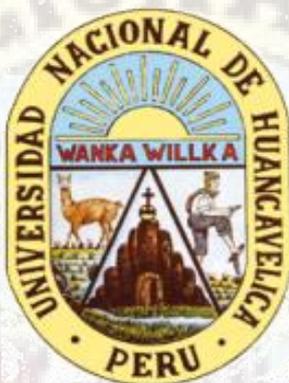


UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA



TESIS

**“DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS
COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA
CHOCLOCOCHA, PROVINCIA DE CASTROVIRREYNA, HUANCABELICA - 2022”**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:
GESTIÓN AMBIENTAL Y/O SANITARIA**

**PRESENTADO POR:
Bach. TORPOCO HUAMAN, Julio Cesar**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

HUANCABELICA, PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 02 días del mes de setiembre del año 2022, a horas 11:30 a.m., se reunieron los miembros del jurado calificador conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTA : M.Sc. Mabel Yesica ESCOBAR SOLDEVILLA
<https://orcid.org/0000-0001-9253-5974>
DNI N° 41063829

SECRETARIO : M.Sc. Luis Alberto TITO CÓRDOVA
<https://orcid.org/0000-0003-0072-4140>
DNI N° 40943298

ASESOR : Dr. Víctor Guillermo SÁNCHEZ ARAUJO
<https://orcid.org/0000-0002-7702-0881>
DNI N° 40446828

Designados con Resolución de Decano N° 168-2022-FCI-UNH, de fecha 08 de agosto del 2022, a fin de proceder el acto académico de evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA CHOCLOCOCHA, PROVINCIA DE CASTROVIRREYNA, HUANCAVELICA-2022", presentado por el Bachiller Julio Cesar TORPOCO HUAMAN con DNI N° 73217097, a fin de para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario**; Finalizado la evaluación a horas...12:47.....; se invitó al público presente y al sustentante abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los jurados, se llegó al siguiente resultado:

APROBADO POR UNANIMIDAD.....

DESAPROBADO POR

En señal de conformidad, firmamos a continuación:



Presidente



Secretario



Asesor

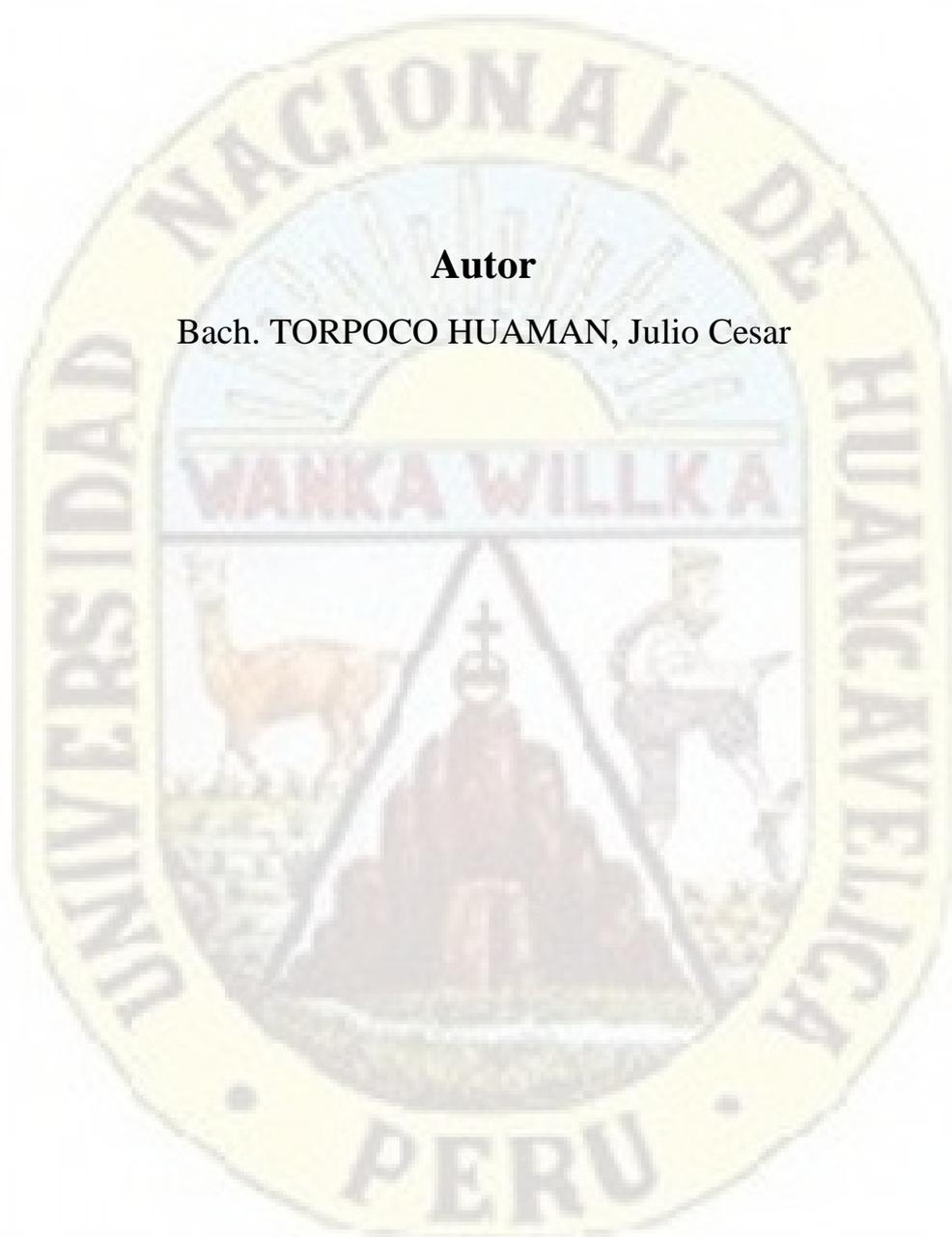


Vº Bº Decano



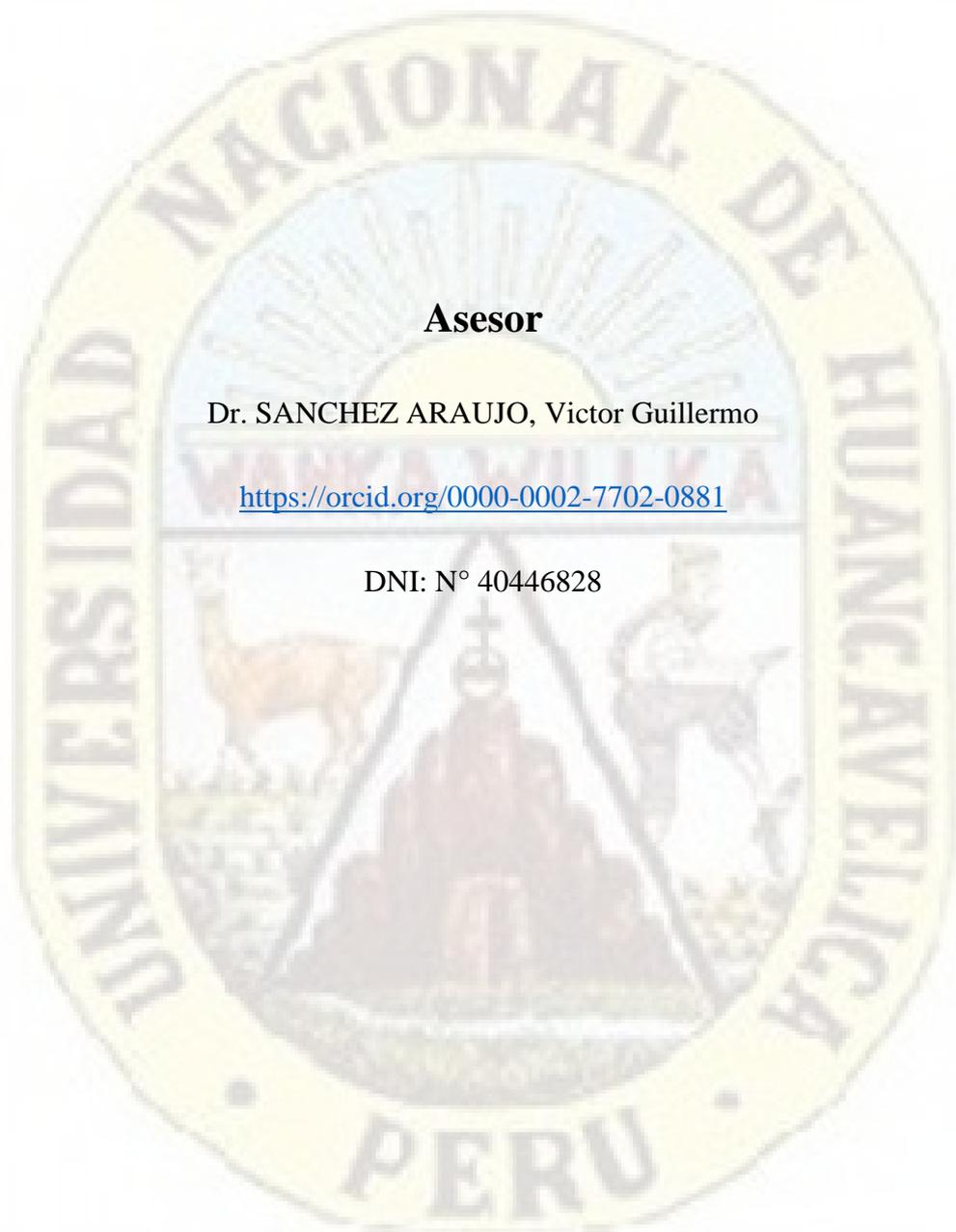
Título

DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO
BIOINDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA
CHOCLOCOCHA, HUANCABELICA, 2022



Autor

Bach. TORPOCO HUAMAN, Julio Cesar

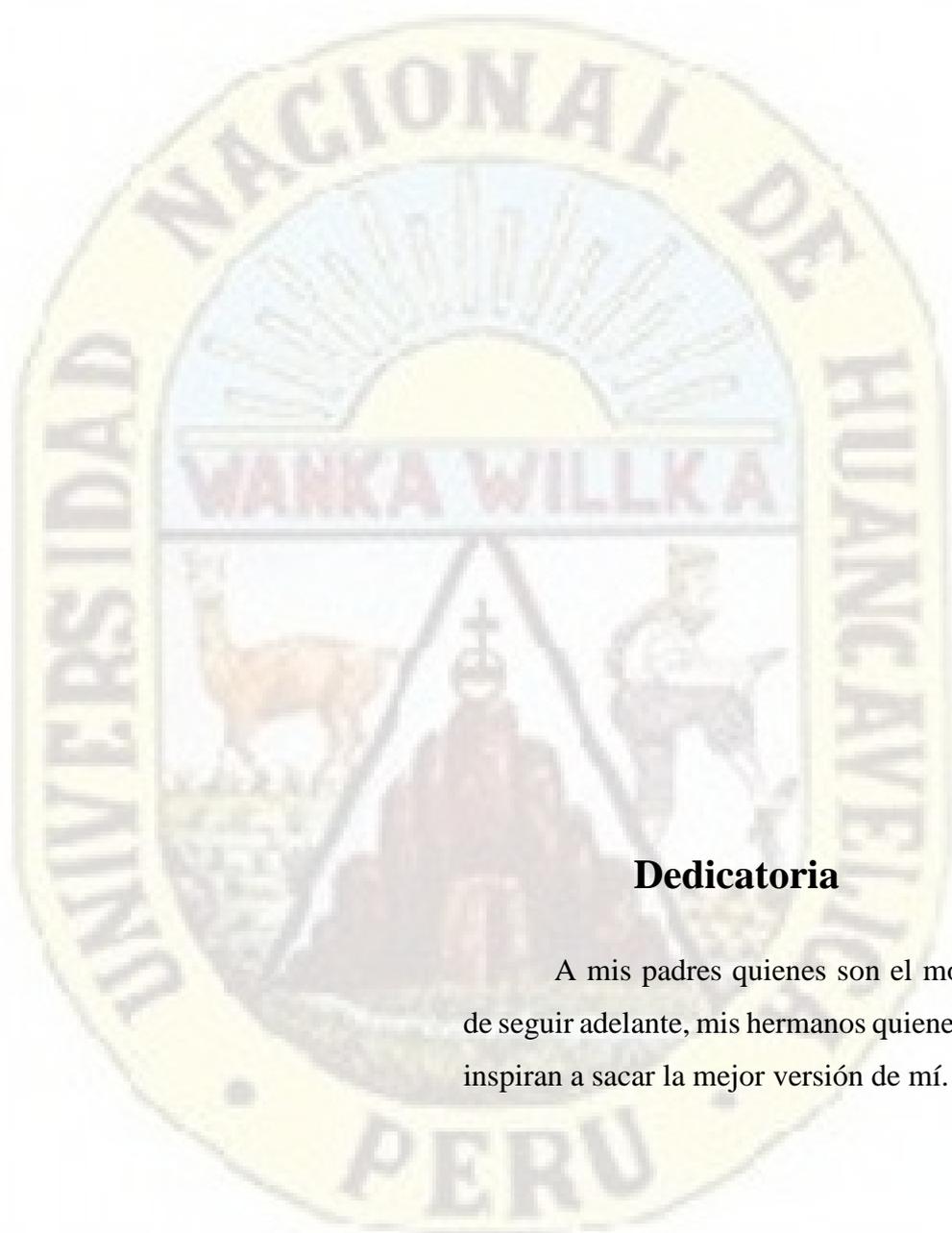


Asesor

Dr. SANCHEZ ARAUJO, Victor Guillermo

<https://orcid.org/0000-0002-7702-0881>

DNI: N° 40446828



Dedicatoria

A mis padres quienes son el motivo de seguir adelante, mis hermanos quienes me inspiran a sacar la mejor versión de mí.

Agradecimiento

En primer lugar, a Dios, quien me permite tener un día más de vida en donde aún puedo mejorar como persona y así cumplir las enseñanzas aprendidas.

A mi familia, quienes me apoyaron desde el primer momento del proceso de formación académica, donde me brindaron las oportunidades necesarias a fin de lograr mis objetivos planteados.

A la Universidad Nacional de Huancavelica, de mi mayor consideración a la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, en donde encontré el espacio indicado para mi desarrollo cognitivo y mi superación académica, de la misma manera a los docentes quienes me proporcionaron mayores conocimientos a fin de poder cumplir con las metas y los desarrollos esperados, así mismo a mis compañeros de clase quienes fueron un punto importante en mi vida dado que compartimos experiencias, siempre lo tendré presente.

A mi asesor de la investigación quien me guio para el desarrollo y la culminación de este proyecto de investigación.

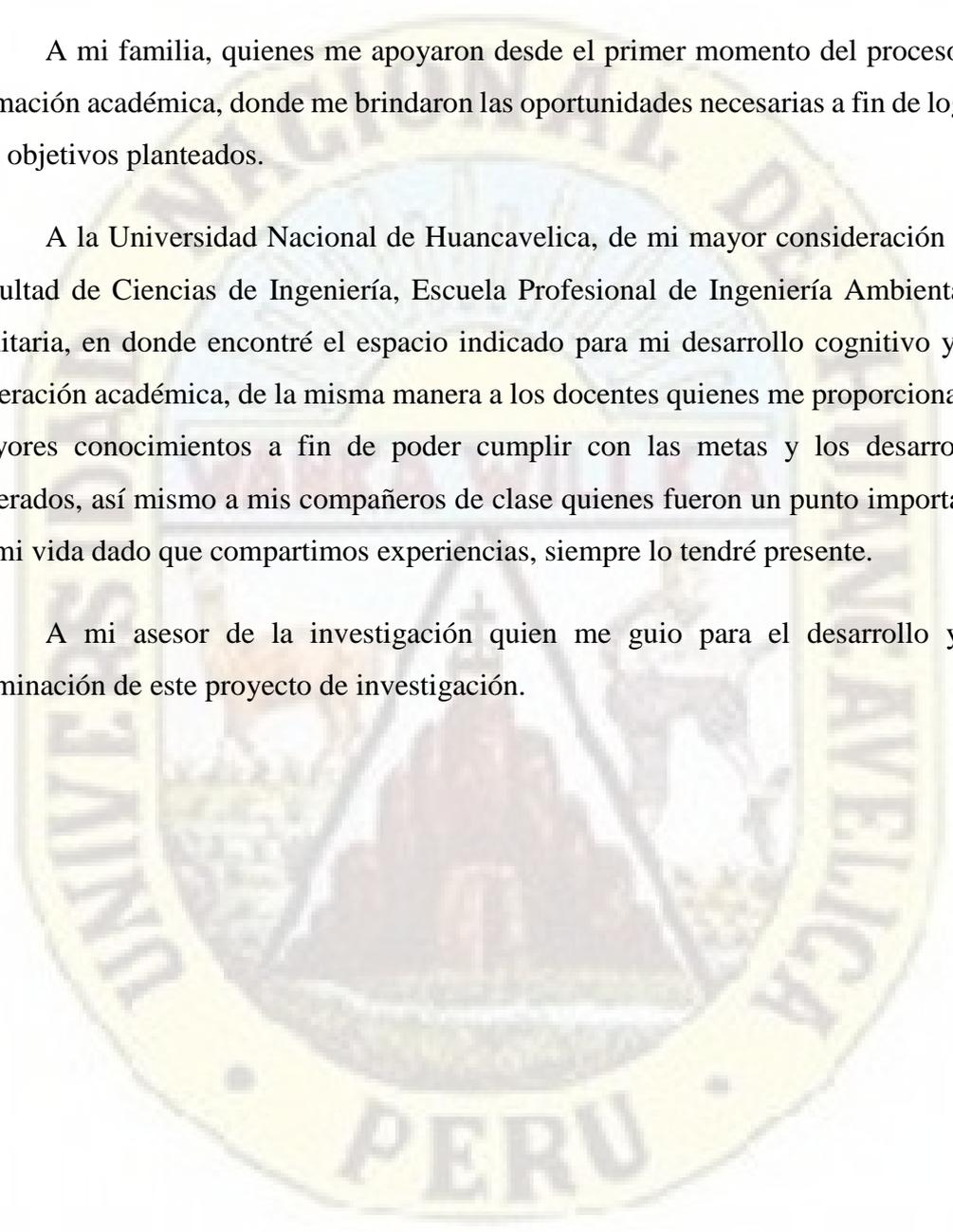


Tabla de contenido

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Título.....	iii
Autor.....	iv
Asesor.....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Tabla de contenido.....	viii
Tabla de contenidos de tablas.....	xi
Tabla de contenidos de figuras.....	xii
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xiv
Introducción.....	xv
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1. Descripción del Problema.....	17
1.2. Formulación del Problema.....	19
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas específicos.....	19
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo general.....	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Justificación.....	20
1.5. Limitaciones.....	20
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes.....	21
2.1.1. A nivel Internacional.....	21
2.1.2. A nivel Nacional.....	23
2.2. Bases teóricas.....	27

2.2.1.	Macroinvertebrados acuáticos.....	27
2.2.2.	Calidad de agua	30
2.2.3.	Bioindicadores.....	36
2.3.	Definición de términos	40
2.4.	Hipótesis.....	42
2.4.1.	Hipótesis General.....	42
2.4.2.	Hipótesis Específicas	42
2.5.	Variables.....	42
2.6.	Operacionalización de variables.....	43
CAPÍTULO III.....		44
MATERIALES Y MÉTODOS		44
3.1.	Tipo de investigación	44
3.2.	Nivel de investigación	44
3.3.	Método de investigación	45
3.3.1.	Método general.....	45
3.3.2.	Métodos específicos	45
3.4.	Diseño de investigación.....	46
3.5.	Población, muestra y muestreo.....	46
3.5.1.	Población.....	46
3.5.2.	Muestra.....	47
3.5.3.	Muestreo.....	48
3.6.	Técnicas e instrumentos para recolección de datos.....	48
3.6.1.	Técnicas.....	48
3.6.2.	Instrumentos.....	48
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	49
CAPÍTULO IV.....		50
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		50
4.1.	Presentación de resultados.....	50
4.1.1.	Diversidad específica	56
4.1.2.	Diversidad biológica	58
4.2.	Prueba de hipótesis	59
4.3.	Discusión de resultados	65

Conclusiones	69
Recomendaciones.....	70
Referencias bibliográficas.....	71
Apéndice	75

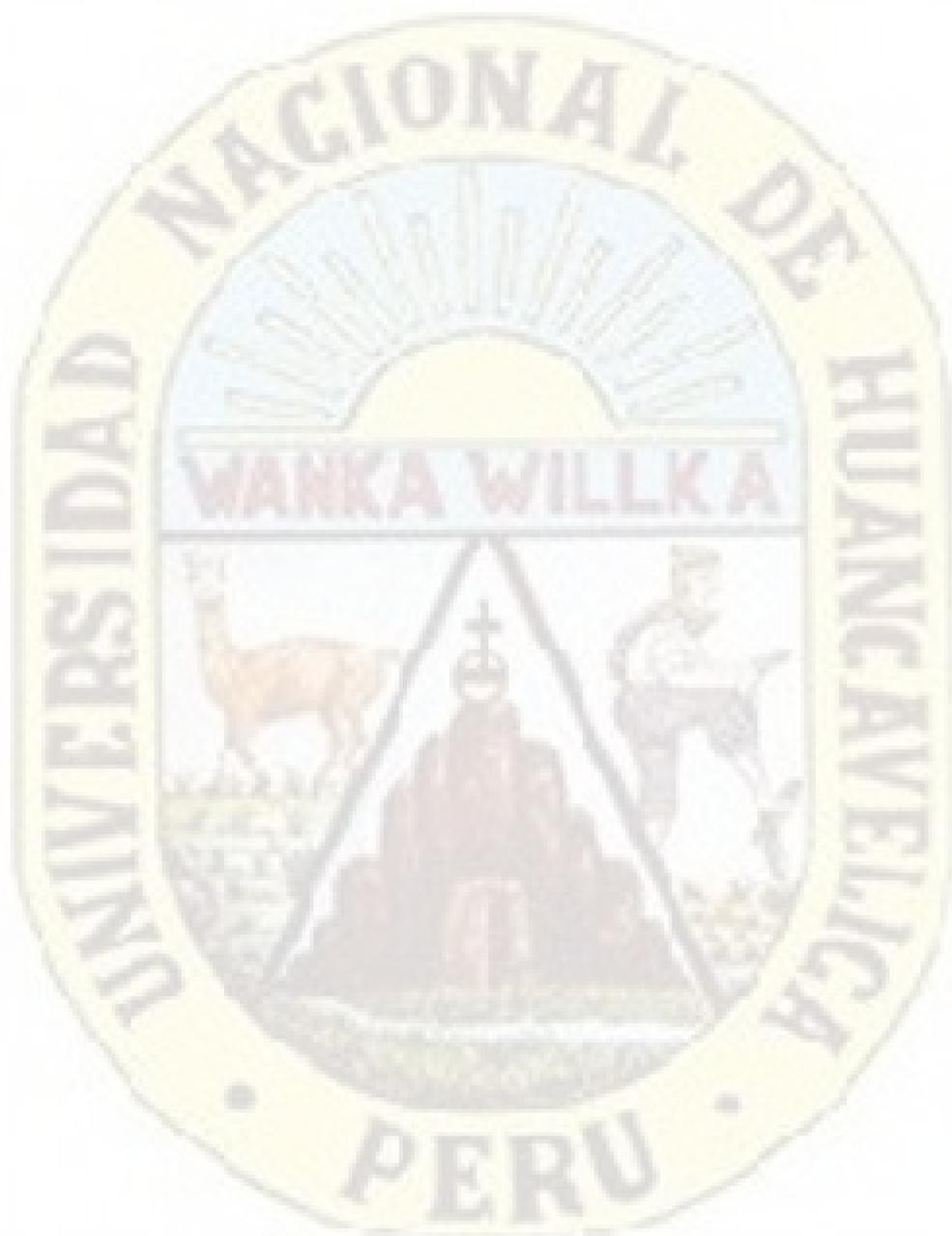
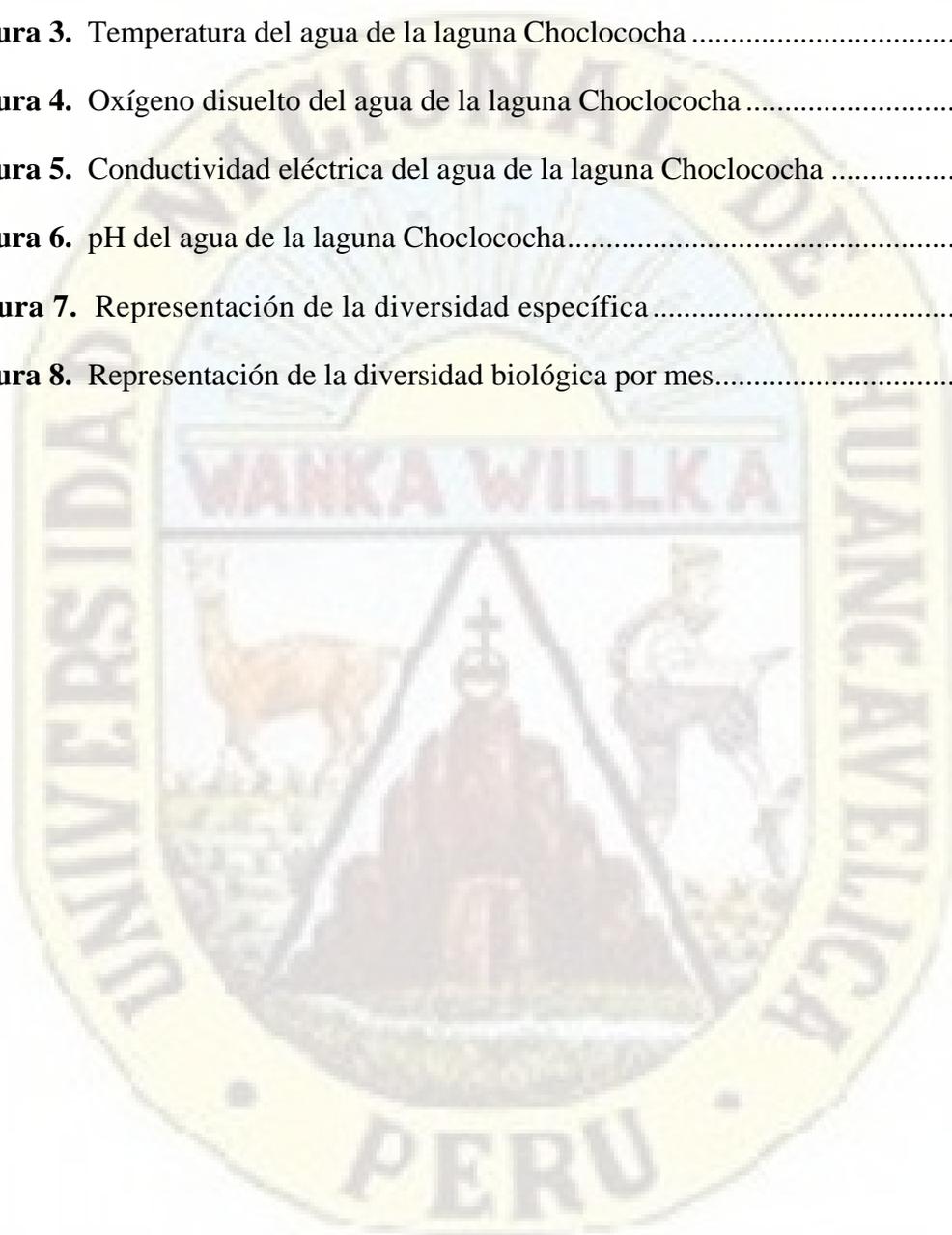


Tabla de contenidos de tablas

Tabla 1. Clasificación de las aguas; significados ecológico y colores de acuerdo al índice BMWP	37
Tabla 2. Operacionalización de variables	43
Tabla 3. Presencia de macroinvertebrados acuáticos en la laguna de Choclococha	51
Tabla 4. Diversidad específica por mes	56
Tabla 5. Diversidad biológica	58
Tabla 6. Resultados de la prueba de normalidad para la hipótesis general	60
Tabla 7. Resultados de la prueba de hipótesis general	60
Tabla 8. Resultados de la prueba de normalidad para la hipótesis específica 1	62
Tabla 9. Resultados de la prueba de hipótesis específica 1	62
Tabla 10. Resultados de la prueba de normalidad para la hipótesis específica 2	64
Tabla 11. Resultados de la prueba de hipótesis específica 2	64

Tabla de contenidos de figuras

Figura 1. Partes de un macroinvertebrado en estado larval	28
Figura 2. Puntos de muestreo en la laguna Choclococha.....	47
Figura 3. Temperatura del agua de la laguna Choclococha	54
Figura 4. Oxígeno disuelto del agua de la laguna Choclococha	54
Figura 5. Conductividad eléctrica del agua de la laguna Choclococha	55
Figura 6. pH del agua de la laguna Choclococha.....	56
Figura 7. Representación de la diversidad específica.....	56
Figura 8. Representación de la diversidad biológica por mes.....	58



Resumen

La investigación titulada “Diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua en la laguna Choclococha, Huancavelica, 2022”, donde el objetivo general fue “Identificar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica – 2022”. La metodología empleada fue del tipo de investigación aplicada, el nivel fue correlacional, el método general fue el científico y el específico fue el cuantitativo, el diseño fue el no experimental transversal, se tuvo la población del agua de la Laguna de Choclococha, la muestra fue de 4 puntos de muestreo y el muestreo que se empleó fue el no probabilístico por conveniencia. Los resultados fueron: la presencia de macroinvertebrados acuáticos son del género Hyalellidae que tuvo presencia del 20.5%, de la familia Chironomidae con un 8.4%, de la especie Rhyhoffia con un 8.2%, de la especie Allopatalia con un 5.5%, así mismo las menores presencias de especies fueron del género Crambidae con un 0.6%, género Sphaeriidae con 0.8%, género Palaemonidae con 0.8%, y el género Rhamtus con una presencia de 0.9%; también se obtuvo un total de 1818 macroinvertebrados acuáticos, en el mes de marzo un recuento de 600 especies de los 3 phylum, en el mes de abril un total de 460 especies, en el mes de mayo un valor de 468 y en el mes de junio un total de 290 especies; la calidad de agua tuvo promedios de la temperatura que varió de 14.7 a 18.7, el oxígeno disuelto de 19.17% a 21.11%, la conductividad eléctrica de 0.303 a 0.323 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y el pH desde 7.85 a 8.2. Las conclusiones fueron que existe una relación positiva y significativa entre la presencia de macroinvertebrados acuáticos y la calidad de agua, así mismo los índices de diversidad específica y biológica señalan la calidad de agua con un nivel de correlación alto.

Palabras clave: macroinvertebrados acuáticos, calidad de agua, Shannon, Simpson, Margalef, BMWP.

Abstract

The research entitled “Diversity of aquatic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in the Choclococha lagoon, Huancavelica, 2022”, where the general objective was “Identify the diversity of aquatic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in the Choclococha lagoon, province of Castrovirreyna, Huancavelica – 2022”. The methodology used was of the type of applied research, the level was correlational, the general method was the scientific and the specific was quantitative, the design was the non-experimental cross-sectional, the population of the water of the Choclococha Lagoon was had, the sample was 4 sampling points and the sampling that was used was the non-probabilistic for convenience. The results were: the presence of aquatic macroinvertebrates are of the genus Hyalellidae that had the presence of 20.5%, of the family Chironomidae with 8.4%, of the species Rhhinnoeshna with 8.2%, of the species Allopetalia with 5.5%, likewise the lowest presences of species were of the genus Crambidae with 0.6%, genus Sphaeriidae with 0.8%, genus Palaemonidae with 0.8%, and the genus Rhamtus with a presence of 0.9%; a total of 1818 aquatic macroinvertebrates were also obtained, in the month of March a count of 600 species of the 3 phylum, in the month of April a total of 460 species, in the month of May a value of 468 and in the month of June a total of 290 species; the water quality had temperature averages that varied from 14.7 to 18.7, dissolved oxygen from 19.17% to 21.11%, electrical conductivity from 0.303 to 0.323 $\mu\text{s}/\text{cm}$ and pH from 7.85 to 8.2. The conclusions were that there is a positive and significant relationship between the presence of aquatic macroinvertebrates and water quality, as well as the specific and biological diversity indices indicate water quality with a high level of correlation.

Keywords: aquatic macroinvertebrates, water quality, Shannon, Simpson, Margalef, BMWP.

Introducción

Alba-Tercedor (1996) menciona que la calidad del agua es fundamental para la planificación y gestión de los recursos hídricos, ya que de ello depende la disponibilidad del recurso y poder atender las demandas sin comprometer la salud humana, por otro lado, el autor menciona que es tan importante conocer la calidad del agua para el consumo humano, como lo puede ser para el riego de cultivos, para el uso industrial, recreacional, para la expedición de licencias ambientales, para regular y optimizar el funcionamiento de las plantas de tratamiento, entre muchos otros fines.

Así mismo la calidad del agua es un término variable en función del uso concreto que se vaya a hacer de ella y una determinada fuente de aguas puede tener la calidad necesaria para satisfacer los requerimientos de un uso en particular y al mismo tiempo, no ser apta para otro.

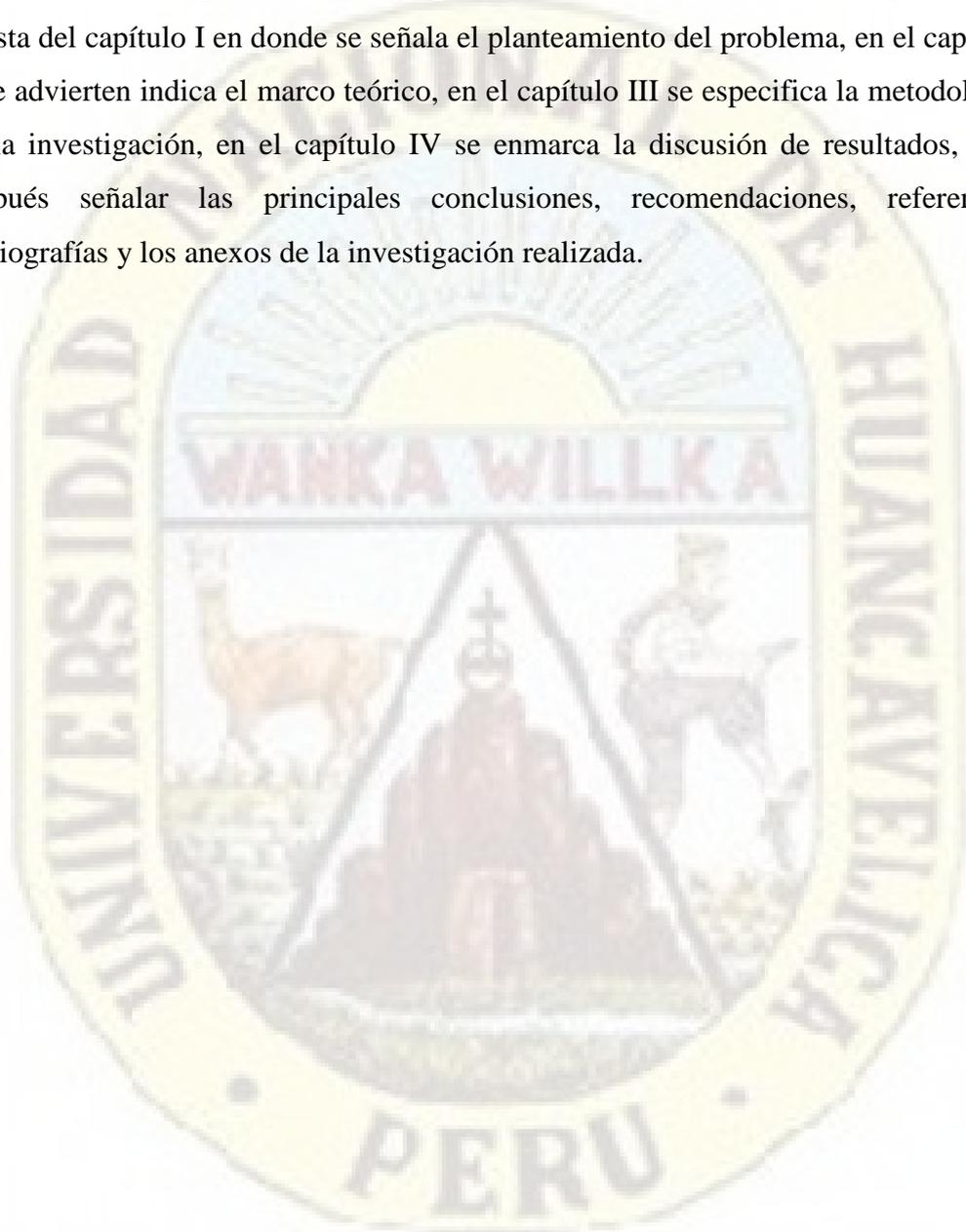
La presencia o ausencia de especies de microalgas y macroinvertebrados bentónicos en un cuerpo de agua, puede indicar la ocurrencia de contaminación o de alteración del ecosistema acuático pudiendo constituirse en indicadores biológicos de la calidad de agua.

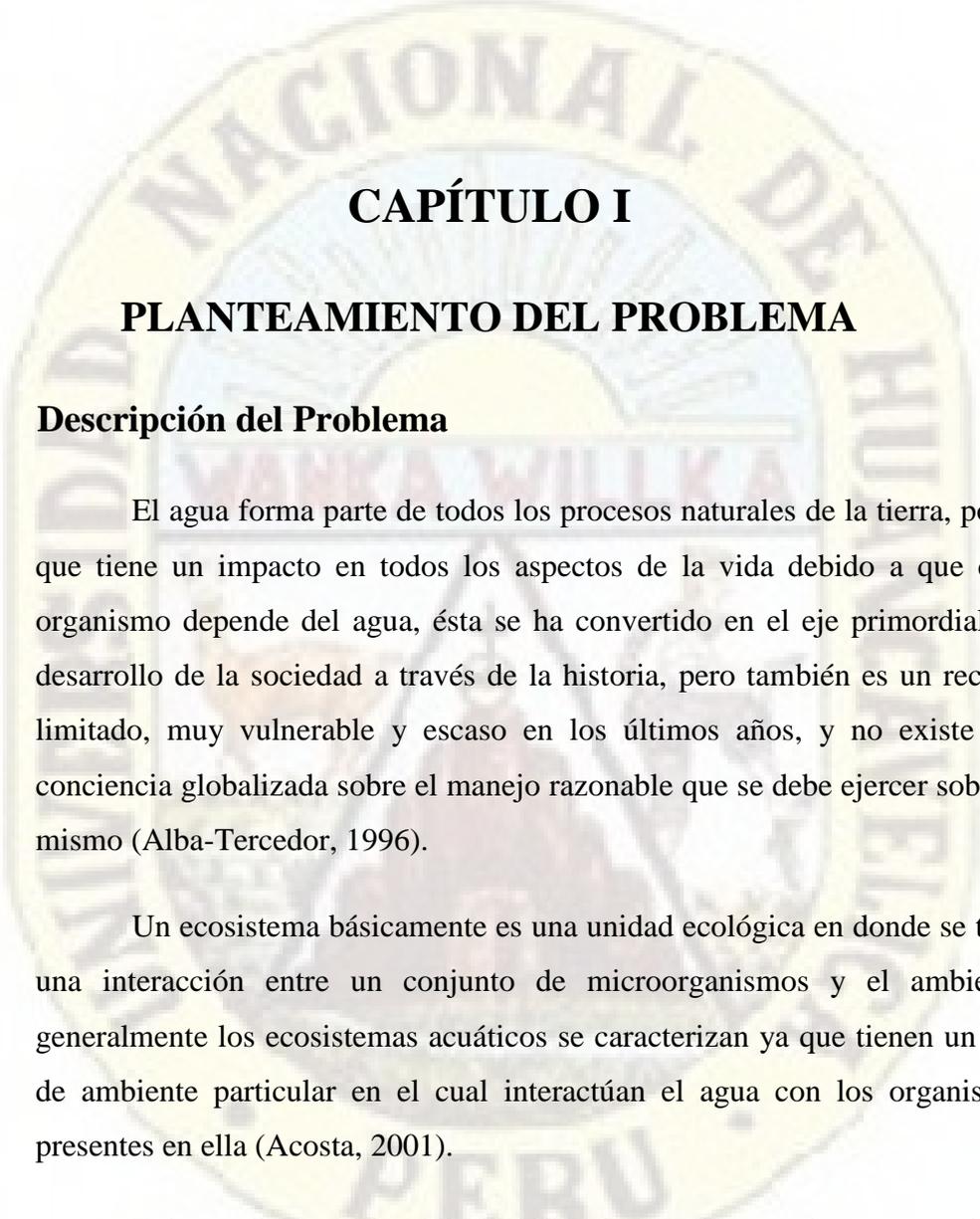
Por lo tanto, un indicador biológico o bioindicador puede ser definido como un conjunto de especies que poseen requerimientos particulares con relación a un grupo de variables físicas y químicas, tal que los cambios de estas variables indiquen para las especies involucradas que el sistema se encuentra en los límites de las curvas del óptimo ecológico.

Por otro lado, los macroinvertebrados bentónicos son ampliamente utilizados en evaluaciones de impacto ambiental y recomendado en biomonitoreos, pero son poco usados en ambientes lénticos⁴, así también estas comunidades son los mejores indicadores de contaminación acuática, debido a que son muy abundantes, se encuentran prácticamente en todos los sistemas de agua dulce y su recolección es simple y de bajo costo.

Por todo lo indicado en los párrafos se tomó en cuenta el título de la investigación que será de gran aporte para la obtención de nuevos conocimientos y la aplicación de nuevos métodos de estudio en la determinación de la calidad de agua.

Finalmente, para culminar se presenta la estructura de la investigación que consta del capítulo I en donde se señala el planteamiento del problema, en el capítulo II se advierten indica el marco teórico, en el capítulo III se especifica la metodología de la investigación, en el capítulo IV se enmarca la discusión de resultados, para después señalar las principales conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos de la investigación realizada.





CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

El agua forma parte de todos los procesos naturales de la tierra, por lo que tiene un impacto en todos los aspectos de la vida debido a que cada organismo depende del agua, ésta se ha convertido en el eje primordial del desarrollo de la sociedad a través de la historia, pero también es un recurso limitado, muy vulnerable y escaso en los últimos años, y no existe una conciencia globalizada sobre el manejo razonable que se debe ejercer sobre el mismo (Alba-Tercedor, 1996).

Un ecosistema básicamente es una unidad ecológica en donde se tiene una interacción entre un conjunto de microorganismos y el ambiente; generalmente los ecosistemas acuáticos se caracterizan ya que tienen un tipo de ambiente particular en el cual interactúan el agua con los organismos presentes en ella (Acosta, 2001).

Existen diversos tipos de clasificación de los ecosistemas acuáticos como por ejemplo por el tipo de agua, salada o continental, movimiento del agua, loticos o lenticos, entre otros, cada uno de ellos proporcionan diversas características al ecosistema, por ejemplo, los sistemas loticos que poseen corrientes rápidas proporcionan alta oxigenación de agua favoreciendo la vida

microbiana, fúngica, animal y vegetal, a diferencia de los sistemas lenticos que albergan especies endémicas (Acosta, Ríos, & Rieradevall, 2009).

Las lagunas cuentan con un sistema lentico por lo que en ella se desarrollan ecosistemas ajustados que influyen directamente en la comunidad por ello es que la calidad de agua es esencial para mantener el equilibrio de la comunidad que depende de este tipo de ecosistema (Alba-Tercedor, 1996).

Básicamente los bioindicadores acuáticos son esenciales y eficaces para evaluar el estado y la calidad de un ecosistema ya que estos son muy sensibles a los cambios ambientales y variaciones en el ecosistema así mismo son capaces de responder a diversos grados de tolerancia evaluando el estrés ambiental de las especies, básicamente los macroinvertebrados acuáticos son uno de los principales bioindicadores ya que pueden establecer las características específicas del ecosistema en el cual se desarrollan, pero a pesar de su gran influencia e importancia son muy pocos estudios en los cuales aplican este tipo de metodología para evaluar la calidad de agua (Alonso & Camargo, 2005).

A nivel nacional el uso de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua va incrementando en los últimos años con respecto a la protección de los ambientes acuáticos, pero los estudios de ecosistemas dulceacuícolas son escasos y más aún si este ecosistema se encuentra en zonas altoandinas.

En la región de Huancavelica, la aplicación y estudio de macroinvertebrados acuáticos son exiguas a pesar de que se cuenta con diversas lagunas como la de Ñahuimpuquio que consta de un sistema lentico y sus aguas están destinadas a actividades agrícolas, piscicultura, pastoreo y otros lo que genera impactos antrópicos en este ecosistema el cual se ve afectado en la diversidad y calidad biológica.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la diversidad específica como bioindicador de la calidad de agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022?
- ¿Cuál es la diversidad biológica como bioindicador de la calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Identificar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica – 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

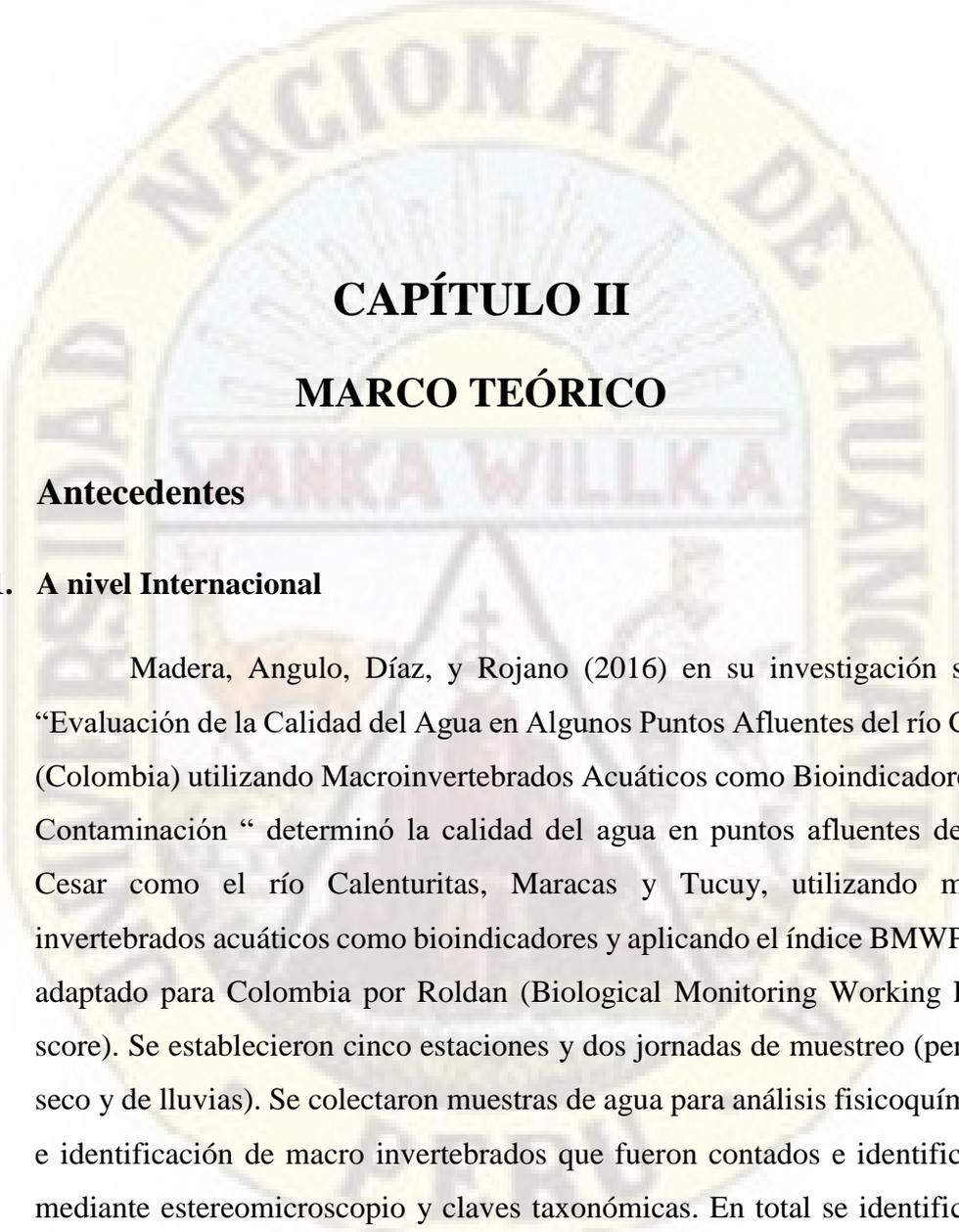
- Señalar la diversidad específica como bioindicador de la calidad de agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica – 2022.
- Indicar la diversidad biológica como bioindicador de la calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022.

1.4. Justificación

La importancia del conocimiento de la relación entre los parámetros físico químicos de calidad de agua con la diversidad de macroinvertebrados acuáticos, radica en que se debe contar con información científica de la misma para conocer el estado de la calidad de agua con métodos rápidos y económicos como la identificación de indicadores biológicos y así hacer frente a los problemas que puedan presentarse como consecuencia de la modificación de la laguna y que podría tener repercusiones en la salud humana y el ambiente, realizando para ello un adecuado manejo del recursos hídrico con la toma de medidas de prevención y/o mitigación, evitando o reduciendo las afectaciones antes mencionadas y las consiguientes pérdidas económicas por el impacto sobre la actividad agrícola que se da en la zona de estudio.

1.5. Limitaciones

La principal limitación fue el acceso a la zona de estudio y la limitada información que se cuenta de la zona.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel Internacional

Madera, Angulo, Díaz, y Rojano (2016) en su investigación sobre “Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación “ determinó la calidad del agua en puntos afluentes del río Cesar como el río Calenturitas, Maracas y Tucuy, utilizando macro invertebrados acuáticos como bioindicadores y aplicando el índice BMWP/Col adaptado para Colombia por Roldan (Biological Monitoring Working Party score). Se establecieron cinco estaciones y dos jornadas de muestreo (periodo seco y de lluvias). Se colectaron muestras de agua para análisis fisicoquímicos e identificación de macro invertebrados que fueron contados e identificados mediante estereomicroscopio y claves taxonómicas. En total se identificaron 1025 organismos, 589 en periodo seco y 436 en periodo de lluvias, pertenecientes a 2 phylum, 3 clases, 9 órdenes, 24 familias y 37 géneros. El valor promedio del índice BMWP/Col define la calidad del agua de la estación 1 (E1) como agua ligeramente contaminada, de calidad aceptable, E2-E3-E4 y

E5 como agua moderadamente contaminada, de calidad dudosa. Agua de la estación E5 presenta el puntaje más bajo de todas las estaciones y las variables fisicoquímicas y microbiológicas más altas.

Núñez (2019), en su investigación sobre “Uso de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación del Agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia)”, determinó la calidad del agua en la Ciénaga Mata de Palma, utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y aplicando el índice BMWP/Col, índices ecológicos de Shannon, Simpson, Margalef y Pielou, con el objetivo de evaluar la calidad del agua y poder implementar acciones de preservación, monitoreo y gestión del ecosistema acuático. En total se identificaron 722 organismos asociados a macrofitas, 439 en periodo de lluvias y 283 en periodo seco, pertenecientes a 2 phylum, 5 clases, 11 órdenes y 20 familias; para los organismos en sedimentos se identificaron 148 organismos, 74 en periodo de lluvias y 74 en periodo de seco, pertenecientes a 3 phylum, 3 clases, 4 órdenes y 8 familias. El valor promedio del índice BMWP/Col para los macroinvertebrados asociados a macrofitas en periodo de lluvias define la calidad del agua de todas las estaciones como aguas ligeramente contaminadas y para el periodo seco como aguas muy contaminadas.

Yépez, Zambrano, Morales, Guerrero, y TayHing (2017), en la investigación sobre “Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador” tuvo como objetivos caracterizar las condiciones físico-químicas del agua, identificar la diversidad de macroinvertebrados bentónicos y determinar la calidad hídrica en dos sitios urbanos de monitoreo del río en la ciudad de Quevedo. Los muestreos se realizaron desde septiembre a noviembre del 2015, en sitios influenciados por descargas de efluentes residenciales (ER) y agrícolas-industriales (EAI). Se midieron los parámetros físico-químicos de calidad del agua: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos disueltos totales. Se estimaron los índices de

riqueza Chao2, diversidad de Shannon-Weiner (H), dominancia de Simpson (1-D) y disimilitud de Bray-Curtis. La calidad del agua fue estimada con el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP-Col). Los valores de los parámetros físico-químicos no presentaron diferencias entre ER y EAI. No existieron diferencias estadísticas entre la riqueza de familias esperada (Chao 2) y la riqueza observada. La familia Tubificidae mostró la mayor abundancia total con 4574 individuos (90.48%), para ER 3918 individuos (93%) y EAI 656 (76%). La diversidad H en ER y EAI fue baja 0.49 ± 0.22 ; 1.009 ± 0.21 respectivamente, y difirieron significativamente. La dominancia más alta la presentó ER (0.78 ± 0.1), y difirió de EAI (0.58 ± 0.096). El índice BMWP-Col indicó que ER registró calidad de agua “crítica” (20 ± 7.52), en comparación a EAI calidad de agua “dudosa” (37 ± 6.27). El cuerpo hídrico que atraviesa la zona urbana de Quevedo se encontró fuertemente contaminado a causa del urbanismo y las actividades agrícolas e industriales lo que influye negativamente en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos.

2.1.2. A nivel Nacional

Minchola (2021), en su tesis sobre “Macroinvertebrados acuáticos indicadores de la calidad del agua del río negro – Aguaytía”, tuvo por objetivo caracterizar la calidad del agua del río Negro – Aguaytía utilizando macroinvertebrados acuáticos. Se identificaron 8 puntos de muestreo en dos zonas específicas (con alteración antrópica y sin alteración antrópica). Posteriormente se obtuvo muestras de agua para determinar los parámetros físicoquímicos determinando así la calidad de agua mediante el índice WQINSF. Los ejemplares de macroinvertebrados acuáticos se recolectaron utilizando la red Surber y la técnica manual para la determinación del índice de Shannon – Weaver (H'), y el índice (BMWP/ Col). En la evaluación del índice WQINSF se determinó que el área sin alteración antrópica la calidad es BUENA, mientras que en el área con alteración antrópica presenta calidad REGULAR. Se reconocieron 842 organismos, distribuidos en 4 clases, 9

órdenes y 12 familias de macroinvertebrados, según el índice de Shannon existe mayor diversidad de especies en el área sin alteración antrópica y el índice BMWP/Col nos determinó que en el área sin alteración antrópica se obtuvo como calidad del agua ACEPTABLE y en el área con alteración antrópica presenta calidad DUDOSA y CRITICA. Además, se pudo determinar que la correlación entre el índice WQINSF y BMWP en las tres fechas de muestreo presenta una correlación positiva y alta.

Cruz (2020), realizó una investigación sobre “Determinación de la calidad de agua en áreas circundantes a la represa del Pañe - Arequipa, empleando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores (noviembre, diciembre 2017 - abril 2018)” en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, donde tuvo como objetivo primordial evaluar los cambios de la calidad de agua empleando índices bióticos y de diversidad específica en macroinvertebrados en áreas circundantes a la represa del Pañe, la metodología fue de enfoque cuantitativo, diseño no experimental, realizó la colecta de macroinvertebrados con la red de D, como resultados obtuvo alrededor de 55 taxa con 36 familias, 22 órdenes, 10 clases y 5 Phylum, en cuanto a la riqueza obtuvo 52 taxones y el 73% se encuentra presente en todos los meses, en cuanto a abundancia obtuvo un total de 59430 individuos, con mayor abundancia el phylum Annelida, en la diversidad de macroinvertebrados obtuvo mayor presencia *Cricotopus* sp., en índices de diversidad existen valores en los rangos de 1.22 – 2.21 mediante el índice Shannon, y un rango de 1.52 – 7.60 mediante el índice Margalef, en cuanto al índice de similitud obtuvo un valor de 35%, en la calidad de agua obtuvo crítica determinando que son aguas contaminadas mediante el índice BMWP, i mediante el índice ABI obtuvo un índice de calidad de malo a bueno, finalmente concluye que existe una mayor riqueza y abundancia así como una alta diversidad.

Peralta (2019) desarrollo una investigación denominada “Situación de la calidad de agua de la laguna Huacachina en base a indicadores biológicos” en la Universidad Ricardo Palma donde tuvo como objetivo evaluar la calidad

de agua en función a indicadores biológicos como macroinvertebrados y microalgas en la laguna Huacachina, como metodología empleo un tipo de investigación básica, con un método no experimental correlacional, la población de estudio fueron las comunidades de microalgas e invertebrados bentónicos, contó con 12 muestras para el análisis, realizó una colecta de muestras cuantitativas y cualitativas para estudios taxonómicos, los principales resultados fueron: temperatura de 31°C, DQO de 16.7 mg O₂/L, y el oxígeno disuelto de 7 mg O₂/L, en cuanto al índice de Shannon obtuvo un valor de 1.46 nats/individuo, en cuanto al índice BMWP evidencio un agua de clase V muy crítica, concluyendo que los indicadores de calidad ambiental generan altos índices de confiabilidad en cuanto a la determinación de la calidad de agua.

Pezo (2018), en su investigación sobre “Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua para Regadío del Río Cumbaza” de la Universidad Nacional de San Martín, que tuvo como objetivo evaluar la calidad de agua del río Cumbaza por medio de la identificación de la familia de macroinvertebrados en función a los parámetros fisicoquímicos, la metodología de investigación fue de tipo básica, nivel correlacional descriptivo, la población y muestra fueron de 4 estaciones, de donde obtuvo los siguientes resultados: colecto 678 macroinvertebrados contando con la clase insecta y gastrópoda, con 10 órdenes y 21 familias, y mediante el índice BMWP obtuvo la clasificación en la categoría II y III indicando mediana contaminación, en cuanto a los parámetros fisicoquímicos evaluó cloruros, sulfatos, nitratos, oxígeno disuelto y conductividad indicando que los valores hallados se encuentran dentro de los límites establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3 (riego para vegetales y bebida de animales), finalmente concluye que existe una correlación positiva y significativa entre las condiciones ambientales y la presencia de macroinvertebrados en la cuenca del Río Cumbaza.

Coronel (2021), en su tesis de grado sobre “Evaluación de la calidad de agua a partir de indicadores biológicos del río Chira” tuvo como objetivo

evaluar y determinar la calidad del agua del río Chira utilizando como bioindicadores las bacterias (coliformes termotolerantes), peces, plantas y macroinvertebrados acuáticos y algunos parámetros fisicoquímicos, los mismos que fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Agua según Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. El análisis microbiológico para determinar los coliformes termotolerantes se hicieron por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (tubo múltiple) y fueron comparados con los ECA. La colecta botánica se realizó sobre el espejo del agua del río Chira y en las riberas en las diferentes zonas de muestreo y solo se colectó las plantas bioindicadoras. Los peces fueron colectados mediante redes, anzuelos y atarraya. Para determinar el estado de la calidad del agua del río Chira se utilizó el Índice de Integridad Biótica (IBI) modificado por Rodríguez –Olarte et al. (2007) del modelo diseñado por Karr (1981) y mejorado por él mismo en 1991 en Valenzuela (2014). La determinación de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en el río Chira se realizó con la ayuda de un estereoscopio Labomed y claves taxonómicas como las de Oscoz, Galicia y Miranda (2009), Domínguez y Fernández (1994) en Lizboa et al. 2018. Para la determinación de la calidad de agua en los puntos de muestreo del río Chira se utilizó el Índice BMWP adaptado en el nPeBMWP – Biological Monitoring Working Party para los ríos del norte del Perú, en Lizboa et al., (2018). Los valores de la temperatura del agua del río Chira oscilaron entre 27,4 a 28,9 °C; de la Conductividad oscilaron entre 373 a 1 167 uS/cm; de los Sólidos Disueltos Totales oscilaron entre 187 y 550 mg/L; de la Unidad Nefelométrica de Turbidez variaron entre 2,42 y 58,4 UNT; del pH varió entre 7,28 a 4,42. Los valores de temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales y pH cumplen con los ECA para el agua. Los valores de la UNT no cumplen para la Subcategoría A1 de los ECA. Los valores de oxígeno disuelto están dentro de los límites permitidos por el ECA, excepto en la zona del Puente viejo. Las densidades de coliformes termotolerantes fueron mayores (5 700 a 160 000 NMP/100ml) establecido en el ECA, lo cual indica que las aguas no están dentro los parámetros normales del ECA. Las plantas registradas (*Eichhornia crassipes* y otras) en el río Chira indica que las aguas

están contaminadas. Así mismo en el análisis de los peces el IBI indica aguas de mala a pésima calidad. Según el estudio de los macroinvertebrados los valores indican que las aguas del río Chira son de regular calidad. Se concluye que, en el periodo del estudio, las aguas del río Chira se encuentran contaminadas en distinto grado, planteándose una serie de pautas y recomendaciones, entre ellas se sugiere que se culmine la construcción de la PTAR en este año.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Macroinvertebrados acuáticos

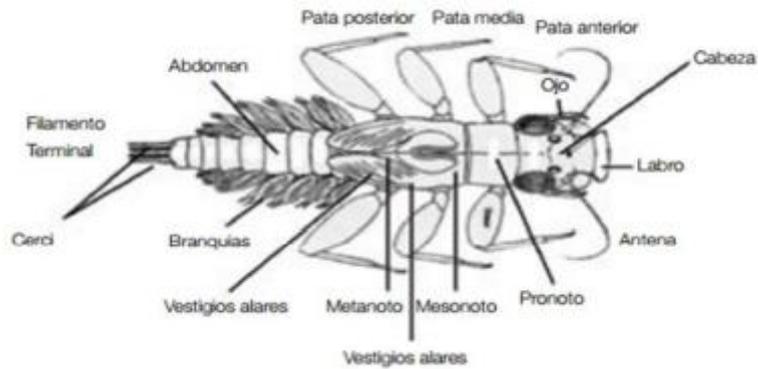
Los macroinvertebrados acuáticos son organismos abundantes y ubicuos, los cuales son sensibles a perturbaciones ambientales específicamente en el sistema acuático, tienen una respuesta negativa a cualquier tipo de contaminación del agua como acidificación, alteración del hábitat y eutrofización del cuerpo de agua, y a diferencia de otras especies acuáticas generan la identificación precisa de los cambios o perturbaciones ocurridas en el ambiente acuático (Chacón & Rivas, 2009).

Los macroinvertebrados acuáticos son bichos que se aprecian a simple vista, miden entre 2 a 30 centímetros, lo cual los hace fácilmente identificables a simple vista, pertenecen al grupo de los invertebrados ya que no presentan huesos, viven en ambientes acuáticos dulces como ríos, quebradas, lagunas o lagos, conviven con especies como artrópodos, moluscos y anélidos (Chacón & Rivas, 2009).

Existen diferentes tipos de formas en las cuales se presentan los macroinvertebrados acuáticos que son: redondeados, alargados, espiralados y ovalados, algunos no cuentan con patas y otros presentan hasta 10 patas, y generalmente presentan las siguientes partes:

Figura 1.

Partes de un macroinvertebrado en estado larval



Fuente: (Chacón & Rivas, 2009)

2.2.1.1. Familias de macroinvertebrados

Existen cuatro grandes familias de macroinvertebrados acuáticos, los cuales son:

a. Efemerópteros

Proviene del latín *ephemeros* que significa dura un día, y *pteros* que es alas, por ende, los macroinvertebrados de esta familia viven algunas horas, generalmente emergen por la tarde y fallecen por el alba, cuentan con un ciclo de vida incompleto ya que solo tienen el proceso de huevo, ninfa y adulto por lo que no pasan por la etapa de pupa que generalmente tiene un lapso de un año, al final de todo el proceso los adultos poseen colores pardos o amarillos (Chacón & Rivas, 2009).

b. Plecópteros

Parte de la familia de los macroinvertebrados acuáticos, cuentan con cabeza, antenas generalmente largas, alas membranosas y ojos compuestos, pueden medir hasta 5 cm (Chacón & Rivas, 2009).

c. Tricópteros

Forma parte de una orden de insectos pterigógenos, poseen cuerpo blando, aparato bucal adaptado para la absorción de líquidos, cuentan con alas delicadas, sus antenas son alargadas y finas miden desde 2 a 20 mm de longitud (Chacón & Rivas, 2009).

d. Dípteros

El nombre proviene de dos palabras en latín, di que significa dos y pteron de significado alas, lo cual indica que la especie de dípteros son macroinvertebrados que poseen un par de alas similares a los balancines lo cual es conocido como halaterios (Chacón & Rivas, 2009).

2.2.1.2. Descripción de los principales macroinvertebrados

- a. Orden Ephemeroptera. Las ninfas de Ephemeroptera viven por lo regular en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas; sólo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación. En general se consideran indicadores de buena calidad del agua (Roldán, Fundamentos de Limnología Neotropical, 1992).
- b. Orden Coleoptera. La mayoría de Coleoptera acuáticos viven en aguas continentales lólicas y lénticas. En las zonas lólicas los sustratos más representativos son troncos y hojas en descomposición, grava, piedras, arena y la vegetación sumergida y emergente. Las zonas más ricas son las aguas someras en donde la velocidad de la corriente no es fuerte, aguas limpias, con concentraciones de oxígeno alto y temperaturas medias (Roldán, Fundamentos de Limnología Neotropical, 1992).
- c. Orden Odonata. Los Odonata viven en pozos, pantanos, márgenes de lagos y corrientes lentas y poco profundas, por lo regular, rodeados de abundante vegetación acuática sumergida o emergente. Viven en aguas limpias o ligeramente eutrofizadas (Roldán, Fundamentos de Limnología Neotropical, 1992).

- d. Orden Trichoptera. Las larvas viven en diversos ambientes acuáticos, la gran mayoría de las especies habita en ríos y quebradas de aguas limpias y bien oxigenadas. El desarrollo larval puede durar entre varios meses hasta años, dependiendo de la especie y también de los factores ambientales, mientras que el estadio de la pupa dura alrededor de dos semanas y se desarrolla también dentro del agua (Resh & Rosenberg, 1984). En los ambientes acuáticos, especialmente ríos y quebradas, los tricópteros juegan un papel importante, tanto en las cadenas alimenticias, como en el reciclaje de nutrientes. Debido a su gran diversidad y el hecho que las larvas poseen distintos rangos de tolerancias, según la familia o el género al que pertenecen, son muy útiles como bioindicadores de la calidad de agua y la salud del ecosistema (Resh & Rosenberg, 1984).
- e. Orden Plecóptera. Los plecópteros tienen un importante papel en los ecosistemas lóticos, ya que desempeñan un rol vital en la estructura y la producción secundaria de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos; se encuentran generalmente en aguas rápidas, turbulentas, frías; se ha observado en ciertos casos que son especialmente abundantes en riachuelos con fondo pedregoso, de corrientes rápidas y muy limpias situadas alrededor de los 2000 metros de altura. Son, por tanto, indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas (Stewart & Stark, 2002).

2.2.2. Calidad de agua

El término Calidad de Agua hace referencia a la condición general que permite que el agua se utilice para usos concretos, La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América señala que la calidad de agua está definida como las características físicas, químicas, biológicas y estéticas (apariencia y olor) del agua.

Algunos autores sostienen que la calidad del ambiente acuático es definida como la composición y bienestar de la biota en un cuerpo de agua (Chapman, 1996), al evaluar la calidad de las aguas mediante el estudio de la

composición y estructura de comunidades de organismos surge el término de calidad biológica. Se considera que un medio acuático presenta una buena calidad biológica cuando tiene características naturales que permiten que en su seno se desarrollen las comunidades de organismos que les son propias (Alba-Tercedor, 1996).

En este sentido los estudios limnológicos están orientados a la determinación de las características físico-químicas del agua y de las comunidades asociadas a ellas, ya que es parte del principio de que a cada tipo de ecosistema está asociado una determinada comunidad de organismos; de manera que la calidad del agua está determinada por la hidrología, la físico-química y la biología de la masa de agua (Margalef, 1983)

Para los estudios hidrológicos, el análisis de la calidad del agua comprende principalmente la evaluación de las aguas superficiales: agua de lluvia, escorrentías, lagos, lagunas, ríos, caudal freático que aflora, entre otros.

2.2.2.1. *Parámetros de la calidad de agua*

Los parámetros de la calidad de agua son:

2.2.2.1.1. *Parámetros físicos*

Son los que definen las características organolépticas del agua y que responden a los sentidos de la vista, tacto, gusto y olfato como pueden ser los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura.

A. Turbiedad

Se determina como la dificultad que tiene el agua para dejar traspasar la luz debido a materiales insolubles que se encuentran suspendidos, en la mayoría de los casos son muy finos y se presenta dificultad al momento de decantar y filtrar, en algunas de las actividades a los cuales se puede destinar el agua se presenta una interrupción debido a la aparición de estos materiales que se

encuentran suspendidos. Para realizar la medición de este parámetro se hace una comparación con la turbidez que presentan diferentes sustancias, estos valores se representan en ppm de sílice (Alonso & Camargo, 2005).

Los valores que suelen presentar las aguas subterráneas son inferiores a 1 ppm de sílice, estas aguas son muy cristalinas y permiten traspasar la luz hasta unos fondos de 4 o 5 m, mientras que las superficiales pueden llegar a alcanzar varias decenas, pero lo máximo admisible es 10 ppm para que no se presente una interferencia por parte de ellas en algún proceso (Stewart & Stark, 2002).

B. Temperatura

Es un componente abiótico encargado de regularizar algunos procesos significativos para los organismos vivos, además de tener la capacidad para cambiar algunas propiedades físicas y químicas de los ecosistemas acuáticos, propiedades tales como la solubilidad de nutrientes, gases y el grado de toxicidad, pH, densidad y la viscosidad factor que desempeña un importante rol en el agua ya que de ella depende la estructura física de peces, larvas e insectos en los ambientes lóticos, factor que afecta notoriamente tanto la composición como la distribución de los integrantes de un ecosistema la temperatura nos indica que hay un discrepancia de energía que provoca la transferencia de calor (Rojas, 1996)r.

La temperatura en el agua tiene gran importancia debido a que estudios han comprobado que afecta notoriamente el desarrollo de un protozooario una vez la temperatura sobrepase los 10 °C y así mismo sucede con otros organismos acuático (Rojas, 1996)s.

C. Solidos disueltos

Es la medida de la cantidad de materia que se encuentra disuelta en el agua, se determina a partir de un proceso de evaporación de cierto volumen de agua que ha sido previamente filtrada. Estos sólidos pueden tener como origen orgánico o inorgánico (Martinez, 2004).

Al igual que el resto de sólidos generan una serie de complicaciones para el desarrollo de la vida de aquellos organismos que habitan en un sistema acuático, en cuanto al valor máximo para las aguas potables se establece una cantidad deseable de 500 ppm (Mihelcic, 2001).

En cuanto a sus procesos de tratamiento se encuentran; precipitación, intercambio iónico, destilación, electrodiálisis y ósmosis inversa (Carretero & Pozo, 2007).

D. Conductividad

Es una expresión numérica de la capacidad que posee el agua para transportar una corriente eléctrica, por tal razón este parámetro depende de la concentración de sustancias ionizadas que se encuentran disueltas en el agua, además de otros parámetros como la temperatura y a su vez se encuentra relacionada a la concentración de sólidos disueltos (Fregusson, 1990).

2.2.2.1.2. *Parámetros químicos*

Los parámetros químicos que se pueden evaluar en el agua son:

A. Alcalinidad

Es la capacidad que presenta el agua para neutralizar ácidos, además de la capacidad de reaccionar con iones hidrógeno, parámetro de gran importancia para procesos como coagulación, ablandamiento, control de corrosión. Las aguas naturales pueden registrar altas

concentraciones de alcalinidad debido a la presencia de compuestos de bicarbonato, carbonatos e hidróxidos (Rojas, 1996).

B. Dureza

Es la concentración de los cationes metálicos no alcalinos es decir iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos y bicarbonatos, bajo la presencia de estos compuestos se puede producir las incrustaciones calcáreas es decir que se puede producir partículas sólidas que quedan suspendidas en el sistema acuática, casi siempre se deben a que hay vertimientos de aguas industriales, sin embargo no hay que dejar de lado que la presencia de calcio en las aguas naturales tiene como origen en la lixiviación de algunos terrenos que poseen cierto porcentaje de material calizo (García, 2010)

C. Ph

Es la forma de expresar la concentración de ión hidrógeno ó más exactamente, la actividad del ión hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total (Mihelcic, 2001).

En el suministro de aguas es un factor que debe considerarse con respecto a la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión. En las plantas de tratamiento de aguas residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro de un intervalo favorable a los organismos. Tanto por estos factores como por las relaciones que existen entre pH, alcalinidad y acidez es importante entender los aspectos teóricos y prácticos del pH (Mihelcic, 2001).

D. Nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal

El nitrógeno amoniacal se encuentra presente en aguas residuales sin tratar, debido a que las bacterias hacen el proceso de descomposición, transformando el nitrógeno orgánico en amoniacal, en la naturaleza debido a la presencia de O₂, se da paso a la transformación de amoniacal a nitrito y éste pasa rápidamente a nitratos, que es la forma más oxidada que se encuentra el nitrógeno en el agua (Martínez, 2004).

El exceso de nutrientes y nitrógeno en el agua ocasiona que las plantas y otros organismos crezcan rápidamente y cuando termine su ciclo de vida e inicie su proceso de descomposición la calidad del agua cambia totalmente debido a la alta carga de materia orgánica presente (Martínez, 2004).

E. Oxígeno disuelto

Es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua, parte de este oxígeno es el mismo que se encuentra en el aire solo que se ha mezclado con el agua, suceso que ocurre cuando en un sistema acuático hay turbulencia, motivo por el cual en los ríos con bajas velocidades o quizás con velocidad nula, presentan un nivel muy bajo de oxígeno disuelto, la otra parte es resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas (Carretero & Pozo, 2007).

Este parámetro del agua indica cómo está contaminada el agua, en cuanto mayor sea el nivel de oxígeno disuelto en el agua mayor es su calidad, mientras menor sea el nivel indica que su calidad es muy baja y que además presenta desventaja para algunos organismos acuáticos que no poseen la habilidad para adaptarse a tan estrechas condiciones. Los factores que pueden alterar al oxígeno disuelto son la salinidad, la temperatura y la altitud (Carretero & Pozo, 2007).

F. Demanda química de oxígeno

Este parámetro mide el oxígeno equivalente de sustancias orgánicas e inorgánicas en una muestra acuosa que es susceptible a la oxidación por dicromato de potasio en una solución de ácido sulfúrico además se emplea para estimar el contenido de orgánicos en aguas y aguas residuales (Fregusson, 1990).

Este parámetro se puede ver afectado por factores como la presencia de compuestos orgánicos que son oxidables por el dicromato no son bioquímicamente oxidables (Fregusson, 1990).

2.2.3. Bioindicadores

Los bioindicadores o indicadores biológicos son atributos de los sistemas biológicos que se emplean para estudiar alguna característica de su ambiente. Estos atributos suelen ser especies o asociaciones de éstas, y también incluso poblaciones y comunidades (Aguirre, 2011).

De esta manera el bioindicador aplicado a la evaluación de calidad de agua, se define como: especie, población o comunidad que posee requerimientos particulares con relación a uno o un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia/ausencia, número, morfología o de conducta de esa especie en particular, indica que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia (Rosenberg & Resh, 1993).

2.2.3.1. Índices biológicos

Los índices biológicos de calidad de las aguas estudian parámetros o aspectos biológicos del medio acuático, cuyos cambios indican la existencia de alteraciones de dicho medio. Están basados, pues, en la correspondencia entre las características del medio y los organismos que en él se desarrollan (Margalef, 1983).

Constituyen una herramienta que mide la calidad del agua en función de los organismos indicadores que la habitan. Dependiendo de la sensibilidad

que cada organismo tiene a la contaminación, el índice biológico le asigna un valor y la suma de los valores de la comunidad da un número que indica el estado del medio en este punto o tramo.

Existen dos tipos de índices biológicos reconocidos, que son el índice de monitoreo biológico (BMWP) e índice ABI:

- a. Índice BMWP: El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Este método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia) (Roldán, 2003). El BMWP es un índice de fácil utilización y de aplicabilidad, las familias de los macroinvertebrados acuáticos se ordenan en 10 grupos siguiendo un gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. A cada familia se le hace corresponder una puntuación que oscila entre 10 y 1. Con este sistema de puntuación es posible comparar la situación relativa entre estaciones de muestreo (Roldán, 2003).

Tabla 1.
Clasificación de las aguas; significados ecológico y colores de acuerdo al índice BMWP

Clase	Calidad	Significado	Color
I	Buena	Aguas muy limpias a limpias	AZUL
II	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	VERDE
III	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	AMARILLO
IV	Crítica	Aguas muy contaminadas	NARANJA
V	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	ROJO

2.2.3.2. Índices de diversidad específica

Existe la necesidad de tomar medidas de las variables bióticas, en este caso la diversidad, debido a que esta permite describir los componentes del sistema (Pimentel, 2014). Si se encuentran cambios en la magnitud de la diversidad, estos pueden ser utilizados para explicar acciones de protección para determinados ecosistemas.

a. Índice de Shannon Wiener (H')

Este índice considera la riqueza y abundancia, empleando una escala logarítmica; cero (0) es cuando hay una sola especie, toma el máximo valor cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos. En el contexto de los ecosistemas fluviales este índice adquiere un valor máximo de 4.5 bits/individuo para las comunidades de macroinvertebrados bentónicos. Valores inferiores a 2.4-2.5 bits/individuo son indicativos de que el ecosistema se encuentra sometido a tensión. Este índice disminuye mucho en aguas muy contaminadas (Pino, y otros, 2003).

La fórmula de hallar este índice es:

$$H' = \sum_{i=1}^s p_i \times \ln p_i$$

Donde:

S = número total de especies (riqueza de especies)

p_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i): n_i / N

n_i = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos de todas las especies

b. Índice de Margalef (DMg)

Generalmente usado en ecología para determinar la biodiversidad de una comunidad en un ecosistema, basándose en la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número total de individuos en la muestra. Valores inferiores a 2.0 son relacionados a zonas con baja diversidad y valores superiores a 5.0 indican una alta diversidad (Magurran, 2004).

Para el cálculo de este índice se emplea la siguiente formula:

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln(N)}$$

Donde:

S = número total de especies (riqueza de especies)

N = número total de individuos de todas las especies

c. Índice de Simpson (DS)

Este índice se deriva de la teoría de la probabilidad y funciona como la probabilidad de extraer dos individuos al azar que sean de la misma especie (Moreno, 2001). Los valores se dan en un rango de 0 a 1; siendo mayor cuando se aproxima a uno y menor al acercarse a cero, lo que indicaría una mayor diversidad.

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$D_s = \sum p_i^2$$

Donde:

S = número total de especies (riqueza de especies)

p_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i): n_i / N

n_i = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos de todas las especies

2.2.3.3. *Macroinvertebrados como bioindicadores*

Los ecosistemas acuáticos albergan en sus aguas un sinnúmero de organismos y especies acuáticas, quienes ante alguna perturbación sea esta de carácter antrópica o natural que se genere, son los primeros en darnos la respuesta de la calidad de agua que se tiene en la zona, puesto que al estar presentes en los ecosistemas acuáticos serán los primeros en decirnos que es lo que está sucediendo (Aguirre, 2011).

Muchos investigadores consideran a los macroinvertebrados acuáticos como excelentes indicadores de la calidad de agua debido a que revelan las condiciones del hábitat a través del tiempo; Roldán (1999) menciona a los macroinvertebrados como una herramienta idónea para caracterizar biológicamente la calidad de agua, siendo esta de vital importancia para la conservación y control del medio ambiente.

Además, Álvarez (2005) indica que los macroinvertebrados son apreciados como parte de la cadena trófica, por lo que juegan un papel indispensable del flujo natural tanto de energía y nutrientes, de manera que las perturbaciones ocasionadas al hábitat provocan su desaparición lo cual causa un desequilibrio en las cadenas alimenticias.

2.3. Definición de términos

- a) **Macroinvertebrados acuáticos.** En la vigilancia y control de la contaminación, en base a organismos como “bioindicadores”, existe multitud

de metodologías que utilizan una amplia variedad de organismos: bacterias, protozoos, algas, macrófitos, macroinvertebrados, peces (Alonso & Camargo, 2005). De todas las metodologías, aquellas basadas en el estudio de los macroinvertebrados acuáticos son las mayoritarias. Las razones fundamentales de esta preferencia por parte de los investigadores radican en: su tamaño relativamente grande (visibles a simple vista), que su muestreo no es difícil y que existen técnicas de muestreo muy estandarizadas que no requieren equipos costosos; además, presentan ciclos de desarrollo lo suficientemente largos que les hace permanecer en los cursos de agua el tiempo suficiente para detectar cualquier alteración, y la diversidad que presentan es tal que hay una casi infinita gama de tolerancia frente a diferentes parámetros de contaminación (Chacón & Rivas, 2009).

- b) **Calidad de agua.** Una serie de factores determinan la calidad del agua. Científicos miden los niveles de sustancias químicas y observan la presencia de los seres vivos (o en algunos casos, ausencia), esto indica que el agua está contaminada (Minchola, 2021).
- c) **Índices bióticos.** Los índices bióticos son una de las maneras más comunes de establecer la calidad biológica de los ríos. Se suelen expresar en forma de un valor numérico único que sintetiza las características de todas las especies presentes. Habitualmente consisten en la combinación de dos o tres propiedades de la asociación: la riqueza de taxa y la tolerancia/intolerancia a la contaminación para los índices cualitativos, y estos junto a la abundancia (absoluta o relativa) para los índices cuantitativos (Roldán, 2003).
- d) **Índice Simpson.** El índice de Simpson es un índice de dominancia más que de diversidad y representa la probabilidad de que dos individuos escogidos al azar pertenezcan a la misma especie (Moreno, 2001).
- e) **Índice Shannon.** El índice de diversidad Shannon mide la probabilidad de seleccionar todas las especies en la proporción con que existen en la población.

El índice H aumenta a medida que: 1) aumenta el número de especies 2) los individuos se distribuyen homogéneamente (Moreno, 2001).

- f) **Índice Margalef.** Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos (Moreno, 2001).
- g) **Índice BMWP.** El Biological Monitoring Working Party (BMWP') es un índice biótico cualitativo, que toma en cuenta solo la presencia o ausencia de las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos a las cuales se les atribuye un puntaje de acuerdo a su tolerancia a la contaminación orgánica (Moreno, 2001).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, tienen una relación significativa.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- La diversidad específica como bioindicador de la calidad de agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, tienen una relación significativa.
- La diversidad biológica como bioindicador de la calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, tienen una relación significativa.

2.5. Variables

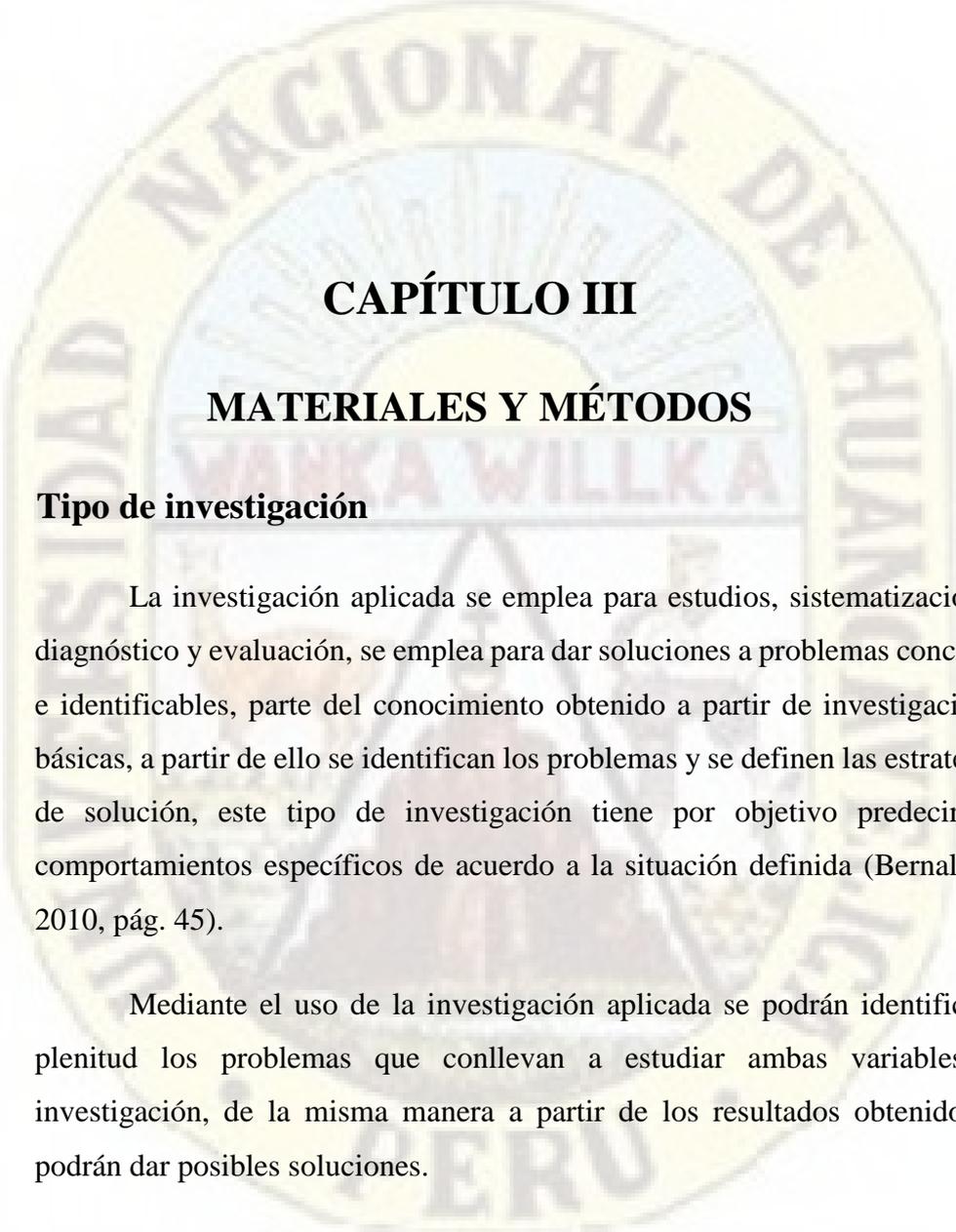
- Macroinvertebrados acuáticos

- Calidad de agua

2.6. Operacionalización de variables

Tabla 2.
Operacionalización de variables

Variable	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala
Macroinvertebrados acuáticos	Se colectarán las especies que presenta en la laguna y se evaluarán microscópicamente.	Índice Simpson	Cantidad de especies de acuerdo al género y familia	Nominal
		Índice Shannon	Cantidad de especies de acuerdo al género y familia	Nominal
		Índice Margalef	Cantidad de especies de acuerdo al género y familia	Nominal
		Índice BMWP	% de sensibilidad	Nominal
Calidad de agua	Se tomarán muestras de agua para determinar la calidad de agua.	Parámetros físicos	Temperatura Oxígeno disuelto Conductividad eléctrica	Nominal
		Parámetros químicos	pH	Nominal



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo de investigación

La investigación aplicada se emplea para estudios, sistematizaciones, diagnóstico y evaluación, se emplea para dar soluciones a problemas concretos e identificables, parte del conocimiento obtenido a partir de investigaciones básicas, a partir de ello se identifican los problemas y se definen las estrategias de solución, este tipo de investigación tiene por objetivo predecir los comportamientos específicos de acuerdo a la situación definida (Bernal C. , 2010, pág. 45).

Mediante el uso de la investigación aplicada se podrán identificar a plenitud los problemas que conllevan a estudiar ambas variables de investigación, de la misma manera a partir de los resultados obtenidos se podrán dar posibles soluciones.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación correlacional, consiste en “establecer el grado de relación o asociación no causal existente entre dos o más variables, caracterizándose por medir las variables, las hipótesis correlacionales,

seguidamente por medios estadísticos se halla el grado de correlación que tienen entre dos o más variables” (Avila, 2006).

El presente proyecto de investigación será correlacional ya que se requiere establecer el grado de correlación entre la calidad de agua y los macroinvertebrados acuáticos.

3.3. Método de investigación

3.3.1. Método general

El método científico es un procedimiento a seguir, para responder las preguntas que se plantean en una investigación y buscar una solución a través del uso de técnicas e instrumentos, del mismo modo es usado para plantearse problemas científicos y probar las hipótesis en la investigación (Borja, 2012, pág. 8).

La investigación a desarrollar empleará el método científico, ya que para desarrollarse se hizo uso de los procedimientos propios de este método los cuales fueron: identificación del problema, objetivo de investigación, planteamiento de hipótesis, interpretación de resultados y conclusiones.

3.3.2. Métodos específicos

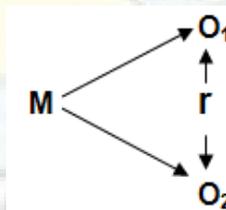
El método cuantitativo permite conocer la realidad de los casos mediante la recolección de información o datos para su posterior análisis, este método de investigación se basa en la cuantificación del caso que estudia **Fuente especificada no válida..**

Mediante la aplicación de este método se pudo manifestar que las variables son cuantificables al convertirlas en valores numéricos y obtener resultados, ya que todas las etapas por las que cruza una investigación con este método mantienen un orden riguroso en tanto todo ese esquema clarifica las relaciones entre ambas variables, formando una estructura ordenada para llegar a un buen resultado.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación será no experimental, afirma Carrasco (2006), analizan y estudian los hechos y fenómenos de la realidad después de su ocurrencia. Este diseño de investigación, es aquella cuyas variables carecen de manipulación intencional, no tienen grupo de control, ni mucho menos experimental.

Porque el objetivo es determinar la relación entre los macroinvertebrados acuáticos y la calidad de agua, en la cual se realizará el análisis de la interrelación e incidencia en un momento dado (2017).



Dónde:

M : Muestra seleccionada.

O1 : Macroinvertebrados acuáticos

O2 : Calidad de agua

r : Relación.

3.5. Población, muestra y muestreo

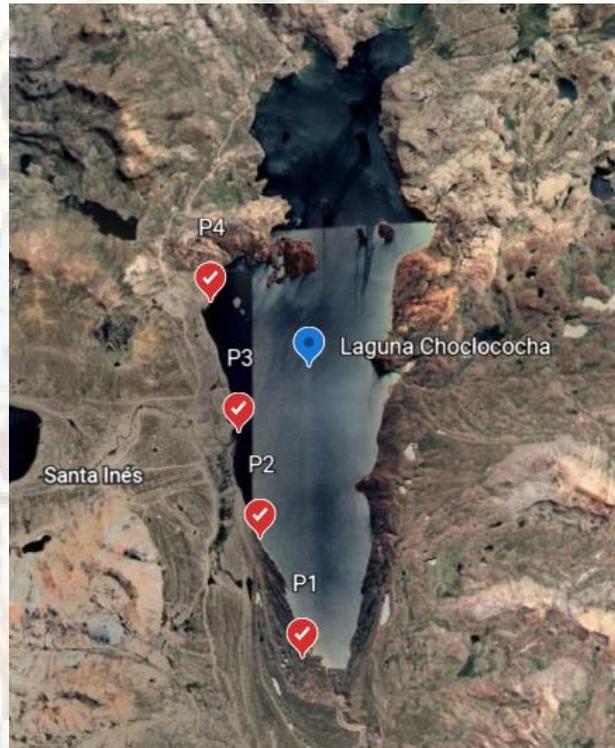
3.5.1. Población

La población es el conjunto de elementos, individuos u objetos que poseen ciertas características comunes en espacios y tiempos determinados, algunas de las características observables son la homogeneidad, tiempo, espacio y cantidad (Avila, 2006, pág. 72).

Para el estudio a desarrollar se identificó a la población que se encuentra conformada por 4 puntos de muestreo con las siguientes coordenadas:

Figura 2.

Puntos de muestreo en la laguna Choclococha



3.5.2. Muestra

Forma parte de la población y se encuentra delimitada como el subconjunto de la población, para la obtención de la muestra representativa es necesario conocer la calidad y representatividad del conjunto (Avila, 2006, pág. 83).

Para el presente estudio la muestra identificada es del total de la población ya que se busca evaluar la mayor cantidad de casos posibles para la obtención de mejores resultados en la investigación. La muestra fue de 4 puntos de muestreo de los cuales se colectaron los macroinvertebrados y las muestras de agua para su respectiva caracterización.

3.5.3. Muestreo

El muestreo no probabilístico por conveniencia según Bernal (2010), “es un método para la obtención de la muestra la cual está definida por el investigador ya que va a depender del criterio que utilice para elegir los elementos que desea analizar siguiendo ciertos parámetros para la selección de dichos elementos”.

Para la presente investigación se aplicó el muestreo no probabilístico por conveniencia para realizar la colecta de muestras de agua tanto para la evaluación de la calidad de agua y los macroinvertebrados acuáticos,

3.6. Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.6.1. Técnicas

La observación participante es la investigación que implica la interacción general entre el científico y los informadores en la escena social, ambiente o contexto de los modernos, y durante la cual se acopian datos de modo sistemático y no intrusivo, involucra la elección del escenario social, el acceso a ese escenario, habitualmente una ordenación o institución (Taylor & Bogdan, 1984).

Se aplicará la técnica de la observación para la evaluación de los macroinvertebrados acuáticos.

3.6.2. Instrumentos

La guía de observación se utiliza como herramienta de medición en muy diversas circunstancias, la cual consiste en la anotación válida y confiable del comportamiento o conducta (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014).

Para la investigación se empleará una ficha de observación de los macroinvertebrados acuáticos el cual será evaluado mediante un microscopio en el laboratorio.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

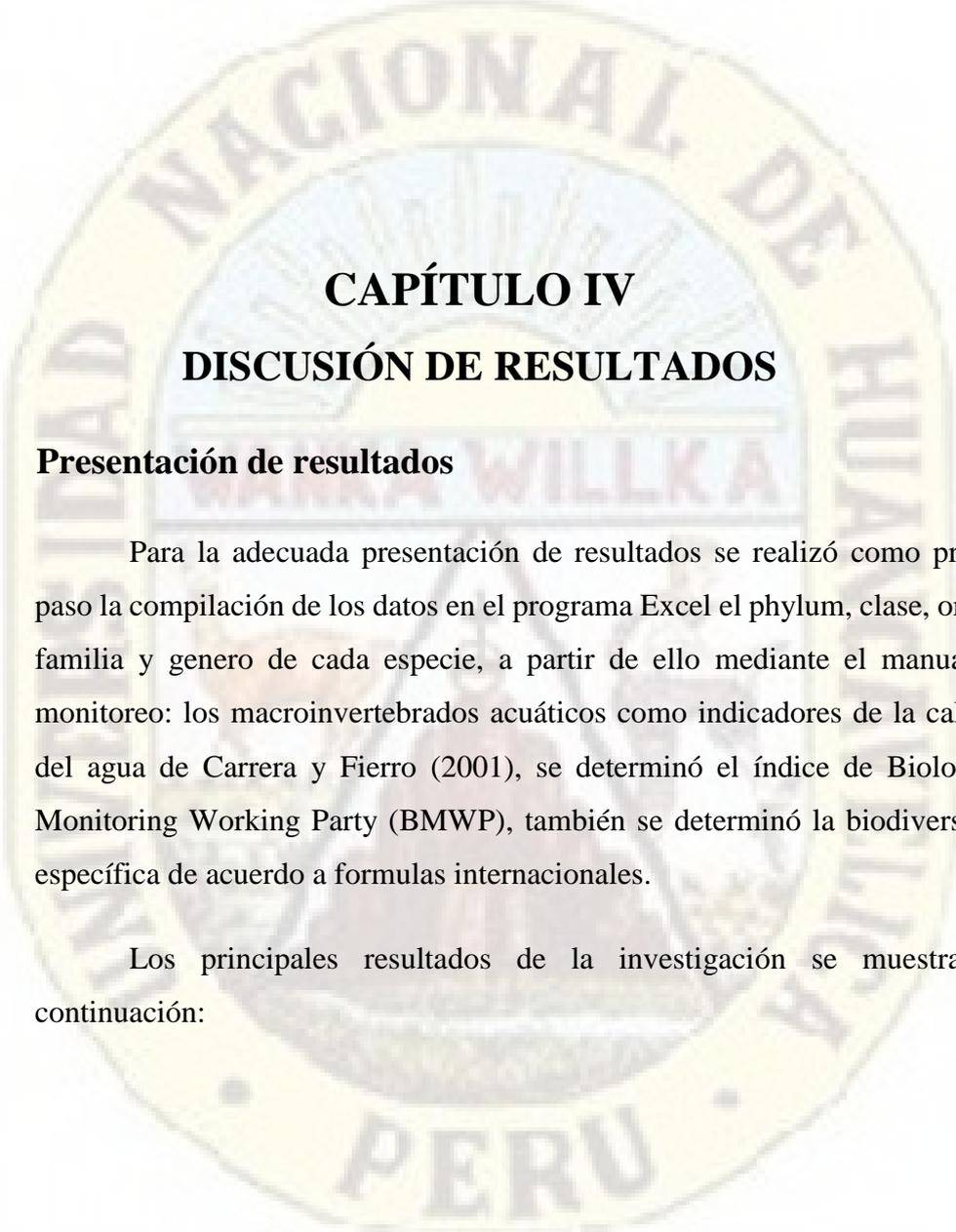
Para realizar el procesamiento del análisis de los datos Arias (2006), define que en la investigación científica se emplean básicamente dos técnicas, la estadística descriptiva y la estadística diferencial.

La estadística descriptiva se basa en el procesamiento de los datos obtenidos a partir de las técnicas e instrumentos empleados, este análisis de datos en ciertos programas los cuales procesarán la información que se le proporciona, por lo general los resultados se dan en forma de gráficos y tablas de frecuencia los cuales ayudan a el mejor entendimiento del análisis que se tiene en la investigación.

Para la investigación presentada se utilizará la estadística descriptiva a fin de obtener óptimos el procesamiento que se dará en la investigación será mediante el programa SPSS versión 25, así mismo se tendrá una base de datos en Excel para facilitar el proceso de análisis de los resultados, a partir del análisis de los datos se presentarán los resultados por medio de tablas y figuras que tendrán los datos en porcentajes y frecuencias.

La estadística inferencial es aquella técnica que se emplea con la finalidad de tomar ciertas decisiones partiendo del procesamiento de una información obtenida a partir de la población, esta estadística es muy importante ya que a partir del análisis inferencial se obtendrán los resultados y la contratación de las posibles respuestas planteadas en la investigación.

Para la presente investigación se empleará la estadística inferencial debido a que se desea contrastar o rechazar las hipótesis tanto generales como específicas que se plantearon en la investigación, debido a que es una investigación de nivel descriptivo se tiene que realizar una estadística no paramétrica para la comprobación, de acuerdo a las pruebas de normalidad se comprobará si se debe usar la prueba de Pearson o Rho de Spearman.



CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Para la adecuada presentación de resultados se realizó como primer paso la compilación de los datos en el programa Excel el phylum, clase, orden, familia y genero de cada especie, a partir de ello mediante el manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua de Carrera y Fierro (2001), se determinó el índice de Biological Monitoring Working Party (BMWP), también se determinó la biodiversidad específica de acuerdo a formulas internacionales.

Los principales resultados de la investigación se muestran a continuación:

Tabla 3.
Presencia de macroinvertebrados acuáticos en la laguna de Choclococha

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL	(%)		
MOLLUSCA	Gastropoda	Basommatophora	Planorbidae		25	28	34	17	104	5.7%		
			Physidae		45	53	28	0	126	6.9%		
	Bivaldia	Neotaenioglossa	Pulmonata	Hydrobiidae		48	18	29	26	121	6.7%	
				Lymnaeidae	Fossaria	28	17	24	0	69	3.8%	
					Pseudosucinea	0	33	27	25	85	4.7%	
				Hyrridae		2	8	0	7	17	0.9%	
	ANNELIDA	Adenophorea	Veneroida	Corbiculidae		5	0	15	7	27	1.5%	
				Sphaeriidae		7	1	0	6	14	0.8%	
		Citellata	Araeolaimida	Nematoda	Nematoda		9	7	12	0	28	1.5%
					Helobdella		0	4	22	9	35	1.9%
Macrobdeleidae						17	24	0	10	51	2.8%	
Chironomidae						56	37	59	0	152	8.4%	
ARTROPODA	Hirudinea	Arhynchobdellida	Psychodidae		12	0	21	6	39	2.1%		
			Hydrophilidae		5	8	0	15	28	1.5%		
	Ephemeropteros	Diptera	Coleoptera	Dytiscidae	Rhamtus	0	5	4	8	17	0.9%	
				Baetidae		3	9	0	16	28	1.5%	
				Leptophlebiidae		8	4	12	0	24	1.3%	
				Naucoridae		0	5	13	7	25	1.4%	
	Insecta	Lepidoptera	Odonata	Notonectidae		4	0	10	6	20	1.1%	
				Crambidae		0	0	4	7	11	0.6%	
				Allopetalia		45	21	18	15	99	5.4%	
				Anisoptera		6	8	14	4	32	1.8%	
Gomphidae					0	6	0	9	15	0.8%		
Rhynchoselina					43	53	34	19	149	8.2%		

		Libellulidae	24	22	0	20	66	3.6%
		Erythodiplax	14	10	15	10	49	2.7%
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	189	79	68	37	373	20.5%
	Decapoda	Palaemonidae	5	0	5	4	14	0.8%
TOTAL			600	460	468	290	1818	100.0%

Interpretación:

En la tabla se puede apreciar la presencia de macroinvertebrados acuáticos de 4 meses de muestreo de un total de 4 puntos por muestreo, se clasificó la presencia de macroinvertebrados desde el phylum, clase, orden, familia y genero de cada una de las especies encontradas en la laguna de Choclococha, indicando así que el género Hyaellidae tuvo mayor presencia en los 4 meses de evaluación con un porcentaje del 20.5%, así mismo de la familia Chironomidae con un 8.4%, de la especie Rrhinnoeshna con un 8.2%, de la misma manera la especie Allopetalia con un 5.5%, también se puede señalar que las menores presencias de especies fueron del género Crambidae con un 0.6%, genero Sphaeriidae con 0.8%, género Palaemonidae con 0.8%, y el género Rhamtus con una presencia de 0.9%.

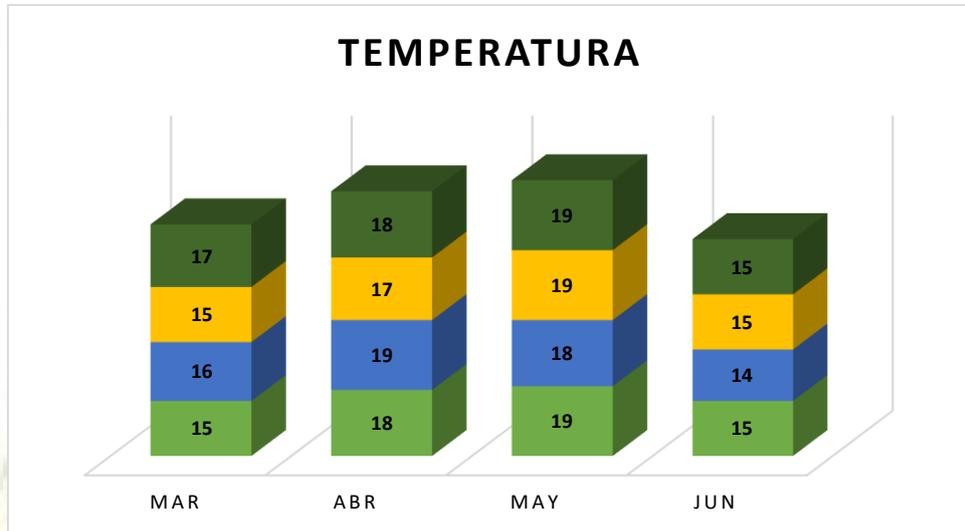
Se puede señalar que se obtuvieron in total de 1818 macroinvertebrados acuáticos, en el mes de marzo se obtuvo un recuento de 600 especies de los 3 phylum, en el mes de abril se obtuvo un total de 460 especies, en el mes de mayo se obtuvo un valor de 468 y en el mes de junio un total de 290 especies.

PUNTOS	TEMPERATURA				OXÍGENO DISUELTO (OD) (%)				CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) (mS)				pH			
	MAR	ABR	MAY	JUN	MAR	ABR	MAY	JUN	MAR	ABR	MAY	JUN	MAR	ABR	MAY	JUN
P1	15	18	19	15	21.60%	18.50%	21.50%	19.90%	0.314	0.324	0.324	0.291	8.3	7.9	8.1	8.4
P2	16	19	18	14	19.56%	19.20%	20.10%	21.60%	0.306	0.341	0.306	0.319	8.1	7.6	8	8.2
P3	15	17	19	15	18.51%	20.60%	22.06%	17.90%	0.326	0.301	0.341	0.305	8.4	8	8	8
P4	17	18	19	15	19.40%	18.40%	20.80%	19.70%	0.294	0.326	0.306	0.298	8	7.9	7.9	8
PROM	15.7	18	18.7	14.7	19.76%	19.17%	21.11%	19.77%	0.310	0.323	0.319	0.303	8.2	7.85	8	8.15

Interpretación:

Como se aprecia en la tabla de la calidad de agua de la laguna Choclococha los principales promedios de a temperatura que varió de 14.7 a 18.7, el oxígeno disuelto de 19.17% a 21.11%, la conductividad eléctrica de 0.303 a 0.323 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y el pH desde 7.85 a 8.2.

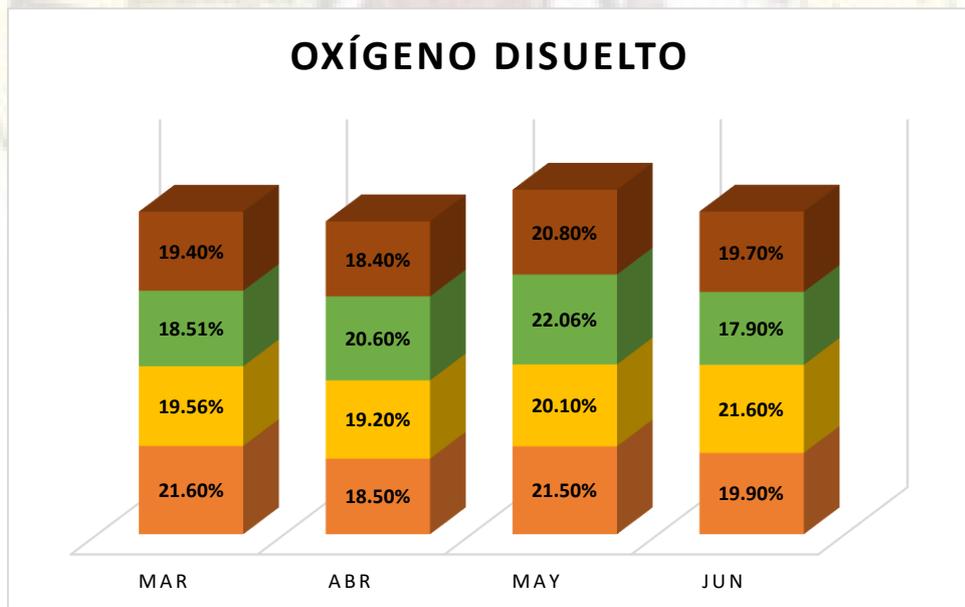
Figura 3.
Temperatura del agua de la laguna Choclococha



Interpretación:

En cuanto a la temperatura, para el mes de marzo se obtuvo valores desde 15 hasta 17 °C, para el mes de abril los valores varían de 17 a 19 °C, en el mes de mayo fue desde 18 hasta 19 °C, y en el mes de junio de 14 a 15 °C.

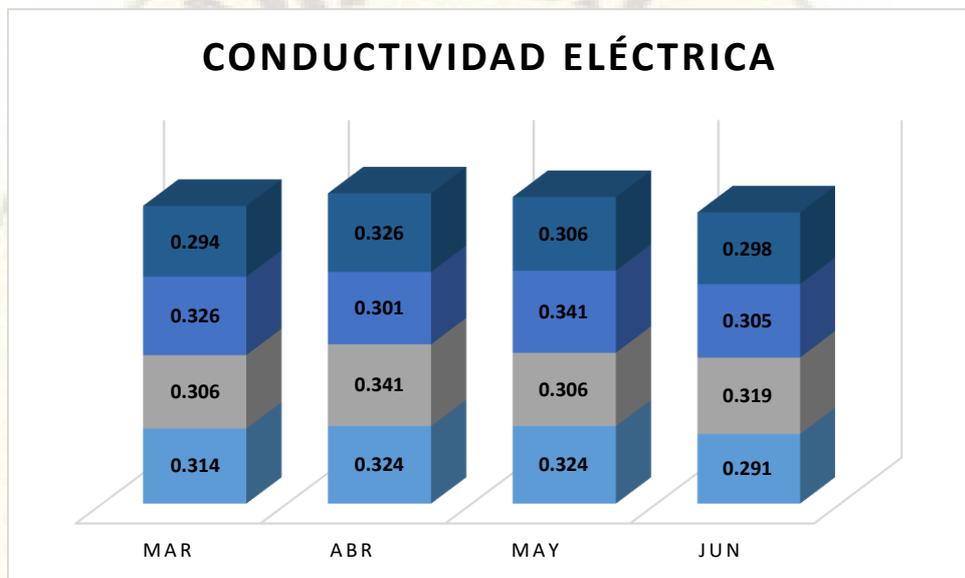
Figura 4.
Oxígeno disuelto del agua de la laguna Choclococha



Interpretación:

El oxígeno disuelto para el mes de marzo varió de 18.51% a 21.60%, en el mes de abril fue de 18.40% a 20.60%, en el mes de mayo fue de 20.80% a 22.06%, y finalmente para el mes de junio fue de 17.90% a 21.60%.

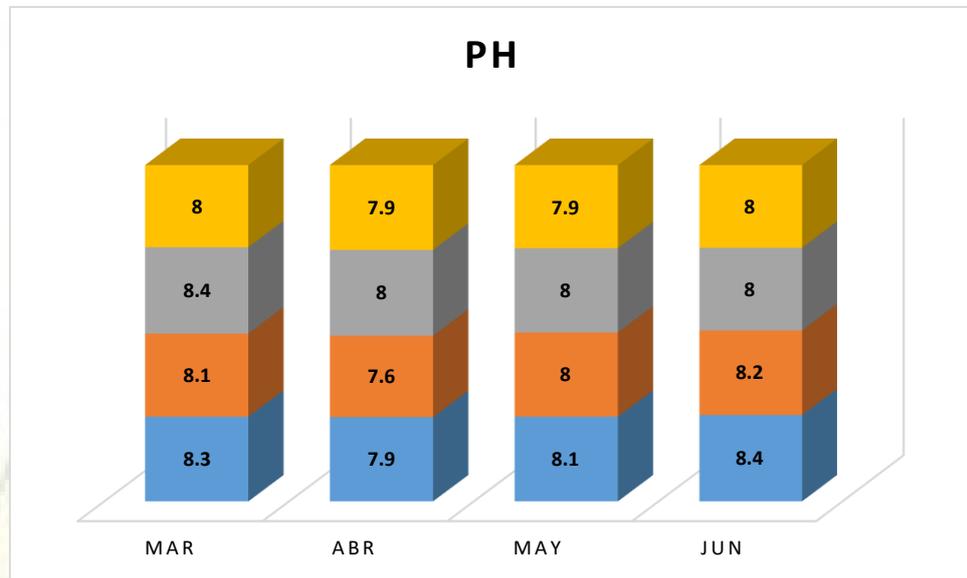
Figura 5.
Conductividad eléctrica del agua de la laguna Choclococha



Interpretación:

Para la conductividad eléctrica en el mes de marzo varió de 0.294 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 0.326 $\mu\text{s}/\text{cm}$, en el mes de abril se tuvo desde 0.301 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 0.341 $\mu\text{s}/\text{cm}$, en el mes de mayo fue de 0.306 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 0.341 $\mu\text{s}/\text{cm}$, finalmente en el mes de junio fue de 0.291 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 0.319 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Figura 6.
pH del agua de la laguna Choclococha



Interpretación:

En cuanto al pH del agua por meses se obtuvo una variación de 8 a 8.4 en el mes de marzo, de 7.6 a 8 en el mes de abril, de 7.9 a 8.1 en el mes de mayo y finalmente de 8 a 8.4 para el mes de junio.

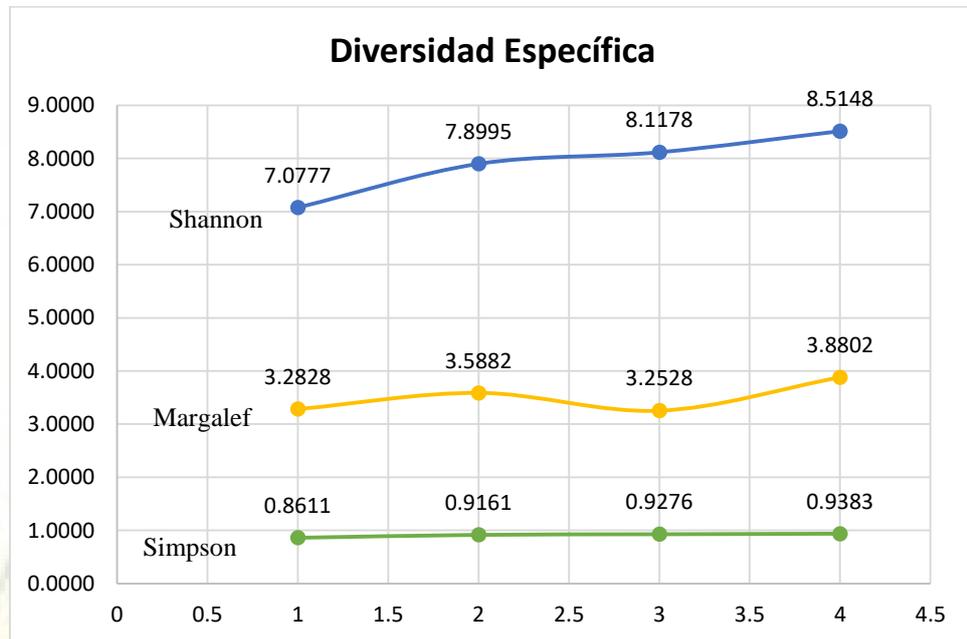
4.1.1. Diversidad específica

La diversidad específica de los macroinvertebrados acuáticos de la zona se hallaron por medio de 3 índices: Simpson, Shannon y Margalef en función a los meses de estudio los cuales nos dieron los siguientes resultados:

Tabla 4.
Diversidad específica por mes

MES	SIMPSON	SHANNON	MARGALEF
Marzo	0.8611	7.0777	3.2828
Abril	0.9161	7.8995	3.5882
Mayo	0.9276	8.1178	3.2528
Junio	0.9383	8.5148	3.8802

Figura 7.
Representación de la diversidad específica



Interpretación:

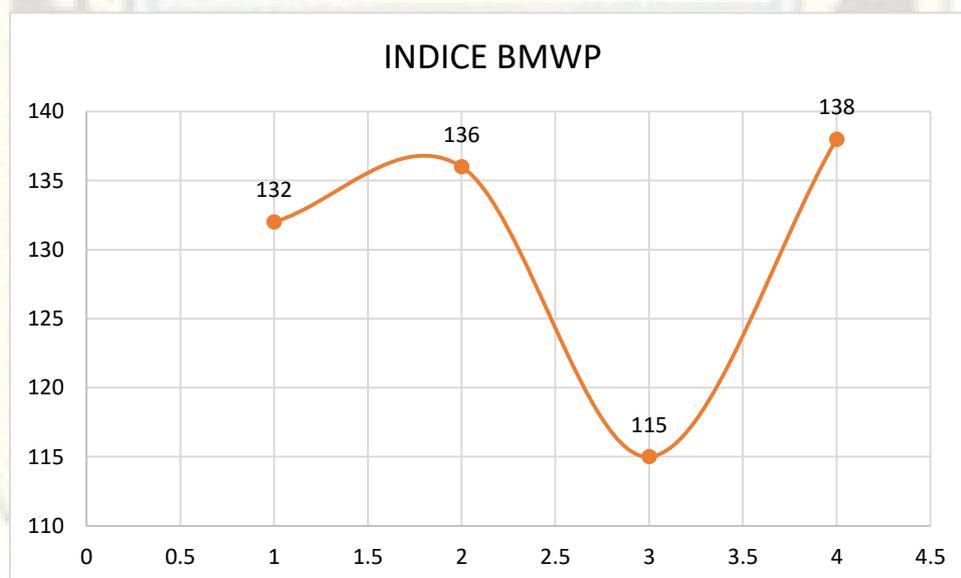
Se puede apreciar la diversidad biológica donde en el índice de Simpson fue mayor en el mes de junio con un valor de 0.9383 nats/individuo y menor en el mes de marzo de 0.8611 nats/individuo valor se puede señalar que todos los valores obtenidos indican presencia alta ya que se encontraban cerca de 1 nats/individuo, en cuanto al índice de Margalef el mayor valor fue en el mes de junio de 3.8802 nats/individuo y el menor en el mes de mayo con 3.2528 nats/individuo valor se indica que todos los índices son altos ya que son mayores a 2 nats/individuo, finalmente el índice Shannon fue mayor en el mes de junio con 8.5148 nats/individuo y menor en el mes de marzo con 7.0777 nats/individuo, cabe señalar que en cada uno de los índices se obtuvieron promedios altos ya que la presencia se encontraba mayor a 5 nats/individuo.

4.1.2. Diversidad biológica

Tabla 5.
Diversidad biológica

Mes	BMWP	Rango	Significado	Calidad	Color
Marzo	132	>150 101 - 120	Aguas muy limpias a limpias	Buena	
Abril	136	>150 101 - 120	Aguas muy limpias a limpias	Buena	
Mayo	115	>150 101 - 120	Aguas muy limpias a limpias	Buena	
Junio	138	>150 101 - 120	Aguas muy limpias a limpias	Buena	

Figura 8.
Representación de la diversidad biológica por mes



Interpretación:

Como se aprecia en el gráfico y figura de la diversidad biológica evaluada en función a los meses, el menor valor se obtuvo en el mes de mayo (115) y el mayor valor en el mes de junio con 138, cabe señalar que todos los valores oscilan en el rango de >150, 101 – 120 lo cual nos indica que la clasificación del agua es de limpia con clase I y calidad buena.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Hipótesis general

a. Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, tienen una relación significativa.

Hipótesis Nula (Ho): La diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, no tienen una relación significativa.

b. Prueba unilateral o de una cola

$$H_a < \alpha$$

$$H_o > \alpha$$

c. Prueba de normalidad de datos

La prueba de normalidad se realizó mediante Shapiro Wilk ya que se analizaron muestras pequeñas, y como resultado se tuvo un nivel de significancia de 0,708 para los macroinvertebrados acuáticos y 0,801 para la calidad de agua, de este análisis se concluye que la distribución de ambas variables es normal por lo que para la prueba de hipótesis el estadístico a emplear es la prueba paramétrica con la finalidad de contrastar la hipótesis planteada al inicio de la investigación.

Tabla 6.*Resultados de la prueba de normalidad para la hipótesis general*

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Macroinvertebrados acuáticos	,949	4	,708
Calidad de agua	,964	4	,801

Como se puede apreciar la distribución de las muestras tanto para los macroinvertebrados acuáticos y la calidad de agua es normal ya que la significancia es mayor a 0.05.

d. Prueba de hipótesis

Para la evaluación de la relación entre los macroinvertebrados acuáticos y la calidad de agua se realizó mediante la prueba Pearson a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), obteniendo un grado de 0,838 y la significación bilateral de 0,036. Se obtuvo un nivel de correlación mayor al 0.7 en donde se concluye que la correlación es alta y significativa lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 7.*Resultados de la prueba de hipótesis general*

		Macroinvertebrados acuáticos	Calidad de agua
Macroinvertebrados acuáticos	Correlación de Pearson	1	,838
	Sig. (bilateral)		,036
	N	4	4
Calidad de agua	Correlación de Pearson	,838	1
	Sig. (bilateral)	,036	
	N	4	4

Fuente: Elaboración propia

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística Pearson para la correlación entre los macroinvertebrados acuáticos y la calidad de agua, se tiene un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) además de ello se tiene una correlación alta (0.838), estos dos valores indican que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

f. Conclusión estadística

Se concluye que existe una relación positiva y significativa entre la los macroinvertebrados acuáticos y la calidad de agua con un 95% del nivel de confianza, a una distribución normal, un P valor menor a 0.05 y el valor correlacional de 0.838.

4.2.2. Hipótesis específica 1

a. Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La diversidad específica como bioindicador de la calidad de agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, tienen una relación significativa.

Hipótesis Nula (Ho): La diversidad específica como bioindicador de la calidad de agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, no tienen una relación significativa.

b. Prueba unilateral o de una cola

$$H_a < \alpha$$

$$H_o > \alpha$$

c. Prueba de normalidad de datos

La prueba de normalidad se realizó mediante Shapiro Wilk ya que se analizó muestras pequeñas, y como resultado se tuvo un nivel de significancia de 0,260 para la diversidad específica y 0,801 para la calidad de agua, de este análisis se concluye que la distribución de ambas variables es normal por lo que para la prueba de hipótesis el estadístico a emplear es la prueba paramétrica con la finalidad de contrastar la hipótesis planteada al inicio de la investigación.

Tabla 8.
Resultados de la prueba de normalidad para la hipótesis específica 1
Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	Sig.
Diversidad específica	,949	4	,708
Calidad de agua	,964	4	,260

Como se puede apreciar la distribución de las muestras tanto para la diversidad específica y la calidad de agua es normal ya que la significancia es mayor a 0.05.

d. Prueba de hipótesis

Para la evaluación de la relación entre la diversidad específica y la calidad de agua se realizó mediante la prueba Pearson a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), obteniendo un grado de 0,971 y la significación bilateral de 0,029. Se obtuvo un nivel de correlación mayor al 0.7 en donde se concluye que la correlación es alta y significativa lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 9.
Resultados de la prueba de hipótesis específica 1

		Diversidad específica	Calidad de agua
Diversidad específica	Correlación de Pearson	1	,971
	Sig. (bilateral)		,029
	N	4	4

Calidad de agua	Correlación de Pearson	,971	1
	Sig. (bilateral)	,029	
	N	4	4

Fuente: Elaboración propia

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística Pearson para la correlación entre la diversidad específica y la calidad de agua, se tiene un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) además de ello se tiene una correlación alta (0.971), estos dos valores indican que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

f. Conclusión estadística

Se concluye que existe una relación positiva y significativa entre la diversidad específica y la calidad de agua con un 95% del nivel de confianza, a una distribución normal, un P valor menor a 0.05 y el valor correlacional de 0.971.

4.2.3. Hipótesis específica 1

a. Planteamiento de Hipótesis

Hipótesis Alterna (Ha): La diversidad biológica como bioindicador de la calidad de agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, tienen una relación significativa.

Hipótesis Nula (Ho): La diversidad biológica como bioindicador de la calidad de agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, no tienen una relación significativa.

b. Prueba unilateral o de una cola

$$Ha < \alpha$$

$$Ho > \alpha$$

c. Prueba de normalidad de datos

La prueba de normalidad se realizó mediante Shapiro Wilk ya que se analizó muestras pequeñas, y como resultado se tuvo un nivel de significancia de 0,260 para la diversidad biológica y 0,801 para la calidad de agua, de este análisis se concluye que la distribución de ambas variables es normal por lo que para la prueba de hipótesis el estadístico a emplear es la prueba paramétrica con la finalidad de contrastar la hipótesis planteada al inicio de la investigación.

Tabla 10.
Resultados de la prueba de normalidad para la hipótesis específica 2
Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	Sig.
Diversidad biológica	,949	4	,156
Calidad de agua	,964	4	,260

Como se puede apreciar la distribución de las muestras tanto para la diversidad biológica y la calidad de agua es normal ya que la significancia es mayor a 0.05.

d. Prueba de hipótesis

Para la evaluación de la relación entre la diversidad biológica y la calidad de agua se realizó mediante la prueba Pearson a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (5%), obteniendo un grado de 0,971 y la significación bilateral de 0,027. Se obtuvo un nivel de correlación mayor al 0.7 en donde se concluye que la correlación es alta y significativa lo cual nos conduce a deducir que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula planteada al inicio de la investigación.

Tabla 11.
Resultados de la prueba de hipótesis específica 2

		Diversidad biológica	Calidad de agua
Diversidad biológica	Correlación de Pearson	1	,730
	Sig. (bilateral)		,027

	N	4	4
Calidad de agua	Correlación de Pearson	,730	1
	Sig. (bilateral)	,027	
	N	4	4

Fuente: Elaboración propia

e. Decisión estadística

De acuerdo a la prueba estadística Pearson para la correlación entre la diversidad biológica y la calidad de agua, se tiene un nivel de significancia menor a la significancia conceptual (0,05) además de ello se tiene una correlación alta (0.730), estos dos valores indican que el valor hallado se ubica en la región de aceptación de la hipótesis alterna y el rechazo de la hipótesis nula.

f. Conclusión estadística

Se concluye que existe una relación positiva y significativa entre la diversidad biológica y la calidad de agua con un 95% del nivel de confianza, a una distribución normal, un P valor menor a 0.05 y el valor correlacional de 0.730.

4.3. Discusión de resultados

La discusión de resultados se dio por medio del análisis del objetivo general hasta llegar a los objetivos específicos.

Como objetivo general se tuvo “Identificar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica – 2022”, donde Cruz (2020), en su investigación sobre “Determinación de la calidad de agua en áreas circundantes a la represa del Pañe - Arequipa, empleando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores (noviembre, diciembre 2017 - abril 2018)” obtuvo alrededor de 55 taxa con 36 familias, 22 órdenes,

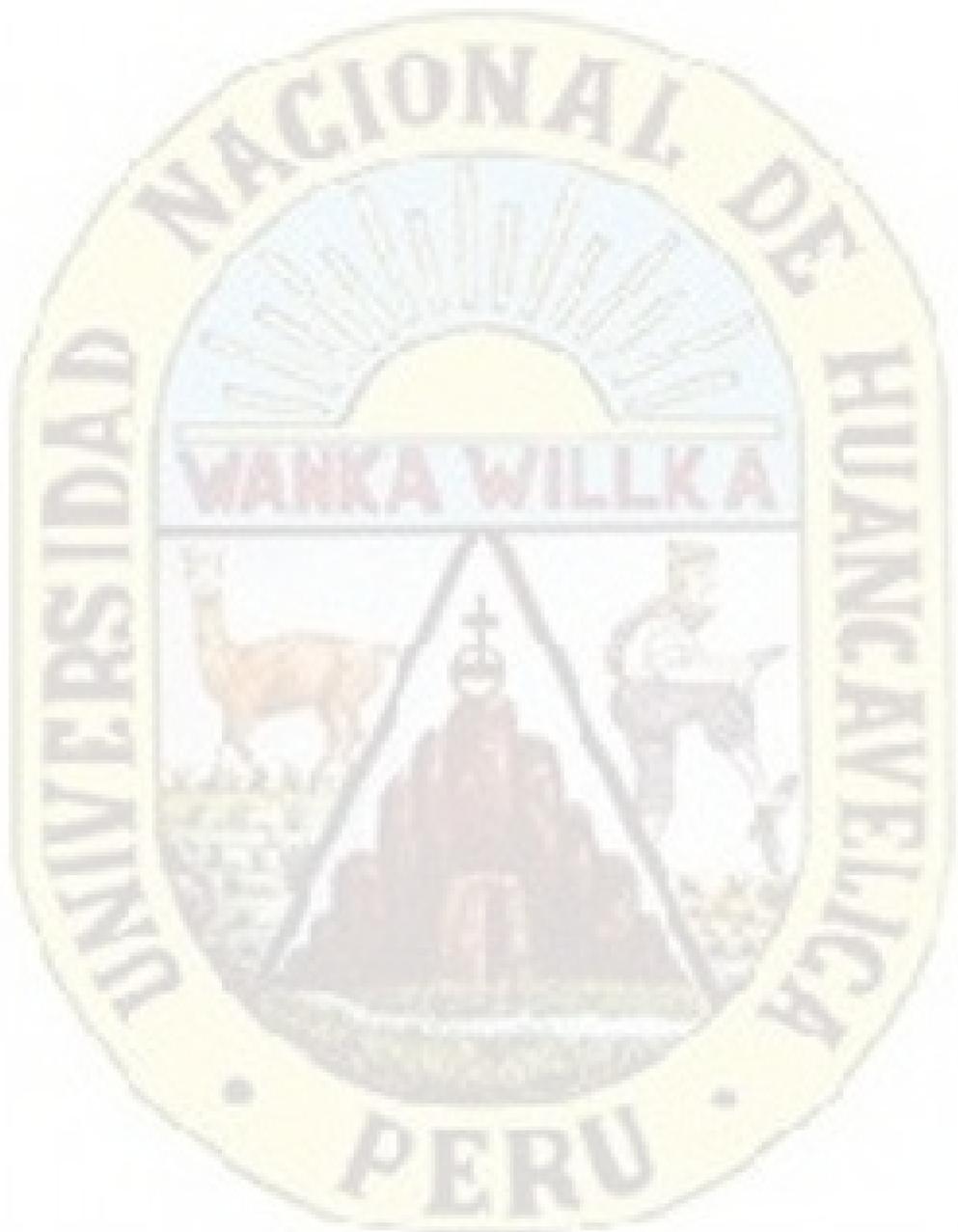
10 clases y 5 Phylum, en cuanto a la riqueza obtuvo 52 taxones y el 73% se encuentra presente en todos los meses, en cuanto a abundancia obtuvo un total de 59430 individuos, con mayor abundancia el phylum Annelida, en la diversidad de macroinvertebrados obtuvo mayor presencia Cricotopus sp., así mismo obtuvo la temperatura de 31°C, DQO de 16.7 mg O₂/L, y el oxígeno disuelto de 7 mg O₂/L, de la misma manera Chacón y Rivas (2009) señalan que los macroinvertebrados acuáticos son organismos abundantes y ubicuos, los cuales son sensibles a perturbaciones ambientales específicamente en el sistema acuático, tienen una respuesta negativa a cualquier tipo de contaminación del agua como acidificación, alteración del hábitat y eutrofización del cuerpo de agua, por ende en la investigación que se obtuvo un total de 1818 macroinvertebrados acuáticos, en el mes de marzo se obtuvo un recuento de 600 especies de los 3 phylum, en el mes de abril se obtuvo un total de 460 especies, en el mes de mayo se obtuvo un valor de 468 y en el mes de junio un total de 290 especies y la calidad de agua de la laguna Choclococha los principales promedios de la temperatura que varió de 14.7 a 18.7, el oxígeno disuelto de 19.17% a 21.11%, la conductividad eléctrica de 0.303 a 0.323 μ s/cm y el pH desde 7.85 a 8.2, lo cual concuerda con el antecedente citado que nos indica que a mayor presencia de macroinvertebrados mejor será la calidad de agua, así mismo se puede indicar que los macroinvertebrados del área de estudio son sensibles a los cambios de temperatura y pH por ello se debe la variación de la presencia de acuerdo a los meses evaluados.

Como primer objetivo específico se tuvo “Señalar la diversidad específica como bioindicador de la calidad de agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica – 2022”, donde Cruz (2020), en su investigación sobre “Determinación de la calidad de agua en áreas circundantes a la represa del Pañe - Arequipa, empleando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores (noviembre, diciembre 2017 - abril 2018)” obtuvo en los índices de diversidad existen valores en los rangos de 1.22 – 2.21 mediante el índice Shannon, y un rango de 1.52 – 7.60 mediante el índice Margalef, en cuanto al índice de similitud obtuvo un valor de 35%, concluye que es necesario

tomar medidas de las variables bióticas, en este caso la diversidad, debido a que esta permite describir los componentes del sistema, al respecto Pimentel (2014) menciona que la aplicación adecuada de los índices de diversidad específica son adecuados si se encuentran cambios en la magnitud de la diversidad, estos pueden ser utilizados para explicar acciones de protección para determinados ecosistemas, por ello en la investigación la diversidad biológica fue mayor en el mes de junio de acuerdo al índice de Simpson con un valor de 0.9383 nats/individuo, en cuanto al índice de Margalef de 3.8802 nats/individuo y el índice Shannon con 8.5148 y menor en el mes de marzo con 7.0777 nats/individuo, lo cual discrepa con el antecedente señalado ya que los valores hallados ubican a la laguna de Choclococha en un recurso hídrico con índices de diversidad específica altos e indica una contaminación leve o nula del agua de acuerdo con la prueba de correlación de Pearson.

Como segundo objetivo específico se tuvo “Indicar la diversidad biológica como bioindicador de la calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica – 2022”, donde Peralta (2019) en la investigación denominada “Situación de la calidad de agua de la laguna Huacachina en base a indicadores biológicos” obtuvo que en el índice BMWP evidencio un agua de clase V muy crítica, y de ahí concluye que los indicadores de calidad ambiental generan altos índices de confiabilidad en cuanto a la determinación de la calidad de agua, al respecto Aguirre (2011) señala que los bioindicadores o indicadores biológicos son atributos de los sistemas biológicos que se emplean para estudiar alguna característica de su ambiente, estos atributos suelen ser especies o asociaciones de éstas, y también incluso poblaciones y comunidades, por ello en la investigación la diversidad biológica evaluada en función a los meses, el menor rango se obtuvo en el mes de mayo con un valor de 115 y el mayor valor en el mes de junio con 138, cabe señalar que todos los valores oscilan en el rango de >150, 101 – 120 lo cual nos indica que la clasificación del agua es de limpia con clase I y calidad buena, lo cual no concuerda con lo hallado por Peralta ya que en la zona si se obtuvo agua

limpia en función a los valores hallados así mismo se puede indicar que los indicadores biológicos son sensibles a la contaminación del agua.

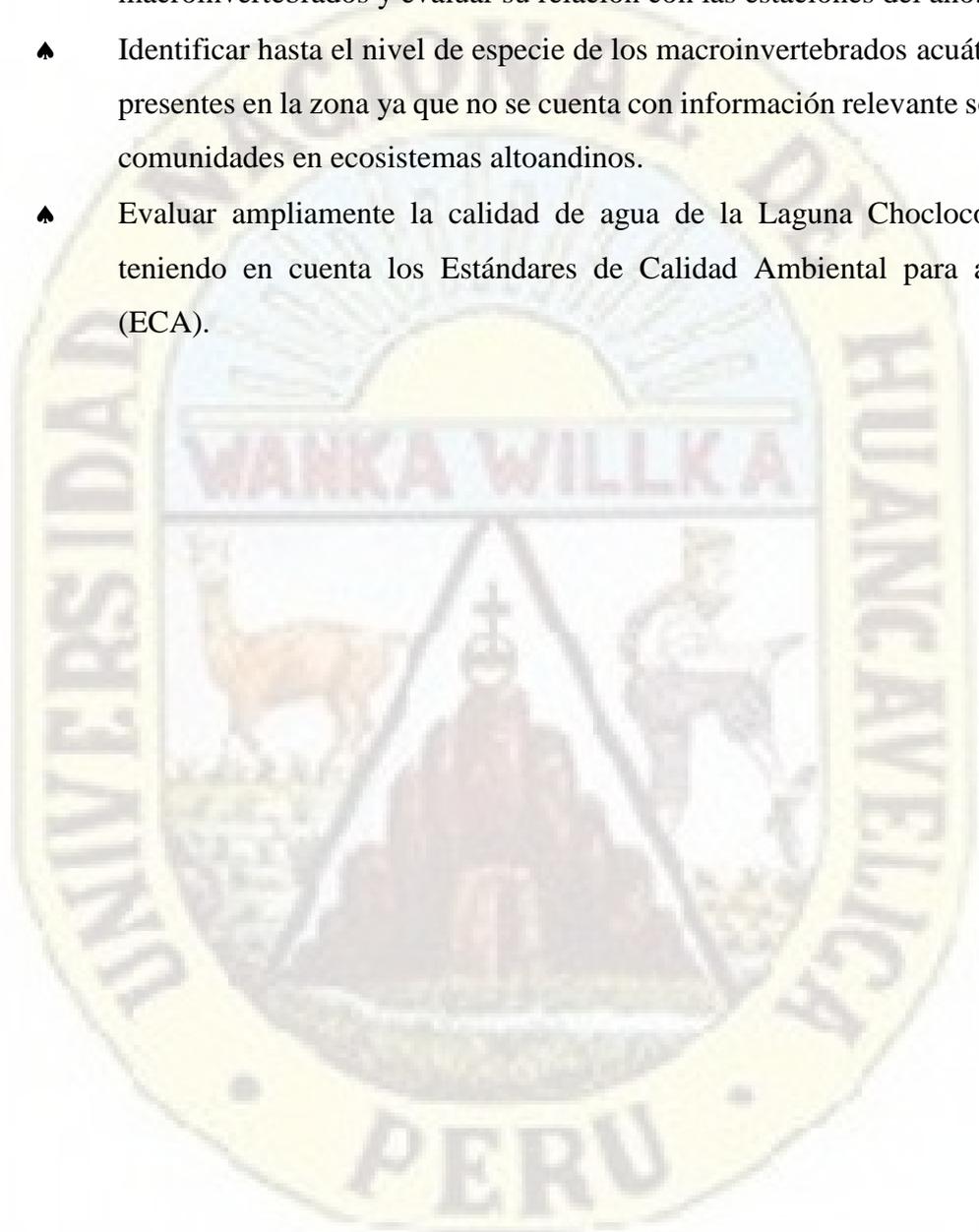


Conclusiones

- ♠ La presencia de macroinvertebrados acuáticos fue de la siguiente manera: género Hyalellidae tuvo presencia del 20.5%, de la familia Chironomidae con un 8.4%, de la especie Rhhinnoeshna con un 8.2%, de la especie Allopetalia con un 5.5%, así mismo las menores presencias de especies fueron del género Crambidae con un 0.6%, genero Sphaeriidae con 0.8%, género Palaemonidae con 0.8%, y el género Rhamtus con una presencia de 0.9%; también se obtuvo un total de 1818 macroinvertebrados acuáticos, en el mes de marzo un recuento de 600 especies de los 3 phylum, en el mes de abril un total de 460 especies, en el mes de mayo un valor de 468 y en el mes de junio un total de 290 especies.
- ♠ En cuanto a la diversidad específica evaluado mediante los índices Simpson, Shannon y Margalef se obtuvo índices altos cuyos valores se encontraban en 1, entre 3 y 5 y mayores a 7, así mismo se tuvo una relación significativa entre la diversidad específica y la calidad de agua con una correlación de 0.931 de acuerdo a la prueba de Pearson.
- ♠ Para la diversidad biológica de la laguna Choclococha se tuvo que en los tiempos de muestreo la calidad de agua es buena con valores BMWP desde 115 a 138, lo cual esta relacionado con la calidad de agua evaluada que esta respaldado con la correlación de Pearson con un valor de 0.730.

Recomendaciones

- ♣ Realizar un estudio de igual envergadura pero que tome un periodo de muestreo mas amplio para obtener mejores datos de la comunidad de macroinvertebrados y evaluar su relación con las estaciones del año.
- ♣ Identificar hasta el nivel de especie de los macroinvertebrados acuáticos presentes en la zona ya que no se cuenta con información relevante sobre comunidades en ecosistemas altoandinos.
- ♣ Evaluar ampliamente la calidad de agua de la Laguna Choclococha teniendo en cuenta los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA).



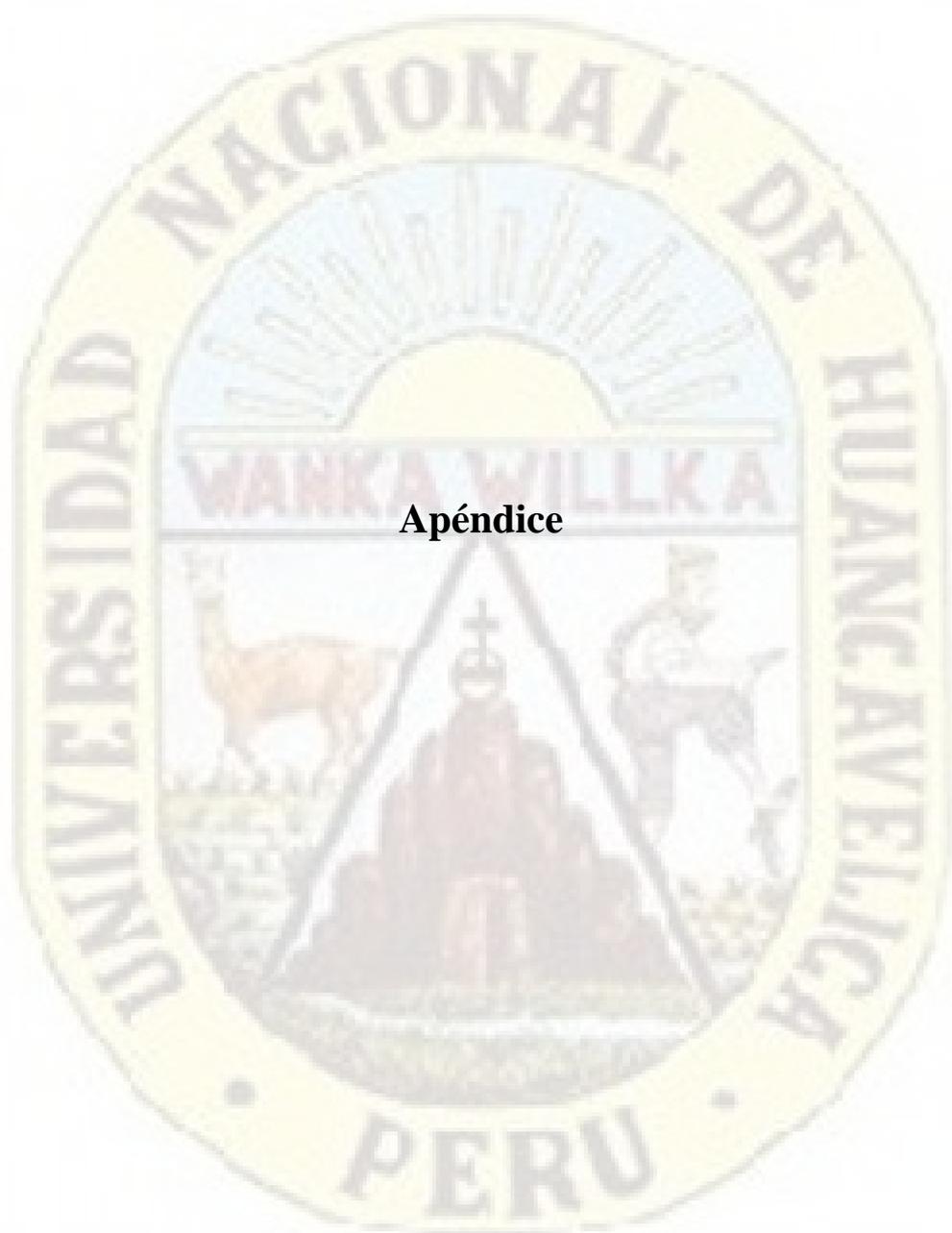
Referencias bibliográficas

- Acosta, R. (2001). *Patrones de diversidad espacio-temporal de insectos acuáticos y caracterización limnológica en la quebrada Cantón*. Huancayo: Convención Nacional de Entomología.
- Acosta, R., Ríos, B., & Rieradevall, M. (2009). Propuesta de protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos altoandinos y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Revista Limnetica*, 35-64.
- Aguirre, J. (2011). *Validación de los indicadores biológicos para el monitoreo de la cuenca del río Yanuncay*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Alba-Tercedor, A. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *Simposio del agua en Adalucía*, 203-213.
- Alonso, A., & Camargo, J. (2005). Evaluating the effectiveness of five mineral artificial substrates for the sampling of benthic macroinvertebrates. *Journal of Freshwater Ecology*, 11-320.
- Álvarez, L. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Medellín: Alexander Von Humboldt.
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación. Guía para su elaboración*. Caracas - Venezuela: ORIAL Editores.
- Avila, H. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación*. Chihuahua - México.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Colombia: PEARSON Educación.
- Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. México: Pearson education.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica*. Chiclayo - Perú.
- Carrasco, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.

- Carrera, C., & Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua*. Ecuador: Rimana.
- Carretero, I., & Pozo, M. (2007). *Mineralogía aplicada: salud y medio ambiente*. Madrid, España: Paraninfo.
- Chacón, L., & Rivas, P. (2009). *Paleontología de invertebrados*. España: Sociedad Española de Paleontología.
- Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota. Sediments and Water in Enviromental Monitoring*. London: Capman Hill.
- Coronel, S. (2021). *Evaluación de la calidad de agua a partir de indicadores biológicos del río Chira*. Piura: Universidad Nacional de Piura.
- Cruz, C. (2020). *Determinación de la calidad de agua en áreas circundantes a la represa del Pañe - Arequipa, empleando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores (noviembre, diciembre 2017 - abril 2018)*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Fregusson, E. (1990). *The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact, and Health Effects*. Oxford: Pergamon Press.
- García, N. (2010). *Macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación de contaminación del balneario Hurtado, río guatapuri*. Colombia: Bucaramanga Santander.
- Hernandez, S., Fernandez, C., & Baptista, L. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw Hill.
- Madera, L., Angulo, L., Díaz, L., & Rojano, r. (2016). Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación. *Scielo*, 103-110.
- Magurran, A. (2004). *Measuring biological diversity*. Oxford: blackwell Science.
- Margalef, R. (1983). *Ecología*. Barcelona - España: Editorial Omega.

- Martinez, E. (2004). Calidad de agua en zonas altoandinas. *Revista electronica de tecnología, sociedad y cultura*, 31-42.
- Mihelcic, J. (2001). *Fundamentos de ingeniería ambiental*. México: Limusa SA.
- Minchola, G. (2021). *Macroinvertebrados acuáticos indicadores de la calidad del agua del río negro – Aguaytía*. Tingo María: universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad . *M&T-Manuales y Tesis SEA*, 43-47.
- Núñez, J. (2019). Uso de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación del Agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia). *Scielo*, 319-330.
- Peralta, E. (2019). *Situación de la calidad de agua de la laguna Huacachina en base a indicadores biológicos*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Pezo, M. (2018). *Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua para Regadío del Río Cumbaza*. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín.
- Pimentel, H. (2014). *Análisis desde la perspectiva de los índices bióticos, manejo adaptativo, usando macroinvertebrados bentónicos en ríos altoandinos-Camisea*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Pino, W., Mena, D., Mosquera, M., Calcedo, K., Palacios, J., Castro, A., & guerrero, J. (2003). Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada La Bendición. *Acta biológica Colombiana*, 23-30.
- Resh, V., & Rosenberg, G. (1984). *The ecology of aquatic insects*. Neva york: Praeger.
- Rojas, J. (1996). *Acuaquímica*. Bogotá - Colombia: Departamento de publicaciones de ingeniería.
- Roldán, G. (1992). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín: Colección Ciencia y Tecnología.

- Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista academica de Colombia*, 375-387.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad de agua en Colombia*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Rosenberg, D., & Resh, V. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Nueva York: Chapman Hall.
- Stewart, K., & Stark, B. (2002). *Nymphs of North American stonefly genera*. Ohio, EEUU.: The Caddis7.
- Taylor, J., & Bogdan, R. (1984). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Paidós.
- Yépez, á., Zambrano, J., Morales, D., Guerrero, N., & TayHing, C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Revista Ciencia y tecnología - OJS*.



Apéndice

Apéndice 1
Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema General: ¿Cuál es la diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la diversidad específica como bioindicador de la calidad de agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022? • ¿Cuál es la diversidad biológica como bioindicador de la calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022? 	<p>Objetivo General: Identificar la diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica – 2022.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Señalar la diversidad específica como bioindicador de la calidad de agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica – 2022. • Indicar la diversidad biológica como bioindicador de la calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022. 	<p>Hipótesis General: La diversidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, tienen una relación significativa.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La diversidad específica como bioindicador de la calidad de agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, tienen una relación significativa. • La diversidad biológica como bioindicador de la calidad del agua en la laguna Choclococha, provincia de Castrovirreyna, Huancavelica - 2022, tienen una relación significativa. 	<p>Variable 1: Macroinvertebrados acuáticos</p> <p>Variable 2: Calidad de agua</p>	<p>Tipo de Investigación: Investigación aplicada</p> <p>Nivel de Investigación: Investigación correlacional</p> <p>Método General: Método científico</p> <p>Diseño: Diseño no experimental</p>	<p>Población: Laguna de Choclococha, provincia de Castrovirreyna – Huancavelica.</p> <p>Muestra: 8 puntos de muestreo ubicados en la laguna Choclococha.</p> <p>Muestreo: Muestreo no probabilístico por conveniencia.</p>	<p>Técnicas: Observación</p> <p>Instrumentos: Ficha de observación</p>