARRETO, L., LEIVA, M. (2009). *Procedimiento de Muestreo de Agua Superficial*. Ciencias del Medio Ambiente , Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo . Huaraz Ancash : s.n., 2009. págs. 5-7, Procedimeinto de Muestreo .

BEITA, W. & BARAHONA P. (2011). *Fisico-Quimica de las aguas de la Cuenca del río Rincón*. San José, Costa Rica : Redalyc, 2011. pág. 8. 1659-4266.

BIRDLIFE, INTERNATIONAL, AVES Y CONSERVACIÓN. (2014). *Servicios Ecosistémicos del Parque Nacional Llanganates*. Quito Ecuador : BirdLife International, 2014. págs. 7-10.

BOLAÑOS, D., CORDERO, G., & SEGURA, G. (2017). *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación*. Alajuela - Costa Rica : s.n., 2017. págs. 3-4, Artículo Científico .

BRIERA, C. (2018). *Caracterización de Cuencas*. San Rafael, Mendoza : INTA EEA Rama, 2018. págs. 21-22, Programa Nacional Agua - PNAGUA.

BROWN, M., ROBERT, et al., (1972). *A Water Quality Index Crashing The Psychological Barrier*. New York : W. A. Thomas (ed.), Indicators of Environmental Quality, 1972. págs. 4-7. COMMUNICATING EFFECTIVELY ABOUT THE QUALITY OF WATER.

BRUHL, HARTMUT, et al. (2009). *Manual para la Gestión Integral del Recursos Hídricos en Cuencas*. Londres : Global Water Partnership (GWP) y la Red Internacional de Organismos de Cuenca (International Network of Basin Organizations, INBO)., 2009. págs. 10-11. 978-91-85321-78-0.

BURBANO, H. (2016). *El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria*. Pasto, Colombia : s.n., 2016. págs. 3-4. 2256-2273.

CAMINO, M. et al. (2018). *Estudio Morfométrico de las Cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires*. Buenos Aires : Creative Commons Atribución, 2018. págs. 6-7. 0326-8373. *Caracterización Morfométrica de la Cuenca La Berbeja*.

GUERRA, F. & GONZÁLES, J. (2002). 1-2, Táchira: s.n., 2002, EOENSEÑANZA, Vol. 1316-6077.

CÁRDENAS, N. (2020). "Evaluación de la Calidad del Agua en la Microcuenca Hidrográfica del Río Tutanangoza Mediante Análisis Físicoquímicos, Microbiológicos y la Aplicación del ICA-NSF". Cuenca : s.n., 2020. págs. 42-65.

CARRILLO, S., & URGILÉS D. (2016). "Determinación del Índice de Calidad del Agua ICA NSF de los ríos Mazar y Pildilig ". Universidad de Cuenca. Cuenca : s.n., 2016. págs. 60-78, Tesis Pregrado.

CASTRO, L. (1996). Conductividad, Oxígeno Disuelto, pH y Temperatura en el río Bermúdez (Costa Rica) y su relación con el uso de suelo en la cuenca. *Universidad Nacional de Costa Rica*. [En línea] 1996. [Citado el: 09 de 04 de 2022.] <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/5475>.

CHAQUEA, M. (2016). *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Bogotá, Colombia : Edicio es USTA, 2016. ISBN 978-958-631-966-9.

CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR. (2008). *Constitución De La Republica Del Ecuador*. 2008.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL QUINDÍO et al. (2008). *Plan de ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río La Vieja*. Armenia;Pereira;Cali : CRQ; CARDER; CVC; UAESPNN; IDEAM; MAVDT, 2008. págs. 12-13,14,15, Plan de Ordenación y Manejo.

CORRADINE, F. (2017). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica*. Bogota : s.n., 2017. págs. 12-13.

DEBELS, PATRICIO, et al. (2005). *Evaluación de la Calidad del Agua en el Río Chillán utilizando Parámetros Físico-Químicos y un Índice de Calidad de Agua Modificado*. Chile : s.n., 2005. págs. 301-322.

DOLORES, D & AGÜERO, J. (2018). *Delimitación Hidrográfica y Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria . Rioja : Ediciones INTA, 2018. págs. 22-23.

ENDARA, I. et al. (2013). *Plan de Manejo Ambiental Parque Nacional Llanganates*. Ministerio del Ambiente. Quito : s.n., 2013. Plan de Manejo .

ESTUPIÑAN, L., et al. (2009). Efecto de las actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo El Granizo. 2009, Vol. 2, 79, págs. 2-3.

FIGUERIA, R. (2004). *Calidad Ambiental de la Cuenca del Hidrográfica del Río Chillán VII*. Universidad de Málaga. Málaga-Chile : s.n., 2004. págs. 25-26.

GARCÍA, M., et al. (2001). *El Medio Ambiente en Colombia*. Bogota : IDEAM, 2001. págs. 115-116.

GLYN, H. (1996). Ingeniería Ambiental. *Ingeniería Ambiental*. [En línea] 1996. [Citado el: 09 de 04 de 2022.] https://books.google.com.ec/books?id=ToQmAKnPpzIC&dq=fuentes+naturales+de+fosfato+agua&hl=es&source=gbs_navlinks_s.

GUERRA, F. & GONZÁLEZ, J. (2002). *Caracterización Morfométrica de la Cuenca La Bermeja*. San Cristobal, Venezuela : s.n., 2002. págs. 88-108. 1316-6077.

GUTIÉRREZ, M. (2008). *Geomorfología*. [ed.] Miguel Martín Romo. Segunda. Madrid, España : Pearson Prentice Hall, 2008. Vol. I. 978-84-8322-389-5.

HERNÁNDEZ, J. & BORAU, J. (2017). *Guía Técnica de Accesibilidad en Espacios Naturales*. Barcelona : Codigrafit, S.L., 2017. págs. 7-8. Catálogo de publicaciones de Administración General del Estado. 978-84-8014-913-6.

IBÁÑEZ, A., & GISBERT, B. (2018). *Morfología de las Cuencas Higráficas*. Valencia : Vegetable Production, 2018. págs. 4-5. Vol. I.

ICKA, R. & PIRRO. (2013). *Evaluación del Índice de Calidad del Agua*. Albania : Semental, 2013. 1045-1051.

IZURIETA, X. (2008). *Ficha Informativa de los Humedales*. Quito : s.n., 2008. *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) – Versión 2006-2008*. 2007. págs. 8-9, Ficha Informativa.

JÁCOME, N & VEGARA, E. (2017). *Turismo como Factor Estratégico de los Planes de Uso, Creativo y Turístico del Parque Nacional Llanganates*. Latacunga : s.n., 2017. págs. 57,58, Tesis Pregrado .

LARREA, M. et al. (2012). *Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas*. Departamento de Microbiología y Virología, Facultad de Biológicas , Universidad de La Habana. La Habana-Cuba: Revista CENIC. Ciencias Biológica, 2012. Artículo Científico. 0253-5688.

LÓPEZ, L. (2019). *Valoración económica de los bienes y servicios ambientales estéticos y recreativos e hídricos del Parque Nacional Llanganates, periodo 2018*. Facultad de Economía, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito : s.n., 2019. Tesis pregrado.

MÉNDEZ, G et al. (2021). *Análisis morfométrico de la cuenca El Salto, Durango, México*. Durango, México : s.n., 2021. págs. 7-8.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2015). *Reforma Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislacion Secundaria*. 2015.

NAVAS GALLO, N. (2019). *Índice de Calidad del Agua General "ICA"*. EL Salvador : SNET, 2019. págs. 6-14.

NOVOA, ZANIEL I. (2011). *Cuenca Hidrológica*. [ed.] Zaniel I. Novoa Goicochea. Primera . Lima, Peru : Sociedad Geográfica de Lima, 2011. págs. 26-27. Vol. I, Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2012-08846. 978-9972-602-76-4.

ORTIZ, M. (2000). *Biodiversidad en el Parque Nacional Llanganates*. Quito : EcoCiencia, 2000. págs. 5-7. Un reporte de las evaluaciones ecológicas y socioeconómicas rápidas. 9978-41-638-2.

RAMÍREZ, S. (2011). *CALIDAD DEL AGUA – Evaluación y diagnóstico –*. Medellín - Colombia : Ediciones de la U, 2011. ISBN: 978-958-8692-06-7.

SÁNCHEZ, A., GARCIA, R., & PALMA, A (2003). *La Cuenca Hidrográfica*. [ed.] Miguel Ángel Domínguez. Primera. Mexico : Centro Nacional de Información, 2003. págs. 28-29. Vol. I. 968-817-581-1.

SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA. (2015). *Reglamento De La Ley Organica De Recursos Hircos Uso Y Aprovechamiento Del Agua.* [Documento] 2015.

SIERRA, A. (2011). *Calidad del Agua Evaluación y Diagnóstico.* [ed.] David Leonardo López Escobar . Primera. Medellín : Ediciones de la U, 2011. págs. 27-28. Vol. I. 978-958-8692-06-7.

SILVIA, R. & GLORIA, M. (2009). Variabilidad de Fosfatos en Distintas Fuentes de Agua. *Corrientes - Argentina.* [En línea] 2009. [Citado el: 27 de 03 de 2022.] <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/investigacion/com2009/CA-046.pdf>.

SOLÍS, A. & MORA, D. (2018). *La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua.* 2018. págs. 3-4. Conductivity as a predictive parameter of hardness.

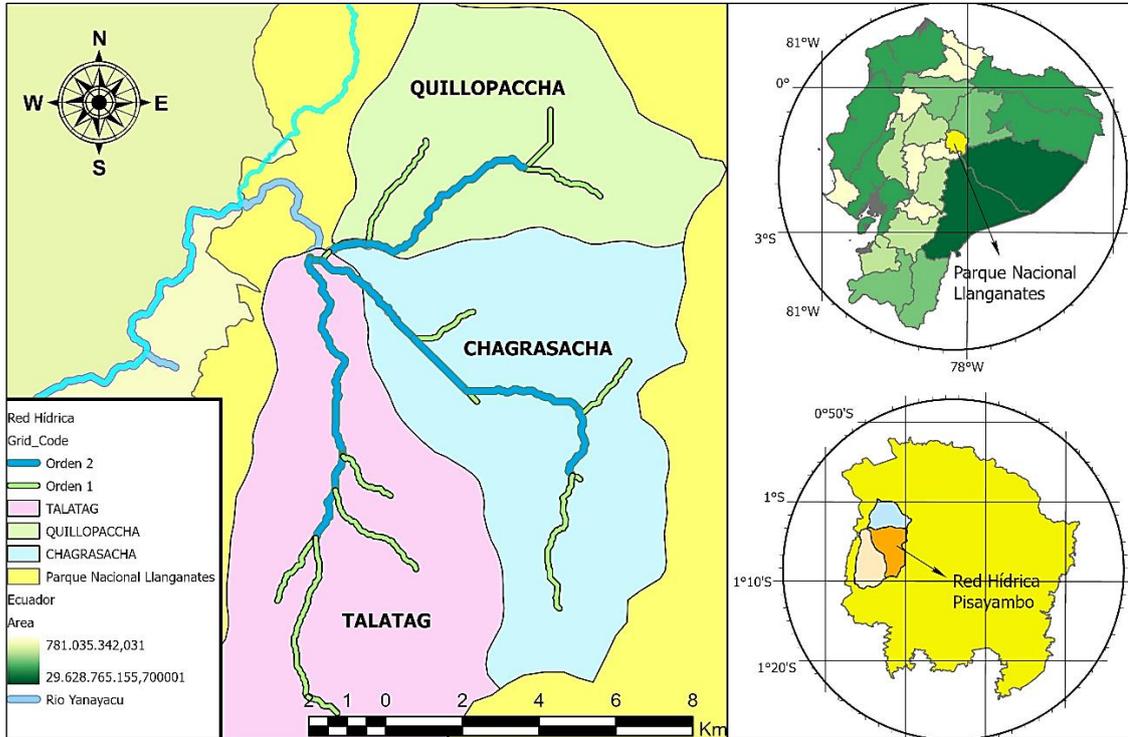
VAGHELA, B., et al. (2013). *Revista internacional de ciencias vegetales, animales y ambientales.* India : s.n., 2013. ISSN 2231- 4490.

VÁSCONEZ, M. et al. (2019). *Cuencas Hidrográficas.* [ed.] Araque Miguel. Primera . Cuenca : Abya - Yala, 2019. págs. 17-18. Vol. I. 978-9978-10-380-7.

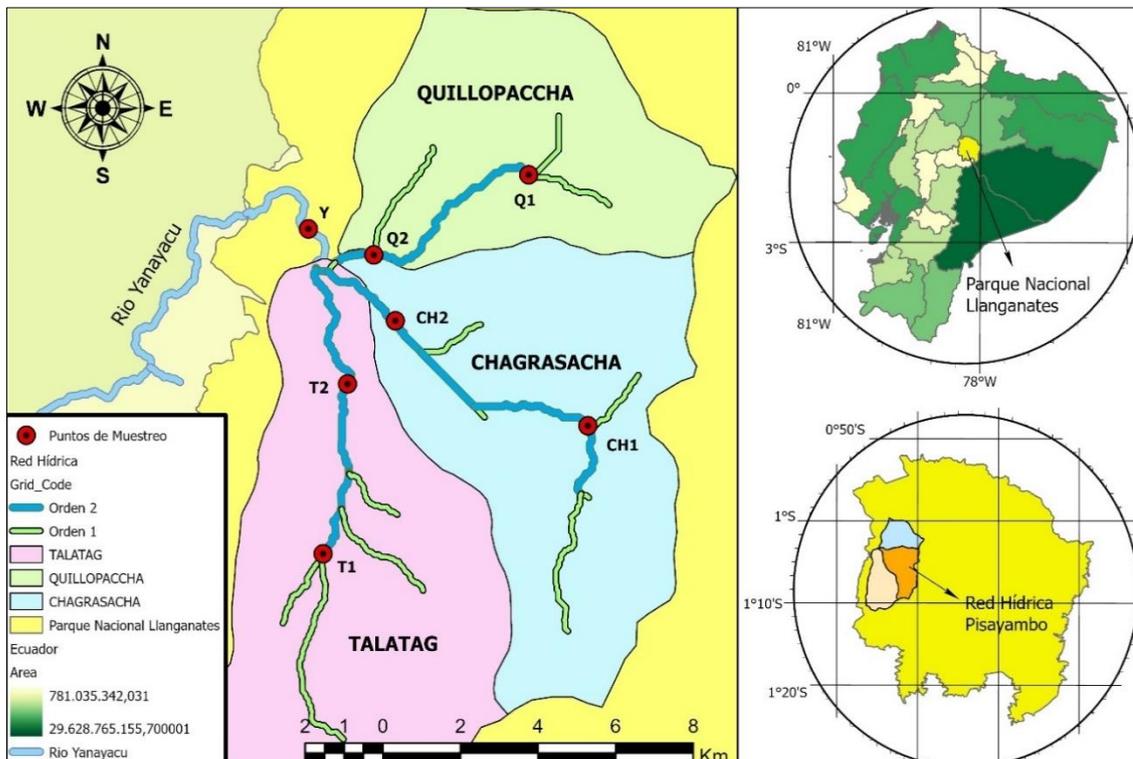
VIVES DE ANDRÉIS, B. (2003). *Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos.* Calidad Ambiental y Marina , Instituto de Investigación Marinas y Costeras . Santa Marta : Cargraphics - Impresión Digital, 2003. pág. 21. Vinculado al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

ANEXOS

ANEXO A. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

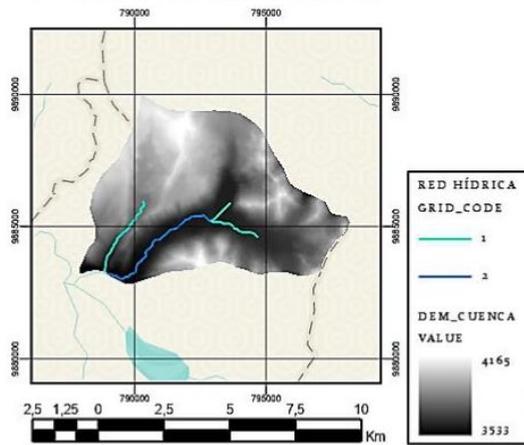


ANEXO B. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

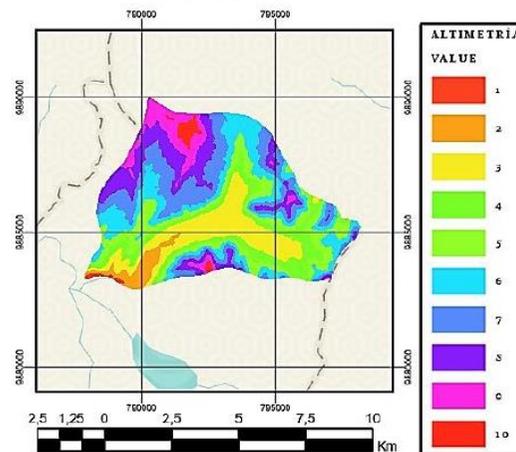


ANEXO C. MORFOMETRÍA PARA LA MICROCUENCA QUILLOPACCHA

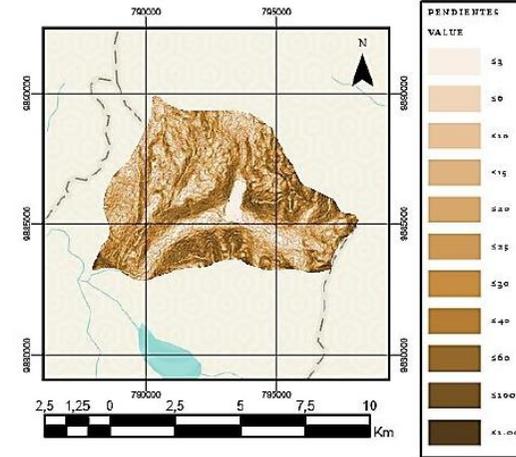
MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL



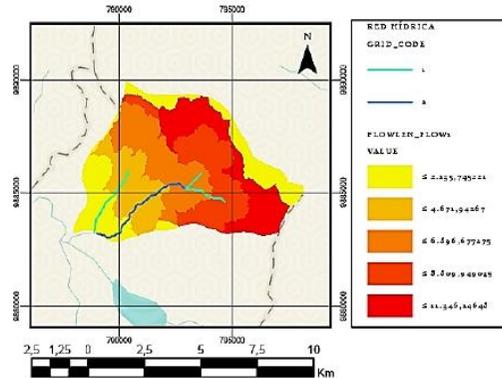
ALTIMETRÍA



PENDIENTE

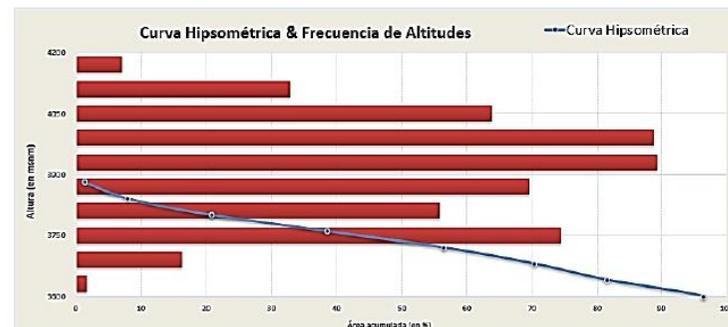


LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL



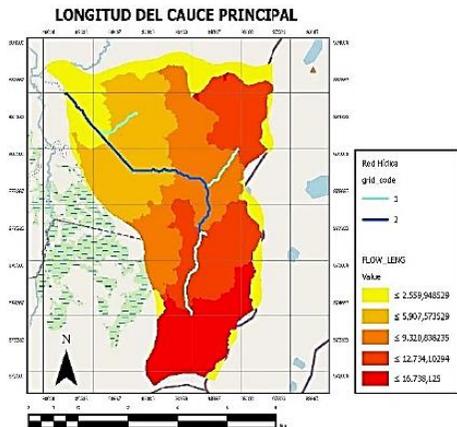
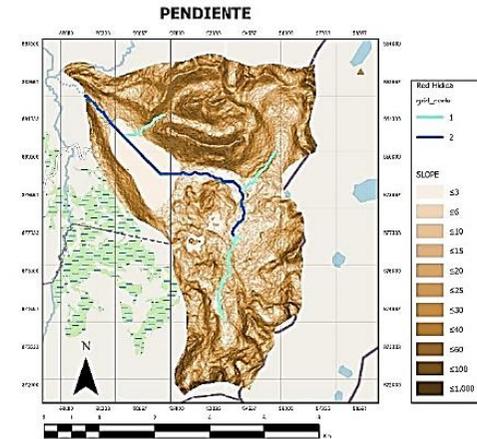
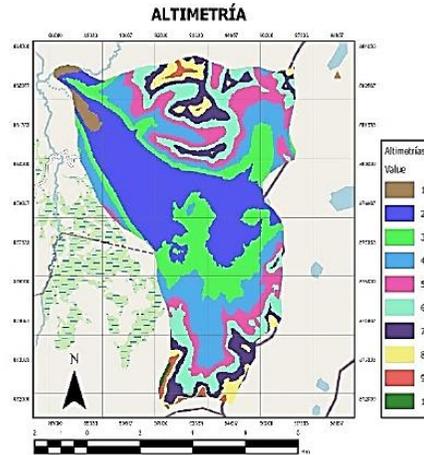
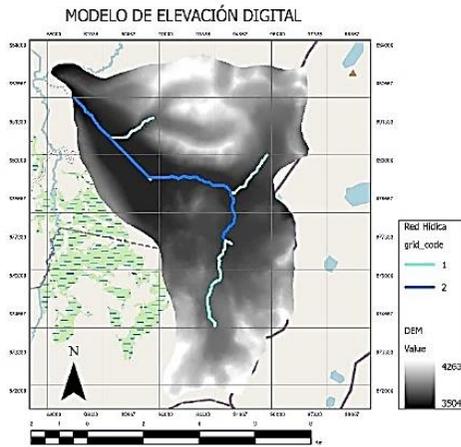
BASAS POR INTERVALOS										
VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM		
1	394	155313	3533	3536	63	3577.9	24.9	3559136.000		
2,0	9585,0	3497656,3	3597,0	3659,0	62,0	3638,7	15,8	34877402,000		
3,0	43951,0	6657543,8	3660,0	3722,0	62,0	3689	17,5	162113795,000		
4,0	52379,0	5152668,8	3723,0	3785,0	62,0	3755,2	18,2	123824948		
5,0	41080,0	6420512,5	3785,0	3849,0	63,0	3820,6	18,3	156987671		
6,0	52827,0	8254218,8	3850,0	3912,0	62,0	3881,4	17,5	205043339		
7,0	52325,0	8207031,3	3913,0	3975,0	62,0	3943,1	17,1	207108781		
8,0	57667,0	5885468,8	3975,0	4038,0	62,0	4005,6	18,4	150878562		
9,0	29395,0	3030156,3	4039,0	4101,0	62,0	4064,3	17,3	78819402		
10,0	4205,0	857051,3	4102,0	4165,0	63,0	4121,6	15,5	17352512		

orden	N veces (1)	Pen. Prom% (2)	(1) x (2)
1	795	6,15	4892,64
2	710	5,48	3889,27
Total	1505		8782,21
Pendiente promedio (%)		5,84	



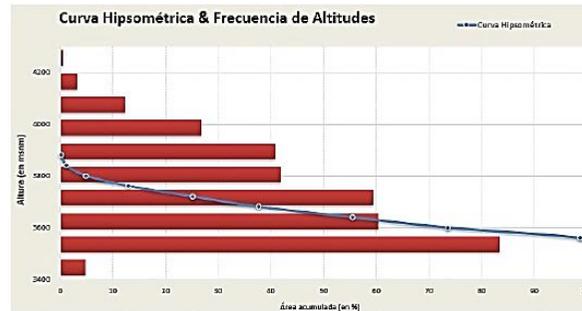
Parámetro	Unidades	Valor
Área	km ²	45,897
Perímetro	km ²	36,825
Cota máxima	msnm	4165
Cota mínima	msnm	3533
Desnivel altitudinal	m	632
Centroide X	m	752639,3
Centroide Y	m	9885346
Centroide Z	m	0
Índice de Compacidad	Un	1,53
Altura Media	m	3700,00
Altura más frecuente	m	3600,01
Pendiente media de la cuenca	%	25,36
Pendiente media de la red hídrica	%	5,84
Longitud cauce principal	km	11,34
Longitud orden 1	km	6,38
Longitud orden 2	km	5,38
Longitud red hídrica	km	11,76
Densidad de drenaje	km/km ²	0,26
Densidad de corrientes		0,0872

ANEXO D. MORFOMETRÍA PARA LA MICROCUENCA CHAGRASACHA



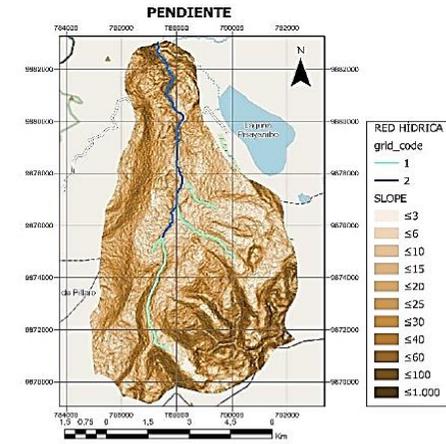
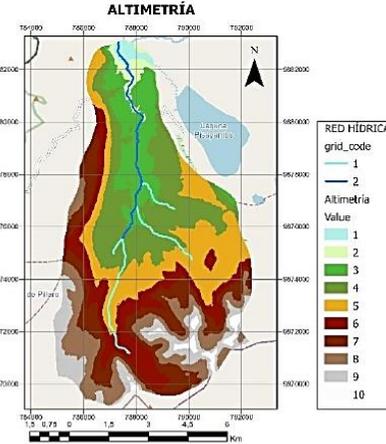
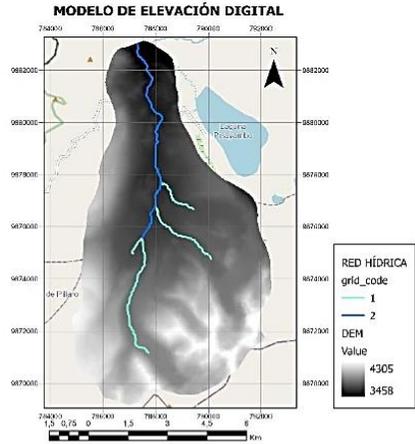
ÁREAS POR INTERVALOS								
VALLE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5942	928457,5	3504	3579	75	3555	16,5	21124017
2	105234	15442832,5	3580	3655	75	3613,2	24,1	380234236
3	75221	11909531,25	3656	3731	75	3689	22,2	281177051
4	74908	11704375	3732	3807	75	3766,1	21,5	282110003
5	52860	8259375	3808	3883	75	3847,2	22,5	203355379
6	51955	8061719	3884	3959	75	3919,1	21,8	202203661
7	33732	5267500	3960	4035	75,000	3994,9	21,4	134677086
8	15637	2443381	4036	4111	75,000	4068,4	21,5	63618166
9	4029	629531	4112	4287	75,000	4138,4	19,7	16673615
10	798	124988	4188	4263	75,000	4212,7	16,8	3361758

orden	N veces (1)	Pen. Prom % (2)	(1) x (2)
1	535	5,05	2702,07
2	619	2,42	1498,87
Total	1154		4200,94
Pendiente promedio (%)		3,64	



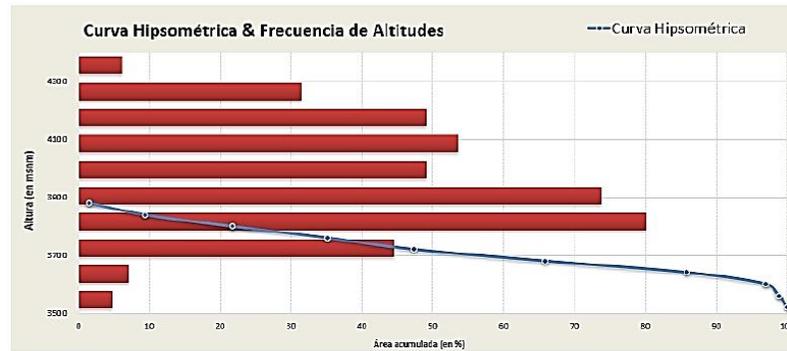
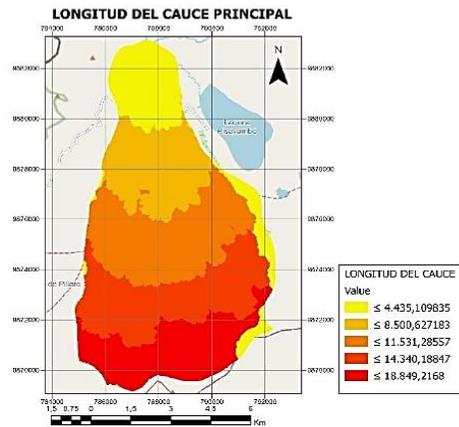
Parámetro	Unidades	Valor
Área	km ²	65,471
Perímetro	km	47,893188
Cota máxima	msnm	4283
Cota mínima	msnm	3504
Desnivel altitudinal	m	759
Centroide X	m	793331
Centroide Y	m	9378726
Centroide Z	m	0
Índice de Compacidad	Un	1,57
Altura Media	m	3700,00
Altura más frecuente	m	3600,01
Pendiente media de la cuenca	%	24,19
Pendiente media de la red hídrica	%	3,64
Longitud cauce principal	km	16,73
Longitud orden 1	km	7,65
Longitud orden 2	km	9,32
Longitud red hídrica	km	16,97
Densidad de drenaje	km/km ²	0,259
Densidad de corrientes		0,0611

ANEXO E. MORFOMETRÍA PARA LA MICROCUENCA TALATAG



ÁREAS POR INTERVALOS								
VALLE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	5382	840937,5	3458	3542	84	3508,5	23,8	18802628
2	7854	1219375	3543	3627	84	3585,5	26,1	28028169
3	49128	7575250	3528	3712	84	3578,3	23	180707855
4	88425	13815406,25	3713	3796	83	3753,4	24,8	331895461
5	81407	12719843,75	3797	3881	84	3839,8	24,5	312258914
6	54250	8475562,5	3882	3966	84	3921,7	25,8	212748517
7	51959	9243585,75	3967	4050	83	4009,1	25,8	237793843
8	54210	8470112,5	4051	4135	84	4092,4	26,5	221846508
9	54588	5421562,5	4136	4220	84	4171,7	25,2	142750305
10	6809	1063906,25	4221	4305	84	4246,2	19,1	28912078

orden	N veces (1)	Pen. Prom % (2)	(1) x (2)
1	788	5,92	4661,51
2	619	5,66	3505,47
Total	1407		8166,98
Pendiente promedio (%)		5,80	



Parámetro	Unidades	Valor
Área	km ²	68,605
Perímetro	km ²	45,34646
Cota máxima	msnm	4305
Cota mínima	msnm	3458
Desnivel altitudinal	m	847
Centroide X	m	788351,1
Centroide Y	m	9875093
Centroide Z	m	0
Índice de Compacidad	Un	1,54
Altura Media	m	3700,00
Altura más frecuente	m	3600,01
Pendiente media de la cuenca	%	23,85
Pendiente media de la red hídrica	%	5,80
Longitud cauce principal	km	18,84
Longitud orden 1	km	11,07
Longitud orden 2	km	8,81
Longitud red hídrica	km	19,88
Densidad de drenaje	km/km ²	0,29
Densidad de corrientes		0,0728

ANEXO F. PERMISO DE INVESTIGACIÓN ESTIPULADO POR EL MINISTERIO DEL AMBIENTE



República
de Ecuador

Ministerio del Ambiente y Agua

PRONUNCIAMIENTO FAVORABLE No. MAAE-ARSFC-2021-1412

Sr. **CARLOS ROLANDO ROSERO ERAZO**,

Una vez que la propuesta para Autorización de Recolección de Especímenes de la Diversidad Biológica Sin Fines Comerciales para Investigación Científica, ha sido analizada, el Ministerio del Ambiente y Agua en uso de las atribuciones que le confiere el Acuerdo Interministerial SENESCYT-MAE N°001 aprueba el Proyecto **Identificación y Modelización de variables ambientales definitorios de la distribución de hábitats en el sector alto andino Herbazal de Páramo del Parque Nacional Llanganates**, al haber cumplido con los parámetros técnicos, administrativos y legales, establecidas en la ley.

ANEXO G. PREPARACIÓN Y TOMA DE MUESTRAS



ANEXO H. MEDICIÓN DE CAUDALES



ANEXO I. DETERMINACION DE VELOCIDAD DEL CAUDAL



ANEXO J. MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS



ANEXO K. MEDICIÓN DE LA DBO₅



ANEXO L. MEDICIÓN DE VOLÚMENES PARA DBO₅



ANEXO M. DETERMINACIÓN DE SULFATOS



ANEXO N. DETERMINACIÓN DE COLIFORMES FECALES



ANEXO O. DETERMINACIÓN DE NITRITOS





esPOCH

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 / 07 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Israel Jose Guaminga Mendoza Dayana Solange Terán Hidalgo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniero en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.


DIRECCION DE BIBLIOTECAS
Y RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE
Y LA INVESTIGACION
 Ing. Jhanetán Parreño Uquillas MBA
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

1491-DBRA-UTP-2022