



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL OXÍGENO DISUELTO  
EN LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN EL RÍO  
PACHANLICA DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIEROS AMBIENTALES**

**AUTORES:** WILLIAM JOEL PILAMUNGA HURTADO

ESTEFANY CAROLINA TORO APOLO

**DIRECTOR:** Ing. ANDRÉS AGUSTÍN BELTRÁN DÁVALOS, MSc.

Riobamba – Ecuador

2024

**© 2024, William Joel Pilamunga Hurtado; Estefany Carolina Toro Apolo**

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 del Autor.

Nosotros, William Joel Pilamunga Hurtado y Estefany Carolina Toro Apolo, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de estos 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 Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 07 de marzo del 2024.



**William Joel Pilamunga Hurtado**

**C.I: 025006553-9**

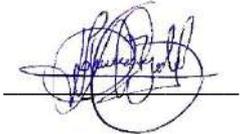
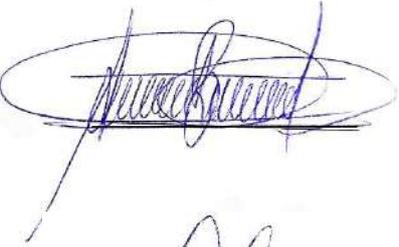


**Estefany Carolina Toro Apolo**

**C.I: 190049478-0**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal de Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto Técnico **EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL OXÍGENO DISUELTO EN LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN EL RÍO PACHANLICA DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA** de responsabilidad de los señores: **WILLIAM JOEL PILAMUNGA HURTADO y ESTEFANY CAROLINA TORO APOLO** ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, quedando autorizada su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Johanna Elizabeth Ayala Izurieta, MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-03-07
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos, MSc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-03-07
Ing. Paulina Fernanda Bolaños Logroño, MSc. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-03-07

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico con profunda gratitud a mi familia, a mis padres y hermanos, quienes me han enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia. En especial a mi hermana Karina, cuyo incansable esfuerzo y dedicación han sido el pilar fundamental sobre el cual he logrado culminar mi carrera universitaria. Su ejemplo, su constante apoyo y aliento han sido una fuente inagotable de motivación en cada etapa de este camino, y por eso le dedico este logro con todo mi corazón. Agradezco también a Dios por protegerme, darme salud, sabiduría y las fuerzas necesarias para alcanzar el éxito en este trayecto académico. Su presencia ha sido mi luz en los momentos de dificultad, y su amor incondicional me ha dado la fortaleza para superar cualquier obstáculo que se haya presentado en mi camino.

William

El presente trabajo se lo dedico primero a Dios por brindarme la fortaleza y la sabiduría necesaria para culminar este logro, sin su amor no hubiera superado los percances que se me presentaron a lo largo de este trayecto; también a mis padres Jhon Toro y Melva Apolo por haber confiado en mí, por apoyarme incondicionalmente, por todo su amor, esfuerzo y sacrificio, aprecio todo lo que me han enseñado y han hecho, para que hoy este aquí, es un orgullo y privilegio ser su hija, ¡este logro también es de ustedes! A mis hermanas Katy y Vivi por estar cuando las necesité, por aconsejarme y por ser mis eternas cómplices. A mis familiares por siempre tener palabras de aliento y preocuparse de que estuviera bien; finalmente, a mis amigos que estuvieron presentes en el transcurso de esta etapa, por siempre tener un consejo, un abrazo y brindarme un apoyo incondicional.

Estefany

## **AGRADECIMIENTO**

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Ambiental y a todos los profesionales que forman parte de esta institución, por brindarnos la oportunidad de crecer académica y personalmente durante nuestra trayectoria universitaria. En particular, agradecemos de manera especial al Grupo de Investigación para la Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas (GISOCH) por hacernos partícipes de su equipo y a su vez permitimos hacer uso del apoyo técnico y las instalaciones para la realización de este proyecto. Al mismo tiempo agradecemos a nuestros profesores, Ing. Andrés Beltrán e Ing. Paulina Bolaños por la confianza, conocimientos, guía y orientación que nos han brindado. Por último, a nuestros amigos y compañeros con quienes compartimos alegrías, tristezas y largas horas de estudio, su presencia ha hecho de este periodo una experiencia enriquecedora y llena de momentos inolvidables.

William & Estefany

## TABLA DE CONTENIDO

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

### CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Hipótesis .....	4

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO .....	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Referencias teóricas .....	6
2.2.1. <i>Comportamiento hidromorfológico de una microcuenca</i> .....	6
2.2.1.1. <i>Morfometría</i> .....	6
2.2.1.2. <i>Hidrología</i> .....	15
2.2.1.3. <i>Hidrometría</i> .....	16
2.2.1.4. <i>Incidencia de la vegetación ribereña y procesos erosivos en sistemas hidrológicos</i> ..	17
2.2.1.5. <i>Ventajas de la determinación hidromorfológica en el análisis hidrológico</i> .....	19
2.2.2. <i>Manejo de integrado de cuencas, subcuencas y microcuencas</i> .....	19
2.2.2.1. <i>Diferencia de una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica</i> .....	20
2.2.2.2. <i>Delimitación de una cuenca hidrográfica</i> .....	22

2.2.2.3.	<i>Salud de los ríos y servicios ecosistémicos</i> .....	23
2.2.2.4.	<i>Gestión de calidad del agua</i> .....	25
2.2.2.5.	<i>Monitoreo de la calidad de las aguas de un río</i> .....	25
2.2.3.	<b>Características de ríos o microcuencas</b> .....	26
2.2.3.1.	<i>Principales impactos ambientales en ríos andinos</i> .....	26
2.2.3.2.	<i>Importancia del ciclo del nitrógeno en los sistemas fluviales</i> .....	27
2.2.3.3.	<i>Importancia del ciclo del fósforo en los sistemas fluviales</i> .....	27
2.2.3.4.	<i>Eutrofización y sus procesos</i> .....	28
2.2.3.5.	<i>Parámetros que afectan la calidad del agua de un recurso hídrico</i> .....	29
2.2.3.6.	<i>Estudio hidrodinámico de nutrientes</i> .....	32
2.2.3.7.	<i>Evaluación de vulnerabilidad antrópica</i> .....	34
2.2.4.	<b>Análisis estadístico</b> .....	34
2.2.4.1.	<i>Supuesto de normalidad</i> .....	35
2.2.4.2.	<i>Correlación</i> .....	36
2.3.	<b>Marco conceptual</b> .....	38
2.3.1.	<b>Hidromorfometría</b> .....	38
2.3.2.	<b>Escorrentía</b> .....	38
2.3.3.	<b>Muestra puntual</b> .....	38
2.3.4.	<b>Punto de muestreo</b> .....	38
2.3.5.	<b>Aguas residuales</b> .....	39
2.3.6.	<b>Sedimentos</b> .....	39
2.3.7.	<b>Fertilizantes</b> .....	39
2.3.8.	<b>Pesticida o plaguicida</b> .....	39
2.3.9.	<b>Hidrodinámica</b> .....	40
2.3.10.	<b>Carga contaminante</b> .....	40
2.3.11.	<b>Concentración (C)</b> .....	40
2.3.12.	<b>Nutrientes</b> .....	40
2.4.	<b>Marco legal</b> .....	41

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	43
3.1.	<b>Descripción del área de estudio</b> .....	43
3.2.	<b>Aspectos socioeconómicos de la población de estudio</b> .....	45
3.3.	<b>Selección de puntos de muestreo</b> .....	46
3.4.	<b>Hidromorfometría de la microcuenca del río Pachanlica en GIS</b> .....	47

3.4.1.	<i>Morfometría</i> .....	48
3.4.2.	<i>Hidrología</i> .....	60
3.4.3.	<i>Hidrometría</i> .....	62
3.5.	<b>Toma de muestras</b> .....	63
3.6.	<b>Análisis de nutrientes</b> .....	64
3.7.	<b>Hidrodinámica de Nutrientes</b> .....	66
3.8.	<b>Evaluación de las zonas de mayor vulnerabilidad antrópica</b> .....	67
3.9.	<b>Análisis estadístico, correlación de variables</b> .....	70

## CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	72
4.1.	<b>Análisis y discusión de la hidromorfometría de la microcuenca del río Pachanlica</b> .....	72
4.1.1.	<i>Morfometría</i> .....	72
4.1.2.	<i>Hidrología</i> .....	80
4.1.3.	<i>Hidrometría</i> .....	83
4.2.	<b>Resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos in situ y ex situ</b> .....	85
4.2.1.	<i>Temperatura (°C)</i> .....	85
4.2.2.	<i>Potencial de hidrogeno (pH)</i> .....	88
4.2.3.	<i>Sólidos disueltos totales (TDS)</i> .....	90
4.2.4.	<i>Oxígeno disuelto (OD)</i> .....	91
4.2.5.	<i>Conductividad eléctrica (CE)</i> .....	93
4.2.6.	<i>Nitratos (NO<sub>3</sub>-)</i> .....	94
4.2.7.	<i>Nitritos (NO<sub>2</sub>-)</i> .....	96
4.2.8.	<i>Fosfatos (PO<sub>4</sub> 3- )</i> .....	97
4.3.	<b>Análisis hidrodinámico de los nutrientes</b> .....	98
4.3.1.	<i>Hidrodinámica de Nitratos (NO<sub>3</sub>-)</i> .....	98
4.3.2.	<i>Hidrodinámica de Nitritos (NO<sub>2</sub>-)</i> .....	99
4.3.3.	<i>Hidrodinámica de Fosfatos (PO<sub>4</sub> 3- )</i> .....	100
4.4.	<b>Evaluación de zonas de mayor vulnerabilidad antrópica</b> .....	101
4.5.	<b>Análisis estadístico, correlación de las variables oxígeno disuelto y nutrientes</b> .	108
4.5.1.	<i>Análisis estadístico época seca</i> .....	109
4.5.2.	<i>Análisis estadístico, transición a época lluviosa</i> .....	112

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>116</b>
<b>5.1.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>116</b>
<b>5.2.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>117</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Funciones de la vegetación ribereña .....	18
<b>Tabla 2-2:</b>	Tipos de erosión.....	18
<b>Tabla 2-3:</b>	Funciones que cumplen las cuencas hidrográficas.....	20
<b>Tabla 2-4:</b>	Clasificación por el área de drenaje .....	21
<b>Tabla 2-5:</b>	Clasificación por el sitio de desembocadura.....	22
<b>Tabla 2-6:</b>	Clasificación de cuencas por el área de drenaje.....	23
<b>Tabla 2-7:</b>	Clasificación de los servicios ecosistémicos.....	24
<b>Tabla 2-8:</b>	Clasificación de aguas según su grado de contaminación .....	28
<b>Tabla 2-9:</b>	Cambios más notorios en procesos eutróficos .....	29
<b>Tabla 2-10:</b>	Principales nutrientes que estudia la hidrodinámica .....	32
<b>Tabla 2-11:</b>	Estudios a partir de la hidrodinámica.....	33
<b>Tabla 3-1:</b>	Población del área de estudio.....	45
<b>Tabla 3-2:</b>	Puntos de muestreo .....	46
<b>Tabla 3-3:</b>	Rangos de densidad de drenaje .....	49
<b>Tabla 3-4:</b>	Rangos de tiempo de concentración.....	50
<b>Tabla 3-5:</b>	Clasificación de forma según el factor de forma Horton. ....	53
<b>Tabla 3-6:</b>	Índice de alargamiento.....	54
<b>Tabla 3-7:</b>	Índice de compacidad para la evaluación de la forma. ....	54
<b>Tabla 3-8:</b>	Relación de elongación. ....	55
<b>Tabla 3-9:</b>	Clasificación del relieve según el río .....	57
<b>Tabla 3-10:</b>	Clasificación del relieve de una cuenca relacionado con la pendiente .....	57
<b>Tabla 3-11:</b>	Rangos del coeficiente de masividad en cuencas.....	59
<b>Tabla 3-12:</b>	Parámetros fisicoquímicos a analizar.....	64
<b>Tabla 3-13:</b>	Límites máximos permisibles y puntaje de riesgo de los parámetros a analizar..	68
<b>Tabla 3-14:</b>	Niveles de riesgo %IRCA.....	68
<b>Tabla 3-15:</b>	Clasificación del IPC .....	69
<b>Tabla 3-16:</b>	Grado de relación según coeficiente de correlación .....	70
<b>Tabla 4-1:</b>	Parámetros de la red de drenaje de la microcuenca .....	72
<b>Tabla 4-2:</b>	Parámetros generales de la microcuenca .....	74
<b>Tabla 4-3:</b>	Parámetros de forma de la microcuenca .....	75
<b>Tabla 4-4:</b>	Parámetros de relieve de la microcuenca.....	76
<b>Tabla 4-5:</b>	Estadísticas altitudinales y porcentaje de área de la microcuenca .....	78
<b>Tabla 4-6:</b>	Resultado de hidrología .....	80

<b>Tabla 4-7:</b>	Resultado de caudal total .....	83
<b>Tabla 4-8:</b>	Resultados de la vulnerabilidad mediante el %IRCA en época seca .....	101
<b>Tabla 4-9:</b>	Resultados de la vulnerabilidad mediante el %IRCA en transición a época lluviosa .....	103
<b>Tabla 4-10:</b>	Resultados de la vulnerabilidad mediante el IPC en ambas épocas de muestreo .....	106
<b>Tabla 4-11:</b>	Hipótesis de normalidad, época seca .....	109
<b>Tabla 4-12:</b>	Resultados de la prueba de normalidad, época seca .....	109
<b>Tabla 4-13:</b>	Análisis ANOVA de los nutrientes respecto al Oxígeno Disuelto, época seca .	111
<b>Tabla 4-14:</b>	Hipótesis de normalidad, transición a época lluviosa .....	112
<b>Tabla 4-15:</b>	Resultados de la prueba de normalidad transición a época lluviosa .....	112
<b>Tabla 4-16:</b>	Análisis ANOVA de los nutrientes respecto al OD, transición a época lluviosa	114

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Orden de los ríos según Strahler 1952.....	7
<b>Ilustración 2-2:</b>	Ejemplo de delimitación de área de drenaje .....	10
<b>Ilustración 2-3:</b>	Curva hipsométrica.....	13
<b>Ilustración 2-4:</b>	Tipos de curva hipsométrica.....	14
<b>Ilustración 2-5:</b>	Altura media determinada en la curva hipsométrica .....	15
<b>Ilustración 2-6:</b>	Tipos de precipitación.....	16
<b>Ilustración 2-7:</b>	Clasificación de cuencas.....	21
<b>Ilustración 2-8:</b>	Divisoria de aguas.....	23
<b>Ilustración 2-9:</b>	Distribución normal o gaussiana .....	35
<b>Ilustración 3-1:</b>	Mapa de localización .....	44
<b>Ilustración 3-2:</b>	Diagrama para delimitar y corregir el MED del área de estudio .....	47
<b>Ilustración 3-3:</b>	Diagrama de la división de la morfometría .....	48
<b>Ilustración 3-4:</b>	Diagrama para obtener la red de drenaje .....	51
<b>Ilustración 3-5:</b>	Diagrama para determinar los parámetros generales .....	52
<b>Ilustración 3-6:</b>	Diagrama para calcular los parámetros de forma .....	55
<b>Ilustración 3-7:</b>	Diagrama para determinar el relieve.....	59
<b>Ilustración 3-8:</b>	Diagrama para determinar la precipitación media.....	60
<b>Ilustración 3-9:</b>	Diagrama para determinar la temperatura media.....	61
<b>Ilustración 3-10:</b>	Diagrama para obtener el caudal total del río en las épocas de estudio.....	63
<b>Ilustración 3-11:</b>	Diagrama para la toma de muestras.....	63
<b>Ilustración 3-12:</b>	Diagrama para determinar la concentración de nutrientes en las muestras de agua.....	65
<b>Ilustración 3-14:</b>	Diagrama para determinar la vulnerabilidad .....	67
<b>Ilustración 3-15:</b>	Diagrama para determinar la correlación de las variables de estudio.....	71
<b>Ilustración 4-1:</b>	Perfil longitudinal .....	74
<b>Ilustración 4-2:</b>	Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes del río Pachanlica .....	79
<b>Ilustración 4-3:</b>	Precipitación mensual 2002-2021.....	81
<b>Ilustración 4-4:</b>	Temperatura mensual 2002-2021 .....	82
<b>Ilustración 4-5:</b>	Caudal acumulado .....	84
<b>Ilustración 4-6:</b>	Resultados de temperatura en la época seca .....	86
<b>Ilustración 4-7:</b>	Resultados de temperatura en la transición a época lluviosa.....	87
<b>Ilustración 4-8:</b>	Variación de pH a lo largo de la microcuenca.....	89
<b>Ilustración 4-9:</b>	Variación de TDS a lo largo de la microcuenca .....	90

<b>Ilustración 4-10:</b>	Variación de concentración de OD a lo largo de la microcuenca.....	92
<b>Ilustración 4-11:</b>	Variación de CE a lo largo de la microcuenca.....	94
<b>Ilustración 4-12:</b>	Variación de la concentración de Nitratos a lo largo de la microcuenca ...	95
<b>Ilustración 4-13:</b>	Variación de la concentración de Nitritos a lo largo de la microcuenca....	96
<b>Ilustración 4-14:</b>	Variación de la concentración de Fosfatos a lo largo de la microcuenca ..	97
<b>Ilustración 4-15:</b>	Movimiento de Nitratos.....	98
<b>Ilustración 4-16:</b>	Movimiento de Nitritos.....	99
<b>Ilustración 4-17:</b>	Movimiento de Fosfatos .....	100
<b>Ilustración 4-18:</b>	Correlación de nutrientes, época seca.....	110
<b>Ilustración 4-19:</b>	Correlación de nutrientes, transición a época lluviosa .....	113

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 3-1:</b>	Densidad de drenaje .....	49
<b>Ecuación 3-2:</b>	Razón de bifurcación.....	50
<b>Ecuación 3-3:</b>	Tiempo de concentración .....	50
<b>Ecuación 3-4:</b>	Ancho de una cuenca.....	52
<b>Ecuación 3-5:</b>	Factor de forma de Horton .....	53
<b>Ecuación 3-6:</b>	Índice de alargamiento .....	54
<b>Ecuación 3-7:</b>	Índice de Gravelius.....	54
<b>Ecuación 3-8:</b>	Relación de elongación .....	55
<b>Ecuación 3-9:</b>	Pendiente media de cause principal.....	56
<b>Ecuación 3-10:</b>	Pendiente media de la cuenca.....	57
<b>Ecuación 3-11:</b>	Desnivel altitudinal .....	58
<b>Ecuación 3-12:</b>	Coefficiente de masividad .....	59
<b>Ecuación 3-13:</b>	Medición de caudal .....	62
<b>Ecuación 3-14:</b>	Medición de caudal por el método de molinete .....	62
<b>Ecuación 3-15:</b>	Carga contaminante.....	66
<b>Ecuación 3-18:</b>	Índice de riesgo de calidad de agua.....	68
<b>Ecuación 3-16:</b>	Índice de contaminación.....	69
<b>Ecuación 3-17:</b>	Índice de Peligrosidad de Contaminación .....	69
<b>Ecuación 3-18:</b>	Coefficiente de correlación de Spearman .....	70

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** MAPA DE UBICACIÓN DEL RÍO PACHANLICA
- ANEXO B:** MAPA DE ELEVACIÓN DEL RÍO PACHANLICA
- ANEXO C:** MAPA DE PENDIENTES DEL RÍO PACHANLICA
- ANEXO D:** REGISTRO FOTOILUSTRACIÓN DE LAS ACTIVIDADES
- ANEXO E:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP01
- ANEXO F:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP02
- ANEXO G:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP03
- ANEXO H:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP04
- ANEXO I:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP05
- ANEXO J:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP06
- ANEXO K:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP07
- ANEXO L:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP08
- ANEXO M:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP09
- ANEXO N:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP10
- ANEXO O:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP11
- ANEXO Q:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP13
- ANEXO R:** FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP14

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>Lc</b>	Longitud del cauce principal
<b>Lh</b>	Longitud de red hídrica
<b>Dd</b>	Densidad de drenaje
<b>Rb</b>	Razón de bifurcación
<b>Tc</b>	Tiempo de concentración
<b>P</b>	Perímetro
<b>Lo</b>	Longitud axial
<b>W</b>	Ancho
<b>Kf</b>	Factor de forma de Horton
<b>Q</b>	Caudal
<b>m.s.n.m</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>T</b>	Temperatura
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno
<b>TDS</b>	Sólidos Totales Disueltos
<b>OD</b>	Oxígeno Disuelto
<b>CE</b>	Conductividad eléctrica
<b>NO<sub>3</sub>-</b>	Nitrato
<b>NO<sub>2</sub>-</b>	Nitrito
<b>PO<sub>4</sub> 3-</b>	Fosfato
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>MED</b>	Modelo de elevación digital
<b>GISOCH</b>	Grupo de Investigación para la Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas
<b>μS/cm</b>	Micro Siems sobre centímetros (unidad de Conductividad)
<b>mg/L</b>	Miligramo sobre litro (unidad de concentración)
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>%IRCA</b>	Índice de riesgo de calidad de agua
<b>IPC</b>	Índice de Peligrosidad de Contaminación
<b>H<sub>0</sub></b>	Hipótesis nula
<b>H<sub>1</sub></b>	Hipótesis alternativa

## RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la influencia del oxígeno disuelto en la concentración de nutrientes en el río Pachanlica, provincia de Tungurahua. Se establecieron catorce puntos de monitoreo a lo largo del cauce del río, considerando sus características morfométricas e hidrométricas. Durante agosto a noviembre de 2023, se analizaron 28 muestras de agua, midiendo parámetros físico-químicos. Además, se estimó la hidrodinámica de los nutrientes y el análisis de vulnerabilidad mediante el cálculo del Índice de Riesgo de Calidad de Agua (%IRCA) y el Índice de Peligrosidad de Contaminación (IPC). Por último, se examinó la relación entre el oxígeno disuelto y los nutrientes utilizando la correlación de Spearman. Según la hidromorfometría, los puntos de monitoreo seleccionados difieren en su variabilidad en las pendientes y ubicación en zonas con y sin influencia antropogénica. El análisis hidrodinámico reveló un mayor movimiento de nutrientes durante la transición a la lluvia en comparación con la época seca, especialmente desde el punto RP10 hasta RP14, donde se registraron flujos superiores de 392.1 Kg/h de nitratos, 19.05 Kg/h de nitritos y 346.3 Kg/h de fosfatos. El análisis de vulnerabilidad indicó un mayor riesgo de uso del agua del río en los puntos ubicados en la parte media – baja de la microcuenca, considerándolos inviables para uso y consumo humano. Finalmente, el análisis de correlación mostró una relación inversamente proporcional entre el oxígeno disuelto y los nutrientes, destacando durante la temporada seca una disminución de oxígeno disuelto y aumento de concentración de nitratos y nitritos, correlación que repercute en la calidad del agua, volviéndola más riesgosa para el ser humano. Se sugiere implementar acciones ambientales para regular la entrada de nutrientes en la microcuenca y así reducir la contaminación y preservar el recurso.

**Palabras claves:** <HIDROMORFOMETRÍA>, <OXÍGENO DISULETO>, <NUTRIENTES>, <CARGA CONTAMINANTE>, <VULNERABILIDAD > <EUTROFIZACIÓN>.



0338-DBRA-UPT-2024

## ABSTRACT

The present research evaluated the influence of dissolved oxygen on nutrient concentration at Pachanlica river placed in Tungurahua province. Fourteen monitoring points were established along the river channel, considering its morphometric and hydrometric characteristics. During August to November 2023, 28 water samples were analyzed, measuring physicochemical parameters. In addition, nutrient hydrodynamics and vulnerability analysis were estimated by calculating the Water Quality Risk Index (%IRCA) and the Pollution Hazard Index (CPI). Finally, the relationship between dissolved oxygen and nutrients was examined using Spearman's correlation. According to hydromorphometry, the selected monitoring points differed in their variability in slopes and location in areas with and without anthropogenic influence. The hydrodynamic analysis revealed a greater movement of nutrients during the transition to rainfall compared to the dry season, especially from points RP10 to RP14. Higher flows of 392.1 kg/h of nitrates, 19.05 kg/h of nitrites, and 346.3 kg/h of phosphates were recorded. The vulnerability analysis indicated a higher risk of river water use in the points located in the middle-lower part of the micro-watershed, considering them unviable for human use and consumption. Finally, the correlation analysis showed an inversely proportional relationship between dissolved oxygen and nutrients, highlighting during the dry season a decrease in dissolved oxygen and an increase in nitrate and nitrite concentration. This correlation that has repercussions on water quality, making it riskier for humans. It is suggested to implement environmental actions to regulate the entry of nutrients into the micro-watershed and thus reduce pollution and preserve the resource.

**Keywords:** <HIDROMORPHOMETRY>, <DISULETIC OXYGEN>, <NUTRIENTS>, <CONTAMINANT LOAD>, <VULNERABILITY> <EUTROPHORIZATION>.

0338-DBRA-UPT-2024



Ing. Romel Francisco Calles Jiménez Mgt.

0603877713

## INTRODUCCIÓN

Los ríos representan no solo fuentes vitales de agua dulce, sino también pilares fundamentales para el desarrollo humano. Sin embargo, la polución del recurso hídrico por procesos de eutrofización se ha convertido en un desafío urgente en el siglo XXI, amenazando la salud de los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad en todo el mundo. En este contexto, el Río Pachanlica, ubicado en la provincia de Tungurahua, no es una excepción. El crecimiento poblacional y la intensificación de sus actividades han contribuido al aumento de la contaminación en esta cuenca hídrica, representando una grave preocupación para la conservación ambiental y la calidad de vida de las comunidades locales.

La eutrofización, impulsada por el exceso de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, provenientes de actividades antropogénicas como la agricultura, ganadería y el vertido de aguas residuales domésticas e industriales, ha desencadenado un deterioro progresivo en la calidad del agua del Río Pachanlica, generando olores desagradables, espuma blanca y presencia de desechos biológicos. Este fenómeno conlleva consecuencias devastadoras, incluida la pérdida de bosques de ribera, la proliferación descontrolada de microorganismos y la disminución del oxígeno disuelto en el agua, esencial para la vida acuática. A nivel mundial corroboran la gravedad de la situación, donde actividades como las antes mencionadas han desencadenado problemas similares en otros cuerpos de agua. Ejemplos como el Río Geum en Corea y el Río Perla en China evidencian los impactos devastadores de la eutrofización en los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad.

La presente investigación se propone evaluar la incidencia del oxígeno disuelto en la concentración de nutrientes en el Río Pachanlica, con el objetivo de comprender mejor los mecanismos subyacentes a la eutrofización y sus impactos en el ecosistema acuático. Para ello, se llevará a cabo un análisis integral de la calidad del agua, identificando zonas de monitoreo según las características morfométricas e hidrométricas de la microcuenca, determinando las cargas hidrodinámicas de nutrientes y evaluando las zonas de mayor vulnerabilidad antrópica.

La importancia de esta investigación radica en su contribución al desarrollo de estrategias efectivas de gestión y conservación del recurso hídrico en la región. Los resultados obtenidos permitirán establecer políticas públicas y medidas de restauración que promuevan la recuperación del Río Pachanlica y la preservación de sus servicios ecosistémicos. Además, se espera que este estudio sirva como base para futuras investigaciones y acciones destinadas a garantizar un uso sostenible del agua y la protección del ambiente.

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del problema

La polución del recurso hídrico por procesos de eutrofización aumentó a lo largo del siglo XX por el crecimiento poblacional y por la intensificación de las actividades agrícolas, el uso de fertilizantes para esta última actividad es uno de los principales problemas en la contaminación de cuencas hídricas y una de las causas para la pérdida de bosques de ribera que son aledaños a dichos cuerpos de agua, (Pedrozo y Ramírez, 2020, pág. 2).

La contaminación y el aumento de la temperatura han ido acelerando el consumo de oxígeno por la respiración microbiana incrementando el descenso de la solubilidad del oxígeno en los cuerpos hídricos, lo que resulta alarmante, debido a que son propicias para generar consecuencias ecológicas y biológicas que a lo largo pueden acabar en un colapso de los ecosistemas, (Breitburg et al., 2018). El descenso de oxígeno está directamente relacionado con la carga de nutrientes, en especial de nitrógeno y fósforo, que se producen de forma natural o que proceden de actividades antropogénicas como la agricultura y/o descargas de aguas residuales, provocando así la proliferación de microorganismos hasta extirpar todo el Oxígeno Disuelto, dando lugar al proceso denominado eutrofización, (Zambrano, 2018, pág. 5).

Se tiene bases que fundamentan que la expansión de zonas que contienen bajos niveles de oxígeno disuelto puede llegar a incrementar la producción de gases de efecto invernadero (GEI), siendo uno de los más potentes el óxido nitroso, lo que hace que la contaminación hídrica por eutrofización sea un tema bastante preocupante, (Breitburg et al., 2018, pág.1).

La calidad del agua a lo largo de la microcuenca del río Pachanlica ha sido afectada por la instalación de lubricadoras, curtiembres, lavadoras de jeans; además por el vertido de aguas servidas, fertilizantes utilizados en la agricultura e incluso por lixiviados procedentes de los botaderos de basura. Esto ha generado olores que son insoportables, hay presencia de espuma blanca y en ocasiones se pudo observar hasta desechos biológicos, (Zambrano, 2018, pág. 7). El problema es evidente, sin lugar a duda, por tal motivo se lleva a cabo el presente proyecto que nos permite relacionar los nutrientes con el oxígeno disuelto y determinar el nivel de contaminación del cuerpo hídrico.

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo general***

- Evaluar la incidencia del oxígeno disuelto en la concentración de nutrientes en el río Pachanlica de la provincia de Tungurahua.

### ***1.2.2. Objetivos específicos***

- Identificar las zonas de monitoreo según las características morfométricas o hidrométricas de la microcuenca del río Pachanlica.
- Determinar las cargas hidrodinámicas de nutrientes del río Pachanlica.
- Evaluar las zonas de mayor vulnerabilidad antrópica a partir de los parámetros fisicoquímicos y químicos del río Pachanlica.

## **1.3. Justificación**

El incremento y desarrollo de la población ha intensificado la necesidad de consumo del recurso agua, generando el aumento de impactos negativos a las cuencas hídricas, debido a que el aprovechamiento de este no es de forma sustentable. Las cuencas hidrográficas representan un bien y servicio ambiental necesario para el desarrollo sostenible, el crecimiento económico, político y social de un país, (Encalada, 2010, pág. 6).

En la actualidad no existen estudios de la calidad del agua del río Pachanlica que estén netamente relacionados con la cantidad de oxígeno disuelto que hay en el mismo, el análisis de esta variable permite identificar el nivel de contaminación de la cuenca evaluada. Las constantes descargas de aguas residuales, el acarreamiento por escorrentía superficial de fertilizantes químicos provenientes de la agricultura, así como el de desechos generados en la actividad ganadera, han provocado un aumento de nutrientes en el cuerpo de agua, iniciando el proceso de eutrofización, debido a ello la necesidad de recuperar estas fuentes hídricas antes de tener graves consecuencias en el ecosistema.

La presencia excesiva de nutrientes en la microcuenca, causa de las actividades antropogénicas del sector promueve el crecimiento abundante de algas y su acumulación, las cuales se descomponen por la acción de organismos aerobios presentes en el sistema fluvial, agotando el

oxígeno disponible, lo que provoca la turbidez del agua, condiciones deficientes de oxígeno y, como resultado, la muerte y descomposición de la flora y fauna acuática, provocando que la microcuenca, se transformen de oligotrófica a meso trófica, eutrófica y finalmente hipertrófica, lo cual daría lugar a la pérdida total de la microcuenca con el pasar del tiempo. La pérdida de las microcuencas ocasionaría un problema social ya que al desaparecer también se pierden los servicios ecosistémicos, perjudicando la economía, la salud y el bienestar del sector. La aplicación de una evaluación de la calidad del agua es un componente indispensable para determinar la cantidad de nutrientes presentes en las cuencas hídricas, a través de análisis de parámetros fisicoquímicos los cuales permitirán obtener información indispensable para tomar medidas necesarias en el proceso de descontaminación del río Pachanlica, la información procedente de este estudio a través del Grupo de Investigación para la Sostenibilidad de Cuencas Hidrográficas (GISOCH) permitirá realizar notables aportes en la recuperación del río mediante el establecimiento de políticas públicas como ordenanzas que regulen el vertido de aguas residuales, controlen la disposición de desechos, restrinjan el suministro de nutrientes en la microcuenca mediante la mejora en la gestión de las prácticas agrícolas y el desarrollo de innovadores mecanismos integrales de restauración aplicables a las condiciones y características presentadas en el río, consiguiendo a futuro el funcionamiento adecuado del sistema fluvial e incrementando los servicios ecosistémicos en favor de los habitantes, junto con un aprovechamiento adecuado del recurso, (García, 2016, pág.6).

#### **1.4. Hipótesis**

La concentración de oxígeno disuelto en el río Pachanlica se ve reducida por la cantidad de nutrientes, principalmente Fosfatos, Nitritos y Nitratos, ocasionando problemas de eutrofización y generando hábitats para el desarrollo de fauna microbiana patógena disminuyendo la calidad del agua de la microcuenca del río.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1. Antecedentes

Los ríos, y otras fuentes de agua dulce, han sido uno de los ejes más importantes para el desarrollo de la civilización humana. Pese a todos los servicios que nos ha proporcionado, tales como, la dotación de agua dulce, la obtención de materia prima, hasta la generación de energía eléctrica (hidroeléctricas), hemos contaminado sus cauces con las actividades que se desarrollan diariamente. Los ríos son ecosistemas dinámicos, complejos e incorporadores con numerosas conexiones con otros ecosistemas: longitudinal (conexiones aguas arriba y aguas abajo), laterales (con cuencas hidrológicas y vegetación ribereña) y verticales (con aguas subterráneas y precipitaciones), (Encalada, 2010, pág.7).

Estos sistemas fluviales tienen varios beneficios, que incluyen el control de inundaciones, transporte, recreación, purificación de aguas residuales de origen humano e industriales, hábitat de flora y fauna, producción de peces y otros productos alimenticios y de mercado. A largo plazo, es probable que los ecosistemas intactos conserven la capacidad de adaptación para sustentar la producción de estos bienes y servicios, (Baron et al., 2003, pág.9).

En todo el mundo el vertido de aguas residuales y en especial el uso de fertilizantes fosfatados y nitrogenados en la agricultura, ha disminuido la cantidad de oxígeno disuelto aumentando la tasa de crecimiento microbiológico y vegetativo; dando lugar al comienzo de la eutrofización. En el país asiático Corea en el río Geum considerado el tercer sistema fluvial más grande de dicho país contiene altos niveles de contaminación proveniente de los sistemas de alcantarillado en las zonas urbanas, aguas abajo las fuentes más importantes de nutrientes y materia orgánica, le corresponde al cultivo de arroz y la ganadería. Estas actividades en 2012 tras la construcción de un embalse el río enfrentó una grave proliferación de algas debido a la desmesurada cantidad de nutrientes acumulados, (Mamun et al., 2022, pág.2). Por otra parte, en las zonas costeras de China en el río Perla se presenta el mismo problema, a más de las fuentes mencionadas en el caso anterior se deben a otros emisores de contaminación como la acuicultura marina y el transporte marítimo portuario y terminal ya que con el paso del tiempo estas actividades se han estado expandiendo cada vez más, acelerando la eutrofización, promoviendo la proliferación de algas nocivas, la hipoxia generalizada y la pérdida de biodiversidad en la conexión río-mar, (Ke et al., 2022, pág.14). La contaminación ambiental de los recursos naturales es un problema global, es evidente que la

calidad del recurso agua disminuirá drásticamente con el pasar de los años pues la tendencia de la calidad del agua es en su mayoría negativas. Desde la década de 1990, la contaminación del agua ha empeorado en casi todos los ríos de América Latina, África y Asia, se estima que para 2050, es probable que un tercio de la población mundial esté expuesta a agua con exceso de nitrógeno y fósforo, lo que dará lugar a un rápido crecimiento y descomposición de las algas provocando la muerte de peces y otras especies, afectando la vida humana, (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2018, pág. 4).

El Ecuador al ser un país agrícola y ganadero, en las actividades diarias requieren de insumos con alto contenido de nutrientes los cuales terminan depositándose en el suelo afectando directamente a este recurso y que con la formación de escorrentías superficiales ocasionadas por la lluvia las depositan en los cauces de los ríos donde se concentran causando el crecimiento exuberante de plantas acuáticas. Un claro ejemplo afectado por estas actividades es el del río Guayas, donde factores como la concentración de nutrientes, transparencia del agua, concentración de oxígeno disuelto y presencia de material vegetativo determinan la etapa de eutrofización en la que se encuentra el río, (Prado et al., 2017, pág.12).

## **2.2. Referencias teóricas**

### **2.2.1. *Comportamiento hidromorfológico de una microcuenca***

Permite estudiar las microcuencas centrándose en parámetros básicos como su forma, las dimensiones, composición, coeficiente de compacidad, entre otros; además, ayuda a conocer con anterioridad su comportamiento hidrológico, hidrodinámico e hidráulico, estos está ligado directamente con fenómenos de inundación, deslizamientos de tierra y avenidas torrenciales, lo que implica que el conocimiento y análisis de estos parámetros logra una buena gestión del riesgo de la cuenca hidrográfica, (Escobar et al., 2020, pág.23).

#### **2.2.1.1. *Morfometría***

Los análisis en torno a este tema ofrecen conocimiento acerca de la actividad hidrológica de una cuenca, (Ramírez et al., 2021, pág.45); según (García et al., 2021, pág. 232), también permite conocer la respuesta ante diferentes eventos climáticos y la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran.

### Parámetros de la red de drenaje

Este sistema lo conforma el cauce natural o principal y los tributarios, cuando la longitud del cauce principal es larga, las ramificaciones de la red de drenaje aumentan, esto permite caracterizar la magnitud de los escurrimientos, (Verdugo, 2019, pág. 11).

- **Dirección de flujo**

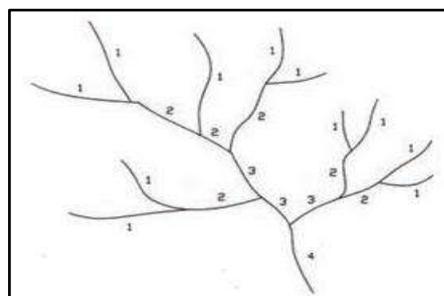
Permite obtener la orientación de las laderas y dirección de las pendientes en una serie de celdas con su respectiva superficie, indica hacia dónde va el movimiento del agua, (Verdugo, 2017).

- **Acumulación de flujo**

Genera celdas con flujo acumulado desde las más altas a las más bajas; es decir, como se vierte el flujo de un lugar más alto a uno más bajo, (Verdugo, 2017, pág. 13).

- **Orden de los ríos**

Se vincula con el caudal correspondiente del fragmento de un conducto. Existen diferentes modelos de clasificación, siendo los más manejados el de Horton y el de Strahler, (Dolores y Agüero, 2018, pág.21). Indica el grado de bifurcación o ramificación dentro de una cuenca, y se las clasifica de la siguiente manera según la metodología de Strahler 1952. Las nacientes o ríos que no tengan tributarios son denominados de **orden 1**, al combinar 2 con un orden 1 resulta el **orden 2**, la unión de ríos con orden 2 nos da como resultado el **orden 3** y así sucesivamente; cabe mencionar que en la unión de ríos con orden diferente, se mantendrá el orden de mayor valor, (Padala y Aneesh, 2022b). En la Ilustración 3-2 se indica gráficamente lo mencionado:



**Ilustración 2-1:** Orden del río según Strahler 1952

**Fuente:** (Vásconez et al., 2019).

- **Longitud del cauce principal (Lc)**

Es la medida que va desde el punto de concentración hasta el tramo con mayor longitud de ese mismo orden, (Dolores y Agüero, 2018, pág.19). Se la calcula según la ley propuesta por Horton en 1945 y menciona que la longitud es mayor en el primer orden, (Mahala, 2020, pág. 5).

Los caudales mínimos, medios y máximos crecen juntamente con la longitud de los cauces, esto se debe a que el área crece con la longitud y con la superficie de captación. Las crecientes torrenciales están ligadas con la longitud del cauce, (Consortio Pomca Quindio, 2017, pág. 4).

- **Longitud de la red hídrica (Lh)**

Es la distancia obtenida de la suma del recorrido de los cauces por los distintos cursos de agua, (Dolores y Agüero, 2018, pág.12).

- **Densidad de drenaje (Dd)**

Es la relación entre la longitud del cauce principal y el área de la cuenca, según Horton (1945) en la que drenan los cauces hídricos, este parámetro es esencial para determinar la complejidad y desarrollo de la cuenca hidrográfica, (Dolores y Agüero, 2018, pág. 10) y (Mahala, 2020, pág.11). Un mayor potencial erosivo indica que la densidad de escurrimientos es mayor; y la densidad de drenaje se ve encuentra vinculada con la extensión de la cuenca (Ibáñez et al., 2010, pág. 10).

- **Perfil longitudinal del río**

Es la representación gráfica de las distintas alturas del flujo desde su origen hasta el nivel base, el cual refleja el registro de cómo va evolucionando el drenaje, la deformación de la corteza o los cambios de clima, también indica las particularidades que tiene el relieve de una cuenca, (Espinoza, 2022, pág. 17). Así se obtiene una curva irregular por múltiples rupturas de inclinaciones. Es sencillamente el esquema de elevaciones de acuerdo con el cauce elemental, (Dolores y Agüero, 2018, pág. 1).

- **Cota mayor del cauce (CMc):** Es el punto más elevado del cauce.
- **Cota menor del cauce (Cmc):** Es el punto más bajo del cauce o desembocadura, (Consortio Pomca Quindio, 2017, pág.2).

- **Razón de bifurcación (Rb)**

También conocida como grado de ramificación de una cuenca hídrica, es la relación que existe entre el número de cauces de un orden determinado y los cauces del orden inmediato superior según lo establecido por Horton en 1945, (Padala y Aneesh, 2022, pág.8) y (Mahala, 2020, pág.4).

- **Tiempo de concentración (Tc)**

Es el tiempo que tarda una gota de agua de lluvia en escurrirse por la superficie desde el punto más alto del cauce hasta el punto de confluencia, este parámetro indica el tiempo mínimo que se necesita para que la cuenca hídrica esté aportando agua lluvia y sea transportada al punto en donde desemboca (Sandoval, 2022, pág. 12).

Existen varios autores que han propuesto ecuaciones empíricas para determinar este parámetro a continuación se especifican algunas:

- ***Kirpich (1940)***

$$Tc = 0,0633 * \frac{L^{0,77}}{J^{-0,385}}$$

- ***California Culvert Practice (1942)***

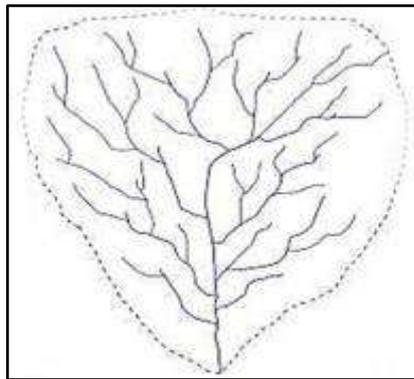
$$Tc = (0,0633 * \frac{Lc^3}{H})^{0,385}$$

- **Parámetros generales de una cuenca hidrográfica**

La caracterización de una cuenca hidrográfica a partir de su superficie, relieve, forma, red de drenaje, pendientes, entre otros, brinda un enfoque más acertado sobre su comportamiento hidrológico frente a diversos eventos, (Vásconez et al., 2019, pág. 34). A continuación, se detallan los parámetros que fueron tomados en cuenta para este estudio:

- **Área (A)**

Superficie o red de drenaje puede revelar de forma directa el volumen total de agua, se encuentra delimitada por la divisoria de aguas, lo que permite definir el tamaño del área de estudio expresada normalmente en  $\text{km}^2$ , (Padala y Aneesh, 2022b). Schumm (1964) expuso que hay conexión entre la longitud de la corriente y el área de captación en un sistema hídrico, (Padala y Aneesh, 2024). En la Ilustración 4-2 podemos observar la red de drenaje (líneas continuas) y la divisoria de aguas (la parte punteada), (Ibáñez, Moreno y Gisbert, 2010).



**Ilustración 2-2:** Ejemplo de delimitación de área de drenaje

**Fuente:** (Ibáñez et al., 2010).

Es de gran importancia delimitar y codificar las cuencas bajo estándares internacionales, esto ayuda a caracterizar e identificar fácilmente. La unidad más acertada es la cuenca hidrográfica ya que está constituida por los límites naturales yendo más allá de fronteras nacionales o divisiones políticas. La metodología adoptada (Pfafstetter) fue propuesta por Otto Pfafstetter en 1989 y luego acogida por el Servicio Geológico Mundial de Cuencas (USGS) que realizaron la delimitación y codificación de cuencas hidrográficas a nivel mundial. En Ecuador se han identificado 80 cuencas hidrográficas, con 6 dígitos que forman parte de 31 sistemas hidrográficos, (UICN SUR, 2008, pág. 4).

- **Perímetro (P)**

Distancia que recorre la divisoria de aguas, juntamente con el área da información sobre la posible forma de la cuenca hidrográfica, este parámetro se expresa en kilómetros o metros (Dolores y Agüero, 2018, pág. 12).

- **Longitud axial (Lo)**

Distancia de una línea recta paralela al cauce principal, desde la desembocadura hasta el punto más alejado aguas arriba, (Zhicay, 2020, pág. 6), influye directamente en la escorrentía, un valor mayor hace referencia a cuencas alargadas y las de menor valor a cuencas más redondeadas, la unidad de medida usualmente utilizada es el km, (Ibáñez et al., 2010, pág. 13).

- **Ancho (W)**

Es la relación entre el área (A) de la cuenca hidrográfica y su longitud axial (Lo), se expresa generalmente en kilómetros (Zhicay, 2020, pág.12).

### **Parámetros de forma**

Conocer la forma de la cuenca hidrográfica es importante para estimar el tiempo de concentración ante un evento de precipitación y la velocidad de escurrimiento superficial, algunas pueden presentar un área similar pero la forma es diferente; por lo tanto, la respuesta hidrológica de esta también lo es, (Ibáñez et al., 2010, pág.12). Los parámetros de forma son:

- **Factor de forma de Horton (Kf)**

También conocido como anchura media propuesto Horton en 1932, consiste en la relación del área de la cuenca (A) con el cuadrado del recorrido máximo (Lo). Este parámetro indica la facilidad que tiene la cuenca hacia las crecidas aceleradas o intensas, (Dolores y Agüero, 2018, pág.3) y (Mahala, 2020, pág.4). Valores cercanos a 1 indican cuencas redondas y cercanos a 0 cuencas alargadas, (Mahala, 2020, pág.5).

- **Índice de alargamiento (Ia)**

Es un índice propuesto por Horton en el que relación la longitud máxima de la cuenca (Lo) con el ancho (W), permite definir si es una cuenca alargada o ensanchada, (Zhicay, 2020, pág. 3).

- **Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (Cg)**

Relaciona el perímetro de la cuenca (Lo) y el perímetro de un círculo que tenga igual área que la cuenca, (Zhicay, 2020, pág.2).

- **Relación de elongación (Re)**

Relación según Schumm (1956) del diámetro del círculo que tenga un área igual a la de la cuenca y la longitud del cauce principal, (González, 2004, pág.1).

### **Parámetros de relieve**

Son más influyentes que los de parámetros de forma sobre la respuesta hidrológica, por lo que podemos decir que si la pendiente o el relieve es mayor los lapsos de tiempo de generación de escorrentía son menores, (Ibáñez et al., 2010, pág.2).

- **Pendiente**

Se refiere a la inclinación de la ladera demarcada como el ángulo real entre la superficie del campo y la horizontal. Su valor se denota en grados de 0° a 90° o en tanto por ciento. Para este singular ejemplo se utiliza la pendiente medida en grados. La pendiente está estrechamente conectada con el surgimiento de los desplazamientos en masa ya que es el elemento fundamental geométrico que se encuentra en los estudios de estabilidad y es una de las cualidades fundamentales para que suceda el desplazamiento en masa. La variable relación directa con las tensiones de secciones tangenciales y habituales en la constitución superficial y en terrenos, e incide además en el reparto de agua en el declive, (IDEAM, 2012, pág.1).

- ***Pendiente media del cauce principal (j)***

Es la relación que existe entre el desnivel altitudinal del cauce y la longitud del cauce principal, la pendiente tiene una influencia directa en el comportamiento de la cuenca debido a que afecta al escurrimiento del agua, (Verdugo, 2019, pág. 6).

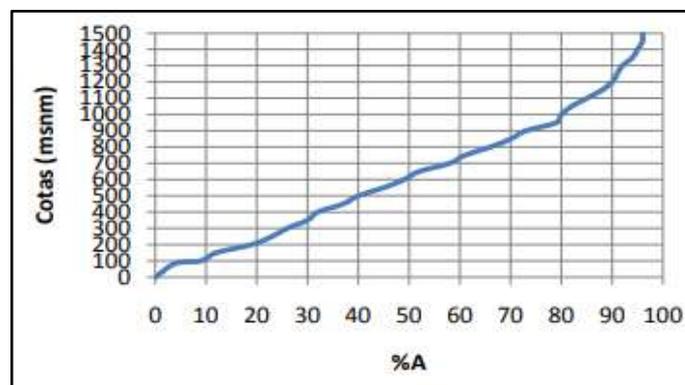
- ***Pendiente media de la cuenca (J)***

Es el principal indicador del declive del terreno o del relieve de la cuenca, está relacionado con la infiltración y el escurrimiento superficial; una pendiente mayor aumenta la velocidad de los cauces y disminuye el tiempo de concentración, e indica la susceptibilidad a los procesos de erosión y de arrastre, (Vásconez et al., 2019, pág. 5).

Se lo obtiene a partir del método de Alvord, en donde la cuenca es dividida en franjas altitudinales y la pendiente media de la cuenca se obtiene al ponderar la pendiente encontrada en función del área de cada franja, este parámetro está dado en porcentaje (%), (Consortio Pomca Quindio, 2017, pág.3).

- **Curva hipsométrica**

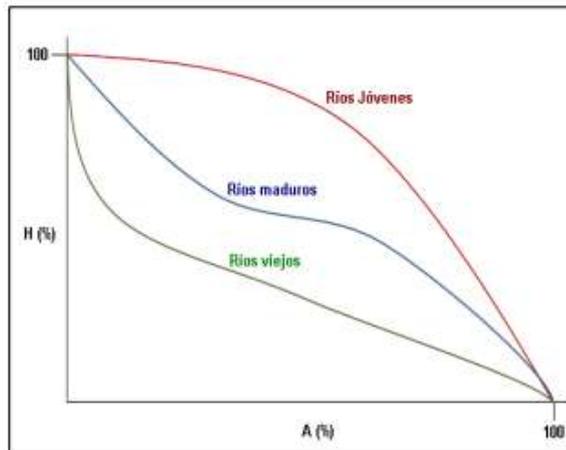
Permite representar gráficamente la variabilidad altimétrica de la cuenca hidrográfica, en el eje de las abscisas encontramos los valores del área proyectada en  $\text{km}^2$  o en porcentaje (%), hasta cierto nivel que se ve reflejado en el eje de las ordenadas (altitudes en m.s.n.m); es decir, que esta curva proporciona información sobre la superficie terrestre que se encuentra dentro de un rango altitudinal, (Padala y Aneesh, 2022, pág.10).



**Ilustración 2-3:** Curva hipsométrica

**Fuente:** (Ibáñez et al., 2010).

Esta curva o función hipsométrica describe la relación que hay entre la altitud de la cuenca y su área. Es muy útil para determinar variaciones de precipitación y/o evaporación con la altura, entre dos cuencas; además, se la asocia con las edades de los ríos pertenecientes a esa cuenca, (Ibáñez, Moreno y Gisbert, 2010), como se muestra en la Ilustración 6-2.



**Ilustración 2-4:** Tipos de curva hipsométrica

Fuente: (Ibáñez et al., 2010).

Según Strahler (1952) la evolución de la cuenca se presenta en diferentes tipos de curva:

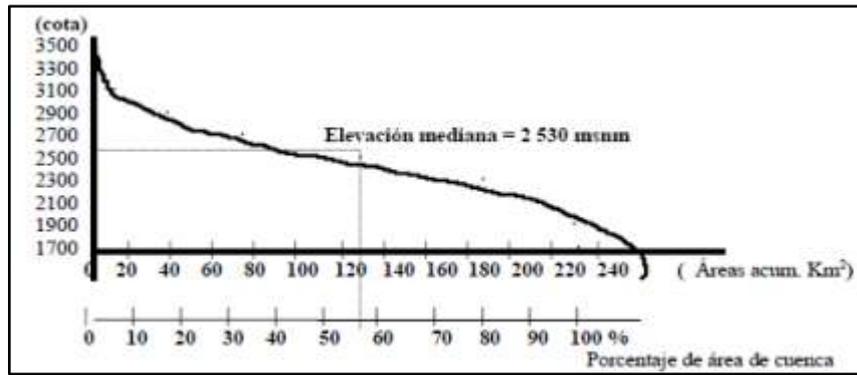
- **Cuencas con ríos jóvenes:** Indica una cuenca con un potencial de erosión alto y una alta producción de sedimentos, se encuentra en la fase de juventud.
- **Cuencas con ríos maduros:** Indica una cuenca que está en equilibrio y un buen transporte de sedimentos, está en fase de madurez.
- **Cuencas con ríos viejos:** Indica una cuenca sedimentaria por lo que da paso a la deposición de sedimentos, está en la fase de vejez, (Zhicay, 2020, pág.5).

- **Frecuencia de altitudes o histograma de frecuencias altimétricas**

Representa la superficie en km<sup>2</sup> o en porcentaje, que está comprendida entre dos cotas, los diferentes niveles dan lugar a las barras del histograma y es obtenida con los mismos datos que se utilizaron en la curva hipsométrica, ambos tienen la misma información, lo único que difiere en la forma en la que se presenta, (Ibáñez et al., 2010, pág.4).

- **Altitud de frecuencia ½ (Hm)**

Es la ordenada media (eje y) de la gráfica de la curva hipsométrica o para mejor comprensión es la altura (m) que pertenece al 50% del área total de las abscisas (Villodas, 2008, pág.12).



**Ilustración 2-5:** Altura media determinada en la curva hipsométrica

Fuente: (Verdugo, 2019).

- **Coefficiente de masividad (mk)**

Es la relación que existe entre el nivel altitudinal medio y el área total de la cuenca, los valores bajos indican cuencas montañosas o de cumbres altas y los valores altos indican terrenos llanos, (Verdugo, 2019, pág. 2).

- **Desnivel altitudinal (Dn)**

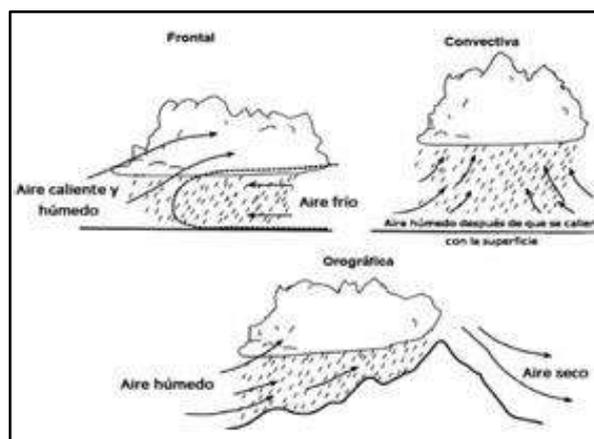
Es la diferencia que existe entre la cota más alta y la más baja de la cuenca hidrográfica, (Zhicay, 2020, pág.21), este parámetro está relacionado con la variabilidad ecológica y climática; debido a que la cantidad de ecosistemas se encuentra definida por cuantos pisos altitudinales tiene, y a su vez con la variación de la temperatura y precipitación, (Ibáñez et al., 2010, pág.9).

### 2.2.1.2. Hidrología

Según el texto de hidrología básica, Gámez (2009, pág.5) menciona que la “Hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos”.

- **Precipitación**

Es un fenómeno físico en el que los volúmenes de agua se transfieren desde la atmósfera a la superficie de la Tierra, se puede presentar en estado sólido (nieve, granizo, entre otros) o en estado líquido (lluvia); sin embargo, la neblina y el rocío no son considerada como una forma de precipitación. Puede clasificarse según las condiciones en las que se produce el movimiento de ascensión vertical del aire como se muestra en la Ilustración 8-2, (Vásquez et al., 2019, pág. 4).



**Ilustración 2-6:** Tipos de precipitación

**Fuente:** (Vásconez et al., 2019).

- **Temperatura**

Indica la cantidad de energía absorbida por la capa atmosférica después de que el calor es propagado desde las porciones líquidas y sólidas de la corteza terrestre, puede variar de un lugar a otro debido a que se encuentra influenciada por otros factores climáticos, siendo la irradiación (proceso directo) el más influyente. Las escalas más comunes para medir la temperatura son escala Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) y Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), (Vásconez et al., 2019, pág.6).

### 2.2.1.3. Hidrometría

Es considerada una rama de la hidrología, que permite medir el volumen de agua que pasa por una sección determinada en un tiempo definido; a través de métodos, equipos o instrumentos, (Flores, 2018, pág.12).

- **Caudal**

Es la cantidad de flujo que circula a través de una sección transversal del río, está expresada en volumen por unidad de tiempo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), (Zhicay, 2020, pág.34).

- **Medición de caudal**

El caudal se lo calcula por medio del aforo de la corriente del río y así determinar la cantidad de agua que atraviesa una sección dada, para ello se considera la velocidad del flujo de agua ( $V$ ) y el área del cauce ( $A$ ), (Menchaca et al., 2023, pág.5).

- ***Método molinete***

Método que toma en cuenta la velocidad del agua y el área de la sección transversal determinada. El molinete tiene dos partes; una hélice de aspas que al entrar en contacto con el agua gira; y una parte electrónica que hace un conteo del número de vueltas que da la hélice en un tiempo definido, en este método, se debe medir la profundidad en cada una de las secciones que se desee subdividir la sección transversal y en cada sección subdividida registrar la velocidad del flujo (Menchaca et al., 2023, ).

- ***Método del flotador***

Implica medir las velocidades superficiales en un tramo del río, calcular la superficie transversal del río y multiplicar la velocidad media del agua por la superficie transversal para obtener el caudal, (Bello y Pino, 2000, págs. 10-12).

- ***Método volumétrico***

Requiere de ciertos materiales como un recipiente (balde) con un volumen conocido para recolectar el agua y un cronometro para registrar el tiempo que tarda en llenarse. Este procedimiento se realiza de 2 a 3 veces para posteriormente promediarlos y así garantizar una mayor precisión. Sirve para la evaluación de caudales reducidos de agua, como los que fluyen en canales de riego, pequeñas acequias o riachuelos, (Bello y Pino, 2000, pág. 13).

#### *2.2.1.4. Incidencia de la vegetación ribereña y procesos erosivos en sistemas hidrológicos*

La vegetación que se encuentra en las orillas de los ríos tiene una capacidad de amortiguamiento contra impactos naturales o antropogénicos debido a que las raíces de las plantas estabilizan el terreno ribereño y reducen los efectos erosivos que se generan por las crecientes, (Lango et al., 2020, pág. 3).

**Tabla 2-1:** Funciones de la vegetación ribereña

<b>Abastece de sustrato</b>	Proporciona sustrato para los organismos acuáticos y terrestres, mejorando su hábitat.
<b>Estabiliza la temperatura y la incidencia de luz</b>	La cobertura que proporciona las copas de los árboles regula la temperatura del agua y la cantidad de luz que ingresa al cauce influyendo en la productividad del sistema.
<b>Mejora la rugosidad superficial</b>	La rugosidad de la superficie del suelo determina la infiltración del agua aumentando o disminuyendo la escorrentía que acarrea sedimentos.
<b>Capacidad filtrante</b>	Ayuda con la retención y absorción generando sumideros de nutrientes y contaminantes.

Fuente: (Lango et al., 2020).

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La vegetación de ribera está estrechamente ligada con la erosión, la calidad hídrica de los ríos y el equilibrio de los cauces. La relación que tiene con la erosión es fundamental para mantener una estabilidad en el sistema hidrológico; debido a que la presencia de plantas, árboles, arbustos, entre otros, en las orillas, aumentan la resistencia a procesos erosivos, estos desgastan y transportan materiales de la superficie terrestre por la acción del agua, provocando impactos significativos en la forma la microcuenca y el paisaje, una de las principales causas de la erosión es la deforestación y agricultura intensiva, esto impide la retención de la escorrentía procedente de la precipitación (Morales, 2010, p.54).

**Tabla 2-2:** Tipos de erosión

<b>Erosión hídrica</b>	Ocurre en las orillas de los ríos y se origina a partir del desgaste, transporte y depósito de material proveniente de los suelos, causado por la acción combinada de la precipitación y la escorrentía.
<b>Erosión fluvial</b>	Perjudica el curso de agua por el desprendimiento, transporte y depósito de los materiales que constituyen el cauce fluvial.
<b>Erosión eólica</b>	Se trata de la alteración del suelo por la acción del viento, que arrastra, transporta y deposita los suelos finos carentes de vegetación.

Fuente: (Duque y Escobar, 2016, págs. 124-126).

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Las actividades humanas alteran las funciones de la vegetación de ribera degradando la calidad del agua y los servicios ecosistémicos, lo que hace que se intensifique el interés por la conservación, cuidado, manejo y regeneración de las zonas afectadas, (Morales, 2010, pág. 6) ; además, la vegetación varía dependiendo de la zona geográfica y la altitud, y se ve influenciada por el clima, la disponibilidad del recurso hídrico y la topografía, dicha vegetación aprovecha los nutrientes disueltos que están en el agua disminuyendo los procesos de eutrofización, (Volonté, Gil y Campo, 2018, pág. 6).

#### *2.2.1.5. Ventajas de la determinación hidromorfométrica en el análisis hidrológico*

El término hidromorfometría hace énfasis a las propiedades que caracterizan a una microcuenca, brindan un panorama más claro de su comportamiento hidrológico, según Strahler (1964), la morfometría mide la erosión de los cauces a partir de la identificación de valores lineales como longitudes y bidimensionales como áreas, estos resultados permiten una rápida interpretación y posibles comparaciones con otras microcuencas, (Ortuño y Gentili, 2023); además, la determinación de parámetros hidromorfométricos cuenta con varias ventajas en el análisis hidrológico, ya que facilita información cuantitativa sobre las características de forma, área, longitud, relieve, pendiente, entre otros, de las microcuencas y que indican su evolución hidrológica.

#### *2.2.2. Manejo de integrado de cuencas, subcuencas y microcuencas*

Es una serie de acciones que se llevan a cabo en el lugar de interés con la finalidad de aprovechar los recursos hídricos, de forma sostenible minimizando los impactos negativos, (Vera, 2017, pág.). La extensión del área de estudio facilita mucho los procesos a realizarse en un plan de manejo integral; es decir, en territorios pequeños, probablemente, la mayor parte de la población tiene intereses comunes, el éxito radica en la participación positiva y activa a nivel local. Los componentes que influyen en el manejo de cuencas están orientados a la producción y desarrollo, por una parte, y la prevención y/o protección por la otra, que al momento de equilibrarlos se habla de sostenibilidad. Uno de los procesos más importantes es la identificación de zonas vulnerables, frágiles o de alto riesgo de presentar impactos físicos o sociales, desde este levantamiento de información se parte para idear las posibles acciones preventivas o correctivas, (Rodas et al., 2004). Las acciones deben permitir que los ecosistemas incrementen la homeostasis (características necesarias para reaccionar ante amenazas externas) y la resiliencia (capacidad para resistir a alteraciones externas), por ejemplo, una cobertura vegetal continua y sana resiste más a la contaminación que la que está compartimentada y con algún problema que le genere enfermedades, (Vásconez et al., 2019, pág. 54).

### 2.2.2.1. Diferencia de una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica

Difieren por el hecho de que la primera hace alusión a las aguas que se encuentran en contacto con la superficie, mientras que el segundo concepto incluye las aguas subterráneas, (Dolores y Agüero, 2018, pág.12). A continuación, se describe todo acerca de una cuenca hidrográfica.

- **Cuenca hidrográfica**

Establece un área delimitada por su entorno característico y esencialmente por los límites que implantan las regiones de drenaje de las aguas superficiales que se dirigen hacia una misma desembocadura. Son fundamentales para proporcionar un ambiente a la flora y fauna además de proveer agua dulce para las personas, sembríos, animales y manufactura, de igual manera brindan entretenimiento permitiendo conectarse con la naturaleza. El cuidado de los bienes materiales y servicios que ofrece la naturaleza es fundamental para la conservación del bienestar actual como futuro de todos los seres vivos, (Dolores y Agüero, 2018, pág. 21).

**Tabla 2-3:** Funciones que cumplen las cuencas hidrográficas

<b>Función ambiental</b>	Una cuenca hidrográfica regula la recarga hídrica, ayuda a conservar la biodiversidad y/o constituyen sumideros de CO <sub>2</sub> .
<b>Función ecológica</b>	La cuenca hidrográfica provee un hábitat para la flora y fauna, e influye en la calidad física y química del agua.
<b>Función hidrológica</b>	En una cuenca hidrográfica el agua proveniente de la precipitación es drenada y permite recargar las fuentes que están en el subterráneo y en la superficie.
<b>Función socioeconómica</b>	El área de terreno aledaña a una cuenca hidrográfica es un lugar acertado para el desarrollo humano (social y cultural); además, suministra recursos naturales renovables y no renovables.

**Fuente:** (Vásconez et al., 2019).

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Clasificación de cuencas**

Las cuencas hidrográficas se clasifican tomando en cuenta el área de drenaje o el sitio de desembocadura o el destino de escurrimiento, en la Ilustración 1-2 se observa la clasificación según el área de drenaje (Rodas et al., 2004, p. 2).



**Ilustración 2-7:** Clasificación de cuencas

Fuente: (Rodas et al., 2004, pág. 21).

- **Clasificación por el grado de concentración de la red de drenaje**

Se toma en cuenta el área total que aborda todas las ramificaciones que confluyen en un cauce principal.

**Tabla 2-4:** Clasificación por el área de drenaje

<b>Cuenca</b>	Área de terreno delimitado por una divisoria de aguas (línea), que comprende un sistema hídrico, donde las aguas drenan hacia un río principal, a un lago o al mar; además, abarca áreas superiores a 50 000 ha, (Rodas et al., 2004, pág.2).
<b>Subcuenca</b>	Es una parte integrante de una cuenca y se la define como el área en donde los escurrimientos superficiales son captados y se conducen por un arroyo secundario con regímenes hídricos determinados, (Gámez, 2009, pág. 3).
<b>Microcuenca</b>	Corresponde a un cuerpo de agua superficial, que desemboca en una red hidrográfica natural con uno o más cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar; la microcuenca está delimitada por la línea del divorcio de las aguas. Considerando el tamaño es área de drenaje es menor a 500 Km <sup>2</sup> y corresponden a unidades naturales que sirven como base territorial para articular procesos de gestión, que promueven el desarrollo integral y sustentable, (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012, pág. 2).

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Clasificación por el sitio de desembocadura**

Considera el punto en el que desemboca el cauce principal de la red de drenaje que varía según la zona en la que se encuentra.

**Tabla 2-5:** Clasificación por el sitio de desembocadura

<b>Cuenca endorreica</b>	El punto de salida de las aguas superficiales está dentro de la misma cuenca, puede ser una laguna o un lago.
<b>Cuenca exorreica</b>	El punto de salida de las aguas superficiales es un río principal que tiene su desembocadura en el océano, en Ecuador hay 2 vertientes: la del Pacífico y de Amazonas, desembocan en el océano Pacífico y en el río Amazonas (llega al Atlántico), respectivamente.
<b>Cuenca arreica</b>	No desemboca en ningún cuerpo hídrico ya que el agua se evapora o se infiltra en el subsuelo, un ejemplo serían los páramos.

**Fuente:** (Vásconez et al., 2019).

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

#### 2.2.2.2. Delimitación de una cuenca hidrográfica

Hace referencia a fijar la línea divisoria de aguas (*divortium aquarum*), la misma que es una curva establecida por las elevaciones y cuenta con su punto de cierre en la zona de descenso de la cuenca, la extensión de la línea es el área de dicha curva, (Dolores y Agüero, 2018, pág. 3).

- **Divisoria de aguas**

Es una línea imaginaria que divide las laderas (los puntos más altos) o separando los valles y permitiendo que la escorrentía fluya a ambos lados de la divisoria hacia los distintos cauces, (Ibáñez et al., 2010, pág. 7). La divisoria no intercepta los cauces naturales ya que pasa por los puntos más altos de las cordilleras, se la define por las altitudes, su longitud es el perímetro de la cuenca y terreno que abarca se lo conoce como área (Dolores y Agüero, 2018, pág. 5).



**Ilustración 2-8:** Divisoria de aguas

Fuente: (Rodas et al., 2004).

- **Demarcaciones hidrográficas (DH), en Ecuador.**

Son la principal unidad de delimitación geográfica, que permite gestionar las cuencas hidrográficas, en Ecuador, según la SENAGUA, hay nueve DH, (Jaramillo, 2022, pág. 2).

Según (Vásconez et al., 2019, pág. 16), DH es definida como “la zona marina terrestre compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas subterráneas y costeras asociadas”

**Tabla 2-6:** Clasificación de cuencas por el área de drenaje

<b>DH Vertiente del Pacífico</b>	Comprende las siguientes demarcaciones: <i>Mira, Esmeraldas, Manabí, Guayas, Jubones y Puyango Catamayo</i>
<b>DH Vertiente Amazónica</b>	Comprende las siguientes demarcaciones: <i>Napo, Pastaza y Santiago</i>

Fuente: (Vásconez et al., 2019).

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

### 2.2.2.3. Salud de los ríos y servicios ecosistémicos

La salud de un río contribuye directamente con el desarrollo de poblaciones ya que aporta con el recurso necesario para cultivos, alimento y la existencia en sí, las civilizaciones se asentaron en zonas aledañas a ríos, cauces, vertientes, entre otros, para sobrevivir. Hoy en día se cataloga a la naturaleza como un servicio ecosistémico que contribuye con el desarrollo, en todos los ámbitos, del ser humano (Bárceñas et al., 2017, pág.4).

- **Salud de los ríos**

Corresponde a la ausencia de contaminantes y a su óptimo desarrollo del ciclo hidrológico por otra parte un servicio ecosistémico es un beneficio que se obtiene de los recursos naturales en favor de los seres humanos, de acuerdo con Acosta & Gorozabe “La concepción de servicios ecosistémicos es un tema que se plantea de forma cada vez más habitual en los cuerpos de agua fluviales, debido a que estos proveen beneficios a las personas ya sean intelectuales, espirituales, estéticos o de desarrollo humano”.

- **Servicios ecosistémicos**

Brindan beneficios que se pueden obtener de la naturaleza; (Bárceñas et al., 2017, pág. 8), y se clasifican en:

**Tabla 2-7:** Clasificación de los servicios ecosistémicos

<b>De provisión</b>	Son los productos que se obtienen de la naturaleza para consumo o uso directo o procesado.
<b>De regulación</b>	Se relaciona con la capacidad de la naturaleza para sostener sistemas vitales, como la depuración del agua, purificación del aire, prevención de inundaciones y mantenimiento de tierras, entre otros.
<b>Culturales</b>	Valores o beneficios intangibles que se obtienen a través del enriquecimiento personal o espiritual, alude a los placeres estéticos de la naturaleza.
<b>De soporte</b>	Son los procesos de la naturaleza que busca mantener un equilibrio en los ecosistemas, como el ciclo del agua, control erosivo, polinización, entre otros.

**Fuente:** (Bárceñas, Alvarado y Padilla, 2017).

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La valoración de los servicios ecosistémicos que proporcionan los ríos es un tema difícil de cuantificar ya que requiere no solo una comprensión del estado biofísico de los mismos, sino también de una integración del sistema socioecológico que lo comprende. Evaluar el potencial aporte que generan los cuerpos fluviales en el bienestar humano, genera implicaciones significativas en su planificación y gestión, en los espacios urbanos, por ejemplo, es muy importante el valor recreativo, ya que los cuerpos de agua se consideran punto focal para reconectar a los humanos con la naturaleza. De esta manera, se contribuye a mantener condiciones ecológicas relevantes en la toma de decisiones para la conservación y restauración de la naturaleza

manteniendo a los ríos saludables, por lo que la recreación y estética de los cuerpos de agua fluvial marcan pautas para la gestión, pues se evidencia una comprensión espacial de uso para la planificación territorial”, (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 16).

#### 2.2.2.4. *Gestión de calidad del agua*

Hace alusión a que los distintos usos del recurso hidrológico se los debe considerar de manera unánime es decir en conjunto, para que la gestión considere la distribución y efectos que cada uso tiene sobre los otros, (Vargas, 2023, pág. 2).

- **Criterios de calidad del agua**

Son características y condiciones que debe de cumplir el recurso agua para considerarse sano o contaminado, según el Ministerio del Ambiente EN 2015 el criterio de calidad de agua es “La concentración numérica o enunciado descriptivo recomendado para mantener determinado uso benéfico del agua. Los criterios de calidad para diversos usos del agua son la base para determinación de los objetivos de calidad en los tramos de un cuerpo receptor”, (Ministerio del Ambiente, 2015, pág. 2).

- **Disponibilidad del recurso agua**

El recurso hídrico es limitado por la naturaleza a causa de que no siempre se encuentra en el lugar o con la calidad necesaria, el agua dulce solo representa un 2,5% del agua total de la tierra. Este recurso queda fuera de cualquier tipo de mercado, pues su consumo no tiene restricciones para nadie y no es privatizado; sin embargo, es deber de las personas conservarla y depurarla después de su uso. La distribución de este recurso no es equitativa si se habla de regiones o diferentes ubicaciones geográficas, hoy en día se ha reflejado la vulnerabilidad que presenta para preservar la existencia de cualquier ser vivo debido al continuo derroche y contaminación que precisamente las personas ocasionamos (Correa, 2021, pág. 14).

#### 2.2.2.5. *Monitoreo de la calidad de las aguas de un río*

Hace referencia al seguimiento que se le da al recurso agua para poder determinarlo como fuente contaminada o no, depende de la concentración del contaminante lo cual se considera como dato el cual es recogido dentro de un monitoreo, según el Ministerio del Ambiente en 2015 el monitoreo de la calidad de las aguas de un río “Implica la toma de datos de campo o el desarrollo

de información tendiente a establecer valores en el tiempo, de los parámetros de calidad que guardan relevancia con los usos del cuerpo receptor” (Ministerio del Ambiente, 2015, pág. 2).

### **2.2.3. Características de ríos o microcuencas**

Las características de los ríos incluyen su importancia como cursos de agua dulce, su capacidad para comunicar poblaciones vecinas a través de la navegación, su papel ecológico como reservas de agua para la vida, y su variabilidad en longitud, extensión, profundidad y ancho. Los ríos se dividen en tres partes principales según su capacidad erosiva y transporte de sedimentos: el curso superior, el curso medio y el curso inferior. Además, los ríos pueden presentar diferentes formas, como rectilíneos, anastomosados o meandriformes, cada uno con sus propias particularidades en cuanto a estabilidad, sinuosidad y procesos erosivos y sedimentarios. Los ríos son fundamentales para el transporte de materiales y la modelación del paisaje a lo largo de su recorrido. Sus características están estrechamente relacionadas con factores como la geología, el clima, el relieve y la dinámica fluvial, lo que influye en su capacidad para modificar y modelar el paisaje a través de procesos de transporte de materiales y sedimentación. Los ríos son ecosistemas dinámicos y vitales que albergan una gran diversidad de vida, y su conservación es fundamental para el equilibrio de los ecosistemas y el bienestar humano (Encalada, 2010, pág. 6).

#### **2.2.3.1. Principales impactos ambientales en ríos andinos**

Los ríos andinos enfrentan diversos impactos ambientales, como la degradación de las cuencas, suelos, disminución de la calidad y cantidad del agua debido al cambio climático. Las actividades económicas asociadas con la ganadería, la minería, la agricultura, las plantaciones forestales y la expansión urbana, provocan graves afectaciones para los ríos andinos y sus funciones ecosistémicas. Es importante tomar medidas para proteger y conservar los ríos andinos y sus ecosistemas asociados, como la inclusión de los páramos en los sistemas de áreas protegidas y la implementación de prácticas sostenibles en las actividades económicas, (CONDESAN, 2012, pág. 76).

Los principales impactos ambientales en los ríos andinos incluyen:

- Aumento de eventos climáticos extremos, como sequías, inundaciones, deslizamientos de tierra y erosión de suelos, debido al cambio climático.
- Contaminación de los ríos por residuos sólidos, aguas residuales, actividad minera y petrolera, lo que afecta la disponibilidad de agua para consumo humano y la vida acuática.
- Degradación de las cuencas de los ríos y suelos, lo que contribuye a la escasez de recursos

hídricos y a la pérdida de biodiversidad.

- Presencia de microplásticos en la biota de los ríos andinos, lo que puede causar impactos adversos en la alimentación, metabolismo, reproducción y supervivencia de la vida acuática, (CONDESAN, 2012, pág. 16).

#### *2.2.3.2. Importancia del ciclo del nitrógeno en los sistemas fluviales*

El ciclo del nitrógeno es de gran importancia en los sistemas fluviales, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes para la vida acuática y la calidad del agua. La presencia y disponibilidad de nitrógeno en sus diferentes formas (Nitrato, Nitritos entre otros) influye en la productividad biológica y en la composición de las comunidades acuáticas, sin embargo, un exceso de su concentración puede ser perjudicial, (Gómez, 2005, pág. 3). Este ciclo se trata de los procesos que tiene el nitrógeno dentro de los ríos en los cuales mediante la actividad microbiológica y las reacciones químicas intervinientes son devueltos a la naturaleza, de acuerdo con Acosta & Gorozabel es “Uno de los procesos del nitrógeno en el agua, es la fijación biológica, en el cual el nitrógeno orgánico se transforma en nitrógeno molecular, por medio de bacterias simbióticas que viven en las plantas. El proceso de nitrificación se lleva a cabo por medio de dos reacciones de oxidación, es decir ambas consumen oxígeno: Primero el ion amonio se convierte en Nitrito, luego el nitrito se convierte en Nitrato Finalmente se produce la desnitrificación donde el Nitrato se convierte en nitrógeno gaseoso y este escapa por difusión a la atmósfera. Cabe destacar que la desnitrificación es llevada a cabo por bacterias, estas son inhibidas cuando hay altas concentraciones de oxígeno disuelto, por lo cual este proceso toma mayor relevancia en sedimentos anóxicos”, (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 52).

#### *2.2.3.3. Importancia del ciclo del fósforo en los sistemas fluviales*

El ciclo del fósforo es importante en un cuerpo de agua ya que influye en la disponibilidad de nutrientes para la vida acuática y la calidad del agua. El fósforo es un nutriente esencial para la vida, y su presencia y disponibilidad en los sistemas fluviales influye en la productividad biológica y en la composición de las comunidades acuáticas, (Gómez, 2005, pág. 3). Se trata de los procesos que tiene el fosforo dentro de los ríos en los cuales mediante la actividad microbiológica y las reacciones químicas intervinientes son devueltos a la naturaleza, de acuerdo con Acosta & Gorozabel lo consideran como, “como un elemento de gran relevancia dentro de la industria y la agricultura, sin embargo, una liberación excesiva de este en cuerpos de agua ocasiona un fenómeno conocido como eutrofización, poniendo en riesgo a los sistemas acuáticos e implicando pérdidas económicas. El fósforo en agua se encuentra en forma inorgánica formando el anión fosfato, un exceso de fósforo provoca el crecimiento de la floración de algas, condiciones

anóxicas, alteración de la composición y biomasa de las especies vegetales, lo que provoca la muerte de peces y la alteración de las redes alimentarias, conllevando a la producción de toxinas y degradación de áreas recreativas, así como la proliferación de algas y otros síntomas de eutrofización”, (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 4).

#### 2.2.3.4. Eutrofización y sus procesos

La eutrofización comprende el deterioro de ríos, lagos y lagunas que ocurre naturalmente y de forma limitada; sin embargo, el fenómeno puede ser acelerado por la actividad humana. Este proceso, identificado como una de las principales causas del envejecimiento de los cuerpos hidrostáticos, se produce por un aumento excesivo de la concentración de nutrientes, lo que da lugar al crecimiento de algas y plantas superiores, que tienen una vida corta y cuando son descompuesta por bacterias aeróbicas, el agua disminuye la cantidad de oxígeno disuelto, creando condiciones anóxicas, lo que inhibe el desarrollo y crecimiento de los organismos, (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 9).

En general, los efectos negativos de la eutrofización afectan el uso de cuerpos de agua como el suministro de agua potable y el agua de riego. Los nutrientes que tienen mayor impacto durante la eutrofización son el nitrógeno y el fósforo, muchas veces provenientes de actividades que ocurren en los márgenes agrícolas y ganaderos de lagos y lagunas. Estos componentes terminan en cuerpos de agua inmóviles a través de la precipitación y la erosión del suelo, (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 9).

**Tabla 2-8:** Clasificación de aguas según su grado de contaminación

<b>Aguas oligotróficas</b>	Son las tienen bajos niveles de materia orgánica, niveles de oxígeno disuelto aceptables, la contaminación por bacterias es baja y de aspecto cristalino que deja pasar la luz.
<b>Aguas hipertróficas</b>	Son ricas en nutrientes, los niveles de oxígeno son escasos, alta actividad microbiológica, aguas oscuras y de olor fuerte.

**Fuente:** (Calderón y Delgadillo, 2019).

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Procesos de eutrofización**

El enriquecimiento de nutrientes conduce a un crecimiento acelerado del fitoplancton, lo que aumenta la turbidez de la masa de agua. Posterior a ello el oxígeno disuelto disminuye ya que el fitoplancton está conformado por organismos fotosintéticos que oxigenan la superficie de la masa

de agua a través de la fotosíntesis y finalmente liberan el exceso de oxígeno a la atmósfera. De esta forma, el fitoplancton no aporta oxígeno a las zonas más profundas del sistema. Cuando el fitoplancton muere, se deposita en el fondo de la columna de agua, produciendo desechos, el cual atrae organismos en descomponedores y, debido a su crecimiento acelerado, tiene una gran demanda de oxígeno disuelto. Finalmente, los organismos superiores (animales y plantas) en el cuerpo de agua mueren asfixiados debido a la falta de oxígeno disuelto, (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 11).

**Tabla 2-9:** Cambios más notorios en procesos eutróficos

<b>Cambios biológicos</b>	Aumento del fitoplancton, las aguas verdeazules proliferan. Aumento de la actividad bacteriana. Las especies acuáticas enferman y mueren.
<b>Cambios físicos</b>	Restos de plantas y animales se acumulan en el fondo dificultando la circulación del agua. El color del agua se torna parda y hay mal olor.
<b>Cambios químicos</b>	La disminución del oxígeno disuelto va desde los 9 mg/l a 4 mg/l afectando a los organismos, y si alcanza niveles de 2 mg/l la muerte es inminente; así mismo, el nivel de DBO aumenta. Concentraciones de nitrógeno y fósforo, entre otros, aumentan.

**Fuente:** (Calderón y Delgadillo, 2019).

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

#### 2.2.3.5. *Parámetros que afectan la calidad del agua de un recurso hídrico*

La composición química del agua que llega a los ríos depende del tipo de río sin embargo algunos parámetros como la corriente, el caudal, la temperatura y el tipo de suelo, afectan la calidad del agua y la vida acuática en los ríos; la temperatura del agua influye en la tasa de crecimiento y reproducción de los organismos acuáticos, mientras que la corriente y el caudal pueden afectar la erosión y sedimentación del lecho del río. Por otra parte, la presencia de contaminantes químicos y biológicos en el agua puede ser perjudicial para la salud humana y la biodiversidad acuática. Por lo tanto, es importante monitorear y controlar los parámetros físico-químicos en los ríos para garantizar su calidad y sostenibilidad, (Escobar, 2002, pág. 2).

- **Parámetros fisicoquímicos**

Los parámetros físico-químicos son indicadores que suministran gran cantidad de información sobre la naturaleza de las especies químicas presentes en el agua y así como de sus propiedades físicas, mas no ofrecen detalles sobre su influencia en la vida acuática, (Samboni et al., 2007, pág. 173).

- **Temperatura del agua**

Según Vásconez et al. (2019, pág. 8) en su libro denominado “Cuencas Hidrográficas” “el agua potable debe estar en un rango de temperatura de 10°C a 14°C para que se apta para el consumo humano; además, si el agua alcanza temperaturas cercanas a 25°C las especies acuáticas se ven gravemente afectadas debido a que su metabolismo se aumenta”

- **Potencial de hidrogeno (pH)**

El pH es una medida que indica si una solución, es ácida o alcalina, basado en la cantidad de iones de hidrógeno presentes en ella. Se mide en una escala del 0 al 14, donde:

- 7 es neutro
- < 7 es ácido
- > 7 es alcalino

Es un factor crucial al evaluar la calidad del agua para diferentes usos como la agricultura, ganadería, industria y salud pública. La medición del pH se realiza usando electrodos sensibles a los iones de hidrógeno, y puede realizarse tanto en el campo como en laboratorio utilizando diversos métodos y equipos. Generalmente, el agua natural tiene un pH que oscila entre 4 y 9, siendo predominantes las aguas con carácter básico debido a la existencia de bicarbonatos y carbonatos, (Rincón, 2017, pág. 9).

- **Sólidos disueltos totales (TDS)**

Los sólidos disueltos totales representan la cantidad de materia presente en una muestra de agua, se trata de partículas más pequeñas que 2 micrones, lo que las hace imposibles de filtrar con un filtro convencional. Básicamente, TDS es la combinación de minerales, metales y sales disueltos en el agua, y sirve como un indicador confiable de su calidad, (Bauder y Sigler, 2014, pág. 1).

- **Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica (CE) es una medida de la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Se expresa en Siemens por metro (S/m) o inversamente en ohmios por metro ( $\Omega^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ ), y está directamente vinculada con la presencia de sales, minerales y otros elementos disueltos en el agua, (Solís et al., 2018, pág. 36-37).

- **Oxígeno disuelto (OD)**

Es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, es esencial para la salud de los arroyos y lagos. Los niveles de oxígeno disuelto (OD) pueden indicar qué tan contaminada está el agua y qué tan bien sustenta dicha agua, la vida vegetal y animal. En general, los niveles más altos de oxígeno disuelto indican una mejor calidad del agua. Algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir cuando los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, (Rincón, 2017, pág. 1).

- **Nitritos (NO<sub>2</sub>-)**

Los Nitritos son sales derivadas del nitrógeno que pueden estar disponibles en un medio de forma natural. Sin embargo, la concentración que se encuentran en la naturaleza se ha incrementado debido a las actividades antropogénicas, (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 14).

- **Nitratos (NO<sub>3</sub>-)**

El Nitrato es un compuesto inorgánico que consta de un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del Nitrato es NO<sub>3</sub>, es incoloro, no tiene sabor y se encuentran naturalmente disueltos en el agua. Su presencia natural en las aguas superficiales o subterráneas es el resultado del ciclo natural del nitrógeno, sin embargo, en determinadas zonas este ciclo ha sido alterado, en el sentido de que se ha producido un aumento en la concentración de Nitratos, debido principalmente a un excesivo uso de abonos nitrogenados en la agricultura y a su posterior arrastre por la escorrentía superficial de lluvia o riegos, (INDUANALISIS, 2019, pág. 5).

- **Fosfatos**

El Fosfato es un elemento químico indispensable para plantas y animales, también es una fuente de materia prima para el ser humano.

Cuando se extrae este mineral se lo utiliza para fabricar fertilizantes, aumentando la producción agrícola y también para la producción de detergentes o pirotecnia. Son las sales o los ésteres del ácido fosfórico. Tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica. Es parte de los nutrientes esenciales porque realizan funciones específicas dentro de las plantas. En relación con los fosfitos, aunque se les atribuyen algunas propiedades benéficas, (PlantTalk Colorado, 2023, pág. 14).

#### 2.2.3.6. Estudio hidrodinámico de nutrientes

Hace referencia a la evaluación de la dinámica de los nutrientes en los ecosistemas con respecto al flujo de agua, incluyendo su ciclo, transporte, transformación y disponibilidad para los organismos vivos; ya que fundamental para comprender la relación entre los nutrientes y la productividad biológica en los ecosistemas, y para evaluar el impacto de las actividades humanas en la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos. Para ello se ejecuta medición de la concentración de nutrientes en el agua, la evaluación de los flujos de nutrientes entre diferentes componentes del ecosistema, como el suelo, el agua y la biota, y la evaluación de la respuesta de los organismos a la disponibilidad de nutrientes, (Escudero y Mediavilla, 2003, pág. 2).

Los principales nutrientes que se estudian en la hidrodinámica de nutrientes son los siguientes:

**Tabla 2-10:** Principales nutrientes que estudia la hidrodinámica

<b>Nitrógeno</b>	Se analizan las concentraciones de nitrógeno en sus diferentes formas, como Nitrato, Nitrito, Amonio y Nitrógeno orgánico. El Nitrógeno es un nutriente esencial para los organismos, pero su exceso puede causar eutrofización y afectar la calidad del agua.
<b>Fósforo</b>	Se evalúan las concentraciones de fósforo, ya que este nutriente también puede contribuir a la eutrofización de los cuerpos de agua y afectar su calidad.
El potasio, el calcio, el magnesio, el azufre, entre otros, que también desempeñan un papel importante en la dinámica de los ecosistemas acuáticos	

**Fuente:** (Calderón y Delgadillo, 2019).

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Importancia de la hidrodinámica de nutrientes**

Considerando que los nutrientes son de suma importancia en la hidrodinámica de un sistema hídrico e influyen en la calidad del agua y su salud; puede provocar un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas lo que limita la producción de oxígeno junto con la pérdida de hábitat de la fauna acuática. Algunos aspectos importantes que se logran con la evaluación de la hidrodinámica son:

**Tabla 2-11:** Estudios a partir de la hidrodinámica

<b>Evaluación de la eutrofización</b>	La hidrodinámica de nutrientes permite evaluar el grado de eutrofización de un cuerpo de agua, lo que es fundamental para comprender la calidad del agua y los efectos de la contaminación por nutrientes en los ecosistemas acuáticos.
<b>Estudio de flujos máxicos</b>	Se lleva a cabo el estudio de los flujos máxicos de los nutrientes en el cuerpo de agua, lo que implica la medición de la cantidad de nutrientes que entran y salen del sistema, así como su distribución en el agua y los sedimentos.
<b>Modelización de la dinámica de nutrientes</b>	Se utilizan modelos numéricos para simular la distribución y el transporte de los nutrientes en el cuerpo de agua, lo que permite comprender su comportamiento y predecir su evolución en el tiempo.

**Fuente:** (Escudero y Mediavilla, 2003).

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Determinación de cargas contaminantes**

La determinación de la carga contaminante es de gran importancia para evaluar el volumen y las características de la contaminación que se vierte en los cuerpos receptores, como el mar o los ríos; se calcula a partir de la concentración de contaminantes y el caudal, (Kalinov, 2020)

Se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Carga contaminante} = \text{Concentración del contaminante} * \text{caudal}$$

Donde la concentración del contaminante se expresa en unidades de masa por volumen (mg/l o kg/m<sup>3</sup>) y el caudal se expresa en unidades de volumen por tiempo (m<sup>3</sup>/s o l/d), dando como resultado de la carga contaminante en Kg/h o Kg/d, (Kalinov, 2020, pág. 2).

### 2.2.3.7. *Evaluación de vulnerabilidad antrópica*

La comprensión de la vulnerabilidad antropogénica es importante para la gestión de riesgos y la planificación de medidas de adaptación y mitigación; hace referencia a la fragilidad de una comunidad o un ecosistema frente a posibles daños o efectos adversos provocados por la acción humana. Esta situación puede implicar la exposición a agentes contaminantes, el deterioro del ambiente por la agricultura, ganadería, vertido de aguas residuales urbanas e industriales, el crecimiento urbano, la pérdida de áreas forestales, la expansión de infraestructuras, y otros elementos, (Foschiatti, 2008, pág. 2).

La evaluación de la vulnerabilidad antrópica se realiza mediante distintos métodos que ayudan a estimar los riesgos asociados con la actividad antropogénica; clasificándolas según su grado de riesgo y contaminación. A continuación, se presentan algunos métodos de evaluación de riesgo y contaminación del agua.

- **%IRCA**

Este método utiliza normas de calidad de agua para consumo humano asociado con puntajes de riesgo asignado a cada parámetro físico, químico y microbiológico; por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos, (MAVDT, 2007, pág. 2).

- **IPC**

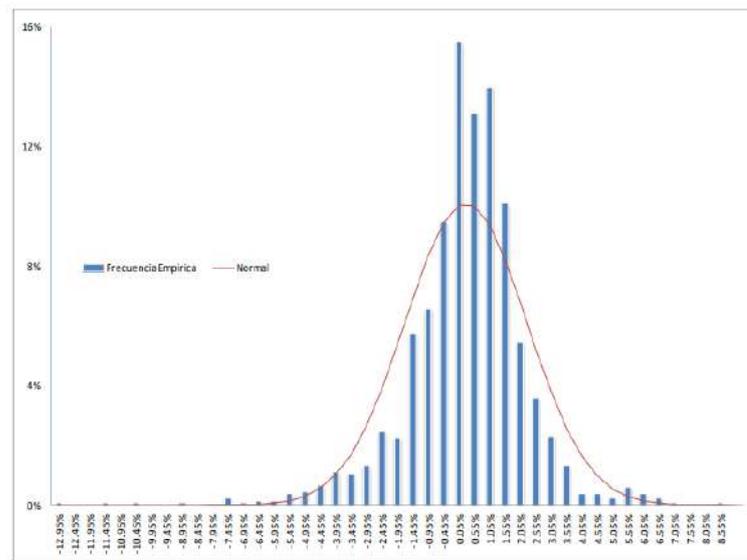
El Índice de Peligrosidad de Contaminación (IPC) se utiliza para determinar el nivel de contaminación de una cuenca; hace uso de los límites máximos permisibles de las normativas de calidad de agua de cada país en relación a la concentración de los contaminantes identificados en un determinado río, (Son et al., 2020, pág. 8).

### 2.2.4. *Análisis estadístico*

El análisis estadístico de datos es importante para comprender el comportamiento de los datos recopilados en la investigación ya que permite tomar decisiones informadas, identificar tendencias y patrones, y validar la información recopilada es así que el análisis estadístico de correlación es necesario para entender si existe una relación entre dos o más variables, lo que ayuda a determinar si una variable se mueve en función de la otra, (Montes et al., 2021, pág. 1).

### 2.2.4.1. Supuesto de normalidad

Se refiere a la suposición de que la distribución de los datos sigue una distribución normal o gaussiana. Este supuesto es relevante en los métodos estadísticos paramétricos que asumen que los datos provienen de una distribución normal para que los resultados de las pruebas sean válidos y confiables, (González et al., 2006, pág. 4).



**Ilustración 2-9:** Distribución normal o gaussiana

**Fuente:** (Padula y Bacchini, 2010).

Estas pruebas indican si los datos se desvían significativamente de una distribución normal. Si la desviación es considerable, se pueden explorar alternativas a los métodos paramétricos que asumen la normalidad, (Pérez, 2004, pág. 7).

- **Prueba de Shapiro-wilks**

Es una prueba estadística utilizada para verificar si un conjunto de datos sigue una distribución normal. Se lo utiliza cuando el tamaño de la muestra es menor a 50 observaciones, en caso de que el tamaño de la muestra sea mayor se utiliza el test de Kolmogórov-Smirnov. El test de *Shapiro-Wilks* plantea dos hipótesis y hace uso de un nivel de significancia de 0,05 para su determinación, (Flores y Flores, 2021, págs. 87-90).

Hipótesis a las que se rige el método.

- **H<sub>0</sub>:** Los datos siguen una distribución normal.

- **H1:** Los datos no siguen una distribución normal.

- **Prueba de Anderson-Darling**

Este método es muy útil para identificar desviaciones en las extremidades de la distribución de datos. Analiza la normalidad mediante el cálculo de la correlación entre los datos y las puntuaciones normales de los mismos, (Flores y Flores, 2021, págs. 85-86).

- **Prueba de normalidad de Ryan-Joiner**

El estadístico de Ryan-Joiner consiste en calcular la correlación entre los datos y sus puntuaciones normales. Si el coeficiente de correlación es cercano a 1, indica una posible normalidad en el total de los datos, por el contrario, si la prueba arroja un valor por debajo 1, se rechaza la hipótesis nula que afirma la normalidad de los datos. (Flores y Flores, 2021, pág. 87).

#### 2.2.4.2. Correlación

Hace referencia a la relación estadística entre dos o más variables. Si dos o más variables están correlacionadas, quiere decir que existe una conexión o dependencia entre ellas. Sin embargo, la existencia de una correlación no implica causalidad; esto quiere decir que, cuando dos variables estén correlacionadas no necesariamente la acción de una variable causa el resultado de la otra variable, ya que podría haber otros factores o variables desconocidas que influyen en la relación observada, (Vinuesa, 2016, pág. 17).

El coeficiente de correlación cuantifica la fuerza y dirección de la relación lineal entre dos variables. Los valores del coeficiente de correlación van desde -1 hasta 1:

- $r=1$ : Correlación perfecta positiva (ambas variables aumentan juntas).
- $r=-1$ : Correlación perfecta negativa (una variable aumenta mientras la otra disminuye).
- $r=0$ : No hay correlación lineal, (Vinuesa, 2016, pág. 1).

#### **Correlación de Spearman**

La correlación de Spearman busca determinar la asociación entre dos variables. Para este método de correlación el conjunto de datos no se requiere una distribución normal. Sin embargo, es necesario realizar pruebas de normalidad al para determinar dicha distribución. A más de permitir

conocer el grado de relación entre ambas variables, da la posibilidad de conocer la dependencia o independencia de dos variables, (Montes et al., 2021, pág. 2).

- **Hipótesis nula:** El coeficiente de correlación  $r_s = 0$  (No hay correlación)
- **Hipótesis alternativa:** El coeficiente de correlación  $r_s \neq 0$  (Hay correlación)

- **Coefficiente de correlación de Spearman**

El coeficiente de correlación  $r_s$  de Spearman varía entre -1 y +1.

- Los valores cercanos a +1 indican que existe una fuerte asociación entre las variables, es decir, que en medida que aumenta un rango el otro también aumenta.
- Los valores cercanos a -1 indican que existe una fuerte asociación negativa, es decir que a medida que aumenta un rango el otro decrece.
- Cuando el valor es 0 significa que no existe relación alguna (Montes et al., 2021, pág. 3).

- **Correlación de Pearson**

La correlación de Pearson es un indicador estadístico que mide la relación lineal entre dos conjuntos de datos continuos. Su valor, representado como "r", varía entre -1 y 1, donde:

- 1 indica una correlación positiva perfecta.
- -1 refleja una correlación negativa perfecta.
- 0 denota falta de correlación lineal.

La fórmula para calcular el coeficiente de correlación de Pearson se basa en las covarianzas y las desviaciones estándar de los conjuntos de datos X e Y. Esta fórmula evalúa cómo los cambios en un conjunto de datos se relacionan con los cambios en el otro conjunto, (Hernández et al., 2018, pág. 591-592).

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. Hidromorfometría**

Son aquellas propiedades que caracterizan a una microcuenca a partir del análisis morfométrico, hidrométrico e hidrológico, los valores obtenidos permiten determinar el comportamiento hidrológico de una microcuenca. El análisis es a partir de parámetros calculados manualmente y mediante el uso de Sistemas de información geográfica y/o teledetección, (Ortuño y Gentili, 2023, pág. 2).

### **2.3.2. Escorrentía**

Son las aguas que circulan por la superficie de la tierra después de la precipitación pluvial o de otros aportes de agua, como el deshielo, esta se desplaza desde los puntos más altos a los más bajos por acción de la gravedad, las aguas no infiltradas por el suelo generan la escorrentía; en cambio las que sí discurren por el suelo se denomina escorrentía subsuperficial, (Ibáñez et al., 2010, pág. 3).

### **2.3.3. Muestra puntual**

Es un tipo de muestreo que se lo realiza de manera aleatoria y específica dentro de un área determinada, según el Ministerio del Ambiente en 2015 una muestra puntual es “Una muestra tomada al azar en un cuerpo receptor y en una hora determinada, para el examen de un parámetro que normalmente no puede preservarse (coliformes, pH, CO<sub>2</sub>, etc.); muestra tomada al azar en un cuerpo receptor y en una hora determinada, para el examen de un conjunto de parámetros en un programa de monitoreo”, (Ministerio del Ambiente, 2015, pág. 1).

### **2.3.4. Punto de muestreo**

Es el espacio o lugar donde se pretende recolecta una muestra o muestras, de acuerdo con el Ministerio del Ambiente es un “Lugar de extracción de muestras de agua representativa de la calidad del agua residual descargada o cuerpo receptor) para su análisis”, (Ministerio del Ambiente, 2015, pág. 1).

### **2.3.5. Aguas residuales**

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica. Se trata de agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella, (Mid-America Regional Council, 2017, pág. 6).

### **2.3.6. Sedimentos**

Los sedimentos son partículas de arena, arcilla o limo sueltas provenientes de la erosión del suelo o de la descomposición de plantas y animales, transportadas por el viento y el agua. También son el resultado de la actividad industrial, la agricultura y escorrentía urbana. Esta materia se abre paso a través del agua y se asienta en el fondo de ríos, lagos y océanos, (Mid-America Regional Council, 2017, pág.6). Los contaminantes que se encuentran en los sedimentos pueden causar problemas de salud a medida que ingresan a la cadena alimenticia y se acumulan en el organismo de los peces, lo que finalmente contamina los alimentos con sustancias químicas tóxicas. Además, los sedimentos pueden cambiar el sabor y el olor del agua, lo que hace que su tratamiento sea más costoso. Por otra parte, los sedimentos también pueden alterar el flujo de agua y reducir la profundidad, dificultando o imposibilitando la pesca y la navegación, (Mid-America Regional Council, 2017, pág. 2).

### **2.3.7. Fertilizantes**

Los fertilizantes son elementos de origen animal, mineral, vegetal o producidos de forma sintética, que contienen una variada cantidad de nutrientes y se utilizan para enriquecer y mejorar las características del suelo en los cultivos (Mid-America Regional Council, 2017, pág. 10). Los fertilizantes sintéticos contienen elementos químicos que actúan como nutrientes, siendo los más importantes el nitrógeno, el fósforo y el potasio. El uso de fertilizantes sintéticos es un riesgo para el ambiente si se tiene un mal manejo ya que parte de los nutrientes no aprovechados por las plantas o los que se depositan en superficies inadecuadas puede contaminar las aguas, superficiales o subterráneas. La contaminación más común es la generada por el Nitrato que llega a las aguas por filtración o escorrentía, (IAEA, 2020, pág. 24).

### **2.3.8. Pesticida o plaguicida**

Sustancias usadas para evitar, destruir, repeler o ejercer cualquier otro tipo de control de insectos, roedores, plantas, malezas indeseables u otras formas de vida inconvenientes. Los pesticidas se

clasifican en: Organoclorados, organofosforados, organomercuriales, carbamatos, piretroides, bipiridilos, y warfarineos, sin ser esta clasificación limitativa, (Ministerio del Ambiente, 2015, pág. 45).

### **2.3.9. Hidrodinámica**

La hidrodinámica es una rama de la mecánica de fluidos que se ocupa del estudio de los fluidos en movimiento (flujo de agua u otros líquidos, o gases como el aire) y las fuerzas que actúan sobre ellos, (Euroinnova Business School, 2021, pág. 3).

### **2.3.10. Carga contaminante**

Se trata de la cantidad de contaminantes que se liberan o descargan en el agua o el aire, se expresa en términos de masa por unidad de tiempo, lo que refleja la contaminación generada por una fuente. Esta medida es esencial para evaluar y gestionar la contaminación ambiental, ya que proporciona información crucial sobre la calidad del agua y del aire, (Galván et al., 2007, pág. 3).

### **2.3.11. Concentración (C)**

Es la cantidad de una sustancia o gas presente en un soluto en nuestro caso en agua y se la mide en mg/L, (Ministerio del Ambiente, 2015, pág. 1).

### **2.3.12. Nutrientes**

Son elementos necesarios para el desarrollo adecuado de los organismos, conformados principalmente por Nitrógeno (N), el Fósforo (P), y el Potasio (K). La necesidad de cada especie definirá la cantidad de nutrientes que necesitan para su desarrollo. Estas sustancias se encuentran de forma natural en el ambiente, pero también se encuentran presentes, como producto de las actividades antropogénicas, incrementando rápidamente su concentración, (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 13).

## 2.4. Marco legal

A continuación, se presenta la principal legislación vigente relacionada con el manejo, gestión y conservación de cuencas hidrográficas, a más de normas que permiten su análisis y control de calidad.

La legislación ambiental ecuatoriana está sujeta a los principios ambientales que promueven el uso y conservación de los recursos naturales, descritos en la **CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR (CDE)** del 2008. Dispone en el **Art. 71**, los derechos de la naturaleza, *“La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos”*. A su vez el **Art. 12**, reconoce el derecho humano al agua como fundamental e irrenunciable. *“Establece que el agua constituye un patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”*, (CDE, 2008, pág. 1). Por tanto, para su cuidado y conservación, así como para la prevención y control de la contaminación de la naturaleza, el **CÓDIGO ORGÁNICO AMBIENTAL (COA)**, aporta principios e instrumentos descritos en los artículos, tales como el **Art. 30** que promueve el uso sostenible de los recursos naturales. Específicamente considerando aspectos sociales, económicos, y ambientales para la conservación y el uso sostenible de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos. El **Art. 179 y 181** que menciona sobre los estudios de impacto ambiental y planes de manejo, con el fin de evitar alteraciones significativas al entorno natural. Garantizando así el cumplimiento de las disposiciones constitucionales relacionadas con el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, (COA, 2017, pág. 1) . Por tales principios, para el uso sostenible del recurso hídrico la **LEY ORGANICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA** del 2014, establece mecanismos y procedimientos para la planificación, administración, conservación, protección, recuperación, control y monitoreo de los recursos hídricos, incluyendo la elaboración de planes de gestión y ordenamiento hídrico a nivel nacional, regional y local, (LORHUyA, 2014, pág.1); siendo un aspecto fundamental la conservación, recuperación, el monitoreo y seguimiento de la calidad del recurso agua, el **TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA)** específicamente el **ANEXO I** establecido en el **Acuerdo Ministerial N.º 061 y 097-A**. Establece las normas de calidad de agua y parámetros máximos permisibles para diferentes usos del agua, con el fin de proteger su calidad y seguridad, (TULSMA, 2011); en base a la legislación ecuatoriana se utilizó la **Resolución 2115 del 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia**, que especifica las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia de la

calidad del agua para consumo humano, (MAVDT, 2007, pág.1); y el **Acuerdo CE-CCA-001/89, publicado en el Diario Oficial de la Federación de México, establece los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua**, (SEDUE, 1989). Por ello las tomas de muestras se las realiza mediante la **NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2176:2013**, que establece las “*guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales para su caracterización*”, (NORMA NTE INEN 2176, 2013). De la misma manera la **NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2169:2013** que establece las “*técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos pero no análisis microbiológicos*”, (NORMA NTE INEN 2169, 2013). Este marco legal integral refleja el compromiso del Estado ecuatoriano con la conservación y uso sostenible de los recursos hídricos, asegurando su disponibilidad para las presentes y futuras generaciones y promoviendo el Sumak kawsay.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

Para alcanzar los objetivos propuestos en el presente trabajo, se determinaron las variables morfométricas e hidrométricas a través del software ArcGIS 10.4, se partió de información disponible en el Sistema Nacional de Información del Ecuador; y de datos meteorológicos obtenidos a través del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). El diseño del proyecto de investigación es de tipo no experimental debido a que el análisis de los resultados de las muestras fueron emitidos por el Laboratorio de Química Analítica de Calidad del Agua, de la Facultad de Ciencias en la ESPOCH, en donde conjuntamente con los técnicos del grupo GISOCH se hizo el análisis de las muestras tomadas en los puntos previamente determinados, con el equipo HACH – DR 3900 y los reactivos que se utilizaron para determinar los nutrientes fueron NitriVer® 3, PhosVer® 3 y NitraVer® 3, para celdas de 10 mL; en cambio, para los parámetros físico-químicos, la medición fue in-situ con el equipo Water Quality Meter modelo AZ 86031. Por último, se elaboraron diferentes hojas de cálculo, en Excel, para analizar la hidrodinámica de los nutrientes y con la ayuda del software Rstudio se evaluó si el oxígeno disuelto incide en la concentración de nutrientes en la microcuenca del río Pachanlica.

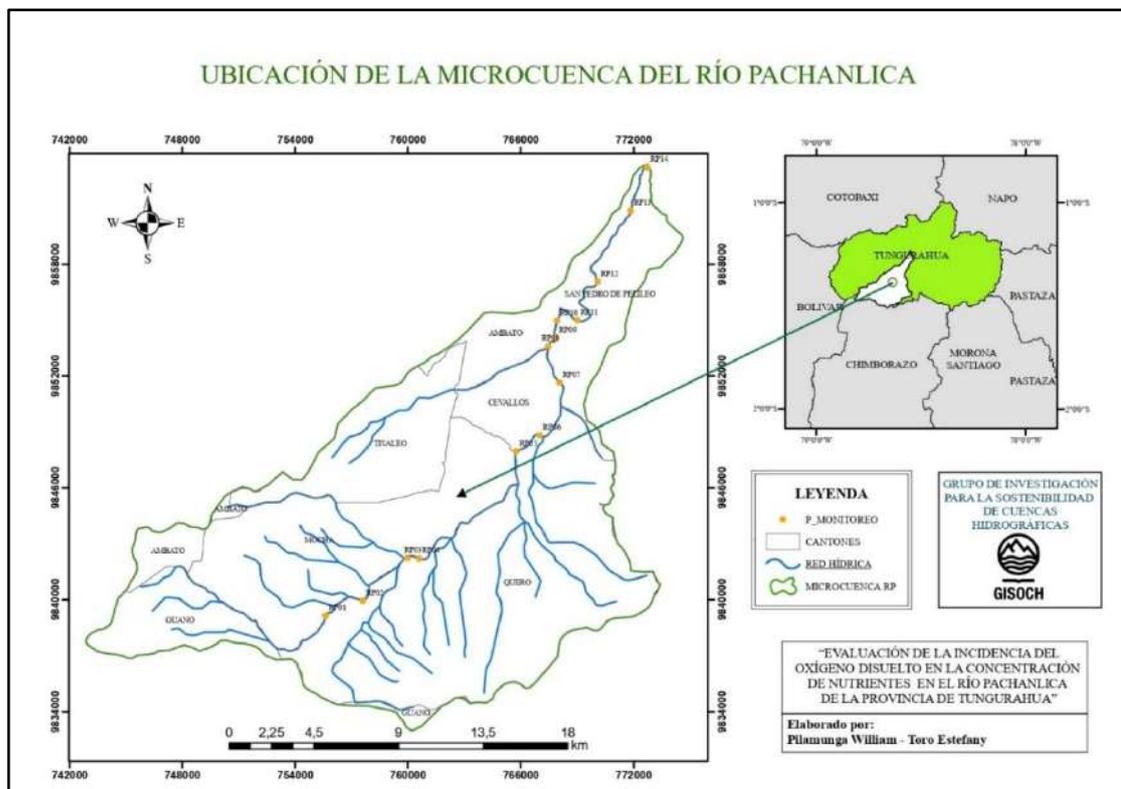
#### 3.1. Descripción del área de estudio

La microcuenca del río Pachanlica se encuentra ubicada en la provincia de Tungurahua está comprendida entre una altitud de 2,200 a 6000 m.s.n.m, su cauce circula por los cantones de Mocha, Quero, Cevallos, Pelileo, Tisaleo y desemboca en el cantón Ambato. Las coordenadas correspondientes en formato DMS (grados, minutos, segundos) son 1° 14' 8,32" S y 78° 32' 57,689" W para el nacimiento del río y 1° 27' 1,97" S y 78° 44' 52,574" W para la desembocadura. Su posición UTM es QU76 y su referencia Joint Operation Graphics es SA17-08, (Get a Map, 2022). Según la metodología Pfafstetter el área de estudio se clasifica como microcuenca de nivel 6, información otorgada por GISOCH (grupo de investigación de la ESPOCH) y se afirma con lo expuesto por (Verdugo, 2017), “se clasifica con números pares los 4 mayores afluentes que aportan a un río principal”. El área de estudio se encuentra en la zona del valle interandino, su topografía es muy abrupta por la variación de altura y por los valles que la conforman pues tienen perfiles muy inclinados, cuenta con un clima templado – húmedo, presenta una precipitación anual entre 400 mm y 600 mm, siendo las temporadas con más lluvias de marzo a junio y de octubre a noviembre; en cambio, la temperatura presenta bastante variabilidad debido a que la altitud va desde los 1200 a 5000 m.s.n.m y por la incidencia de las corrientes amazónicas como

la del Atlántico, por lo tanto, las temperaturas medias anuales están comprendidas entre  $-4^{\circ}\text{C}$  en las partes más altas y  $20^{\circ}\text{C}$  en las más bajas, siendo el mes de noviembre el que mayor temperatura registra y julio el de menor, (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2018, pág. 39-40).

La microcuenca del Pachanlica en la parte alta, sector las Abras, divide su caudal en un 40% para la provincia de Tungurahua y un 60% para la provincia de Chimborazo, debido a un decreto ejecutivo; es por ellos que, en el cantón Mocha el caudal es de  $1\text{m}^3/\text{s}$  aproximadamente. La oferta natural de la microcuenca media del Pachanlica se reduce drásticamente en tiempos de estiaje, pero gracias al afloramiento de aguas subterráneas aparecen canales que dan origen a la siguiente acequia y permiten que no se seque por completo, (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2018, pág. 53).

Según los ecosistemas, la cobertura vegetal y el uso de suelo se tiene que la mayor parte del área de estudio corresponde a sistemas ecológicos de pajonal altimontano y montano paramuno, arbustales, con humedales, bosque intervenido, cultivos de ciclo corto asociados con otros usos y terrenos frutales. La parte alta de la microcuenca se encuentra en la Reserva Faunística del Chimborazo, considerada como área protegida, hay páramos como el de las Abras y Sachahuayco, y el Igualta, (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2018, págs. 53-112).



**Ilustración 3-1:** Mapa de localización

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

En cuanto a la población de estudio se tiene que a partir de la extensión de 39.2 km de longitud del río Pachanlica se seleccionó 14 puntos de muestreo de acuerdo con las características del río, (Choto, 2013, pág. 44); además, se tomó en cuenta el acceso, zonas estratégicas, pendientes del río, actividades antropogénicas y descargas.

### 3.2. Aspectos socioeconómicos de la población de estudio

El cauce del río Pachanlica atraviesa seis cantones de la provincia Tungurahua entre ellas tenemos los siguientes junto con su población:

**Tabla 3-1:** Población del área de estudio

<b>DATOS DE POBLACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>			
<b>CANTÓN</b>	<b>POBLACIÓN</b>	<b>TASA DE CRECIMIENTO INEC</b>	<b>POB_PROYECTADA A 2023</b>
<b>Quero</b>	19.250	0.61	<b>20.308</b>
<b>Mocha</b>	6.777	0.69	<b>7.200</b>
<b>Cevallos</b>	8.464	1.91	<b>10.046</b>
<b>Pelileo</b>	56.573	1.6	<b>65.255</b>
<b>Tisaleo</b>	12.137	1.58	<b>13.974</b>
<b>POBLACIÓN TOTAL PROYECTADA A 2023</b>			<b>116.783</b>

**Fuente:** (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2018)

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La población fue proyectada al año (2023) para tener un panorama más exacto de lo que implica el área de estudio de la microcuenca del río Pachanlica. Se hizo un promedio de los 3 métodos más utilizados para proyección poblacional (aritmético, geométrico y exponencial) tomando en cuenta la tasa de crecimiento perteneciente a cada cantón según el PDyOT de la provincia de Tungurahua (2015). Se tiene un total de 116.783 habitantes aproximadamente en el área de estudio. La población económicamente activa desarrolla actividades como la agricultura, ganadería, pesca y/o en industrias manufactureras, el 33% se desenvuelven en el territorio que abarca la microcuenca del río Pachanlica; además, la población aproximada perteneciente al área de estudio corresponde a un 43% de la población total de la provincia de Tungurahua, datos obtenidos del PDyOT de la provincia.

### 3.3. Selección de puntos de muestreo

De acuerdo con la extensión del Río Pachanlica, desde su punto de nacimiento hasta su desembocadura, mediante el empleo del muestreo aleatorio simple y en base a la forma de la microcuenca, se identificaron 15 puntos de interés seleccionados mediante criterios topográficos, accesibilidad y representatividad, comprendidos entre zonas altas, medias y bajas. Los 2 primeros puntos corresponden a los de mayor altitud, sin contar el blanco, se escogieron por la facilidad de acceso, el punto RP2 y RP13 se sitúa en zonas con pendientes mayores a 50 grados e influye en la escorrentía, la erosión, la velocidad del flujo y la capacidad de autodepuración. RP1, RP6, RP11 y RP12 presentan una topografía con pendientes que están entre 30 y 50 grados donde el flujo de escorrentía también es rápido, puede presentar erosión severa y puede haber deslizamientos de tierra que impliquen un aumento en los sedimentos y disminución del área del cauce; además en los últimos 3 puntos mencionados ya existen poblaciones. Los puntos que se encuentran situados en zonas con pendientes entre 20 y 30 grados son los puntos RP8 y RP10 aquí el flujo no es tan rápido, pero si considerable, hay viviendas y empresas que con el desarrollo de sus actividades generan contaminación. Los puntos RP4, RP5, RP7, RP9 y RP14 hay poblaciones, empresas y terrenos cultivados; además, la pendiente media de estas zonas está en un rango de 10 a 20 grados, con un terreno levemente accidentado, con una velocidad de flujo media y puede presentar erosión y por último, se eligió un punto con pendiente menor a 10 como lo es el RP3 donde el flujo es moderado por la topografía suave, no presenta contaminación antropogénica puesto que no se observa asentamientos humanos; además, puede permitir comparaciones entre la carga contaminante existente en zonas con la topografía más o menos accidentada, (Delgadillo y Moreno, 2001, pág. 6) y (Consortio Pomca Quindio, 2017, pág. 4).

**Tabla 3-2:** Puntos de muestreo

N° Punto	Coordenadas			ZONA
	X	Y	Z	
RP0 - Blanco	751419	9839075	3805	MOCHA-SAN ANDRES
RP1	755602	9839140	3475	MOCHA-YANAYACU
RP2	757583	9839931	3356	MOCHA-YANAYACU
RP3	759961	9842242	3196	MOCHA-YANAYACU
RP4	760562	9842219	3169	MOCHA-YANAYACU
RP5	765758	9847955	2901	CEVALLOS-QUERO
RP6	767014	9848827	2809	CEVALLOS-QUERO
RP7	768054	9851647	2684	CEVALLOS-BENITEZ
RP8	767460	9853602	2651	TOTORAS-SALASACA
RP9	767866	9854065	2623	TOTORAS-SALASACA

RP10	767918	9854967	2610	PICAIHUA-SALASACA
RP11	768997	9855003	2571	PICAIHUA-SALASACA
RP12	770075	9857063	2485	PICAIHUA-EL ROSARIO
RP13	771843	9860881	2348	PICAIHUA-CHIQUICHA
RP14	772716	9863200	2265	PICAIHUA-CHIQUICHA

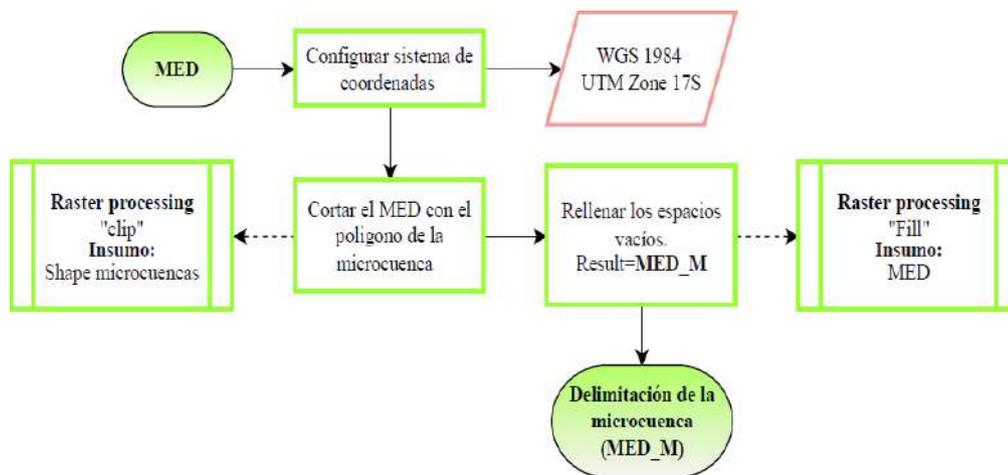
Fuente: (GISOCH, 2024).

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

### 3.4. Hidromorfometría de la microcuenca del río Pachanlica en GIS

Para cumplir dicho objetivo partimos de un Modelo de Elevación Digital (MED) con una resolución de 50 x 50 (m), con las coordenadas WGS 1984 UTM y zona 17S y del área de estudio definida a partir de información como la red hídrica, curvas de nivel y unidades hidrográficas de Ecuador, nos guiamos en la metodología propuesta por Shekar Padala, y Mathew Aneesh, en su artículo denominado, “Análisis morfométrico de cuencas hidrográficas: una revisión integral de las fuentes de datos, la calidad y las técnicas geoespaciales”, (Padala y Aneesh, 2024, pág.1). Además, se utilizó “ArcGIS 10.4” y el software de hojas de cálculo “Excel”.

Una vez que el MED se cargó en ArcGIS y sus coordenadas fueron correctamente definidas, se procedió a depurarlo con la herramienta Fill, esta herramienta puede aplicarse las veces que sean necesarias hasta rellenar los espacios vacíos que tiene el MED, los paso a seguir fueron los siguientes:



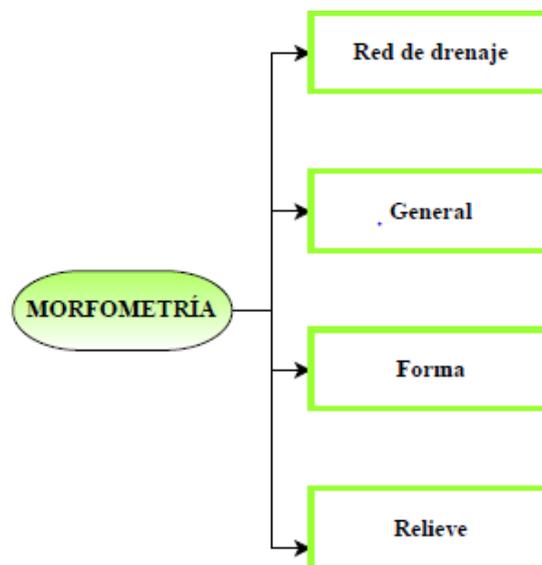
**Ilustración 3-2:** Diagrama para delimitar y corregir el MED del área de estudio

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

### 3.4.1. Morfometría

Para identificar la morfometría de la microcuenca del río Pachanlica se deben estimar algunos parámetros de forma, relieve y red de drenaje a partir del MED e información relacionada con la topografía; con la ayuda de ArcGIS 10.4, y de Excel para realizar los cálculos respectivos. Estos parámetros influyen en la dinámica hídrica del área de estudio, lo que permite tener un panorama más amplio de la respuesta de la microcuenca frente a las precipitaciones (movimiento y captación del agua), (Gaspari et al., 2019, pág. 3) y (Gámez, 2009, pág. 2).

Con el MED del área de estudio previamente corregido se procede a identificar área, perímetro, ancho y largo de la microcuenca. A continuación, se muestra un diagrama de la clasificación considerada para determinar la morfometría del río Pachanlica, etapa previa a la realización de un estudio hidrológico:



**Ilustración 3-3:** Diagrama de la división de la morfometría

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Red de drenaje**

Para elaborar la red de drenaje de la microcuenca del Río Pachanlica se cargó el MED y el área de estudio definida por GISOCH en relación con las curvas de nivel (shapefile obtenido del Instituto GeoIlustración Militar del Ecuador), en ArcGIS 10.4, como se mencionó previamente en el diagrama “MED\_Cuenca”. Se determinó la dirección y acumulación del flujo a través de la herramienta “*Hidrology*”; seguidamente, para obtener solo 3 órdenes y enumerarlos, se utilizó la

herramienta “*Raster Calculator*” e “*Hidrology*” como se muestra en el diagrama. Con el apoyo de Excel se calculó:

- **Densidad de drenaje (*Dd*)**

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

**Ecuación 3-1:** Densidad de drenaje

**Donde:**

**L<sub>h</sub>:** Longitud de la red hídrica (km)

**A:** Superficie o área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Se empleó el valor obtenido en ArcGIS de la sumatoria de todos los cauces (*L<sub>h</sub>*), en la siguiente tabla se muestra los rangos en los que se puede clasificar la red de drenaje.

**Tabla 3-3:** Rangos de densidad de drenaje

<b>Densidad de drenaje (Km/Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Categoría</b>	<b>Interpretación Ambiental</b>
< 0.1	Muy Baja	La red de drenaje no está muy desarrollada, lo que nos da un indicio de que el terreno es más permeable o la precipitación es baja.
0.1 a 0.5	Baja	La red de drenaje está moderadamente desarrollada, puede deberse al resultado de un equilibrio entre la permeabilidad del suelo, la precipitación y la topografía.
0.5 a 1.0	Moderada	Red de drenaje bien desarrollada, lo que puede inducir, que el terreno es menos permeable, la precipitación es considerable o que la topografía es más accidentada.
> 1.0	Alta	Indica una red de drenaje muy densa, lo que puede ser el resultado de un terreno impermeable, una alta cantidad de precipitación o una topografía muy accidentada. Esto puede aumentar la susceptibilidad a la erosión.

Fuente: (Fuentes, 2004)

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Razón de bifurcación ( $Rb$ )** y se necesitó el número de cauces de cada orden 1, 2 y 3 ( $Nu$ ) cuyos valores se obtuvieron de ArcGIS.

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

**Ecuación 3-2:** Razón de bifurcación

**Donde:**

**$Nu$ :** Es el número de cauces de orden

- **Tiempo de concentración ( $Tc$ )** se utilizó la longitud del cauce principal ( $Lc$ ), las ecuaciones se especifican a continuación:

Existen varias ecuaciones que permiten determinar este parámetro, en este trabajo se toma en cuenta la ecuación de *California Culvert Practice (1942)*.

$$Tc = \left( 0.87 \frac{L_c^3}{H} \right)^{0.385}$$

**Ecuación 3-3:** Tiempo de concentración

**Donde:**

**$Lc$ :** Longitud del cauce principal (km)

**$H$ :** Diferencia entre la cota mayor y la cota menor (m)

En la siguiente tabla se muestran los valores del tiempo de concentración.

**Tabla 3-4:** Rangos de tiempo de concentración

Rangos (horas)	Clases	Características
0 – 0.69	Rápido	Indica que el agua tiene un movimiento rápido, puede deberse a las pendientes empinadas y/o a la capacidad de infiltración del suelo.

0.7 – 1.38	Moderado	El movimiento del agua es intermedio ni rápido ni lento, puede deberes a las pendientes moderadas y/o a la capacidad de infiltración del suelo.
1.39 – 2.09	Lento	Indica un movimiento lento del agua, puede ser por la presencia de pendientes suaves o la llanura del terreno y/o a la capacidad de infiltración del suelo.

Fuente: (Fuentes, 2004)

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Los pasos a seguir en ArcGIS y Excel se detallan en el siguiente diagrama.

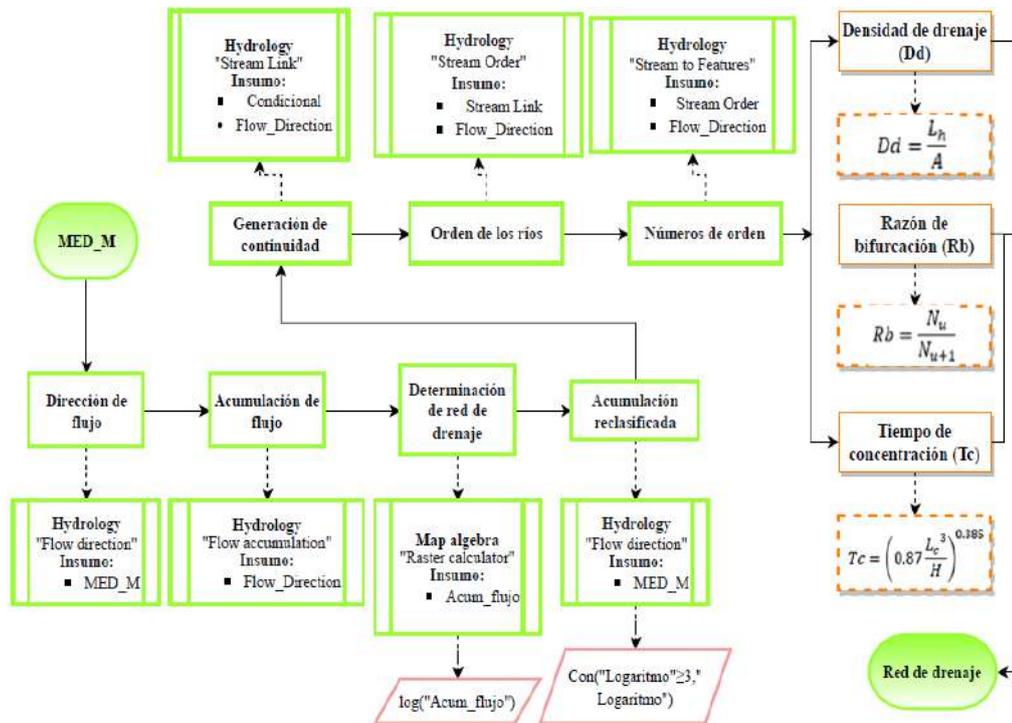


Ilustración 3-4: Diagrama para obtener la red de drenaje

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

### Parámetros generales

Se calcularon los siguientes parámetros:

- **Área (A)** y **perímetro (p)** se accede a la tabla de atributos del **ráster reclasificado**, se agregaron 2 nuevos campos con la herramienta "Add field" de tipo "Double" y en "Calculate

Geometry” y se establecieron las unidades de Km<sup>2</sup> y Km, respectivamente.

- **Longitud axial (Lo)** y el **ancho (W)** se utilizó la herramienta “regla” y medimos longitudinal y transversalmente de extremo a extremo:

$$W = \frac{A}{L_o}$$

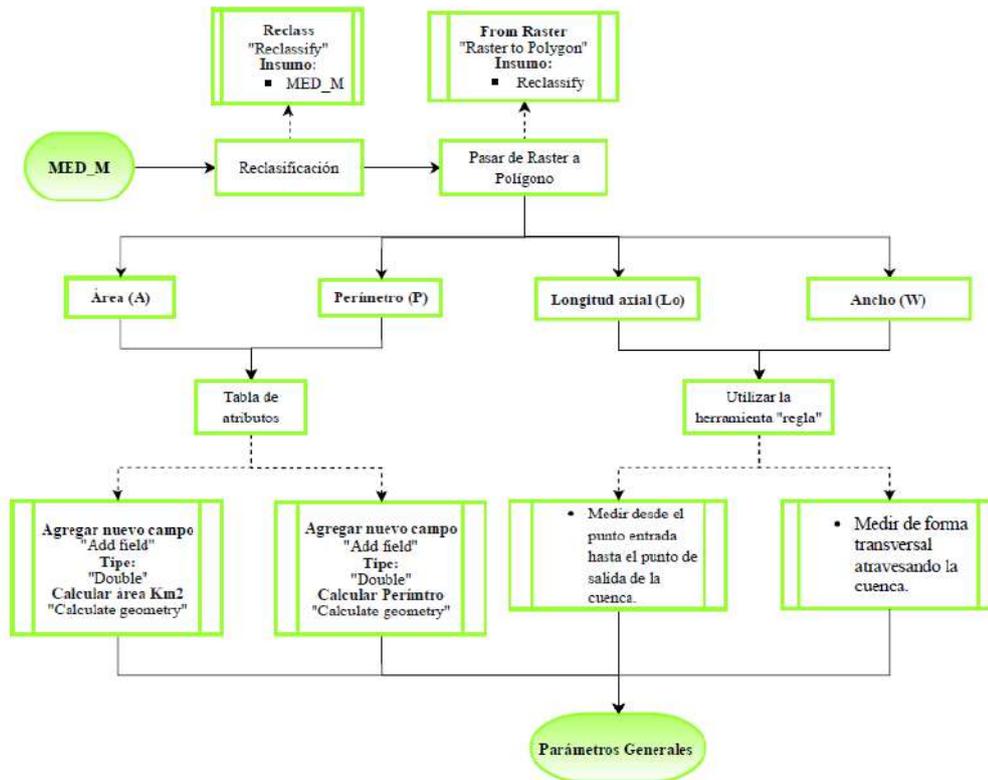
**Ecuación 3-4:** Ancho de una cuenca

**Donde:**

**A:** Área o superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**Lo:** Longitud axial de la cuenca (km)

Los pasos a seguir en ArcGIS y Excel se detallan en el siguiente diagrama



**Ilustración 3-5:** Diagrama para determinar los parámetros generales

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

### Parámetros de forma

Con la información obtenida anteriormente en “Parámetros generales” y en “Red de drenaje” se realizó el cálculo de:

- **Forma de Horton ( $Kf$ )**

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

**Ecuación 3-5:** Factor de forma de Horton

**Donde:**

**A:** Área o superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**Lo:** Longitud axial de la cuenca (km)

**Tabla 3-5:** Clasificación de forma según el factor de forma Horton.

Rango valores	Forma	Característica
< 0.22	Muy Alargada	Tienden a tener un drenaje más lento y uniforme.
0.22 – 0.30	Alargada	Su drenaje es más eficiente gracias a su forma alargada.
0.3 – 0.37	Ligeramente alargada	Tienden a tener un equilibrio entre la eficiencia del drenaje y la retención de agua.
0.37 – 0.45	Ni alargada ni ensanchada	La escorrentía puede considerarse uniforme.
0.45 – 0.60	Ligeramente ensanchada	Retienen más agua gracias a su forma.
0.60 – 0.80	Ensanchada	Son capaces de retener mucha agua debido a su forma.
0.80 – 1.12	Muy Ensanchada	La capacidad de retener el agua aumenta.
> 1.20	Rodeando el desagüe	Su forma es única e influye parcialmente en los procesos de escorrentía.

**Fuente:** (Delgadillo y Moreno, 2001).

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Índice de alargamiento ( $Ia$ )**

$$Ia = \frac{L_o}{W}$$

**Ecuación 3-6: Índice de alargamiento**

**Donde:**

**W:** Ancho de la cuenca (km)

**Lo:** Longitud axial de la cuenca (km)

**Tabla 3-6: Índice de alargamiento**

Rango - Ia	Clase de alargamiento
Ia > 1.0	Cuenca alargada
Ia < 1.0	Cuenca achata por lo que el cauce debe ser corto

**Fuente:** (Consortio Pomca Quindío, 2017)

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Índice de Gravelius (Cg)**

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

**Ecuación 3-7: Índice de Gravelius**

**Donde:**

**P:** Perímetro de la cuenca (km)

**A:** Superficie o área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**Tabla 3-7: Índice de compacidad para la evaluación de la forma.**

Rango - Cg	Descripción	Interpretación ambiental
$Cg_1$ (1 a 1.25)	Forma casi redonda a oval – redonda	Tendencia alta a inundaciones
$Cg_2$ 1.26 a 1.50	Forma oval - oblonga	Tendencia mediana a inundaciones
$Cg_3$ > 1.50	Forma oval – oblonga a rectangular – oblonga	Tendencia baja a inundaciones y Propensas a la conservación

**Fuente:** (Consortio Pomca Quindío, 2017)

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Relación de elongación ( $Re$ )**

$$Re = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L_c}$$

**Ecuación 3-8:** Relación de elongación

**Donde:**

**$L_c$ :** Longitud del cauce principal (km)

**$A$ :** Superficie o área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

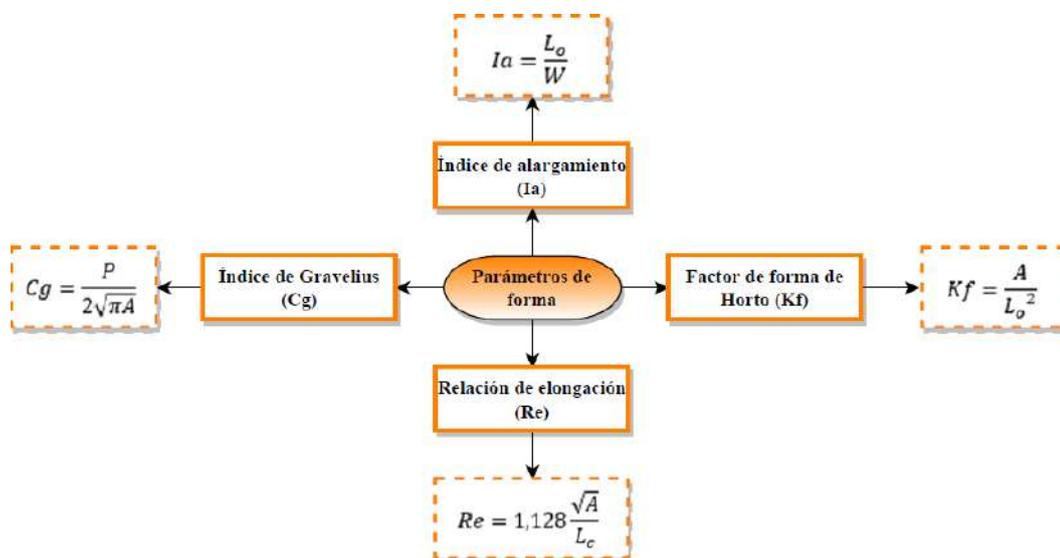
**Tabla 3-8:** Relación de elongación.

Rango - $Re$	Clase de elongación
0.5 a 0.8	Plana y alargada
0.8 a 1.0	Plana y circular

Fuente: (Zhicay, 2020)

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Los valores de dichos parámetros de forma fueron calculados con el apoyo de hojas de cálculo de Excel y las fórmulas aplicadas se especifican a continuación:



**Ilustración 3-6:** Diagrama para calcular los parámetros de forma

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Parámetros de relieve**

Para concluir con el análisis morfométrico, se estimaron valores de altitudes, áreas y pendientes en porcentajes, que corresponden a los parámetros de relieve. Para obtener los valores de cada área y pendiente presentes en el área de estudio se utilizó ArcGIS 10.4 y el MED, primero se aplica la herramienta “*Reclassify*” para tener solo 10 intervalos equidistantes de las altitudes, el resultado es un nuevo raster reclasificado y para obtener las estadísticas en tabla se aplicó la herramienta “*Zonal Statistics as table*”. En relación con las pendientes se requiere que sean en porcentaje por lo que se utilizó la herramienta “*slope*” con una medición (**measurement**) en grados (**degree**), se hizo una nueva reclasificación con la herramienta “*Reclassify*” para tener solo 10 intervalos equidistantes y para obtener la tabla con las estadísticas se aplicó la herramienta “*Zonal Statistics as table*”. La construcción de la curva hipsométrica e histograma de frecuencias fue a partir del MED y una reclasificación de 10 intervalos equidistantes, información registrada en una hoja de cálculo de Excel, luego se hizo un análisis estadístico a los valores obtenidos de cada pixel (10) para calcular rangos y los porcentajes acumulados lo que permite graficar la curva hipsométrica y analizarla desde su naturaleza hidrológica, (García, Salinas y Blandón, 2021). Para determinar los valores de los centroides X, Y y Z se accede a la tabla de atributos del **ráster reclasificado** y se agregaron 3 campos con la herramienta “*Add field*” de tipo “*Double*” y en “*Calculate Geometry*” y se establecieron las unidades en metros.

La **altura de frecuencia media** (*H<sub>m</sub>*) se identificó a través de la Ilustración de cada una de las tablas estadísticas acopladas a la guía antes mencionada; en cambio para los otros parámetros se aplicaron las ecuaciones que se muestran a continuación.

- **Pendiente media del cauce principal (*j*)**

$$j = \frac{L * D}{A}$$

**Ecuación 3-9:** Pendiente media de cauce principal

**Donde:**

**D:** Diferencia entre curvas de nivel

**L:** Longitud total de las curvas de nivel

**A:** Superficie o área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**Tabla 3-9:** Clasificación del relieve según el río

<b>Pendiente media (%)</b>	<b>Tipo de zona del río</b>	<b>Características hidrológicas</b>
0 a 3	Llana o Plana	Zonas con un flujo de agua lento esto conlleva a la acumulación de sedimentos
3 a 10	Suave	El flujo de agua es moderado y pueden presentar erosión por fuertes lluvias.
10 a 20	Moderadamente accidentada	El flujo del agua es un poco más rápido y experimentan erosión significativa.
20 a 30	Fuertemente accidentada	El flujo del agua es muy rápido y las lluvias pueden ocasionar deslizamientos de tierra y erosión.
30 a 50	Muy fuertemente accidentada	El flujo del agua es sumamente rápido y hay deslizamientos de tierra y erosión severa.
> 50	Escarpadas	Presentan flujos extremadamente rápidos y/o experimentar flujos de detritos.

Fuente: (Delgadillo y Moreno, 2001)

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Pendiente media de la cuenca (*J*)**

$$J = 100 * \frac{\sum L_i * E}{A}$$

**Ecuación 3-10:** Pendiente media de la cuenca

**Donde:**

**Li:** Longitud individual de cada curva de nivel (km)

**E:** Equidistancia de las curvas de nivel (km)

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

**Tabla 3-10:** Clasificación del relieve de una cuenca relacionado con la pendiente

<b>Pendiente media (%)</b>	<b>Tipo de relieve</b>	<b>Características topográficas</b>
0 a 3	Llano o Plano	Presencia de superficies planas y permite la formación de llanuras y terrenos nivelados.

3 a 7	Suave	Presencia de pendientes ligeras, pequeñas colinas y valles, es un terreno poco abrupto.
7 a 12	Medianamente accidentado	Las pendientes se presentan más marcadas, colinas y valles tienen mayor tamaño.
12 a 20	Accidentado	Presenta pendientes considerables y una significativa variedad topográfica. Se observan montañas y/o valles profundos.
20 a 35	Fuertemente accidentado	Las pendientes son más pronunciadas, existen áreas montañosas y terrenos abruptos.
35 a 50	Muy fuertemente accidentado	Terrenos sumamente abruptos o accidentados, pendientes muy pronunciadas, hay acantilados y son lugares inhóspitos.
50 a 75	Escarpado	Las pendientes son extremadamente empinadas y abruptas, son lugares bastante peligrosos para la mayor parte de las actividades antrópicas.
>75	Muy escarpado	Pendientes extremadamente inclinadas.

Fuente: (Consorcio Pomca Quindío, 2017)

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Desnivel altitudinal ( $Da$ )** en donde se toma en cuenta la **cota máxima (CM)** y **cota mínima (Cm)** del área de estudio que fueron identificadas en el MED

$$Da = CM - Cm$$

**Ecuación 3-11:** Desnivel altitudinal

**Donde:**

**CM:** Cota o altitud más alta (m.s.n.m)

**Cm:** Cota o altitud más baja (m.s.n.m)

- **Coefficiente de masividad ( $mk$ )**

$$mk = \frac{H_m}{A}$$

**Ecuación 3-12:** Coeficiente de masividad

**Donde:**

**H<sub>m</sub>:** Altura media (m)

**A:** Área o superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

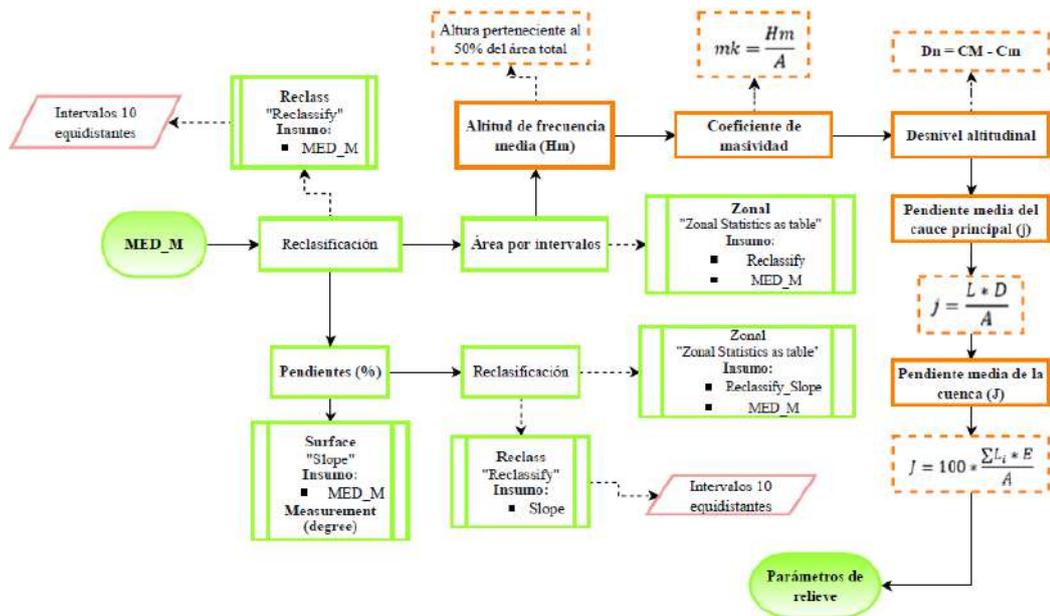
**Tabla 3-11:** Rangos del coeficiente de masividad en cuencas

Intervalo de coeficiente $mk$	Clases de masividad	Descripción
0 – 35	Muy Montañosa	Topografía bastante accidentada, pendientes empinadas y altitudes elevadas.
35 - 70	Montañosa	Topografía accidentada, pendientes moderadas y altitudes intermedias.
70 - 105	Moderadamente montañosa	Topografía menos accidentada, pendientes más suaves y altitudes bajas.

Fuente: (Verdugo, 2019)

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Los pasos a seguir en ArcGIS y Excel se detallan en el siguiente diagrama



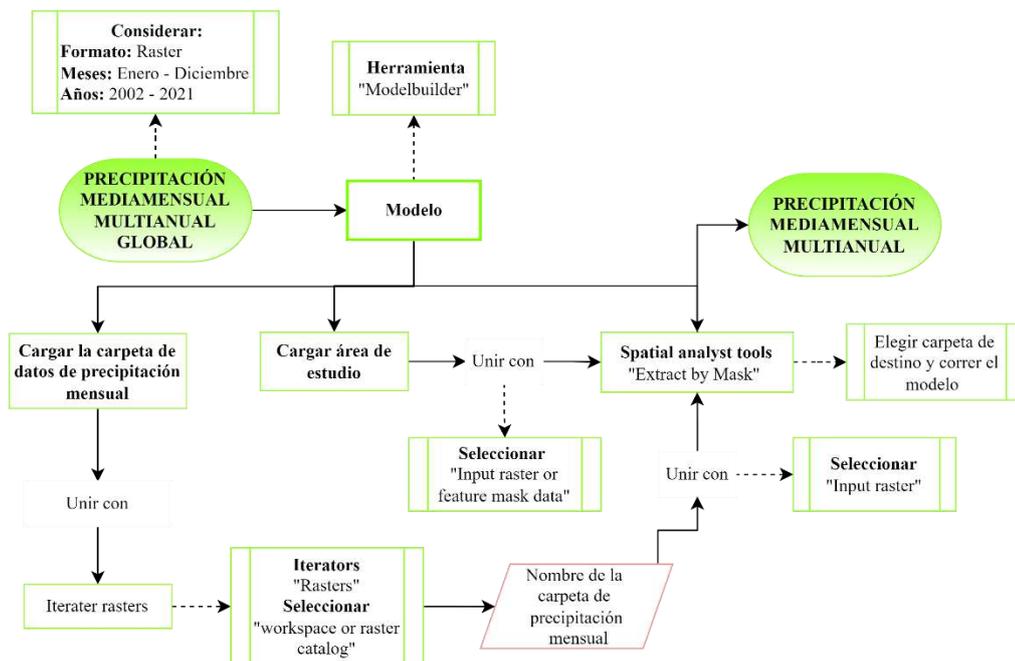
**Ilustración 3-7:** Diagrama para determinar el relieve

### 3.4.2. Hidrología

Para este estudio los parámetros tomados en cuenta fueron la precipitación y temperatura con un registro de valores cronológicos de hace 20 años. Es una herramienta útil para estudiar las cuencas hídricas.

- **Precipitación media en una cuenca**

Para obtener dichos datos se extrajo la variable precipitación de Global Word Climator por meses, luego se procesaron los datos en ArcGIS para cortar el shape acorde al área de estudio y se facilitó el análisis. Se utilizó la herramienta “*modelbuilder*” para crear un modelo que extraiga los datos de precipitación en milímetros (mm) correspondientes en dicha área. En el siguiente diagrama se muestran los pasos que se siguieron.



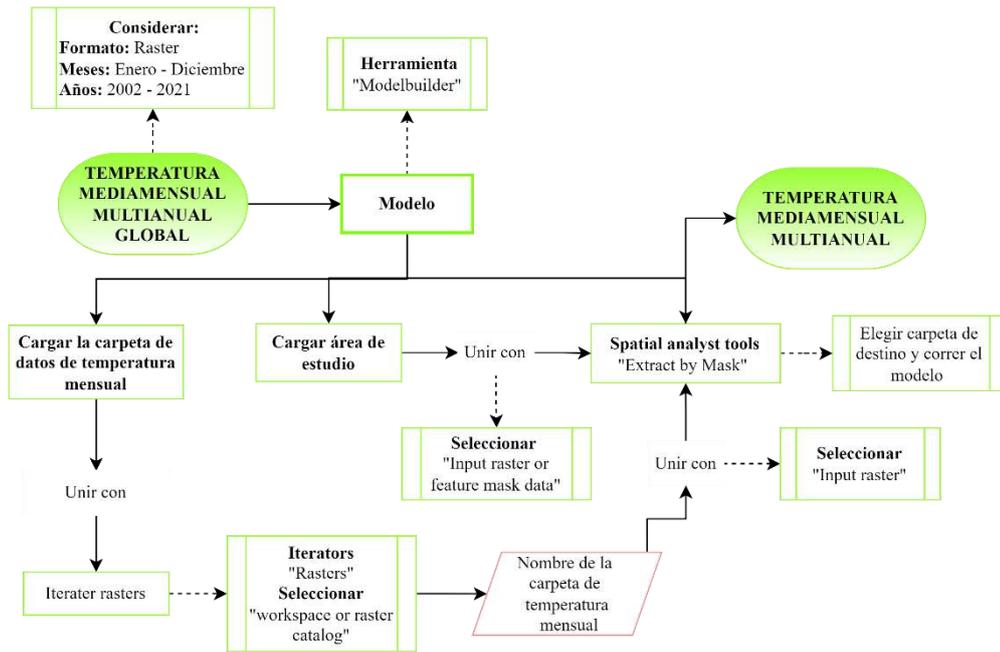
**Ilustración 3-8:** Diagrama para determinar la precipitación media

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

El análisis descriptivo se lo realizó con la ayuda de Excel y RStudio, comprende medidas de tendencia central y de dispersión que permitieron identificar el comportamiento de la precipitación es las épocas de estudio durante un periodo de 20 años consecutivos.

- **Temperatura media en una cuenca**

Para obtener estos datos se extrajo la variable temperatura de Global Word Climator por meses, los datos fueron procesados en ArcGIS para cortar el shape acorde al área de estudio. Se utilizó la herramienta “*modelbuilder*” para crear un modelo que extraiga los datos de temperatura en grados Celsius (°C), que corresponden al área analiza. En el siguiente diagrama se muestran los pasos a seguir.



**Ilustración 3-9:** Diagrama para determinar la temperatura media

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

El análisis descriptivo se lo realizó con la ayuda de Excel y RStudio, comprende medidas de tendencia central y de dispersión que permitieron identificar la variabilidad de temperatura en las épocas de estudio durante un periodo de 20 años consecutivos.

Ambos procesos son los mismos lo único que difiere son los datos mensuales de cada variable analizada; además, cabe mencionar, que para la precipitación los valores no pueden estar por debajo de 0mm, ya que en esta área interandina los datos anuales de precipitación van desde los 400 mm a los 600 mm; por otro lado, los valores registrados para la temperatura, en el área, están dentro de un rango de -4°C hasta los 20°C, estos datos de referencia fueron obtenidos del PDyOT de la provincia de Tungurahua.

### 3.4.3. Hidrometría

El análisis hidrométrico se realizó con la ayuda del equipo denominado “correntómetro” y con la aplicación de hojas de cálculo Excel, para determinar el comportamiento del fluido en los puntos de monitoreo y definir obras hidráulicas que de una manera u otra satisfagan las necesidades de la población.

- **Medición y cálculo del caudal**

Para calcular el caudal total de la microcuenca del río Pachanlica en época seca y transición a época lluviosa se dividió en secciones el ancho del río en cada punto de monitoreo establecido mediante la colocación de estacas en cada orilla, se utilizó un tubo graduado con una escala en centímetros para medir la profundidad, luego debe ser transformada en metros y con el molinete se midió la velocidad en m/s, esto se realizó en cada sección, finalmente se calcula el área de cada sección y luego se lo multiplica por la velocidad, las fórmulas aplicadas se especifican a continuación:

$$Q = A * V$$

**Ecuación 3-13:** Medición de caudal

**Donde:**

**A:** Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

**V:** Velocidad del flujo (m/s)

El método que se tomó en cuenta en el proyecto es el “Método Molinete” debido a que es uno de los más empleados cuando se trata de cauces abiertos. Para obtener el caudal se utiliza la ecuación de continuidad que es el resultado de la sumatoria del producto del área en cada sección subdividida por la velocidad del flujo respectiva, (Menchaca et al., 2023) y (Zhicay, 2020)

$$Q_T = \sum_{i=1}^n A_i * V_i$$

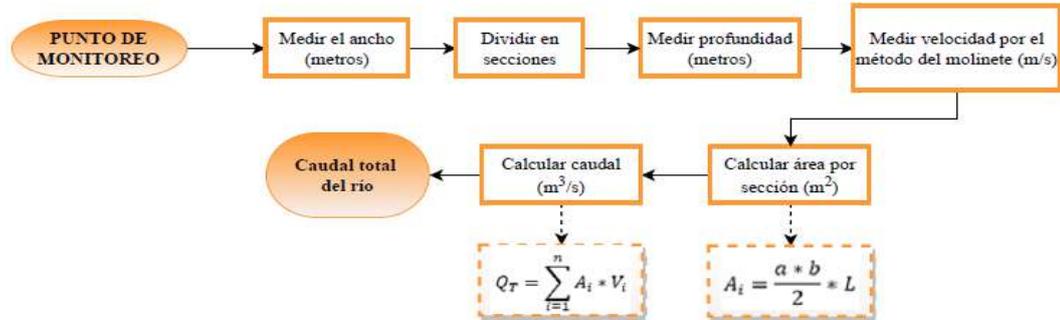
**Ecuación 3-14:** Medición de caudal por el método de molinete

**Donde:**

$A_i$ : Área de la sección subdividida ( $m^2$ )

$V_i$ : Velocidad del flujo de la sección subdividida ( $m/s$ )

$i$ : Número de secciones



**Ilustración 3-10:** Diagrama para obtener el caudal total del río en las épocas de estudio

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Para determinar la distribución de velocidades a lo largo del río Pachanlica se utilizó el programa estadístico Excel que arrojó un Ilustración para cada época evaluada con sus puntos correspondientes y la respectiva altitud.

### 3.5. Toma de muestras

Se estableció dos periodos de muestreo, uno en época seca y otro en transición a época lluviosa, haciendo uso de las recomendaciones para la toma, transporte y conservación de las muestras establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176: 1998 para la Calidad del agua.



**Ilustración 3-11:** Diagrama para la toma de muestras

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Para los análisis fisicoquímicos ex situ se tomaron muestras de 1L en botellas ámbar. Se realizaron dos análisis, uno in situ y otros en el laboratorio como lo indica la tabla 12-3.

**Tabla 3-12:** Parámetros fisicoquímicos a analizar

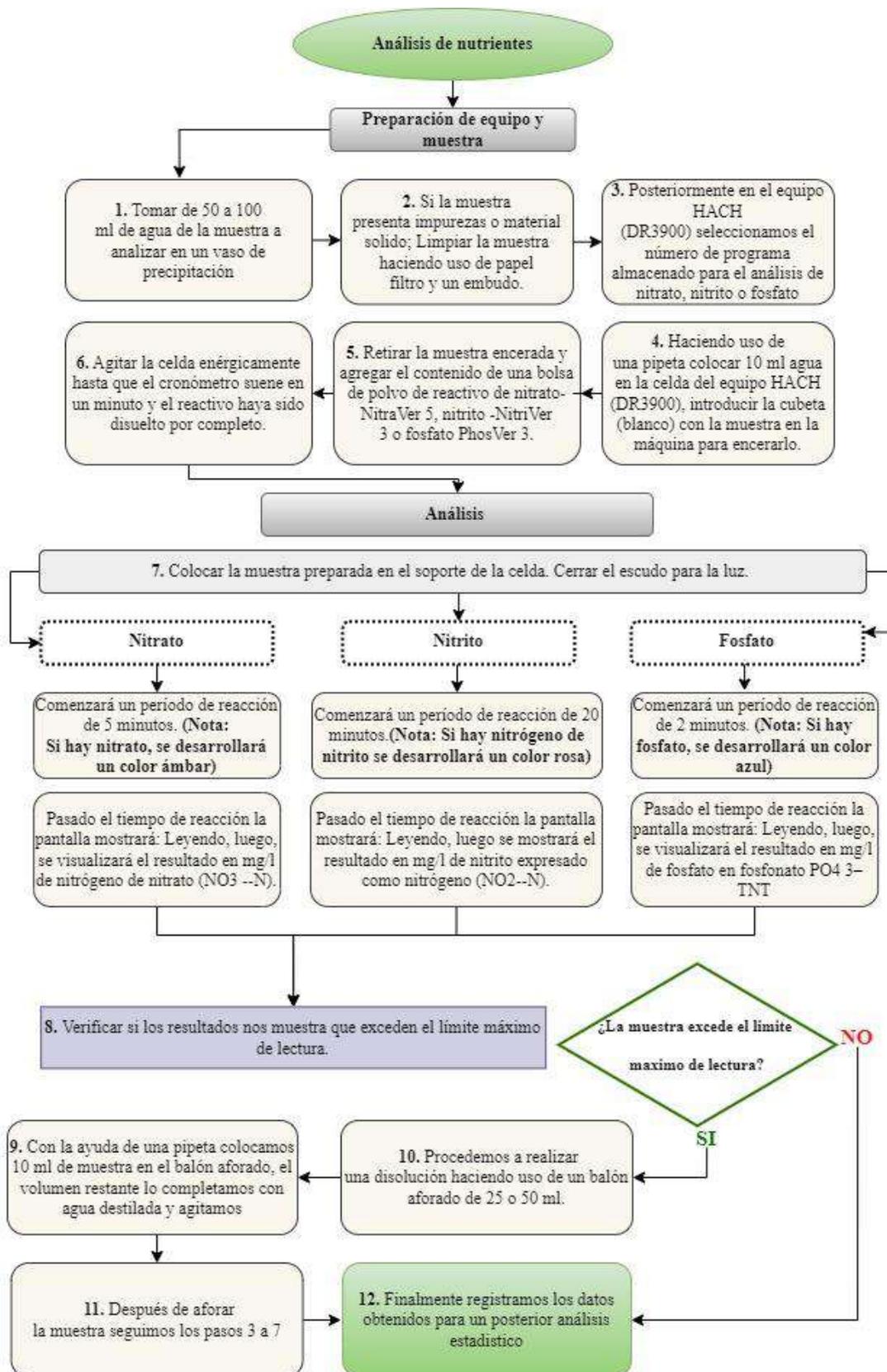
<b>Parámetros</b>	<b>Análisis</b>	<b>Método</b>
Oxígeno disuelto	In situ	Electroquímica
Nitritos	Laboratorio	Espectrofotometría
Nitratos	Laboratorio	Espectrofotometría
Fosfatos	Laboratorio	Espectrofotometría
pH	In situ	Electroquímica
Temperatura ambiente y del agua	In situ	Termistores o termopares
Conductividad eléctrica (CE)	In situ	Conductimetría
Total de sólidos disueltos (TDS)	In situ	Conductimetría

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Los parámetros fisicoquímicos analizados In situ en cada punto de muestreo se los realizó mediante el uso del equipo water quality meter modelo AZ 86031. Para ello se ejecutó la siguiente secuencia, calibración del equipo, inmersión de electrodos y espera, y redacción de resultados.

### **3.6. Análisis de nutrientes**

El análisis de nutrientes de los puntos de muestreo se lo realizó en el laboratorio del grupo de investigación para la sostenibilidad de cuencas hidrográficas GISOCH; inicialmente realizado la toma de muestras se procedió al análisis, para determinar su concentración, mediante espectrofotometría con el equipo HACH (DR3900). Para empezar, se toma aproximadamente 100 ml de agua de la muestra en vasos de precipitación; es importante filtrar la muestra si existe sólidos de gran tamaño con el objetivo de que al pasar el haz de luz estas no la absorban, (Hach Company, 2000). Posteriormente se selecciona el número de programa ya sea para Nitrato, Nitrito y Fosfato; para cada uno se incorpora el reactivo correspondiente, aguardando el tiempo de espera como se especifica a detalle en la metodología descrita en la siguiente Ilustración:

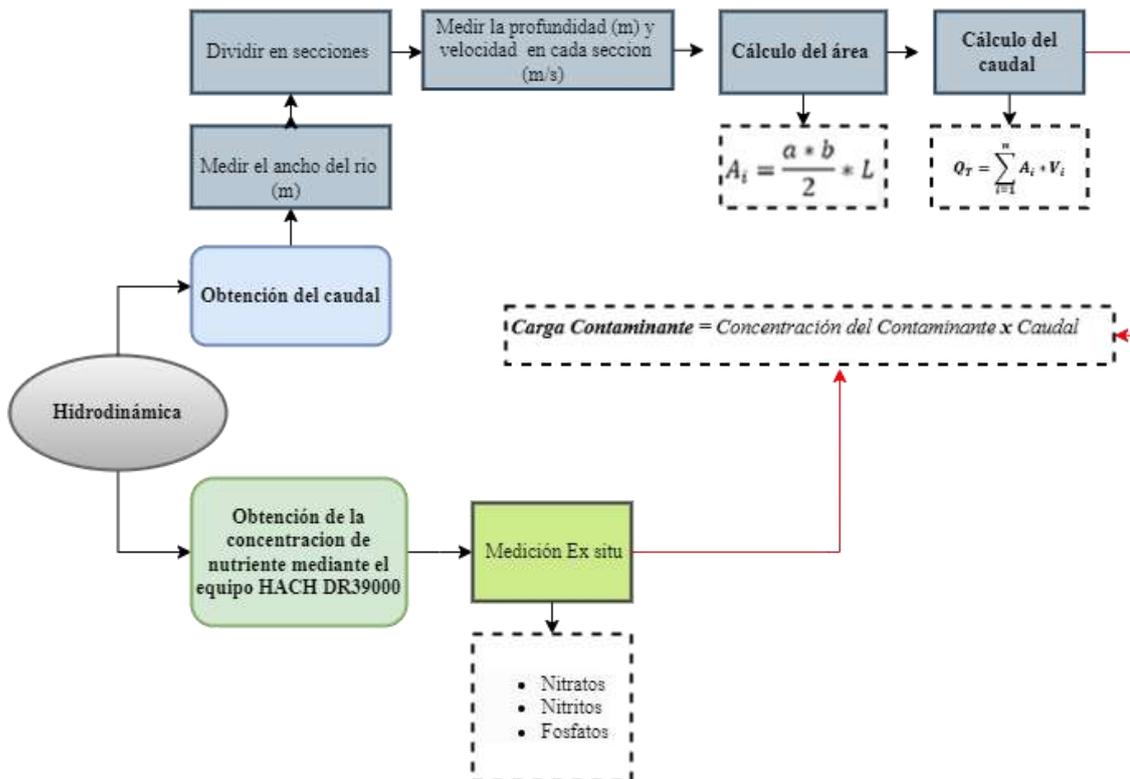


**Ilustración 3-12:** Diagrama para determinar la concentración de nutrientes en las muestras de agua

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

### 3.7. Hidrodinámica de Nutrientes

Para realizar el análisis de la hidrodinámica de nutrientes inicialmente se realizó la medición del caudal, midiendo el ancho del río, dividiéndolo en secciones y en cada sección se tomaba la medida de la profundidad y la velocidad con la que fluía el agua; este proceso se lo realizó mediante el método del molinete. Posteriormente en una hoja de Excel se realizó el cálculo del caudal, la siguiente Ilustración especifica el procedimiento y formulas aplicadas.



**Ilustración 3-13:** Diagrama para determinar la carga contaminante

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Por otra parte, se obtuvo las concentraciones de los nutrientes, Nitratos, Nitritos y Fosfatos mediante el análisis de las muestras tomadas en cada punto de muestreo y por cada época; mediante espectrofotometría con el equipo HACH DR 3900, (Kalinov, 2020). Posteriormente con el uso del software Excel se calculó la carga contaminante mediante el uso de la siguiente ecuación:

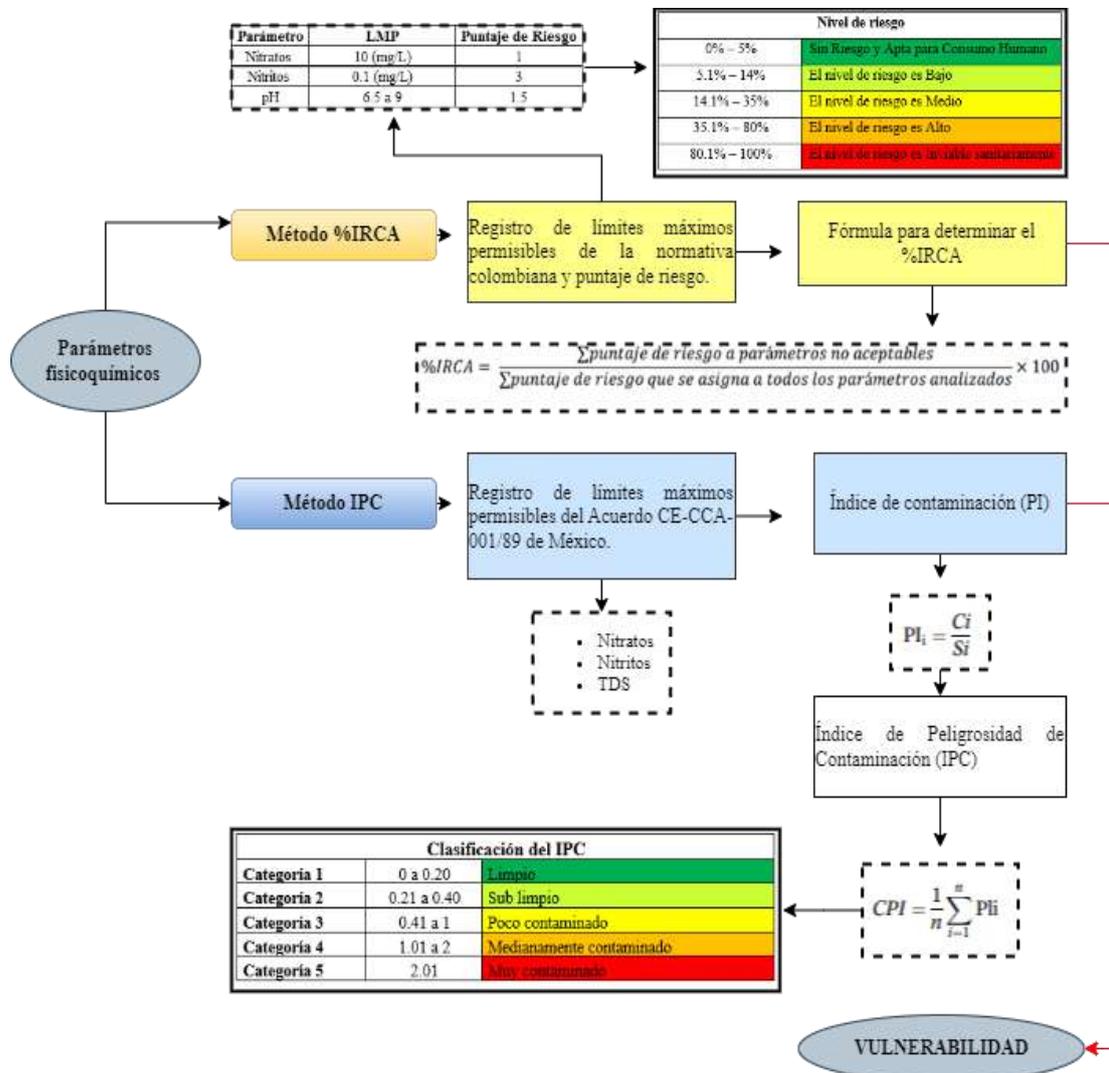
$$\text{Carga contaminante} = \text{Concentración del contaminante} \times \text{Caudal}$$

**Ecuación 3-15:** Carga contaminante

Obtenido la carga contaminante en unidades de Kg/h o Kg/d se procedió a la realización de graficas de serie de tiempo para su posterior interpretación.

### 3.8. Evaluación de las zonas de mayor vulnerabilidad antrópica

Para realizar esta evaluación, se utilizaron dos métodos; inicialmente el índice de riesgo de calidad de agua (%IRCA) en base a lo dispuesto por la resolución 2115 del 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, que especifica las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano,(MAVDT, 2007); como segundo método tenemos el Índice Integral de Contaminación (IPC) para este caso se utilizó el Acuerdo CE-CCA-001/89 de México.



**Ilustración 3-14:** Diagrama para determinar la vulnerabilidad

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- %IRCA

Para el cálculo del %IRCA se utiliza los límites máximos permisibles junto con su puntaje de riesgo signado, en este caso se lo realiza con los siguientes parámetros:

**Tabla 3-13:** Límites máximos permisibles y puntaje de riesgo de los parámetros a analizar

Parámetro	LMP	Puntaje de Riesgo
Nitratos	10 (mg/L)	1
Nitritos	0.1 (mg/L)	3
pH	6.5 a 9	1.5

Fuente: (MAVDT, 2007)

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Este método utiliza normas de calidad de agua para consumo humano asociado con puntajes de riesgo asignado a cada parámetro físico, químico y microbiológico; por no cumplimiento de los valores aceptables establecidos, (MAVDT, 2007). Se hace uso de la siguiente ecuación para su cálculo:

$$\%IRCA = \frac{\Sigma \text{puntaje de riesgo a parametros no aceptables}}{\Sigma \text{puntaje de riesgo que se asigna a todos los parámetros analizados}} \times 100$$

**Ecuación 3-18:** Índice de riesgo de calidad de agua

De acuerdo al resultado arrojado mediante el cálculo del porcentaje del IRCA, se determinará lo siguiente; si es superior a 80,1% será inviable sanitariamente, entre 35,1% y 80% el riesgo es alto, entre 14,1% y 35% el riesgo es medio, de 5,1% a 14% el riesgo es bajo y menos de 5% se categoriza como agua sin riesgo para el consumo humano, (MAVDT, 2007, pág. 6) y (Pinzón, 2021, pág. 5).

**Tabla 3-14:** Niveles de riesgo %IRCA

Nivel de riesgo	
0% – 5%	Sin Riesgo y Apta para Consumo Humano
5.1% – 14%	El nivel de riesgo es Bajo
14.1% – 35%	El nivel de riesgo es Medio
35.1% – 80%	El nivel de riesgo es Alto
80.1% – 100%	El nivel de riesgo es Inviabile sanitariamente

Fuente: (MAVDT, 2007)

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

- **Índice de Peligrosidad de Contaminación (IPC)**

Inicialmente se realiza el cálculo del PI mediante la siguiente ecuación.

$$PI_i = \frac{C_i}{S_i}$$

**Ecuación 3-16:** Índice de contaminación

**Donde:**

**C<sub>i</sub>:** Concentración medida del parámetro en agua

**S<sub>i</sub>:** Límite máximo permitido del parámetro según la normativa ambiental

Por último, se realiza el cálculo del índice integral de contaminación mediante la siguiente ecuación:

$$CPI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PI_i$$

**Ecuación 3-17:** Índice de Peligrosidad de Contaminación

**Donde:**

**n:** Es el número de parámetros a utilizar en el calculo

**Σ PI<sub>i</sub>:** Sumatoria del índice de contaminación

Posterior al cálculo del índice integral de contaminación se utilizó la siguiente clasificación; uso y consumo de agua. Para determinar su grado de contaminación se utilizó la siguiente tabla.

**Tabla 3-15:** Clasificación del IPC

Clasificación del IPC		
<b>Categoría 1</b>	0 a 0.20	Limpio
<b>Categoría 2</b>	0.21 a 0.40	Sub limpio
<b>Categoría 3</b>	0.41 a 1	Poco contaminado
<b>Categoría 4</b>	1.01 a 2	Medianamente contaminado
<b>Categoría 5</b>	2.01	Muy contaminado

Fuente: (Son et al., 2020)

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

### 3.9. Análisis estadístico, correlación de variables

Haciendo uso de Excel se construyó una tabla con los parámetros que queremos analizar, en este caso la correlación entre el Oxígeno Disuelto (OD) y los nutrientes (Nitrato, Nitrito y Fosfato). Con la tabla obtenida ingresamos la base de datos al programa estadístico Rstudio. Posteriormente se realizó las pruebas de normalidad de cada una de las variables utilizando el método de Shapiro-Wilks, en las dos épocas de muestreo, ingresando la línea de código descrita en la Ilustración 15-3. Con los resultados obtenidos verificamos si las hipótesis planteadas cumplen el supuesto de normalidad, es decir:

- Si el p-value es mayor que el nivel de significancia  $\alpha=0.05$  no se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ .
- Si el p-value es menor que el nivel de significancia  $\alpha=0.05$  se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ .

Evaluada cada una de las variables y por decisión estadística se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, cuya ecuación que representa el modelo es la siguiente.

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum d_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)}$$

**Ecuación 3-18:** Coeficiente de correlación de Spearman

**Donde:**

**n** = Cantidad de sujetos que se clasifican

**xi** = El rango de sujetos i con respecto a la variable x

**yi** = El rango de sujetos i con respecto a la variable y

**di** =xi-yi es la diferencia de entre los rangos X y Y

**Tabla 3-16:** Grado de relación según coeficiente de correlación

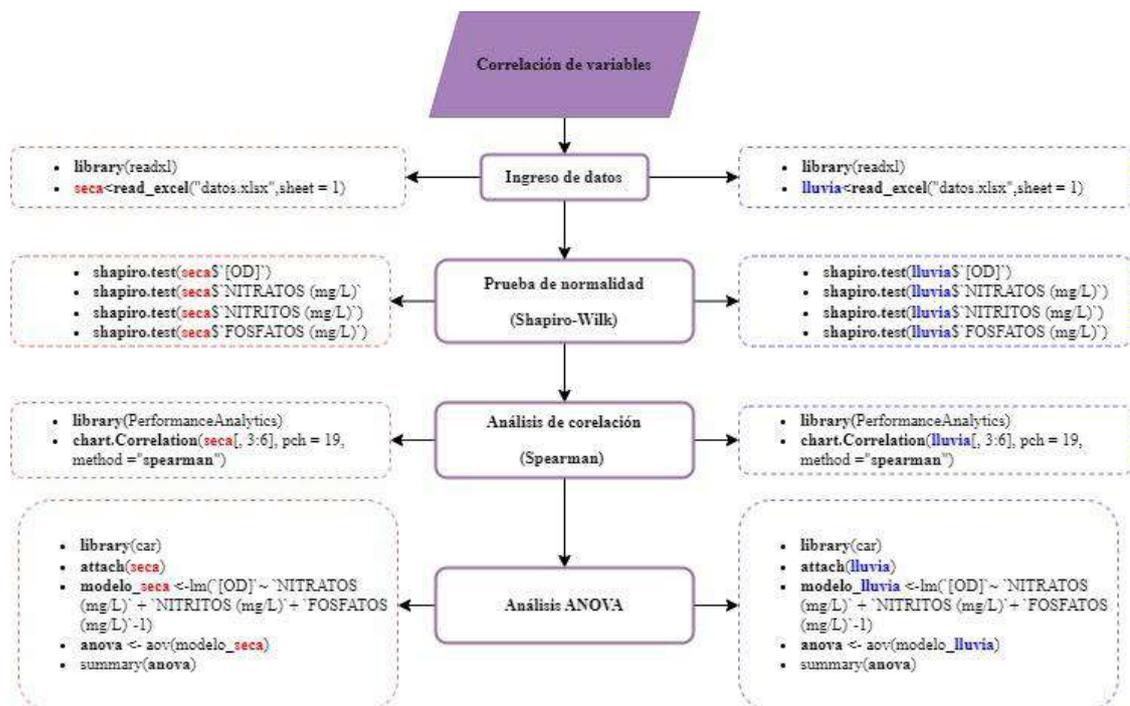
Rango ( $r_s$ )	Relación
-0.91 a -1.00	Correlación negativa perfecta
-0.76 a -0.90	Correlación negativa muy alta y fuerte
-0.51 a -0.75	Correlación negativa moderada
-0.11 a -0.50	Correlación negativa baja
-0.01 a -0.10	Correlación negativa débil y muy baja
0	<i>No existe correlación</i>
+0.01 a +0.10	Correlación positiva débil y muy baja
+0.11 a +0.50	Correlación positiva baja

+0.51 a +0.75	Correlación positiva moderada
+0.75 a +0.90	Correlación positiva muy alta y fuerte
+0.91 a +1.00	Correlación positiva perfecta

Fuente: (Montes et al., 2021)

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Por último, para complementar los resultados de correlación, se realizó un análisis ANOVA en el programa estadístico Rstudio, sus líneas de código se describen en la parte final de la Ilustración 14-3.



**Ilustración 3-15:** Diagrama para determinar la correlación de las variables de estudio

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis y discusión de la hidromorfometría de la microcuenca del río Pachanlica

La delimitación del área de estudio fue desarrollada en ArcGIS 10.4 utilizando información de unidades hidrográficas de Ecuador, curvas de nivel y red hídrica. La microcuenca del río Pachanlica cruza los cantones de Quero, Mocha, Cevallos, Pelileo y Tisaleo de la provincia de Tungurahua, situada en la zona interandina del país, donde se encuentra la Cuenca del Río Pastaza y la subcuenca del Río Patate que pertenecen a la vertiente del Amazonas; por lo que la microcuenca recibe precipitaciones oriundas de esta, el territorio en estudio comprende, según cálculos, un total aproximado de 116.783 habitantes en el año 2023, que desarrollan actividades como la ganadería y la agricultura, y algunas de manufactura. Posteriormente depuramos el MED para reducir el porcentaje de error al momento de analizar la hidromorfometría que se encuentra dividida de la siguiente forma:

##### 4.1.1. Morfometría

- **Red de drenaje**

Se analizaron algunos parámetros para cuantificar la influencia que tiene la forma del drenaje con la escorrentía; debido a que, la conexión entre los cauces incide directamente en la respuesta de la microcuenca frente a eventos de precipitación. A continuación, se especifica una tabla con los valores de cada parámetro y un Ilustración de la red de drenaje del área de estudio.

**Tabla 4-1:** Parámetros de la red de drenaje de la microcuenca

RED DE DRENAJE			
Parámetro	Simbología	Unidades	Valor
Longitud cauce principal	<b>Lc</b>	km	46,318
Longitud orden 1	<b>L_1</b>	km	116,734
Longitud orden 2	<b>L_2</b>	km	32,150
Longitud red hídrica	<b>Lh</b>	km	195,202
Cantidad de cauces	<b>#C</b>	s/n	46
Densidad de drenaje	<b>Dd</b>	km/km <sup>2</sup>	0,495
Cota mayor del cauce	<b>CMc</b>	m.s.n.m	3844

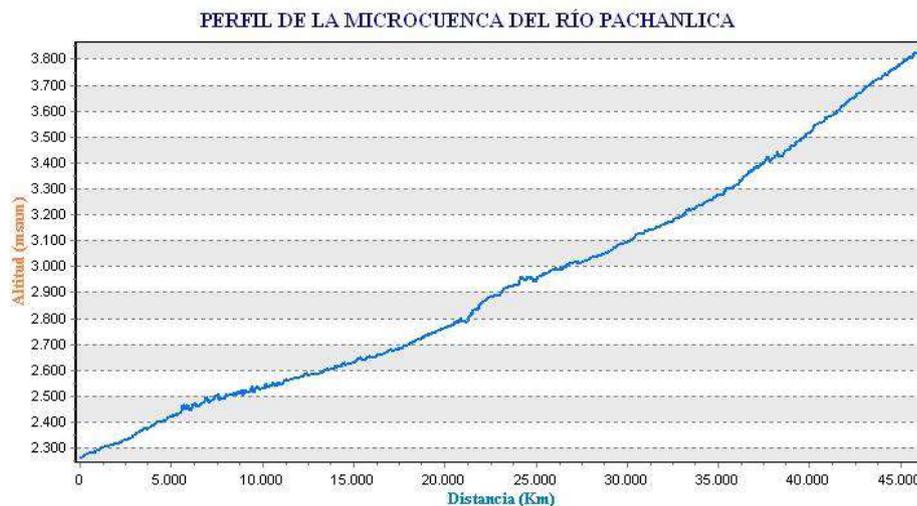
Cota menor del cauce	<b>Cmc</b>	m.s.n.m	2259
Razón de bifurcación	<b>Rb</b>	s/n	6,276
Tiempo de concentración	<b>Tc</b>	H	4,280

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La longitud de la red hídrica es la suma de todos los aportes identificados en el área de estudio, resultando ser 195,20 Km, este valor es importante para calcular la densidad de drenaje ya que la cantidad de agua aumenta con el número de aportaciones. Se tiene un grado de estructura tipo 3 según la metodología de Strahler (1964), que clasifica jerárquicamente los tributarios, (Padala y Aneesh, 2022, pág. 5), al existir un número medio de orden de corriente la estructura de la cuenca es poco definida, la longitud del cauce principal u orden 3 es de 46,32 Km, un valor en el orden 1 de 116,73 Km refleja un número de aportaciones mayor siendo este valor el mayor de los 3 órdenes, comprobado mediante ArcGIS en donde el total de cauces es 46, es decir, que la longitud va disminuyendo conforme aumentan los órdenes, (Dolores y Agüero, 2018, pág. 18). Se tiene un valor de 0,49 km/km<sup>2</sup> y según la tabla 3-3 la microcuenca tiene una densidad de drenaje moderada; es decir, es una red moderadamente desarrollada gracias al equilibrio que existe entre la permeabilidad del suelo (disminuye la probabilidad de crecidas), la precipitación y topografía, lo que cataloga a la microcuenca con una buena eficiencia en cuanto al sistema de drenaje, (Mahala, 2020, pág. 7), esto se corrobora con la razón de bifurcación que arrojó un valor de 6,28 que evalúa la capacidad de almacenamiento de la red de drenaje y que incide directamente en las crecidas, se muestra que en el área de estudio los picos de crecida son de baja importancia, esta relación es consistente en los órdenes 1 y 3 e indican un ajuste geomorfológico maduro con una baja potencialidad de inundación, (Mahala, 2020, pág. 6). A partir de la ecuación de California Culvert Practice (1942) se obtuvo un tiempo de concentración, en horas, de 4,28 o de 256,8 min, a pesar de que en la tabla 4-3 no se tiene este valor se poder inferir en que el movimiento del fluido es lento y puede deberse a la presencia de pendientes ligeramente suaves, a la capacidad de infiltración y a la cobertura del suelo; además el uso del suelo puede intervenir drásticamente. A pesar de que el tiempo de concentración es alto indicando una infiltración deficiente ocasionando una mayor escorrentía superficial, este no es el caso, ya que como se mencionó anterior la densidad de drenaje es moderada y eficiente, descartando la posibilidad de crecidas, por lo tanto, el tiempo de concentración puede verse afectado por el uso del suelo y la densa cobertura vegetal a lo largo del recorrido.

El perfil longitudinal de la microcuenca del río Pachanlica es una gráfica donde se muestra la variación altitudinal a lo largo del cauce principal y como actúa frente al relieve, (Dolores y Agüero, 2018, pág. 15). El cauce nace a una altitud aproximada (CMc) de 3844 m.s.n.m que es cercano a las faldas del Chimborazo y desemboca a una altitud aproximada (Cmc) de 2259 m.s.n.m uniéndose

con el río Ambato. A altitudes próximas a 3400 m.s.n.m hay algunas elevaciones y pendientes que influyen en la velocidad y movimiento del agua. Se observa que a altitudes menores a los 3100 m.s.n.m la pendiente es más pronunciada hasta llegar a su desembocadura, a los 2820 m.s.n.m la pendiente es muy empinada y a altitudes comprendidas entre los 2800 y 2400 m.s.n.m, en zonas correspondientes a Cevallos y Quero, la pendiente es mucho más abrupta que en el resto del trayecto del cauce.



**Ilustración 4-1:** Perfil longitudinal

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

### Parámetros generales

Estos parámetros constituyen la información mínima que se debe tener del área de estudio para tener una idea más clara de lo que puede ocurrir en ella, a partir de estos valores se calculan otros parámetros importantes para conocer el comportamiento hidrológico frente a distintos eventos. Seguidamente se especifica la tabla con los parámetros correspondientes, (Ibáñez, Moreno y Gisbert, 2010).

**Tabla 4-2:** Parámetros generales de la microcuenca

PARÁMETROS GENERALES			
Parámetro	Simbología	Unidades	Valor
Área	<b>A</b>	km <sup>2</sup>	394.050
Perímetro	<b>P</b>	km	141.200
Ancho	<b>W</b>	km	17.270
Largo (Longitud axial)	<b>Lo</b>	km	39.250

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

El área de estudio presenta un valor de 394,05 km<sup>2</sup> (3940 ha) a partir de este dato se la clasificó como una microcuenca basándose en la metodología Pfafstetter Nivel 6, debido a que es uno los tributarios principales del río Ambato, e información proporcionada por GISOCH y (Verdugo, 2017, pág. 6), mencionan que al ser un tributario representativo se clasifica a la microcuenca con un número par; además, cabe mencionar que el dato del área puede diferir del dato obtenido de ArcGIS y según Schumm (1964) el área se relaciona con la cantidad de cauces. Al comprender un territorio bastante amplio la capacidad de recolectar agua aumenta al igual que la dinámica hidrológica. El perímetro de la microcuenca rodea los 141,20 km es decir que la divisoria de aguas recorre esa distancia e influye en la fragmentación del terreno que abarca el área de estudio. Con respecto al ancho y largo tenemos valores de 17,27 km y 39,25 km respectivamente, se tiene una microcuenca más o menos alargada debido a que el valor del largo difiere bastante con el valor del ancho e influye en la distribución y movimiento del flujo.

### Parámetros de forma

La forma de la microcuenca condiciona la velocidad del escurrimiento en la superficie, la respuesta hidrológica puede diferir entre una microcuenca y otra aun teniendo un área similar, por lo que es importante identificar algunas características a través de índices y/o coeficientes (Ibáñez et al., 2010, p.6).

**Tabla 4-3:** Parámetros de forma de la microcuenca

<b>PARÁMETROS DE FORMA</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Simbología</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Factor de Forma (Horton)	<b>K<sub>f</sub></b>	adm	0.256
Índice de alargamiento	<b>I<sub>a</sub></b>	adm	2.273
Índice de Gravelius	<b>C<sub>g</sub></b>	adm	2.007
Relación de elongación	<b>Re</b>	adm	0.483

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

El análisis del factor de forma según Horton (1932), en la tabla 3-5 revela que valores de 0,25 corresponden a microcuencas con un drenaje más eficiente, reafirmando lo especificado anteriormente en el análisis de los parámetros de red de drenaje, esta eficiencia va liga a la forma alargada de la microcuenca, a la buena planificación para manejar adecuadamente el recurso hídrico y a reducir riesgos. El cálculo del índice de alargamiento es de 2,27 lo que verifica que la microcuenca es alargada según la tabla 6-3 Con el resultado obtenido en el índice de Gravelius, siendo de 2, Horton (1945) indica que si el valor es superior a 1 la cuenca tiende a desviar su

forma circular, (Padala y Aneesh, 2024, pág. 2); por lo tanto, se afirma que no tiende a concentrar volúmenes de agua provenientes de la escorrentía; por lo que, la probabilidad de inundación disminuye, se considera a la microcuenca, en relación con lo natural, como propensa a la conservación si se lleva un correcto manejo, esto se constata con la tabla 7-3, (Guzmán et al., 2021, pág. 4). El parámetro de relación de elongación permite identificar que el análisis de forma de la microcuenca es correcto ya que arroja un valor de 0,48 indicando que tiene una elongación plana y alargada, tabla 8-3.

- **Parámetros de relieve**

En el análisis morfométrico de una microcuenca estos parámetros son los más influyentes sobre la respuesta hidrológica, se puede inferir que cuando el relieve es mayor o las pendientes son más pronunciadas la generación de escorrentía se da en un tiempo menor.

**Tabla 4-4:** Parámetros de relieve de la microcuenca

<b>PARAMETROS DE RELIEVE</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Simbología</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Pendiente media del cauce principal	<b>j</b>	%	12.984
Pendiente media de la cuenca	<b>J</b>	%	18.102
Altitud de frecuencia 1/2	<b>Hm</b>	m.s.n.m	3720.902
Coeficiente de masividad	<b>mk</b>	m/km <sup>2</sup>	9.443
Cota máxima	<b>CM</b>	m.s.n.m	6232
Cota mínima	<b>Cm</b>	m.s.n.m	2259
Desnivel altitudinal	<b>Dn</b>	m	3973
Centroide X	<b>Cx</b>	m	759973.299
Centroide Y	<b>Cy</b>	m	9846317.045
Centroide Z	<b>Cz</b>	m.s.n.m	3923.891

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

El valor de la pendiente media del cauce principal de la microcuenca es de 12,98 % lo que revela que el tipo de zona del río es moderadamente accidentada y puede presentar erosión según (Guzmán, De Antueno y Gaspari, 2021); así mismo, el cálculo de pendiente media de la cuenca arroja un valor de 18,10% de pronunciamiento, en la tabla 10-3 este valor indica que el tipo de relieve en el área de estudio es accidentado; es decir, hay pendientes considerables, la topografía es variable por la presencia de valles profundos y montañas altas, este parámetro se lo relaciona

con el poder de arrastre y se ve influenciado también por la altitud de frecuencia media que tiene un valor de 3720,90 y denota que el 50% del área de la cuenca está situada por encima de esta altitud y el otro 50% por debajo de dicha altitud, a altitudes más elevadas los cambios en los patrones de precipitación y de escurrimiento se pueden ver afectados; por lo que los procesos erosivos pueden disminuir ya que la capacidad de drenar agua de la microcuenca es bastante eficiente, (Padala y Aneesh, 2022, pág. 7)

Para corroborar el análisis se calculó el coeficiente de masividad, resultando un valor de 9,44 m/km<sup>2</sup> lo que evidencia que la topografía del lugar estudiado es bastante accidentada, las pendientes son pronunciadas y tiene pisos altitudinales altos, tabla 11-3.

Las cotas máxima y mínima indican la altitud más alta con un valor de 6232 m.s.n.m y la más baja con 2259 que coincide con el valor de la cota menor del cauce que hace referencia a la desembocadura de este, respectivamente. El desnivel altitudinal es de 3973 m lo que indica que hay más variedad ecológica y climática en el área estudiada, esta logra albergar más ecosistemas, que aquellas que no tienen tantos pisos altitudinales. El cálculo de los centroides se utiliza, también, para obtener las cotas de la microcuenca, pero creando un polígono de la superficie que abarca; es decir, que estos valores de X, Y y Z, 759973,29 (m) – 9846317,04 (ms) y 3923,89 (m.s.n.m), respectivamente, corresponde a un punto situado en el centro del polígono creado o del área en estudio.

- ***Análisis de la Curva hipsométrica e Histograma de frecuencias altitudinales***

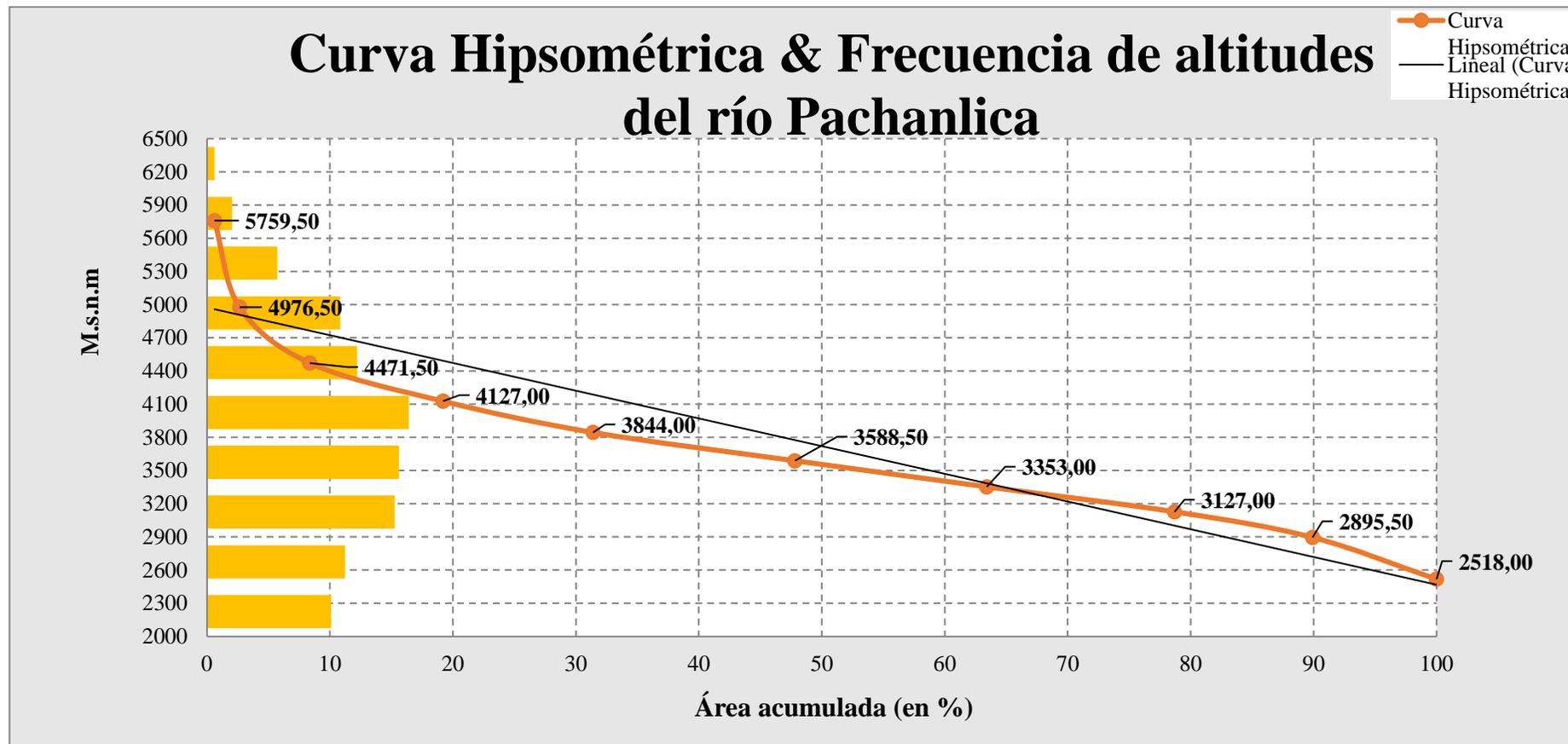
El análisis concluye con la interpretación gráfica de la curva hipsométrica y el histograma de frecuencias altitudinales para identificar la evolución de la microcuenca a través de la relación entre la altimetría y el área acumulada de la tierra por encima de dicha altitud en un área determinada, cabe mencionar que la gráfica de la curva hipsométrica no representa el perfil longitudinal de la microcuenca.

De acuerdo con la distribución altitudinal en 10 intervalos equidistantes se obtuvo el porcentaje del área entre las curvas y el área entre intervalos en km<sup>2</sup>. Se tiene una altura promedio de 3866,05 m y un área de 397,59 km<sup>2</sup>, aquí podemos observar que el área de la cuenca sí difiere del valor obtenido en ArcGIS 10.4, lo que puede conllevar a errores en el cálculo de algunos parámetros, pero es mínimo. El dato de altitud de frecuencia media corresponde a 3720,90 m dato que ya fue analizado anteriormente. El mayor porcentaje de área entre curvas está a una altura promedio de 3588,50 m.s.n.m, el cual representa un 16,41 % del área total.

**Tabla 4-5:** Estadísticas altitudinales y porcentaje de área de la microcuenca

Intervalos	Cota (m.s.n.m)			Área (km <sup>2</sup> )		Área (%)		Gráfica de la altimetría
	Mínimo	Máximo	Altura Promedio	Área entre intervalos	Acumulado	% Acum	% Área entre curvas	
1	2259	2777,00	2518,00	40,08	397,588	100,000	10,081	<p>El mapa muestra la distribución altitudinal de la microcuenca, dividida en 10 intervalos de altura. La leyenda indica los siguientes intervalos: 1 (gris), 2 (rojo oscuro), 3 (naranja), 4 (amarillo), 5 (verde), 6 (verde claro), 7 (azul), 8 (azul oscuro), 9 (magenta) y 10 (rojo). El mapa muestra que los intervalos de menor altura (1-3) ocupan la mayor parte del área, mientras que los intervalos de mayor altura (8-10) ocupan áreas más pequeñas y están distribuidos en las zonas más elevadas de la cuenca.</p>
2	2777,00	3014,00	2895,50	44,6425	357,508	89,919	11,228	
3	3014,00	3240,00	3127,00	60,7025	312,865	78,691	15,268	
4	3240,00	3466,00	3353,00	62,0475	252,163	63,423	15,606	
5	3466,00	3711,00	3588,50	65,2775	190,115	47,817	16,418	
6	3711,00	3977,00	3844,00	48,5325	124,838	31,399	12,207	
7	3977,00	4277,00	4127,00	43,0625	76,305	19,192	10,831	
8	4277,00	4666,00	4471,50	22,6975	33,243	8,361	5,709	
9	4666,00	5287,00	4976,50	8,1225	10,545	2,652	2,043	
10	5287,00	6232,00	5759,50	2,4225	2,423	0,609	0,609	
<b>Total</b>			<b>3866,05</b>	<b>397,59</b>			<b>100,00</b>	
<b>ALTITUD DE FRECUENCIA 1/2 3720,901839</b>								

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.



**Ilustración 4-2:** Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes del río Pachanlica

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La curva hipsométrica de la microcuenca del río Pachanlica muestra una curvatura convexa lo que indica que hay un equilibrio entre el proceso erosivo y la madurez de sus cauces; es decir, que se caracteriza por estar en un estado de equilibrio y un buen transporte de sedimentos. En la parte alta de la microcuenca a altitudes cercanas a los 5000 m.s.n.m, se tiene pastizales que influyen en la tasa de infiltración debido a la compactación del suelo por la presencia de ganado, por lo tanto la escorrentía superficial en esta zona aumenta, (Mahala, 2020, pág. 5). La vegetación como Sigse, Chilca y Sauces forma una cubierta que contribuye en la disminución de procesos erosivos; además, se prevé que el proceso evolutivo se vea acelerado por el crecimiento urbano en algunas zonas aledañas al río lo que puede provocar que la capacidad de infiltración disminuya y la escorrentía aumente depositando la mayor parte de los sedimentos en la parte media – baja de la microcuenca a alturas inferiores a los 2900 m.s.n.m.

El histograma de frecuencia altitudinal muestra la misma información que la curva hipsométrica, pero con una presentación diferente, análisis en cuanto a pendientes, se observa que el 16,41 % del área total de la cuenca está a una altura promedio de 3588,50, lo que demuestra que son áreas donde se puede identificar de manera estratégica el comportamiento de la microcuenca y relacionarlo con la vegetación y los ecosistemas que existen. En la parte media – baja de la microcuenca, que va de una altitud de 3711 a 3014 m.s.n.m la pendiente es bastante pronunciada y en la parte alta desde una altitud de 6232 a 4666 m.s.n.m la pendiente es ligeramente suave.

#### 4.1.2. Hidrología

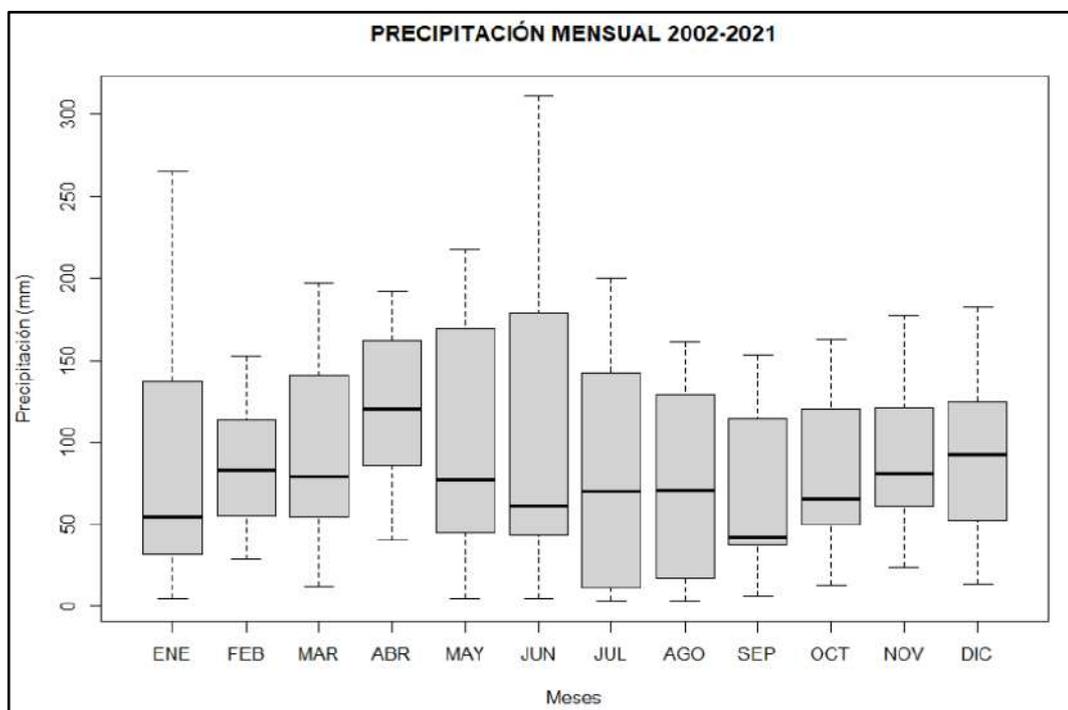
En la siguiente tabla se plasma los valores de precipitación y temperatura media registrados en un periodo de 20 años desde el 2002 hasta el 2021. Se observa que en ambas épocas las variables de precipitación y temperatura tienen una relación directamente proporcional; es decir, si la precipitación aumenta la temperatura también o viceversa. En la transición a época lluviosa la temperatura aumentó un 5% dando un valor de 11,06 °C y el valor en época seca fue de 10,56 °C; así mismo, ocurre con la precipitación en transición a época lluviosa, está aumentó un 22% en comparación con el valor de 56,64 mm que corresponde a la época seca, resultando en 73,09 mm.

**Tabla 4-6:** Resultado de hidrología

<b>HIDROLOGÍA</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Simbología</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>	<b>Componente</b>
Precipitación media	<b>Ps</b>	mm	56.649	Época seca
Temperatura media	<b>Ts</b>	°C	10.560	
Precipitación media	<b>Pt</b>	mm	73.098	Transición a época lluviosa

- **Precipitación**

En el análisis de una microcuenca, la precipitación, juega un papel fundamental debido a que esta influye de manera directa en la creación, desarrollo y evolución de la red de drenaje. Las lluvias intensas pueden generar nuevos cauces debido al escurrimiento, además, cuando esta desciende puede acarrear sedimentos que modifican la forma de la microcuenca. Relacionar la precipitación y algunos parámetros morfométricos contribuye con el análisis hidrológico. Las épocas en las que se realizaron los monitoreos y análisis comprenden los meses desde agosto hasta noviembre en un periodo de 20 años desde el 2002 hasta el 2021.



**Ilustración 4-3:** Precipitación mensual 2002-2021

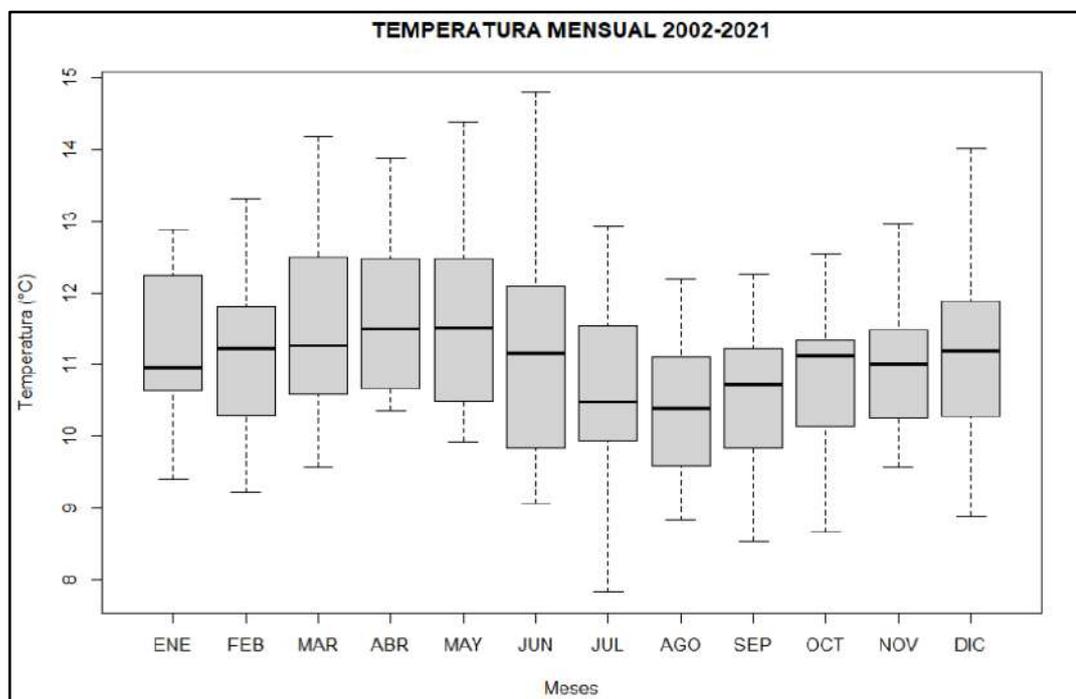
Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

En los meses de enero, marzo, mayo y octubre la mediana se encuentra alejada un 25% del cuartil 1, en junio está alejada un 20% y en octubre el 30%. El mes de septiembre tiene una tendencia bastante peculiar debido a que la mediana se encuentra a una distancia del cuartil 3 de 95% con un valor de precipitación de 42 mm. Se observa que en el mes de febrero los valores de precipitación están comprendidos entre 28 mm y 152 mm, tiene una distribución balanceada debido a que el promedio y la mediana son valores muy cercanos a 87 mm; también se observa este comportamiento en el mes de abril, agosto y diciembre, aunque el rango de valores de

precipitación es más amplio en el cuarto y último mes alcanzando valores de 100 mm aproximadamente. Enero y junio presentan las precipitaciones más altas, 135 mm y 157 mm, respectivamente. La precipitación con valores más bajos registrados pertenece al mes de julio, siendo este de 3 mm a lo largo de un periodo de 20 años consecutivos. De agosto a noviembre son los meses en los que se realizó el análisis de agua, se observa que la precipitación desciende de agosto a septiembre con valores de 161 mm y 151 mm respectivamente; en cambio, la precipitación aumenta en los meses de octubre y noviembre llegando a valores de 177 mm.

- **Temperatura**

Esta variable incide en diversos procesos hídricos por lo que indirectamente la morfometría de una microcuenca también se ve afectada, es por ello por lo que su análisis es clave en esta investigación. La variación de temperatura afecta la precipitación, escorrentía y red de drenaje de un sistema hídrico; además, influye en la cobertura vegetal que previenen la erosión del suelo y/o en el cuarteo del suelo por la expansión y contracción drástica. Las épocas en las que se realizaron los monitoreos y análisis comprenden los meses desde agosto hasta noviembre en un periodo de 20 años desde el 2002 hasta el 2021.



**Ilustración 4-4:** Temperatura mensual 2002-2021

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Los meses que presentan un comportamiento bastante balanceado son abril, mayo y agosto donde la mediana se encuentra justo en el 50% del bloque, siendo mayo el que arrojó un valor de

temperatura media de 11,5 °C superando a abril y agosto. Los meses de febrero y septiembre tienen la mediana más arriba de la mitad del bloque y representa un alejamiento del 65% del cuartil 1 con valores de 11 y 10 °C, respectivamente. En el mes de enero la mediana está bastante cerca del cuartil 1, registrando un valor de 10,9 °C; en cambio, en el mes de octubre el comportamiento de la temperatura es todo lo contrario ya que la mediana está alejada en un 90% del cuartil 1. Los valores máximos de temperatura registrados en un periodo consecutivo de 20 años corresponden al mes de junio, siendo estos de 14,8 °C y los más bajos son en el mes de julio con 7,8 °C. En los meses que se realizó el estudio la temperatura tiende a aumentar conforme pasan los meses, de agosto a noviembre se observa que la temperatura aumenta desde los 12°C hasta los 13°C, según la información proporcionada en el PDyOT la temperatura en la zona interandina si se encuentra dentro de los rangos establecidos y que en noviembre la temperatura tiende a aumentar, (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2018).

#### 4.1.3. Hidrometría

- **Caudal total**

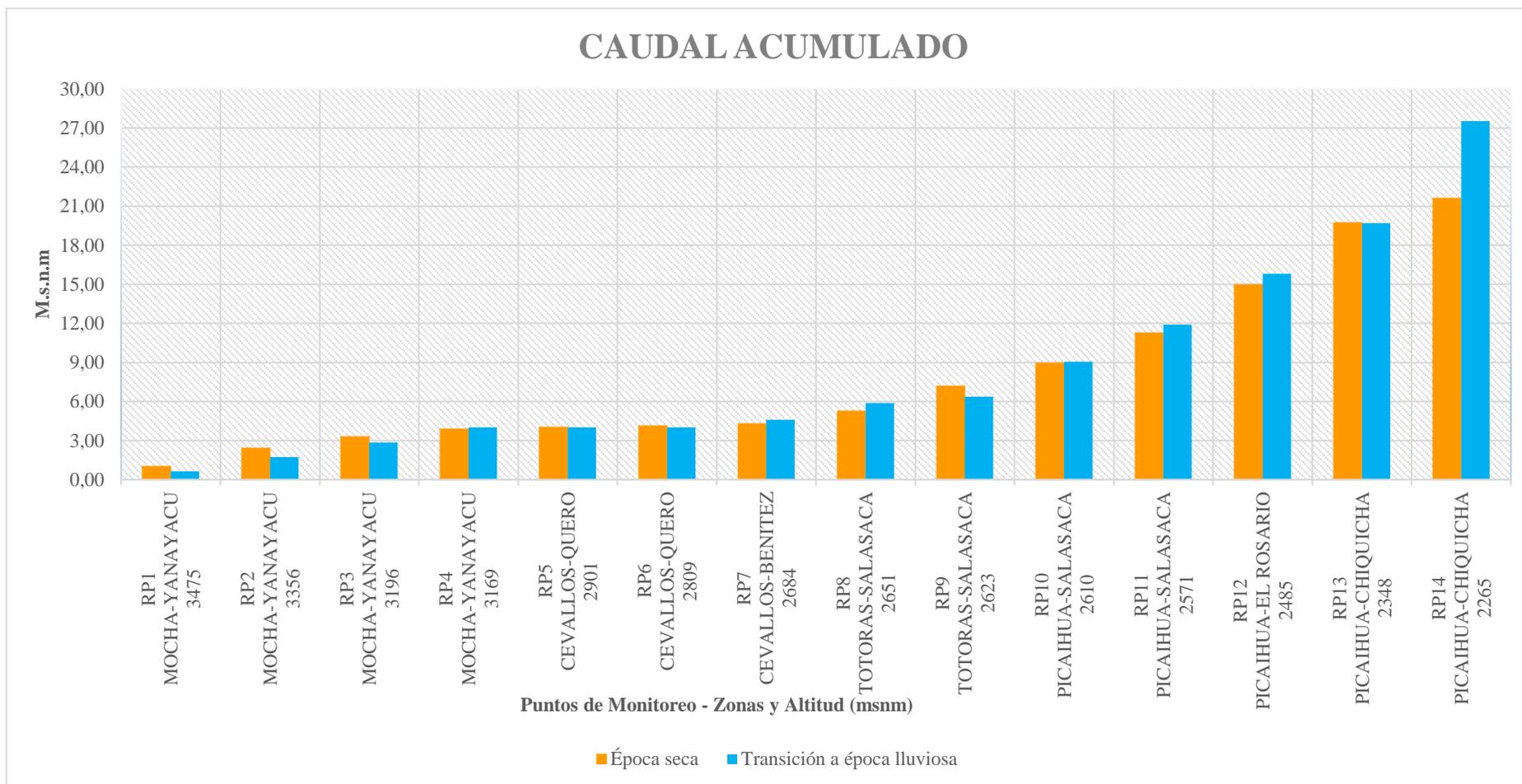
Este parámetro se refiere al volumen hídrico de la escorrentía de una microcuenca que se concentra en el cauce principal, su análisis se distribuyó en 2, en época seca y en la de transición a época de lluviosa. En ambas la medición del caudal fue in situ con el método del molinete. En la tabla 7-4 se especifica el valor del caudal total obtenido en cada época en m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 4-7:** Resultado de caudal total

HIDROMETRÍA				
Parámetro	Simbología	Unidades	Valor	Época
Caudal Total época seca	$Q_s$	m <sup>3</sup> /s	21.610	Época seca
Caudal Total época transición	$Q_t$	m <sup>3</sup> /s	27.516	Transición a época lluviosa

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

El monitoreo del caudal total para época seca se realizó en el mes de agosto resultando un valor de 21,61 m<sup>3</sup>/s, y para transición a época lluviosa se lo realizó a finales del mes de septiembre arrojando un valor de 27,51 m<sup>3</sup>/s. El caudal de transición a época lluviosa aumentó un 21,45% en comparación con el de la época seca. A continuación, se muestra un Ilustración comparativo del caudal total en cada época.



**Ilustración 4-5:** Caudal acumulado

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Se observó que los puntos desde el RP4 hasta RP6 correspondientes a las zonas de Mocha, Yanayacu, Cevallos y Quero no se aprecia un incremento en el caudal acumulado, puesto que los valores en ambas épocas están en un rango de 4,01 m<sup>3</sup>/s a 4,14 m<sup>3</sup>/s; en cambio, en los demás puntos el incremento es notable, el caudal acumulado registra valores de 21,6 m<sup>3</sup>/s en época seca y 27,5 m<sup>3</sup>/s en transición a época lluviosa en el punto RP14 que coincide con la desembocadura del río de la microcuenca estudiada. La acumulación de flujo en los puntos RP5, RP6, RP10 y RP13, en ambas épocas, registra valores equivalentes en cada punto; a pesar de que el caudal a nivel general aumentó un 5,1% en transición a época lluviosa. Los puntos de monitoreo desde el RP1 hasta RP3 comprenden las zonas de Mocha y Yanayacu, con alturas desde los 3475 hasta los 3196 m.s.n.m aproximadamente, estos son los más cercanos al Chimborazo, el caudal acumulado en RP3 llega a los 3,30 m<sup>3</sup>/s y corresponde a la época seca, se evidencia en la gráfica que en transición a época lluviosa los primeros 3 puntos registran valores menores a los de la época seca y lo mismo ocurre en el punto RP9 perteneciente a la zona de Totoras – Salasaca. Desde el punto RP7 hasta el RP14 el caudal acumulado experimenta un aumento notable, siendo el mayor incremento con un 28% en el RP14 y el menor en RP5 con 1% en transición a época lluviosa; en cambio, en época seca el mayor incremento se registra en el punto RP12 con 24,6% y el menor en RP6 con el 6%.

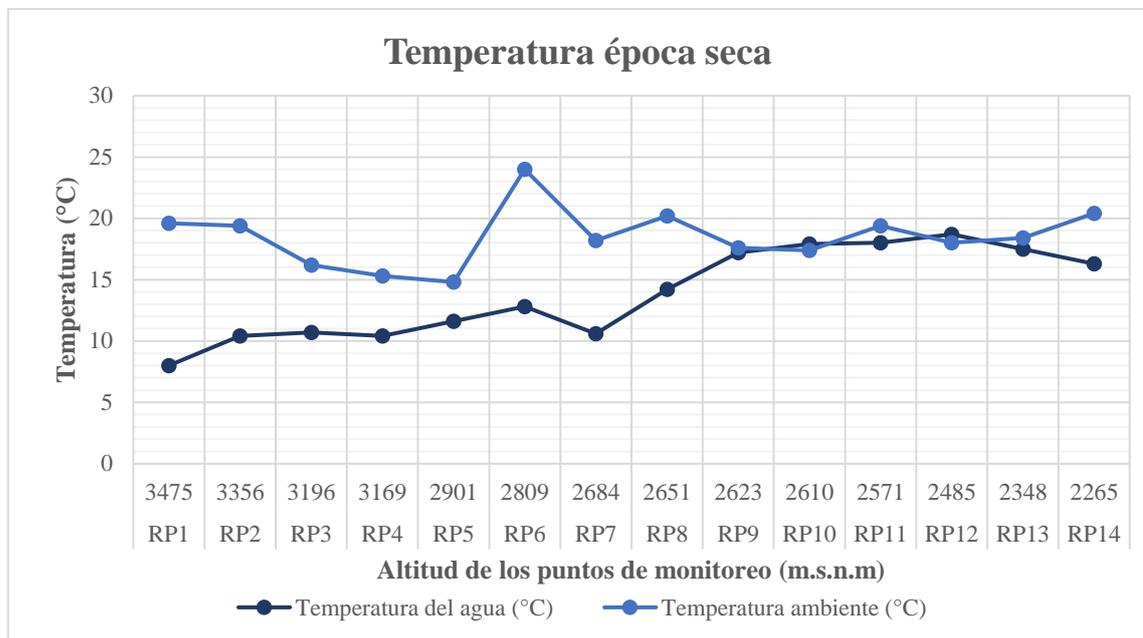
#### **4.2. Resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos in situ y ex situ**

Las variables ambientales son parámetros que modifican el estado natural del cuerpo hídrico, por ello es necesario entender cómo interactúan y afectan a largo plazo en el sistema fluvial, como es el caso de las propiedades físico-químicas que, de acuerdo a sus características, la remediación será más complicada dando lugar a la destrucción del hábitad acuático y efectos sobre la salud humana. Los parámetros analizados corresponden a: Temperatura, pH, Total de Sólidos Disueltos, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica, Nitritos, Nitratos y Fosfatos.

##### **4.2.1. Temperatura (°C)**

La radiación solar da lugar a la temperatura, la cual es una variable de gran importancia debido a su influencia en la regulación de diversos procesos físico-químicos que se desarrollan en un ecosistema acuático, afectando a variables como, la conductividad eléctrica, pH, Oxígeno Disuelto, entre otros, (Roldán y Ramírez, 2022, pág. 221). La temperatura también tiene su actividad en la parte biológica, interviene en el desarrollo fisiológico de los organismos, como lo es la respiración microbiana que favorece la autopurificación de los cuerpos de agua. Las temperaturas

altas permiten el crecimiento de cierto tipo de biota que pueden alcanzar poblaciones significativas, generando problemas de eutrofización, (Beita y Barahona, 2011, pág. 4).

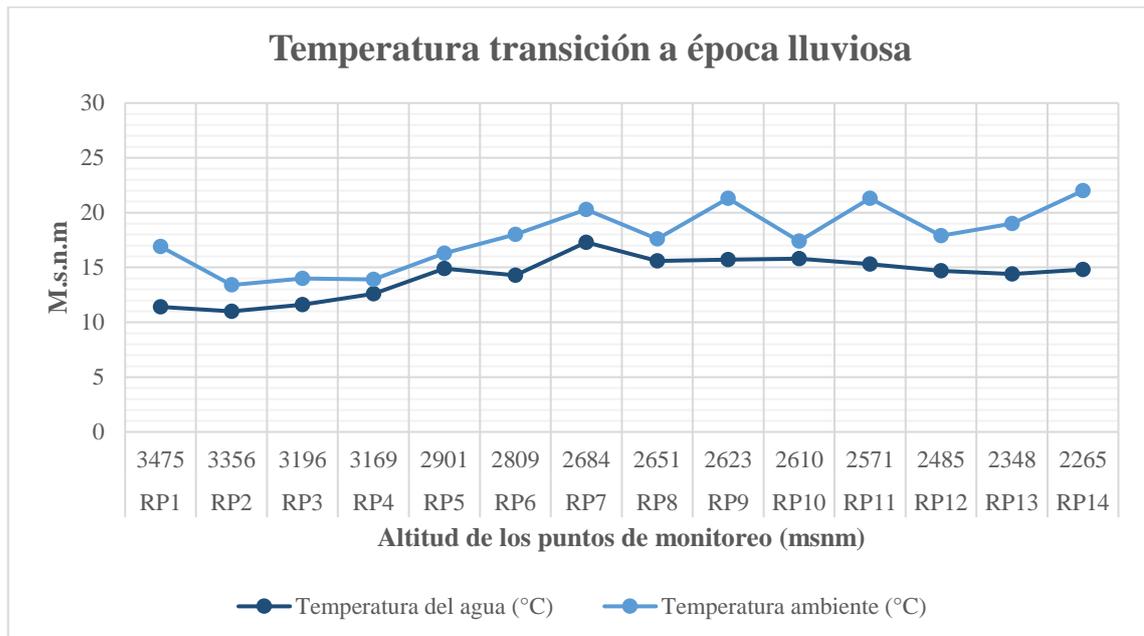


**Ilustración 4-6:** Resultados de temperatura en la época seca

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La Ilustración 4-6 muestra el comportamiento de la temperatura del agua con respecto a la temperatura ambiente en la época seca. Según (Roldán y Ramírez, 2022, pág. 157) la temperatura del agua aumenta conforme aumenta la temperatura ambiente, sin embargo también depende de factores como la actividad antropogénica, la altitud y el clima; se observa que el punto RP1 en Mocha-Yanayacu a 3475 m.s.n.m, la temperatura ambiente es de 19.6 °C reflejando una temperatura del agua de 8 °C, este comportamiento se debe a que esta zona está cercana al nevado Chimborazo donde circulan corrientes de agua fría de mayor altitud. Por otra parte, en el punto RP6 en Cevallos-Quero se nota un pico en la temperatura ambiente de 24 °C con una temperatura del agua de 12.8 °C, esta enorme diferencia de temperatura se le atribuye a la presencia de árboles en las orillas del río que actúan como una barrera natural impidiendo que el agua este en contacto directo con la radiación solar. El mismo comportamiento podemos observar en el punto RP7 en Cevallos-Benitez donde la temperatura ambiente es de 18.2 °C con una temperatura del agua de 10.6 °C, este comportamiento se debe a que en esta zona hay presencia de vertientes que conectan y enfrían el río Pachanlica. Los puntos RP10 de la zona de Picaihua-Salasaca y RP12 de la zona de Picaihua-El Rosario, presentan valores fuera de lo común; es decir que la temperatura del agua es superior a la temperatura ambiente con valores de temperatura ambiente de 17.4 °C y 18 °C, y temperatura de agua de 17.9 °C y 18.7 °C respectivamente, este comportamiento se le atribuye a que estos puntos son focos de contaminación directa por los vertidos de aguas residuales a más

de ello en las orillas del río no hay presencia de árboles que actúen como barrera natural. Según (Manta y Alcántara, 2018, pág. 9), la temperatura del agua de un río puede superar la temperatura ambiente debido a diversos factores como el vertido de aguas calientes de plantas industriales, aguas residuales, falta de árboles en las orillas de los ríos y el escurrimiento urbano. Estos cambios pueden afectar significativamente la vida acuática, la capacidad de oxígeno disuelto en el agua y su química.



**Ilustración 4-7:** Resultados de temperatura en la transición a época lluviosa

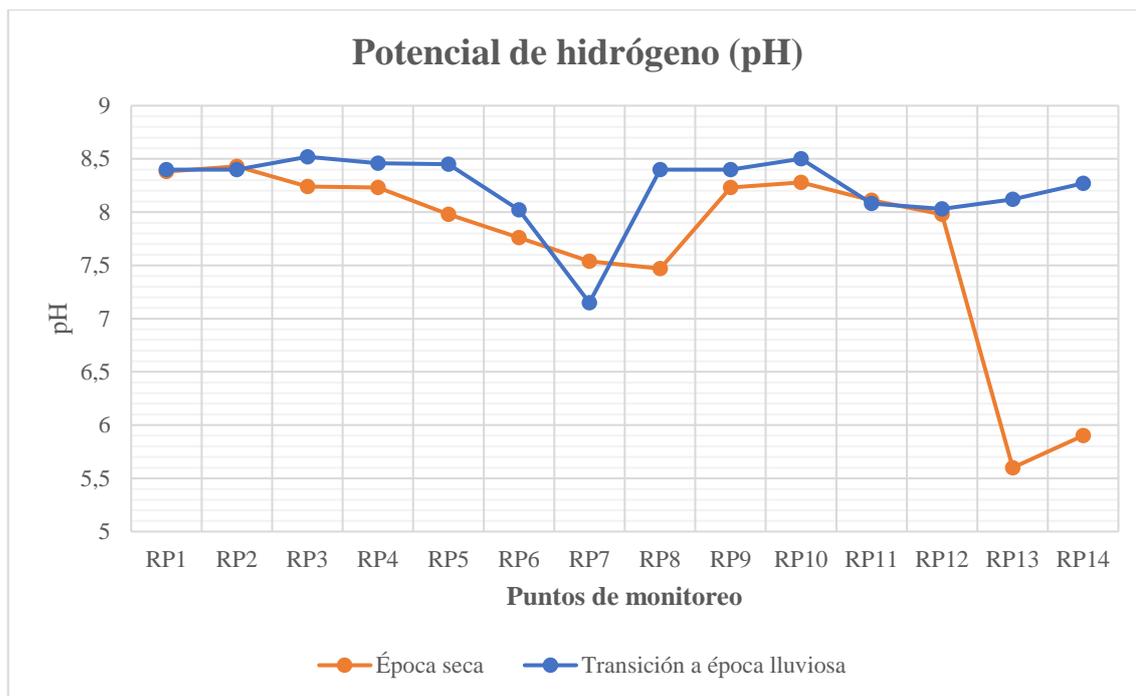
**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La Ilustración 4-7 muestra el comportamiento de la temperatura del agua con respecto a la temperatura ambiente en la transición a época lluviosa. Se observa que desde el punto RP1 hasta el RP5 pertenecientes a las zonas de Mocha-Yanayacu hasta Cevallos-Quero y los puntos RP7 y RP8 de las zonas de Cevallos-Benitez y Totoras-Salasaca respectivamente; la temperatura del agua del río tiene el mismo comportamiento que la temperatura ambiente; según (Roldán y Ramírez, 2022, pág. 157) la temperatura del agua aumenta conforme aumenta la temperatura ambiente; sin embargo, en el punto RP6 en Cevallos-Quero la temperatura ambiente es mucho mayor a la temperatura del agua con 18 °C y 14.3 °C respectivamente, este comportamiento al igual que en la Ilustración 6-4 se le atribuye a la presencia de árboles que actúan como barrera natural de la radiación solar. Por otra parte, desde el punto RP7 hasta el RP14 se observa un comportamiento zigzagueante de la temperatura ambiente mientras que la temperatura del agua mantiene un comportamiento constante que varía ligeramente; el punto RP9 en Totoras-Salasaca registra una temperatura ambiente de 21.3 °C con una temperatura de agua de 15.7 °C, en este punto la temperatura ambiente es mucho mayor que la del agua considerando lo expuesto por Roldan y

Ramírez en 2022; el mismo comportamiento lo podemos observar en el punto RP11 en Picaihua-Salasaca, con una temperatura ambiente de 21.3 °C y temperatura del agua de 15.3, de la misma forma el punto RP14 en Picaihua-Chiquicha con una temperatura ambiente de 22 °C y una temperatura del agua de 14.8 °C; las temperaturas de agua registradas en estos puntos principalmente se debe al cambio de estación, aumento de caudal y zonas con vegetación alta como es el caso del punto RP9. Según (Montes et al., 2013, pág. 32) el aumento del flujo de agua debido a la lluvia puede afectar la temperatura del agua en un río. Este incremento en el flujo puede provocar una dilución en la temperatura del agua, ya que el agua de lluvia tiende a estar más fría que la del río. Por consiguiente, el aumento del flujo debido a la lluvia puede ayudar a que el agua del río no se caliente tanto como la temperatura ambiente, (Montes et al., 2013, pág. 8).

#### **4.2.2. *Potencial de hidrogeno (pH)***

El pH está relacionado con los cambios de acidez y basicidad, el cual depende del equilibrio entre el dióxido de carbono, iones bicarbonato y carbonatos, y también de los ácidos húmicos y fulvicos que alteran los valores de pH e influye directamente en el desarrollo de flora, fauna y organismos microscópicos del sistema fluvial. Los cambios en el pH del agua pueden ser el resultado de varias causas, una de las cuales es la práctica agrícola que conduce a la lixiviación de aniones hacia el subsuelo, más allá de la zona de las raíces. Principalmente, los Nitratos, aunque también bicarbonato, cloruros, sulfatos y aniones orgánicos, son lixiviados junto con cationes como calcio, magnesio y potasio. Esto deja un exceso de iones H<sup>+</sup> en la superficie del suelo, que luego son transportados al flujo de agua mediante el escurrimiento (Beita y Barahona, 2011, pág. 4).



**Ilustración 4-8:** Variación de pH a lo largo de la microcuenca

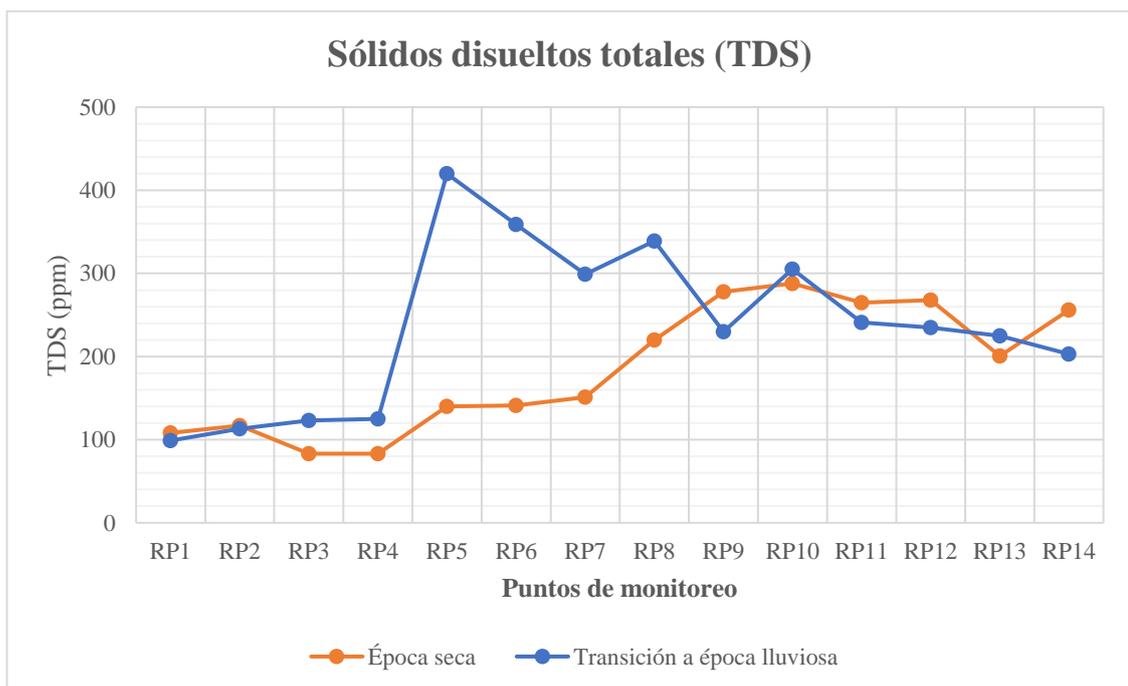
**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La Ilustración 4-8 se observa que en la época seca desde el punto RP1 en Mocha-Yanayacu hasta el punto RP8 en Totoras-Salasaca el pH tiende a acercarse a la neutralidad, con un pH que va de 8.38 a 7.42 respectivamente; este comportamiento se le atribuye a la presencia de sales disueltas en el agua que en combinación de la acidez presente en los puntos críticos como el RP5 en Cevallos-Quero que presenta vertidos directos de aguas residuales, se neutralizan llegando a valores cercanos a 7: según (Carrera et al., 2016, pág. 13) cuando una sustancia alcalina se une con una ácida, los iones  $H^{+}$  y  $OH^{-}$  se unen para crear agua, lo que resulta en un pH neutral además menciona que en la temporada seca, es común que el pH de un río se acerque a la neutralidad, influenciado por diversos factores como las actividad respiratoria y la salinidad del agua. Por otra parte, desde el punto RP12 en Picaihua-El Rosario hasta RP14 en Picaihua-Chiquicha el agua se acidifica llegando a valores de 5.9 esta fluctuación se debe a que en estas zonas hay vertidos de aguas residuales de forma directa como el punto RP12 y actividad agrícola. En cuanto a la época lluviosa se observa una prevalencia de pH alcalino en la mayoría de puntos analizados, desde RP1 en Mocha-Yanayacu hasta RP5 en Cevallos-Quero y de RP8 en Totoras-Salasaca hasta RP14 en Picaihua-Chiquicha; alcanzando un valor máximo de 8.52 en el punto RP3 del territorio de Mocha-Yanayacu esto se debe al aumento de caudal que erosiona las rocas desprendiendo carbonatos que alcalinizan el agua, como lo expone en su artículo (Beita y Barahona, 2011), la presencia de iones bicarbonato ( $HCO_3^{-}$ ), introducidos al sistema por la disolución de rocas y suelos alcalinizan en agua; al mismo tiempo se puede evidenciar que el punto RP7 en Cevallos-Benitez el pH llega a 7.15, en esta zona hay presencia de vertientes de agua limpia que se mezclan

con el agua del río lo que explica este comportamiento. La variación del pH en las dos épocas de muestreo muestra que en época seca el agua se acidifica en ciertos puntos mientras que en transición a época lluviosa se mantiene en la alcalinidad.

#### 4.2.3. Sólidos disueltos totales (TDS)

Los sólidos disueltos totales (TDS), es un parámetro de calidad de agua que miden la concentración de diversos tipos de materia, sustancias, elementos y sales disueltas en el agua, tanto en sistemas subterráneos y superficiales. Estos están conformados por, sales inorgánicas, tales como el potasio, magnesio, sodio y calcio además de bicarbonatos, sulfatos, cloruros y limitadas concentraciones de materia orgánica que se encuentran disueltas en el agua. Los TDS están relacionados con la salinidad, conductividad eléctrica, y en gran medida con la turbidez, concentraciones demasiado bajas o elevadas de TDS limitan el desarrollo y crecimiento de flora y fauna acuática al igual que impide que dicha fuente de agua sea útil para el consumo humano, (Cruz et al., 2018, pág.6).



**Ilustración 4-9:** Variación de TDS a lo largo de la microcuenca

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La Ilustración 4-9 exhibe un aumento significativo en la concentración de sólidos totales disueltos (TDS) de las muestras tomados en la época seca específicamente desde el punto RP4 en Mocha-Yanayacu hasta RP14 en Picaihua-Chiquicha con valores de 83.2 ppm a 256 ppm respectivamente, este aumento gradual se debe a que en el trayecto de dichos puntos se desarrollan

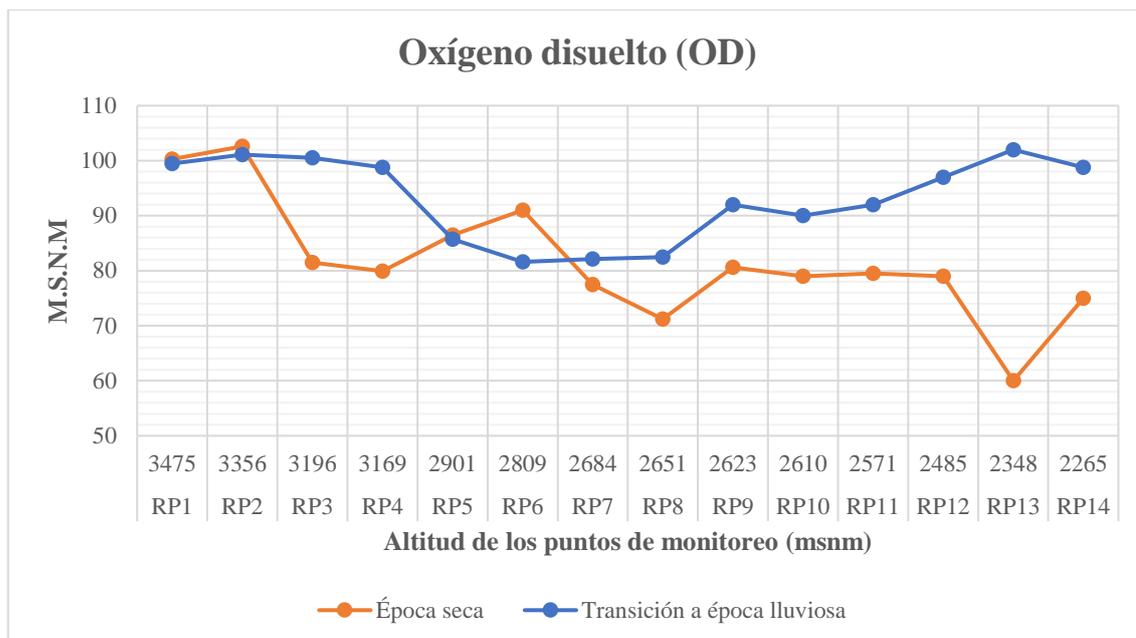
actividades como la ganadería, agricultura, además de existir industrias y vertidos de aguas residuales urbanas sin tratar, lo que aumenta la concentración de sales inorgánicas y materia orgánica; especialmente el punto RP10 en Picaihua-Salasaca el cual presenta una concentración mayor de 288 ppm con respecto a los demás puntos, se encuentra expuesto a vertidos directos de aguas residuales con presencia de lombrices rojas de agua indicadoras de coliformes fecales; según (Cruz et al., 2018, pág. 4) el incremento de los sólidos totales disueltos (TDS) en el agua de un río se origina por la filtración de minerales del suelo, el flujo de fuentes naturales, así como actividades humanas tales como la minería, la agricultura intensiva, la disposición de aguas residuales y la emisión de efluentes.

Por otra parte, en la transición a época lluviosa con respecto a la época seca se evidencian aumentos exagerados en la concentración de TDS en los puntos RP5 en Cevallos-Quero, RP6 en Cevallos-Benitez, RP7 y RP8 en Totoras-Salasaca, con valores en época seca de 420 ppm, 359 ppm, 299 ppm y 339 ppm respectivamente. El incremento se atribuye a la presencia de población, industrias, actividad ganadera y agrícola. Además, el punto RP5 se destaca como uno de los más contaminados de esta área por las descargas directas de aguas residuales.

En la época seca se observa que la concentración de TDS aumenta conforme avanzamos a las zonas urbanas lo que explica ese aumento gradual, mientras que en la transición a época lluviosa tenemos concentraciones mayores en los puntos en los que no existía concentraciones altas; el aumento de caudal de los afluentes urbanos y la escorrentía superficial es responsables de este comportamiento.

#### **4.2.4. Oxígeno disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto (OD) es un parámetro indispensable para el desarrollo de la vida acuática y la conservación de los ríos, esta depende principalmente de la temperatura, presión atmosférica, salinidad, contaminación, altitud, etc. Está relacionado con la temperatura, debido a que, cuando aumenta la temperatura, ocurre una disminución de la cantidad de oxígeno disuelto, al igual que cuando existe mayor salinidad ocurre una disminución exponencial de la concentración de oxígeno. Concentraciones bajas de oxígeno disuelto denotan contaminación e incapacidad de que el sistema fluvial pueda mantener organismos acuáticos que favorezcan la producción de oxígeno mediante la fotosíntesis, dando lugar al fenómeno llamado eutrofización, (Roldán y Ramírez, 2022, pág. 21).



**Ilustración 4-10:** Variación de concentración de OD a lo largo de la microcuenca

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

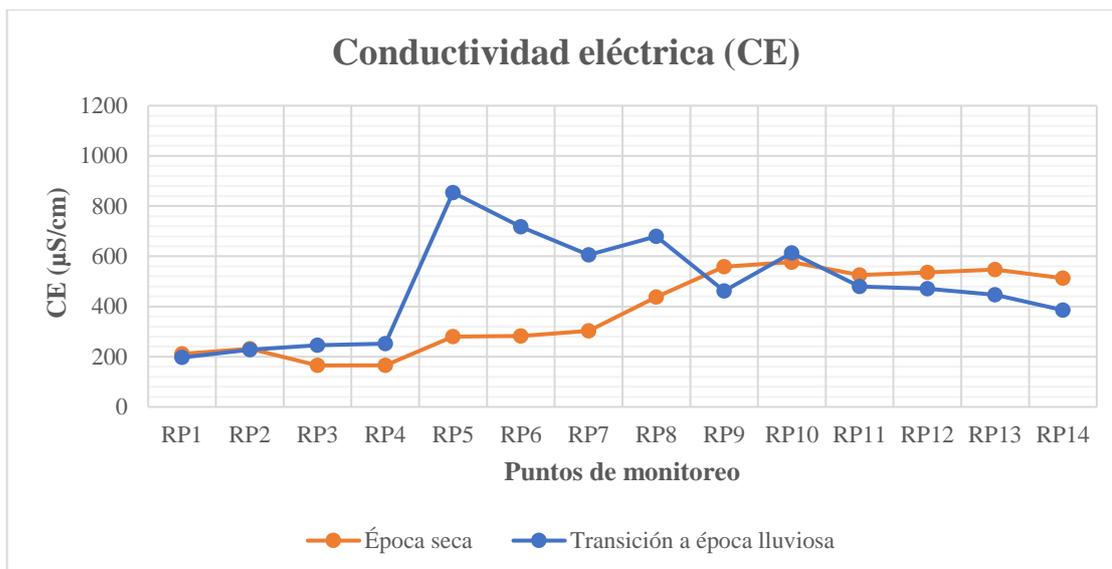
En la Ilustración 4-10 se presenta el porcentaje de oxígeno disuelto (OD) en los puntos muestreados de las dos épocas de estudio. Según (Hanna, 2018, pág. 8) a medida que la altitud aumenta, la presión atmosférica disminuye, lo que resulta en una menor concentración de oxígeno disuelto en el agua; este fenómeno se explica por la reducción de la presión parcial de oxígeno en el aire a mayores altitudes, lo que limita la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua. Sin embargo (Muñoz et al., 2015, pág. 9) menciona que a temperaturas altas, la capacidad del agua para retener oxígeno disminuye, lo que implica que en condiciones más cálidas, el agua tiene una capacidad reducida para contener oxígeno disuelto. En contraste, a temperaturas más frías, el agua puede retener más oxígeno disuelto: esto se explica por la disminución en la solubilidad del oxígeno en el agua a medida que la temperatura aumenta. En la época seca se observan puntos con una buena concentración de oxígeno disuelto como lo es el punto RP1 y RP2 de la zona de Mocha-Yanayacu a una altitud de 3475 m.s.n.m y 3356 m.s.n.m respectivamente, a pesar de la altitud a la que se encuentran el porcentaje de oxígeno disuelto es de 100.3 % en RP1 y 102.6 % en RP2, este comportamiento se debe a que estos puntos mantienen una inclinación que le permite al agua autopurificarse incorporando oxígeno y sus temperaturas están entre los 8 °C y 10.4 °C como lo indican las ilustraciones 4-6 y 4-7 . Un comportamiento contrario se puede evidenciar en el punto RP8 en Totoras-Salasaca y RP13 en Picaihua-Chiquicha la concentración de oxígeno se reduce a 71.2 % y 60 % respectivamente, la reducción de oxígeno disuelto en esos puntos se debe a que en estas zonas existe actividad agrícola y ganadera en la orillas del río que proporciona de materia orgánica; según (Muñoz et al., 2015, pág. 2) la presencia de desechos industriales, agrícolas y urbanos en el agua puede disminuir los niveles de oxígeno disuelto mediante la acción de procesos

de descomposición bacteriana, los cuales consumen oxígeno durante su actividad. Por otra parte, el contenido de oxígeno disuelto en la transición a época lluviosa se mantiene con porcentajes superiores al 80% debido al aumento del caudal, sin embargo, desde el punto RP5 en Cevallos-Quero hasta RP8 en Totoras-Salasaca su concentración disminuye con respecto a los demás puntos debido al vertido de aguas residuales y poco caudal registrado, como el caso del punto RP6 en Cevallos-Quero. Es importante mencionar que una buena cantidad de oxígeno disuelto no siempre indica agua limpia o sana, como se evidencia en el punto RP5 considerado uno de los puntos más contaminados por los vertidos directos de agua residual, cuenta con el 86.5 % y el 85.7 % en época seca y transición a época lluviosa respectivamente. Por otra parte, el punto RP6 presenta mayor concentración de oxígeno disuelto en época seca que en la transición a época lluviosa esto se debe a la diferencia de temperatura en cada época; en época seca la temperatura es menor que en la transición a época lluviosa, justificando lo que menciona (Muñoz et al., 2015, pág. 2) de que a temperaturas altas, la capacidad del agua para retener oxígeno disminuye

#### **4.2.5. Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica hace referencia a la capacidad que tiene un líquido de conducir una corriente eléctrica dependiendo de la concentración de sales disueltas que contenga, su medición es muy importante para la evaluación de calidad de agua de un cuerpo hídrico.

Sus probables causas en el aumento en de este parámetro pueden deberse a vertidos de aguas residuales urbanas e industriales y también de forma natural por la disolución iónica. Valores normales de conductividad eléctrica están entre los 30 y 60  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (o  $\mu\text{mhos}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), valores por debajo indican oligotrofia o baja producción, y valores altos indican eutrofia o alta producción, (Roldán y Ramírez, 2022, pág. 77-313).



**Ilustración 4-11:** Variación de CE a lo largo de la microcuenca

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

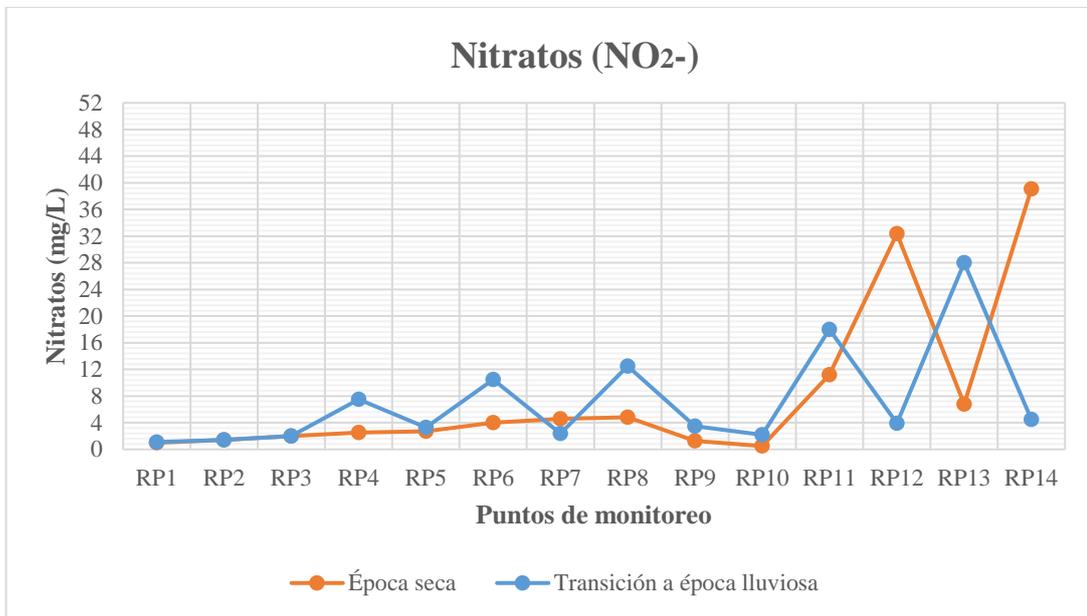
La Ilustración 4-11 se presenta los valores de conductividad eléctrica (CE) obtenidos en las dos épocas de muestreo. Se puede observar que, en la transición a época lluviosa con respecto a la época seca, los puntos RP5-RP6 (Cevallos-Quero), RP7 (Cevallos-Benitez) y RP8 (Totoras-Salasaca) experimentan un notable aumento de conductividad eléctrica (CE) correspondiente 854  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 718  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 605  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 680  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente. Este incremento se atribuye a la escorrentía que transporta sedimentos cargados de sustancias y materiales procedentes de actividades agrícolas, ganaderas, y vertidos de aguas residuales que depositan cierta concentración de sales minerales. Según (Roldán y Ramírez, 2022, pág. 4) la conductividad eléctrica en el agua de un río es resultado de la presencia de sales disueltas, minerales y otros compuestos iónicos, estas sustancias se disocian en iones cargados positiva y negativamente cuando se disuelven en el agua, son producto principalmente de aguas residuales.

En la época seca la conductividad eléctrica tiene un comportamiento accedente por la actividad antropogénica que se desarrolla a lo largo del río, mientras que en la transición a época lluviosa el caudal hace que varíe su comportamiento y eso se evidencia en los puntos descritos anteriormente.

#### 4.2.6. Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )

El Nitrato es uno de los principales nutrientes responsables de generar materia orgánica nueva en un cuerpo de agua. Naturalmente proviene de la degradación de la materia orgánica, el cual al pasar por un proceso de mineralización para que se encuentre nuevamente disponible para la

vegetación acuática, ya que es un componente esencial para su crecimiento. Sin embargo, una excesiva concentración puede generar graves problemas como lo es el de la eutrofización de ríos, lagos y embalses, provocando problemas de deficiencia de oxígeno en el fondo (Roldán y Ramírez, 2022, pág. 2).



**Ilustración 4-12:** Variación de la concentración de Nitratos a lo largo de la microcuenca

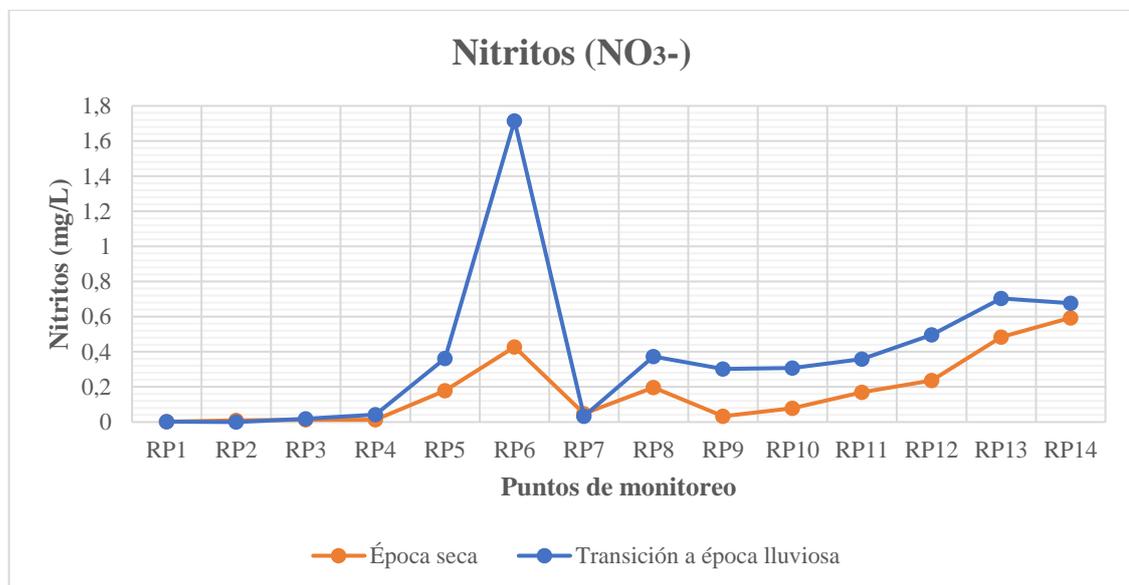
Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La Ilustración 4-12 presenta los valores de Nitratos obtenidos del análisis de las muestras de cada punto de muestreo tanto en época seca como en la transición a época lluviosa. Se observa que en la época seca los puntos RP12 y RP14 pertenecientes a las áreas de Picaihua-Rosario y Picaihua-Chiquicha alcanzan concentraciones muy altas correspondientes a 32.4 mg/L y 39.1 mg/L respectivamente; según (Bolaños et al., 2017, pág. 3) existen dos principales rutas de ingreso de nitrógeno a un cuerpo hídrico, la primera está asociada con el vertido de aguas residuales urbanas e industriales, tanques sépticos, descargas de lixiviado por el lavado de corrales ganaderos, residuos animales y también por las descargas de la emisión de gases de vehículos, y la segunda está asociada directamente con la actividad agrícola; el punto RP12 al estar expuesto a constantes descargas de aguas residuales ha adquirido dicha concentración, mientras que el punto RP14 al ser el último y estar ubicado en una zona agrícola presenta mayor concentración de Nitratos que los demás puntos. En cuanto a la transición a época lluviosa los puntos RP4, RP6, RP8, RP11 y RP13 ubicadas entre las zonas de Cevallos-Quero, Totoras-Salasaca, Picaihua-Salasaca y Picaihua-Chiquicha aumentaron significativamente su concentración de Nitratos con respecto a la época seca. Siendo su concentración de 7.5 mg/L en RP4, 10.5 mg/L en RP6, 12.5 mg/L en RP8, 18 mg/L en RP11 y 28 mg/L en RP13, este comportamiento se le atribuye a un descenso de

caudal en esta época en especial el punto RP6 que cuenta con un caudal de 0.002 m<sup>3</sup>/s, este flujo menor hace que la concentración de Nitratos en el agua aumente debido a una menor dilución, esta pérdida de caudal se debe a las captaciones utilizadas para riego de cultivos (Arreghini et al., 2005, pág. 4). El aumento de concentración en los puntos restantes se debe a la acumulación de Nitratos en los sedimentos que se depositan en piscinas naturales.

#### 4.2.7. Nitritos (NO<sub>2</sub>-)

La presencia de Nitritos en un cuerpo de agua es un indicador de contaminación por materia fecal proveniente de excretas animales, aguas residuales domesticas e industriales. Valores entre 0.1 y 0.9 mg/l pueden presentar problemas de toxicidad dependiendo del pH, llegando así a perjudicar la vida acuática, (Roldán y Ramírez, 2022, pág. 338-341).



**Ilustración 4-13:** Variación de la concentración de Nitritos a lo largo de la microcuenca

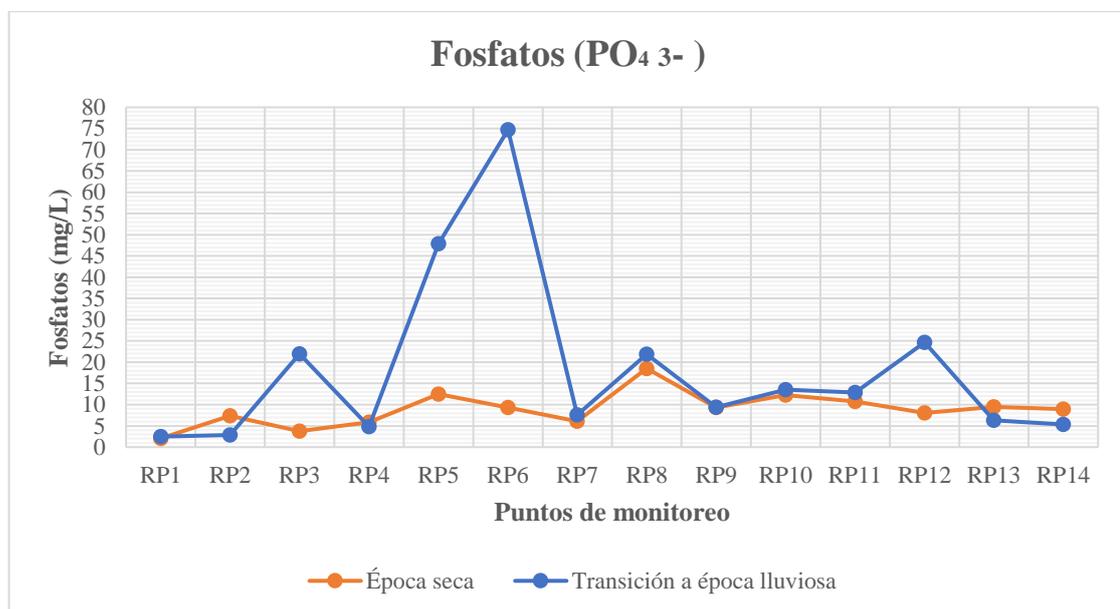
**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La Ilustración 4-13 exhibe los valores de Nitritos obtenidos del análisis de las muestras de cada punto de muestreo tanto en época seca como en la transición a época lluviosa. Se observa un notable aumento en la concentración de Nitritos en la mayoría de los puntos de la segunda época de muestreo con respecto a la época seca, como es el caso de los puntos RP5 de 0.179 a 0.363 mg/L, RP6 de 0.428 a 1.715 mg/L, RP8 de 0.197 a 0.374 mg/L, RP9 de 0.034 a 0.303 mg/L, RP10 de 0.079 a 0.307 mg/L, RP11 de 0.169 a 0.359 mg/L, RP12 de 0.237 a 0.497 mg/L, RP13 de 0.484 a 0.704 mg/L y RP14 de 0.594 a 0.677 mg/L. Según (Roldán y Ramírez, 2022, pág. 338-341), la existencia de Nitritos en el agua guarda una estrecha relación con la presencia de Nitratos. Los Nitratos, compuestos químicos formados de Nitrógeno y Oxígeno, pueden transformarse en

Nitritos en determinadas condiciones, como cuando están expuestos a la actividad bacteriana. En este caso el aumento de Nitritos en los puntos señalados refleja una alta concentración de Nitratos como lo muestra el Ilustración 15-4, a más de ello, puntos como el RP5, RP10 y RP12 presentan vertidos de aguas residuales, focos de poblaciones microbianas. Tanto en época seca como en transición a época lluviosa el comportamiento de los Nitritos es muy similar. Sin embargo, el punto RP6 en la segunda época de muestreo es el que mayor concentración de Nitratos tienen con respecto a la época seca. Al igual que en los Nitratos este punto presenta un caudal muy bajo lo que hace que la concentración de Nitritos no se disuelva y al contrario aumente.

#### 4.2.8. Fosfatos ( $PO_4^{3-}$ )

El fosfato es un nutriente que favorece el crecimiento vegetativo, es decir que, al existir una elevada concentración de Fosfatos en el agua, existirá un crecimiento desmedido de algas que afectara directamente al porcentaje de oxígeno presente en el agua lo que conlleva a una mayor tasa de descomposición, acelerando el proceso de eutrofización. El desarrollo de vegetación por presencia de Fosfatos indica un foco de contaminación orgánica provocada por descargas de aguas negras o por nutrientes provenientes de campos agrícolas (Bolaños et al., 2017, pág. 3).



**Ilustración 4-14:** Variación de la concentración de Fosfatos a lo largo de la microcuenca

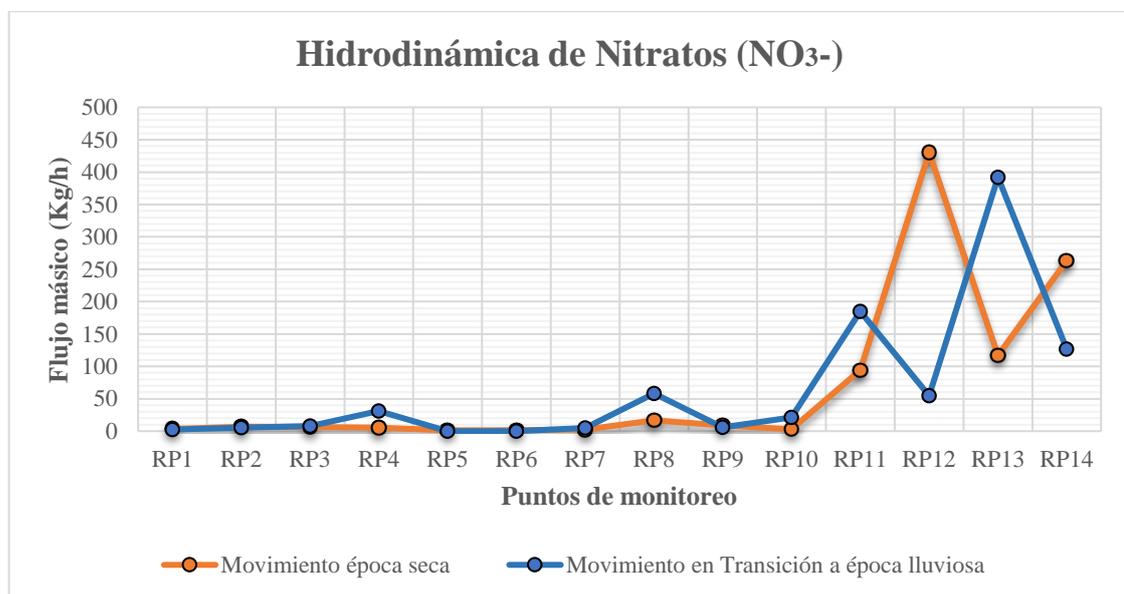
Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La Ilustración 4-14 presenta los valores de Fosfatos obtenidos del análisis de las muestras de cada punto de muestreo tanto en época seca como en la transición a época lluviosa. Se puede observar un incremento en la concentración de Fosfatos en la época lluviosa con respecto a la época seca

en puntos como el RP3 en Mocha-Yanayacu, RP5-RP6 en Cevallos-Quero, RP8 en Totoras-Salasaca y RP12 en Picaihua-Salasaca, alcanzando valores máximos de 47.9 y 74.7 mg/l en el punto RP5 y RP6 respectivamente; según (Pérez et al., 2019, pág. 7) la existencia de Fosfatos en el agua puede originarse por la liberación de aguas residuales y la aplicación de fertilizantes agrícolas, lo que puede promover la eutrofización y un exceso de crecimiento de algas en el agua. Además, factores como la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica pueden también desempeñar un papel en la fluctuación de la concentración de Fosfatos; el punto RP6 en la transición a época lluviosa presenta una temperatura de agua de 14.3 °C sumado la falta de caudal promueve la descomposición de la materia orgánica que liberar Fosfatos al agua. A demás las elevadas concentraciones de Fosfatos en las dos épocas de muestreo se deben a que a lo largo del río Pachanlica se desarrollan actividades como la agricultura, ganadería, recreación y también vertido de aguas residuales de tipo urbana e industrial. Este parámetro es un punto crítico para tratar de evitar el desarrollo de vegetación acuática y un posible fenómeno de eutrofización.

#### 4.3. Análisis hidrodinámico de los nutrientes

##### 4.3.1. Hidrodinámica de Nitratos (NO<sub>3</sub>-)



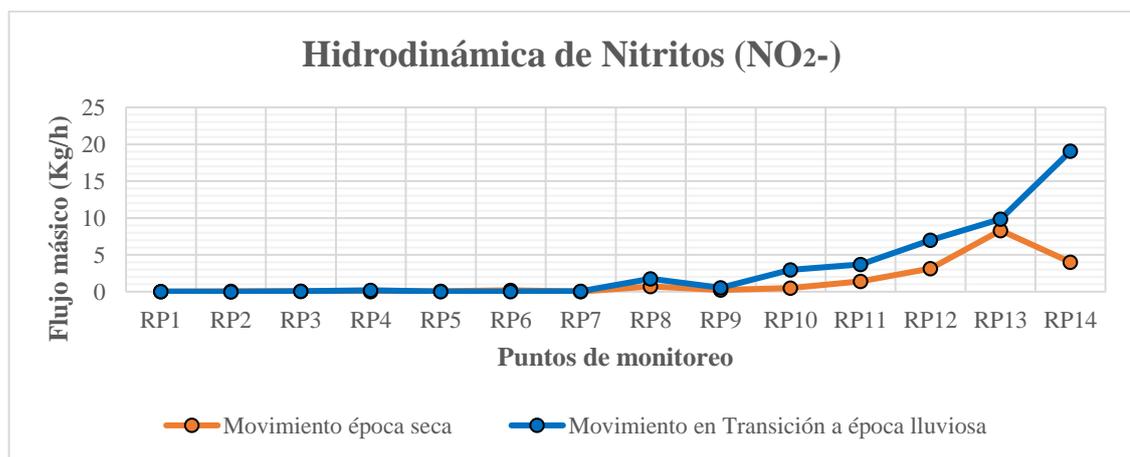
**Ilustración 4-15:** Movimiento de Nitratos

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La Ilustración 4-15 ilustra el comportamiento del flujo de Nitratos en las dos épocas de muestreo. En época seca del punto RP12 al RP13 ocurre una disminución de la carga nitratos de 430 kg/h a 116.7 kg/h debido a que en este punto se presentaron deslizamiento de tierra hacia el río lo que impidió la movilización de la carga pese a que presenta un caudal de 3.69 m<sup>3</sup>/s, del

RP13 al RP14 existe un aumento del flujo de carga de Nitratos ya que el caudal asciende a 4.77 m<sup>3</sup>/s en RP13 movilizándolo al último punto. El comportamiento de los Nitratos en época seca es inverso al de transición a época lluviosa, este comportamiento se ve influenciado por la temperatura del agua; altas temperaturas en época seca catalizan las reacciones aumentando la concentración de Nitratos, (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 3). En transición a época lluviosa ocurre un comportamiento opuesto con respecto a la época seca, se reduce la movilización de la carga contaminante de 184.6 kg/h en RP11 a 54.75 kg/h en RP12, este comportamiento se le atribuye a la pendiente y al aumento del caudal que transportaron las cargas de este punto y las depositaron en las zonas más bajas, por tanto en RP13 se evidencio un aumento del flujo hasta los 392 Kg/h, mientras que para RP14 nuevamente disminuye llegando a 126.68 Kg/h, comportamiento atribuido al caudal de 7.82 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.3.2. Hidrodinámica de Nitritos (NO<sub>2</sub>-)



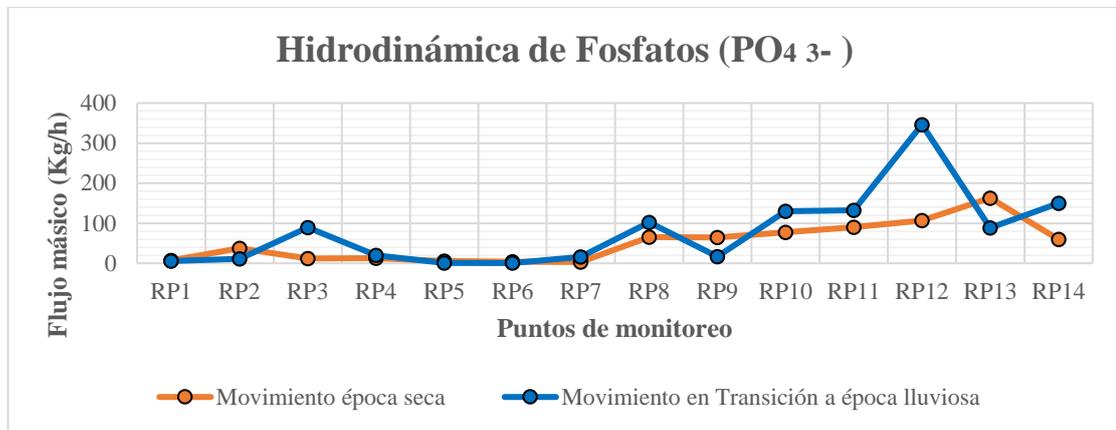
**Ilustración 4-16:** Movimiento de Nitritos

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La Ilustración 4-16 exhibe el comportamiento del flujo de Nitritos en las dos épocas de muestreo. En la transición a época lluviosa el flujo de la carga de Nitritos es la esperada ya que su crecimiento es gradual llegando a flujos de 19.05 Kg/h en RP14, ya que este punto pertenece a la zona más baja de la microcuenca donde se depositan sedimentos y otras cargas contaminantes; además en esta época la temperatura aumentó lo que permitió acelerar el proceso de nitrificación, los organismos nitrificantes pueden acelerar su proceso de nitrificación aumentando la carga de este nutriente, (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 12). Sin embargo, en época seca del punto RP13 al RP14 existe una disminución del flujo de Nitritos de 9.85 Kg/h a 3.99 Kg/h comportamiento atribuido al caudal bajo de 1.87 m<sup>3</sup>/s, lo que impide el transporte de la carga contaminante, reteniéndola en el mismo sitio. Durante la época seca, el punto con mayor flujo de carga contaminante es RP13.

La disminución del flujo de RP13 a RP14 (de 9.85 a 3.99 kg/h) se debe al bajo caudal (1.87 m<sup>3</sup>/s), lo que implica menos transporte de carga y más retención.

#### 4.3.3. Hidrodinámica de Fosfatos (PO<sub>4</sub> 3- )



**Ilustración 4-17:** Movimiento de Fosfatos

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

La Ilustración 4-17 muestra el comportamiento del flujo de Fosfatos en las dos épocas de muestreo. En época seca el movimiento de Fosfatos presenta un comportamiento ascendente hasta RP13 con un flujo de 162.96 Kg/h, sin embargo, para RP14 este flujo disminuye hasta 60.18 Kg/h, debido a que RP14 presenta un caudal bajo impidiendo la movilización de la carga de Fosfatos. Por otra parte, en la transición a época lluviosa el punto RP3 aumenta el flujo de carga de fosfatos hasta 89.21 Kg/h, este aumento se le atribuye a la formación de piscinas naturales que retienen las cargas de fosfatos, por otra parte, RP9 presenta una disminución del flujo con respecto a RP8 de 101.7 a 16.58 Kg/h, en este punto el caudal es demasiado bajo de 0.49 m<sup>3</sup>/s lo que impide un transporte efectivo de la carga de Fosfatos. En el punto RP12 aumenta el flujo de carga de fosfatos hasta 346.36 Kg/h debido a que desde el punto RP11 existe un aumento de caudal que llega a 3.90 m<sup>3</sup>/s transportando la carga hasta RP12, sin embargo en RP13 (88.7 kg/h) nuevamente se reduce pese a que su caudal es de 3.89 m<sup>3</sup>/s este comportamiento se debe a que en esta área el deslizamiento de tierra impide el flujo de fosfatos, por último, se evidencia que para RP14 (149.7 Kg/h) el flujo aumenta principalmente por el caudal de 7.82 que moviliza de forma efectiva la carga de Fosfatos. La temperatura en el punto RP12 es mayor que en RP14, según (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 2), a mayores temperaturas más retención de fosfatos; es por ello que en el último punto la concentración de este nutriente disminuye un 17.74 % con respecto al punto RP12 además de que este punto es uno de los más contaminados la carga contaminante al final es menor esto se debe a la presencia de zonas accidentadas que aumentan el flujo permitiendo que se auto purifique.

#### 4.4. Evaluación de zonas de mayor vulnerabilidad antrópica

**Tabla 4-8:** Resultados de la vulnerabilidad mediante el %IRCA en época seca

<b>% IRCA ÉPOCA SECA</b>														
<b>PUNTOS</b>	<b>RP1</b>	<b>RP2</b>	<b>RP3</b>	<b>RP4</b>	<b>RP5</b>	<b>RP6</b>	<b>RP7</b>	<b>RP8</b>	<b>RP9</b>	<b>RP10</b>	<b>RP11</b>	<b>RP12</b>	<b>RP13</b>	<b>RP14</b>
<b>PARÁMETROS</b>														
<b>NITRATOS (mg/L)</b>	1.0	1.4	2.0	2.5	2.7	4.0	4.6	4.8	1.3	0.5	11.2	32.4	6.8	39.1
<b>NITRITOS (mg/L)</b>	0.002	0.01	0.014	0.014	0.17	0.42	0.048	0.19	0.034	0.079	0.16	0.23	0.48	0.59
<b>FOSFATOS (mg/L)</b>	2.06	7.4	3.74	5.88	12.49	9.34	6.08	18.53	9.32	12.25	10.74	8.04	9.49	8.94
<b>°T_agua</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>pH</b>	8.38	8.43	8.24	8.23	7.98	7.76	7.54	7.47	8.23	8.28	8.11	7.98	5.6	5.9
<b>TDS</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>OD</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CE</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>%IRCA</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>54.5</b>	<b>54.5</b>	<b>0.0</b>	<b>54.5</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>72.7</b>	<b>72.7</b>	<b>81.8</b>	<b>100.0</b>
<b>NIVEL DE RIESGO</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Alto</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Inviabile sanitariamente</b>	<b>Inviabile sanitariamente</b>

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

En la tabla de la época seca se observó que los primeros cuatro puntos de Mocha – Yanayacu ostentan valores de 0 % del IRCA lo que implica una vulnerabilidad baja en estos puntos; lo mismo ocurre en los puntos RP7, RP9 y RP10. Valores del %IRCA que están entre 35,1 y 80 % abarcan zonas desde Cevallos – Quero, Cevallos – Benitez, Totoras – Salasaca y Picaihua – Salasaca – El Rosario (RP5, RP6, RP8, RP11, y RP12), tienen una vulnerabilidad alta o nivel de riesgo alto; por último, se observó que los puntos que mayor vulnerabilidad presentan son el RP13 Y RP14 con un porcentaje del %IRCA de 81,8% 100% respectivamente, se los catalogó como inviable sanitariamente. Es importante destacar que los Fosfatos no fueron considerados en este cálculo, puesto que sobrepasa el LMP con concentraciones máximas de 18,53 mg/L e influye directamente en la evaluación de la vulnerabilidad y puede considerarse como uno de los parámetros que más afecta en el cálculo del %IRCA; además, según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, resolución número (2115) del 22 de Junio de 2007, el Fosfato supera el 0,5 mg/L en todos los puntos de monitoreo, esto puede deberse a que el cauce principal de la microcuenca del río Pachanlica nace en las faldas del Chimborazo, estratovolcán inactivo, las rocas que se encuentran en esta zona pueden contener minerales ricos en Fosfatos y que pueden ser liberados por efecto de la erosión, el pH también influye en las concentraciones elevadas de Fosfatos y en la tabla se muestra que todos tienden a la alcalinidad, puesto que exceden el 7,5 permitiendo que este nutriente precipite y su solubilidad disminuya como lo menciona, (Carrera et al., 2020, pág. 5 ); además, se identificó que se desarrollan actividades antropogénicas como la agricultura, en la que se utiliza fertilizantes ricos en Nitrógeno y Fósforo, (Zambrano, 2018, pág. 3). Los valores de Nitritos superan el LMP de 0.1 mg/L en los puntos RP5, RP6, RP8, RP11 hasta el RP14, y en cuestión de Nitratos, LMP de 10 mg/L, los que lo exceden son el RP11, RP12 y RP14. Estos puntos situados en la parte media de la microcuenca tienen una vulnerabilidad alta, se debe al vertido de aguas residuales que es evidente en el RP5, punto bastante contaminado. En altitudes desde los 2901 hasta los 2485 msnm se evidencia una variabilidad en la vulnerabilidad, esto puede derivarse de la topografía de estas zonas en donde se presenta la mayor pendiente en el punto RP5, del punto RP6 al RP7 el valor de la pendiente va desde los 30° hasta los 10° aproximadamente, consideradas como zonas con pendientes fuerte y/o medianamente accidentadas, lo que mejora la calidad del agua; lo mismo ocurre con el tramo desde el punto RP8 hasta el RP9, que tiene pendientes fuerte accidentadas y lo que ocurre en los puntos donde la vulnerabilidad pasa de sin riesgo a alto, se le atribuye la presencia de población y empresas que descargan sus vertidos directamente en el río, provocando un aumento en la cantidad de nutrientes y disminuyendo su capacidad de resiliencia, (Santamarta, 2013, pág. 96). Por último, en los puntos RP13 y RP14 que se sitúan en la parte baja de microcuenca, que comprenden las zonas de Picaihua – Chiquicha, se acumula toda la carga contaminante y se los cataloga como los más vulnerables.

**Tabla 4-9:** Resultados de la vulnerabilidad mediante el %IRCA en transición a época lluviosa

<b>% IRCA TRANSICIÓN A ÉPOCA LLUVIOSA</b>														
<b>PUNTOS</b>	<b>RP1</b>	<b>RP2</b>	<b>RP3</b>	<b>RP4</b>	<b>RP5</b>	<b>RP6</b>	<b>RP7</b>	<b>RP8</b>	<b>RP9</b>	<b>RP10</b>	<b>RP11</b>	<b>RP12</b>	<b>RP13</b>	<b>RP14</b>
<b>PARÁMETROS</b>														
<b>NITRATOS (mg/L)</b>	1.1	1.4	2.0	7.5	3.3	10.5	2.4	12.5	3.5	2.2	18.0	3.9	28.0	4.5
<b>NITRITOS (mg/L)</b>	0.003	0.000	0.019	0.042	0.36	1.71	0.034	0.37	0.30	0.30	0.35	0.49	0.70	0.67
<b>FOSFATOS (mg/L)</b>	2.49	2.87	21.93	4.78	47.9	74.7	7.58	21.9	9.40	13.5	12.89	24.67	6.33	5.32
<b>°T_agua</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>pH</b>	8.4	8.4	8.52	8.46	8.45	8.02	7.15	8.4	8.4	8.5	8.08	8.03	8.12	8.27
<b>TDS</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>OD</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CE</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>%IRCA</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>54.5</b>	<b>72.7</b>	<b>0.0</b>	<b>72.7</b>	<b>54.5</b>	<b>54.5</b>	<b>72.7</b>	<b>54.5</b>	<b>72.7</b>	<b>54.5</b>
<b>NIVEL DE RIESGO</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Sin Riesgo</b>	<b>Alto</b>						

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

En la tabla de la transición a época lluviosa se observó que los primeros cuatro puntos que comprenden la zona de Mocha – Yanayacu ostentan valores de 0 % del IRCA lo que implica una vulnerabilidad baja en estos puntos; lo mismo ocurre en el punto RP7 que corresponden Cevallos – Benitez. Los valores del IRCA que están entre 35.1 y 80 % abarcan zonas desde Cevallos – Quero, Cevallos – Benitez, Totoras – Salasaca y Picaihua – Salasaca – El Rosario – Chiquicha, correspondientes a los puntos RP5, RP6 y RP8 hasta el RP14, tienen una vulnerabilidad alta; por último, se observó que ningún punto es catalogado como inviable sanitariamente en esta época. Es importante destacar que los Fosfatos no fueron considerados en este cálculo, puesto que sobrepasa el LMP con concentraciones máximas de 74.7 mg/L e influye directamente en la evaluación de la vulnerabilidad y puede considerarse como uno de los parámetros que más afecta en el cálculo del IRCA; además, según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, resolución número (2115) del 22 de Junio de 2007 el nutriente que no cumple con el LMP de concentración en agua es el Fosfato puesto que supera el 0,5 mg/L en todos los puntos de monitoreo, esto puede deberse a que el cauce principal de la microcuenca del río Pachanlica nace en las faldas del Chimborazo, estratovolcán inactivo, las rocas presentes en estas zonas pueden contener minerales ricos en Fosfatos que pueden ser liberados por la erosión, el pH influye en las concentraciones elevadas de Fosfatos y en la tabla se muestra que todos los puntos superan un valor de 8 lo que indica que tienden a la alcalinidad ocasionando que este nutriente precipite y su solubilidad disminuya como lo menciona (Carrera et al., 2020, pág. 6); además, se identificó que se desarrollan actividades antropogénicas como la agricultura, en la que se utiliza fertilizantes ricos en Nitrógeno y Fósforo, (Zambrano, 2018, pág. 2). Los valores de Nitritos rebasan el LMP de 0.1 mg/L en los puntos RP5, RP6, RP8 hasta el RP14, y en cuestión de Nitratos, LMP de 10 mg/L, los que los superan son el RP6, RP8, RP11 y RP13. Estos puntos situados en la parte media – baja de la microcuenca tienen una vulnerabilidad alta excepto en el RP7 que tiene una vulnerabilidad media, en los demás puede deberse a los vertidos de agua residual que es notable en los demás puntos. En el aliviadero del punto RP7 se utilizan detergentes lo que aumentan la concentración de nutrientes en el agua, que se corrobora con el valor alto de vulnerabilidad del punto RP8 en adelante. Desde el RP8 hasta el RP14 se evidencia un comportamiento constante en la vulnerabilidad a pesar de que hay un aumento en el caudal en esta época y la topografía es variable predominando pendientes fuerte y/o moderadamente accidentadas con valores de 30° hasta los 10° aproximadamente, lo que implicaría una mejora la calidad del agua pero esta se mantiene con un nivel alto; por lo que, se le atribuye que hay población y empresas que descargan sus vertidos directamente en el río, provocando un aumento en la cantidad de nutrientes y disminuyendo su capacidad de resiliencia, (Santamarta, 2013, pág. 96).

En ambas épocas se encuentran valores de vulnerabilidad media y alta, predominando la última mencionada, se observó que en la tabla de transición a época lluviosa no hubo una vulnerabilidad catalogada como inviable sanitariamente; en cambio en la época seca sí se presenta, esto puede deberse al aumento del 22% de la precipitación en la transición a época lluviosa permitiendo un transporte de nutrientes más efectivo que en la época seca, mejorando el proceso de autodepuración del agua por su topografía fuerte y/o moderadamente accidentada; así mismo la temperatura aumentó un 5% esto actúa como un catalizador en las reacciones, específicamente en el proceso de nitrificación.

**Tabla 4-10:** Resultados de la vulnerabilidad mediante el IPC en ambas épocas de muestreo

<b>CRITERIOS ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA CE-CCA-001/89</b>				
<b>Puntos</b>	<b>IPC época seca</b>		<b>IPC Transición a época lluviosa</b>	
	<b>Fuente de abastecimiento de agua potable</b>	<b>Categoría</b>	<b>Fuente de abastecimiento de agua potable</b>	<b>Categoría</b>
RP1	0.1	Limpio	0.1	Limpio
RP2	0.2	Limpio	0.1	Limpio
RP3	0.3	Sub limpio	0.3	Sub limpio
RP4	0.3	Sub limpio	0.8	Poco contaminado
RP5	1.4	Medianamente contaminado	2.8	Muy contaminado
RP6	3.2	Muy contaminado	12.3	Muy contaminado
RP7	0.7	Poco contaminado	0.5	Poco contaminado
RP8	1.7	Medianamente contaminado	3.4	Muy contaminado
RP9	0.4	Sub limpio	2.3	Muy contaminado
RP10	0.7	Poco contaminado	2.3	Muy contaminado
RP11	2.0	Medianamente contaminado	3.7	Muy contaminado
RP12	3.8	Muy contaminado	3.7	Muy contaminado
RP13	3.7	Muy contaminado	6.6	Muy contaminado
RP14	6.7	Muy contaminado	4.9	Muy contaminado

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

En la tabla se indica la clasificación de la microcuenca del río Pachanlica, según el Índice de Peligrosidad de Contaminación (IPC), para ello se hizo uso de los límites máximos permisibles del Acuerdo CE-CCA-001/89, publicado en el Diario Oficial de la Federación de México, que establece los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua con el fin de proteger la salud de los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad, (SEDUE, 1989, pág.6). Es importante destacar que los Fosfatos no fueron considerados para el cálculo, debido a que sobrepasa el LMP con concentraciones máximas de 18.53 mg/L en época seca y en transición a época lluviosa de 74.7 mg/L e influye directamente en la evaluación de la vulnerabilidad y puede considerarse como el parámetro de mayor peso en el cálculo del IPC, dando como resultado que cada uno de los puntos de monitoreo se categoricen como muy contaminados por su elevada concentración. Su elevada concentración a lo largo del río Pachanlica se le atribuye a que la microcuenca nace en las faldas del Chimborazo, estratovolcán inactivo, las rocas que se encuentran en esta zona pueden contener minerales ricos en Fosfatos y que pueden ser liberados por efecto de la erosión, el pH también influye en las concentraciones elevadas de Fosfatos y a que todos tienden a la alcalinidad, puesto que exceden el rango de neutralidad, permitiendo que este nutriente precipite y su solubilidad disminuya como lo menciona, (Carrera et al., 2020, pág. 5). A más de ello las elevadas concentraciones de fosfatos en las dos épocas de muestreo se deben a que a lo largo del río Pachanlica se desarrollan actividades como la agricultura, ganadería, recreación y también vertido de aguas residuales de tipo urbana e industrial lo que aumenta la concentración de fosfatos; hay que recordar que este nutriente favorece el crecimiento vegetativo; considerándolo como un parámetro crítico que se debe considerar ya que elevadas concentraciones aceleran el proceso de eutrofización, (Bolaños et al, 2017, pág. 4).

En la época seca se observó que de acuerdo a los criterios de calidad para fuentes de abastecimiento de agua potable los puntos RP1 y RP2 se mantienen en una categoría de agua limpia debido a que estos puntos se encuentran más cercanos al nevado Chimborazo donde no existe tanta actividad antropogénica mientras que el punto RP3 Y RP4 se clasifican como agua Sub limpia ya que en estas zonas existen áreas de pastoreo lo que perjudica la calidad del agua; lo mismo ocurre en el punto RP9 con una clasificación de Sub limpia, este punto se encuentra en un área con presencia de vertientes que desembocan en el río Pachanlica mejorando noblemente su calidad. Por otra parte, los puntos que están dentro de la categoría de poco contaminados son el RP7 y RP10, ya que en esta área existe mucha actividad antropogénica como el caso del RP7 que lo utilizan para lavar ropa y cualquier material, y el RP10 donde existe un desfogue de agua residual. Los puntos considerados como medianamente contaminados son el RP5, RP8 y RP11, aquí existe mayor actividad ya que son puntos vulnerables por la presencia de ganadería, agricultura y vertido de aguas residuales. Finalmente, los puntos clasificados como muy

contaminados son el RP6 y de PR12 a RP14, ya que estos últimos pertenecen a zonas bajas donde se acumula la mayor parte de contaminantes, además esta zona es considerada agrícola. Evidentemente el agua de río de estos puntos no es apta para el uso y consumo humano. En la transición a época lluviosa se observa que al igual que en la época seca los dos primeros puntos se mantienen en una categoría de limpia, sin embargo, el punto RP5, RP6 y RP8 hasta RP14 se categorizan como aguas muy contaminadas ya que con el aumento del caudal al igual de los efluentes de las industrias y vertido de aguas residuales sobrecargan al sistema hídrico en los puntos mencionados.

- **Análisis comparativo entre el IRCA y el IPC**

De acuerdo con el índice de riesgo de calidad de agua %IRCA en época seca los puntos que presentan un riesgo para el ser humano es de RP5, RP6, RP8 y desde el RP11 hasta el RP14; mientras que en la transición a época lluviosa a más de dichos puntos se suman el RP9 y RP10, estas zonas son focos de vulnerabilidad por su riesgo alto; siendo considerada un agua poco provechosa para potabilización y otros usos afines, ya que perjudica la seguridad alimentaria; es necesario mencionar que los demás puntos no citados presentan un riesgo bajo; sin embargo hay que considerar la concentración excesiva de fosfatos no incluida en el cálculo, por lo que los puntos más seguros se consideran al RP1 y RP2 por su cercanía al nevado Chimborazo. Por otra parte, mediante el índice integral de contaminación IPC existen solo dos puntos tanto en época seca como en transición a época lluviosa que pueden ser útiles para potabilización sin tomar en cuenta la concentración de fosfatos; estos puntos son el RP1 y RP2; mientras que los demás puntos están catalogados como sub limpio, poco contaminado y medianamente contaminado; por otra parte los puntos que se categorizan como muy contaminados en época seca son el RP6, RP12, RP13 y RP14; y en época lluviosa el RP5, RP6 y del RP8 al RP14. La mayor parte de puntos no son aptas para potabilización y existe un extremado riesgo de vulnerabilidad en los últimos puntos de la microcuenca; el contacto y uso para el cultivo de alimentos de estas aguas son un potencial peligro para la salud humana.

#### **4.5. Análisis estadístico, correlación de las variables oxígeno disuelto y nutrientes**

De acuerdo a la naturaleza de los datos inicialmente se realizó una prueba de normalidad denominada test de Shapiro-wilks, para determinar si los datos tienen una distribución normal. Y posteriormente el análisis de correlación de las variables Oxígeno Disuelto, Nitratos, Nitritos y Fosfatos, tanto en época seca y transición a época lluviosa.

#### 4.5.1. Análisis estadístico época seca

**Tabla 4-11:** Hipótesis de normalidad, época seca

<b>Oxígeno disuelto (OD)</b>	
$H_0$ : La variable OD cumple con el supuesto de normalidad	$H_1$ : La variable de estudio OD no cumple con el supuesto de normalidad.
<b>Nitrato (NO3)</b>	
$H_0$ : La variable Nitratos cumple con el supuesto de normalidad	$H_1$ : La variable de estudio Nitratos no cumple con el supuesto de normalidad.
<b>Nitrito (NO2)</b>	
$H_0$ : La variable Nitritos cumple con el supuesto de normalidad	$H_1$ : La variable de estudio Nitritos no cumple con el supuesto de normalidad.
<b>Fosfato (PO4)</b>	
$H_0$ : La variable Fosfatos cumple con el supuesto de normalidad	$H_1$ : La variable de estudio Fosfatos no cumple con el supuesto de normalidad.

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Teniendo en cuenta el nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , las hipótesis planteadas en la tabla, nos darán a conocer si existe o no una distribución normal de los datos, que nos permita determinar que método de correlación utilizar.

**Tabla 4-12:** Resultados de la prueba de normalidad, época seca

<b>Prueba de normalidad</b>	<b>Oxígeno disuelto (OD)</b>	<b>Nitrato (NO3)</b>	<b>Nitrito (NO2)</b>	<b>Fosfato (PO4)</b>
<b>W</b>	0.92649	0.6312	0.83512	0.95636
<b>p-value</b>	0.2722	7.804e-05	0.01404	0.663

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

De acuerdo a la tabla de hipótesis y los resultados de normalidad obtenidos con el método de Shapiro-Wilks, se plantea la siguiente afirmación; Si el p-value es mayor que el nivel de significancia no se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ , caso contrario se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ .

- **Decisión estadística**

**OD:** Puesto que el p-value (0.2722) es mayor que el nivel de significancia (0.05) se debe aceptar la hipótesis nula por lo tanto se define que los datos de la variable OD cumplen con normalidad.

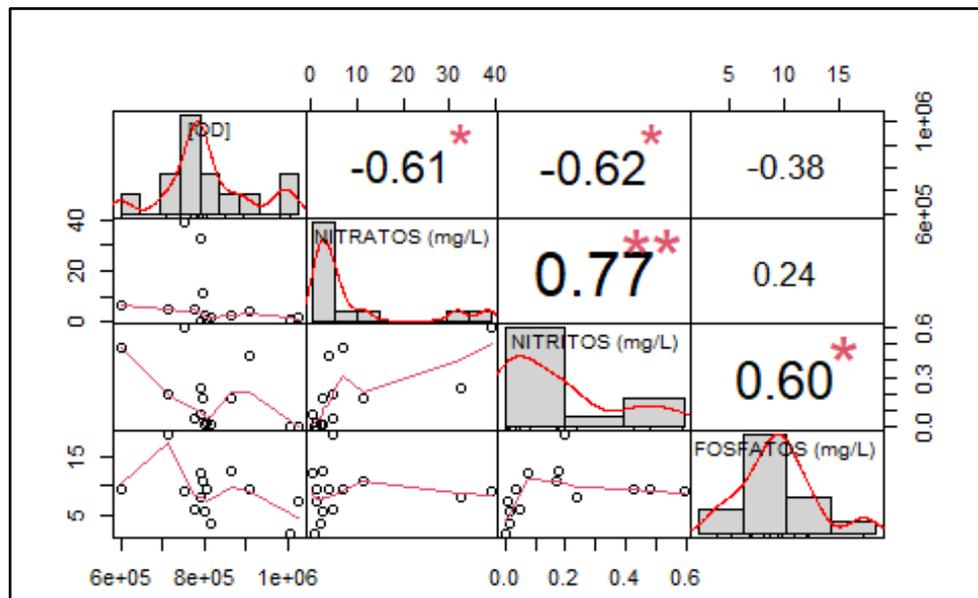
**Nitratos:** Puesto que el p-value ( $7.804 \times 10^{-5}$ ) es menor que el nivel de significancia (0.05) se debe aceptar la hipótesis alternativa por lo tanto se define que los datos de la variable NITRATOS no cumplen con normalidad.

**Nitritos:** Puesto que el p-value (0.01404) es menor que el nivel de significancia (0.05) se debe aceptar la hipótesis alternativa por lo tanto se define que los datos de la variable NITRITOS no cumplen con normalidad.

**Fosfatos:** Puesto que el p-value (0.663) es mayor que el nivel de significancia (0.05) se debe aceptar la hipótesis nula por lo tanto se define que los datos de la variable FOSFATOS cumplen con normalidad.

### Correlación de los datos mediante el método de SPEARMAN

Puesto que las variables Nitratos y Nitritos tienen datos que no provienen de una distribución normal, se determina que se usará el coeficiente de correlación de Spearman.



**Ilustración 4-18:** Correlación de nutrientes, época seca

**Realizado por:** Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

De acuerdo con el estudio de correlación se puede notar que la variable Oxígeno Disuelto presenta una relación negativa moderada con respecto a los Nitratos ya que su coeficiente de correlación es de -0.61, de igual forma se identifica una correlación negativa moderada entre la variable Oxígeno Disuelto y los Nitritos con un coeficiente de -0.62; según (Nuñez, 2006, pág. 6) la

concentración de Oxígeno disuelto en el agua tiene una relación inversa con la concentración de Nitritos y Nitratos, menciona que el Oxígeno disuelto es esencial para el proceso de nitrificación, en el cual los Nitratos se convierten en Nitritos en presencia de Oxígeno. Por lo tanto, niveles más altos de Oxígeno Disuelto del que se utiliza para la nitrificación está relacionado con concentraciones más bajas de Nitritos y Nitratos, y viceversa. Por tal razón en la época seca podemos observar correlaciones muy cercanas -1; el Oxígeno Disuelto en esta época se encuentra muy variable, desde el 60 % a un 102.6 %, predominando concentraciones bajas. Por otra parte, se puede notar que entre la variable Oxígeno Disuelto y los Fosfatos existe una correlación negativa baja, con un coeficiente de correlación de -0.38, este resultado, según (Nuñez, 2006, pág. 34) depende directamente de factores como la actividad antropogénica y del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos tales como la temperatura y el pH que favorecen la concentración de Fosfatos; según (Acosta y Gorozabel, 2021, pág. 12) a mayor temperatura existe mayor retención de Fosfatos y viceversa; mientras que (Carrera et al., 2020, pág. 13) menciona que en aguas con pH alcalino, los Fosfatos se precipitan en forma de sales insolubles, lo que disminuye su concentración; con esta información se corrobora el resultado de la correlación ya que en esta época la temperatura llega hasta los 18.7 °C y el pH en muchos puntos se mantienen en la alcalinidad y neutralidad. Con estos resultados se puede identificar que la variable Oxígeno Disuelto presenta una relación inversamente proporcional con los Nutrientes. Esto quiere decir que a medida que el Oxígeno disuelto aumenta la cantidad de nutrientes se ve reducida (o al aumentar la cantidad de nutrientes en un cuerpo de agua la cantidad de Oxígeno disuelto reduce). Por otra parte, la gráfica nos muestra una correlación positiva muy alta y fuerte entre la variable Nitritos y Nitratos, con un valor de 0.77, esto se debe a que la formación de Nitritos se depende de los Nitratos.

- **ANOVA de los Nutrientes respecto al Oxígeno Disuelto**

**Tabla 4-13:** Análisis ANOVA de los nutrientes respecto al Oxígeno Disuelto, época seca

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F-value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Nitratos (mg/L)</b>	1	2.757e+12	2.757e+12	15.522	0.002313 **
<b>Nitritos (mg/L)</b>	1	1.168e+12	1.168e+12	6.579	0.026288 *
<b>Fosfatos (mg/L)</b>	1	3.619e+12	3.619e+12	20.374	0.000881 ***
<b>Residuals</b>	11	1.954e+12	1.776e+11		
<b>Signif. codes</b>	0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

En la gráfica de correlación se pudo observar que los tres tipos de nutrientes estudiados presentan correlaciones inversamente proporcionales, siendo estas aceptables, lo que indica que la

concentración de Oxígeno Disuelto en el río Pachanlica se ve reducida por la cantidad de nutrientes en el cuerpo hídrico, por otra parte, efectuando el análisis de varianzas (ANOVA) se ha logrado identificar que los nutrientes que mayor significancia tienen en época seca son los FOSFATOS.

#### 4.5.2. Análisis estadístico, transición a época lluviosa

**Tabla 4-14:** Hipótesis de normalidad, transición a época lluviosa

<b>Oxígeno Disuelto (OD)</b>	
$H_0$ : La variable OD cumple con el supuesto de normalidad	$H_1$ : La variable de estudio OD no cumple con el supuesto de normalidad.
<b>Nitrato (NO3)</b>	
$H_0$ : La variable Nitratos cumple con el supuesto de normalidad	$H_1$ : La variable de estudio Nitratos no cumple con el supuesto de normalidad.
<b>Nitrito (NO2)</b>	
$H_0$ : La variable Nitritos cumple con el supuesto de normalidad	$H_1$ : La variable de estudio Nitritos no cumple con el supuesto de normalidad.
<b>Fosfato (PO4)</b>	
$H_0$ : La variable Fosfatos cumple con el supuesto de normalidad	$H_1$ : La variable de estudio Fosfatos no cumple con el supuesto de normalidad.

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

Teniendo en cuenta el nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , las hipótesis planteadas en la tabla, nos darán a conocer si existe o no una distribución normal de los datos, que nos permita determinar que método de correlación utilizar.

**Tabla 4-15:** Resultados de la prueba de normalidad transición a época lluviosa

<b>Prueba de normalidad</b>	<b>Oxígeno Disuelto (OD)</b>	<b>Nitrato (NO3)</b>	<b>Nitrito (NO2)</b>	<b>Fosfato (PO4)</b>
<b>W</b>	0.87448	0.76444	0.7659	0.74597
<b>p-value</b>	0.04852	0.001874	0.001948	0.001155

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

De acuerdo a la tabla de hipótesis y los resultados de normalidad obtenidos con el método de Shapiro-Wilks, se plantea la siguiente afirmación; Si el p-value es mayor que el nivel de significancia no se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ , caso contrario se rechaza la hipótesis nula  $H_0$ .

- **Decisión estadística**

**OD:** Puesto que el p-value (0.04852) es menor que el nivel de significancia (0.05) se debe rechazar la hipótesis nula por lo tanto se define que los datos de la variable OD no cumplen con normalidad.

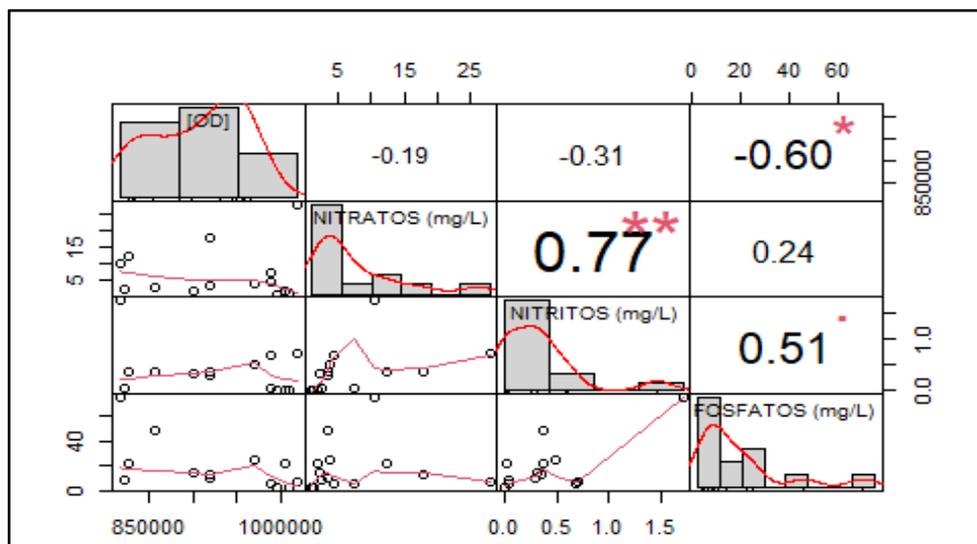
**Nitratos:** Puesto que el p-value (0.001874) es menor que el nivel de significancia (0.05) se debe aceptar la hipótesis alternativa por lo tanto se define que los datos de la variable NITRATOS no cumplen con normalidad.

**Nitritos:** Puesto que el p-value (0.001948) es menor que el nivel de significancia (0.05) se debe aceptar la hipótesis alternativa por lo tanto se define que los datos de la variable NITRITOS no cumplen con normalidad.

**Fosfatos:** Puesto que el p-value (0.001155) es menor que el nivel de significancia (0.05) se debe rechazar la hipótesis nula por lo tanto se define que los datos de la variable FOSFATOS no cumplen con normalidad.

- **Correlación de los datos mediante el método de SPEARMAN**

Puesto que las variables tienen datos que no provienen de una distribución normal, se determina que se usará el coeficiente de correlación de Spearman.



**Ilustración 4-19:** Correlación de nutrientes, transición a época lluviosa

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

De acuerdo con el estudio de correlación se puede notar que la variable Oxígeno Disuelto presenta una correlación negativa baja con respecto a los Nitratos ya que su coeficiente de correlación es de -0.19, por otra parte, se identifica una correlación negativa baja entre la variable Oxígeno Disuelto y los Nitritos con un coeficiente de -0.31; según (Nuñez, 2006, pág. 2) la concentración de Oxígeno Disuelto en el agua tiene una relación inversa con la concentración de Nitritos y Nitratos, menciona que el Oxígeno Disuelto es esencial para el proceso de nitrificación, sin embargo niveles más altos de Oxígeno Disuelto del que se utiliza para la nitrificación está relacionado con concentraciones más bajas de Nitritos y Nitratos. Por tales razones se observa correlaciones bajas ya que en esta época por acción de las precipitaciones hay aumento del caudal lo que da lugar a mayor concentración de Oxígeno Disuelto, manteniéndose en un rango del 81.6 % al 102 % de Oxígeno Disuelto, mientras la concentración de Nitratos y Nitritos disminuye. Por otra parte, se puede observar que entre la variable Oxígeno Disuelto y los Fosfatos existe una correlación negativa moderada ya que se obtuvo un coeficiente de correlación de -0.60, este resultado se le atribuye principalmente a la actividad antropogénica que se desarrolla a lo largo del río ya que no presenta las mismas condiciones que en la época seca, hay que recordar que la concentración de Fosfatos depende de múltiples factores, incluyendo las condiciones específicas y la interacción con otros parámetros fisicoquímicos del agua, (Carrera et al., 2020, pág. 22). Con estos resultados se puede identificar que la variable Oxígeno Disuelto presenta una relación inversamente proporcional con los Nutrientes. Esto quiere decir que a medida que el Oxígeno Disuelto aumenta la cantidad de nutrientes se ve reducida (o al aumentar la cantidad de nutrientes en un cuerpo de agua la cantidad de Oxígeno Disuelto reduce). Por otra parte, la gráfica nos muestra una correlación muy fuerte entre la variable Nitritos y Nitratos, con un valor de 0.77, esto se debe a que la formación de Nitritos depende de los Nitratos.

- **ANOVA de los Nutrientes respecto al oxígeno disuelto**

**Tabla 4-16:** Análisis ANOVA de los nutrientes respecto al OD, transición a época lluviosa

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F-value</b>	<b>Pr(&gt;F)</b>
<b>Nitratos (mg/L)</b>	<b>1</b>	5.883e+12	5.883e+12	13.748	0.00345 **
<b>Nitritos (mg/L)</b>	<b>1</b>	6.506e+11	6.506e+11	1.520	0.24326
<b>Fosfatos (mg/L)</b>	<b>1</b>	9.737e+11	9.737e+11	2.276	0.15959
<b>Residuals</b>	<b>11</b>	4.707e+12	4.279e+11		
<b>Signif. codes</b>	0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

Realizado por: Pilamunga, W.; Toro, E., 2024.

En la gráfica de correlaciones se pudo observar que los tres tipos de nutrientes estudiados presentan correlaciones inversamente proporcionales, dos de ellas bajas y una moderada

correspondiente a los Fosfatos, este resultado indica una correlación aceptable y que la concentración de Oxígeno Disuelto en el río Pachanlica se ve reducida por la cantidad de nutrientes presentes en el cuerpo hídrico. Por otra parte, efectuando el análisis de varianzas (ANOVA) se ha logrado identificar que el nutriente que mayor significancia tienen en la transición a época lluviosa son los Nitratos ya que como se puede observar en los resultados de la tabla ni los Nitritos, ni los Fosfatos presentan resultados significativos.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- El análisis hidromorfométrico de la microcuenca del río Pachanlica muestra que gran parte del cauce cruza por zonas de montañas altas y valles, proporcionando una heterogeneidad holística en la elección de los puntos; debido a que cada uno difiere del otro en forma, relieve, acceso, presencia de áreas pobladas e industrias, permitiendo así una elección estratégica de cada punto de monitoreo.
- El análisis hidrodinámico de los nutrientes en la microcuenca evidencia contaminación a partir de la parte media hasta la parte baja del cauce en el caso de los Nitratos y Nitritos; en cambio, la contaminación por Fosfatos es evidente desde la parte alta, la mayor carga contaminante se registra en la parte baja del río por causa del arrastre de los nutrientes que se adicionan en el río por las descargas evidenciadas desde la parte media de la microcuenca, lo que permite concretar que el sistema de drenaje no se encuentra en equilibrio debido a que la carga contaminante en la salida es mayor a la carga contaminante en la entrada.
- La evaluación de las zonas de mayor vulnerabilidad antrópica en el río Pachanlica se las relaciona con actividades humanas como el vertido de aguas residuales directamente en el río y las consecuencias que estas conllevan, los puntos catalogados en emergencia por su alta vulnerabilidad pertenecen a la parte baja de la microcuenca; en cambio, aquellos que se encuentran en la parte alta están catalogados como que presentan un comportamiento normal sin estado de alerta; por último, aquellos que se ubican en la parte media varían entre un estado de alerta y de alarma, lo que implica que la mayor vulnerabilidad evaluada se sitúa en la parte media y baja de la microcuenca del río.
- La evaluación de la incidencia del Oxígeno Disuelto en la microcuenca del río, en las épocas de estudio, indicó una relación inversamente proporcional con la concentración de nutrientes; es decir, si estos aumentan el Oxígeno Disuelto disminuye, lo que implica una correlación negativa; además, el Fosfato tiene un comportamiento muy independiente en comparación con los Nitritos y Nitratos y se lo considera clave para determinar el nivel de contaminación de este río.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se sugiere que el análisis hidromorfológico de la microcuenca se lo efectúe con diferentes metodologías para obtener datos preciosos en cuanto a los parámetros correspondientes de cada clasificación y disminuir el porcentaje de error.
- Se recomienda mejorar el caudal ecológico en el río mediante diversas estrategias de gestión que racionen el agua de manera correcta sin disminuir el caudal del cauce.
- Se aconseja que antes de realizar la correlación de nutrientes y Oxígeno Disuelto se someta los datos a una prueba de normalidad para detectar si están sujetos a una distribución normal y si existen anomalías que puedan ser claves para el estudio.
- Se propone que los GAD'S municipales en cooperación con el GAD provincial establezcan medidas inmediatas para un buen manejo del recurso hídrico con la finalidad de reducir impactos y retardar procesos eutróficos; además, de establecer letreros en los sectores turísticos o concurridos, que especifiquen el riesgo al que se está expuesto si se tiene contacto con el agua.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ACOSTA, Y. & GOROZABEL, R.** Determinación del índice de contaminación por nutrientes (NPI) en el humedal de la microcuenca del río Atillo, del parque nacional Sangay [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador. 2021. págs. 1-68. [Consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14641/1/UDCTFC%3b236T0528.pdf>
2. **ARREGHINI, S.; et al.** “Influence of rainfall on the discharge , nutrient concentrations and loads of a stream of the “Pampa Ondulada” (Buenos Aires, Argentina)”. *Asociación Española de Limnología* [en línea], 2005, (Madrid), vol. 24 (3-4), págs. 225-236. [Consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-24-2-p-225.pdf>
3. **BÁRCENAS, J.; et al.** *Antología de Biodiversidad* [en línea]. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 2017. [Consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <http://www.telematica.ccadet.unam.mx/bionarrativas/libros-electronicos/libros-pdf/ServiciosEcosistemicos.pdf>
4. **BARON, J.; et al.** *Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems*. S.l.: Ecological Society of America. 2003.
5. **BAUDER, J. & SIGLER, A.** Alcalinidad , pH y Sólidos Disueltos Totales. *Northern Plains & Mountains* [en línea]. 2014. [Consulta: 11 noviembre 2023]. Disponible en: [http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Alkalinity\\_pH\\_TDS\\_2012-11-15-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS_2012-11-15-SP.pdf)
6. **BEITA, W. & BARAHONA, M.** “Fisicoquímica de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica”. *UNED Research Journal* [en línea], 2011, vol. 2. (2), págs. 157-179. [Consulta: 11 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/5156/515651982004.pdf>
7. **BELLO, M. & PINO, M.** *Medición de presión y caudal* [en línea]. Chile: Centro Regional de Investigación Kampenaike. 2000. [Consulta: 11 noviembre 2023]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7063/NR25635.pdf>

8. **BOLAÑOS, J.; et al.** “Determinación de Nitritos, Nitratos, sulfatos y Fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)”. *Tecnología en Marcha*, vol. 30, n°4 (2017), págs. 15-27. ISSN 0379-3982.
9. **BREITBURG, D.; et al.** “Declining oxygen in the global ocean and coastal waters”. *Science*, vol. 359, no. 6371 (2018), ISSN 10959203.
10. **CALDERÓN, F. & DELGADILLO, E.** *Caracterización hidrodinámica en grandes cuerpos de agua con aplicación al lago de Chapala* [en línea]. Primera ed. México: Universidad de Guanajuato. 2019. [Consulta: 11 noviembre 2023]. ISBN 9786074416251. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/337400218\\_CHARACTERIZACION\\_HIDRODINAMICA\\_EN\\_GRANDES\\_CUERPOS\\_DE\\_AGUA\\_CON\\_APLICACION\\_AL\\_LAGO\\_DE\\_CHAPALA](https://www.researchgate.net/publication/337400218_CHARACTERIZACION_HIDRODINAMICA_EN_GRANDES_CUERPOS_DE_AGUA_CON_APLICACION_AL_LAGO_DE_CHAPALA)
11. **CARRERA, D.; et al.** “Análisis multitemporal de los parámetros potencial de hidrógeno , conductividad eléctrica y cloruros del sistema hidrográfico del Río Ambi – Yachay”. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, vol. 1, n°1 (2016), págs. 25-33.
12. **CARRERA, D.; et al.** “Relación de temperatura , pH y CE en la variación de concentración de Fosfatos en el Río Grande , Cantón Chone”. *Departamento de Ciencias Exactas, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE* [en línea], 2020, vol.1 (1), págs. 37-40. [Consulta: 9 noviembre 2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/344365106\\_Relacion\\_de\\_temperatura\\_pH\\_y\\_CE\\_en\\_la\\_variacion\\_de\\_concentracion\\_de\\_Fosfatos\\_en\\_el\\_Rio\\_Grande\\_Canton\\_Chone](https://www.researchgate.net/publication/344365106_Relacion_de_temperatura_pH_y_CE_en_la_variacion_de_concentracion_de_Fosfatos_en_el_Rio_Grande_Canton_Chone)
13. **CDE.** *Constitución del Ecuador* [en línea]. Ecuador: Gobierno del Ecuador. 2008. [Consulta: 9 enero 2024]. Disponible en: [http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion\\_de\\_bolsillo.pdf](http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf)
14. **CHOTO, I.** Zonificación forestal de la unidad hidrográfica del río Pachanliza en cinco parroquias pertenecientes a la mancomunidad del frente Sur Occidental en la provincia de Tungurahua [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador. 2013. págs. 1-93. [Consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/2994>

15. **COA.** *Código Orgánico Del Ambiente*, 2017.
16. **CONDESAN.** *Buenas prácticas para la gestión de los páramos, Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú.* Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú: CONDESAN. 2012.
17. **CONSORCIO POMCA QUINDIO.** *Caracterización de la cuenca del río la vieja plan de ordenación y manejo de la cuenca del río La Vieja* [en línea]. Colombia: MINAMBIENTE. 2017. [Consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes\\_y\\_Programas/Planes\\_de\\_Ordenacion\\_y\\_Manejo\\_de\\_Cuencas\\_Hidrografica/La\\_Vieja\\_-\\_POMCA\\_en\\_Ajuste/Fase\\_Diagnostico/7\\_CapituloI\\_Diagnostico\\_Morfometria.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La_Vieja_-_POMCA_en_Ajuste/Fase_Diagnostico/7_CapituloI_Diagnostico_Morfometria.pdf)
18. **CORREA, G.** “Disponibilidad, acceso y calidad del agua: una reflexión socioambiental para Colombia”. *Revista Universidad de La Salle* [en línea], 2021, vol. 1 (87), págs. 155-165. [Consulta: 9 noviembre 2023]. ISSN 01206877. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2375&context=ruls>
19. **CRUZ, A.; et al.** “Familias de agua subterránea y distribución de sólidos totales disueltos en el acuífero de La Paz Baja California Sur, México”. *Revista Terra Latinoamericana* [en línea], 2018, vol. 36 (1). [Consulta: 9 noviembre 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v36n1/2395-8030-tl-36-01-39.pdf>.
20. CUENCAS\_COMPLETO.pdf
21. **DELGADILLO, A. & MORENO, A.** *HIDROLOGÍA: Morfometría De Cuencas* [en línea]. S.l.: s.n. 2001. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoreno/HIDRO/MORFOMETR%C3%80CDA\\_DE\\_CUENCAS.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoreno/HIDRO/MORFOMETR%C3%80CDA_DE_CUENCAS.pdf)
22. **DOLORES, D. & AGÜERO, J.** *Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón* [en línea]. Argentina: INTA. 2018. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/delimitacion-hidrografica-y-caracterizacion-morfometrica-de-la-cuenca-del-rio-anzulon-1>
23. **DUQUE, G. & ESCOBAR, C.** *Erosión y movimientos en masa. Geotecnia para el trópico andino* [en línea]. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 2016. [Consulta: 12 enero

2024]. Disponible en:  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/33/erosionmovimientosenmasa.pdf>

24. **ENCALADA, A.** “Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos”. *Universidad San Francisco de Quito* [en línea], 2010, vol.1 (nº1), págs. 1-5. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/polemika/article/view/370/489>
25. **ESCOBAR, J.** *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar* [en línea]. Chile: Naciones Unidas. 2002. [Consulta: 12 enero 2024]. ISBN 9213220901. Disponible en: <https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/LCL1799S.PDF>
26. **ESCOBAR, M.; et al.** *Caracterización geomorfológica de la cuenca del Río Negro utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG)* [en línea]. Colombia: Editorial Tecnológico de Antioquia. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1108>
27. **ESCUADERO, A. & MEDIAVILLA, S.** “Dinámica interna de los nutrientes”. *Ecosistemas. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. vol. 12, nº1 (2003), págs. 1-8.
28. **ESPINOZA, Y.** *Evolución geomorfológica fluvial y los movimientos en masa asociados a la microcuenca hidrográfica del río piedra fina 2 (cuenca hidrográfica del Río Coca)* [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2022. págs. 1-64. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: [https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23382/1/CD\\_12797.pdf](https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23382/1/CD_12797.pdf)
29. **FLORES, A.** *Hidrometría* [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú. 2018. págs. 1-99. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en:  
[http://3.17.44.64/bitstream/handle/20.500.12819/407/Aracely\\_Trabajo\\_de\\_suficiencia\\_titulo\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://3.17.44.64/bitstream/handle/20.500.12819/407/Aracely_Trabajo_de_suficiencia_titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
30. **FLORES, C. & FLORES, K.** “Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos : Anderson- Darling , Ryan-Joiner , Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov”. *Societas. Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas* [en línea], 2021, vol. 23 (1), págs. 14-31. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/html/index.html>

31. **FOSCHIATTI, A.** *Vulnerabilidad: Conceptos y propuestas metodológicas* [en línea]. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste Universidad Nacional del Nordeste. 2008. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo9/archivos/pobyamb2.pdf>
32. **FUENTES, J.D.** Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro [en línea]. S.l.: Instituto Nacional de Ecología. 2004. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria\\_pico\\_tancitaro.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf)
33. **GALVÁN, L.; et al.** “Determinación de la carga contaminante disuelta transportada por el río Meca (Huelva , España)”. *GEOGGACETA* [en línea], 2007, vol.43 (1). [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/Geo43/Art16.pdf>
34. **GÁMEZ, W.** *Texto básico de hidrología*. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. 2009. ISBN 9789992410097.
35. **GARCÍA, M.** Eutrofización: una visión general. *CienciAcierta* [en línea]. 2016. [Consulta: 15 marzo 2023]. Disponible en: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/>
36. **GARCÍA, N.; et al.** “Parámetros morfométricos de la unidad hidrológica 69-95259905 Masaya, Nicaragua; como primera etapa en la caracterización hidrológica”. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, no. 38 (2021). págs. 230-244.
37. **GASPARI, F.; et al.** *Manejo de cuencas hidrográficas Herramientas de sistemas* [en línea]. Primera ed. S.l.: s.n. 2019. [Consulta: 12 enero 2024]. Disponible en: <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/1290/1272/4177-1>
38. **GET A MAP.** Río de Pachanlica. *Get a Map. net search for anything* [en línea]. 2022. [Consulta: 30 marzo 2023]. Disponible en: [https://es.getamap.net/mapas/ecuador/tungurahua/\\_pachanlica\\_riode/](https://es.getamap.net/mapas/ecuador/tungurahua/_pachanlica_riode/)
39. **GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGURAHUA.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Tungurahua*. Ecuador: Gobierno Provincial de Tungurahua. 2018.

40. **GÓMEZ, R.** *Los nutrientes: origen , ciclos y balances. Distribución espacial y temporal* [en línea]. España: Universidad de Murcia. 2005. [Consulta: 30 marzo 2023]. Disponible en: <https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/LCL1799S.PDF>
41. **GONZÁLEZ, A.** “Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas”. *Boletín de la A.G.E.N.* [en línea], 2004, vol. 38, n°38, págs. 311-330. [Consulta: 30 marzo 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1079160>
42. **GÓNZALEZ, N.; et al.** *Normalidad y otros supuestos en análisis de covarianzas. Modelización con estructuras de covarianzas.* La Coruña: Netbiblo. 2006. pp. 1-27.
43. **GUZMÁN, A.; et al.** “Análisis de la variabilidad geoespacial de la fragilidad morfométrica en la cuenca alta del Río Sauce Chico, Argentina”. *Revista de la Facultad de Agronomía*, vol. 120, no. 1 (2021). ISSN 0041-8676.
44. **HACH COMPANY.** *Manual de análisis de agua* [en línea]. EE.UU.: Hach. 2000. [Consulta: 30 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469>
45. **HANNA.** La importancia del oxígeno disuelto en la agricultura. *HANNA* [en línea]. 2018. [Consulta: 1 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.hannainst.es/blog/1568/La-importancia-del-oxígeno-disuelto-en-la-agr>
46. **HERNÁNDEZ, J.; et al.** Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición , propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, vol. 37, n°5 (2018), págs. 589-595.
47. **IAEA.** El uso equilibrado de fertilizante gracias a las técnicas nucleares contribuye a aumentar la productividad y a proteger el medio ambiente. *OIEA. Artículo del Boletín del OIEA* [en línea]. 2020. [Consulta: 17 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/el-uso-equilibrado-de-fertilizante-gracias-a-las-tecnicas-nucleares-contribuye-a-aumentar-la-productividad-y-a-proteger-el-medio-ambiente>
48. **IBÁÑEZ, S.; et al.** *Morfología de las cuencas hidrográficas.* España: Universidad

Politécnica de Valencia. 2010. págs. 1-12.

49. **INDUANALISIS**. Nitratos y Nitritos. *Laboratorio Ambiental* [en línea]. 2019. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: [https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/Nitratos\\_y\\_Nitritos\\_\\_27](https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/Nitratos_y_Nitritos__27)
50. **INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM**. “Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa”. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible* [en línea], 2012, vol. 1 (20), págs. 4-28. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co).
51. **JARAMILLO, A.** La configuración de consejos de cuenca como espacios de participación y gestión integral de los recursos hídricos del Ecuador [en línea]. (Trabajo de titulación) (maestría). Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, Ecuador. 2022. págs. 1-11. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8684/1/T3798-MGD-Lapuerta-La-configuracion.pdf>
52. **KALINOV, N.** Diseño del sistema de evacuación de aguas depuradas de la E.D.A.R. de la laguna de “los patos” en Cumaná (Venezuela) [en línea]. (Trabajo de titulación) (maestría). Universidad de Cantabria, Santander, Venezuela. 2020. págs. 1-75. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/19715/Kalinov%20Koev%2C%20Nikola.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
53. **KE, S.; et al.** “Patrones espaciotemporales de nutrientes, composición e implicaciones para la mitigación de la eutrofización en el estuario del río Pearl, China”. *Estuarine Coastal and Shelf science*. vol. 266, n°5 (2022), pág. 107749.
54. **LANGO, F.; et al.** *Efecto del grado de conservación de la vegetación ribereña sobre el funcionamiento de ríos con base en indicadores fisicoquímicos y biológicos. 20 años de tecnología e innovación sustentable*. México: RED IBAI. 2020. págs. 1-425. ISBN 9786078617647.
55. **LORHUYA**. *Ley Orgánica De Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento Del Agua*.

56. **MAHALA, A.** “The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings”. *Applied Water Science* [en línea], 2020, vol. 10 (1), págs. 1-16. [Consulta: 16 marzo 2023]. ISSN 21905495. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1118-2>
57. **MAMUN, M.; et al.** “Caracterización espaciotemporal de nutrientes y contaminación orgánica junto con la dinámica de nutrientesclorofilaa en el río Geum”. *King Saud University*, vol. 34, n°3 (2022), págs. 1-12.
58. **MANTA, G. & ALCÁNTARA, I.** “Variabilidad y tendencia de la temperatura superficial de los grandes embalses del Río Negro”. *Revista del laboratorio tecnológico del Uruguay INNOTEC* [en línea], 2018, vol.1 (16), págs. 17-26. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/6061/606164196002/606164196002.pdf>
59. **MAVDT.** Resolución número (2115) de 2007 [en línea]. Colombia: s.n. 2007. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: [https://www.oas.org/dsd/environmentlaw/waterlaw/documents/Colombia-Proyecto\\_de\\_Ley\\_del\\_Agua\\_\(2005\).pdf](https://www.oas.org/dsd/environmentlaw/waterlaw/documents/Colombia-Proyecto_de_Ley_del_Agua_(2005).pdf)
60. **MENCHACA, S.; et al.** “Variación del caudal del río Pixquiac, Veracruz”. *Revista Electrónica de la Coordinación Universitaria de Observatorios de la Universidad Veracruzana* [en línea], 2023, vol. 1 (16). [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://uvserva.uv.mx/index.php/Uvserva/article/view/2930/4891>
61. **MID-AMERICA REGIONAL COUNCIL.** Qué son los sedimentos. *Mid-America Regional Council* [en línea]. 2017. Disponible en: [http://marc.org/Environment/Water-Resources/pdfs/brochures/sediment\\_espanol.aspx%0Ahttps://www.marc.org/sites/default/files/2022-06/sediment\\_espanol.pdf](http://marc.org/Environment/Water-Resources/pdfs/brochures/sediment_espanol.aspx%0Ahttps://www.marc.org/sites/default/files/2022-06/sediment_espanol.pdf)
62. **MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.** Microcuencas. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible* [en línea]. 2012. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/microcuencas/>
63. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.** *Revisión y actualización de la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua* [en línea]. 2015. [Consulta: 16 marzo

2023]. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>

64. **MONTES, A.; et al.** *Aplicación del coeficiente de correlación de Spearman en un estudio de fisioterapia*. S.l.: Cuerpo académico de probabilidad y estadística BUAP. 2021.
65. **MONTES, R.; et al.** “Modificación de la capacidad de autodepuración del río Magdalena ante el cambio climático”. *Universidad Nacional Autónoma de México*, vol. 4, n°5 (2013), págs. 71-83.
66. **MORALES DE LA CRUZ, M.** Modelación matemática de la interacción entre la vegetación de ribera y el régimen hídrico del río en condiciones semiáridas [en línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad Politécnica Valencia, Valencia, España. 2010. págs. 1-205. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/9475/tesisUPV3456.pdf>
67. **MUÑOZ, H.; et al.** “Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México”. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 6, n°5 (2015), págs. 59-74.
68. **NORMA NTE INEN 2169.** *Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo Y Conservación De Muestras*.
69. **NORMA NTE INEN 2176.** *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo*.
70. **NUÑEZ, A.** “Origen de los nitratos (NO<sub>3</sub>) y nitritos (NO<sub>2</sub>) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas”. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* [en línea], 2006, vol. 22 (3), págs. 1-9. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223517652002.pdf>
71. **ORTUÑO, M. de los Á. & GENTILI, J.** “Análisis morfométrico de la cuenca alta del arroyo Cura Malal Grande (Argentina) aplicado a la susceptibilidad de generar crecidas fluviales”. *Investigaciones Geográficas* [en línea], 2023, (66), págs. 48-64. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5354/0719-5370.2023.70111>
72. **PADALA, S. & ANEESH, M.** “Evaluation of Morphometric and Hypsometric Analysis of the Bagh River Basin using Remote Sensing and Geographic Information System

Techniques”. *Energy Nexus* [en línea], 2022a vol. 7 (1), págs. 1-13. [Consulta: 23 marzo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100104>

73. **PADALA, S. & ANEESH, M.** “Morphometric analysis for prioritizing sub-watersheds of Murredu River basin, Telangana State, India, using a geographical information system”. *Journal of Engineering and Applied Science* [en línea], 2022b, vol. 69 (1). [Consulta: 23 marzo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00094-4>
74. **PADALA, S. & ANEESH, M.** “Morphometric analysis of watersheds: A comprehensive review of data sources, quality, and geospatial techniques”. *Watershed Ecology and the Environment* [en línea], 2024, vol. 6, págs. 13-25. [Consulta: 23 marzo 2023]. ISSN 25894714. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.12.001>
75. **PADULA, E. & BACCHINI, R.** *Estudio comparativo de metodologías para el cálculo del valor a riesgo: aplicación al merval* [en línea]. Madrid-España: PEARSON. 2010. [Consulta: 23 marzo 2023]. Disponible en: [https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25172w/Tecnicas\\_de\\_analisis\\_multivariante.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25172w/Tecnicas_de_analisis_multivariante.pdf)
76. **PEDROZO, A. & RAMÍREZ, N.** “La eutrofización de cuerpos de agua: un síntoma antropogénico que requiere atención”. *Perspectivas IMTA*, vol. 1, no. 08 (2020), págs. 1-5.
77. **PÉREZ, C.** *Técnicas de Análisis Multivariante de Datos* [en línea]. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A. 2004. [Consulta: 23 marzo 2023]. ISBN 9788420541044. Disponible en: [https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25172w/Tecnicas\\_de\\_analisis\\_multivariante.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25172w/Tecnicas_de_analisis_multivariante.pdf).
78. **PÉREZ, J.; et al.** “Concentración de nitrato, fosfato, boro y cloruro en el agua del río Lerma”. *Ecosist. Recur. Agropec*, vol. 6, no. 16 (2019), págs. 175-182.
79. **PINZÓN, A.** *Evaluación de los efectos antrópicos en los parámetros de calidad del agua del valle de Samacá, Boyacá*. Tunja: Universidad Santo Tomás. 2021. págs. 1-104.
80. **PLANTTALK COLORADO.** Fertilizantes de fosfato y la contaminación de aguas. *Colorado State University* [en línea]. 2023. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en:

<https://planttalk.colostate.edu/planttalk-coloradotm-espaol/suelo-enmiendas-y-composta/1620-fertilizantes-de-fosfato-y-la-contaminacion-de-aguas/>

81. **PRADO, M.; et al.** “Análisis del estado trófico y micro fitoplancton de la zona costera de la provincia del Guayas, Ecuador”. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, vol. 46, no. 2 (2017), págs. 95-112. ISSN 01229761.
82. **RAMÍREZ, P.; et al.** “Morphometry of the Páez River hydrographic sub-basin, Cartago, Costa Rica”. *Revista Geográfica de América Central* [en línea], 2021, vol. 2 (2), págs. 147-168. ISSN 2215-2563. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.67-2.5>
83. **RINCÓN, N.** “Evaluación de parámetros fisicoquímicos del agua en el proceso de potabilización del río Subachoque”. *Tecnogestión: Una mirada al ambiente* [en línea], 2017, vol. 13 (1), págs. 6-23). [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/12123>
84. **RODAS, F.; et al.** *Manual de manejo de cuecas* [en línea]. 2da edición. S.l.: World Vision. 2004. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.uv.mx/oabcc/files/2018/11/MANUAL-DE-MANEJO-DE->
85. **ROLDÁN, G. & RAMÍREZ, J.J.** *Fundamentos de limnología neotropical*. 3ra edición. S.l.: s.n. 2022. págs. 1-595. ISBN 9789585296909.
86. **SAMBONI, N.; et al.** “A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators”. *Ingeniería e Investigación*, vol. 27, n°. 3 (2007), págs. 172-181. ISSN 0120-5609.
87. **SANDOVAL, W.** *Tiempo de concentración de una cuenca* [en línea]. 2022. Ecuador: Universidad de las Fuerza Armadas. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/361347844\\_TIEMPO\\_DE\\_CONCENTRACION\\_DE\\_UNA\\_CUENCA/link/62ab8319938bee3e3f3973ef/download?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijpw7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19](https://www.researchgate.net/publication/361347844_TIEMPO_DE_CONCENTRACION_DE_UNA_CUENCA/link/62ab8319938bee3e3f3973ef/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijpw7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19)
88. **SANTAMARTA, J.** *Hidrología y recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos*. Madrid-España: Colegio de Ingenieros Montes. 2013.

89. **SECRETARÍA DE LA CONVENCION DE RAMSAR.** *Perspectiva Mundial Sobre los Humedales: Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas 2018* [en línea]. Uruguay: Convención de Ramsar sobre los Humedales 2018. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: [https://www.ramsar.org/sites/default/files/flipbooks/ramsar\\_gwo\\_spanish\\_web.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/flipbooks/ramsar_gwo_spanish_web.pdf)
90. **SEDUE.** Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89. S.l.: s.n. 1989.
91. **SOLÍS, Y.; et al.** “La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica”. *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 31, n°. 1 (2018), págs. 36-46.
92. **SON, C.T.; et al.** “Assessment of Cau River water quality assessment using a combination of water quality and pollution índices”. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, vol. 69, n° 2 (2020).
93. **TULSMA.** *Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua.*
94. **UICN SUR.** *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Sudamérica (1:1 000 000) y de la región andina (1:250 000).* [en línea]. Perú: UICN. 2008. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: [http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG\\_REG\\_EMAB\\_I\\_X\\_dt\\_3\\_Ax5.pdf](http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG_REG_EMAB_I_X_dt_3_Ax5.pdf)
95. **VARGAS, W.** Calidad de agua de la unidad hidrográfica Puchka determinado mediante el índice de calidad de agua (ICA-PE) como herramienta de gestión integrada de recurso hídrico para la actividad agropecuaria - Huari, en el periodo 2018 – 2022 [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú. 2023. págs. 1-196. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5680>
96. **VÁSCONEZ, M.; et al.** *Cuencas hidrográficas* [en línea]. 1era edición. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. 2019. [Consulta: 16 marzo 2023]. ISBN 9789978103807. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas>

hidrográficas.pdf

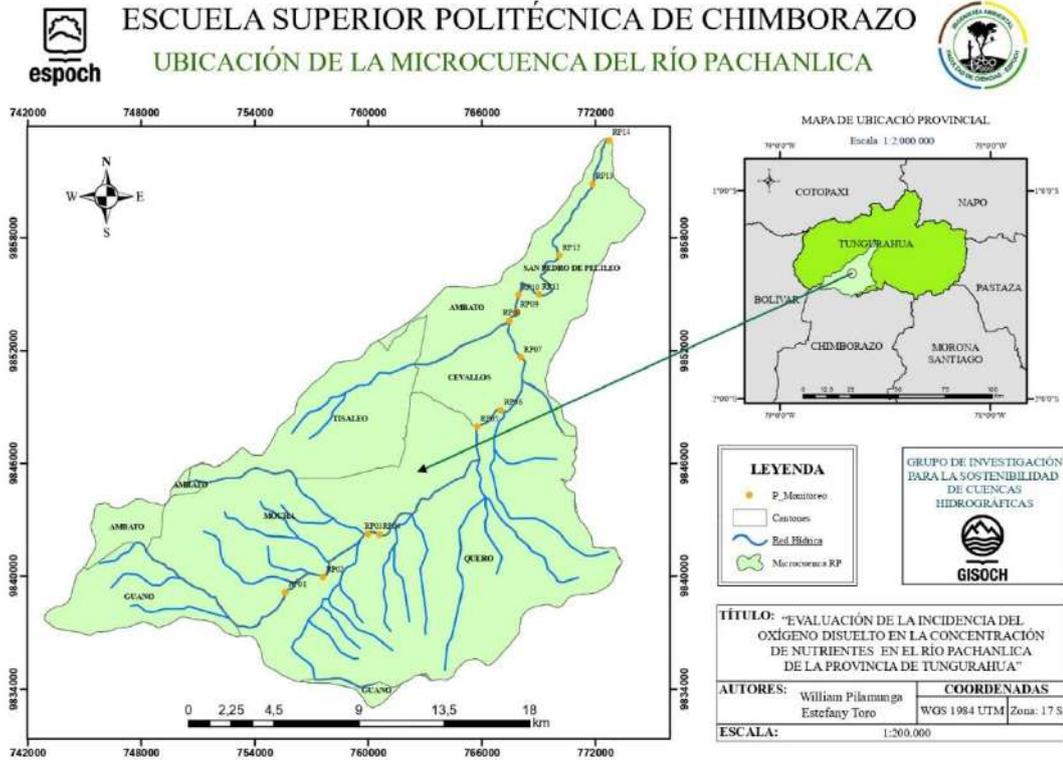
97. **VERA, J.** *Plan de acción de manejo integral (PAMIC), cuenca del río Antigua* [en línea]. 1ra edición. S.l.: s.n. 2017. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: [https://datos.abiertos.inecc.gob.mx/Datos\\_abiertos\\_INECC/CGACC/PAMICs/PAMIC\\_rio\\_Antigua.pdf](https://datos.abiertos.inecc.gob.mx/Datos_abiertos_INECC/CGACC/PAMICs/PAMIC_rio_Antigua.pdf)
98. **VERDUGO, M.** Análisis morfométrico de las microcuencas a las que pertenece el Bosque y Vegetación Protectora Aguarongo (BVPA), influencia en el comportamiento hidrológico [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2017. págs. 1-125. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14381/1/UPS-CT007051.pdf>
99. **VERDUGO, M.** Estudios morfométricos y análisis de inundaciones del río Cumbe, provincia del Azuay; mediante los sistemas de información geográfica (ARGIS) con la herramienta GEORAS y el programa HECRAS [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad de Alcalá, España. 2019. págs. 1-48. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: [https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/41954/TFM\\_Verdugo\\_Cardenas\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/41954/TFM_Verdugo_Cardenas_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
100. **VILLODAS, R.** *Las cuencas. Hidrología*. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo. 2008. págs. 1-40.
101. **VINUESA, P.** *Correlación : teoría y práctica* [en línea]. México: CCG- UNAM. 2016. págs. 1-26. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: [https://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema8\\_correlacion.pdf](https://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/R4biosciences/docs/Tema8_correlacion.pdf)
102. **VOLONTÉ, A.; et al.** “Estudio de la vegetación y sus efectos en la dinámica fluvial en cuencas serranas, Argentina”. *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 1, n°1 (2018), págs. 2-9.
103. **ZAMBRANO, A.** Evaluación del grado de eutrofización de la laguna natural el Carmen y su situación con las épocas del año [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí, Calceta, Ecuador. 2018. págs. 1-60. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/798/1/TMA171.pdf>

104. **ZHICAY, J.** Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2020. págs. 1-120. [Consulta: 16 marzo 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18364/1/UPS-CT008684.pdf>

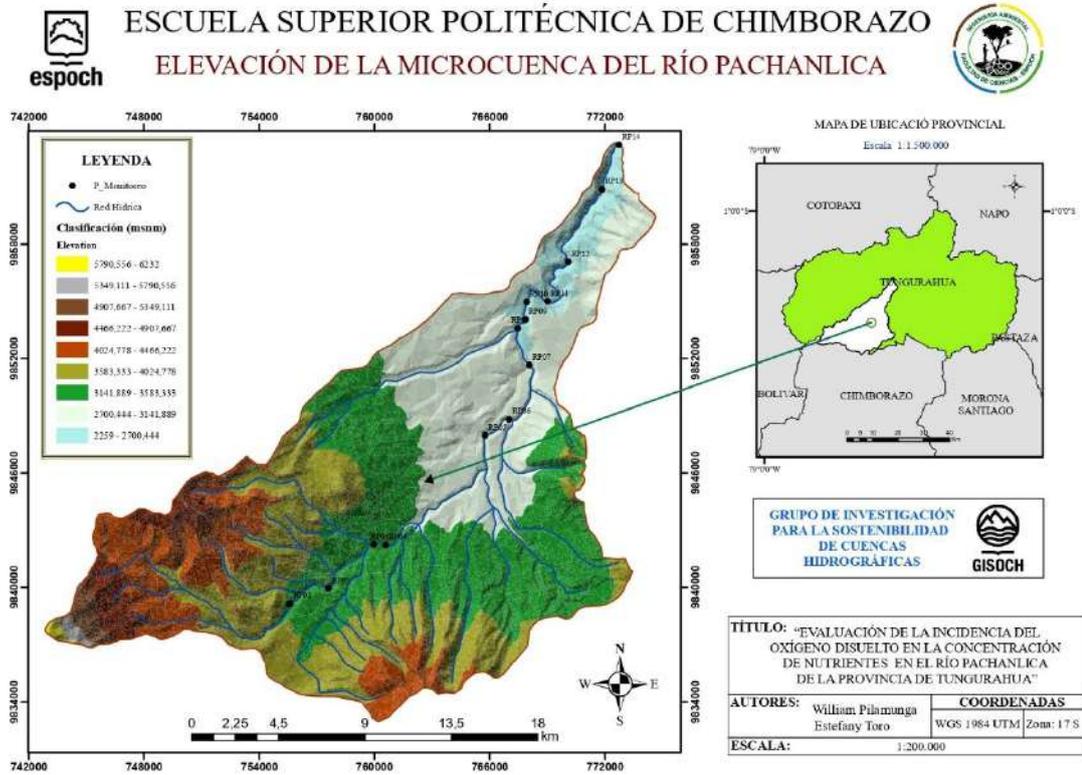


# ANEXOS

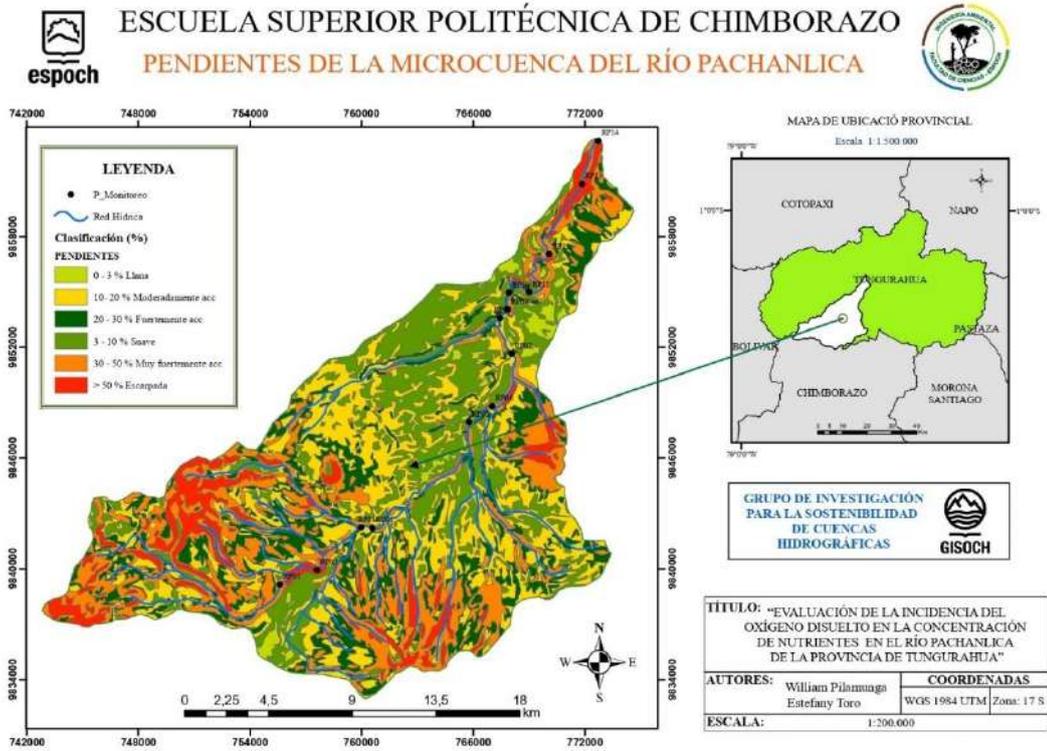
## ANEXO A: MAPA DE UBICACIÓN DEL RÍO PACHANLICA



# ANEXO B: MAPA DE ELEVACIÓN DEL RÍO PACHANLICA



# ANEXO C: MAPA DE PENDIENTES DEL RÍO PACHANLICA



**ANEXO D: REGISTRO FOTOILUSTRACIÓN DE LAS ACTIVIDADES**



Toma de muestras



Medición de parámetros fisicoquímicos



Medición de velocidad y profundidad del río



Refrigeración de las muestras



Preparación de la muestra



Agitación de la muestra con el reactivo



Lectura de concentración de nutrientes



Muestra con presencia de Nitratos

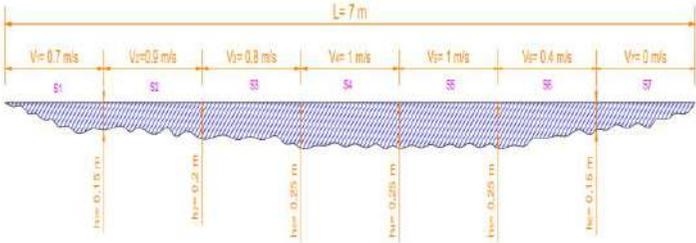


Muestra con presencia de Nitritos

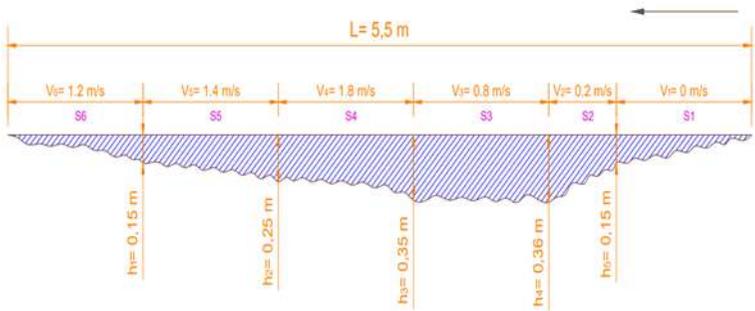


Muestra con alta presencia de Fosfatos

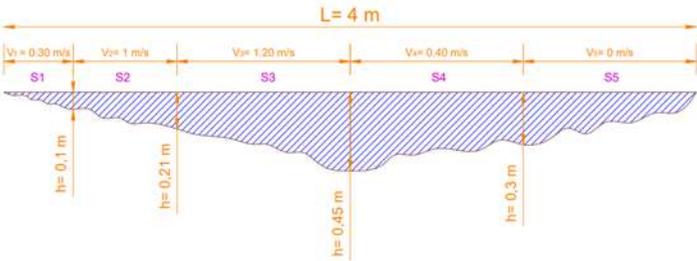
ANEXO E: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP01

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	12:20			Soleado		
Hora final	12:30	Nublado	x			
Provincia	Tungurahua			Latitud	Longitud	
Zona	MOCHA-YANAYACU			9839140	755602	
Nombre del río	Pachanlica	Altura				
Código del punto	RP01	3475				
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo	Profundidad max (m)		Se ubica en la parte alta de la cuenca del río Pachanlica en Urbina, en este punto no existe contaminación y hay un puente con un letrero de no a la pesca de truchas.	
		Correntómetro	Transición	Seca		
		Método	Caudal (m3/s)			
		Molinete	Transición	Seca	Tipo	
		Ancho (m)	Transición	5		
			Seca	7	Sin contaminación antropogénica	
		VEGETACIÓN				RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE
Secciones o tramos	7	Se observó que predomina las especies como: chilca - Sigse-eucalipto - ciprés - pasto			Descargas	Basura
Área (m2)	1.25				NO	NO

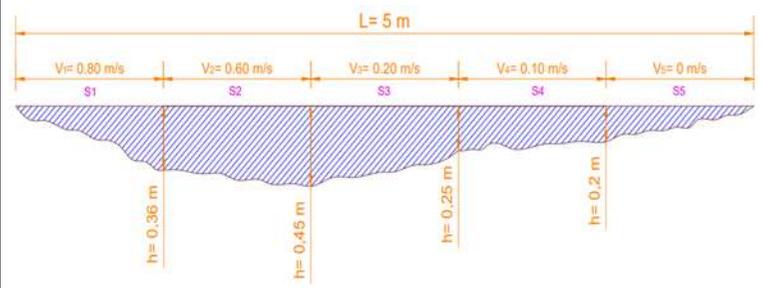
ANEXO F: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP02

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	11:23			Soleado		
Hora final	11:55	Nublado	x			
Provincia	Tungurahua			Latitud	Longitud	
Zona	MOCHA-YANAYACU			9839931	757583	
Nombre del río	Pachanlica	Altura				
Código del punto	RP02	3356				
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo	Profundidad max (m)		Se localiza cerca de los rieles del tren, hay un puente de madera se camina 20 min, presencia de ganado, se considera como área de pastoreo, no existe presencia de viviendas y el agua es cristalina.	
		Correntómetro	Transición	Seca		
		Método	0.35	0.36		
		Molinete	Caudal (m3/s)			
			Transición	Seca		
		Ancho (m)	Transición	5		
Seca	5.5					
VEGETACIÓN			RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE			
Secciones o tramos	6	Se observó que predominan las especies como Junco - Acebarillo - Clidemia - Miconia - Escalonia - Lengua de gallo - Chilca - Helecho			Descargas	Basura
Área (m2)	1.13				NO	NO

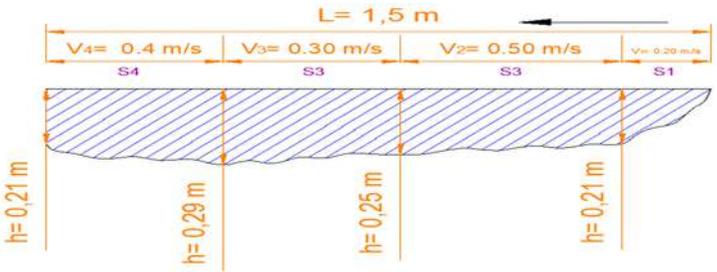
ANEXO G: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP03

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	10:51			Soleado		
Hora final	11:03	Latitud	Longitud	Nublado	x	
Provincia	Tungurahua					
Zona	MOCHA-YANAYACU					
Nombre del río	Pachanlica	Altura				
Código del punto	RP03	3196				
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo		Profundidad max (m)		
		Correntómetro		Transición	Seca	
		Método		0.45	0.45	
		Molinete		Caudal (m3/s)		
				Transición	Seca	
		Ancho (m)		1.13	0.87	
				Transición	5	
		Seca	4			
VEGETACIÓN					Tipo	
					Sin contaminación antropogénica	
					RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE	
Secciones o tramos		5		Se observó que predomina las especies como: Capulí - Sigse - eucalipto - chilca		Descargas
Área (m2)		0.97				Basura

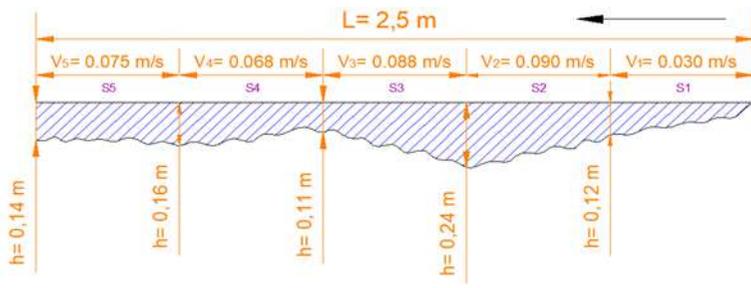
ANEXO H: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP04

FICHA DE DESCRIPCIÓN							
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO	
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia			
Hora de inicio	10:23			Soleado			
Hora final	10:35						
Provincia	Tungurahua	Latitud	Longitud	Nublado	x		
Zona	MOCHA-YANAYACU	9842219	760562				
Nombre del río	Pachanlica	Altura					
Código del punto	RP04	3169					
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga						
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN		
		Equipo	Profundidad max (m)		Se ubica después de la PTAR y del relleno sanitario "Puente río Mocha". Se debe ingresar por la calle donde se encuentra la estatua de un toro de bronce.		
		Correntómetro	Transición	Seca			
		Método	0.45	0.45			
		Caudal (m3/s)					
		Molinete	Transición	Seca			
		1.15	0.59				
Ancho (m)	Transición	6	Tipo				
	Seca	5	No se observa contaminación				
		VEGETACIÓN			RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE		
Secciones o tramos	5	Se observó que predomina las especies como: chilca - Sigse-eucalipto - mostaza			Descargas	Basura	
Área (m2)	1.26						

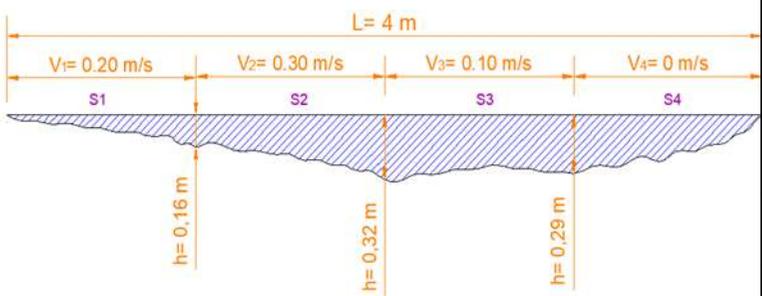
ANEXO I: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP05

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	10:07			Soleado	x	
Hora final	10:14	Latitud	Longitud	Nublado		
Provincia	Tungurahua				9847955	
Zona	CEVALLOS - QUERO	Altura				
Nombre del río	Pachanlica	2901				
Código del punto	RP05					
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo	Profundidad max (m)		Situado en el puente oxidado, hay viviendas, es uno de los puntos más contaminados, tiene mal olor y hay descargas de aguas residuales y el agua tiene espuma.	
		Correntómetro	Transición	Seca		
		Método	0.01	0.29		
		Molinete	Caudal (m3/s)			
			Transición	Seca		
		Ancho (m)	Transición			
Seca	1.5					
		VEGETACIÓN			TIPO	
					Existe contaminación antropogénica	
		RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE				
Secciones o tramos	4	Se observó que predomina las especies como: chilca - Sigse-eucalipto.			Descargas	Basura
Área (m2)	0.34				SI	SI

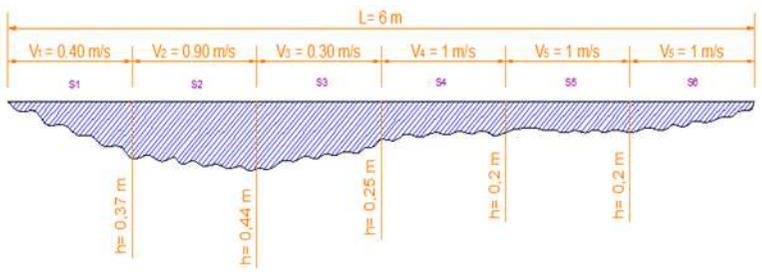
ANEXO J: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP06

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	9:31			Soleado	x	
Hora final	9:43	Latitud 9848827 Longitud 767014 Altura 2809	Nublado			
Provincia	Tungurahua					
Zona	CEVALLOS - QUERO					
Nombre del río	Pachanlica					
Código del punto	RP06					
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo	Profundidad max (m)		Se ubica entre Cevallos y Quero, hay una cascada llamada "Jun Jun", existe un área recreativa y zona de picnic s y el agua tiene espuma.	
		Correntómetro	Transición	Seca		
		Método	0.01	0.24		
		Molinete	Caudal (m3/s)			
			Transición	Seca		
		Ancho (m)	0.002	0.12		
Transición	Seca					
		2	2.5	Tipo		
				Existe contaminación antropogénica		
		VEGETACIÓN			RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE	
Secciones o tramos	5	Se observó que predomina las especies como: chilca - Sigse-eucalipto			Descargas	Basura
Área (m2)	0.35				NO	SI

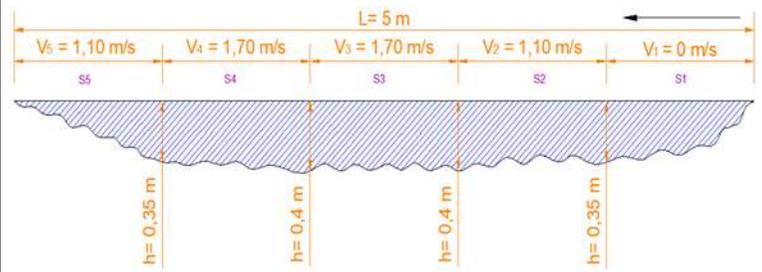
ANEXO K: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP07

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	9:00			Soleado	x	
Hora final	9:09					
Provincia	Tungurahua	Latitud	Longitud	Nublado		
Zona	CEVALLOS - BENITEZ	9851647	768054			
Nombre del río	Pachanlica	Altura				
Código del punto	RP07	2901				
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo	Profundidad max (m)		Situado antes de la empresa Bioalimantar, hay un aliviadero y las personas lavan cosas en el río, está abajo de las florícolas.	
		Correntómetro	Transición	Seca		
		Método	0.9	0.32		
		Molinete	Caudal (m3/s)			
			Transición	Seca		
		Ancho (m)	Transición	1		
Seca	4					
Secciones o tramos		VEGETACIÓN			RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE	
Área (m2)		Se observó que predomina las especies como: chilca - Sigse-eucalipto - alisos - sauces - Susanita			Descargas	Basura
					NO	SI

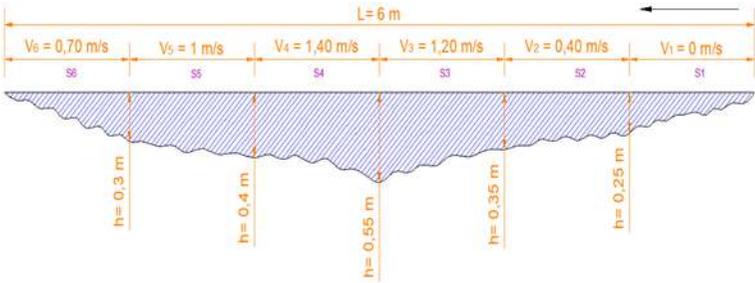
ANEXO L: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP08

FICHA DE DESCRIPCIÓN								
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO		
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia				
Hora de inicio	9:20			Soleado	x			
Hora final	9:33	Latitud	Longitud	Nublado				
Provincia	Tungurahua						9853602	767460
Zona	TOTORAS - SALASACA						Altura	
Nombre del río	Pachanlica	2651						
Código del punto	RP08							
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga							
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN			
		Equipo	Profundidad max (m)		Se encuentra después de la empresa Bioalimentar y hay una fábrica de lavado de jeans, hay ganado y viviendas.			
		Correntómetro	Transición	Seca				
		Método	0.35	0.44				
		Molinete	Caudal (m3/s)					
			Transición	Seca				
		Ancho (m)	Transición	11				
Seca	6							
		VEGETACIÓN			RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE			
Secciones o tramos	6	Se observó que predomina las especies como: capulí - eucalipto - carrizos - pasto			Descargas	Basura		
Área (m2)	1.46				NO	SI		

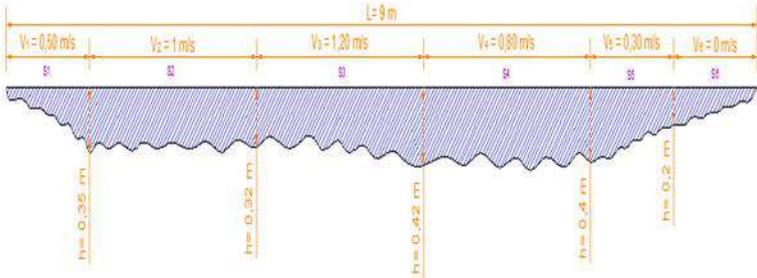
ANEXO M: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP09

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	9:57			Soleado		
Hora final	10:06			Nublado	x	
Provincia	Tungurahua	Latitud	Longitud			
Zona	TOTORAS - SALASACA	9854065	767866			
Nombre del río	Pachanlica	Altura				
Código del punto	RP09	2623				
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo	Profundidad max (m)		Situado después de la empresa de gelatina, se observa que hay espuma, no se ven casas aledañas, hay lombrices rojas que indican la presencia de coliformes fecales en el agua.	
		Correntómetro	Transición	Seca		
		Método	0.68	0.4		
		Caudal (m3/s)				
		Molinete	Transición	Seca		
		0.49	1.92			
Ancho (m)	Transición	1.5	Tipo			
Seca	5	Existe contaminación antropogénica				
VEGETACIÓN				RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE		
Secciones o tramos	5	Se observó que predomina las especies como: Totorillas - chilca - Sigse - alisos - carrizos			Descargas	Basura
Área (m2)	1.5				NO	SI

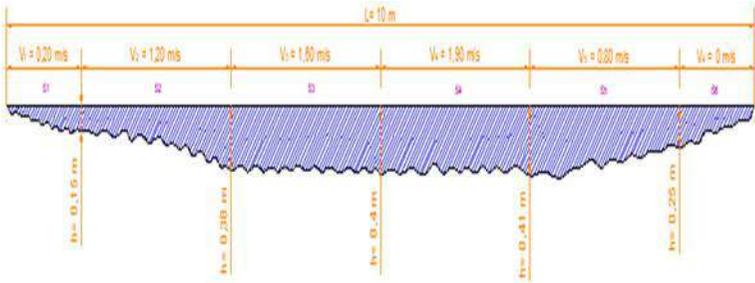
ANEXO N: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP10

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	10:20			Soleado	x	
Hora final	10:31	Latitud	Longitud	Nublado		
Provincia	Tungurahua				9854967	
Zona	PICAIHUA - SALASACA	Altura				
Nombre del río	Pachanlica	2610				
Código del punto	RP10					
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo	Profundidad max (m)		Se encuentra debajo del puente, hay descargas, mal olor, el color del agua es verdosas y hay espuma; además, lombrices rojas que son indicadores de coliformes fecales.	
		Correntómetro	Transición	Seca		
		Método	0.5	0.55		
		Molinete	Caudal (m3/s)			
			Transición	Seca		
		2.68	1.76			
Ancho (m)	Transición	9	Tipo			
	Seca	6	Existe contaminación antropogénica			
		VEGETACIÓN			RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE	
Secciones o tramos	6	Se observó que predomina las especies como: Ricino - sauce - Sigse - eucalipto - carrizo - molle			Descargas	Basura
Área (m2)	1.85				SI	SI

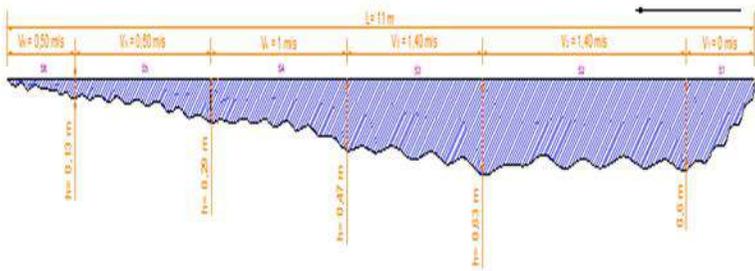
ANEXO O: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP11

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	11:10			Soleado	x	
Hora final	11:19	Latitud	Longitud	Nublado		
Provincia	Tungurahua				9855003	
Zona	PICAIHUA - SALASACA	Altura				
Nombre del río	Pachanlica	2571				
Código del punto	RP11					
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo	Profundidad max (m)		Situado antes de la PTAR de Salasaca, la PTAR tenía agua verde en los sedimentadores, el agua del río es marrón y con espuma, hay ganado.	
		Correntómetro	Transición	Seca		
		Método	0.45	0.42		
		Molinete	Caudal (m3/s)			
			Transición	Seca		
		2.85	2.33			
Ancho (m)	Transición	7	Tipo			
	Seca	9	Existe contaminación antropogénica			
		VEGETACIÓN			RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE	
Secciones o tramos	6	Se observó que predomina las especies como: Ricino - sauce - eucalipto - chilcas			Descargas	Basura
Área (m2)	2.81				NO	NO

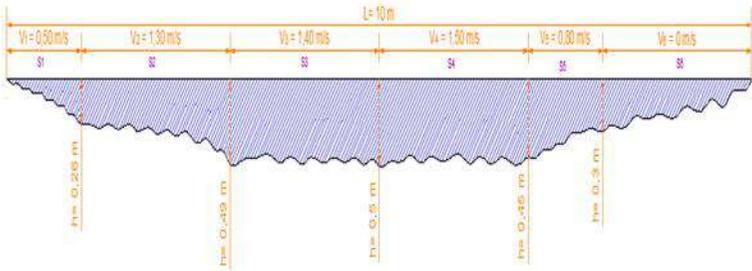
ANEXO P: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP12

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	11:50			Soleado		
Hora final	12:00	Latitud	Longitud	Nublado	x	
Provincia	Tungurahua					
Zona	PICAIHUA - EL ROSARIO	Altura				
Nombre del río	Pachanlica	2485				
Código del punto	RP12					
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo	Profundidad max (m)		Situado antes del puente de entrada al estadio y después de la PTAR Hay descargas directas debajo del puente, espuma y mal olor.	
		Correntómetro	Transición	Seca		
		Método	0.55	0.41		
		Molinete	Caudal (m3/s)			
			Transición	Seca		
		Ancho (m)	Transición	8		
Seca	10					
		VEGETACIÓN		RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE		
Secciones o tramos	6	Se observó que predomina las especies como: Ricino - Mostaza - Totora - Marco - Chilca - Chanllilva - Sauces - Carrizo - Hierba			Descargas	Basura
Área (m2)	2.98				SI	SI

ANEXO Q: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP13

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	12:13			Soleado		
Hora final	12:19	Latitud	Longitud	Nublado	x	
Provincia	Tungurahua					
Zona	PICAIHUA - CHIQUICHA	Altura				
Nombre del río	Pachanlica	2348				
Código del punto	RP13					
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo	Profundidad max (m)		Se encuentra en el puente 1, hay arena y no se ven casas cercanas, ganado y hay deslizamiento de tierra por maquinaria trabajando.	
		Correntómetro	Transición	Seca		
		Método	0.65	0.63		
		Molinete	Caudal (m3/s)			
			Transición	Seca		
		3.89	4.77			
Ancho (m)	Transición	8	Tipo			
	Seca	11		Existe contaminación antropogénica		
		VEGETACIÓN			RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE	
Secciones o tramos	6	Se observó que predomina las especies como: Ricino - Acacia - Ciprés - Eucalipto - Cholan - Sauces - Pencas - Chilca - Hierba - Lengua de Vaca			Descargas	Basura
Área (m2)	4.49				SI	NO

ANEXO R: FICHA DE DESCRIPCIÓN – PUNTO RP14

FICHA DE DESCRIPCIÓN						
DATOS DEL MONITOREO		COORDENADAS		CONDICIONES CLIMÁTICAS		FOTOGRAFÍA DEL PUNTO
Duración	17/08/2023 hasta 31/09/2023	Sistema de coordenadas geográficas		Lluvia		
Hora de inicio	12:35			Soleado		
Hora final	12:45	Latitud	Longitud	Nublado	x	
Provincia	Tungurahua					
Zona	PICAIHUA - CHIQUICHA	Altura				
Nombre del río	Pachanlica	2265				
Código del punto	RP14					
Monitoreado por	Estefany Toro y William Pilamunga					
DIBUJO DEL PERFIL TRANSVERSAL DEL RÍO		DATOS DE CAUDAL			DESCRIPCIÓN	
		Equipo	Profundidad max (m)		Situado en "Las Viñas" antes de la unión con el río Ambato, hay invernaderos, población y ganado.	
		Correntómetro	Transición	Seca		
		Método	0.7	0.49		
			Caudal (m3/s)			
		Molinete	Transición	Seca		
			7.82	1.87		
Ancho (m)	Transición	12	Tipo			
	Seca	10	Existe contaminación antropogénica			
		VEGETACIÓN			RESIDUOS DENTRO DEL CAUCE	
Secciones o tramos	6	Se observó que predomina las especies como: Ricino - Acacia - Cholan - Sauces - Chilca - Molle - Carrizo - Hierba - Lengua de Vaca - árboles de aguacate			Descargas	Basura
Área (m2)	1.67				SI	SI



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 29/04/2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> William Joel Pilamunga Hurtado Estefany Carolina Toro Apolo
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Ambiental
 Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos, MSc. <b>Director del Trabajo de Titulación</b>
 Ing. Paulina Fernanda Bolaños Logroño, MSc. <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b>