



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de indicadores de calidad
en la microcuenca del río Llin Llín, cantón Colta.

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera Ambiental

Autores:

Conde Centeno María Agusta
Sánchez Olvera Deysi Lucía

Tutor:

Ing. Patricio Santillán MSc.

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotras, María Agusta Conde Centeno, con cédula de ciudadanía 0605143320 y Deysi Lucía Sánchez Olvera con cédula de ciudadanía 2100835749, autores del trabajo de investigación titulado: Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de indicadores de calidad en la microcuenca del río Llin Llin, cantón Colta, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cessionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 06 de Agosto de 2024



María Agusta Conde Centeno

C.I: 0605143320



Deysi Lucía Sánchez Olvera

C.I: 2100835749

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Patricio Santillán catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de indicadores de calidad en la microcuenca del río Llin Llin, cantón Colta, bajo la autoría de María Agusta Conde Centeno y Deysi Lucía Sánchez Olvera; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 06 días del mes de Agosto de 2024.



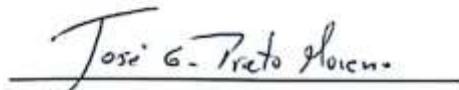
Ing. Patricio Santillán MSc.
C.I: 0602780777

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de indicadores de calidad en la microcuenca del río Llin Llin, cantón Colta”, presentado por María Agustina Conde Centeno, con cédula de ciudadanía 0605143320 y Deysi Lucía Sánchez Olvera con cédula de ciudadanía 2100835749, bajo la tutoría del Ing. Patricio Santillán MSc, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de sus autores; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 06 de Agosto de 2024.

PhD. José Prato Moreno
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. Anita Ríos Rivera
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. María Fernanda Rivera MgS.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



CERTIFICACIÓN

Que, **CONDE CENTENO MARÍA AGUSTA** con CC: **0605143320**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL USO DE INDICADORES DE CALIDAD EN LA MICROCUENCA DEL RÍO LLIN LLÍN, CANTÓN COLTA**", cumple con el 10 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 29 de Julio de 2024



MSc. Patricio Santillán
TUTOR

DEDICATORIA

En primer lugar, agradezco a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino.

A mi madre, Irlanda, por su amor incondicional y por ser mi mayor apoyo en todo momento. Gracias mami, por cada consejo y por su infinita paciencia y amor, sin usted, nada de esto hubiera sido posible.

A Rodrigo, por su cariño y apoyo constante en todo momento.

A mi padre, Wilfrido, quien desde el cielo me inspira a seguir adelante y dar lo mejor de mí, gracias por los consejos y amor que me brindaste, este logro también es tuyo papi.

A mis hermanos, Carla, Jonny y Camila, por estar siempre a mi lado, por su amor, apoyo y compañía. Gracias por ser mis confidentes y mi fuerza en los momentos difíciles.

A mis abuelitos, Ángel y Carmen, por sus consejos, amor y sabiduría. Les debo tanto, y este logro es una pequeña muestra de mi amor hacia ustedes.

A mi prima Alison, gracias por tu apoyo incondicional, por darme fuerza y estar conmigo desde pequeñas, sobre todo gracias por traer al mundo a la luz de mi vida, Isabela.

A mi mejor amigo Antonio, por confiar en mí, apoyarme en cada parte de este proceso y de mi vida en general, gracias por los consejos y el cariño.

Les dedico este logro con todo mi corazón, agradeciendo a Dios por cada uno de ustedes y esperando que nos siga brindando muchos momentos juntos. Gracias por ser mi fuerza y mi inspiración.

María Conde

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme estar aquí y ser mi guía en todo momento.

A mi madre por su amor incondicional, apoyo constante y palabras de aliento. A mi hermana Carla, por ser mi inspiración y brindarme siempre su apoyo.

A mis abuelitos y familia, gracias por sus oraciones y apoyo en los momentos difíciles.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, a la Carrera de Ingeniería Ambiental y a todos los que forman parte de ella, gracias por acogerme durante todos estos años de mi vida universitaria y por proporcionarme los conocimientos esenciales que serán fundamentales en mi carrera profesional.

A mis docentes, especialmente al Ing. Patricio Santillán MSc, mi tutor de tesis, cuya orientación y apoyo fueron cruciales para la culminación de este proyecto.

De manera muy especial al Ing. Carlos Maldonado, por su apoyo a lo largo de mi trabajo de titulación. Su paciencia y disposición constante han sido fundamentales en cada paso de este proceso.

Finalmente, a todas las personas que siempre han confiado en mí, gracias por su apoyo incondicional.

María Conde

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado, en primer lugar, a Dios, por haberme otorgado sabiduría y guiado mis pasos para ser la mujer que soy hoy.

A mi mamá, Nimia, por estar siempre a mi lado y enseñarme que puedo lograr todo lo que me proponga, sin importar las dificultades. Gracias, mamá, por tu amor y apoyo incondicional. Sin ti, esto no hubiera sido posible.

A mi papá, Edwin, gracias por estar siempre conmigo, pase lo que pase. Aprecio tus enseñanzas y tu amor incondicional. Gracias por tu apoyo, tus palabras de aliento, por no dejarme sola en este proceso y por cuidarme siempre.

A mi Joshua, el amor más grande de mi vida, mi niño bello que siempre confía en mí. Gracias por ser mi luz y llenarme de alegrías.

A mi tía María, por confiar siempre en mí y por sus buenos deseos. A mis primos Cristian, Alejandro y mi tía Sara, quienes sé que están orgullosos de mí.

A mi abuelita, Emilia, a quien amo mucho, gracias por estar siempre conmigo.

A mi Jared, gracias por ser ese rayito de luz en mi vida y por las alegrías que me das a diario.

A mis abuelitos, Víctor y Holger, gracias por haberme brindado su amor y cariño en vida, y por sus valiosas enseñanzas.

A Brayan, gracias por motivarme y estar conmigo en todo este proceso. Agradezco que siempre me des aliento cuando siento que ya no puedo.

Este logro en mi vida está dedicado a cada uno de ustedes y a todas las personas que han confiado en mí. Gracias por demostrarme su cariño y amor en cada momento. Que Dios nos brinde vida y salud para seguir celebrando más logros juntos.

Deysi Sánchez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía en todo momento y por darme fortaleza siempre.

A mis amados padres, por su apoyo y amor incondicional, y por ser mi constante inspiración.

A mi familia, gracias por sus buenos deseos y su apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, a la Carrera de Ingeniería Ambiental y a todos los que forman parte de ella, por haber compartido sus conocimientos conmigo y por todos estos años de aprendizaje.

A mi tutor de tesis, Ing. Patricio Santillán MSc, por su valiosa orientación, su dedicación incansable y su paciencia durante todo este proceso.

Al Ing. Carlos Maldonado, por su incondicional apoyo, su guía experta, su paciencia y por toda su ayuda invaluable a lo largo de este proyecto. Su disposición y compromiso fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

Finalmente, a todas las personas que han hecho posible este sueño.

Deysi Sánchez

ÍNDICE GENERAL.

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	19
1.1 Introducción	19
1.2 Planteamiento del Problema	19
1.3 Justificación	20
1.4 Objetivos	21
1.4.1 Objetivo General.....	21
1.4.2 Objetivos Específicos	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Ciclo Hidrológico	22
2.1 Cuenca Hidrográfica	22
2.2 Partes de una cuenca hidrográfica según su altitud	23
2.3 Puntos de Muestreo.....	23
2.4 Morfometría	24
2.5 Parámetros de Forma	24
2.6 Parámetros de Relieve	24
2.7 Red de Drenaje.....	24
2.8 Calidad del Agua	24
2.9 Contaminación del Agua	25
2.10 Principales Contaminantes del Agua	25
2.11 Parámetros Físicos	25

2.12	Temperatura	26
2.13	Conductividad Eléctrica.....	26
2.14	Turbidez	26
2.15	Potencial de Hidrógeno.....	26
2.16	Oxígeno Disuelto	26
2.17	Color	26
2.18	Solidos Disueltos Totales.....	27
2.19	Solidos Suspendidos Totales	27
2.20	Parámetros Químicos	27
2.21	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	27
2.22	Amonio	27
2.23	Nitrato	28
2.24	Fosfatos	28
2.25	Sulfatos	28
2.26	Nitrógeno Total.....	28
2.27	Nitrógeno Amoniacal.....	28
2.28	Nitrógeno Total Kjeldahl	29
2.29	Fósforo Total.....	29
2.30	Parámetros Microbiológicos	29
2.31	Coliformes Fecales	29
2.32	Caudal	30
2.33	Cálculo del Caudal.....	30
2.34	Método del Flotador.....	31
2.35	Índice de Calidad del Agua.....	32
2.36	Método de la National Sanitation Foundation	32
2.37	Método Oregon Water Quality Index	32
2.38	Índice desarrollado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (ICAUCA).....	32
2.39	Prueba de Normalidad	32
2.40	Prueba de Shapiro-Wilks	33
2.41	Hipótesis Nula.....	33
2.42	Hipótesis Alternativa	33
2.43	Ánáisis estadístico ANOVA	33

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	34
3.1 Localización.....	34
3.2 Puntos de Muestreo.....	34
3.3 Tipo de investigación.....	35
3.4 Diseño de investigación	36
3.5 Determinación de la morfometría de la microcuenca	36
3.6 Determinar el índice de calidad de agua	37
3.6.1 Toma de muestras de agua.....	37
3.6.2 Análisis del agua.....	38
3.6.3 Ecuaciones para determinar los Índice NSF, OWQI e ICAUCA.....	40
3.6.4 Pesos relativos del índice NSF	40
3.6.5 Pesos relativos del índice ICAUCA	41
3.6.6 Categorización de los indices (ICA de la NSF, OWQI e ICAUCA).....	41
3.7 Análisis de confiabilidad de los índices (ICA de la NSF, OWQI e ICAUCA)	42
3.7.1 Determinación de normalidad de datos y análisis de varianza (ANOVA)....	42
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1 Resultados obtenidos de la morfometría de la Microcuenca Llin Llín y puntos de monitoreo	44
4.1.1 Puntos de monitoreo	44
4.1.2 Morfometría.....	44
4.1.3 Monitoreo de caudales en la época seca y época lluviosa.....	47
4.2 Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca del río Llin Llín mediante los índices ICA de la NSF, OWQI e ICAUCA.....	48
4.2.1 Calidad del agua durante la época seca, según el índice NSF.....	48
4.2.2 Calidad del agua durante la época seca, según el índice OWQI	49
4.2.3 Calidad del agua durante la época seca, según el índice ICAUCA	50
4.2.4 Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice NSF	51
4.2.5 Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice OWQI.....	52
4.2.6 Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice ICAUCA	53
4.3 Analizar la confiabilidad de los índices de calidad del agua empleados	54
4.3.1 Normalidad de residuos en época seca	54
4.3.2 Análisis ANOVA en época seca.....	55
4.3.3 Confiabilidad de índices en época seca	55

4.3.4	Normalidad de residuos en época lluviosa	56
4.3.5	Análisis ANOVA en época lluviosa.....	58
4.3.6	Confiabilidad de índices en época lluviosa	58
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		60
6.	REFERENCIAS.....	61
7.	ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1	Parámetros morfométricos.....	36
Tabla 2	Parámetros in-situ.....	38
Tabla 3	Parámetros en laboratorio.....	39
Tabla 4	Ecuaciones para determinar los diferentes índices de calidad del agua.	40
Tabla 5	Importancia relativa de cada factor en la determinación de la calidad del mediante el índice ICA- NSF.....	40
Tabla 6	Ponderación de cada uno de los parámetros en los Índice de Calidad del Agua ICAUCA.....	41
Tabla 7	Valores de categorización de los diferentes índices de calidad de agua.	42
Tabla 8	Ubicación de los puntos de muestreo.	44
Tabla 9	Resultados de los parámetros morfométricos.....	45
Tabla 10	Caudales de la microcuenca en la época seca y época lluviosa.....	47
Tabla 11	Resultados del análisis ANOVA en la época seca	55
Tabla 12	Resultados del análisis ANOVA en la época lluviosa.....	58
Tabla 13	Determinación de la morfometría.....	71
Tabla 14	Datos utilizados en el estudio	73

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1 Ciclo Hidrológico.....	22
Figura 2 Partes de una cuenca hidrográfica.....	23
Figura 3 Cálculo del caudal utilizando la información de un aforo	30
Figura 4 Método del flotador.....	31
Figura 5 Área de estudio.....	34
Figura 6 Puntos de muestreo	35
Figura 7 Elevación de la microcuenca Llin Llín	45
Figura 8 Calidad del agua durante la época seca, según el índice NSF	48
Figura 9 Calidad del agua durante la época seca, según el índice OWQI.....	49
Figura 10 Calidad del agua durante la época seca, según el índice ICAUCA	50
Figura 11 Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice NSF.....	51
Figura 12 Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice OWQI.....	52
Figura 13 Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice ICAUCA.....	53
Figura 14 Normalidad de residuos en época seca	54
Figura 15 Confiabilidad de índices en época seca.....	56
Figura 16 Normalidad de residuos en época lluviosa.....	57
Figura 17 Confiabilidad de índices en época lluviosa.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1 Punto de muestreo 1	65
Ilustración 2 Punto de muestreo 2	65
Ilustración 3 Punto de muestreo 3	65
Ilustración 4 Punto de muestreo 4	65
Ilustración 5 Punto de muestreo 5	66
Ilustración 6 Punto de muestreo 6	66
Ilustración 7 Punto de muestreo 7	66
Ilustración 8 Punto de muestreo 8	66
Ilustración 9 Punto de muestreo 9	67
Ilustración 10 Punto de muestreo 10	67
Ilustración 11 Área de estudio.	67

Ilustración 12 Aforamiento de envases para muestra in-situ	67
Ilustración 13 Toma de muestras in-situ	68
Ilustración 14 Medición de caudal	68
Ilustración 15 Calibración de equipos.....	68
Ilustración 16 Datos obtenidos mediante el equipo Multiparámetro HANNA HI98194 .	68
Ilustración 17 Análisis de muestras de agua en laboratorio.....	69
Ilustración 18 Análisis de muestras de agua en laboratorio.....	69
Ilustración 19 Conteo de Coliformes.	69
Ilustración 20 Determinación de Amonio.....	69
Ilustración 21 Determinación de Amonio.....	70
Ilustración 22 Determinación de Solidos Disueltos.....	70
Ilustración 23 Determinación de %OD	70
Ilustración 24 Determinación de BDO5.....	70
Ilustración 25 Curva hipsométrica	72

RESUMEN

El presente estudio se centra en la evaluación de la calidad del agua en la microcuenca del río Llin Llín, ubicada en el cantón Colta, Ecuador. La investigación tiene como objetivo determinar el estado de la calidad del agua mediante el uso de diferentes indicadores, que abarcan parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Estos parámetros fueron evaluados durante dos épocas climáticas distintas: la temporada seca y la temporada lluviosa.

Se aplicaron métodos como el Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation (NSF), el Índice de Calidad del Agua de Oregon (OWQI) y el Índice desarrollado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (ICAUCA). Los resultados obtenidos revelaron variaciones significativas en la calidad del agua entre ambas épocas, siendo más baja durante la temporada seca debido a influencias tanto climáticas como antropogénicas.

El análisis estadístico ANOVA realizado destacó diferencias significativas en los valores de calidad del agua obtenidos mediante los diferentes índices aplicados. Este hallazgo subraya la importancia crucial de mantener un monitoreo continuo y una gestión efectiva de los recursos hídricos para conservar y mejorar la calidad del agua en la microcuenca del río Llin Llín.

Finalmente, la configuración morfométrica de la microcuenca indica una respuesta rápida a las precipitaciones, aumentando así el riesgo de erosión y la entrada de sedimentos. Estos hallazgos resaltan la necesidad urgente de implementar medidas de conservación del suelo y manejo sostenible de cuencas para mitigar los impactos adversos sobre la calidad del agua y promover la sostenibilidad ambiental en la zona de estudio.

Palabras claves: Calidad del agua, Indicadores de calidad, NSF, OWQI, ICAUCA, ANOVA.

Abstract

This study assesses water quality in the *Llin Llin* River micro-basin in *Colta* Canton, Ecuador. The research aims to determine the water quality using various indicators, encompassing physical, chemical, and microbiological parameters. These parameters were evaluated during two distinct climatic seasons: the dry season and the rainy season. Methods such as the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF), the Oregon Water Quality Index (OWQI), and the index developed by the Regional Autonomous Corporation of Valle del Cauca (ICAUCA) were applied. The results revealed significant variations in water quality between the two seasons, with lower quality during the dry season due to both climatic and anthropogenic influences. The ANOVA statistical analysis highlighted significant differences in water quality values obtained through the different applied indices. This finding underscores the importance of maintaining continuous monitoring and effective management of water resources to preserve and improve water quality in the *Llin Llin* River micro-basin. Finally, the morphometric configuration of the micro-basin indicates a rapid response to precipitation, thus increasing the risk of erosion and sediment entry. These findings highlight the urgent need to implement soil conservation measures and sustainable basin management practices to mitigate adverse impacts on water quality and promote environmental sustainability in the study area.

Keywords: Water quality, Quality indicators, NSF, OWQI, ICAUCA, ANOVA.



Reviewed by:

Lic. Jenny Alexandra Freire Rivera
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0604235036

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El estudio de calidad del agua en las fuentes hídricas del Ecuador se posiciona como un tema de suma relevancia, dado el valor primordial del agua como recurso natural indispensable para la vida y el desarrollo sostenible de las comunidades locales (Terneus & Yáñez, 2018). El nivel de contaminación del agua se caracteriza por la presencia y concentración de sustancias, de origen natural o antropogénico, que afectan las propiedades biológicas del agua (Pauta et al., 2019).

La calidad del recurso hídrico desempeña un papel crucial en el bienestar humano y el desarrollo sostenible, dado que su influencia se extiende a la salud, agricultura y crecimiento económico. El consumo de agua en la agricultura representa una fracción sustancial de su uso total, mientras que la contaminación hídrica ocasiona perjuicios a la fauna y flora. Con el fin de alcanzar un progreso sostenible y un avance constante, se requiere una atención integral a la salud de las personas sin omitir ningún aspecto (Villena Chávez, 2018); (Cedeño, 2020).

La determinación del nivel de contaminación en los recursos hídricos se realiza mediante la comparación de las propiedades físicas y químicas de una muestra con los estándares de calidad establecidos en las normativas nacionales o internacionales. Entre los parámetros a analizar se incluyen temperatura, pH, turbidez, conductividad eléctrica, concentración de oxígeno disuelto, presencia de nitratos, fosfatos y otros contaminantes. Asimismo, se realizarán análisis microbiológicos con el objetivo de detectar la presencia de microorganismos patógenos en las muestras (Osti et al., 2019).

Por lo descrito anteriormente, se realizará la investigación en la microcuenca del río Llin Llín, situada en la provincia de Chimborazo, específicamente en el cantón Colta. Esta microcuenca debido a su ubicación geográfica y su importancia socioeconómica e hidrológica exige un monitoreo constante por esta razón, el objetivo de esta investigación es evaluar la calidad del agua mediante el uso de indicadores específicos en la microcuenca del río Llin Llín.

1.2 Planteamiento del Problema

La distribución de agua en el planeta se divide en 97,2 % salina, solo un 2,5 % de agua dulce. De esta última fracción, 30 % es agua subterránea, 68 % agua en glaciares y capas de nieve, y solo 1,2 % corresponde a fuentes superficiales (Gómez, 2018). Por esta razón, la disponibilidad de agua juega un papel crucial en la sostenibilidad tanto de la vida como del desarrollo económico a nivel global. Durante un extenso período, se tendía a considerar que todos los recursos hídricos estaban disponibles para diversos usos humanos, sin prestar atención a la calidad y demandas ambientales (Matute & Maldonado, 2022). Al abordar la

distribución del agua equitativa entre los distintos sectores, destaca la agricultura como la actividad con mayor demanda.

Aproximadamente dos tercios de los recursos hídricos se destinan a fines agrícolas, pero esta necesidad compite con la creciente demanda de la población, así como con usos recreativos e industriales. Todos estos sectores buscan asegurar su acceso al agua, pero la actual destrucción de los ecosistemas provoca una mayor contaminación en las partes bajas de las cuencas (Matute & Maldonado, 2022).

La contaminación de los recursos hídricos en Ecuador proviene principalmente de actividades antropogénicas, estas incluyen atracciones de minerales, aumento poblacional, carencia de servicios básicos y saneamiento, uso excesivo de agroquímicos, deforestación, expansión de la agricultura y ganadería. Provocando altas concentraciones de metales pesados, nitratos, nitritos, fosfatos, tensoactivos, materia orgánica, hidrocarburos y agentes patógenos, alterando los parámetros fisicoquímicos del agua, lo que impacta negativamente la salud de la población humana y ecológica causando un desequilibrio ambiental (Red Interamericana de Academias de Ciencias, 2019).

1.3 Justificación

La actividad socioeconómica en la microcuenca del río Llin Llín, se basa principalmente en agricultura, ganadería e industrias queseras. Sin embargo, estas actividades también han demostrado tener un impacto significativo en la calidad del recurso hídrico, contribuyendo a la contaminación del río. La escorrentía de productos químicos agrícolas, la acumulación de desechos ganaderos y los vertidos de efluentes industriales son factores que degradan la calidad del recurso (Rodríguez & Martínez, 2020).

Para evaluar los efectos de dichas actividades, es imprescindible obtener resultados actualizados sobre la calidad del agua en la microcuenca del río Llin Llín. A través del análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los mismos que contribuirán a la toma de decisiones permitiendo desarrollar estrategias efectivas para desarrollar un plan de manejo que preserve y gestione el recurso hídrico de manera sostenible.

La presencia de agua de alta calidad no solo es esencial para satisfacer las necesidades básicas de consumo humano, sino que también es un factor crítico para el desarrollo sostenible, seguridad alimentaria y preservación del entorno natural en esta área. Esta investigación tiene como finalidad obtener una evaluación actualizada de la calidad del agua en la microcuenca del río Llin Llín, ubicada en el cantón Colta. Para ello, se emplearán diversos indicadores de calidad del agua, incluyendo los índices de la Fundación Nacional de Sanidad (NSF), Índice de Calidad del Agua de Oregón (OWQI) y el Índice desarrollado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (ICAUCA).

Esta investigación proporcionará una comprensión integral de la situación actual del agua en la microcuenca, informando sobre la eficacia de los índices de calidad utilizados y contribuyendo a la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Evaluar la calidad del agua mediante el uso de indicadores de calidad en la microcuenca del río Llin Llín, cantón Colta.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la morfometría de la microcuenca del río Llin Llín para analizar su forma, estructura y extensión.
- Aplicar los índices ICA de la NSF, OWQI e ICAUCA para evaluar la calidad del agua en la microcuenca del río Llin Llín.
- Analizar la confiabilidad de los índices de calidad del agua empleados.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Ciclo Hidrológico

El ciclo del agua implica la transferencia continua de masas de agua debido a un flujo energético constante (Pulido, 2014). Comienza con la evaporación del agua en los océanos gracias a la energía solar, que transforma el agua líquida en vapor. Cuando el aire alcanza su punto de saturación, el vapor se condensa en nubes, que luego precipitan en forma de lluvia o nieve. La nieve se acumula en glaciares y, al derretirse, junto con otras precipitaciones, forma agua superficial y subterránea (ver Figura 1).

Figura 1
Ciclo Hidrológico



Fuente: (Lado, 2009).

El agua superficial puede fluir al mar, infiltrarse en el suelo o evaporarse. El agua infiltrada puede evapotranspirarse o llegar a los acuíferos, moviéndose de áreas de mayor a menor potencial hidráulico. El agua subterránea es crucial para mantener el caudal de los ríos. La intervención humana, mediante presas, sobreexplotación de acuíferos y depuración, ha adaptado el ciclo del agua a sus necesidades (Toledo, 2006).

2.1 Cuenca Hidrográfica

Las cuencas hidrográficas son características geográficas típicas de regiones montañosas que descienden hacia los valles, donde arroyos y torrentes fluyen río abajo. También conocidas como áreas de desagüe o cuencas fluviales, son zonas de la superficie terrestre donde las gotas de lluvia tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un punto de salida común. Estas cuencas integran la red hidrográfica y son cruciales para el ciclo del agua y la sostenibilidad ambiental, ya que sustentan la vida de los seres humanos, animales y plantas en un delicado equilibrio ecológico (FAO, 2009); (Aparicio, 1989).

2.2 Partes de una cuenca hidrográfica según su altitud

Si se considera la altitud como criterio, se pueden distinguir las partes alta, media y baja de una cuenca en función de los rangos de altitud que abarque. Cuando la diferencia de altitud es considerable y varía entre 0 y 2500 metros sobre el nivel del mar, es posible identificar estas tres partes; si la diferencia es menor, es probable que solo se distingan dos partes; y en cuencas casi planas, será menos probable establecer divisiones. Este criterio de altitud suele estar relacionado con el clima y puede utilizarse como método para definir las diferentes partes de una cuenca (Villalobos et al., 2004).

La cuenca alta se encuentra típicamente en áreas montañosas o en las cabeceras de las colinas, delimitadas en su parte superior por las divisorias de aguas (ver Figura 2).

Figura 2

Partes de una cuenca hidrográfica



Fuente: (Villalobos et al., 2004).

La cuenca media es el lugar donde se unen las aguas recogidas en las partes altas y donde el río principal mantiene un cauce definido.

Por último, la cuenca baja o zonas transicionales es donde el río desemboca en ríos más grandes o en áreas bajas como estuarios y humedales (Villalobos et al., 2004).

2.3 Puntos de Muestreo

El punto de muestreo se define como el lugar específico dentro de un sitio de muestreo donde se recolecta la muestra del cuerpo de agua o se miden sus parámetros in situ. Este punto puede cambiar dependiendo de las condiciones hidrológicas (niveles altos o bajos de agua), el estado de las orillas, las condiciones de acceso, etc. Las coordenadas de este punto se registrarán en cada ocasión y se anotarán en la ficha de campo correspondiente (Pilcomayo, 2016).

2.4 Morfometría

La morfometría de una cuenca hidrográfica es el resultado de un complejo estudio cuantitativo y matemático que analiza su geomorfología y características físicas. Brinda un conocimiento detallado de su forma, estructura y propiedades geomorfológicas clave. Al combinar técnicas especializadas, se logra comprender el comportamiento de los flujos de agua, la distribución espacial, el almacenamiento y otros aspectos relevantes, esenciales para una mejor gestión hidrológica (Gaspari et al., 2012).

2.5 Parámetros de Forma

La forma de una cuenca influye significativamente en su comportamiento hidrológico. Cuenca con áreas iguales, pero formas diferentes presentan respuestas hidrológicas distintas, lo que se refleja en hidrogramas variados ante una precipitación de igual magnitud y duración. Por esta razón, algunos parámetros buscan cuantificar las características morfológicas a través de índices o coeficientes. Los principales parámetros de forma incluyen el Coeficiente de Gravelius, el Rectángulo equivalente y el Coeficiente de Horton (Ibáñez et al., 2010).

2.6 Parámetros de Relieve

Los parámetros de relieve son esenciales para entender una cuenca hidrográfica. La curva hipsométrica y la pendiente media ofrecen información sobre la topografía y los procesos erosivos. La elevación media y el análisis hipsométrico ayudan a comprender la distribución altitudinal y el ciclo erosivo de la cuenca, respectivamente. Estos datos son cruciales para la gestión de recursos hídricos y la prevención de desastres naturales relacionados con el agua (Viramontes et al., 2007).

2.7 Red de Drenaje

La red de drenaje de una cuenca es el sistema de canales que guían el flujo de agua, compuesta por un río principal y sus afluentes. Dos parámetros clave son la densidad de drenaje, que indica la longitud promedio de cursos de agua por unidad de superficie, y la pendiente media del cauce principal, que evalúa la inclinación del río y su potencial erosivo (Llamas, 1993).

2.8 Calidad del Agua

La calidad del agua es un aspecto fundamental para garantizar su seguridad y uso adecuado en diferentes contextos. Para evaluarla, se analizan una serie de parámetros que abarcan diversos aspectos físicos, químicos, biológicos, microbiológicos y radiológicos. Cada parámetro se evalúa de acuerdo con valores de referencia establecidos, los cuales dependen del uso específico del agua y de los criterios de conservación de los ecosistemas acuáticos (SENAGUA, 2016).

2.9 Contaminación del Agua

La contaminación del agua ocurre por un exceso de materia orgánica o sustancias tóxicas no orgánicas, con graves consecuencias para los ecosistemas acuáticos. Esto incluye una reducción del oxígeno en el agua, la muerte de plantas y animales acuáticos (FAO, 2021).

2.10 Principales Contaminantes del Agua

- **Agentes patógenos:** Diversas bacterias, virus y parásitos procedentes de residuos orgánicos pueden contaminar el agua (Guadarrama et al., 2016).
- **Desechos que consumen oxígeno:** Algunos residuos son biodegradables por bacterias que utilizan oxígeno. En presencia de grandes cantidades de estos microorganismos, el oxígeno del agua puede agotarse, afectando la vida acuática (Guadarrama et al., 2016).
- **Sustancias químicas inorgánicas:** Ácidos y compuestos metálicos tóxicos pueden contaminar y envenenar el agua (Guadarrama et al., 2016).
- **Sustancias químicas orgánicas:** Productos como el petróleo, plásticos, plaguicidas y detergentes son una amenaza para los ecosistemas acuáticos (Guadarrama et al., 2016).
- **Nutrientes vegetales:** Un exceso de nutrientes puede causar un crecimiento excesivo de plantas acuáticas, que al morir y descomponerse consumen oxígeno, lo que afecta a diversas especies marinas (Guadarrama et al., 2016).
- **Sedimentos y materia suspendida:** La turbidez del agua aumenta debido a la presencia de sedimentos, que es una de las principales fuentes de contaminación (Guadarrama et al., 2016).
- **Temperatura:** El incremento de la temperatura del agua reduce su capacidad de retener oxígeno, poniendo en riesgo la supervivencia de los organismos acuáticos (Guadarrama et al., 2016).

2.11 Parámetros Físicos

El análisis físico de agua implica medir características como la temperatura, conductividad eléctrica, turbidez, pH, oxígeno disuelto, entre otros. Estos parámetros determinan información sobre las propiedades físicas del agua, su claridad, acidez o alcalinidad, así como la disponibilidad de oxígeno para los organismos acuáticos (APHA et al., 1989).

2.12 Temperatura

La temperatura es una variable significativa en los cuerpos de agua, utilizada como indicador de la estabilidad ecológica del sistema. Además, las variaciones en este parámetro alteran el ambiente en el que se desarrollan la fauna y flora acuáticas, incrementando el potencial tóxico de ciertas sustancias disueltas en el agua (Roldán, 2008).

2.13 Conductividad Eléctrica

Es una medida de la capacidad de una solución para conducir electricidad, determinada por la actividad eléctrica de los iones presentes en ella. Se expresa en unidades de microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y se evalúa utilizando un dispositivo conocido como conductímetro. Este parámetro es crucial para determinar la calidad del agua, ya que refleja la concentración de iones disueltos y, por ende, su capacidad para transmitir corriente eléctrica (APHA, AWWA, 1992).

2.14 Turbidez

Se refiere a la cantidad de materia en suspensión que dificulta el paso de la luz a través del agua. Se mide en unidades nefelométricas de turbidez (UNT) utilizando un turbidímetro (OMS, 1985). Esta turbiedad es causada por materiales suspendidos como arcilla, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, compuestos orgánicos solubles de color, plancton y otros microorganismos (Severiche et al., 2013).

2.15 Potencial de Hidrógeno

En términos generales, nos referimos al pH como la medida del potencial de hidrógeno. El pH representa la acidez o alcalinidad del agua, determinada por la concentración de iones de hidrógeno. La escala de pH, que va de 0 a 14 de manera logarítmica, indica que cada incremento de una unidad implica una disminución de diez veces en la concentración de iones de hidrógeno. Una reducción en el pH indica mayor acidez, mientras que un aumento en el pH indica mayor basicidad del agua (Iglesias, 2014).

2.16 Oxígeno Disuelto

El oxígeno, presente en la atmósfera, es un oxidante importante en las reacciones de oxidación-reducción acuáticas y en la respiración microbiana. Un método analítico común para determinar su concentración es el método yodométrico de Winkler. La medición se expresa como porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, ajustado a la temperatura del agua y la altitud del sitio de muestreo. La solubilidad del oxígeno varía con la presión atmosférica a una temperatura específica; por ejemplo, en verano, cuando las temperaturas son altas, la solubilidad del oxígeno es menor en comparación con el invierno (APHA, AWWA, 1995).

2.17 Color

Las aguas superficiales a menudo presentan coloración debido a la presencia natural de iones metálicos como hierro y manganeso, así como humus, materia orgánica y contaminantes provenientes de actividades domésticas e industriales, como las industrias de papel, curtido

y textil. El color que la materia suspendida y disuelta da al agua se conoce como "color aparente". Una vez eliminada la materia suspendida, el color restante se denomina "color verdadero", el cual es medido en las pruebas de determinación. Aunque las aguas contaminadas pueden presentar una amplia gama de colores, no existe una relación clara entre el color y el tipo de contaminación (Truque, 2003).

2.18 Solidos Disueltos Totales

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) se refieren a la cantidad de sólidos que quedan después de evaporar la fase acuosa a una temperatura superior a 100 °C, y se determinan mediante gravimetría. En el agua destinada al consumo humano, la mayor parte de la materia orgánica está en forma de sólidos disueltos, compuestos por sales y gases disueltos. Los iones predominantes son bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, potasio, calcio y magnesio. Estas sustancias afectan otras características del agua, como el sabor, la dureza y la tendencia a la formación de incrustaciones (APHA, AWWA, 1995).

2.19 Solidos Suspendidos Totales

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) representan el peso de materia suspendida en una muestra de agua por unidad de volumen (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2012). Valores altos de SST (>1000 mg/L) afectan la entrada de luz, limitando el desarrollo de la vida acuática y facilitando el transporte de sustancias tóxicas (Kulkarni, 2011). Los SST son indicadores de cambios ambientales y climáticos, transportando nutrientes, pesticidas y metales pesados, y afectando la fotosíntesis y la temperatura del agua (Díaz & Dalence, 2014).

2.20 Parámetros Químicos

El análisis químico del agua implica la determinación de elementos y compuestos presentes en ella, como los nutrientes (nitratos, fosfatos), metales pesados, contaminantes orgánicos, pesticidas, entre otros. Estos parámetros químicos son esenciales para evaluar la calidad del agua y detectar posibles contaminantes o sustancias nocivas (APHA et al., 1989).

2.21 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar residuos orgánicos de manera aerobia. Es una medida del oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua (Ramalho, 2003). La DBO se determina generalmente en condiciones de laboratorio a 20°C durante 5 días y se expresa en mg/L de O₂, conocido como DBO₅. Este procedimiento, adoptado en 1936 por la Asociación Americana de Salud Pública, es un indicador clave de la contaminación del agua (Raffo & Ruiz, 2014).

2.22 Amonio

El ion amonio se origina de la descomposición de residuos orgánicos nitrogenados (proceso de amonificación) o de la fijación biológica. Debido a su carga positiva, puede adherirse a las partículas de arcilla del suelo, que tienen carga negativa. Esto lo hace relativamente

inmóvil en el suelo, lo que generalmente evita su incorporación al agua subterránea (Díaz, 1985).

2.23 Nitrato

El ion nitrato es la base conjugada del ácido nítrico (HNO_3). Este ácido es fuerte y se disocia en agua, generando iones nitrato e hidronio (H_3O^+) (WHO, 1978). El nitrato es una forma iónica combinada de nitrógeno y oxígeno que se forma en condiciones aerobias, resultando de la oxidación completa de compuestos nitrogenados (IWSA, 1998). Es un ión estable, altamente soluble en agua y muy móvil. No se adhiere a la arcilla o materia orgánica debido a su naturaleza aniónica, lo que permite que se infiltre a través del suelo y se transporte por el agua subterránea (Díaz, 1985).

2.24 Fosfatos

Los fosfatos son compuestos químicos que contienen el ion fosfato (PO_4^{3-}), formado por un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno. Son constituyentes naturales de rocas y minerales, y se encuentran en una variedad de fuentes, incluidos fertilizantes, estiércoles, desechos urbanos e industriales, residuos agrícolas y detergentes. La contaminación por fosfatos puede ocurrir cuando estos compuestos son arrastrados o arrojados a cuerpos de agua, como ríos, lagos y arroyos, lo que puede provocar problemas ambientales graves, como la eutrofización (Lavie et al., 2010).

2.25 Sulfatos

Los sulfatos (SO_4^{2-}) son aniones formados por un átomo de azufre y cuatro de oxígeno, ampliamente presentes en la naturaleza y en diversas fuentes antropogénicas. Pueden encontrarse en suelos, rocas, aguas naturales y como resultado de actividades industriales y emisiones de dióxido de azufre. En el agua, los sulfatos pueden cambiar su sabor, causar corrosión y tener efectos laxantes en altas concentraciones. Su medición es crucial para evaluar la calidad del agua y comprender fenómenos ambientales relacionados con la contaminación (Bolaños et al., 2017).

2.26 Nitrógeno Total

El nitrógeno total es la suma de todas las formas de nitrógeno presentes en una muestra. Esto incluye el nitrógeno total Kjeldahl, que comprende el nitrógeno orgánico y el amoniacial, y las formas oxidadas de nitrógeno, como los nitritos y los nitratos. La determinación del nitrógeno total es importante para evaluar el ciclo del nitrógeno en el ambiente y en sistemas biológicos, ya que proporciona una visión completa de la cantidad de nitrógeno disponible y sus diversas formas. Esta medida es crucial para entender la dinámica del nitrógeno en procesos como la descomposición de residuos orgánicos y la fertilización, y para prever posibles impactos ambientales, como la contaminación de aguas por exceso de nutrientes (Espinosa et al., 2013).

2.27 Nitrógeno Amoniacal

Todo el nitrógeno presente como ion amonio o en equilibrio se denomina nitrógeno amoniacial (NH_3-N). En casos de contaminación reciente, la mayor parte del nitrógeno se

encuentra en forma de nitrógeno orgánico (proteínas) y amoníaco. Con el tiempo, el nitrógeno orgánico se transforma en nitrógeno amoniacal y, bajo condiciones aeróbicas, el amoníaco se oxida produciendo nitritos y nitratos. Niveles superiores a 0,2 mg/L de amoníaco libre resultan letales para los peces. Todas las formas de nitrógeno pueden convertirse bioquímicamente entre sí y forman parte del ciclo del nitrógeno, medido en mg/L. Este fenómeno es de gran interés debido a su relevancia en la cadena alimentaria y su impacto en el desarrollo y crecimiento de animales y plantas (Espinosa et al., 2013).

2.28 Nitrógeno Total Kjeldahl

El nitrógeno total Kjeldahl (NTK) se define como la suma del amonio libre y los compuestos orgánicos nitrogenados que se convierten en sulfato de amonio tras la digestión de la muestra con ácido sulfúrico y un catalizador. Luego, el amonio se destila en un medio alcalino y se recupera para su cuantificación. Es importante distinguir entre el NTK, que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal, y el nitrógeno total (NT), que además del NTK, abarca los nitritos y nitratos como formas oxidadas del nitrógeno.

El método Kjeldahl no es aplicable a muchos compuestos orgánicos nitrogenados debido a la conversión incompleta del nitrógeno en amoníaco, como ocurre con los nitritos y nitratos; sin embargo, es preciso para muestras que contienen nitrógeno orgánico (incluyendo proteínas) y nitrógeno amoniacal. Los métodos colorimétricos son de los más utilizados para determinar nitritos y nitratos (Espinosa et al., 2013).

2.29 Fósforo Total

El fósforo total es la medida de la concentración de todas las formas de fósforo presentes en una muestra sin filtrar, incluyendo fósforo orgánico e inorgánico. Se determina mediante digestión con ácido sulfúrico y ácido nítrico, seguida de cuantificación del ortofosfato liberado usando el método del ácido ascórbico. Esta medida es un indicador de la calidad del agua y de la cantidad de fósforo biológicamente disponible (Murphy & Riley, 1962).

2.30 Parámetros Microbiológicos

El análisis microbiológico es una herramienta esencial para evaluar la calidad y seguridad del agua en términos de consumo humano y otros usos. Sus resultados permiten tomar medidas adecuadas para prevenir riesgos para la salud y garantizar un suministro de agua de calidad. Este análisis se enfoca en determinar la presencia de microorganismos patógenos en muestras de agua, así como evaluar su carga y grado de patogenicidad. Su metodología se basa principalmente en el cultivo y recuento de los microorganismos presentes, brindando información crucial para la toma de decisiones en materia de gestión del agua (APHA et al., 1989).

2.31 Coliformes Fecales

Los coliformes fecales, presentes en grandes cantidades en el tracto intestinal de humanos y animales de sangre caliente, permanecen más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de manera similar en los sistemas de desinfección. Factores ambientales como humedad, temperatura, luz ultravioleta y pH afectan su inactivación, ya que estos

microorganismos se vuelven más susceptibles cuando no encuentran un ambiente favorable ni los nutrientes necesarios para su crecimiento (Fuccz et al., 2007).

2.32 Caudal

El caudal se reconoce como una variable importante en investigaciones hidrológicas y se registra durante períodos que abarcan meses o años (Chow, 2008). Se denomina a la cantidad de agua que se desplaza en un intervalo específico de tiempo (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2008).

2.33 Cálculo del Caudal

El caudal de un río se determina mediante la medición de la velocidad y la profundidad del agua. Para ello, se traza una línea a través del río. En intervalos regulares a lo largo de esta línea, se mide la profundidad del agua usando una barra calibrada o una cuerda con un peso que se baja desde la superficie hasta el fondo del río. Posteriormente, se mide la velocidad del agua utilizando un correntómetro o un flotador. El caudal en una sección transversal con área A se calcula de la siguiente manera:

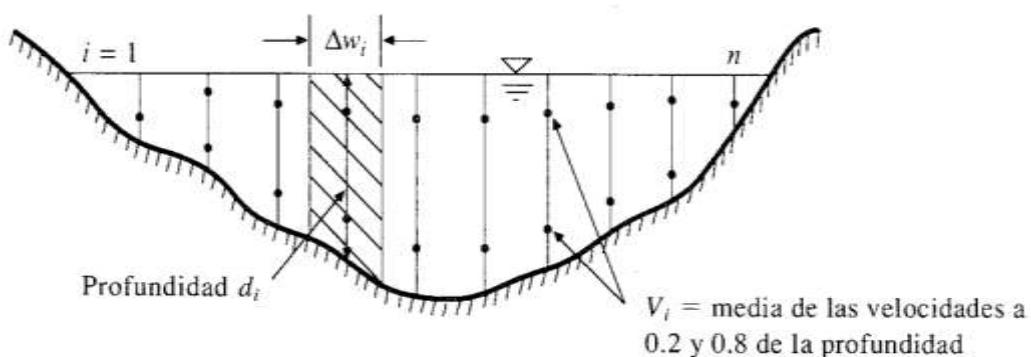
$$Q = \iint V \times dA \quad (1)$$

En donde la integral se aproxima sumando los caudales incrementales calculados para cada medición i , $i=1,2,\dots, n$, de velocidad V_i y profundidad d_i (ver Figura 3). Las mediciones representan valores promedio a lo largo de un ancho Δw_i de la corriente, luego el caudal se calcula como:

$$Q = \sum_{i=1}^n V_i d_i \Delta w_i \quad (2)$$

Figura 3

Cálculo del caudal utilizando la información de un aforo



Nota: La figura muestra un método para calcular el caudal de un río mediante mediciones de velocidad y profundidad del agua. En la Figura 3, el río se divide en varias secciones verticales $i=1,2,\dots, n$. Para cada sección, se mide la profundidad d_i y la velocidad media V_i

a dos puntos específicos de la profundidad (0.2 y 0.8 de la profundidad total). Cada sección tiene un ancho ΔW_i . Utilizando estos valores, el caudal parcial de cada sección se calcula y luego se suman todos los caudales parciales para obtener el caudal total del río. Esta técnica asegura que se consideren las variaciones en velocidad y profundidad a lo largo del ancho del río, proporcionando una estimación precisa del caudal (Chow, 2008).

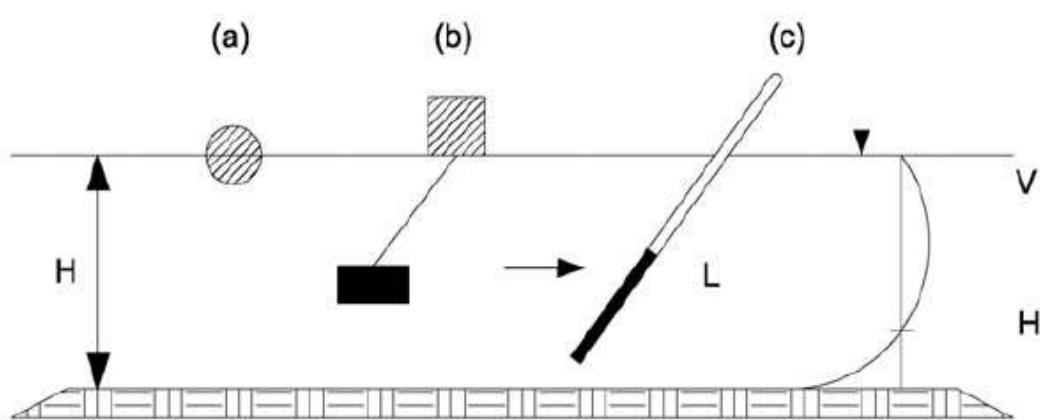
2.34 Método del Flotador

El método del flotador se emplea como alternativa al molinete cuando las circunstancias no permiten su uso debido a limitaciones de profundidad y velocidad del agua. Este enfoque implica la observación del desplazamiento de un flotador a lo largo de un tramo de corriente (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2008).

- **Flotadores simples o de superficie:** Este tipo de flotador presenta inconvenientes debido a su alta sensibilidad al viento, corrientes secundarias y olas.
- **Flotadores dobles o superficiales:** Consisten en un pequeño flotador de superficie conectado mediante una cuerda a un cuerpo sumergido a la profundidad deseada. El volumen del flotador superficial es insignificante en comparación con el cuerpo sumergido. En estas condiciones, con el cuerpo sumergido a aproximadamente seis décimos de la profundidad, se puede determinar la velocidad media.
- **Bastones flotadores o flotadores lastrados:** Son tubos huecos de metal o madera con un lastre de plomo en la parte inferior para mantener una posición casi vertical en el agua. La longitud (L) debe ser igual o aproximadamente 0.95 veces la profundidad (H) (ver Figura 4).

Figura 4

Método del flotador



Nota: La figura (a) representa el flotador simple, la figura (b) representa el flotador doble y la figura (c) representa el bastón flotador. Fuente. (Chow, 2008).

2.35 Índice de Calidad del Agua

Son herramientas utilizadas para evaluar el nivel de contaminación del agua en un período o fecha de medición específica. Estos índices se expresan como un porcentaje de agua pura y suelen usarse escalas de categorías ambientales que van de 0 a 100. En esta escala, el agua altamente contaminada tendrá un valor cercano a cero (0 %), mientras que el agua en excelentes condiciones muestra un valor cercano al 100 % (Noboa, 2021).

2.36 Método de la National Sanitation Foundation

El método de la NSF se utiliza para determinar la calidad del agua en ríos. Este índice resume y simplifica la información disponible sobre la calidad del agua en un único valor numérico. Se fundamenta en un procedimiento que tiene en cuenta el promedio aritmético de varios parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua, como el pH, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la temperatura, los sólidos totales, coliformes fecales, fosfatos, nitratos, entre otros. El resultado obtenido se clasifica en rangos que indican la calidad del agua, como excelente, buena, media, alerta o pobre (Méndez et al., 2020) ; (Fontalvo & Turizo, 2018) ; (Behar et al., 1997).

2.37 Método Oregon Water Quality Index

El método de Oregon (OWQI) es una herramienta desarrollada para evaluar el monitoreo llevado a cabo por el Laboratorio del Departamento de Calidad Ambiental de Oregon, Estados Unidos. Su objetivo es analizar y determinar posibles impactos de diversas fuentes de contaminación en una variedad de condiciones. Este índice proporciona una representación simplificada de la calidad del agua a través de la consideración de ocho parámetros clave: temperatura, oxígeno disuelto, DBO (demanda bioquímica de oxígeno), pH, sólidos totales, nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales (Parada & Solano, 2007).

2.38 Índice desarrollado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (ICAUCA)

En 2004, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y la Universidad del Valle realizaron una adaptación unificando distintos índices como el Dinius, CETESB, ICOSUS y el de la NSF, creando así el ICAUCA. Este índice se diseñó específicamente para evaluar la calidad del agua en el río Cauca, un cauce que atraviesa diversos ecosistemas, entre ellos bosques, páramos y áreas agrícolas. En esta adaptación, se incorporaron dos nuevos parámetros, la concentración de fósforo y nitrógeno, los cuales son cruciales para evaluar la calidad del agua en entornos montañosos y prevenir procesos de eutrofización (García et al., 2021) (Torres et al., 2010) & (Patiño et al., 2007).

2.39 Prueba de Normalidad

La distribución normal es una curva simétrica en forma de campana que se usa mucho en la ciencia y la toma de decisiones. Es esencial porque muchos eventos naturales se asemejan a esta forma. Se define por dos números: la media (el punto central) y la desviación estándar

(qué tan dispersos están los datos alrededor de la media). Estos valores ayudan a entender dónde se centran los datos y qué tan diferentes son entre sí (Ciro, 2023).

2.40 Prueba de Shapiro-Wilks

Esta prueba emplea un método de ajuste para verificar si los datos se adhieren a una distribución normal. Se realiza un cálculo estadístico que se contrasta con un valor crítico en una tabla específica. Si el valor del cálculo es superior al valor crítico establecido, entonces se descarta la idea de que los datos sigan una distribución normal (Ciro, 2023).

2.41 Hipótesis Nula

La hipótesis nula, abreviada como H_0 , es una afirmación inicial que se considera verdadera antes de recopilar datos. Se formula generalmente como la ausencia de efecto o relación entre variables, o que no hay diferencia entre grupos. Su rechazo puede implicar la necesidad de tomar alguna acción o considerar una nueva hipótesis (Dagnino, 2014).

2.42 Hipótesis Alternativa

La hipótesis alternativa, abreviada como H_a es una afirmación que contradice a la hipótesis nula (H_0) y sugiere que existe un efecto real o una diferencia significativa entre las variables o grupos analizados. Por lo general, H_a corresponde a la hipótesis que el investigador está tratando de respaldar o probar. Puede especificar que la diferencia entre las medias poblacionales es diferente de cero $\mu_1 \neq \mu_2$, que una media es mayor que la otra $\mu_1 > \mu_2$ o que una media es menor que la otra $\mu_1 < \mu_2$ (Dagnino, 2014).

2.43 Análisis estadístico ANOVA

El método ANOVA, también conocido como análisis de varianza, se destaca como el enfoque más preciso para evaluar la variabilidad en un sistema de medición. Su principal ventaja radica en la capacidad para cuantificar la variación resultante de la interacción entre los operadores y las partes evaluadas. Este método se fundamenta en la misma técnica estadística empleada para analizar los efectos de distintos factores en el diseño de experimentos (Botero et al., 2007).

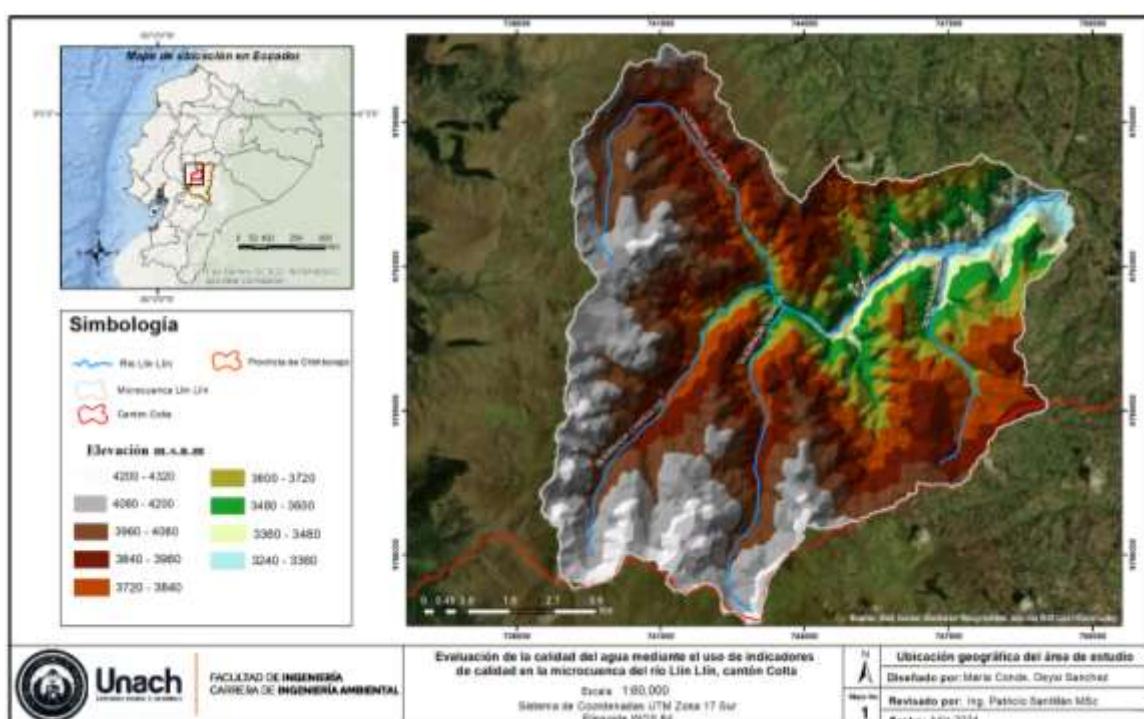
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Localización

La Figura 5 muestra la ubicación geográfica de la microcuenca del río Llin Llín, que se encuentra en la provincia de Chimborazo, cantón Colta, parroquia “Columbe”, perteneciente a la Subcuenca del río Chambo.

Esta área de estudio posee una altitud máxima de 4320 m.s.n.m y una mínima de 3240 m.s.n.m. No obstante, esta investigación se focaliza en un rango de 3240 m.s.n.m a 3523 m.s.n.m debido a que en alturas mayores se localizan zonas en estado de conservación.

Figura 5
Área de estudio



Nota. Ubicación geográfica de la microcuenca del río Llin Llín, cantón Colta, Ecuador.

Fuente: Autores

3.2 Puntos de Muestreo

La Figura 6 muestra la ubicación geográfica de los puntos de muestreo en la microcuenca del río Llin Llín. Antes de iniciar el monitoreo, se realizó un análisis detallado del cuerpo de agua para establecer una estrategia de muestreo efectiva. Esto implicó la identificación de parámetros críticos, determinación de la ubicación y frecuencia de los puntos de monitoreo. La georreferenciación se utilizó como herramienta estratégica para identificar puntos clave de monitoreo, dando prioridad a áreas con intervenciones antropogénicas. La caracterización detallada de la microcuenca proporcionó un contexto para comprender las posibles fuentes de contaminación (Autoridad Nacional del Agua-ANA, 2011).

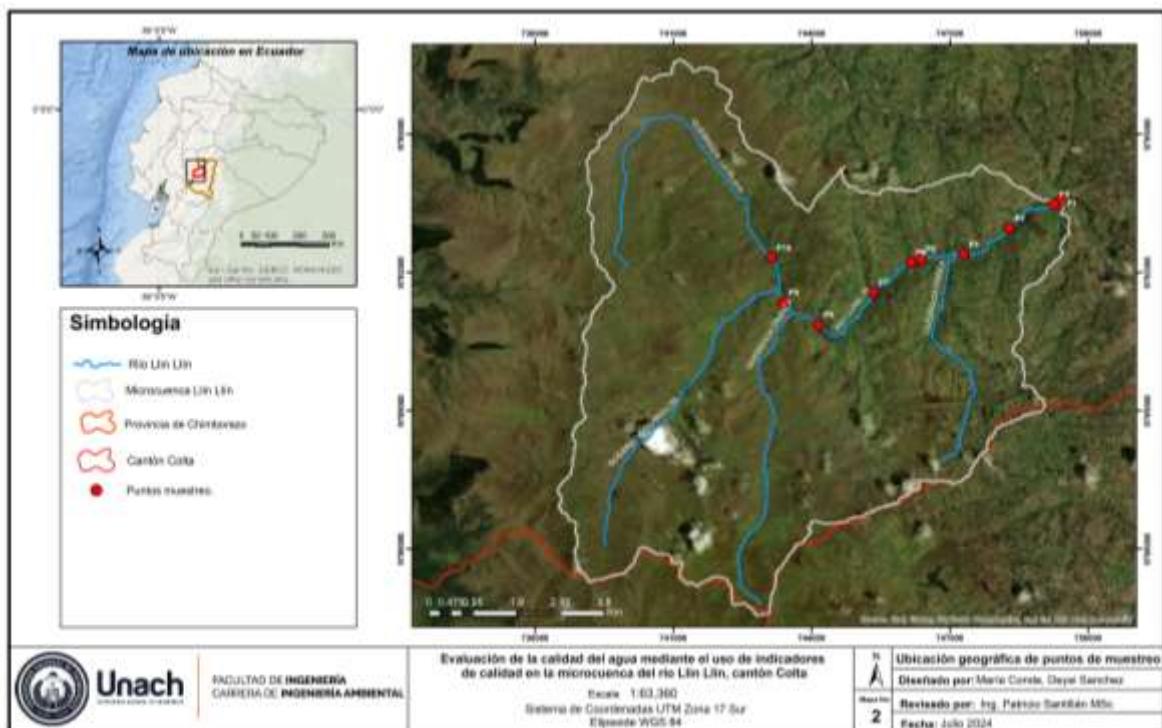
En la planificación de puntos de monitoreo, se consideró fundamental establecer un punto aguas arriba y otro, aguas abajo de una descarga de agua residual. El punto aguas arriba se

situó a una distancia suficientemente lejana de la descarga para preservar las características naturales del cuerpo de agua, recomendándose entre 50 y 100 metros, considerando la accesibilidad y otros factores que puedan alterar el recurso hídrico.

Para el punto aguas abajo, se realizó mediciones consecutivas de parámetros de campo, como temperatura, conductividad y pH, para definir la zona de mezcla completa del efluente en el cuerpo receptor. La ubicación ideal de este punto se estableció a una distancia de 100 a 500 metros, considerando factores como la accesibilidad, el caudal y la capacidad de depuración del recurso hídrico, así como otros componentes que puedan afectar sus características naturales (Quinteros Carabalí et al., 2019); (Autoridad Nacional del Agua-ANA, 2011).

Figura 6

Puntos de muestreo



Nota. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en la microcuenca del río Llin Llín, distribuidos a lo largo de la cuenca desde la zona alta hasta la zona baja. Fuente: Autores.

3.3 Tipo de investigación

La investigación se fundamentó en un enfoque mixto debido a la complejidad del tema y la necesidad de obtener una comprensión completa de los factores que influyen en la calidad del agua. El enfoque cuantitativo proporcionó datos numéricos y análisis de objetivos, mientras que el enfoque cualitativo nos permitió una comprensión más profunda de los aspectos sociales del tema, lo que resultó esencial para desarrollar estrategias efectivas de gestión y conservación de recursos hídricos.

3.4 Diseño de investigación

Debido a la falta de datos previos sobre la calidad del agua en la zona de estudio, se realizó un estudio exploratorio para recopilar información y obtener resultados iniciales que permitieran comprender el estado actual del recurso hídrico. Este estudio integró diversos enfoques metodológicos para garantizar una evaluación integral y precisa de la calidad del agua.

- **Diseño Experimental:** Se llevaron a cabo experimentos en el laboratorio para obtener datos precisos y controlados. Se calculó la calidad del agua utilizando los índices ICA según la NSF, OWQI e ICAUCA, lo que permitió categorizar la calidad del agua en términos numéricos.
- **Diseño Descriptivo:** Este enfoque fue esencial para comprender adecuadamente los hallazgos y su relevancia en el ámbito de la investigación de la calidad del agua.

3.5 Determinación de la morfometría de la microcuenca

Para determinar la morfometría de la microcuenca del río Llin Llín se empleó la herramienta SIG donde se analizó las características geográficas y topográficas de la microcuenca del río Llin Llín. Se obtuvo información detallada para determinar su forma, estructura y extensión especificados en la tabla 1.

Tabla 1

Parámetros morfométricos.

Nombre	Siglas	Unidades	Técnicas
Parámetros de forma			
Área	A	km ²	Herramientas SIG
Perímetro	P	km	Herramientas SIG
Cota máxima	hmax	m.s.n.m	Herramientas SIG
Cota mínima	hmin	m.s.n.m	Herramientas SIG
Longitud media	L	km	Herramientas SIG
Ancho medio	B	-	$\frac{A}{Lc}$
Coeficiente de compacidad	Kc	-	$0.28 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$
Factor de forma	Ff	km	$\frac{A}{L^2}$
Relación de elongación	Re	-	$\left((1.128) * \frac{\sqrt{A}}{L} \right)$

Relación de circularidad	Rci	-	$\frac{4\pi A}{P^2}$
Pendiente media de la cuenca	Pmc	%	$\frac{\sum_{i=1}^K (N^o. Ocurrencias_i * Sm_i))}{\sum_{i=1}^K N^o. Ocurrencias_i}$
Parámetros de Drenaje			
Cota máxima	H Máx	m.s.n.m	Herramientas SIG
Cota mínima	H Mín	m.s.n.m	Herramientas SIG
Longitud del cauce principal	Lc	km	Herramientas SIG
Números de canales	Nt	-	Herramientas SIG
Orden de la red hídrica	Or	-	Herramientas SIG
Longitud de la red hídrica	Lt	km	Herramientas SIG
Densidad de drenaje	Dd	km^{-1}	$\frac{L}{A}$
Densidad hidrográfica	Dh	km^{-1}	$\frac{Nt}{A}$
Pendiente media del cauce principal	Sm	-	$H_{máx} - \frac{H_{mín}}{Lc}$
Tiempo de Concentración	Tc	h	0.283 $* (Lc/Sm^{0.35})^{0.75}$
Relación hipsométrica	Rh	%	7.574

Fuente: ((Strahler, 1957); (Horton, 1945) citado por (Gaspari et al., 2012); (Cerignoni & Rodrígues, 2015).

3.6 Determinar el índice de calidad de agua

3.6.1 Toma de muestras de agua

3.6.1.1 Medición de caudal

Para calcular el caudal, se procedió a medir el ancho del río y la profundidad en varios transectos, así como la velocidad del agua utilizando el método del flotador para ello se empleó la utilización de un frasco pequeño con el peso adecuado (agua) para mantener su parte superior a nivel del agua y medir el caudal.

Se seleccionaron tramos rectos de al menos 10 m de longitud (AA a BB) a lo largo del río, preferiblemente con aguas tranquilas y sin plantas acuáticas que facilitó el movimiento suave del flotador durante las mediciones (Chamorro, 2011).

3.6.1.2 Muestreo puntual

La metodología de muestreo se basó en la norma NTE INEN 2176:1998, que establece las técnicas apropiadas para la obtención representatividad de las muestras de calidad del agua. Específicamente, se aplicó la técnica de muestreo puntual, recomendada para investigaciones de contaminantes y evaluación integral. Se empleó recipientes completamente estériles, previamente enjuagados tres veces con la muestra a analizar. Este procedimiento, fue esencial para mitigar la contaminación, preservó la integridad de las muestras durante su transporte al laboratorio, garantizando la fiabilidad de los resultados analíticos (INEN, 2013).

3.6.1.3 Transporte y almacenamiento de muestras

Las muestras, fueron recolectadas conforme a la norma NTE INEN 2176:1998 con la técnica de muestreo puntual, fueron transportada al Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo. Durante el traslado, se utilizó un cooler a 4°C, siguiendo las directrices de Agrocalidad (2018), asegurando condiciones óptimas para su posterior análisis en laboratorio.

3.6.2 Análisis del agua

Análisis In-situ: Se realizó un análisis de campo con ayuda del multiparámetro HANNA HI98194 que permitió analizar la muestra de manera rápida considerando los parámetros mostrados en la tabla 2.

Tabla 2

Parámetros in-situ.

Ítem	Parámetro	Sigla	Unidad	Equipo de medición
1	Oxígeno Disuelto	OD	% OD	
2	Temperatura	T	°C	Multiparámetro
3	Sólidos Disueltos Totales	TDS	$\frac{mg}{L}$	HANNA
4	Potencial de Hidrógeno	pH	Unidades de pH	HI98194

Fuente: (APHA et al., 1989).

El multiparámetro HANNA HI98194 es un equipo portátil que permite medir varios parámetros simultáneamente. Su uso en el campo es esencial para obtener mediciones rápidas y fiables que pueden ser comparadas con los resultados obtenidos en el laboratorio.

Análisis en el Laboratorio: Estos parámetros se analizaron en el laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH por medio de los siguientes métodos:

Tabla 3
Parámetros en laboratorio.

Análisis de agua- LSA			
Código	Parámetros	Unidad	Método
319	Coliformes fecales	NMP/100 mL	Método estándar 9222 D
350	DBO ₅	mg O ₂ /L	Método estándar 5210 B
334	Nitratos	mg/L	Método estándar 4500-NO ₃ -E
331	Fosfatos	mg/L	Método estándar 4500-P-E
375	Turbidez	NTU	Método estándar 2130 B

Fuente: (APHA et al., 1989).

Detalle de los Métodos Utilizados

- **Método estándar 9222 D:** Este método se basa en la filtración de un volumen de muestra de agua a través de una membrana que retiene las bacterias. La membrana se incuba en un medio selectivo que favorece el crecimiento de coliformes fecales y permite su identificación. Los coliformes fecales, principalmente *Escherichia coli*, son indicadores de contaminación fecal reciente y la posible presencia de patógenos (APHA et al., 1989).
- **Método estándar 5210 B:** El análisis de DBO₅ mide la cantidad de oxígeno disuelto necesario para la biodegradación de materia orgánica en agua durante un período de cinco días a 20 °C. Este método es crucial para evaluar el grado de contaminación orgánica del agua (APHA et al., 1989).
- **Método estándar 4500-NO₃-E:** Este método determina la concentración de nitratos en el agua. La presencia de altos niveles de nitratos puede indicar contaminación por fertilizantes o desechos industriales. El método implica la reducción de nitratos a nitritos y su posterior determinación colorimétrica (APHA et al., 1989).
- **Método estándar 4500-P-E:** La concentración de fosfatos se mide para evaluar la posible eutrofización de cuerpos de agua. Este método involucra la formación de un complejo fosfato-molibdato que se mide colorimétricamente (APHA et al., 1989).
- **Método estándar 2130 B:** La turbidez mide la claridad del agua, la cual puede verse afectada por la presencia de partículas suspendidas. El método nefelométrico mide la luz dispersada por las partículas en suspensión en una muestra de agua (APHA et al., 1989).

3.6.3 Ecuaciones para determinar los Índice NSF, OWQI e ICAUCA

En la Tabla 4 se presentan las ecuaciones utilizadas para determinar los índices de calidad del agua según tres métodos diferentes: el índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Sanidad (NSF), el índice de calidad del agua de Oregón (OWQI) y el Índice desarrollado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (ICAUCA).

Tabla 4

Ecuaciones para determinar los diferentes índices de calidad del agua.

Índice	Ecuación	Observaciones
NSF	$ICA = \sum_{i=1}^n Wi * li$	Promedio aritmético ponderado Wi : peso o porcentaje asignado al iésimo parámetro. li : subíndice de i-ésimo parámetro.
OWQI	$WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}}$	Promedio armónico cuadrado no ponderado: n : número de subíndices SI_i : subíndice del parámetro i
ICAUCA	$ICA = \prod_{i=1}^n Q_i^{Wi}$	Promedio geométrico ponderado: Wi : peso o porcentaje asignado al iésimo parámetro. Qi : subíndice de i-ésimo parámetro.

Fuente: (García et al., 2021).

3.6.4 Pesos relativos del índice NSF

Utilizando los datos recopilados en campo y los análisis de laboratorio, se llevó a cabo el análisis de calidad de agua siguiendo los estándares de la NSF (National Sanitation Foundation). Este índice es versátil y puede aplicarse para evaluar la calidad del agua de cualquier tipo de río, sin importar su tamaño, ubicación o uso.

En la tabla 5 se ven enlistados los valores de W_i que representan el peso específico que posee cada elemento para la determinación de calidad del agua, su sumatoria debe ser igual a 1.

Tabla 5

Importancia relativa de cada factor en la determinación de la calidad del mediante el índice ICA- NSF

Parámetro indicador de calidad del agua	Unidades	Peso relativo (Wi)
Oxígeno disuelto (OD)	% de saturación	0.17
Coliformes fecales	NMP / 100 ml	0.15
pH	u.a.	0.12
DBO ₅	mg/l	0.10

Nitratos (NO_3)	mg/l (N)	0.10
Fosfatos totales (PO_4)	mg/l (P)	0.10
Variación de Temperatura	°C	0.10
Turbidez	NTU	0.08
Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/l	0.08

Fuente: (Mitchell et al., 1996).

3.6.5 Pesos relativos del índice ICAUCA

Los parámetros se ponderan según su importancia relativa en la determinación de la calidad del agua. A continuación, se presenta la tabla 6 con las ponderaciones asignadas a cada uno de los parámetros.

Tabla 6

Ponderación de cada uno de los parámetros en los Índice de Calidad del Agua ICAUCA

Parámetro indicador de calidad del agua	Ponderación (W_i)
Oxígeno disuelto (OD)	0.21
Coliformes fecales	0.16
DBO_5	0.15
Turbiedad	0.7
Sólido Totales	0.7
Fósforo Total	0.8
pH	0.8
Nitrógeno Total	0.8
Sólido Suspensidos	0.5
Color	0.5

Fuente: (Patiño et al., 2007).

3.6.6 Categorización de los indices (ICA de la NSF, OWQI e ICAUCA)

En la Tabla 7 se analizó la calidad del agua utilizando los valores numéricos definidos por el ICA de la NSF, OWQI e ICAUCA , (Ott, 1978) (Parada & Solano, 2007) (Patiño et al., 2007).

Tabla 7*Valores de categorización de los diferentes índices de calidad de agua.*

NSF	OWQI	ICAUCA
Excelente: 91-100	Excelente: 90-100	Óptima: 80-100
Buena: 71-90	Buena: 85-89	Buena: 50-80
Media: 51-70	Justa: 80-84	Aceptable: 35-50
Mala: 26-50	Pobre: 60-79	Inadecuada: 20-35
Muy mala: 0-25	Muy pobre: 0-60	Pésima: 0-20

Fuente: (Ott, 1978); (Parada & Solano, 2007); (Patiño et al., 2007).

3.7 Análisis de confiabilidad de los índices (ICA de la NSF, OWQI e ICAUCA)

Una vez recopilados y calculados los parámetros necesarios para cada Índice de Calidad del Agua (ICA), se interpretó los resultados empleando una determinación de normalidad de datos y análisis de varianza (ANOVA). Esto fue fundamental en la selección del índice que más se ajuste con la realidad que tienen las microcuencas altoandinas.

3.7.1 Determinación de normalidad de datos y análisis de varianza (ANOVA)

3.7.1.1 Prueba de Normalidad: Shapiro-Wilks

Para cada uno de los índices de calidad del agua (ICA de la NSF, OWQI e ICAUCA), se realizó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk para verificar si los datos siguen una distribución normal. La hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_A) para esta prueba son:

- H_0 : Los datos provienen de una distribución normal.
- H_A : Los datos no provienen de una distribución normal.

La prueba de Shapiro-Wilk es adecuada para muestras pequeñas (hasta 50 observaciones) y proporciona un valor p que indica si hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula de normalidad. Se aplicó esta prueba por separado para los datos de época seca y época lluviosa en cada uno de los 10 puntos de muestreo.

3.7.1.2 Interpretación de Resultados de la Prueba de Normalidad

Para interpretar los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk:

- Si el valor p es mayor que un nivel de significancia predefinido (generalmente 0.05), se acepta la hipótesis nula y se considera que los datos siguen una distribución normal.
- Si el valor p es menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos no siguen una distribución normal.

Esto fue crucial para determinar si se pueden aplicar pruebas paramétricas como el ANOVA.

3.7.1.3 Evaluación de Cumplimiento con Normalidad

Se evaluó cada conjunto de datos (época seca y época lluviosa para cada índice) para determinar si cumple con el supuesto de normalidad. En caso afirmativo (valor p alto en la prueba de normalidad), se procedió con el ANOVA para comparar las medias de los índices entre diferentes puntos de muestreo y entre épocas.

3.7.1.4 Análisis de Varianza (ANOVA)

Una vez confirmada la normalidad de los datos, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas en los valores de los índices de calidad del agua entre los diferentes puntos de muestreo y épocas del año. El ANOVA permitió evaluar si las variaciones observadas en los índices son estadísticamente significativas y no simplemente debido a la variabilidad aleatoria.

- Se utilizó al menos un factor categórico (por ejemplo, puntos de muestreo o épocas) con dos o más niveles y una variable de respuesta continua (valores de los índices de calidad del agua).
- Se calculó las sumas de cuadrados, grados de libertad, promedios de cuadrados y las estadísticas de prueba F correspondientes.
- Se interpretó los resultados del ANOVA para determinar qué factores tienen un efecto significativo en los valores de los índices de calidad del agua.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados obtenidos de la morfometría de la Microcuenca Llin Llín y puntos de monitoreo

4.1.1 Puntos de monitoreo

Se fijaron los puntos de muestreo según se detalla en la tabla 8; como resultado, obtenemos:

Tabla 8

Ubicación de los puntos de muestreo.

Puntos de monitoreo	Zona de referencia	Características de la zona	Coordenadas Geográficas	
			X	Y
1	Parte Baja	Área con predominio de influencia humana	749446	9793551
2	Parte Baja	Área con predominio de influencia humana	749263	9793489
3	Parte Baja	Área con predominio de influencia humana	748298	9792939
4	Parte Media	Área con influencia humana moderada	747390	9792350
5	Parte Media	Área con influencia humana moderada	756349	9792240
6	Parte Media	Área con influencia humana moderada	746099	9792187
7	Parte Media	Área con influencia humana moderada	745217	9791280
8	Parte Alta	Área con mínima influencia humana	744110	9790900
9	Parte Alta	Área con mínima influencia humana	733450	9791261
10	Parte Alta	Área con mínima influencia humana	743224	9792120

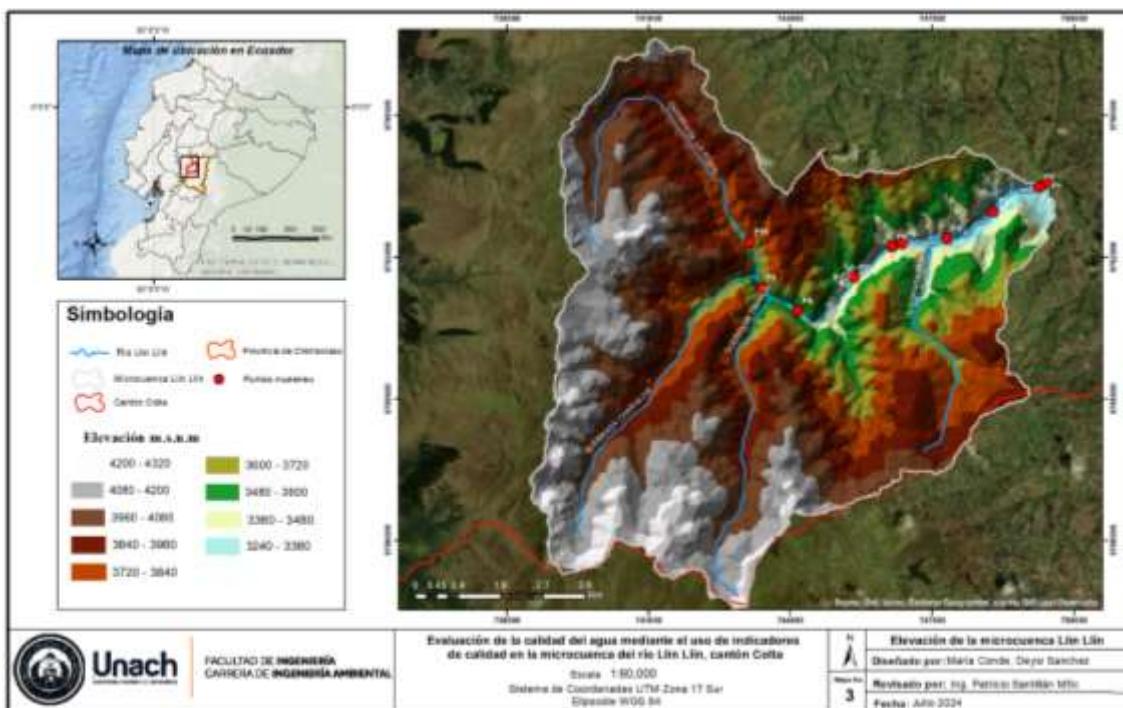
Nota. Los datos de ubicación de los puntos de muestreo fueron recopilados y proporcionados por los autores.

Estos puntos de monitoreo están distribuidos a lo largo de la microcuenca Llin Llín, abarcando diferentes zonas con variados niveles de influencia humana. Esta distribución estratégica permite evaluar cómo diferentes actividades humanas pueden afectar la calidad del agua en distintas partes de la microcuenca.

4.1.2 Morfometría

La zona de estudio presenta una variación altitudinal significativa, con elevaciones que van desde los 3240 m.s.n.m. hasta los 4320 m.s.n.m. Esta diversidad altitudinal afecta tanto la cantidad como la distribución del caudal de agua, así como los procesos de erosión y sedimentación. En las zonas de mayor altitud, predominan áreas con pendientes pronunciadas y mayor cobertura vegetal, lo que facilita la infiltración y disminuye el escurrimiento superficial. A medida que el agua desciende hacia las zonas de menor altitud, el relieve disminuye, aumentando el potencial de acumulación de sedimentos y contaminantes (Figura 7).

Figura 7
Elevación de la microcuenca Llin Llín



Fuente: Autores.

4.1.2.1 Parámetros morfométricos

La Tabla 9 presenta los parámetros geomorfológicos de la zona de estudio, ofreciendo información esencial para entender su configuración, topografía y sistema de drenaje.

Tabla 9
Resultados de los parámetros morfométricos.

Nombre	Siglas	Unidades	Valores
Parámetros de forma			
Área	A	km ²	80.43
Perímetro	P	km	59.5
Cota máxima	hmax	m.s.n.m	4800
Cota mínima	hmin	m.s.n.m	2655.9
Longitud media	L	km	13.16
Ancho medio	B	-	10.09
Coeficiente de compacidad	Kc	-	1.87
Factor de forma	Ff	km	0.464
Relación de elongación	Re	-	0.769

Relación de circularidad	Rci	-	0.285
Pendiente media de la cuenca	Pmc	%	31.4
Parámetros de Drenaje			
Longitud del cauce principal	Lc	km	7.96
Números de canales	Nt	-	31
Orden de la red hídrica	Or	-	3
Longitud de la red hídrica	Lt	km	56.9
Densidad de drenaje	Dd	km ⁻¹	0.708
Densidad hidrográfica	Dh	km ⁻¹	0.385
Pendiente media del cauce principal	Sm	-	45.69
Tiempo de Concentración	Tc	h	0.484
Relación hipsométrica	Rh	%	7.57

Nota. Los parámetros y las fórmulas se han derivado y calculado por los autores utilizando técnicas y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La microcuenca de Llin Llín tiene un área de 80.43 km² y un perímetro de 59.5 km, clasificándola como una cuenca de tamaño moderado.

Posee una longitud media de 13.16 km y un ancho medio de 10.09 km, lo que indica que la cuenca es alargada. El coeficiente de compacidad es 1.871 y el factor de forma es 0.464, sugiriendo una forma elongada y compacta, eficiente en la concentración de agua.

La pendiente media de la cuenca es del 31.42%, clasificándola como una cuenca de pendiente fuertemente accidentada, con un alto potencial de erosión.

Muestra una red hídrica densa y eficiente, con una longitud total de 56.93 km y una densidad de drenaje de 0.708 km⁻¹. Responde rápidamente a la precipitación, con un tiempo de concentración de 0.484 horas. La pendiente media del cauce principal es del 45.69 %, lo que provoca una rápida escorrentía y un mayor potencial de erosión.

Esta microcuenca es moderadamente grande y compacta, con una eficiente red de drenaje y rápida respuesta hidrológica, pero con un alto potencial de erosión debido a sus pendientes pronunciadas.

4.1.3 Monitoreo de caudales en la época seca y época lluviosa

Se registraron los caudales en los diferentes puntos de monitoreo de la microcuenca durante la época seca y la época lluviosa, como se muestra en la Tabla 10.

Los datos revelan variaciones significativas en los caudales entre las dos estaciones, destacando un aumento generalizado durante la época lluviosa. Este incremento puede atribuirse a la mayor precipitación y al aumento del flujo superficial en la región.

Tabla 10

Caudales de la microcuenca en la época seca y época lluviosa.

Puntos de monitoreo	Caudal Época Seca (m ³ /s)	Caudal Época Lluviosa (m ³ /s)
1	0.450	0.537
2	0.499	0.732
3	0.383	0.579
4	0.388	1.139
5	0.394	0.795
6	0.515	0.737
7	0.632	1.261
8	0.355	0.589
9	0.822	0.809
10	0.108	0.375

Nota: Durante el período de monitoreo en los puntos de control especificados, se registraron caudales significativos que reflejan las variaciones entre la época seca y la época lluviosa.
Fuente: Autores.

Estos registros son fundamentales para comprender la dinámica estacional del agua en la microcuenca y son cruciales para la planificación y gestión adecuada de los recursos hídricos en la región.

4.2 Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca del río Llin Llín mediante los índices ICA de la NSF, OWQI e ICAUCA

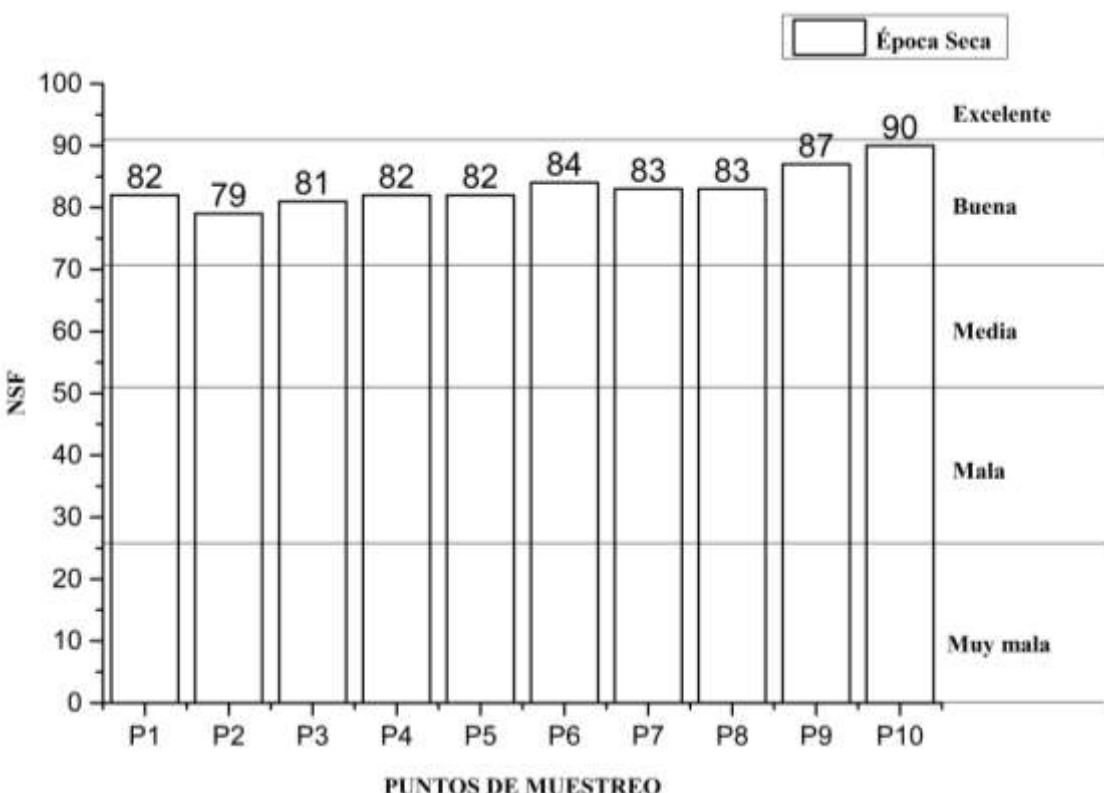
Los resultados de los índices NSF, OWQI e ICAUCA muestran variaciones significativas en la calidad del agua en los puntos de muestreo (P1 a P10) durante la época seca, específicamente en los meses de agosto y septiembre, y durante la época lluviosa, correspondiente a los meses de enero y febrero.

4.2.1 Calidad del agua durante la época seca, según el índice NSF

La calidad del agua durante la época seca, evaluada mediante el índice NSF, muestra resultados mayoritariamente positivos, con puntuaciones que varían entre 79 y 90, clasificando la calidad del agua desde "Buena" hasta "Excelente" según la Figura 8. Los puntos de muestreo P2 y P10 obtuvieron puntuaciones de 79 y 90 respectivamente, indicando una mejor calidad en áreas con menor actividad agrícola y animal. Este patrón sugiere una influencia significativa de las actividades antropogénicas en la calidad del agua, ya que los puntos con puntuaciones más altas, como P9 y P10, muestran menor contaminación y una calidad de agua significativamente mayor.

Figura 8

Calidad del agua durante la época seca, según el índice NSF



Nota. La calidad del agua en la época seca se evalúa utilizando el índice NSF, donde se clasifica desde "Muy mala" hasta "Excelente". Fuente: Autores.

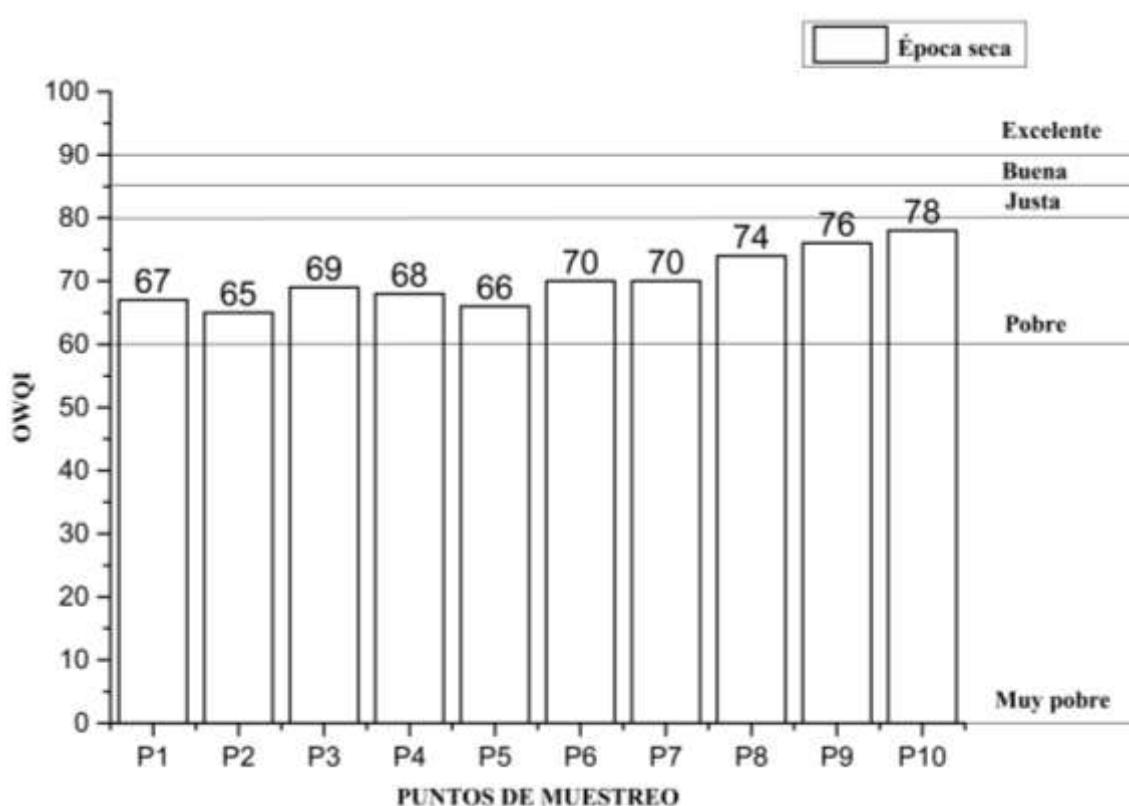
4.2.2 Calidad del agua durante la época seca, según el índice OWQI

El índice OWQI proporciona una evaluación más detallada y significativa de la calidad del agua en comparación con el índice NSF. Los puntajes de calidad del agua oscilan entre 65 para el punto P2 y 78 para el punto P10. La mayoría de los puntos de muestreo se clasifican dentro de las categorías "Justa" a "Buena". Este índice refleja el impacto considerable de las actividades agrícolas y ganaderas en los tramos bajos de la microcuenca, evidenciándose una mejora hacia las elevaciones más altas donde la influencia humana es menor.

En particular, la calidad del agua en los puntos P1, P2 y P3 ha mostrado un deterioro significativo debido al incremento de las actividades antropogénicas, como se observa en la Figura 9.

Figura 9

Calidad del agua durante la época seca, según el índice OWQI



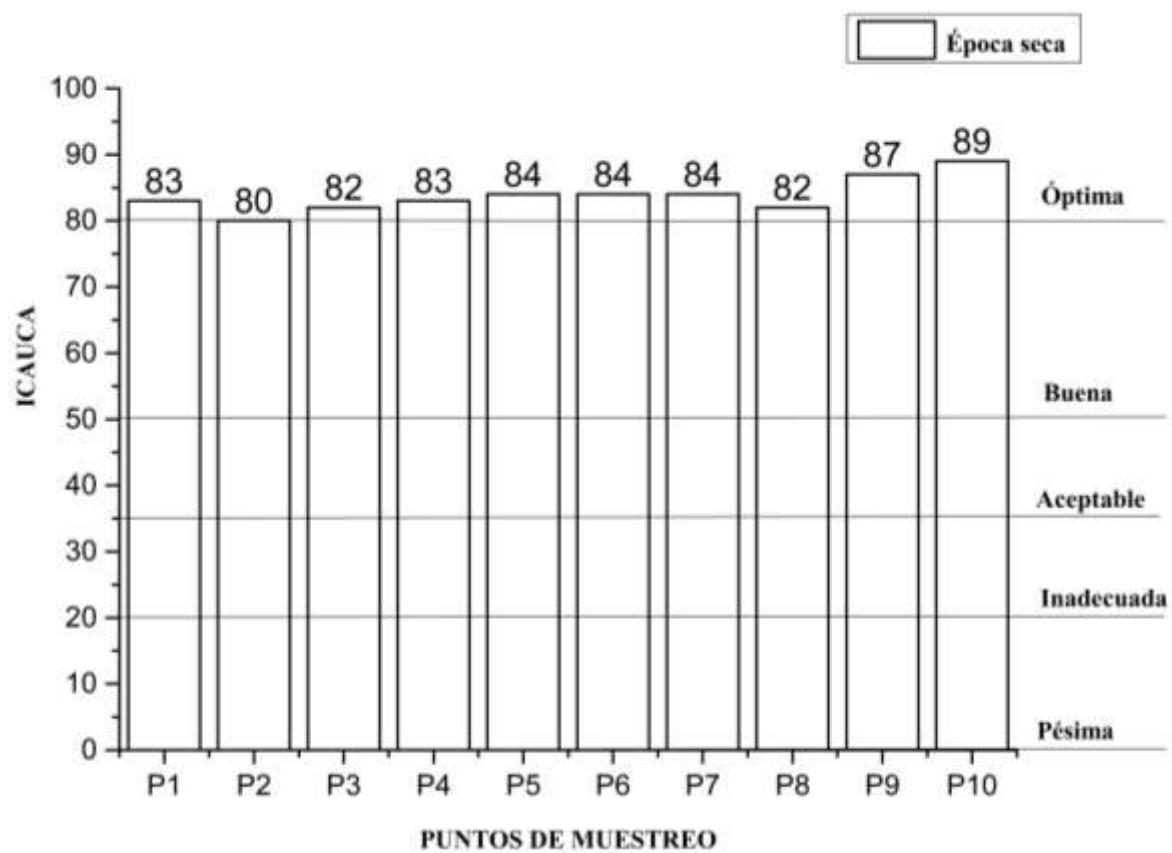
Nota. La calidad del agua en la época seca se evalúa utilizando el índice OWQI, donde se clasifica desde "Muy pobre" hasta "Excelente". Fuente: Autores.

4.2.3 Calidad del agua durante la época seca, según el índice ICAUCA

El índice ICAUCA también muestra una tendencia de mejora en la calidad del agua hacia los puntos más altos de la microcuenca. Los valores del índice oscilan entre 80 en P3 y 89 en P10, con la mayoría de los puntos clasificados entre "Buena" y "Óptima" (Figura 10). Este índice resalta la menor influencia humana y la mayor cobertura vegetal en las zonas altas como factores positivos que contribuyen a la calidad del agua. En particular, los puntos P9 y P10 vuelven a mostrar la mejor calidad del agua, lo que se alinea con los resultados obtenidos a través de los otros índices.

Figura 10

Calidad del agua durante la época seca, según el índice ICAUCA



Nota. La calidad del agua en la época seca se evalúa utilizando el índice ICAUCA, donde se clasifica desde "Pésima" hasta "Óptima". Fuente: Autores.

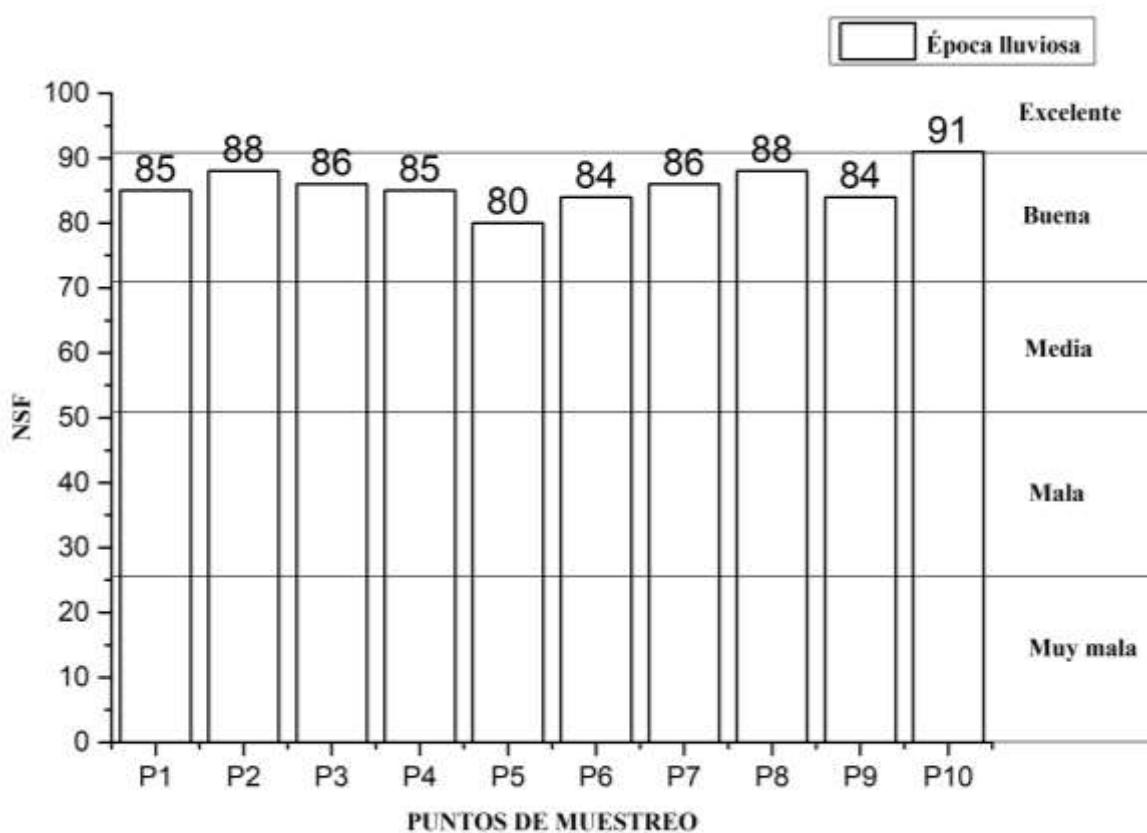
4.2.4 Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice NSF

Según el índice NSF, la calidad del agua en la mayoría de los puntos de muestreo se califica como “buena”. Las puntuaciones oscilan entre 80 para P5 y 91 para P10, que se clasifica como “Excelente”. Este patrón sugiere que la calidad del agua es mejor en áreas con menos influencia de actividades industriales. En particular, el punto P5, con la puntuación más baja, se encuentra después de una quesera, lo que indica un posible impacto negativo de la industria en la calidad del agua.

La Figura 11 refleja este patrón, mostrando cómo los puntos de muestreo con menor influencia humana tienden a tener una mejor calidad del agua en comparación con aquellos ubicados cerca de actividades industriales.

Figura 11

Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice NSF



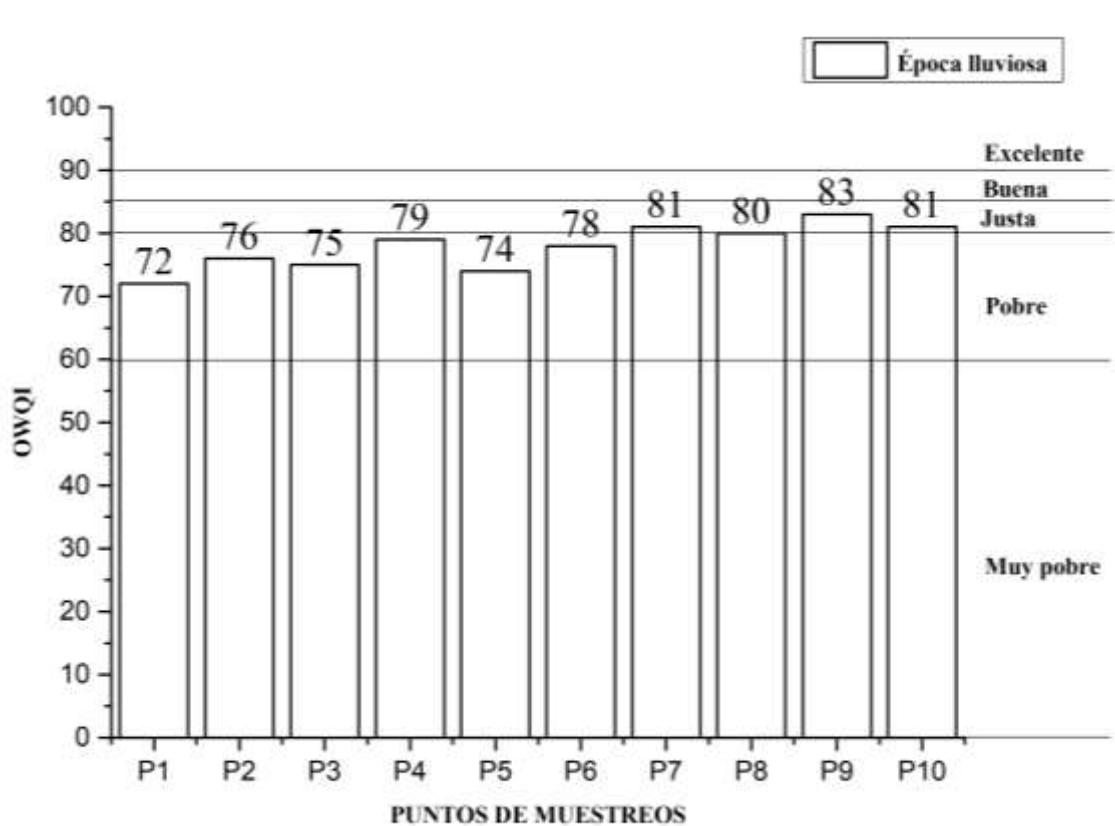
Nota. La calidad del agua en la época lluviosa se evaluó utilizando el índice NSF, donde se clasifica desde “Muy mala” hasta “Excelente”. Fuente: Autores.

4.2.5 Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice OWQI

Según el índice OWQI, la calidad del agua en los puntos de muestreo varía de "Justa" a "Buena". Las puntuaciones oscilan entre 72 para P1 y 83 para P9, que se clasifica como "Buena". Esta tendencia indica que la calidad del agua tiende a ser mejor en áreas con menos actividades contaminantes. En particular, los puntos P9 y P7 muestran las puntuaciones más altas, 83 y 81 respectivamente, sugiriendo una menor influencia de fuentes de contaminación. En contraste, el punto P1, con la puntuación más baja de 72, indica una calidad de agua "Justa", lo que podría estar relacionado con actividades cercanas que afectan negativamente la calidad del agua. Esto se puede visualizar en la Figura 12, que ilustra cómo las puntuaciones del OWQI varían según la influencia de actividades contaminantes en diferentes puntos de muestreo.

Figura 12

Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice OWQI



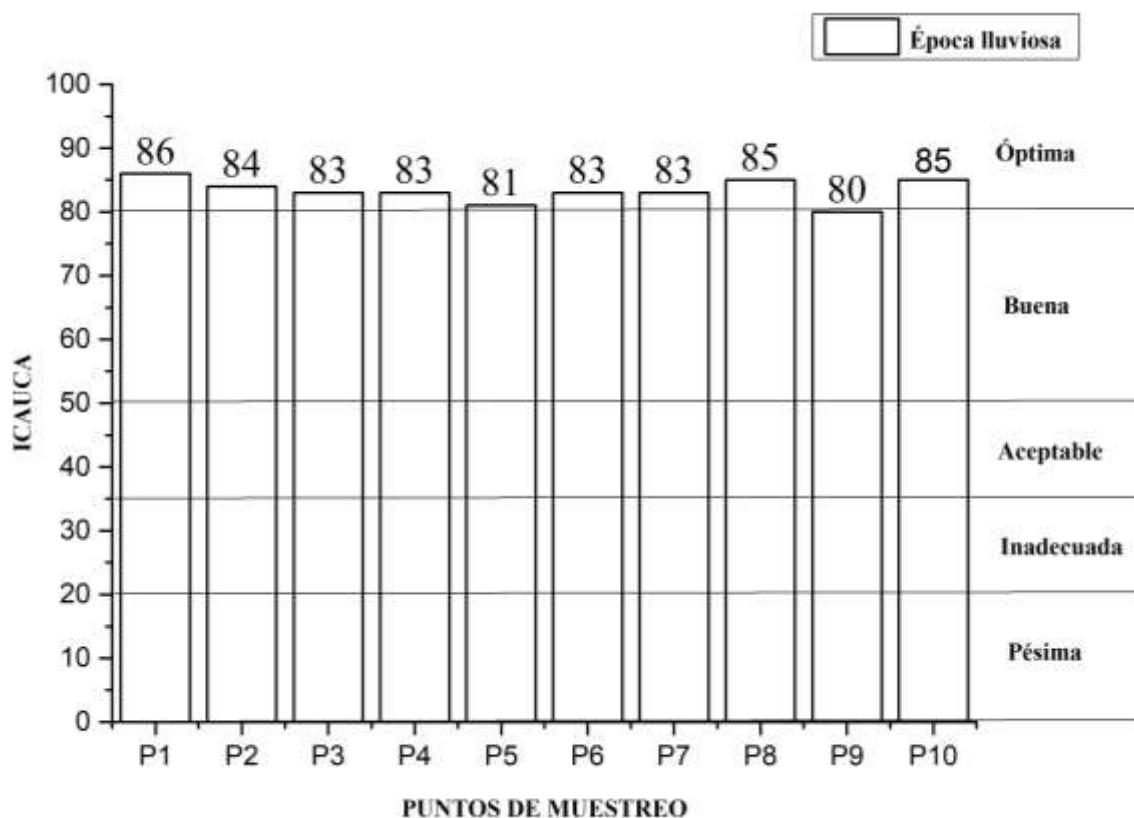
Nota. La calidad del agua en la época lluviosa se evaluó utilizando el índice OWQI, donde se clasifica desde "Muy pobre" hasta "Excelente". Fuente: Autores.

4.2.6 Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice ICAUCA

La gráfica del Índice ICAUCA durante la época lluviosa muestra que la calidad del agua varía de "Buena" a "Óptima" en los diferentes puntos de muestreo (P1 a P10). Las puntuaciones oscilan entre 80 en P8 y 86 en P1, lo que indica que la calidad del agua es generalmente alta en todos los puntos de muestreo. Los puntos de muestreo P1 y P9 muestran las puntuaciones más altas, 86 y 85 respectivamente, sugiriendo una menor influencia de fuentes de contaminación. En contraste, el punto P8, con la puntuación más baja de 80, indica una calidad de agua "Buena", lo que podría estar relacionado con actividades cercanas que afectan ligeramente la calidad del agua como se puede observar en la Figura 13.

Figura 13

Calidad del agua durante la época lluviosa, según el índice ICAUCA



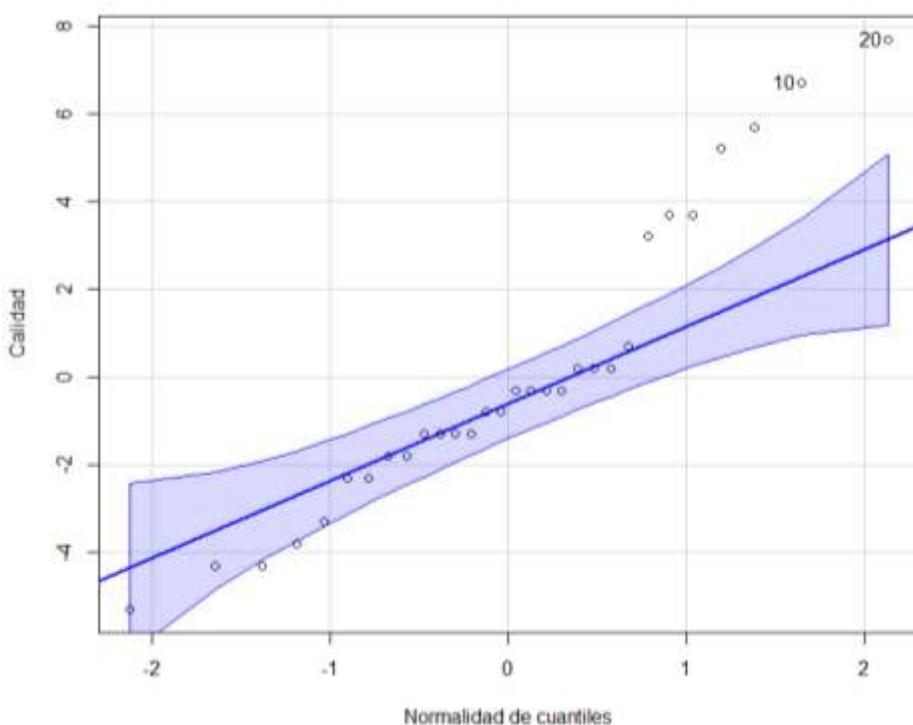
Nota. La calidad del agua en la época lluviosa se evaluó utilizando el índice ICAUCA, donde se clasifica desde "Pésima" hasta "Óptima". Fuente: Autores.

4.3 Analizar la confiabilidad de los índices de calidad del agua empleados

4.3.1 Normalidad de residuos en época seca

En la figura 14 se muestra un gráfico de normalidad de cuantiles, en el cual se visualizan los residuos correspondientes a un análisis de calidad en época lluviosa. La línea azul representa la tendencia esperada si los residuos siguieran una distribución normal. Las bandas sombreadas en azul indican los intervalos de confianza alrededor de esta tendencia. Los puntos dispersos alrededor de la línea proporcionan una indicación visual de la desviación de los residuos respecto a la normalidad.

Figura 14
Normalidad de residuos en época seca



Fuente: Autores.

La gráfica de normalidad de residuos evalúa si los residuos del modelo siguen una distribución normal. Los puntos en el rango central están alineados con la línea de normalidad teórica, indicando una distribución normal aproximada de los residuos. Sin embargo, hay desviaciones en los extremos, sugiriendo la presencia de valores atípicos o asimetría en los datos.

4.3.2 Análisis ANOVA en época seca

En la Tabla 11 se presenta el análisis ANOVA para evaluar la confiabilidad de los índices ICAUCA, NSF y OWQI durante la época seca. Se observa un valor estadístico F_0 de 49.77 y un valor p de $8.77e^{-10}$, que es significativamente menor que 0.05. Esto indica que se rechaza la hipótesis nula, lo cual sugiere que al menos un par de valores de medias difieren significativamente con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 11

Resultados del análisis ANOVA en la época seca

FV (Factor)	SC (Suma De Cuadrados)	GL (Grados De Libertad)	CM (Cuadrados Medios)	F0 (VALOR DE FISHER)	Valor -p (P- VALOR)
Variable	1171.7	2	585.8	49.77	8.77e-10
Error	317.8	27	11.8		
Total	1489.5	29			

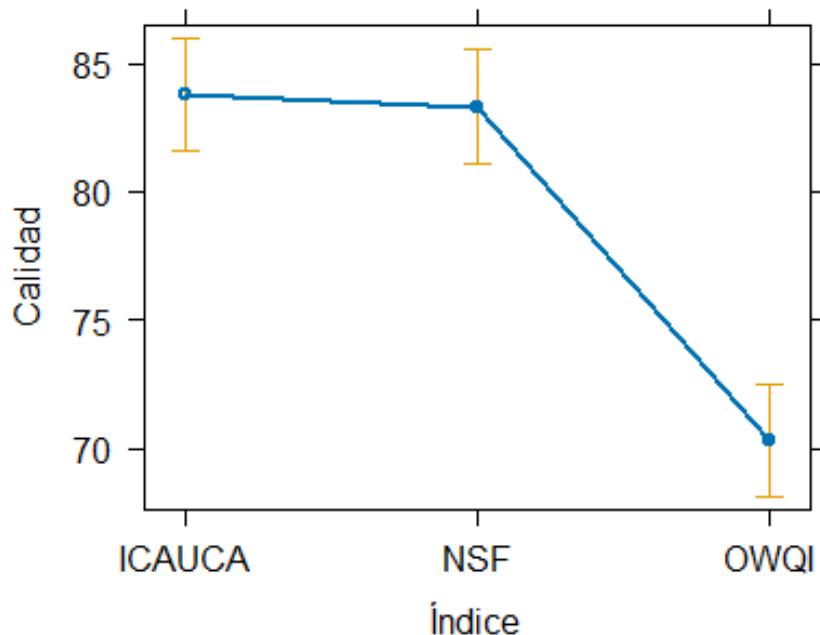
Fuente: Autores.

Estos resultados confirman que los índices de calidad del agua utilizados, evaluados durante la época seca, muestran diferencias significativas en sus mediciones. El valor F_0 alto y el bajo valor p indican que al menos uno de los índices proporciona una evaluación de calidad del agua que difiere considerablemente de los otros durante este periodo específico.

4.3.3 Confiabilidad de índices en época seca

La Figura 15 muestra la confiabilidad de los índices de calidad del agua durante la época seca, comparando los índices ICAUCA, NSF, y OWQI. La figura presenta los valores promedio de calidad del agua para cada índice, junto con sus respectivos intervalos de confianza.

Figura 15
Confiabilidad de índices en época seca



Fuente: Autores.

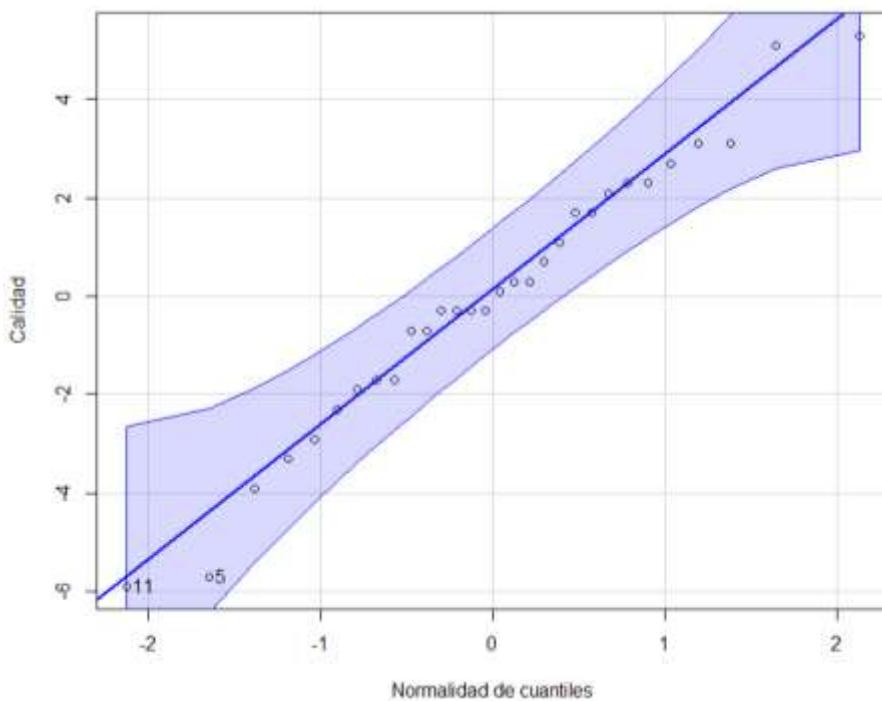
- El índice ICAUCA presenta un valor promedio de calidad del agua alrededor de 85, con un intervalo de confianza estrecho, lo que indica una alta confiabilidad en sus estimaciones durante la época seca.
- El índice NSF muestra un valor promedio ligeramente inferior, cerca de 84, también con un intervalo de confianza estrecho, sugiriendo buena confiabilidad.
- El índice OWQI, por otro lado, presenta un valor promedio significativamente menor, alrededor de 70, con un intervalo de confianza más amplio, lo que indicar una mayor variabilidad en sus estimaciones o una menor adecuación del índice a las condiciones locales.

4.3.4 Normalidad de residuos en época lluviosa

En la figura 16 se muestra un gráfico de normalidad de cuantiles, en el cual se visualizan los residuos correspondientes a un análisis de calidad en época lluviosa. La línea azul representa la tendencia esperada si los residuos siguieran una distribución normal. Las bandas sombreadas en azul indican los intervalos de confianza alrededor de esta tendencia. Los puntos dispersos alrededor de la línea proporcionan una indicación visual de la desviación de los residuos respecto a la normalidad.

Figura 16

Normalidad de residuos en época lluviosa



Fuente: Autores.

La grafica de normalidad de los residuos muestra que estos se aproximan a una distribución normal, validando los resultados del ANOVA. Los residuos se alinean mayormente a lo largo de la línea diagonal en el gráfico, lo que confirma que el supuesto de normalidad se cumple. En resumen, el índice NSF presenta la mayor calidad, seguido de ICAUCA y OWQI, indicando variaciones significativas en la confiabilidad de los índices durante la época lluviosa.

4.3.5 Análisis ANOVA en época lluviosa

El análisis ANOVA para los índices ICAUCA, NSF y OWQI en época lluviosa muestra que existe una diferencia significativa en la calidad entre los índices con un nivel de confianza del 95%. Con un valor F de 19.49 y un valor p de 5.77e-10, mucho menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que existe al menos un par de valores de medias que difieren significativamente en términos de calidad (ver Tabla 12).

Tabla 12

Resultados del análisis ANOVA en la época lluviosa.

FV (Factor)	SC (Suma De Cuadrados)	GL (Grados De Libertad)	CM (Cuadrados Medios)	F0 (VALOR DE FISHER)	Valor -p (P-VALOR)
Variable	319.2	2	159.60	19.49	5.77e-10
Error	221.1	27	8.19		
Total	540.3	29			

Fuente: Autores.

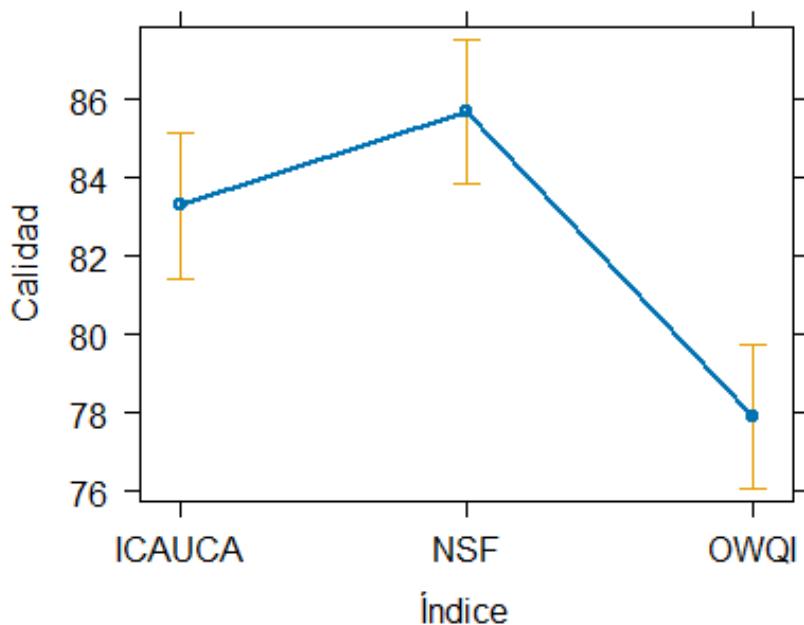
Estos resultados del ANOVA sugieren que los índices de calidad del agua ICAUCA, NSF y OWQI no son equivalentes en su evaluación de la calidad del agua durante la época lluviosa. La diferencia significativa encontrada indica que al menos uno de los índices proporciona una evaluación de calidad del agua que difiere considerablemente de los otros.

4.3.6 Confiabilidad de índices en época lluviosa

La Figura 17 muestra la confiabilidad de los índices de calidad del agua durante la época lluviosa, comparando los índices ICAUCA, NSF, y OWQI. La figura presenta los valores promedio de calidad del agua para cada índice, junto con sus respectivos intervalos de confianza.

Figura 17

Confiabilidad de índices en época lluviosa



Fuente: Autores.

- El índice ICAUCA presenta un valor promedio de calidad del agua alrededor de 84, con un intervalo de confianza relativamente estrecho, indicando una buena confiabilidad en sus estimaciones durante la época lluviosa.
- El índice NSF muestra un valor promedio ligeramente superior, cerca de 86, también con un intervalo de confianza moderadamente estrecho, sugiriendo una alta confiabilidad.
- El índice OWQI presenta un valor promedio notablemente menor, alrededor de 78, con un intervalo de confianza más amplio, lo que puede indicar una mayor variabilidad en sus estimaciones o una menor adecuación del índice a las condiciones locales durante la época lluviosa.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La microcuenca de Llin Llín presenta una configuración morfométrica que facilita una rápida y eficiente respuesta a las precipitaciones, pero también implica un alto riesgo de erosión debido a sus pendientes pronunciadas y rápida escorrentía. La variabilidad en los caudales entre las épocas seca y lluviosa destaca la importancia de un monitoreo continuo y una adecuada gestión de los recursos hídricos para mitigar los riesgos de erosión y maximizar el uso eficiente del agua en la microcuenca.
- Los índices NSF, OWQI e ICAUCA indicaron que la calidad del agua es generalmente superior durante la época lluviosa. Esto se debe a que, en la época seca, la disminución del caudal provoca una mayor concentración de contaminantes, lo que reduce la calidad del agua. Por otro lado, en la época lluviosa, el aumento del caudal diluye los contaminantes, mejorando así la calidad del agua.
- Los índices de calidad del agua utilizados en este estudio (ICAUCA, NSF y OWQI) mostraron diferencias significativas en su evaluación durante ambas épocas. El índice NSF mostró la mayor calidad promedio, mientras que el OWQI presentó la menor calidad y mayor variabilidad. Sin embargo, debido a las particularidades de la microcuenca del río Llin Llín, se recomienda el uso del índice ICAUCA. Este índice ofrece una evaluación más adecuada para este territorio, considerando las condiciones climáticas y ambientales específicas de la región.

Recomendaciones

- Para mejorar la gestión de recursos hídricos en la microcuenca del río Llin Llín, es esencial implementar programas de monitoreo continuo de caudales y calidad del agua a lo largo de todo el año. Esto permitirá obtener datos precisos y actualizados que faciliten la toma de decisiones informadas. Además, es crucial desarrollar planes de manejo que consideren la variabilidad estacional en la disponibilidad y calidad del agua, implementando estrategias específicas tanto para épocas secas como lluviosas.
- Promover la educación y concientización ambiental entre los residentes ya que son claves para promover prácticas sostenibles y reducir la contaminación. Es vital fomentar la educación ambiental destacando la importancia de la conservación del agua y el uso adecuado de los recursos naturales.
- En cuanto al uso de índices de calidad del agua, se recomienda utilizar el índice NSF como herramienta principal para la evaluación de la calidad del agua en la microcuenca del río Llin Llín, debido a su alto nivel de confianza y adecuación a las condiciones locales. Sin embargo, también se debe considerar la aplicación de múltiples índices en estudios futuros para obtener una visión más completa y detallada de la calidad del agua en diferentes contextos.

REFERENCIAS

- Agrocalidad. (2018). *Instructivo INT/SFA/10. Muestreo para Análisis de Suelos*. 11. <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/lab/05-INTSFA10.-Rev3.-Vigente.pdf>
- APHA, AWWA, W. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* (S. A. Editorial Díaz de Santos (ed.)). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=307542>
- APHA, AWWA, W. (1995). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. En 1992 Díaz de Santos, S. A. (Ed.), *Jurnal Sains dan Seni ITS* (Vol. 6, Número 1). <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf%0Ahttp://fiskal.kemenkeu.go.id/ejournal%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006%0Ahttps://doi.org/10.1>
- APHA, AWW, & WPCF. (1989). *Standard Methods* (Diaz de Santos (ed.); 17.^a ed.). 1989.
- Autoridad Nacional del Agua-ANA. (2011). Protocolo De Monitoreo De La Calidad De Los Recursos Hídricos Autoridad Nacional Del Agua. *GreenFacts*, 1-34. http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/2011-PROTOCOLO-ANAPeru.pdf
- Behar, Zúñiga, & Rojas. (1997). *Biodiversidad Faunística y Florística de la cuenca mayor del río Saldaña (subcuenca Anamichú) - Biodiversidad Regional Fase IV* (p. 150).
- Bolaños, J. D., Corder, G., & Segura, G. (2017). *sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre , en dos cantones de Alajuela (Costa Rica) Determination of nitrites , nitrates , sulfates and contamination caused by human activities , in two cantons of Al.* <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Botero, M., Arbeláes, O., & Mendoza, J. A. (2007). Método ANOVA utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición. *Scientia et Technica Año XIII, N° 37(37)*, 533-537. <https://www.google.com.ec/search?source=hp&ei=4H1UXPrDNojl5gLSsbjgBg&q=Método+Anova+utilizado+para+realizar+el+estudio+de+repetibilidad+y+reproducibilidad+dentro+del+control+de+calidad+de+un+sistema+de+medición&btnK=Buscar+con+Google&oq=Mét%0Afile:///C:/U>
- Cedeño, H. (2020). *Horacio Antonio Cedeño-Muñoz.* 5(02), 579-604. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i2.1299>
- Chamorro, I. (2011). *Estimación del caudal por el método de flotadores.*
- Chow, V. Te. (2008). *Hidrología Aplicada.*
- Ciro, S. A. (2023). Las pruebas de normalidad Introducción. *Research Gate, January*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23329.48483>
- Dagnino, S. (2014). Inferencia estadística: Pruebas de hipótesis. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(2), 125-128.
- Díaz. (1985). Contaminación de las Aguas Subterráneas por Nitratos – Situación existente en el Aglomerado Bonaerense. En *XII Congreso Nacional del Agua* (CONAGUA 85).
- Díaz, & Dalence. (2014). Determinación del parámetro sólidos suspendidos totales (SST) mediante imágenes de sensores ópticos en un tramo de la cuenca media del río Bogotá Determination of the Total Suspended Solids Parameter Trough Images From Optical Sensors in a Section of th. *Revista Ud Y La Geomática*, 9, 19-27.
- Espinosa, M. C., Rodríguez, Y., & León, X. (2013). *Probleática de la determinación de especies nitrogenadas (nitrógeno total y amoniacal) en aguas residuales.*

- Fontalvo, F. A., & Turizo, C. E. (2018). Calidad del agua de la parte baja del río Córdoba (Magdalena, Colombia), usando el ICA-NSF. *Intropica, June*, 101. <https://doi.org/10.21676/23897864.2510>
- Fuccz, J. K., Gómez, R., Cárdenas, M. L., & Campos, C. (2007). Comportamiento de coliformes como indicadores bacterianos de contaminación fecal en diferentes mezclas de biosólidos y estériles utilizados para la restauración ecológica de la Cantera Soratama, Bogotá. *Universitas Scientiarum*, 12(1999), 111-120. http://www.javeriana.edu.co/universitas_scientiarum/universitas_docs/Vol 12 especial II/8-COMPORTAMIENTO COLIFORMES.pdf
- García, J., Osorio, M. A., Rojas, R. A., & Cadme, M. L. (2021). Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería del agua*, 25(2), 115. <https://doi.org/10.4995/ia.2021.13921>
- Gómez. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Revista Facultad de Medicina*, 66(1), 7-8. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>
- Guadarrama, R., Kido, Juan, R., Gustavo, & Salas, M. (2016). Contaminación de agua. *ECORFAN ® Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1-10. https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2010). Morfología de las cuencas hidrográficas. *Universidad Politécnica de Valencia*, 12.
- Iglesias, J. (2014). Folleto Informativo pH. *Folleto Informativo*, 3-7. https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/31_40sp.pdf
- INEN. (2013). Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo Y Conservación De Muestras. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 26.
- International Water Services Association (IWSA). (1998). Nitrates. En *The IWSA information source on drinking water issues* (The Blue p, pp. 7-8).
- Kulkarni, A. (2011). Water quality retrieval from landsat TM imagery. *Procedia Computer Science*, 6, 475-480. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2011.08.088>
- Lado, J. J. (2009). *El ciclo hidrológico: Experiencias prácticas para su comprensión*. 78-85.
- Lavie, Morábito, Salatino, & Bermejillo. (2010). *Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza Phosphate pollution in the oasis irrigated by the*.
- Llamas, J. (1993). *Hidrología general* (1993 Bilbao : Servicio Editorial, Universidad del País Vasco = Argitarapen Zerbitzua, Euskal Herriko Unibertsitatea (ed.)). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=84020>
- Matute, L., & Maldonado, R. (2022). *Microbial mixtures in the treatment of liquid waste from a milking parlor*. 1-9.
- Méndez, P., Arcos, J., & Cazorla, X. (2020). Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copuено ubicado en Cantón Morona. *Dominio de las Ciencias*, 6(2), 734-746.
- Murphy, & Riley. (1962). Un método de solución única modificado para la determinación de fosfato en aguas naturales. *Analytica Química Acta*, 27(0003-2670), 31-36. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5) 5.%0A(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267000884445>)
- OMS. (1985). Guías para la calidad del agua potable. *WHO Chronicle*, 38(3), 104-108.
- Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2012). Glosario hidrológico internacional.

- En *IHP/OHP-Berichte* (Número 12). http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf
- Osti, J. A. S., Carmo, C. F. Do, Cerqueira, M., Giamas, M. T. D., Peixoto, A. C., & Cacilda Thais Janson, C. T. J. (2019). Recovery of Scenic Beauty of a Lake in Urban Park from Environmental Diagnosis and Implantation of Mitigating Measures. *Journal of Water Resource and Protection*, 11(05), 595-605. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.115034>
- Parada, N. J. F., & Solano, F. O. (2007). Capítulo III: índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. En *Índices De Calidad Y De Contaminación Del Agua* (p. 76). http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf
- Patiño, Holguín, Barba, Cruz, Ramírez, & Duque. (2007). *Metodología para la adaptación de un indice de calidad de agua a las condiciones mediambientales del río Cauca en el tramo Salvajina- La Virginia.*
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, Ó., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *MASKANA*, 10(2), 76-88. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
- Pilcomayo. (2016). Guía Para El Muestreo De Agua Destinada a Evualuación De Su Calidad En Cuerpos De Agua De Regiones Montañosas Y/O Serranas De La Alta Cuenca Del Rio Pilcomayo. En *Libro* (Vol. 0, Número 0, pp. 1-42).
- Quinteros Carabalí, J. A., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco. *Siembra*, 6(2), 046-057. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 11.
- Ramalho. (2003). *Tratamiento de aguas residuales* (Editorial).
- Red Interamericana de Academias de Ciencias. (2019). Calidad del Agua en las Américas. En *Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades*. https://www.researchgate.net/profile/Katherine-Vammen/publication/336778235_Calidad_de_Agua_en_las_Americas_Riesgos_y_Oportunidades_IANAS/links/5db1fa25299bf111d4c1167b/Calidad-de-Agua-en-las-Americanas-Riesgos-y-Oportunidades-IANAS.pdf#page=30
- Rodríguez, & Martínez. (2020). Responsabilidad social y gestión ambiental del agua, solución en la industria de lácteos de Ecuador. *Revista Alfa*, 4(12), 211-230. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v4i12.85>
- Roldán, G. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia (2008 Editorial Universidad de Antioquia (ed.); Segunda Ed).
- Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas*. 69-72. <https://doi.org/Biblioteca Virtual EUMED.NET>
- Terneus, E., & Yáñez, P. (2018). Fundamental principles on water quality, the use of aquatic bioindicators and fluvial ecological restoration in Ecuador. *Granja*, 27(1), 36-50. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03>
- Torres, P., Cruz, C., Patiño, P., Escobar, J. C., & Pérez, A. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua -ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano Applying water quality indexes (WQI) to the use of water sources for human consumption. *Ingeniería e Investigación*, 30(2010), 86-95.

- Truque, P. A. (2003). Armonización de los estandares de agua potable en las Americas. *Armonizacion De Los Estandares De Agua Potable En Las Americas*, 1(1), 17. <https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>
- Villalobos, A., Hernández, N., Rosa, G. E., & Paz, A. (2004). Manual de Manejo de Cuencas. En Visión Mundial El Salvador (Ed.), *MANUAL DE Manejo de Cuencas*.
- Villena Chávez, J. A. (2018). Water quality and sustainable development. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 35(2), 304-308. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Viramontes, A., Escoboza-García, L., Pinedo, C., Pinedo, A., Reyes, V., Román, J., & Pérez, A. (2007). Morfometria de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Medio ambiente y desarrollo sustentable*, 1(3), 21-31. <https://biblat.unam.mx/es/revista/tecnociencia-chihuahua/articulo/morfometria-de-la-cuenca-san-pedro-conchos-chihuahua>
- World Health Organization (WHO). (1978). Nitrates, Nitrites and N – Nitroso Compounds. En *Environmental Health Criteria 5* (pp. 79-80, 80-82).

ANEXOS

Ilustración 1

Punto de muestreo 1



Ilustración 2

Punto de muestreo 2



Ilustración 3

Punto de muestreo 3



Ilustración 4

Punto de muestreo 4



Ilustración 5
Punto de muestreo 5



Ilustración 6
Punto de muestreo 6



Ilustración 7
Punto de muestreo 7



Ilustración 8
Punto de muestreo 8



Ilustración 9

Punto de muestreo 9

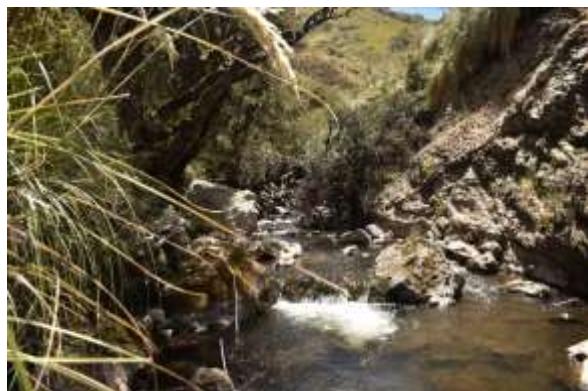


Ilustración 10

Punto de muestreo 10



Ilustración 11

Área de estudio.

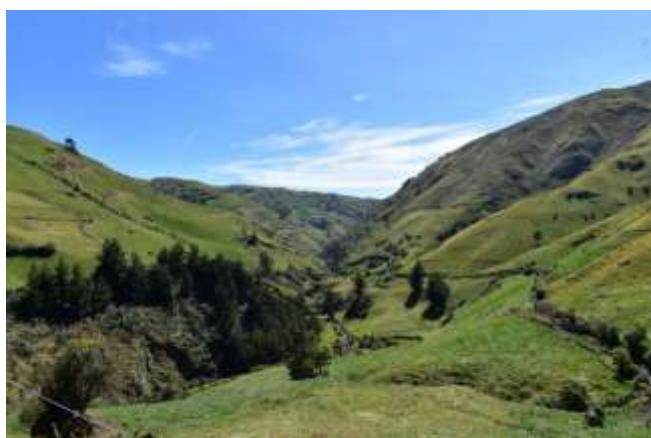


Ilustración 12

Aforamiento de envases para muestra in-situ



Ilustración 13
Toma de muestras in-situ



Ilustración 14
Medición de caudal



Ilustración 15
Calibración de equipos



Ilustración 16
*Datos obtenidos mediante el equipo
Multiparámetro HANNA HI98194*



Ilustración 17
Análisis de muestras de agua en laboratorio



Ilustración 18
Análisis de muestras de agua en laboratorio



Ilustración 19
Conteo de Coliformes.

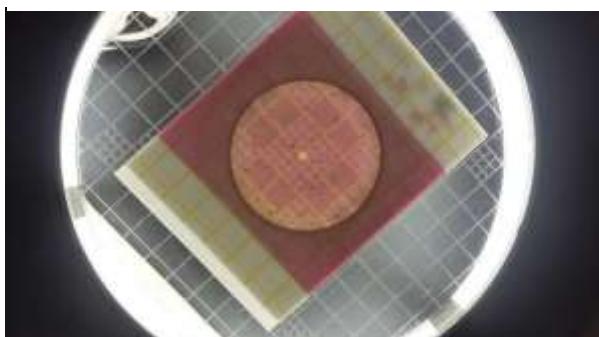


Ilustración 20
Determinación de Amonio



Ilustración 21

Determinación de Amonio



Ilustración 22

Determinación de Solidos Disueltos



Ilustración 23

Determinación de %OD



Ilustración 24

Determinación de BDO5.



Tabla 13*Determinación de la morfometría*

Pendiente media de la microcuenca Llin Llín						
Intervalo	Max	Min	Promedio	# de ocurrencia	A*B	
1		0	10	5	19853	99265
2		10	20	15	80306	1204590
3		20	30	25	143116	3577900
4		30	40	35	145825	5103875
5		40	50	45	84319	3794355
6		50	60	55	31323	1722765
7		60	70	65	8272	537680
8		70	80	75	1483	111225
9		80	90	85	214	18190
10		90	100	95	40	3800
				514751	16173645	
			Pm		31.4203275	

Area bajo la curva					Area sobre la curva	
Intervalo	Base	Altura	Altura real	b*h	Altura real	b*h
1	5		4364.546644	1086.54664	5432.733222	
2	15		4269.840749	991.840749	14877.61123	
3	25		4175.134853	897.134853	22428.37133	
4	35		4080.428957	802.428957	28085.01351	
5	45		3985.723062	707.723062	31847.53778	
6	55		3891.017166	613.017166	33715.94414	
7	65		3796.31127	518.31127	33690.23258	
					3235.45336	16177.2668
					3330.15925	49952.3888
					3424.86515	85621.6287
					3519.57104	123184.986
					3614.27694	162642.462
					3708.98283	203994.056
					3803.68873	247239.767

8	75	3701.605375	423.605375	31770.40311	3898.39463	292379.597
9	85	3606.899479	328.899479	27956.45573	3993.10052	339413.544
10	95	3512.193584	234.193584	22248.39043	4087.80642	388341.61
			Area abajo	252052.6931	Area arriba	<u>1908947.31</u>
			Rh	7.573604089		

Ilustración 26
Curva hipsométrica

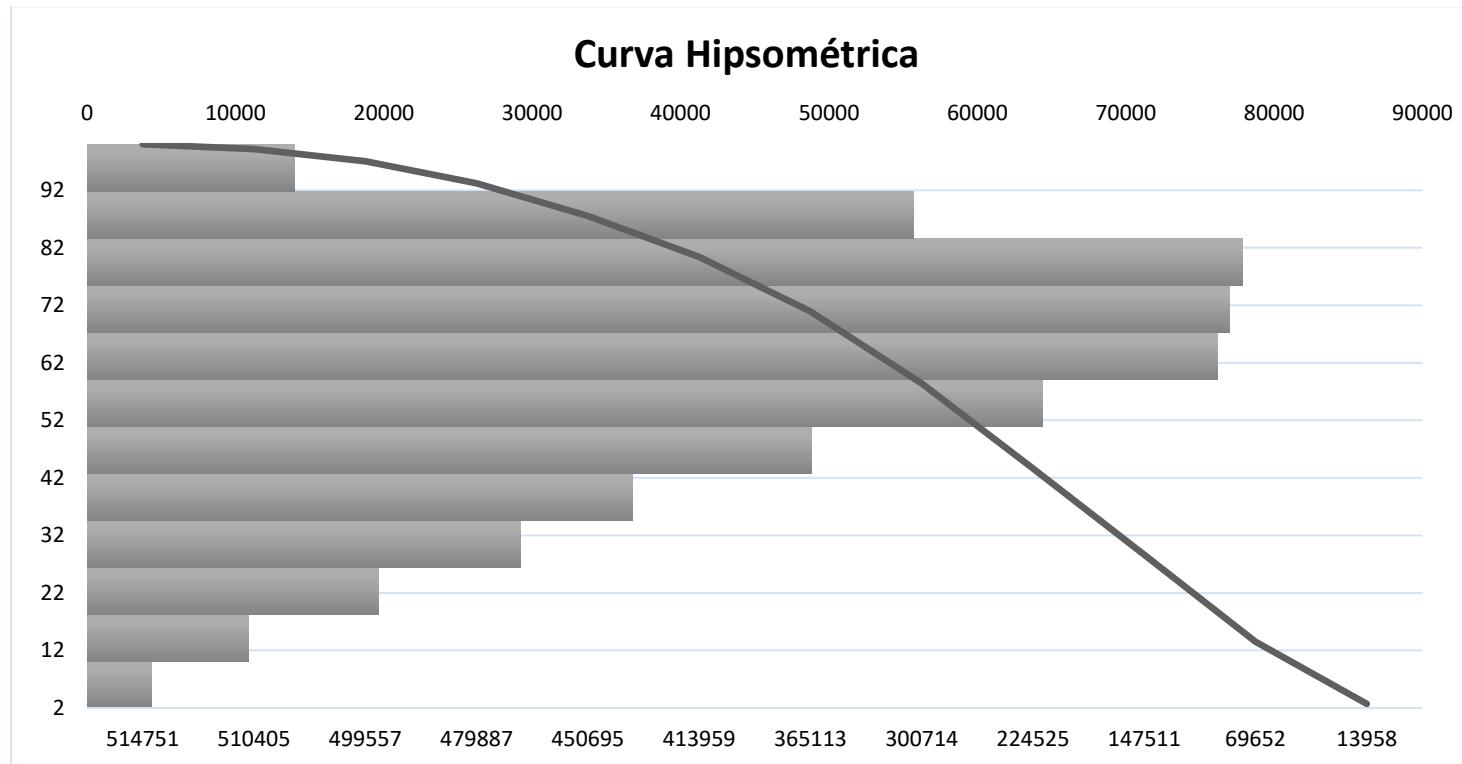


Tabla 14*Datos utilizados en el estudio*

	DB O5	OD %	OD mg/ l	Turb	Solid ost	pH	Coli ff	NT	FT	Col or	Solido s.S	TEM	Difer temp	Nutriente	Fosfatos	nitratos	SolidosD
A1	2.9 4	114	7.49	2.13	196	8.7	0	0.183	0.1584	19	83.8	17.3	-1.3	0.17	0.48	0.04	112.2
B1	2.6 8	113.4	7.39	2.46	152	9.1	6	0.418	0.1353	16	40.8	17.2	-1.2	0.41	0.41	0.4	111.2
C1	2.8 6	118.1	7.8	1.8	140	9.07	0	0.317	0.1221	18	34.3	15.4	0.6	0.3	0.37	0.2	105.7
D1	2.7 2	102.4	7.35	4.29	186	8.97	0	0.684	0.099	16	84.6	17.3	-1.3	0.68	0.3	0.4	101.4
E1	2.0 2	118.9	7.43	1.97	168	9.1	0	0.045	0.0891	20	77.7	14.1	1.9	0.03	0.27	0	90.3
F1	2.5	118.1	7.6	2.82	134	8.87	0	0.527	0.1683	18	44.2	13.7	1.3	0.5	0.51	0.5	89.8
G1	2.8 4	115.6	7.45	3.1	166	8.77	2	0.445	0.1716	13	81.1	11.9	2.1	0.44	0.52	0.4	84.9
H1	1.0 2	196.6	7.8	1.75	108	8.59	0	0.2	0.1485	16	28.5	12.8	0.2	0.2	0.45	0.2	79.5
I1	2.5 8	108	7.38	1.81	130	8.59	0	0.516	0.0462	12	54.4	13	0.2	0.5	0.14	0.5	75.6
J1	1.6 8	106.4	6.7	2.38	130	8.33	0	0.605	0.0264	10	54.4	13	0.3	0.6	0.08	0.6	75.6
A2	1.8 8	114.2	6.98	2.56	176	8.75	2	9.76	0.02937	24	19.2	17.4	-1.4	0.76	0.089	0.5	156.8
B2	3.3 4	113.5	7.07	2.98	166	9	7	1.13	0.03267	22	9.3	16.5	-0.5	1.13	0.099	0.5	156.7
C2	3.7 2	114.3	7.14	4.83	156	9.37	5	0.13	0.02442	22	11.8	17.7	-1.7	0.13	0.074	0	144.2

D2	3.2	109.9	6.76	17.8	160	9.17	1	12.05	0.1353	23	23.2	19.4	-3.4	0.55	0.41	0.4	136.8
E2	4.1	113.8	7.05	18.3	140	9.24	1	0.12	0.0792	20	12.7	18.3	-2.3	0.09	0.24	0	127.3
F2	3	116.2	7.2	3.09	138	9.2	0	8.127	0.0528	20	11.4	16.4	-1.4	0.72	0.16	0.6	126.6
G2	2.2	113.3	6.95	3.7	140	8.78	2	39.187	0.1287	19	18.8	16.5	-2.5	1.07	0.39	0.8	121.2
H2	3.1	111.1	6.82	1.21	150	8.35	0	14.253	0	16	39.2	10.7	2.3	0.58	0	0.45	110.8
I2	2.1	112.3	6.96	1.63	114	8.52	0	21.843	0.1221	14	13.7	10.2	2.8	0.47	0.37	0.34	100.3
J2	2.7	107.5	6.59	2.98	109.	7.71	0	2.01	0.0033	13	9.6	12.2	0.8	0.22	0.01	0.11	100
A3	3.1	108.75	6.78	1.26	148	8.31	7	1.427	0.1518	25	21.8	13.8	2.2	0.32	0.46	0.08	126.2
B3	3.2	108.95	6.90	1.5	156	8.61	9	0.045	0.1881	20	31.7	14.2	1.8	0.03	0.57	0	124.3
C3	2.5	107.95	6.86	1.77	138	8.58	5	19.653	0.132	23	21.8	13.2	2.8	0.47	0.4	0.42	116.2
D3	2.9	105.35	6.65	1.51	140	8.27	4	0.152	0.1353	21	28.6	12.7	3.3	0.15	0.41	0	111.4
E3	3.5	107.75	6.79	1.5	142	8.2	0	6.52	0.1782	22	32.6	12.3	3.7	1.62	0.54	0.49	109.4
F3	3.2	109.4	6.91	1.64	130	8.63	1	15.943	0.0891	26	31	13.4	1.6	0.56	0.27	0.51	99
G3	2.6	107	6.70	1.63	118	8.33	0	0.0385	0.1122	24	22.7	13.6	0.4	0.04	0.34	0	95.3
H3	3	107.2	6.72	2.97	108	8.04	0	20.939	0	28	27.6	10.1	2.9	0.94	0	0.9	80.4
I3	2.3	106.65	6.68	2.59	120	8	1	0.041	0.0957	28	46.2	9.8	3.2	0.04	0.29	0	73.8
J3	3.7	103.95	6.49	1	88	7.35	0	0.164	0.2541	31	4.6	9.9	3.1	0.15	0.77	0	83.4
	1		5														

A4	1.5 8	103.3	6.59	1.86	142	7.66	5	0.908	0.1386	31	35.9	12.6	3.4	0.9	0.42	0.6	106.1
B4	1.8 2	104.4	6.74	2.18	140	7.92	3	13.533	0.0627	32	35.3	12.8	3.2	0.94	0.19	0.73	104.7
C4	1.6 8	101.6	6.58	1.96	140	7.91	9	6.895	0.0693	30	47.3	12.9	3.1	1	0.21	0.81	92.7
D4	1.8 8	100.8	6.54	1.51	120	7.79	17	3.739	0.0396	26	30.4	13	3	0.663	0.12	0.443	89.6
E4	2.6	101.7	6.53	2.92	140	8.11	28	0.081	0.1155	33	59.5	13	3	0.07	0.35	0	80.5
F4	1.8 8	102.6	6.63	2.25	120	8.16	12	3.067	0.0891	38	40.2	12.9	2.1	0.44	0.27	0.38	79.8
G4	1.9 2	100.7	6.46	3.48	120	8	16	0.091	0.033	40	43.1	12.7	1.3	0.09	0.1	0	76.9
H4	1.2 6	103.3	6.62	2.55	120	7.96	5	7.29	0.0957	36	52.5	11.7	1.3	0.46	0.29	0.37	67.5
I4	2.1 4	101	6.41	4.66	84	7.71	23	13.69	0	31	24.1	10.2	2.8	0.37	0	0.29	59.9
J4	2.1 8	100.4	6.4	3.11	86	7.63	1	25.42	0.0495	30	26.2	11.2	1.8	0.29	0.15	0.18	59.8