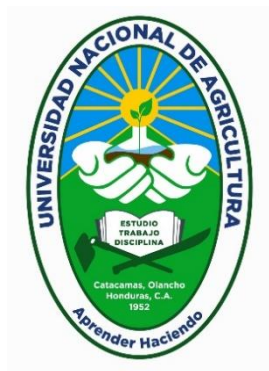


UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN



**ANÁLISIS DE LA HIDROLOGÍA, LA HIDROQUÍMICA Y LA CALIDAD DEL AGUA EN
LA MICROCUENCA DEL RÍO CATACAMAS, CATACAMAS, HONDURAS.**

TESIS

Por

Katerine Julissa Salgado Zuniga

Catacamas, Olancho

Diciembre 2025

**Análisis de la hidrología, la hidroquímica y la calidad del agua en la microcuenca del Río
Catacamas, Catacamas, Honduras.**

POR:

Katerine Julissa Salgado Zuniga

Jorge Orbin Cardona Hernández, M.Sc.

Director de tesis

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

Catacamas, Olancho

Diciembre 2025

DEDICATORIA

A **Dios** y a la **Virgen**, por darme la fortaleza necesaria y sostenerme en sus manos, guiando cada uno de mis pasos y permitiéndome no desistir jamás de mis sueños.

A mis padres, **Luis Manuel Salgado Sevilla** y **Mayra Lizeth Zuniga Salgado** por su amor infinito. En especial a mi mamá, por su esfuerzo, su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por nunca frenar mis sueños e impulsarme a llegar más lejos.

A mis amadas hermanas, **Alexandra Abigail** y **Marilyn Dayanna Salgado Zuniga**, quienes son mi mayor felicidad. Que este logro sea para ustedes una motivación para seguir soñando y un recordatorio que todo lo que se propongan es posible.

A mi abuela y tíos/as que siempre estuvieron al pendiente y me motivaban seguir adelante.

A mí misma, porque a pesar de todas las adversidades jamás dejé de luchar y nunca renuncié a mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Virgen por iluminar mi camino y permanecer a mi lado, por la fortaleza, sabiduría y entendimiento y concederme la gracia de culminar con éxito una meta más en mi vida.

A mis padres, por su esfuerzo, sacrificio y amor incondicional lo que fue el pilar fundamental en mi formación personal y profesional.

A mis hermanas, por ser mi refugio en todo momento y acompañarme con su cariño en cada paso.

A mis asesores, M.Sc. Ramon León Canaca y M.Sc. Esly Yarixa Cantarero, por el tiempo, el apoyo y el conocimiento que me compartieron día a día.

A mi asesor principal, M.Sc. Jorge Orbin Cardona Hernández, por su paciencia, conocimiento y tiempo brindado a lo largo de todo este proceso el cual fue fundamental para que esta investigación se desarrollara de una mejor manera, mi respeto y admiración siempre.

Y a todas aquellas personas que han sido parte fundamental a lo largo de estos años compartidos en la Universidad, su alegría, apoyo y amor me ayudaron a mantenerme firme y avanzar.

SALGADO ZUNIGA, K.J. 2025. Análisis de la hidrología, la hidroquímica y la calidad del agua en la microcuenca del Río Catacamas, Catacamas, Olancho Tesis. Ing. En Gestión Integral de los Recursos Naturales. Catacamas, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura. 88 pág.

RESUMEN

La microcuenca del Río Catacamas es un sistema estratégico para el abastecimiento de agua en el municipio de Catacamas, Olancho, donde provee a comunidades rurales y urbanas. Debido a su importancia, esta investigación tuvo como objetivo analizar los componentes hidrológicos, hidroquímicos y las características fisicoquímicas del agua durante la época seca, con el fin de comprender las principales influencias que determinan su comportamiento. Este estudio se orientó a comprender tres aspectos fundamentales como ser la morfometría, la dinámica del agua y su composición química. La metodología integró trabajo de campo, uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), caracterización del uso actual del suelo y análisis de muestras de agua para determinar iones y parámetros fisicoquímicos fundamentales. Se realizaron muestreos en dos puntos específicos de la microcuenca para evaluar su estado. Se determinó que la microcuenca posee una forma alargada evidenciada por su factor de forma 0.156 y coeficiente de compacidad (kc) de 2.2, además un relieve empinado, esto incrementa la escorrentía superficial y favorece procesos de erosión. En cuanto al uso del suelo, se identificaron trece categorías, predominando el bosque latifoliado un porcentaje de 53.35%, cultivos de café 15.57% y pastizales 6.55%, lo que representa el 75.47% del área total de la microcuenca. El análisis hidroquímico muestra que el agua presenta una dureza con rangos de moderada a dura (150-250 Mg/l), resultado de la interacción con formaciones rocosas ricas en calcio y magnesio, especialmente en la zona media del cauce. Los parámetros fisicoquímicos varían con la altitud: temperaturas más bajas y mayor oxigenación en la parte alta, conductividad eléctrica mayor en zonas bajas y turbidez influenciada por actividades humanas. Este estudio demuestra que la hidrología y la calidad del agua están fuertemente influenciadas por su morfometría y el uso de suelo. Aunque los parámetros son adecuados, la microcuenca es vulnerable a la erosión y sedimentos, resaltando la necesidad de fortalecer la conservación y protección de zonas de recarga hídrica.

Palabras claves: Calidad del agua, fisicoquímica, hidrología, hidroquímica, morfometría, Río Catacamas.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
III. MARCO TEÓRICO.....	3
3.1. Ciclo hidrológico.....	3
3.2. Cuenca hidrográfica	3
3.3. Microcuenca	4
3.4. Morfometría de las microcuencas	4
3.4.1. Parámetros generales de una Cuenca Hidrográfica	5
3.4.1.1. Área (A)	5
3.4.1.2. Perímetro (P) (Km)	6
3.4.1.3. Longitud del curso principal (L) (m)	6
3.4.1.4. Longitud Axial (La) (Km)	6
3.4.1.5. Ancho de la cuenca (W).....	7
3.4.1.6. Desnivel Altitudinal (DA).....	7
3.4.2. Parámetros de forma.....	8
3.4.2.1. Factor Forma de Horton (Rf)	8
3.4.2.2. Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc)	9
3.4.2.3. Índice de Alargamiento (Ia)	10
3.4.3. Parámetros de Relieve	11
3.4.3.1. Pendiente media de la cuenca	11
3.4.3.2. Curva Hipsométrica	13
3.4.3.3. Histograma de frecuencias altimétricas	14
3.4.3.4. Caracterización de la red de drenaje	15
3.4.3.5. Densidad de drenaje.....	15

3.4.3.6. Tiempo de concentración (Tc)	16
3.4.3.7. Orden de drenaje	16
3.4.3.8. Coeficiente de Torrencialidad	17
3.5. Escorrentía.....	17
3.6. Hidrología.....	18
3.7. Hidroquímica.....	18
3.8. Calidad del Agua.....	19
3.8.1. Caracterización Fisicoquímica	19
3.8.1.1. Oxígeno Disuelto (OD).....	19
3.8.1.2. Coliformes Fecales.....	20
3.8.1.3. Potencial de Hidrógeno (pH)	20
3.8.1.4. Conductividad Eléctrica.....	21
3.8.1.5. DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno).....	21
3.8.1.6. Nitratos.....	22
3.8.1.7. Temperatura	22
3.8.1.8 Turbidez	22
3.8.1.9. Sólidos Disueltos Totales.....	23
3.8.1.10. Dureza Total.....	23
IV. MATERIALES Y METODOS	24
4.1. Descripción del área de estudio.....	24
4.1.1. Condiciones geológicas y edafológicas	25
4.1.2. Condiciones topográficas	26
4.1.3. Condiciones generales del clima	27
4.1.4. Temperatura.....	27
4.2. Materiales y Equipo	27
4.3. Método	28
4.4. Análisis morfométrico de la microcuenca.....	28
4.4.1. Fórmulas utilizadas en el cálculo de parámetros morfométricos	29
• Perímetro (P).....	29
• Longitud Axial (La).....	29
• Ancho promedio de la cuenca (W)	29
• Desnivel Altitudinal (DA)	30

4.4.2. Parámetros de forma.....	30
• Factor de Forma de Horton.....	30
• Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc)	31
4.4.3. Parámetros de Relieve	31
• Pendiente Media de la Cuenca (%).....	31
• Curva Hipsométrica y Frecuencia Altimétrica	32
• Cota máxima y cota mínima.....	32
4.4.4. Parámetros de drenaje.....	32
• Densidad de drenaje (Dd)	32
• Longitud del Cauce Principal	33
• Orden de drenaje.....	33
• Tiempo de Concentración.....	33
4.5. Caracterización Hidroquímica de la microcuenca	34
4.6. Puntos de Muestreo	34
4.7. Protocolo para la recolección de las muestras.....	34
4.8. Iones mayoritarios utilizados en hidroquímica	35
4.9. Parámetros fisicoquímicos para la calidad del agua.....	35
4.9.1. Diagramas de Boxplot y Diagrama de Línea de tendencia	36
V. RESULTADOS Y DISCUSION	38
5.1. Morfometría de la microcuenca	38
5.1.1. Parámetros de forma de la microcuenca.....	39
5.1.2. Morfometría del relieve de la microcuenca.....	40
5.1.3. Curva Hipsométrica y Frecuencia Altimétrica	41
5.1.4. Parámetros de Red de drenaje de la microcuenca	42
5.1.5. Uso actual de suelo en la microcuenca del Río Catacamas	44
5.2. Características hidroquímicas predominantes en la red hidrográfica de la microcuenca en la época seca.	47
5.3. Características fisicoquímicas del agua predominantes en la microcuenca del Río Catacamas en la temporada seca.	50
5.3.1. Variación de parámetros fisicoquímicos del agua en la microcuenca del Río Catacamas durante las fechas de muestreo.....	50
5.3.2. Temperatura.	50
5.3.3. Conductividad Eléctrica.....	52

5.3.4. pH.....	53
5.3.5. Turbidez (NTU)	55
5.3.6. Oxígeno Disuelto mg/l.....	56
5.3.7. Alcalinidad.....	58
5.3.8. Dureza	59
VI. CONCLUSIONES	62
VII. RECOMENDACIONES	63
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Representación de Área.	5
Tabla 2. Referencia forma de Horton.....	9
Tabla 3. Clasificación del Coeficiente de Compacidad o Gravelius.....	10
Tabla 4. Clasificación del índice de alargamiento.	11
Tabla 5. Clasificación del relieve de una cuenca de acuerdo con su pendiente.....	12
Tabla 6. Factores de densidad de drenaje de cuencas según Strahler\Horton.....	16
Tabla 7. Clasificación de la Dureza Mg/l.	23
Tabla 8. Materiales y equipo.....	28
Tabla 9. Morfometría y parámetros de forma de la microcuenca del Río Catacamas.	39
Tabla 10. Morfometría asociada al relieve.....	40
Tabla 11. Parámetros asociados a la red de drenaje.....	43
Tabla 12. Tiempo de concentración.....	43
Tabla 13. Usos de suelos predominantes en la microcuenca del Río Catacamas.	46
Tabla 14. Estadísticos descriptivos de Cationes y Aniones.	49
Tabla 15. Parámetros fisicoquímicos del agua en la microcuenca del Río Catacamas.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipo de curva hipsométrica.	14
Figura 2. Tipo de frecuencia altimétrica.	14
Figura 3. Ubicación del sitio de estudio.	25
Figura 4. Orden de drenaje del Río Catacamas.	38
Figura 5. Curva Hipsométrica e Histograma de Frecuencia Altimétrica del Río Catacamas.	42
Figura 6. Uso actual de suelo en la microcuenca del Río Catacamas.	45
Figura 7. Bloxplot respecto a los Cationes y Aniones.	48
Figura 8. Boxplot respecto a la temperatura.	51
Figura 9. Línea de tendencia con relación de la temperatura vs con la altitud.	51
Figura 10. Boxplot respecto a la Conductividad Eléctrica.	52
Figura 11. Línea de tendencia con relación a la Conductividad Eléctrica vs Altitud.	53
Figura 12. Boxplot respecto al pH.	54
Figura 13. Línea de tendencia con relación al pH vs Altitud.	54
Figura 14. Boxplot respecto a la Turbidez.	55
Figura 15. Línea de tendencia con relación a la Turbidez vs Altitud.	56
Figura 16. Boxplot respecto al Oxígeno Disuelto.	57
Figura 17. Línea de tendencia con relación al Oxígeno Disuelto vs Altitud.	57
Figura 18. Boxplot respecto a la Alcalinidad.	58
Figura 19. Línea de tendencia con relación a la Alcalinidad vs Altitud.	59
Figura 20. Boxplot respecto a la Dureza.	60
Figura 21. Línea de tendencia con relación a la Dureza vs Altitud.	60

I. INTRODUCCIÓN

Una microcuenca es aquella cuenca que está dentro de un subsistema hidrográfico, cuya área de drenaje es menor o igual a 500 km² Minambiente, (2012), correspondiente a aguas superficiales, que vierten a una red hidrográfica natural de cauces continuos o intermitentes, que converja en un curso mayor y que a su vez, puede desembocar en un río o en un depósito natural de aguas formando una unidad de drenaje claramente definida. Estas áreas son fundamentales para el manejo de los recursos hídricos, regulando la cantidad como la calidad del agua disponible (Barragan Acosta et al. 2018).

Sin embargo, suelen verse afectadas por las actividades antrópicas como la agricultura, la deforestación y la ganadería, lo que altera el flujo natural y compromete la calidad del agua, esto recalca la importancia de implementar una gestión sostenible Pérez (2017). A nivel global se estima que entre el 30% y el 50% de la cobertura forestal ha sido alterada; en América Latina, aunque tiene una alta cobertura forestal (58.1%), presenta una tasa de deforestación del 2.5% en los últimos veintiséis años (Leija *et al.* 2020).

En este contexto, el Parque Nacional Sierra de Agalta, ubicado en el departamento de Olancho, representa un área clave para el suministro de agua y la regulación climática del Valle de Catacamas. Este parque abastece de agua potable a las comunidades urbanas y rurales de los municipios adyacentes, lo cual es esencial para el bienestar y desarrollo económico de la población local Castañeda y Villatoro (2006). Dentro de esta área protegida se encuentra la microcuenca del Río Catacamas, un sistema estratégico para el abastecimiento y la regulación hídrica regional. Por ello el presente estudio tuvo como finalidad proporcionar un análisis integral de la hidrología e hidroquímica de la microcuenca, con el fin de comprender la calidad del agua e identificar los principales problemas, proponiendo recomendaciones para su adecuada gestión y conservación en beneficio de las comunidades locales y del ecosistema en general.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Analizar los elementos hidrológicos, las características hidroquímicas y las condiciones de la calidad del agua en la microcuenca del Río Catacamas.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros morfométricos y el uso actual del suelo en la microcuenca del Río Catacamas.
- Identificar las características hidroquímicas predominantes en la red hidrográfica de la microcuenca en la época seca.
- Analizar la calidad del agua superficial de la microcuenca del Río Catacamas a través de la evaluación de parámetros físicoquímicos

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Ciclo hidrológico

La hidrología se basa en el estudio y análisis de los componentes del ciclo hidrológico, el cual describe las diferentes transformaciones y flujos de agua en un ecosistema. En una cuenca, la entrada de agua comienza con la precipitación, que luego se convierte en varios flujos y formas de almacenamiento, formando así el ciclo hidrológico local Rojas (2009). Este ciclo se representa como un modelo de circulación del agua, a menudo simplificado y examinado en el contexto del ciclo de escorrentía o la redistribución de precipitaciones (Rodríguez Osses 2012).

En el aire, el agua se presenta en forma de gas, visible como nubes, pero también existe como vapor de agua transparente, es decir, como humedad. Las nubes son la muestra visible del gas cuando se condensa en pequeñas partículas las cuales desvían la luz en diversas direcciones, formando así las nubes. A medida que las partículas crecen debido a múltiples adhesiones, su peso aumenta y eventualmente caen en forma de lluvia, nieve o granizo (Bateman 2007).

3.2. Cuenca hidrográfica

Según Cotler *et al.* (2013) las cuencas hidrográficas son unidades funcionales con límites claramente definidos y salidas específicas, y se organizan de manera jerárquica. Estas pueden dividirse en subcuenca, las cuales también están delimitadas por parteaguas y concentran los escurrimientos que fluyen hacia el río principal. Dentro de cada subcuenca se encuentran las microcuencas, cuyos límites pueden o no coincidir con fronteras administrativas, como las de un ejido o un municipio. Esta estructura múltiple refleja el carácter jerárquico y anidado de las cuencas.

Desde la geografía, una cuenca hidrográfica es una unidad natural delimitada por la línea divisoria de aguas Jiménez (2008). Y en existencia de lluvias o flujos base, se forma una red de drenaje superficial que transporta el agua desde zonas altas hasta un punto de salida en áreas más bajas Speer Laínez (2010). Esta red une a Ríos, lagos, embalses y el mar. La cuenca funciona como un sistema integral compuesto por elementos biofísicos (agua y suelo), biológicos (flora y fauna) y antropogénicos (sociales, culturales e institucionales). Estos componentes están interrelacionados, por lo que cualquier cambio en uno afecta al sistema completo.

3.3. Microcuenca

La FAO describe la microcuenca como una pequeña unidad geográfica habitada por varias familias que utilizan y gestionan los recursos disponibles, así mismo estas son áreas de escurrimiento superficial de corrientes menores hacia un tributario mayor entre ellos los más importantes, suelo, agua y vegetación. En este sentido los habitantes comparten intereses comunes relacionados con el agua, servicios básicos, infraestructura y organización (Zhicay Lombaida 2020).

3.4. Morfometría de las microcuencas

A lo largo de historia, la morfometría ha evolucionado desde un enfoque descriptivo y teórico hacia una perspectiva más funcional y evolutiva Mendoza Espinoza (2024). De esta manera el análisis morfométrico de una microcuenca es fundamental para comprender su estructura geométrica y los patrones de su red de drenaje Prabu y Baskaran (2013). Este tipo de investigación permite identificar formas del terreno, pendientes y distribución de cauces, elementos clave en la dinámica fluvial. En zonas con pendientes pronunciadas, algunas microcuencas presentan características torrenciales que aumentan el riesgo de inundaciones Mikhailova (2015). Evaluar estos parámetros ayuda a interpretar mejor el comportamiento hidrológico. Además, la morfometría permite analizar eventos extremos como inundaciones y procesos relacionados con el agua subterránea (Avinash, Deepika y Jayappa, 2014; Quesada y Jiménez Zeledón, 2020).

3.4.1. Parámetros generales de una Cuenca Hidrográfica

La caracterización morfológica e hidrológica de la cuenca incluye la medición de las variables físicas: área (km²), perímetro (km), altitud media (msnm); variables morfológicas: pendientes mínima, máxima y media (%); variables hidrológicas: longitud del cauce principal (km), pendiente media de cauce (%), factor de forma o índice de Gravelius, longitud de corrientes (km), número de corrientes, densidad de corrientes por km², densidad de drenaje (km\km²), red de drenaje (Rossini *et al* 2011; Reyes Sandoval y Serrano Rodríguez 2021).

3.4.1.1. Área (A)

El área de una cuenca es un parámetro clave ya que de él se obtienen todos los índices morfológicos importantes para evaluar el grado de erosión de las cuencas y de esta forma clasificarla según su tamaño (Moretto *et al.* 2019).

Este parámetro hace referencia a la superficie la cual está sujeta a la curva de separación de aguas, determinando el comportamiento del escurrimiento en relación con la cantidad y frecuencia de la precipitación. El tamaño de la cuenca influye significativamente en la cantidad de escorrentía, ya sea la que proviene directamente de la precipitación o el flujo de base.

Tabla 1. Representación de Área.

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

Fuente: (Lombaida 2020).

3.4.1.2. Perímetro (P) (Km)

Según Brieva (2018) citado por Cumbal Imbaquingo y Ordoñez Bustamante (2023). El perímetro es un indicador de gran relevancia, pues nos facilita conocer la relación entre la cuenca y la longitud con la línea divisoria del agua en un plano horizontal, otorgándole a la cuenca una forma irregular. Usualmente se representa en kilómetros con la letra P en mayúscula.

3.4.1.3. Longitud del curso principal (L) (m)

Se refiere a la evolución del cuerpo de agua tomando en cuenta la sinuosidad de su canal, la longitud del cauce principal considerando el eje del mismo, o la distancia en línea recta entre el punto de control de la cuenca y el punto más alejado de este. Podemos decir que es la longitud del río desde el punto más distante de la cuenca hasta la desembocadura expresada en kilómetros (Gaspari *et al.* 2015).

3.4.1.4. Longitud Axial (La) (Km)

Es la distancia que se calcula desde la ubicación más alejada de la cuenca hasta el punto de origen o captación (Villota Rosero 2019).

También se define a la longitud axial de una cuenca como la distancia a lo largo del cauce principal de un sistema de drenaje, desde el punto de captación de agua en la cabecera de la cuenca hasta su desembocadura, que generalmente corresponde a un río o un cuerpo de agua mayor. Esta medida indica la extensión total del curso de agua principal dentro de la cuenca y proporciona información sobre la amplitud del sistema fluvial Córdova (2016). La longitud axial puede influir en la respuesta hidrológica de la cuenca, afectando aspectos como la velocidad de la escorrentía y el tiempo de concentración del agua en el sistema de drenaje (Imbaquingo Cangas 2023).

3.4.1.5. Ancho de la cuenca (W)

Según Villon (2002) citado por Verdugo Cárdenas (2017) señala que es la relación entre la superficie (A) y la longitud axial de la cuenca obtenida en kilómetros (L). Este parámetro es útil para identificar la forma de la cuenca, permitiendo distinguir si es alargada o redondeada Córdova (2016). El ancho de la cuenca puede medirse en distintos puntos, como en la parte superior, cerca de la cabecera, o en un lugar específico a lo largo del cauce principal. Esta medida ofrece información sobre la extensión lateral de la cuenca en ese punto particular y puede variar a lo largo del sistema fluvial (Imbaquingo Cangas 2023).

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

Donde:

A: Superficie de la cuenca en Km²

La: Longitud Axial de la cuenca

3.4.1.6. Desnivel Altitudinal (DA)

Esta variación está relacionada con la diversidad climática y ecológica, dado que una cuenca con una diversidad de altitudes superiores puede sostener un mayor número de ecosistemas. En el contexto de los recursos de agua, el desnivel altitudinal es esencial para comprender el flujo del agua, dado que representa el valor de la diferencia entre la altura más elevada y la más baja de la cuenca (Verdugo Cardenas 2017).

$$DA = HM - Hm$$

Donde:

DA= Desnivel Altitudinal

HM: Cota Máxima (msnm)

Hm: Cota mínima (msnm)

3.4.2. Parámetros de forma

El diseño de la cuenca tiene un rol esencial para entender su comportamiento hidrológico. Cuencas que comparten la misma superficie, pero de maneras diferentes, pueden presentar respuestas hidrológicas y crear hidrogramas distintos Chester *et al.* (2017). Los parámetros que se toman en cuenta para caracterizar su forma incluyen:

3.4.2.1. Factor Forma de Horton (Rf)

De acuerdo con Schmitt y Moreira (2015) citado por Matus Reyes (2023). El factor de forma de Horton representa la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud de su cauce principal. La forma de la cuenca hidrográfica influye en el hidrograma de escorrentía y en las tasas de flujo máximo. El resultado de este factor puede contribuir en el comportamiento hidrológico de la cuenca y la tendencia de los eventos de precipitación ya sea hacia mayores o menores tendencias.

Horton, ha propuesto un factor adimensional denominado "Rf" Ordoñez Gálvez (2011), el cual se puede obtener a partir de la siguiente ecuación.

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

Donde:

Rf: Factor forma de Horton (adimensional)

A: Área de la cuenca (km²)

La: Longitud axial de la cuenca (km)

- Este valor será empleado en numerosos cálculos dentro de diferentes modelos hidrológicos.
- Para una misma cuenca hidrográfica o regiones de características similares, se puede afirmar que, a mayor área, mayor será el caudal promedio.

Tabla 2. Referencia forma de Horton.

Rango de Valores	Forma de la Cuenca
<0.22	Muy Alargada
0.22 - 0.30	Alargada
0.3 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45- 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.12	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: (Lombaida, 2020).

3.4.2.2. Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc)

Es la relación entre el perímetro de una cuenca y el perímetro de una circunferencia que tiene un área equivalente a la cuenca, también conocido como el Coeficiente de Gravelius (Salas Aguilar *et al.* 2010).

De esta manera, se puede estimar la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud total de la cuenca, la cual es entendida como la distancia desde la desembocadura hasta el punto más alejado de la misma Ibáñez Asensio *et al.* (2011). A mayor irregularidad de la cuenca, mayor será su coeficiente de compacidad (Kc), el cual siempre es superior a uno. Esta característica permite definir la forma geométrica de la microcuenca, lo que influye en su respuesta hidrológica, en función de las características del relieve y su localización geográfica (Jiménez Castelo y Vega Herrera 2022).

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

Donde:

Kc : Índice de Gravelius (adimensional)

P : Perímetro de la cuenca (km)

A : Área de la cuenca (Km²)

Tabla 3. Clasificación del Coeficiente de Compacidad o Gravelius.

Kc	Clasificación	Interpretación Ambiental
1 a 1.25	Casi redonda a oval redonda	Alta tendencia a inundaciones
1.25 a 1.5	Oval redonda a oval alargada	Mediana tendencia a inundaciones
1.5 a 1.75	Oval alargada a alargada	Baja tendencia a la inundación
> 1.75	Alargada	Cuencas propensas a la conservación

Fuente: (Lombaida 2020).

3.4.2.3. Índice de Alargamiento (Ia)

Este índice, introducido por Horton (1945), establece una relación entre la longitud axial de la cuenca y su ancho máximo. Las cuencas con un valor superior a 1 suelen ser más largas que anchas, lo que permite prever la dinámica del flujo del agua en los drenajes y su capacidad para erosionarse (Salas Aguilar *et al.* 2011).

Se determina relacionando la longitud axial con el ancho mayor estimado de manera perpendicular. Este indicador se utiliza para determinar el diseño de la cuenca: un valor elevado indica que la cuenca es alargada, similar a un rectángulo, mientras que un valor bajo indica que la cuenca tiene una forma más compacta, similar a un cuadrado, con una red de drenaje en forma de abanico (Villota Rosero 2019).

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

Donde:

Ia : Índice de Alargamiento (adimensional)

W : Ancho de la cuenca (km)

La : Longitud axial de la cuenca (Km)

Tabla 4. Clasificación del índice de alargamiento.

Rangos de Ia	Clase de alargamiento
0 – 1.4	Poco alargada
1.5 - 2.8	Moderadamente alargada
>2.9	Muy Alargada

Fuente: (Lombaida 2020).

3.4.3. Parámetros de Relieve

Los parámetros de relieve son fundamentales, ya que ejercen una mayor influencia que los parámetros de forma sobre la respuesta hidrológica. Es por ello que a medida que aumenta el relieve o la pendiente, la generación de escorrentía ocurre en períodos de tiempo más cortos (Zhicay Lombaida 2020).

3.4.3.1. Pendiente media de la cuenca

La pendiente representa el cambio en la inclinación de una cuenca, y su determinación es crucial para comprender cómo el sistema responde al desplazamiento de las capas del suelo, ya sea por erosión o sedimentación. Esto se debe a que las áreas con pendientes pronunciadas suelen presentar

problemas frecuentes de erosión, mientras que en las zonas más planas prevalecen los problemas relacionados con el drenaje y la sedimentación (Sánchez Angulo 2014).

Se define como la línea que recoge los diferentes valores obtenidos en intervalos iguales a lo largo del cauce de la cuenca. Esta línea está relacionada con factores como la infiltración, la humedad del área, el aporte de aguas subterráneas a los cauces y el escurrimiento superficial de la cuenca (Cumbal Imbaquingo y Ordoñez Bustamante 2023).

$$S = \frac{E * Li}{A}$$

Donde:

S= Pendiente media de la cuenca (%)

Li: Longitud de cada una de las curvas de nivel, en Km

E: Equidistancia de las curvas de nivel (Km)

A: Área de la cuenca (Km)

Tabla 5. Clasificación del relieve de una cuenca de acuerdo con su pendiente.

Rango de Pendiente (%)	Descripción
0 – 4	Nula o casi Nivel
4 – 8	Ligeramente inclinada
8 – 15	Ligeramente inclinada o moderadamente empinada
15 - 25	Moderadamente empinada
25 – 50	Empinada
50 – 75	Muy empinada
>75	Extremadamente empinada

Fuente: (Lombaida, 2020).

3.4.3.2. Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica es un gráfico que representa el porcentaje del área de una cuenca sobre un nivel de elevación. Esta curva se utiliza para definir características fisiográficas de las cuencas hidrográficas y refleja las características topográficas de la cuenca en estudio. Se construye colocando en el eje vertical los valores de las alturas máximas de la cuenca, y en el eje horizontal, los valores del área superior a esas alturas, en relación con el área total de la cuenca. La función hipsométrica es una forma útil y objetiva de describir la relación entre la altitud de la cuenca y su área en un plano. Además, las curvas hipsométricas también se han relacionado con las edades de los ríos de las cuencas correspondientes (Consortio Río Garagoa 2017; Pérez Sepúlveda 2020).

De esta manera en las cuencas pueden observarse distintos tipos de curvas hipsométricas debido a su proceso evolutivo (edad del río), lo que permite determinar características fisiográficas:

- Cuencas con ríos **jóvenes**: se caracterizan por presentar un gran potencial erosivo
- Cuencas con ríos **maduros**: muestran una condición estable donde los procesos erosivos y sedimentarios se encuentran en un estado de equilibrio
- Cuencas con ríos **viejos**: dominadas por los sedimentos (J. C. Aguilar & Naranjo 2018).

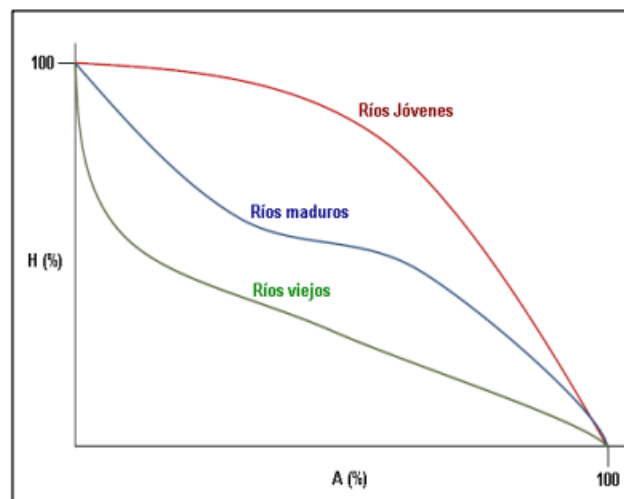


Figura 1. Tipo de curva hipsométrica.

Fuente: (Lobo 2002)

3.4.3.3. Histograma de frecuencias altimétricas

La superficie, generalmente expresada en km², se define como la relación entre dos cotas. Esta información se presenta en un diagrama de barras, que muestra los mismos datos que la curva hipsométrica, pero de manera distinta Ibáñez *et al.* (2011). La representación está basada en niveles de altitud lo que facilita la elaboración de un histograma, que se produce a partir de los mismos datos empleados en la curva hipsométrica. A pesar de que ambos diagramas muestran la misma información, lo hacen de forma diferente. Aunque la curva representa la distribución acumulada del terreno, el histograma proporciona una visión más directa de la frecuencia de las altitudes, proporcionando de esta manera una visión probabilística de cómo cambia la altura dentro de la cuenca (Ibáñez Asensio *et al.* s.f.).

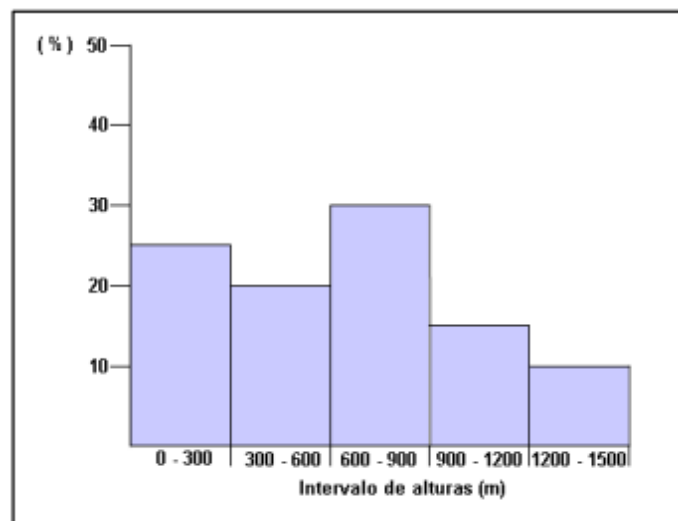


Figura 2. Tipo de frecuencia altimétrica.

Fuente (Ibáñez Asensio *et al.* s.f.).

3.4.3.4. Caracterización de la red de drenaje

Según Llamas (1993), se refiere a la disposición de los canales que transportan el agua en una cuenca, la cual está compuesta por un río principal y varios afluentes que se ramifican hacia las zonas más elevadas (León Olmedo 2020).

3.4.3.5. Densidad de drenaje

Se define para una cuenca como la longitud promedio del curso de agua por unidad de área Viramontes Olivas *et al.* (2007). La densidad del drenaje (Dd) es una herramienta crucial para entender el comportamiento hidrológico de una cuenca, ya que refleja aspectos como la litología, la topografía y las características del suelo y la cobertura vegetal Horton (1945); Díaz y Bermúdez (1987). Es decir, un valor más alto de Densidad de drenaje indica una mayor tendencia al escurrimiento en comparación con la infiltración y el almacenamiento (independientemente de otros factores). Esto se traduce en hidrogramas más pronunciados, con picos de caudal elevados y tiempos de concentración más cortos, lo que incrementa el riesgo de erosión en riberas y cauces, así como la probabilidad de inundaciones en áreas bajas (Karanth 1987; Eze y Efiog 2010).

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

Donde

L: Σ Longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en km

A: Área de la cuenca (km²)

Tabla 6. Factores de densidad de drenaje de cuencas según Strahler\Horton.

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

Fuente: (Lombaida, 2020).

3.4.3.6. Tiempo de concentración (Tc)

En cuanto al tiempo de concentración se define como el tiempo que tarda la escorrentía superficial desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de salida, es decir, el periodo durante el cual toda la cuenca contribuye al flujo Vélez Upegui y Botero Gutiérrez (2011). Varios autores han presentado distintas fórmulas para calcular el tiempo de concentración en cuencas hidrográficas. Este parámetro está influenciado por las características de la forma, el relieve y la red de drenaje de la cuenca (Bolo *et al.* 2019).

3.4.3.7. Orden de drenaje

Es un número que indica el grado de ramificación del sistema de drenaje. Existen diferentes criterios para clasificar los cauces de la red de drenaje en una cuenca hidrográfica; tal como señala Sánchez (2006), al describir el método de Strahler, los cauces de primer orden son aquellos que no tienen tributarios. Los cauces de segundo orden se forman por la unión de dos cauces de primer orden, y en general, los cauces de orden no se crean cuando se unen dos cauces de orden. Si un

cauce se une a uno de orden superior, el canal resultante hacia aguas abajo retiene el orden más alto. Así, el orden de la cuenca coincide con el del cauce principal en su desembocadura.

3.4.3.8. Coeficiente de Torrencialidad

Con respecto a este parámetro se define como la relación entre el número total de ríos de orden 1 y el área de la cuenca en kilómetros cuadrados. Este coeficiente es un indicador de la erodabilidad de una región, estrechamente vinculado a los procesos de erosión lineal y a la capacidad de drenaje de una cuenca. Dado que los ríos de primer orden se originan a partir de procesos erosivos (como la erosión en surcos y cárcavas), un valor elevado de este coeficiente sugiere una alta susceptibilidad a la erosión, tiempos más cortos para alcanzar el pico de caudal y mayor torrencialidad. En resumen, los ríos de orden 1 son fundamentales en la generación de flujos torrenciales y en provocar inundaciones rápidas (Busnelli y Horta 2014).

3.5. Escorrentía

Las actividades humanas como la agricultura, el pastoreo y la gestión forestal pueden impactar negativamente las tasas de infiltración del suelo, lo que a su vez incrementa la escorrentía superficial y acelera los procesos de erosión Turnbull *et al.* (2010). Los sedimentos que ingresan a un curso de agua se dividen en sólidos suspendidos, que se desplazan en la columna de agua, y sedimentos de fondo, que son partículas que se mueven en contacto con el lecho del río (Oyarzún *et al.* 2011).

Por consiguiente, podemos definir a la escorrentía superficial como la capa de agua que fluye sobre la superficie de una cuenca de drenaje, representando la cantidad de agua de lluvia que se escurre y se distribuye, medida en milímetros. Generalmente, se calcula como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración en el suelo Ecured (2001). A veces, el término también se usa para referirse sólo a las características del suelo antes de que se produzca el escurrimiento (Chacón 2019).

La esorrentía es el agua proveniente de las lluvias que no se retiene ni se absorbe en el suelo, sino que fluye sobre la superficie, este exceso de agua acumulada en las depresiones del terreno se infiltra parcialmente, pero también puede escurrir. En algunos casos, el agua infiltrada puede aparecer de nuevo en la superficie, originando un nuevo flujo superficial (Orellana y Pérez 2013; Bermeo y Barén 2016).

3.6. Hidrología

La hidrología de las cuencas facilita la comprensión del movimiento del agua a través del suelo, después de que la zona de captación haya recibido precipitación, ya sea de manera vertical, horizontal o ambas. Esta información es fundamental para desarrollar modelos de gestión de los recursos naturales en la cuenca, con el objetivo de optimizar tanto la producción de agua como su calidad (Amarilla *et al.* 2002).

La hidrología proporciona metodologías para medir caudales, que sirven como alternativas para monitorear la cantidad de agua que fluye en puntos específicos dentro de una cuenca hidrográfica. Esto permite construir una base de datos valiosa para evaluar el recurso hídrico (González *et al.* 2015; Zhicay Lombaida 2020).

3.7. Hidroquímica

La hidroquímica estudia la composición química del agua y los procesos en los ambientes terrestres y acuáticos que la controlan. La composición del agua es adquirida en respuesta a la integración de reacciones químicas, físicas y biológicas dentro de los ecosistemas, así como los ocasionados por factores antropogénicos, como el cambio de uso de suelo y el cambio climático. La química de muchos ríos, se encuentra fuertemente influenciada por descargas domésticas y de residuos industriales (Drever, 1997; Verdugo 2017).

3.8. Calidad del Agua

De acuerdo a la Organización mundial de la salud OMS y otros organismos internacionales resumen que la calidad de agua son todas aquellas condiciones en que se encuentra el agua, respecto a sus características físicas, químicas y biológicas en su estado natural o luego de ser alteradas por el tratar humano, si bien el concepto ha sido asociado principalmente al uso de agua para consumo humano, refiriéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño (Mejía Clara 2005).

3.8.1. Caracterización Fisicoquímica

La fisicoquímica del agua se refiere al estudio de las propiedades físicas y químicas del agua, incluyendo su estructura molecular, comportamientos en diferentes estados, interacciones con otros compuestos, y los principios termodinámicos y cinéticos que gobiernan estas propiedades. Este campo abarca temas como la disolución de gases y sólidos en agua, la conductividad eléctrica, el pH, Temperatura entre otros aspectos. La comprensión de la fisicoquímica del agua es esencial en diversas disciplinas, desde la química ambiental y la ingeniería hasta la biología y la geología, ya que el agua es un solvente universal y un medio vital para innumerables reacciones y procesos naturales y artificiales (Gutiérrez *et al.* 2008).

3.8.1.1. Oxígeno Disuelto (OD)

La concentración de oxígeno gaseoso en el agua es crucial para la supervivencia de las especies que habitan en los ecosistemas acuáticos. El oxígeno disuelto y la temperatura están interconectados, de tal forma que un aumento en la temperatura provoca una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto (Maya Del Ángel y Sánchez Badillo 2022).

3.8.1.2. Coliformes Fecales

Las bacterias Coliformes suelen estar presentes en plantas, suelos, animales y seres humanos. Su presencia en el agua indica una posible contaminación por aguas residuales u otros desechos orgánicos en descomposición. Por lo general, estas bacterias se encuentran en mayor concentración en las capas superficiales del agua o en los sedimentos del fondo Munn (2004). La contaminación fecal continúa siendo uno de los mayores riesgos sanitarios asociados al agua, ya que puede introducir microorganismos patógenos que provocan enfermedades en las personas. Por esta razón, el control de riesgos microbiológicos en el agua es fundamental y constituye una medida sanitaria clave para preservar la salud de la población (Ramos *et al.* 2008; Pérez Alvarado 2017).

3.8.1.3. Potencial de Hidrógeno (pH)

Según Miyashiro *et al.* (1996) citado por Chirinos Malaga (2019), el pH o Potencial de Hidrógeno es la concentración de iones hidrógeno, su escala va de 1 a 14, el pH de una solución neutra es igual a 7, las sustancias que poseen un valor menor a 7 son ácidas y las que poseen valor mayor a 7 son alcalinas.

Sin embargo, la medición del pH se emplea para expresar la intensidad de la acidez, la basicidad o la alcalinidad. El pH no indica la cantidad de compuestos ácidos o alcalinos en el agua, sino la fuerza que estos tienen.

- Con pH 0-7 el agua es ácida y lleva ácidos libres o sales ácidas.
- Con pH =7 el agua es neutra y no tiene sales ácidas ni sales básicas; solo contiene sales neutras.
- Con pH 7-14 el agua es básica o alcalina y lleva sales básicas. Cada cambio de una unidad de pH multiplica por 10 la fuerza de acidez o alcalinidad de dicha agua: así, un agua con pH 6 es 10 veces más ácida que agua con pH 7 (Amaya 2015).

3.8.1.4. Conductividad Eléctrica

Según Chapman (1996) citado por Lozano Ramos (2016). Es la capacidad de una disolución acuosa para conducir electricidad. Esta capacidad depende de la presencia de iones, su concentración total, movilidad, valencia y la temperatura de las mediciones. Generalmente, las soluciones de compuestos orgánicos son buenos conductores, mientras que las moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas apenas o nada contribuyen al flujo de corriente.

Por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración mayor será la conductividad, como puede observarse en los valores anotados a continuación:

- Agua pura: 0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Agua destilada: 0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Agua de montaña: 1,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Agua de uso doméstico: 500-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Agua de mar: 50.000- 60. 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Lozano Ramos 2016).

3.8.1.5. DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

Las aguas superficiales son susceptibles a la contaminación, y la materia orgánica presente en ellas requiere oxígeno para su descomposición. El oxígeno utilizado en este proceso es el mismo que debería ser aprovechado por la flora y fauna acuática, lo que puede generar alteraciones en la calidad del agua, así como un posible aumento en el pH, lo que puede llevar a la mortalidad de los peces. La cantidad de oxígeno que los microorganismos emplean para descomponer y oxidar los residuos orgánicos de manera aeróbica se conoce como demanda bioquímica de oxígeno. Esta se mide a una temperatura de 20°C durante 5 días, y se expresa en mg/l de O₂, lo que representa el total de oxígeno consumido por los microorganismos en los primeros 5 días de biodegradación (Raffo y Ruiza 2014).

3.8.1.6. Nitratos

El nitrato es un indicador de la descomposición de materia orgánica en cuerpos de agua, originado tanto por fuentes naturales como por actividades humanas, especialmente la agricultura, debido al uso de fertilizantes y las descargas de aguas residuales urbanas Gil-Marín y González (2020). Los nitratos son compuestos ricos en óxido de nitrógeno que favorecen las floraciones de algas y reducen el oxígeno disponible para peces y otros organismos acuáticos, provocando la eutrofización, causada por un exceso de nutrientes (Díaz *et al.* 2005).

3.8.1.7. Temperatura

Es uno de los factores más importantes en los cuerpos de agua, ya que refleja la estabilidad ecológica del ecosistema. Las fluctuaciones de este parámetro modifican el entorno en el que se desarrollan los organismos acuáticos, aumentando la toxicidad de algunas sustancias disueltas en el agua (Durán 2016).

3.8.1.8 Turbidez

La turbidez es la característica visible de una suspensión que impide que la luz sea transmitida a través de ella. En el agua, la turbidez se origina debido a la variedad de materiales suspendidos, que varían en tamaño, desde moléculas disueltas hasta partículas más grandes. Entre estos materiales se incluyen limo, arcilla, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como microorganismos y organismos planctónicos (Riva y Fiorella 2022).

3.8.1.9. Sólidos Disueltos Totales

La unidad de medida utilizada es miligramo por litro, y su principal aplicación es en el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA). Además, concentraciones elevadas de nitrato pueden alterar el sabor del agua. Este parámetro indica la presencia de contaminantes químicos en el agua (Chamorro Vinuesa 2024).

3.8.1.10. Dureza Total

La dureza del agua surge principalmente debido a la disolución y desplazamiento de minerales que se encuentran en el terreno y en las estructuras rocosas. Este proceso se beneficia de la influencia del dióxido de carbono, cuya acidez aumenta la solubilidad de los carbonatos al convertirlos en bicarbonatos, compuestos de mayor solubilidad. A pesar de que este fenómeno es típico de aguas subterráneas y marinas, gracias a su alta concentración de minerales, también puede ocurrir en aguas dulces continentales, en particular cuando se encuentra afectado por las descargas de aguas residuales, como las derivadas de actividades agrícolas (Auquilla Cisneros 2005).

Tabla 7. Clasificación de la Dureza Mg/l.

Clasificación	Dureza, mg CaCO ₃ /l
Blandas	0-100
Moderadamente duras	101-200
Duras	200-300
Muy duras	> 300

Fuente: (Auquilla Cisneros 2005).

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Descripción del área de estudio

Catacamas, está ubicado a 210 km de Tegucigalpa, es el municipio más grande de Olancho, con una extensión de 7,173.89 km². Se encuentra en el Valle de Catacamas, al pie de la montaña Piedra Blanca, en la prolongación de la Cordillera de Agalta. Limita al Norte con los municipios de Gualaco, San Esteban y Dulce Nombre de Culmí; al Sur con Trojes (El Paraíso) y Nicaragua; al Este con Nicaragua; y al Oeste con Santa María del Real, San Francisco de Becerra, Juticalpa y Patuca. Está situado entre los Ríos Guayape y Patuca, con coordenadas geográficas de 14.84° N y -85.96° O (Carías Dávila 2022).

Dentro de este municipio se encuentra la microcuenca del Río Catacamas la cual forma parte de la red hidrográfica del Río Guayape, que a su vez es un afluente del Río Patuca. Su extensión total es de 40.642 km².

La microcuenca está ubicada entre las coordenadas UTM 609400-619400 Este y 1641100-1650000 Norte. Limita al Norte con el municipio de Gualaco y parte de la montaña Peña Blanca; al Sur con el casco urbano de Catacamas y el municipio de Santa María del Real; al Este con el municipio de Catacamas (Barrios del Este de Catacamas, microcuenca quebrada seca y subcuenca Río Talgua) y al Oeste con el municipio de Santa María del Real, abarcando las comunidades de El Copete, El Quetzal y Los Naranjos, además de la montaña El Naranjo (Cabezas 2007).

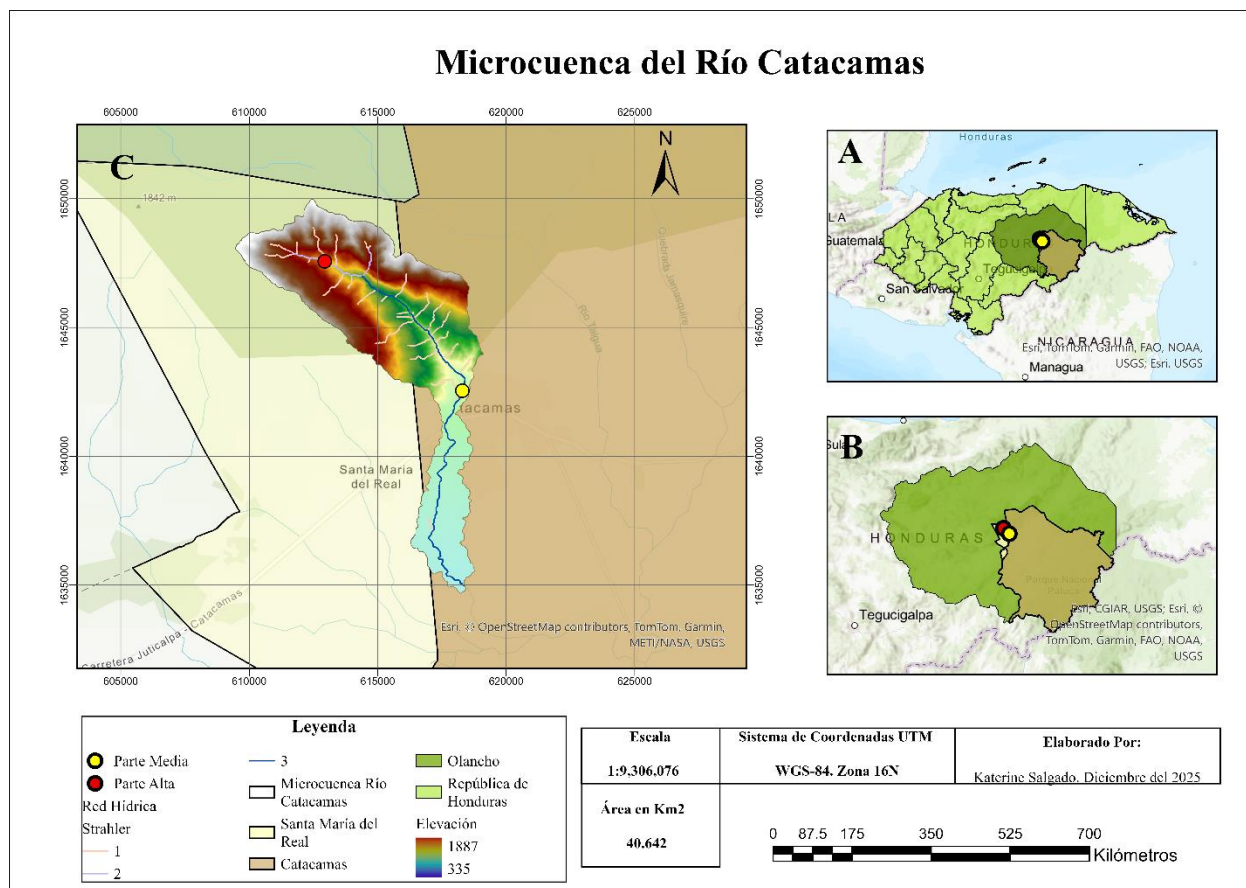


Figura 3.Ubicación del sitio de estudio.

Panel A: División departamental de Honduras, Ubicación general del departamento de Olancho. Dentro del territorio Nacional

Panel B: Ubicación del departamento de Olancho respecto al resto del País, destacando los municipios de Catacamas y Santa María del Real donde se encuentra la microcuenca del Río Catacamas

Panel C: Microcuenca del Río Catacamas con red hidrográfica incluyendo los puntos de muestreo.

4.1.1. Condiciones geológicas y edafológicas

Según el mapa geológico más reciente elaborado en 1998 por el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT (1999) citado por Reyes Sandoval y Serrano Rodríguez (2021), explican que las formaciones geológicas presentes corresponden al Grupo Honduras (JKhg) (72.92 km²) y a las Rocas Intrusivas del Cretácico Terciario (KTi) (6.24 km²). El Grupo Honduras (JKhg) está compuesto por depósitos jurásicos que descansan de manera disconforme sobre las rocas del

Grupo de Esquistos Cocaguapa (Pzm) y se transicionan gradualmente hacia la Formación Atima del Cretácico Inferior, en el Grupo Yojoa (Ky). Este grupo está formado por secuencias siliciclásticas, que incluyen lutitas, limonitas y areniscas de tonalidades verdes y moradas, con algunos conglomerados de guijarros y ocasionales capas calcáreas. Su espesor varía, desde unos pocos metros hasta varios cientos de metros, y se encuentra distribuido en la zona este de Honduras.

En cuanto a la edafología, como resultado de los procesos edafogénicos relacionados con las formaciones geológicas, se han formado suelos de la serie Sulaco (Su) a lo largo de toda la cuenca. Estos suelos, bien drenados, se desarrollan sobre calizas o mármol, y es común encontrar afloramientos rocosos y precipicios. Están ubicados en terrenos escarpados con pendientes superiores al 60%. En términos generales, estos suelos tienen una vocación forestal debido a su alta pendiente y baja profundidad. En las zonas media y baja, la vegetación original ha sido eliminada para permitir la ganadería y el cultivo de productos agrícolas de subsistencia, mientras que, en las áreas altas, los suelos están cubiertos por bosques latifoliados, con zonas agrícolas en sus fronteras que han sido transformadas para el establecimiento de fincas de café (Reyes Sandoval y Serrano Rodríguez 2021).

4.1.2. Condiciones topográficas

En todos los casos, se observan relieves accidentados y escalonados, con una notable presencia de canchales y acumulación de materiales de granulometría fina, especialmente a lo largo de los escalonamientos. En estas áreas, se desarrolla una vegetación arbórea más densa, lo que contribuye a una mayor retención de agua. Las laderas tienen pendientes superiores al 60%, mientras que los escalonamientos presentan inclinaciones de entre 30% y 40%, lo que les permite servir como base de apoyo para los subconos de canchales (Reyes Sandoval y Serrano Rodríguez 2021).

4.1.3. Condiciones generales del clima

Según los datos de la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Agricultura, ubicada a 8 km de la microcuenca Río Catacamas, la precipitación promedio anual es de 1,119.2 mm, distribuyéndose principalmente entre mayo y noviembre, cuando se concentra el 83% de la lluvia anual. Los meses de diciembre a abril, aunque no completamente secos, presentan una precipitación promedio total de 192.6 mm, siendo abril y diciembre los más secos, con promedios mensuales de 9.9 mm y 8.2 mm, respectivamente. Entre 2003 y 2005, los meses con mayores precipitaciones fueron junio (207.8 mm), julio (263.2 mm) y agosto (242.9 mm) (Cabezas 2007).

4.1.4. Temperatura

La temperatura promedio anual en Catacamas es de 26.5 °C, alcanzando los valores más altos en abril y mayo, con alrededor de 28 °C, mientras que los meses más frescos son diciembre y enero, con una media de 22 °C. Debido a que las estaciones meteorológicas suelen instalarse en valles y áreas de fácil acceso, la información disponible para las zonas altas del parque es limitada o inexistente (Cabezas 2007).

4.2. Materiales y Equipo

Para llevar a cabo esta investigación, fue clave contar con equipo y materiales aptos que permitieron generar información precisa y confiable, a continuación, una lista de los materiales que se consideraron es primordiales al momento del levantamiento de datos.

Tabla 8. Materiales y equipo.

<i>MATERIALES</i>	<i>EQUIPO</i>
• Libreta de campo • Lápices • Marcadores • Frascos limpios de dos litros cada uno • Guantes de nitrilo • Botas de hule • Papel Toalla	• Computadora • Softwares especializados • Oxímetro HANNA HI98193 • Turbidímetro HANNA HI98703 • Sonda multiparamétrica HANNA HI98194 • Kit portátil para análisis químico de calidad de agua HANNA HI3817 • pH-metro HANNA pHeP Tester HI98107 • Conductímetro Eco Testr CTS OAKTON • GPS: GARMIN etrex 10

4.3. Método

Se usó un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo el cual permitió trabajar con datos claros y medibles. Este tipo de método ayudó a entender mejor la situación real de la microcuenca del Río Catacamas. Al usar números, fue posible comparar resultados entre diferentes puntos y momentos, de esta manera también permitió ver con más claridad los efectos de las actividades humanas. Se aplicaron herramientas para analizar el uso del suelo y la calidad del agua dentro de la microcuenca. Todo esto se hizo de forma ordenada y con base en datos. Este enfoque facilitó el análisis comparativo y objetivo de las diferentes variables, para el procesamiento de datos se empleó el uso de herramientas SIG.

4.4. Análisis morfométrico de la microcuenca

Para llevar a cabo este objetivo se emplearon herramientas de Información Geográfica (SIG), utilizando el programa de código libre QGIS®. Por medio del Modelo de Elevación Digital (DEM)

correspondiente al departamento de Olancho se creó la morfometría de la microcuenca. Haciendo uso del complemento ArcGeek Calculator se elaboró la red de drenaje, y se permitió crear la delimitación de la microcuenca y de esta manera calcular los parámetros morfométricos como ser, parámetros de forma, relieve y red de drenaje ya que este complemento realiza cálculos a partir de fórmulas algebraicas ya establecidas como ser la de Horton (1945), Strahler (1952), Schumm (1956) entre otros. Así mismo se tomaron las coordenadas geográficas exactas de cada punto de muestreo las cuales fueron registradas mediante un dispositivo GPS.

4.4.1. Fórmulas utilizadas en el cálculo de parámetros morfométricos

A continuación, se detallan cada una de las fórmulas utilizadas para realizar el estudio morfométrico de la microcuenca

- **Área (A)**

A: Superficie de la cuenca expresada en (Km²)

- **Perímetro (P)**

P: Longitud que comprende la superficie de la cuenca sobre la divisoria de agua (km)

- **Longitud Axial (La)**

La: Longitud de la cuenca a lo largo de su eje principal hasta su desembocadura, expresada en (Km)

- **Ancho promedio de la cuenca (W)**

Es posible calcular el ancho promedio de la cuenca utilizando la fórmula propuesta por Horton (1945).

$$W = \frac{A}{La} \quad 1$$

$$W = \frac{40.642}{16.109} = 2.52$$

Donde

A: Superficie de la cuenca (Km²)

La: Longitud axial de la cuenca (km)

- **Desnivel Altitudinal (DA)**

Desnivel altitudinal, se obtiene a partir de:

$$DA = HM - Hm \dots \dots \dots 2$$

$$DA = 1887 \text{ msnm} - 337 \text{ msnm} = 1550 \text{ msnm}$$

Donde:

DA: Deseñel altitudinal

HM: Cota Máxima

Hm: Cota mínima

4.4.2. Parámetros de forma

- **Factor de Forma de Horton**

Fórmula propuesta por Horton en (1945)

$$Rf = \frac{A}{La} \quad 3$$

$$Rf = \frac{40.642}{16.109} = 0.156$$

Donde:

Rf: Factor forma de Horton (adimensional)

A: Área de la cuenca (km²)

La: Longitud axial de la cuenca (km)

- **Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc)**

Este índice proporciona una idea general sobre la forma geométrica de la cuenca, fue propuesta por Gravelius en (1914).

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} \quad 4$$

$$Kc = \frac{49.633}{2\sqrt{\pi \cdot 40.642}} = 2.19$$

Donde:

Kc: Índice de Gravelius (adimensional)

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (Km²)

Cuanto más cercano a 1, más circular es la cuenca; valores elevados indican cuencas alargadas

4.4.3. Parámetros de Relieve

- **Pendiente Media de la Cuenca (%)**

Formula de Wentworth (1930), se obtiene por las curvas a nivel las cuales son generadas por un SIG

$$S = \frac{E \cdot Li}{A}$$

5

Donde:

S = Pendiente media de la cuenca (%)

Li : Longitud de cada una de las curvas de nivel, en Km

E : Equidistancia de las curvas de nivel (Km)

A : Área de la cuenca (Km)

- **Curva Hipsométrica y Frecuencia Altimétrica**

La curva hipsométrica y el histograma de frecuencia altimétrica se generaron documentos CSV a partir de datos obtenidos por medio del modelo de elevación digital DEM, los cuales seguidamente fueron procesados en Excel

- **Cota máxima y cota mínima**

Estas no utilizan o no se calculan a partir de una formula algebraica, se obtienen directamente del modelo de elevación digital DEM ya que lee los valores directamente dentro de la microcuenca y toma el valor máximo y mínimo del mismo.

4.4.4. Parámetros de drenaje

- **Densidad de drenaje (Dd)**

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

6

$$Dd = \frac{46.1685}{40.6442} = 1.1316$$

Donde

L : Σ Longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en km

A : Área de la cuenca (km^2)

- **Longitud del Cauce Principal**

L = Longitud del río principal desde el punto más distante de la cuenca hasta la desembocadura (Gaspari, et al., 2015). Expresada en (Km)

- **Orden de drenaje**

Este parámetro se calcula a partir de la metodología de Strahler (1952). Ver punto 3.4.3.7 de la revisión de literatura

- **Tiempo de Concentración**

Para la estimación del tiempo de concentración de la microcuenca se utilizaron diferentes fórmulas ampliamente utilizadas en la hidrología (Kirpich, Kerby, Giandotti, Teméz, y USDA) esto permitió realizar una comparación entre los diferentes métodos, los cuales se encuentran descritas de una mejor manera en la **tabla 14**.

4.5. Caracterización Hidroquímica de la microcuenca

4.6. Puntos de Muestreo

El levantamiento de datos y toma de muestras se recolectó en dos ubicaciones específicas dentro de la microcuenca; el primer punto se ubicó aguas arriba de la obra toma y el segundo en la parte media de la microcuenca. El proceso de muestreo se realizó en tres ocasiones, durante el periodo de tiempo comprendido entre los meses de marzo y abril correspondiente a la época seca del año 2025. En cada jornada de muestreo se obtuvieron muestras duplicadas por cada punto, es decir, se tomaron dos muestras en cada una de las ubicaciones anteriormente mencionadas. De esta forma se obtuvieron un total de cuatro muestras en el mes de marzo y ocho muestras durante el mes de abril. Cabe recalcar que cada muestreo se llevó a cabo con intervalos de aproximadamente veinte días, el primer muestreo fue el veinte de marzo, el segundo el diez de abril y el tercero el treinta de abril.

4.7. Protocolo para la recolección de las muestras.

- Un día antes de la toma de muestras se aseguraba que los instrumentos estuvieran en buen estado, calibrados, y que sus baterías estuvieran cargadas.
- Para la toma de muestras, se utilizaron frascos plásticos de dos litros, los cuales fueron previamente enjuagados con agua de la misma fuente antes de cada toma, con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación.
- Durante el proceso de muestreo se hizo uso de guantes como medida de bioseguridad y de esta manera mantener la integridad de las muestras frente a posibles agentes externos.
- Cada muestra fue debidamente rotulada con la información correspondiente al punto de muestreo, fecha y hora de recolección.
- En cada punto de muestreo obtuvimos un volumen de dos litros de agua, procurando llenar completamente el frasco hasta rebosar y de esta manera evitar la formación de burbujas de aire en su interior evitando que se pudiera alterar la composición química de la muestra, inmediatamente el recipiente fue sellado.

- De igual manera antes de cada toma de muestra y de tomar los parámetros fisicoquímicos el equipo fue secado para así evitar la contaminación de muestras anteriores.
- Las muestras se mantuvieron a una temperatura ambiente durante el trayecto de la microcuenca al laboratorio, donde fueron almacenadas bajo refrigeración hasta su análisis.

4.8. Iones mayoritarios utilizados en hidroquímica

- Son las que generalmente presentan concentraciones superiores a 10 mg/l, entre ellos se encuentran los aniones bicarbonatos (HCO_3^-), Carbonato (CO_3^{2-}) e Hidróxido (OH^-) y cationes como ser, magnesio (Mg^{2+}) y calcio (Ca^{2+}).

4.9. Parámetros fisicoquímicos para la calidad del agua

De manera complementaria durante el trabajo de campo se midieron variables fisicoquímicas del agua como ser pH, Conductividad Eléctrica, Temperatura, Turbidez, Oxígeno disuelto y algunos parámetros hidroquímicos como ser Alcalinidad y Dureza, estas mediciones se realizaron principalmente con equipos portátiles en su mayoría de la marca HANNA previamente calibrados, lo que garantizo una mayor precisión al momento de obtener los resultados. Tras cada análisis, el equipo fue secado correctamente para un adecuado almacenamiento con el fin de asegurar un buen funcionamiento en análisis posteriores.

Los resultados obtenidos fueron tabulados en el programa de Excel, donde posteriormente se estuvieron realizando distintos procesos para obtener los datos que eran requeridos para cada tipo de análisis o diagrama.

- Como primer punto se elaboró una tabla (tabla 15) con los resultados de todos los parámetros obtenidos, como ser; los datos de conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH, Temperatura $^{\circ}\text{C}$, turbidez (NTU), oxígeno disuelto (mg/l), presión atmosférica mmHg,

alcalinidad (mg/l) y dureza (mg/l), de esta misma forma los datos fueron colocados en la tabla según la fecha y el punto de muestreo.

- Esos mismos datos fueron agrupados en dos tablas distintas según el día de muestreo, es decir, los datos de la parte alta (primer, segundo y tercer muestreo) en una misma tabla, los datos de la parte media (primer, segundo y tercer muestreo) fueron agrupados en otra tabla distinta.
- Seguidamente, como se obtuvieron datos por duplicado por cada día de muestreo, lo que se hizo al momento de usar ese valor fue sacar un promedio de ese duplicado con el objetivo de obtener un valor único representativo para esa fecha de muestreo, tanto de la parte alta como de la parte media de la microcuenca.
- Luego, usando las fórmulas de Excel se procedió a sacar una serie de datos en ambas zonas de estudio (parte alta y media), donde se obtuvieron datos de Promedio, Mediana, Media, Mínima, Máxima y la Desviación Estándar para cada uno de los parámetros.
- A cada parámetro fisicoquímico se le realizó un análisis de varianza (ANOVA), usando los datos de la parte alta y media de ese parámetro, donde el intervalo de confianza fue de (0.05); si un parámetro nos daba una probabilidad mayor a ese dato significa que no hay diferencia significativa y si nos daba un resultado menor significa que si hay una diferencia significativa entre los puntos
- De forma similar se realizó un Diagrama de Boxplot, mayormente conocido como diagrama de cajas y bigotes a cada uno de los parámetros muestreados en cada uno de los puntos (parte baja y media)
- Y finalmente se realizó una línea de tendencia para cada uno de los parámetros, donde el eje x representaba la altitud de la microcuenca y el eje y el parámetro.

4.9.1. Diagramas de Boxplot y Diagrama de Línea de tendencia

Los diagramas de Boxplot permiten visualizar la variabilidad de los datos entre la parte alta y la parte media de la microcuenca y de esta manera facilitar la identificación de los diferentes valores registrados por cada variable fisicoquímica.

Los gráficos de dispersión muestran como varían las variables fisicoquímicas en función de la altitud, permitiendo analizar el comportamiento de cada parámetro a lo largo del gradiente altitudinal de la cuenca

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Morfometría de la microcuenca

La morfometría de la microcuenca del Río Catacamas es una herramienta esencial para evaluar las distintas características físicas como por ejemplo la forma, el relieve y la red de drenaje de la microcuenca los cuales influyen en los procesos hidrológicos o bien como indicadores de la susceptibilidad a la degradación del medio ambiente. De esta manera la morfometría sirve para orientar las acciones de planificación, gestión, y mitigación para la conservación y uso de los recursos naturales, por lo tanto, esta información debe ser detallada y cuantificada utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG) (Cerignoni y Rodrigues 2015).

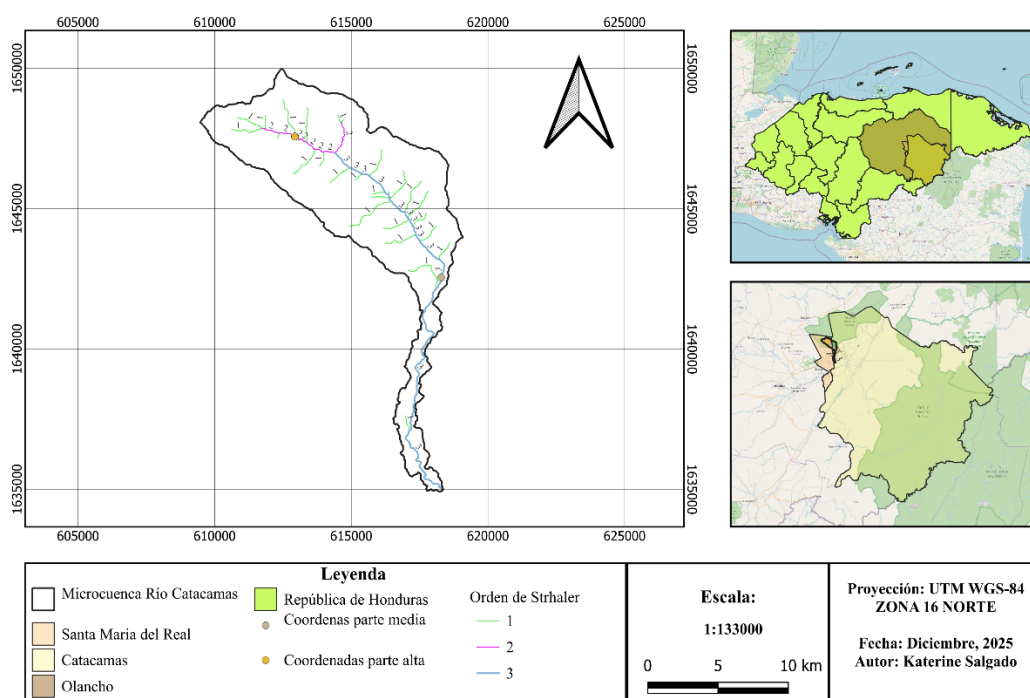


Figura 4. Orden de drenaje del Río Catacamas.

5.1.1. Parámetros de forma de la microcuenca

El análisis morfométrico realizado en la microcuenca del Río Catacamas dio a conocer que la microcuenca posee un área de 40.642 km². El perímetro de la microcuenca es de 49.633 km lo que indica una cuenca clasificada como pequeña según la clasificación de tamaño de cuencas de campo (1998) citado por Meza *et al.* (2018), siendo esta medida importante para el cálculo de parámetros posteriores. En función al ancho promedio 2.523 km y la longitud axial de 16.109 km reflejan una forma marcadamente alargada, confirmado de igual manera por el factor de forma de 0.156 nos indica una cuenca extendida. Los parámetros de forma como el coeficiente de compacidad (Kc) por encima de 1 y el índice de alargamiento refuerzan la idea de una microcuenca con contornos irregulares.

Tabla 9. Morfometría y parámetros de forma de la microcuenca del Río Catacamas.

Área (km ²)	40.642
Perímetro (km)	49.633
Ancho promedio (km)	2.523
Longitud Axial (km)	16.109
Factor de Forma (f)	0.156
Coeficiente de compacidad (Kc)	2.2
Índice de Alargamiento (Ia)	0.4466
Desnivel Altitudinal (msnm)	1550

La morfometría y los parámetros de forma tales como los descritos en la tabla 9 son indicadores claves para entender el comportamiento hidrológico y geomorfológico de la microcuenca del Río Catacamas. Un bajo índice de alargamiento (0.4466) y un factor de forma reducido como ser (0.156) muestran que la microcuenca posee una morfología alargada lo que según Peralta Granda (2024), puede influir en que los tiempos de concentración sean más largos. De igual manera estos valores coinciden con lo mencionado por Lux (2016), quien recalca esta idea de que la forma

alargada de la microcuenca amortigua la concentración inmediata de los caudales y favorece a una respuesta más estable frente a eventos de lluvia.

El coeficiente de compacidad o Gravelius (K_c) obtenido para la microcuenca del Río Catacamas es de 2.2, valor que supera el umbral de 1.75, lo cual indica que la cuenca presenta una forma alargada, este valor nos indica una reducción de avenidas súbitas y la tendencia a mantener caudales más prolongados lo que favorece a una mayor estabilidad hidrológica en el sistema fluvial, finalmente el desnivel altitudinal de 1550 msnm muestran un relieve marcado lo que favorece a un flujo rápido y con una mayor energía, aumentando los procesos de erosión y el arrastre de sedimentos hacia las zonas más bajas de la microcuenca.

5.1.2. Morfometría del relieve de la microcuenca

La morfometría del relieve nos ayuda a comprender específicamente sus elevaciones y pendientes, elementos clave para comprender la dinámica del terreno. En primer lugar, la cota máxima de 1887 metros sobre el nivel del mar indica que es el punto más alto dentro del área estudiada y la cota mínima con 337 msnm nos indica el nivel más bajo del terreno la cual actúa como la zona donde se concentra el flujo hacia el tramo final de la microcuenca, lo que representa un gradiente altitudinal de 1550 m entre su punto más alto y más bajo, sumado a esto una pendiente media de 38.417 %.

Tabla 10. Morfometría asociada al relieve.

Cota máxima (msnm)	1887.000
Cota mínima (msnm)	337.000
Pendiente media %	38.417

La microcuenca del Río Catacamas muestra una marcada diferencia entre la cota máxima y la cota mínima lo que indica un rango altimétrico de 1550 m, según Gaspari *et al.* (2022). Las cuencas con grandes diferencias altitudinales muestran un comportamiento hidrológico más dinámico, de

esta manera las zonas altas actúan como los puntos de mayor concentración y recarga hídrica y las zonas bajas actúan como las áreas de acumulación donde se concentran los flujos, incrementando el riesgo a crecidas rápidas (Romero *et al.* 2015).

Esa variación altitudinal entre la cota máxima y la cota mínima generan una pendiente media de 38.47% que caracteriza a la microcuenca como de relieve empinada (Tabla 5). De acuerdo con B. Cruz *et al* (2015) citado por Zhicay Lombaida (2020), expresa que a una mayor pendiente corresponde una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal en esta microcuenca favoreciendo a la escorrentía superficial y procesos de erosión porque el agua se desplaza con una mayor rapidez a lo largo del terreno especialmente en época de lluvia.

5.1.3. Curva Hipsométrica y Frecuencia Altimétrica

La curva hipsométrica describe la relación entre el área acumulada y su altitud. La cuenca presenta un gradiente altitudinal que inicia en sus zonas más bajas aproximadamente desde los 450 msnm y se eleva sucesivamente hasta lograr aproximadamente 1850 msnm en sus partes más altas. La pendiente continúa de la curva indica un descenso progresivo de la altitud a lo largo del perfil de la cuenca. La frecuencia altimétrica evidencia que la mayor concentración del área se encuentra en una escala de altitud intermedia que ronda entre 1,000 y 1,600 msnm, esto nos indica cuales son los rangos de altitud que predomina en la microcuenca.

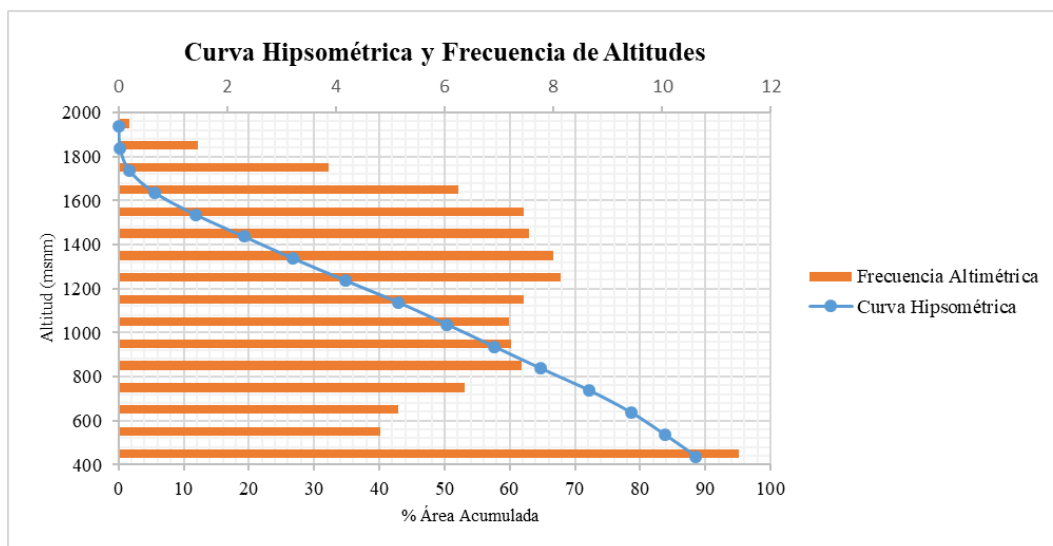


Figura 5. Curva Hipsométrica e Histograma de Frecuencia Altimétrica del Río Catacamas.

La curva hipsométrica de la microcuenca del Río Catacamas evidencia una distribución altitudinal intermedia, con un mayor predominio en áreas en cotas medias (800–1,400 msnm), lo que sugiere un estado de madurez morfológica en equilibrio entre procesos de erosión y superficies estabilizadas. La frecuencia altimétrica refuerza esta interpretación al mostrar la mayor concentración de área en estos rangos altitudinales, mientras que las zonas bajas y altas presentan pendientes más empinadas y una mayor susceptibilidad a la erosión. Estos resultados coinciden con lo planteado por Strahler (1952), sobre el valor de la curva hipsométrica como indicador del grado de evolución de una cuenca, y con lo señalado por Méndez-Gutiérrez *et al.* (2021), destaca que la concentración de superficie en cotas medias es característica de cuencas en fase de madurez.

5.1.4. Parámetros de Red de drenaje de la microcuenca

La microcuenca presenta una densidad de drenaje de 1.136 km/km^2 lo que indica una red de drenaje moderadamente desarrollada, el cauce principal tiene una longitud de 16.516 km, lo que refleja una trayectoria desde las zonas más alejadas hasta la salida de la cuenca, la longitud total de los cauces alcanza 46.168 km, evidenciando una red ramificando lo que facilita la recolección y transporte de agua hacia el cauce principal, el orden de drenaje, clasificado como tercero según

el método de Strahler, el coeficiente de torrencialidad con un valor de 0.436 lo que indica una dinámica de escurrimiento de baja a moderada

Tabla 11. Parámetros asociados a la red de drenaje.

Densidad de drenaje Km/km ²	1.136
Longitud del cauce principal (km)	16.5167
Longitud de todos los cauces (km)	46.168
Orden de drenaje	3
Coeficiente de Torrencialidad	0.436

Tabla 12. Tiempo de concentración.

Tiempo de Concentración - Kirpich (Tc)	0.88 horas
Tiempo de Concentración - Kerby (Tc)	1.59 horas
Tiempo de Concentración - Giandotti (Tc)	1.6 horas
Tiempo de Concentración - Témez (Tc)	2.11 horas

El análisis de la red de drenaje es uno de los parámetros morfométricos que mejor pueden describir el comportamiento hidrogeológico de la microcuenca, dentro de dichos parámetros destaca la densidad de drenaje con un valor de (1.13) km de río por km² de área, considerada como promedio, según Horton (1945), lo que nos indica que el agua fluye por pocos cauces y el terreno de la microcuenca permite una buena capacidad de infiltración presentando, nos indica una tendencia moderada a la esorrentía concentrada (Méndez y Marcucci 2006).

El coeficiente de torrencialidad con un valor de (0.436) señala un sistema de respuesta rápida ante las lluvias intensas y el riesgo de erosión no es tan alto. Por su parte, el orden de drenaje categorizado con un orden 3 según el criterio de Strahler (2006), nos indica que, a menor orden, encontraremos una mayor cantidad de corrientes y que al aumentar el orden, la longitud de las corrientes es mayor y su estructura será más definida, esto quiere decir que las corrientes

principales adquieren una mayor longitud a medida que aumentan las ordenes (Quesada y Zeledón 2022).

Los tiempos de concentración estimados en la microcuenca del Río Catacamas evidencian una leve diferencia dependiendo del método aplicado Kirpich (0.88 h), Kerby (1.59 h), Giandotti (1.6 h), Témez (2.11 h), estos diferentes métodos nos indican el tiempo que el agua tardar en llegar desde la parte más alta hasta el punto de salida, de esta manera los valores más bajos indican lo que es una respuesta rápida ante lluvias y los valores elevados nos indican que la microcuenca posee una mayor capacidad de infiltración y retención.

5.1.5. Uso actual de suelo en la microcuenca del Río Catacamas

Se permitió identificar trece tipos de categorías referentes a la cobertura y uso de suelo en la microcuenca, de tal manera se expresaron con diferente grado de representatividad espacial como ser, unidades en (Kilómetros cuadrados y hectáreas) así como en porcentaje. En este contexto se ve reflejado el predominio de coberturas forestales. El Bosque Latifoliado constituye la mayor extensión, abarcando aproximadamente 47.65% del área total. Seguidamente están los cultivos de café con un 15.17%, así mismo se encuentran los pastizales que representa el 13.23% del total, estas tres categorías suman en conjunto más del 70% del área total del territorio, lo cual indica una presencia importante de ecosistemas naturales

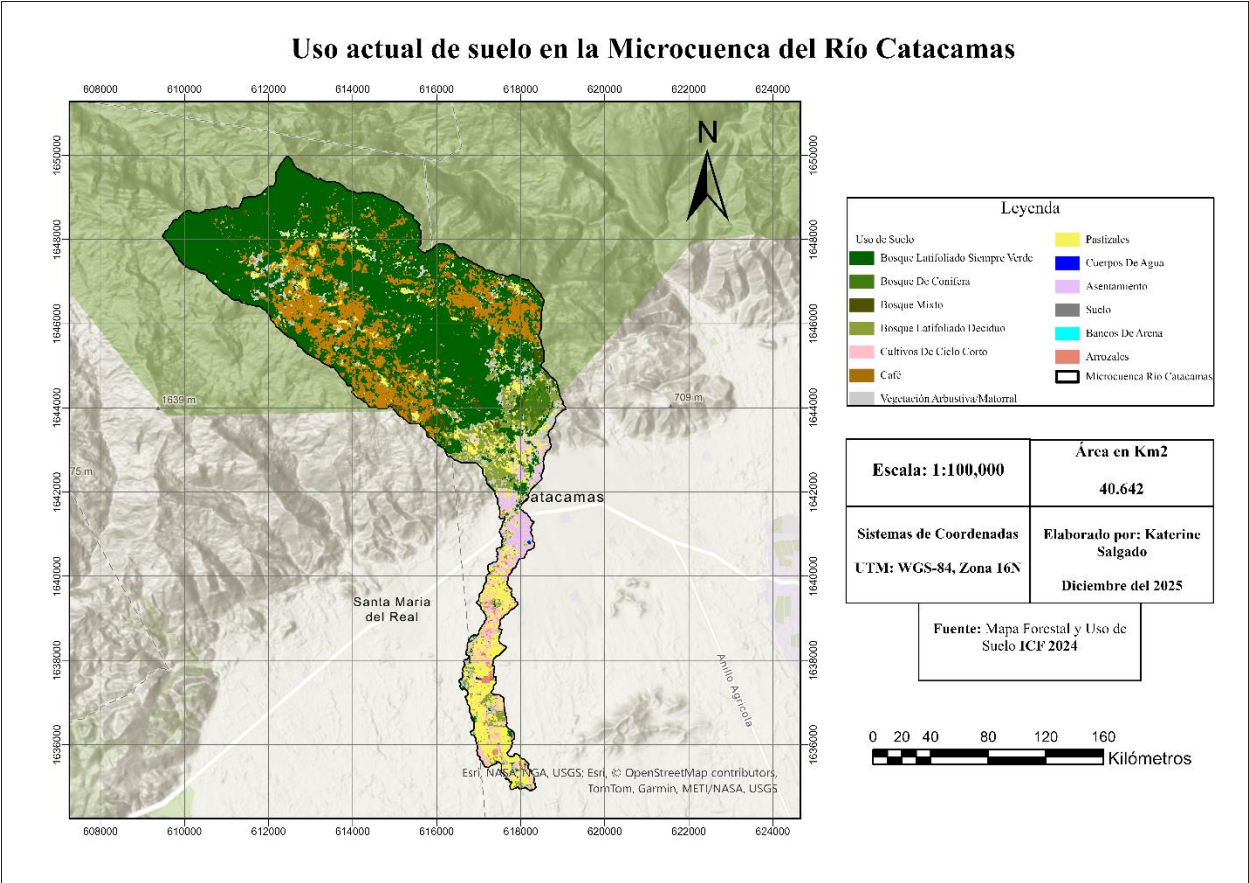


Figura 6.Uso actual de suelo en la microcuenca del Río Catacamas.

Tabla 13. Usos de suelos predominantes en la microcuenca del Río Catacamas.

Tipo de uso de suelo	Área en Km²	Área en Hectáreas (ha)	Área en porcentaje (%)
Bosque Latifoliado Siempre Verde	21.68	2168.3	53.35
Café	6.73	673.42	15.57
Pastizales	3.74	374	9.20
Bosque Latifoliado Deciduo	2.66	266.03	6.55
Vegetación Arbustiva/Matorral	2.17	217.05	5.34
Asentamiento	1.05	105.01	2.58
Cultivos de Ciclo Corto	0.92	92.39	2.27
Bosque Mixto	0.8	80.02	1.97
Bosque de Conífera	0.61	61.43	1.51
Arrozales	0.19	18.69	0.46
Suelo	0.05	5.41	0.13
Cuerpos de Agua	0.02	2.19	0.5
Bancos de Arena	0.0025	0.25	0.01

El análisis de uso de suelos en la microcuenca del Río Catacamas muestra el bosque latifoliado siempre verde (53.35%) es quien ocupa el mayor porcentaje de uso de suelo predominando tanto en las zonas bajas y medias donde cumple un papel fundamental en la infiltración, conservación del recurso hídrico y la biodiversidad ICF (2019), mientras que el café (15.57%) se desarrolla dentro de un rango agroecológico óptimo de 800 a 1800 msnm los cuales son las condiciones óptimas de temperatura, humedad y altitud para que el café alcance un equilibrio entre sanidad y calidad (Hernández s. f.).

Así mismo los pastizales tuvieron una de las mayores representaciones en la ocupación del terreno con un (9.20 %) que al igual que el café nos indican los principales usos productivos de la zona. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Volonté *et al.* (2018) citado por Cobeña *et al.* (2023), en su estudio en cuencas, donde los pastizales demuestran tener una adaptación a temporadas húmedas y secas, debido a que la extensión de sus raíces le proporciona una mayor

resistencia al escurrimiento, siendo una de las razones por las que se encuentran con una mayor proporción dentro de la microcuenca, de igual manera se dice que está en un rango tan alto reflejando un proceso de deforestación, lo cual requiere un manejo adecuado para evitar la erosión y degradación del suelo.

El bosque latifoliado deciduo (6.55 %) ubicado en las zonas bajas, mientras que la vegetación arbustiva o matorral (5.34 %) corresponde a áreas degradadas con potencial de regeneración natural. Por su parte, los cultivos de ciclo corto (2.27 %) se ubican en pendientes de 300–800 msnm y constituyen a zonas propensas a la erosión hídrica si no se implementan prácticas de conservación de suelos. Finalmente, los asentamientos (2.58 %) se ubican en sectores bajos y accesibles, aumentando la disponibilidad, calidad y presión sobre los recursos hídricos.

De igual manera podemos encontrar y en menores cantidades usos de suelos como ser; bosque de conífera, bosque mixto, cuerpos de agua, suelo, bancos de arena y arrozales lo que viene representando el (4.58%) referente al 100% de usos de suelo en la microcuenca del Río Catacamas ya que se tratan de coberturas especialmente limitadas y asociadas a coberturas y condiciones ambientales muy específicas, por su parte los cuerpos de agua y los bancos de arena se distribuyen únicamente a lo largo del cauce principal.

5.2. Características hidroquímicas predominantes en la red hidrográfica de la microcuenca en la época seca.

Los diagramas de Boxplot muestran que el magnesio presenta valores ligeramente mayores en la parte alta en comparación con el calcio que no se observan diferencias significativas en ambas zonas. En cuanto a los bicarbonatos, la parte media evidencia concentraciones mayores que la parte alta, tendencia que también se refleja en el carbonato y en el hidróxido, cuyos valores son considerablemente más altos en la parte media, en conjunto, los resultados evidencian que la mayor parte de los parámetros del sistema carbonato presentan incrementos en la parte media, mientras

que los cationes como el calcio y el magnesio muestran variaciones mínimas o moderadas entre las dos zonas estudiadas.

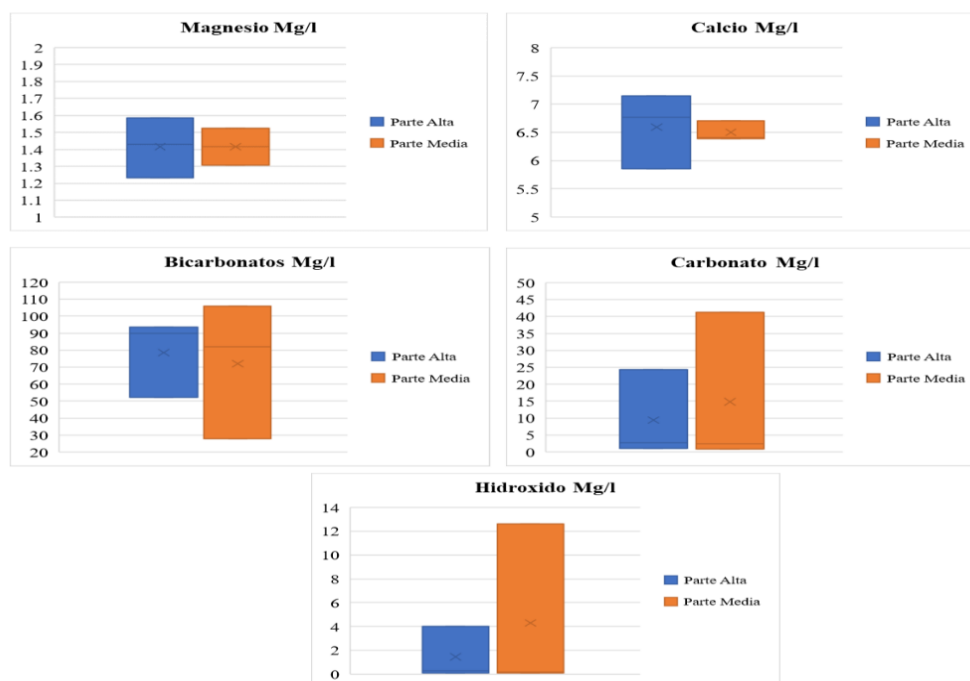


Figura 7. Bloxplot respecto a los Cationes y Aniones.

El incremento de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos hacia la parte media de la microcuenca muestra un aumento en la mineralización del agua esto debido a un mayor tiempo en contacto con las rocas carbonatadas, favoreciendo procesos de disolución de minerales como calcita y dolomita, lo que aumenta su carga iónica debido a la meteorización química progresiva. La estabilidad del calcio entre ambas zonas también es consistente con escenarios donde la litología aporta este catión de manera uniforme a lo largo del cauce, mientras que el ligero predominio del magnesio en la parte alta puede deberse a la presencia de rocas o materiales con mayor contenido de magnesio, el cual no es muy relativo ya que el agua se mantiene en condiciones estables en cuanto a sales (Almagro y Gimena 2004).

Los resultados obtenidos para magnesio y calcio muestran concentraciones bajas y muy similares entre la parte alta y la parte media de la microcuenca, con promedios de 1.41 a 1.42 mg/l para magnesio y entre 6.49 a 6.59 mg/l para calcio mostrando valores más elevados en comparación con los demás parámetros. Los bicarbonatos presentan una mayor variabilidad con un promedio más alto en la parte alta 78.64 mg/l respecto a la parte media 72 mg/l a diferencia de ello el carbonato y el hidróxido los cuales muestran valores muy bajos y dispersos, aunque con un incremento en la parte media, en general se observa un sistema hídrico con baja mineralización dominado principalmente por los bicarbonatos.

Tabla 14. Estadísticos descriptivos de Cationes y Aniones.

	Magnesio (Mg ²⁺) Mg/l		Calcio (Ca ²⁺) Mg/l		Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻) Mg/l		Carbonatos (CO ₃ ²⁻) Mg/l		Hidróxido (OH ⁻) Mg/l	
	Parte Alta	Parte Media	Parte Alta	Parte Media	Parte Alta	Parte Media	Parte Alta	Parte Media	Parte Alta	Parte Media
Promedio	1.415	1.416	6.591	6.499	78.64	72	9.44	14.863	1.454	4.295
Mediana	1.429	1.417	6.772	6.404	90.02	82.1	2.8	2.37	0.26	0.19
Media	1.400	1.410	6.545	6.496	73.281	52.213	2.323	1.956	0.217	0.190
Mínima	1.231	1.306	5.858	6.391	52.2	33	1.12	0.92	0.103	0.096
Máxima	1.586	1.525	7.145	6.703	114	129	24.4	41.3	4	12.6
Desviación Estándar	0.177	0.109	0.661	0.176	22.971	40.017	12.982	22.906	2.206	7.192

Según la Organización Mundial de la Salud OMS citado por Gu et al. (2024), los límites mínimos permitidos de calcio y magnesio en el agua son de 20 mg/l y 10 mg/l respectivamente, las concentraciones bajas de calcio y magnesio encontradas en ambas zonas de la microcuenca nos indican niveles de durezas permisibles para aguas de uso humano las cuales se encuentran por encima de los rangos observados clasificándolas como aguas blandas. Así mismo la presencia elevada de Bicarbonatos y Carbonatos es fundamental para la capacidad amortiguadora del agua la cual protege los cambios bruscos del pH en el agua, las concentraciones de hidróxido reafirman que el pH se encuentra en valores ligeramente alcalinos. La alta desviación estándar de los aniones de alcalinidad en la parte media sugiere una potencial influenciada por factores externos como la dilución por lluvia y la recarga superficial (Barranquero *et al.* 2012).

5.3. Características fisicoquímicas del agua predominantes en la microcuenca del Río Catacamas en la temporada seca.

5.3.1. Variación de parámetros fisicoquímicos del agua en la microcuenca del Río Catacamas durante las fechas de muestreo.

La tabla 15 evidencia variaciones temporales y altitudinales en la calidad del agua, con cambios notorios en temperatura, turbidez y dureza entre los tres muestreos. La parte media tiende a presentar mayor temperatura y dureza mineral, mientras que la parte alta muestra mayores oscilaciones en turbidez y conductividad. Esto indica una dinámica ambiental variable influenciada por el clima, el uso de suelo y las características propias del cauce. Cada uno de estos parámetros se discuten con más detalle en la los diagramas de boxplot y línea de tendencia.

Tabla 15. Parámetros fisicoquímicos del agua en la microcuenca del Río Catacamas.

	Temperatura °C		Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$		pH		Turbidez (UNT)		Oxígeno Disuelto Mg/l		Oxígeno Disuelto Mg/L	Dureza (mg/l)
Primer muestreo 20 de marzo del 2025												
Parte alta	22	20.8	340	350	10.2	9.8	7.3	6.18	5.20	5.26	105	183
Parte media	30.5	28.5	310	310	10	10.1	1.81	2.14	5.1	5.3	123	156
Segundo muestreo 10 de abril del 2025												
Parte alta	18.3	17.8	200	260	8.83	8.81	8.05	8.38	6.15	5.97	96	186
Parte media	25.4	24.5	300	300	8.68	8.68	14.6	19.9	5.83	5.68	11	255
Tercer muestreo 30 de abril del 2025												
Parte alta	19.5	20.1	360	370	8.45	8.37	1.02	0.9	5.36	5.49	96	159
Parte media	29.2	28.5	340	360	8.41	8.36	1.39	1.59	5.42	5.33	84	174

5.3.2. Temperatura.

Se observa en la figura 8 que la temperatura se ubica principalmente en un promedio de 20 °C y su rango va mayormente desde los 18 a los 22 °C en la zona alta, en comparación con la parte media de la microcuenca donde se encuentran valores arriba de los 24 a los 30 °C, esto refleja el gradiente térmico altitudinal que a una mayor elevación (parte alta) las temperaturas son bajas y a

una menor altitud (parte media) las temperaturas aumentan de manera considerable. En la Línea de Tendencia el eje X representa la altitud en msnm y el eje Y muestra la temperatura en °C, se obtuvo una recta de regresión donde se muestra una pendiente negativa (-0.0152).

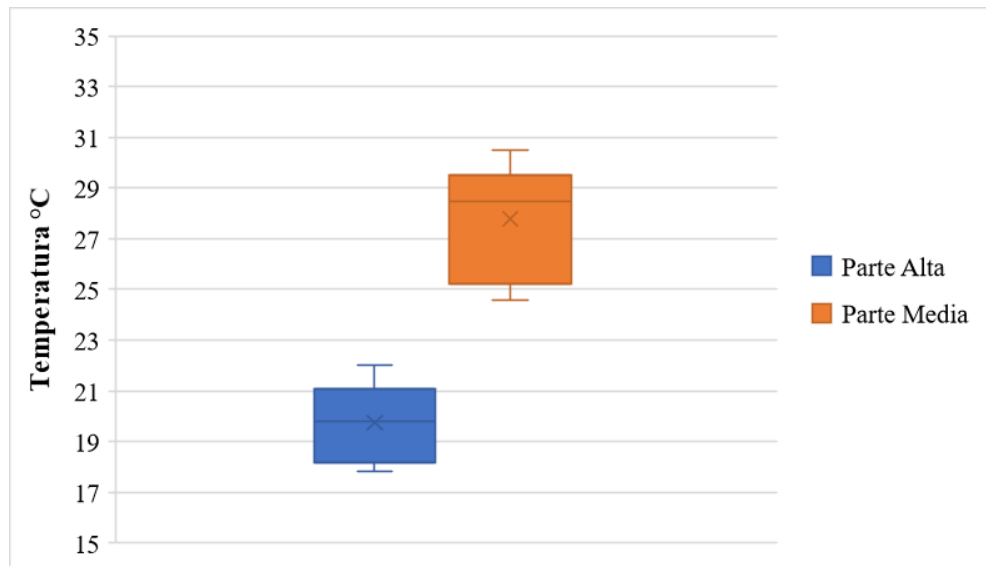


Figura 8. Boxplot respecto a la temperatura.

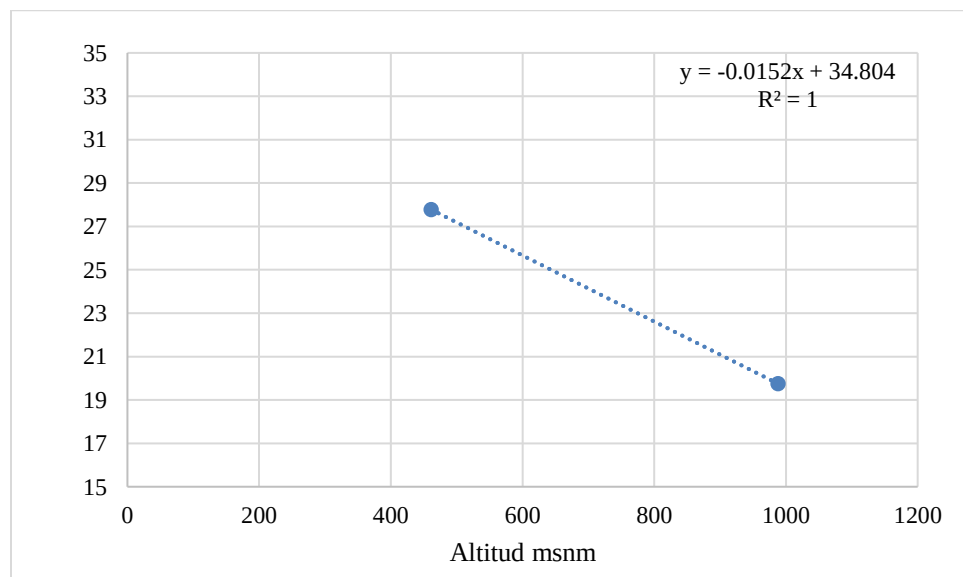


Figura 9. Línea de tendencia con relación de la temperatura vs con la altitud.

Ambos diagramas demuestran diferencia de temperatura, en la parte alta los valores son más bajas y se concentran principalmente entre los 18 y 22 °C en comparación con la parte media donde los valores alcanzan rangos de 25 y 30 °C. Estos comportamientos son claros a la disminución de la temperatura con respecto a la altitud, de igual manera a la reducción de la presión atmosférica y a la baja densidad del aire, en las zonas altas donde el clima es más frío y hay una menor exposición de la radiación solar el agua se mantiene a temperaturas más bajas, en la parte media el agua calienta más debido al aumento de la temperatura ambiental y una mayor exposición a fuentes de calor (Webb *et al.* 2008).

5.3.3. Conductividad Eléctrica

Respecto a la conductividad, la figura 10 muestra que la parte alta alcanza un promedio alrededor de los 325 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero con una alta variabilidad donde los valores alcanzan desde los 200 a los 370 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en comparación con la parte media donde la conductividad eléctrica tiene un rango más pequeño 300-350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un promedio aproximado de 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La línea de tendencia nos indica una pendiente negativa (-0.0127) esto quiere decir que a medida que la altitud sube la conductividad bajara.

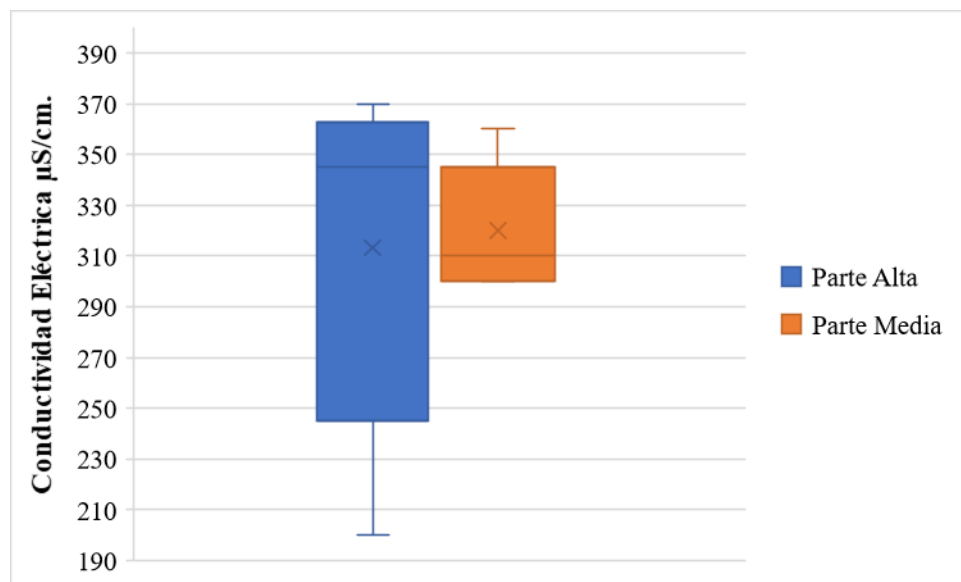


Figura 10. Boxplot respecto a la Conductividad Eléctrica.

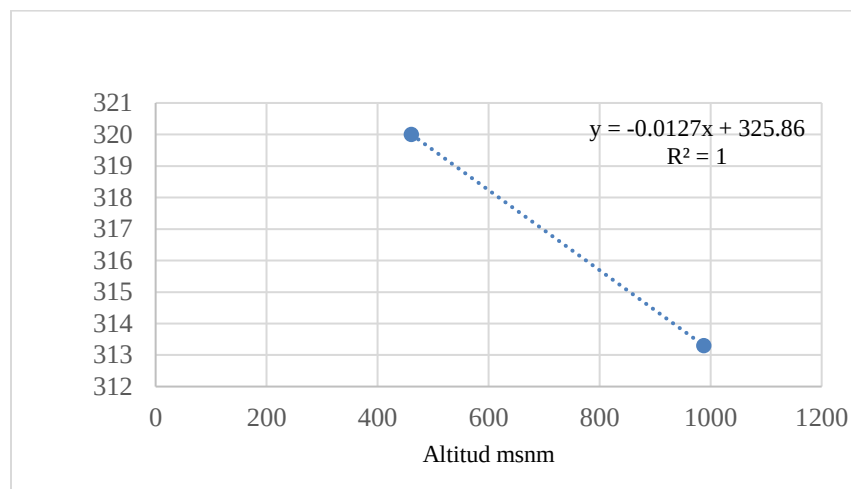


Figura 11. Línea de tendencia con relación a la Conductividad Eléctrica vs Altitud.

Los resultados demuestran que ambas zonas tienen valores muy cercanos relativamente altos, la parte alta muestra una mayor dispersión de datos, esto podría deberse a cambios en el aporte mineral debido a una interacción más puntual con el suelo y afluentes secundarios, a diferencia de la parte media donde el flujo es más consolidado debido al agua almacenada en el sistema, el cual funciona como una reserva reguladora en el subsuelo, manteniendo un flujo constante y estable. Esta agua almacenada es fundamental para sostener el caudal en periodos de tiempo sin precipitación, estos resultados son aún más coherentes con algunos estudios científicos donde el agua tiende a perder sales disueltas a mayores altitudes (Muñoz Sanango 2023).

5.3.4. pH

Se observa que tanto en la parte alta como en la parte media de la microcuenca los valores son muy similares con valores alcalinos (9.0 a 9.1) y la variabilidad es baja de igual manera los valores se encuentran alrededor del mismo promedio y en la línea de tendencia podemos encontrar una pendiente positiva ($8E^{-05}x$) esto indica que de acuerdo con que la altitud asciende el pH también subirá lentamente.

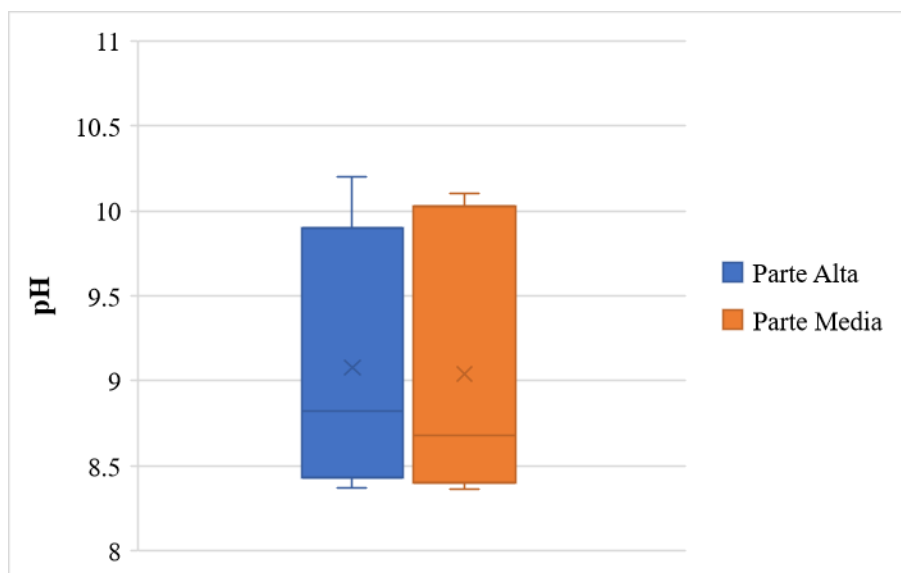


Figura 12. Boxplot respecto al pH.

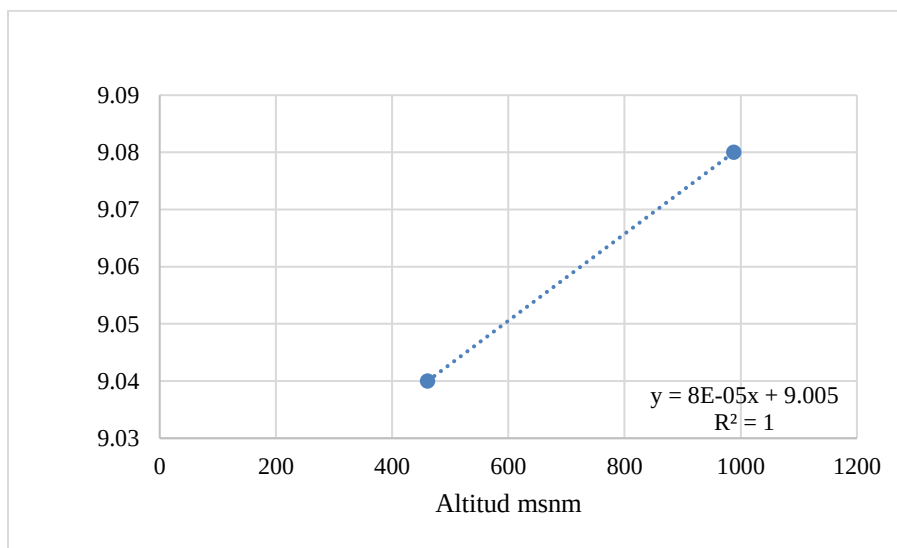


Figura 13. Línea de tendencia con relación al pH vs Altitud.

En ambos puntos de muestreo se pueden observar valores relativamente alcalinos con rangos de 8.3 a 10 y valores promedios similares entre la parte alta y media de la microcuenca, esto indica una estabilidad química constante a lo largo del gradiente altitudinal dicho equilibrio es fundamental debido a que el pH controla la solubilidad y la disponibilidad de nutrientes. Según

Stumm y Morgan (2012), esta estabilidad en el pH puede asociarse con la acción de los carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua.

Las aguas naturales con este tipo de PH alto suelen presentar una mayor precipitación de minerales como calcio y magnesio, esto atribuido a la disolución de rocas con abundante contenido de carbonatos y bicarbonatos, lo cual incrementa la alcalinidad del agua y contribuye a que el pH mantenga valores elevados, tal como lo señala Vélez-Azañero *et al.* (2016) en su estudio sobre la calidad del agua.

5.3.5. Turbidez (NTU)

La figura número 14 muestra que en la parte alta los valores de turbidez son bajos, relativamente homogéneos 5-8 NTU lo que indica aguas más claras en comparación con la parte media donde presenta valores que rondan desde los 2 hasta los 20 NTU revelando aguas más turbias esto debido a una mayor suspensión de solidos suspendidos y partículas, la línea de tendencia muestra una pendiente negativa (-0.0027).

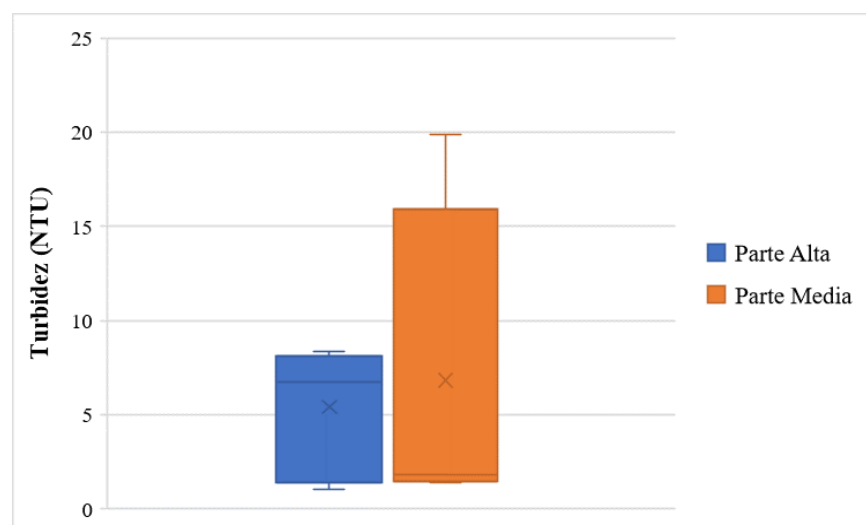


Figura 14. Boxplot respecto a la Turbidez.

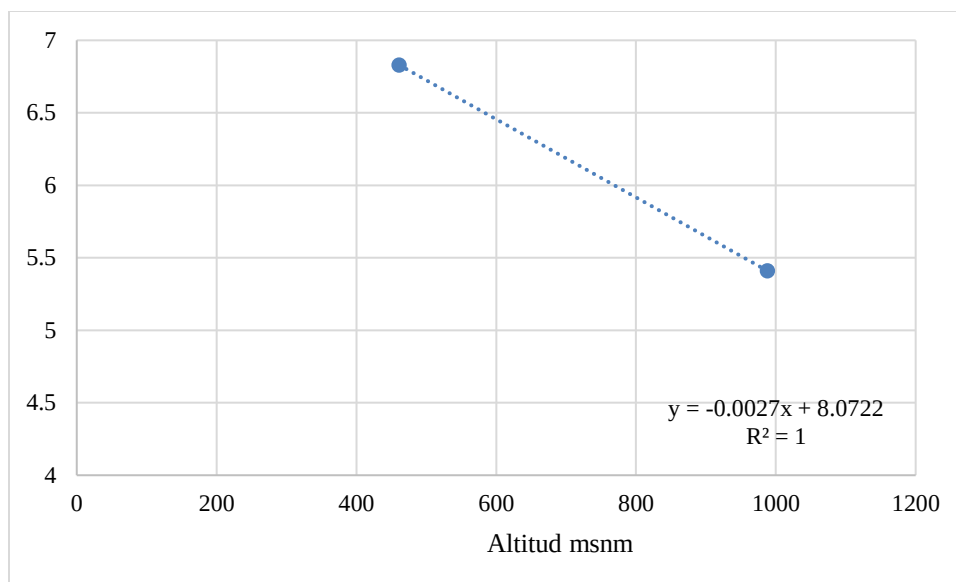


Figura 15. Línea de tendencia con relación a la Turbidez vs Altitud.

Las figuras 14 y 15 revelan que la dispersión de los datos es mayor en la parte media, esto sugiere una presencia más heterogénea de partículas en suspensión como ser sedimentos o materia orgánica, mientras que la parte alta revela valores más concentrados y menos variables, lo que muestra condiciones más estables, estos resultados demuestran que en las zonas altas el agua tiende a ser menos turbia en la época seca, lo que indica un menor grado de erosión y el agua que se está moviendo no está arrastrando material disuelto, por el contrario en la parte media hay una mayor exposición a la escorrentía, erosión del suelo y que en este punto las actividades humanas suelen afectar (Escandón y Cáceres 2022).

5.3.6. Oxígeno Disuelto mg/l

El oxígeno disuelto en la parte alta muestra valores que van desde los 5.2 a los 6.1 mg/l con un promedio aproximado de 5.6 mg/l mientras que en la parte media son menores y más concentradas alrededor de 5.1 y 5.8 mg/l, la línea de tendencia muestra una relación lineal positiva entre la altitud (msnm) y la concentración de oxígeno disuelto (mg/l), donde la ecuación de la recta y el coeficiente de determinación indican una correlación perfecta de los datos.

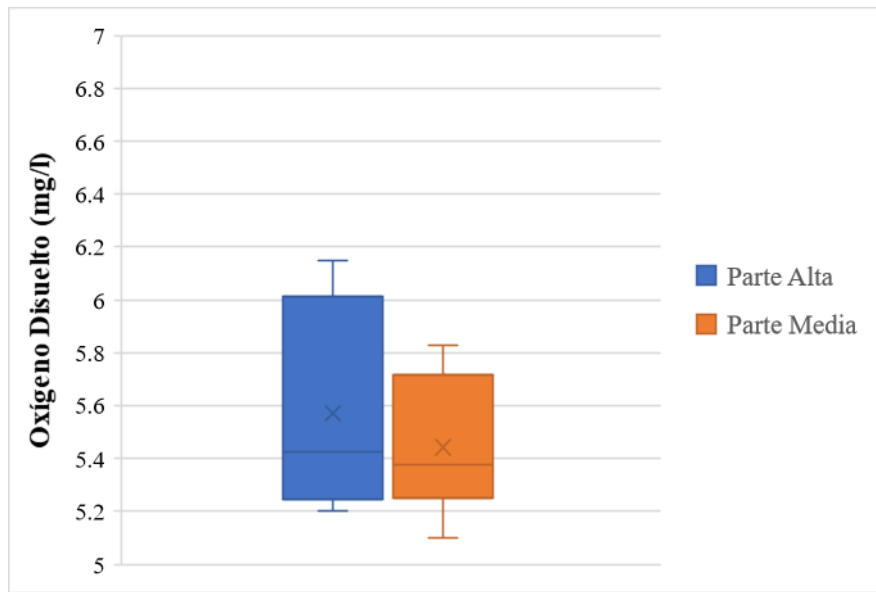


Figura 16. Boxplot respecto al Oxígeno Disuelto.

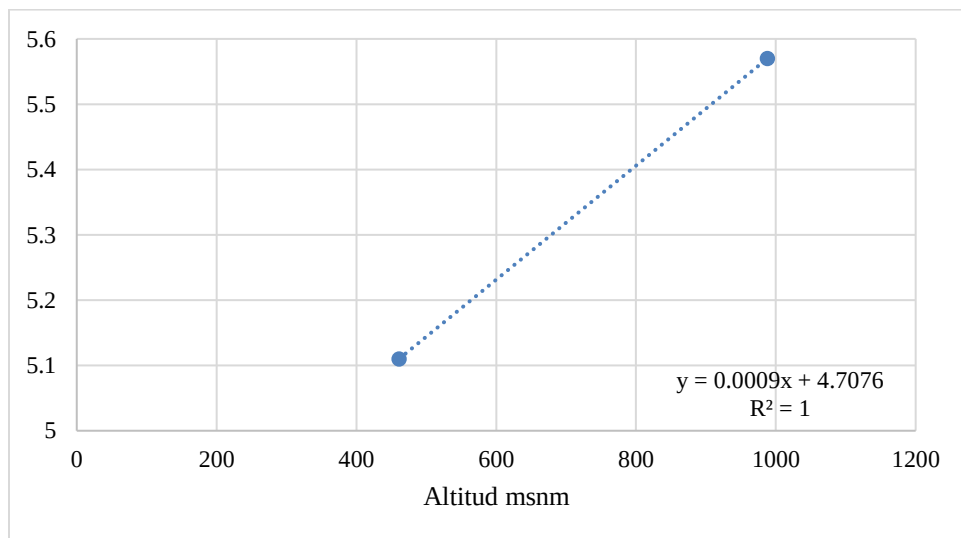


Figura 17. Línea de tendencia con relación al Oxígeno Disuelto vs Altitud.

Los valores obtenidos para Oxígeno Disuelto revelan un leve incremento en la parte alta con respecto a la altitud, esto se debe principalmente a que las temperaturas más bajas de la parte alta del río favorecen una mayor solubilidad de Oxígeno, lo que es fundamental para la salud de los sistemas acuáticos, especialmente en zonas montañosas como lo describe Ortega et al. (2009). Así

mismo la parte alta del río se caracteriza por tener corrientes rápidas y más turbulentas. En comparación con la parte media las aguas son más cálidas y con una menor turbulencia lo que limita a la concentración de Oxígeno Disuelto.

5.3.7. Alcalinidad

En el diagrama de Boxplot la parte alta de la microcuenca se observa que la alcalinidad se mantiene más homogénea y estable aproximadamente alrededor de 100-106mg/l, en comparación con la parte media donde la alcalinidad presenta una mayor variabilidad con valores que oscilan entre los 85 y los 125 mg/l y un promedio ligeramente mayor (108 mg/l), la línea de tendencia muestra una pendiente negativa (-0.0133) entre la altitud y la alcalinidad.

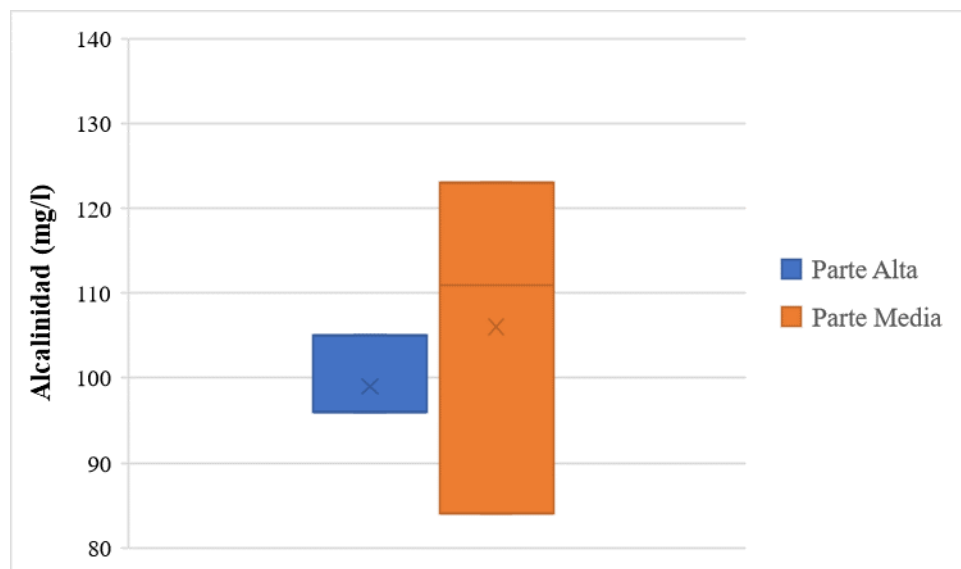


Figura 18. Boxplot respecto a la Alcalinidad.

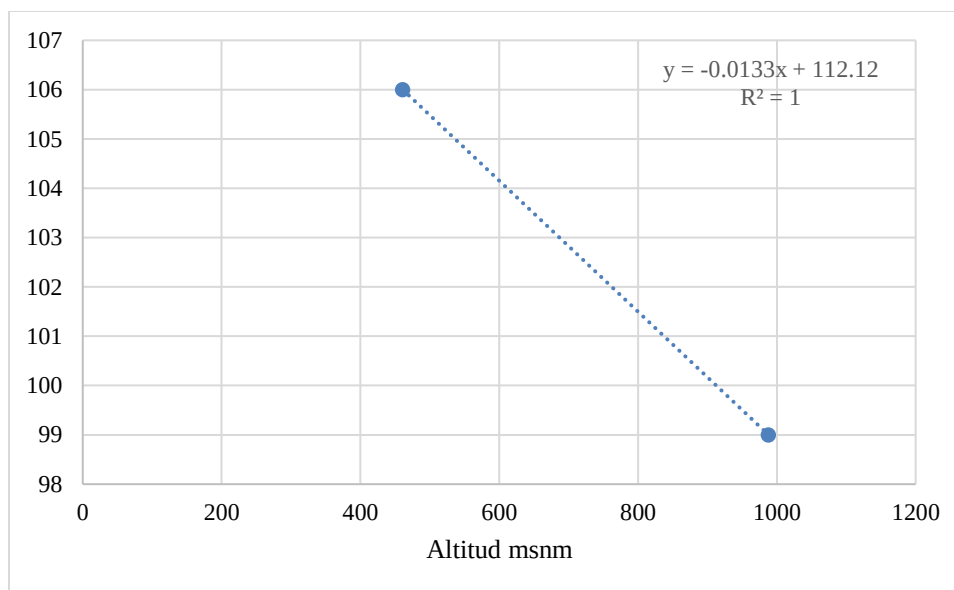


Figura 19. Línea de tendencia con relación a la Alcalinidad vs Altitud.

Con respecto a los diagramas, se observa que la alcalinidad es moderada (100-110 mg/l) y se comporta de manera estable en la parte alta, en comparación a la parte media donde muestra mayor dispersión lo que refleja una mayor influencia en los procesos de disolución y el arrastre de iones, la línea de tendencia evidencia que la alcalinidad con la altitud disminuye, en las zonas bajas la alcalinidad aumenta ya que recorrió una mayor distancia y tuvo un mayor tiempo de contacto con las rocas, materia orgánica, lo que incrementa la presencia de bicarbonatos, carbonatos los cuales son responsables de la alcalinidad Reyes-Toscano *et al.* (2020). La microcuenca registra valores de alcalinidad de 85 a 125 mg/l estos resultados son considerados como típicos de aguas naturales los cuales están influenciados por procesos de disolución de minerales carbonatados.

5.3.8. Dureza

La figura número 20 muestra que la parte alta de la microcuenca se encuentran los valores más bajos y con menor variabilidad, mientras que la parte media tiene una dureza promedio mayor y una dispersión más amplia esto sugiere que en la parte media se encuentra una mayor concentración de sales minerales responsables de la dureza, esto por procesos de infiltración, o diferencias en el tipo de suelos y rocas presentes. Con respecto a la figura 21 nos muestra una

correlación perfecta entre ambas variables, ya que a medida que aumenta la altitud, la dureza del agua disminuye debido a que en las zonas más altas el agua suele ser menos mineralizado.

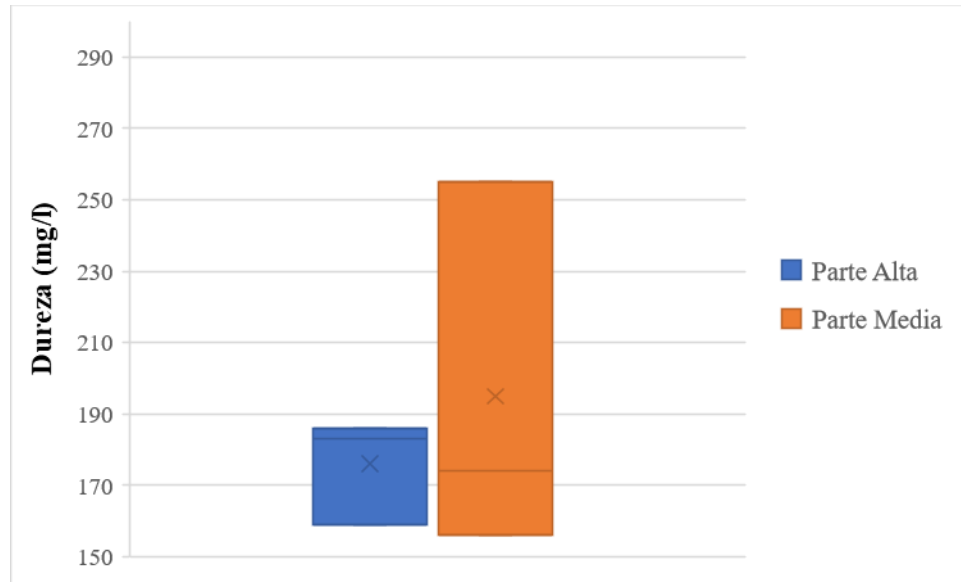


Figura 20. Boxplot respecto a la Dureza.

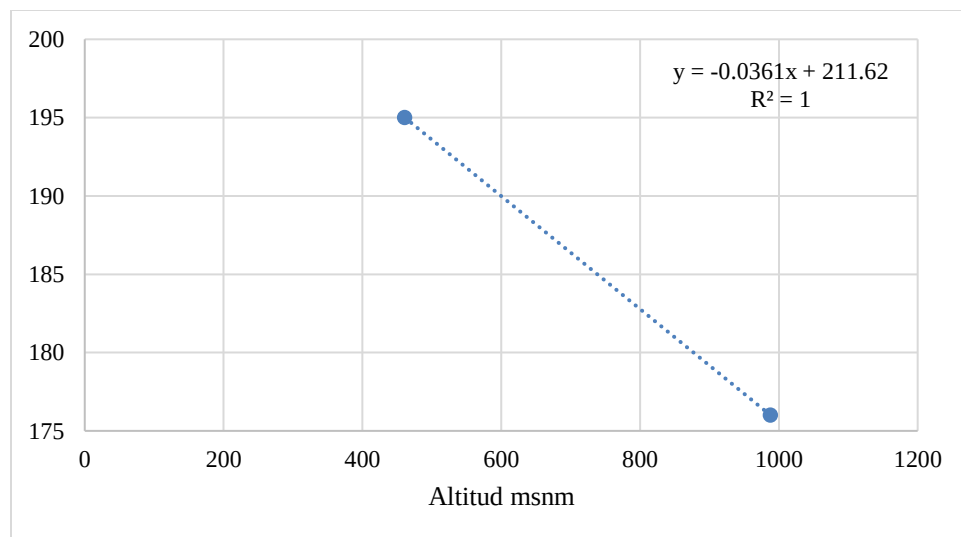


Figura 21. Línea de tendencia con relación a la Dureza vs Altitud.

La microcuenca del Río Catacamas presenta valores de dureza total que varían entre los 150 a los 250 mg/l respectivamente, indicando la presencia de aguas moderadamente duras según las

clasificaciones, se observa que la dureza es menor en la parte alta del río y aumenta significativamente en la parte media, el agua al desplazarse hacia las zonas medias y bajas recorre un trayecto menor y entra en contacto con formaciones ricas en minerales, principalmente calcio y magnesio lo que favorece su disolución y por consiguiente aumenta la dureza.

VI. CONCLUSIONES

El análisis morfométrico evidenció que la microcuenca del Río Catacamas presenta una morfología alargada, la cual es confirmada por su factor de forma, coeficiente de compacidad e índice de alargamiento. Estos resultados indican que la microcuenca posee una dinámica hidrológica sensible, donde su forma, relieve influyen directamente en la rapidez del flujo y en la vulnerabilidad a la erosión. A su vez, el uso de suelo evidencio un predominio de bosque latifoliado, cultivos de café y pastizales, contribuyendo a la estabilidad hídrica y a la protección del suelo, tanto la morfometría y la cobertura vegetal influyen directamente en el comportamiento hidrológico de la microcuenca.

La caracterización hidroquímica reveló que el agua en la microcuenca presenta una composición dominada por bicarbonatos, carbonatos, calcio y magnesio, lo que explica los valores de dureza clasificados entre moderada y dura (150–250 mg/L), especialmente en la zona media. La presencia de estos iones refleja una interacción del agua con formaciones geológicas ricas en minerales carbonatados, además de una alcalinidad que contribuye a un pH ligeramente alcalino.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados muestran diferencias claras a lo largo del gradiente altitudinal: la parte alta presenta temperaturas más bajas, mayor oxigenación y menor conductividad eléctrica, mientras que la parte media registra temperaturas superiores a 28–30°C, mayor turbidez y elevación de la conductividad, esto debido a aspectos asociados a la altitud, la presión atmosférica y a posibles influencias antropogénicas.

VII. RECOMENDACIONES

Fortalecer la conservación del bosque latifoliado en la parte alta de la microcuenca, ya que esta área proporciona la principal zona de recarga hídrica y provee la regulación natural del caudal y la calidad del agua, principalmente establecer planes de reforestación con especies nativas y restringir el avance agrícola.

Realizar monitoreos hidroquímicos más amplios y con una mayor frecuencia en los cuales se incluyan análisis de nitratos, parámetros microbiológicos como ser (coliformes fecales), ya que la presión antrópica avanzada puede modificar la composición química del agua en un mediano plazo.

Desarrollar investigaciones futuras en épocas lluviosa y de esta manera comparar como se desarrolla la dinámica hidrológica y las diferentes variaciones fisicoquímicas del agua y así poder identificar con una mayor precisión la influencia del uso del suelo, la escorrentía y los procesos de arrastre de sedimentos.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amarilla, A; Gabriela, A; Laguardia, V. 2002. Estudio Hidrológico Para la Microcuenca de la Quebrada Agua amarilla, Zamorano, Honduras, C.A. :1-88.
- Amaya, Á. 2015. Evaluación Hidrogeoquímica e Hidroquímica de la Subcuenca del Río Aranchacal (en línea). :441. Disponible en [http://ri.ues.edu.sv/8237/1/Evaluación hidrogeoquímica e hidroquímica de la subcuenca del Río Aranchacal.pdf](http://ri.ues.edu.sv/8237/1/Evaluación_hidrogeoquímica_e_hidroquímica_de_la_subcuenca_del_Río_Aranchacal.pdf).
- Ambiente, MDE; Sostenible, YD. 2018. Guía metodológica Para la Formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas. s.l., s.e. Disponible en [GUÍA-PMA-de-Microcuenca.pdf](#).
- Ávila Alarcón, A. 2021. Modelación hidrogeoquímica del cuerpo de agua, Laguna de San Lorenzo, del sistema de lagos de Montebello, mediante el uso del programa de cómputo PHREEQC (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad nacional Autónoma de México. Disponible en <https://ru.dgb.unam.mx/jspui/bitstream/20.500.14330/TES01000816105/3/0816105.pdf>.
- Almagro, L; Gimena, EC. 2004. Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas de la Formación Chuy, en la franja costera del Este del Uruguay, frontera con Brasil (en línea). BOLETÍN GEOLÓGICO y MINERO 115(1):357-377. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1007025>.
- Aquilla Cisneros, RC. 2005. Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la Subcuenca del Río Jabonal, Costa Rica (en línea). Tesis de Maestría. s.l., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Disponible en [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5628/Uso_del_suelo_y_calidad_del _agua_en_quebradas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5628/Uso_del_suelo_y_calidad_del_agua_en_quebradas.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Bateman, A. 2007. Hidrología Básica Y Aplicada. Brazilian Journal of Biology 71(1 SUPPL.):40.

Barragan Acosta, MC; Daza Lesmes, NM; Larrañaga, YC; Navarro Cuervo, LF; Tosse Luna, OD; Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico. (s. f.). Guía Metodológica para la formulación de los planes de Manejo Ambiental de Microcuencas (en línea). s.l., Colombia. Consultado 6 jun. 2018. Disponible en <https://www.scribbr.es/citar/generador/folders/75IaQvFQgql6gj3rzn7Dfl/lists/wo4psBGUDfuJ445beF8dz/citar/reporte/>.

Bolo, J; Smichowski, H; Morel, D; Ojeda, EA; Contreras, FI. 2019. Morfometría de la Cuenca del Arroyo Baro (San Roque, Corrientes) (en línea). Revista Disciplinar del Departamento Geografía “Vientos del Norte” 8–N 1:26. Disponible en https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/208698/CONICET_Digital_Nro.c2d4547c-01fd-4710-bced-d72ca4b82b6a_L.pdf?sequence=5&isAllowed=y.

Bosque Gella, JB. 2015. Hidroquímica de aguas superficiales y subterráneas del Somontano de Huesca (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad Zaragoza. Disponible en <https://zaguan.unizar.es/record/47572/files/TAZ-TFG-2015-2496.pdf>.

Busnelli, J; Horta, LR. 2014. Morfometría de Cuencas Montañas y Metamorfosis Fluvial, Tucumán (en línea). Revista de la Asociación Geológica Argentina. Disponible en <https://www.scielo.org.ar/pdf/raga/v71n1/v71n1a02.pdf>.

Bermeo, MYM; Barén, ECC. 2016. Incidencia de las Actividades Agropecuarias del Sitio La Bóveda, en la Calidad del Agua de Escorrentía al embalse Sixto Durán Ballén (en línea). Tesis de grado. s.l., Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabi Manuel Felix López. Disponible en <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/540/1/TMA107.pdf>.

Carrica, JC; Lexow, C. 2004. Evaluación de la Recarga Natural al Acuífero de la Cuenca Superior del Arroyo Napostá Grande, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 59(2):281-290.

- Chacón, AV. 2019. Análisis del Potencial de Escurrimiento en la Microcuenca del Río Tiribí entre 2005 al 2029 Para la Conservación de los Servicios Ecosistémicos de Regulación (en línea). ResearchGate (October). DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21746.25289>.
- Castañeda, SI; Villatoro, FU. 2006. Evaluación Ecológico - Hidrológica del Plan de Manejo de la Microcuenca del Río Talgua, Olancho (en línea). :53. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/ceefd917-b74f-4d58-be35-31187f9a82f9/content>.
- Carías Dávila, D. (2022). Perfil Sociodemográfico de Catacamas, Olancho 2022 (en línea). s.l., Tegucigalpa, Honduras. Consultado 7 nov. 2022. Disponible en <https://oe.unah.edu.hn/assets/Perfiles-Sociodemograficos/Olancho-15/Reporte-de-1503-Olancho-Catacamas.pdf>.
- Cerignoni, FJ; Rodrigues, VA. 2015. Análisis morfométrico de la microcuenca “C” núcleo Cunha, São Paulo, Brasil (en línea). Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales (41). DOI: <https://doi.org/10.31167/csef.v0i41.17401>.
- CIAT. (1999). Mapa Geológico de Honduras. <https://bit.ly/3nV1hJE>
- Chirinos Malaga, CE. 2019. “Índice de Calidad de Agua y Contenido de Metales Pesados en el Río San Juan, Cerro de Pasco (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/68ae5bc5-9651-4e64-91ab-ce33507a5419/content>.
- Chamorro Vinueza, NJ. 2024. Determinación del Índice de Calidad de Agua en la Microcuenca del “Río Cinto” Mediante los Parámetros del ICA en el Sector de Lloa, Cantón Quito, 2023 (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27136/1/TTS1675.pdf>.
- Cobeña, MM; Zambrano, MB; Reyes, WC; Carriel, JP; Arrobo, JR; Flores, NZ. 2023. Caracterización hidrológica de la microcuenca del estero Hondo, cantón La Maná, Ecuador (en línea). Ciencia y Tecnología 16(2):35-48. DOI: <https://doi.org/10.18779/cyt.v16i2.634>.

- Cumbal Imbaquingo, FM; Ordoñez Bustamante, BJ. 2023. Determinación de la Calidad de Agua Mediante Parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos en la Microcuenca Sicalpa, Cantón Colta. Tesis de Grado. s.l., Universidad Nacional de Chimborazo.
- Durán, LEG. 2016. Evaluación de la Calidad de Agua de Ríos de Colombia Usando Parámetros Fisicoquímicos y Biológicos (en línea). *Dinámica Ambiental* (1):83-102. DOI: <https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593>.
- Estrada Lapas, G; Vidal Olortegui, CL. 2021. Determinación de Calidad de Agua para el Consumo Humano Aplicando la Metodología de Revisión Sistemática y Meta análisis en Tesis Universitarias (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad Privada Norbert Wiener. Disponible en https://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13053/5359/T061_40082246_41399773_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Escandón, CG; Cáceres, ME. 2022. Análisis de la calidad del agua mediante parámetros físico químicos y macroinvertebrados presentes en la microcuenca del Río San Francisco-Gualaceo (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21649/1/UPS-CT009509.pdf>.
- Fernández-Rodríguez, M; Guardado-Lacaba, RM. 2021. Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICAsup) en el Río Cabaña, Moa-Cuba (en línea). *Scielo.sld* 37(1):105-119. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/mg/v37n1/1993-8012-mg-37-01-105.pdf>.
- Gu, H; Gong, Y; Li, Z; Zhang, Y; Wu, J; Wang, Y; Ni, M; Zhang, J; Jiang, H. 2024. Contribution of direct-drinking water to calcium and magnesium and the influence on the height in school-age children (en línea). *Frontiers In Nutrition* 11:1434952. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1434952>.
- Huertas Urrego, EJ. 2016. Evaluación de la Vulnerabilidad y Amenazada de los Sistemas Hídricos Naturales en el Marco de la Evaluación Regional del Agua para la Cuenca del Río

- Sumapaz, Jurisdicción Car. (en línea). Tesis de grado. s.l., Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Disponible en <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/2969c728-2c62-46e1-b9af-1bf2525326c9/content>.
- Hernández, NS. 2025. Informe de Investigación Sobre Zonas Protegidas de Honduras (en línea, sitio web). Consultado 7 ago. 2025. Disponible en <https://es.scribd.com/document/585933931/Informe-de-Investigacion-Sobre-Zonas-Protegidas-de-Honduras>.
- Ibáñez Asensio, S; Moreno Ramón, H; Gisbert Blanquer, JM l; Universidad Politécnica de Valencia. s. f. Morfología de las cuencas hidrográficas (en línea). Repositorio RiuNet. Disponible en <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/d32c8f53-5d5f-417a-8764-e33fa24f3f47/content>.
- Imbaquingo Cangas, CI. 2023. Evaluación del Nivel de Erosión Potencial en las Microcuencas Altoandinas del Río Atillo, Ozogoche y Yasepan en la Zona Sur Oriental de la Provincia de Chimborazo Para el Uso y Aprovechamiento Sustentable del Recurso Suelo (en línea). Tesis de Grado. s.l., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/22144/1/236T0919.pdf>.
- Jiménez Castelo, JM; Vega Herrera, FS. 2022. Distribución Espacio Temporal de Arsénico en la Microcuenca del Río Blanco, Provincia de Cotopaxi, periodo 2022 (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad Técnica de Cotopaxi. Disponible en <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstreams/7e899c21-29de-4ce4-8748-d93c4c91b5c2/download>.
- Joel Maya Del Ángel; Sánchez Badillo, CL. 2022. Morfometría en la Sección Azolvada del Canal de Tumilco (SITIO RAMSAR 1602 TUXPAN) y Acciones Para Rehabilitar la Navegación (en línea). Tesis de Grado. s.l., Instituto Tecnológico Superior De Álamo Temapache. Disponible en <http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/5109/1/30%20JOEL%20MAYA%20%20Y%20CRISTINA%20PROYECTO%20TESIS.pdf>.

Lozano Ramos, JF. 2016. Estudio Sobre la Calidad del Agua en Cinco Microcuencas Prioritarias a la Subcuenca del Río Azacualpa en San Juan, Intibucá Honduras. Tesis de grado. s.l., Universidad Nacional de Agricultura.

RRNN 02122 L693 C-2-2

León Olmedo, V. 2020. Modelo de Gestión del Recurso Hídrico en la Cuenca Del Río Tarqui, Analizando Escenarios de Cambio Climático Mediante la Herramienta de Simulación Hydro-Bid (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19553/1/UPS-CT008895.pdf>.

Leija, EG; Valenzuela-Ceballos, SI; Valencia-Castro, M; Jiménez-González, G; Castañeda-Gaytán, G; Reyes-Hernández, H; Mendoza, ME. 2020. Analysis of change in vegetation cover and land use in the north-central region of Mexico. The case of the lower basin of the Nazas river. *Ecosistemas* 29(1):1-11. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1826>.

Mejía Clara, MR. 2005. Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras. (en línea). Tesis de Maestría. s.l., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Disponible en https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4434/Analisis_de_la_calidad_del_agua_para_consumo_humano.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Moretto, B; Gentili, JO; Campo, AM. 2019. Vista de Análisis Morfométrico Multiescalar en la Cuenca Alta del Arroyo Sauce Corto (Buenos Aires, Argentina) (en línea, sitio web). Consultado 10 ago. 2019. Disponible en <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas/article/view/3888/4201>.

Matus Reyes, AY. 2023. Análisis del Comportamiento Hidrológico de Obras de Cosecha de Agua por Escorrentía Superficial de Tipo Reservorio, Sobre la Microcuenca Quebrada Sucia, Corredor Seco de Nicaragua (en línea). Tesis de Maestría. s.l., Centro Agronómico Tropical De Investigación Y Enseñanza. Disponible en

https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/12509/Tesis_AdaniaMatus.pdf?sequence=1.

Martínez Ruiz, DA; Chevez Rodríguez, MI. 2017. Caracterización Hidrogeológica de la Parte Noroeste del Acuífero Las Sierras. (en línea). Tesis de grado. s.l., Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Disponible en <https://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/8331/1/98156.pdf>.

Meza, JRY; López, RS; Torres, RJP; Chacón, SAQ. 2018. Análisis morfométrico de las microcuencas en el ámbito de las cataratas de Gocta, Chinata y Yumbilla-El Chido, región Amazonas (en línea). INDES Revista de Investigación Para el Desarrollo Sustentable 2(2). DOI: <https://doi.org/10.25127/indes.20142.119>.

Mendoza Espinoza, EA. 2024. Morfología y Morfometría de los Peces del Genero *Astroblepus* en la cuenca del Río Intag, al Noroccidente de Ecuador: Explorando la Diversidad del Genero a través de Análisis Comparativos. Tesis de grado. s.l., Universidad Tecnológica Indoamerica.

Méndez, W; Marcucci, E. 2006. Análisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucutí, estado Vargas-Venezuela (en línea). REVISTA GEOGRÁFICA VENEZOLANA 47(1):29-55. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/3477/347730363003.pdf>.

Méndez-Gutiérrez, A. G., Corral-Rivas, S., Nájera-Luna, J. A., Cruz-Cobos, F., & Pompa-García, M. (2021). Análisis morfométrico de la cuenca El Salto, Durango, México. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.641>.

Muñoz Sanango, KP. 2023. Análisis de la variabilidad espacial y temporal de los parámetros de calidad del agua en ríos de montaña (en línea). Tesis de grado. s.l., Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Disponible en https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25973/1/UPS-CT010862.pdf?utm_source.

Oyarzún, CE; Frêne, C; Lacrampe, G; Huber, A; Hervé, P. 2011. Propiedades Hidrológicas del Suelo y Exportación de Sedimentos en dos Microcuencas de la Cordillera de la Costa en el

- sur de Chile con Diferente Cobertura Vegetal. Bosque 32(1):10-19. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000100002>.
- Ortega, J. A., Herrera, L. M., & Ramos, F. C. (2009). Factores que influyen en la solubilidad del oxígeno en ríos fríos. *Hydrobiologia*, 29(3), 112-120.
- Ordoñez Gálvez, JJ. (2011). ¿Qué es una Cuenca Hidrológica? (en línea). Lima, Perú, Zaniel I. Novoa Goicochea. Disponible en https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf.
- Peñañiel Romero, AG. 2014. Evaluación de la Calidad del Agua del Río Tomebamba Mediante el Índice ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Universidad de Cuenca Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería :91
- Pérez, LF. 2017. Universidad Nacional Del Centro Del Perú. Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado :118.
- Pérez Sepúlveda, AA. 2020. Asistencia Técnica Para la Zonificación de Susceptibilidad Por Movimientos en Masa Tipo Flujo en la Vertiente Oriental de la Cuenca del Río Cubugón, en el Municipio de Cubará, Boyacá, en el marco del convenio No. 034. Tesis de Grado. s.l., Universidad de Pamplona-Servicio Geológico Colombiano NI 927.
- Pérez Alvarado, JK. 2017. Determinación del Índice de Calidad del Agua del Río Moquegua Por Influencia Del Vertimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales OMO, Durante el Periodo 2014 2015 (en línea). Tesis de Grado. s.l., UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI. Disponible en http://3.17.44.64/bitstream/handle/20.500.12819/299/Julisa_Tesis_titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Peralta Granda, LD. 2024. Vulnerabilidad morfométrica de las microcuencas aportantes a la quebrada Cunduana (en línea). Tesis de Grado. s.l., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/914eb083-ff70-4398-b3e9-456ad76cf3ea/content>.

- Peñafiel Romero, AG. 2014. Evaluación de la Calidad del Agua del Río Tomebamba Mediante el Índice ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Universidad de Cuenca Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería :91
- Quesada, M; Zeledón, KJ. 2022. Morfometría de la microcuenca quebrada El Estero, San Ramón, Alajuela, Costa Rica (en línea). Estudios Socioterritoriales (29):070. DOI: <https://doi.org/10.37838/unicen/est.31-101>.
- Quispe Mamani, JC. 2016. Parámetros Físicos y Estimación del Caudal de Escurrimiento de la Cuenca en la Estación Experimental de Choquenaira (en línea). Tesis de maestría. s.l., Universidad Mayor de San Andrés. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/7609/TM-2236.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Reyes, W; Velásquez, S; Francisco, J; Jorge, F. 2006. Vulnerabilidad y Áreas Críticas a Deslizamientos en la Microcuenca del Río Talgua, Honduras. Recursos Naturales y Ambiente (48):103-110.
- Reyes Sandoval, JT; Serrano Rodríguez, A. 2021. Análisis Morfométrico y Biofísico en la Cuenca del Río Talgua, Honduras (en línea, sitio web). Disponible en <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/1214/1661>
- Reyes-Toscano, CA; Alfaro-Cuevas-Villanueva, R; Cortés-Martínez, R; Morton-Bermea, O; Hernández-Álvarez, E; Buenrostro-Delgado, O; Ávila-Olivera, JA. 2020. Hydrogeochemical Characteristics and Assessment of Drinking Water Quality in the Urban Area of Zamora, Mexico (en línea). Water 12(2):556. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12020556>.
- Riva, L; Fiorella, T. 2022. Determinación del Índice de Calidad de Agua de las Principales Bahías del Lago Titicaca Lado Peruano-Puno en el periodo 2015-2020 (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad Católica de Santa María. Disponible en <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstreams/0b44bb2a-4e5d-4e2c-a208->

d7b74a6bed86/download.

- Robledo Hernández, JA. 2022. Evaluación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF en las Microcuencas del Parque Nacional Río Dulce como herramienta en la gestión integral del manejo sustentable, Livingston, Izabal, Guatemala, Centroamérica. Consultado 23 sep. 2022.
- Rodríguez Osses, MA. 2012. Respuesta en los caudales y el transporte de sedimentos a eventos de precipitación de distinta intensidad En dos microcuencas cubiertas con bosque siempre verde del predio Llancahue, región de los Ríos (en línea). Trabajo de Grado. s.l., Universidad Austral de Chile. Disponible en https://investigacion.conaf.cl/archivos/repositorio_documento/2018/11/038_2010-TESIS.pdf.
- Romero, BC; Gaspari, FJ; Vagaría, AMR; González, FMC; López, JT. 2015. Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del Río Cuale, Jalisco, México (en línea). Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (64):26-34. DOI: <https://doi.org/10.33064/iycuaa2015643592>.
- Speer Láinez, WR. 2010. Avances y experiencias Aprendidas en la Implementación del Modelo Cogestión de Cuencas Hidrográficas en a la Microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras. :137.
- Salas Aguilar, VM; Viramontes Olivas, OA; Baez González, AD; Quintana Martínez, RM. 2010. Vista de Morfometría de la Cuenca del Río Nazas- Rodeo en Durango, México, Aplicando Tecnología geoespacial (en línea, sitio web). Consultado 30 mar. 2011. Disponible en <https://revistascientificas.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/705/794>.
- Stumm, W., & Morgan, J. J. (2012). Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. John Wiley & Sons.
- Torres, P; Hernán Cruz, C; Patiño, PJ. 2008. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. (en línea).

Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Consultado 5 oct. 2009. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/750/75017199010.pdf>.

Verdugo Cárdenas, M. 2017. Análisis Morfométrico de las microcuencas a las que pertenece el Bosque y Vegetación Protectora Aguarango (BVPA), influencia en el comportamiento hidrológico (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad Politécnica Salesiana, Sede de Cuenca. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14381/1/UPS-CT007051.pdf>

Verdugo, ER. 2017. Hidrología e hidroquímica de tres zonas con potencial geotérmico (en línea, sitio web). Disponible en <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1360>.

Villota Rosero, MA. 2019. Metodología para el Cálculo de los Parámetros Morfométricos de una Cuenca Hidrográfica por medio de Sistemas de Información Geográfica. Caso de estudio – Río Mulaló (Yumbo - Colombia) (en línea). Trabajo de Grado. s.l., Universidad Nacional de Luján. Disponible en <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/755/Villota%20Teledetecci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Villalón Rodríguez, PS. 2023. Vulnerabilidad acuífera e índices de calidad del agua en acuíferos del Bajío (en línea). Tesis de Maestría. s.l., Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. Disponible en <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/6444>.

Viramontes Olivas, OA; Escoboza García, LF; Álvarez, CP; Pinedo Álvarez, A; Reyes Gómez, VM; Román Calleros, JA; Pérez Márquez, A. 2007. Morfometría de la cuenca del Río San Pedro, Conchos, Chihuahua (en línea). Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable. Consultado 9 ene. 2008. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/a6cb/3ed3665aa65eae79f20e7448ba9d4c819778.pdf>.

Villota Rosero, MA. 2019. Metodología Para el Cálculo de los Parámetros Morfométricos de una Cuenca Hidrográfica por Medio de Sistemas de Información Geográfica. Caso de Estudio – Río Mulaló (Yumbo - Colombia) (en línea). Tesis de grado. s.l., Universidad Nacional

de Luján. Disponible en
<https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/755/Villota%20Teledetecci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Venus América, AQ. 2023. Análisis de Indicadores Para Medir la Sostenibilidad de la Microcuenca Quebrada Chonta, Tambopata- Madre de Dios (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Disponible en <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/992/004-2-3-154.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Webb, B. W., Clack, P. D., & Walling, D. E. (2008). Rivers, lakes, and groundwater: empirical estimation of stream temperature response to environmental change. *Hydrological Sciences Journal*, 53(1), 77-88.

Yujra, GC. 2001. Plan de Manejo para la Microcuenca de la Quebrada Hierbabuena, Municipios de Maraita y Tatumbula, Honduras Guzmán Catarí Yujra.

Zhicay Lombaida, JI. 2020. Caracterización Morfométrica y Estudio Hidrológico de la Microcuenca del Río San Francisco, Cantón Gualaceo. (en línea). Tesis de Grado. s.l., Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18364/1/UPS-CT008684.pdf>.

ANEXOS

