

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y

SANITARIA



TESIS

**“ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DEL RIO ICHU EN LA ZONA URBANA
DE LA CIUDAD DE HUANCABELICA, EN ÉPOCAS DE ESTIAJE - 2021”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS

PRESENTADO POR:

BACH. CARDENAS SEGURA, Estefhany Yeselin

BACH. CHAVEZ GARCIA, Franklin

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCABELICA - PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 05 días del mes de mayo del año 2022, a horas 5:00 p.m., se reunieron los miembros del jurado calificador conformado por los siguientes: **M.Sc. Mabel Yesica ESCOBAR SOLDEVILLA (PRESIDENTA)**, **M.Sc. Luis Alberto TITO CÓRDOVA (SECRETARIO)**, **Dr. Víctor Guillermo SÁNCHEZ ARAUJO (ASESOR)**, designados con Resolución de Decano N° 013-2022-FCI-UNH, de fecha 17 de enero del 2022, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DEL RIO ICHU EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE HUANCAMELICA, EN ÉPOCAS DE ESTIAJE-2021", presentado por los Bachilleres **Estefhany Yeselin CARDENAS SEGURA** y **Franklin CHAVEZ GARCIA**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**; Finalizado la evaluación a horas 5:56; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los jurados, se llegó al siguiente resultado:

Estefhany Yeselin CARDENAS SEGURA

APROBADO ☒ POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO ☐

Franklin CHAVEZ GARCIA

APROBADO ☒ POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO ☐

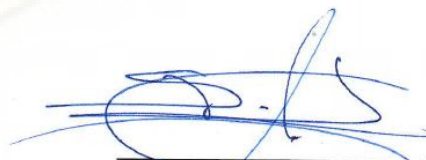
En señal de conformidad, firmamos a continuación:



Presidente



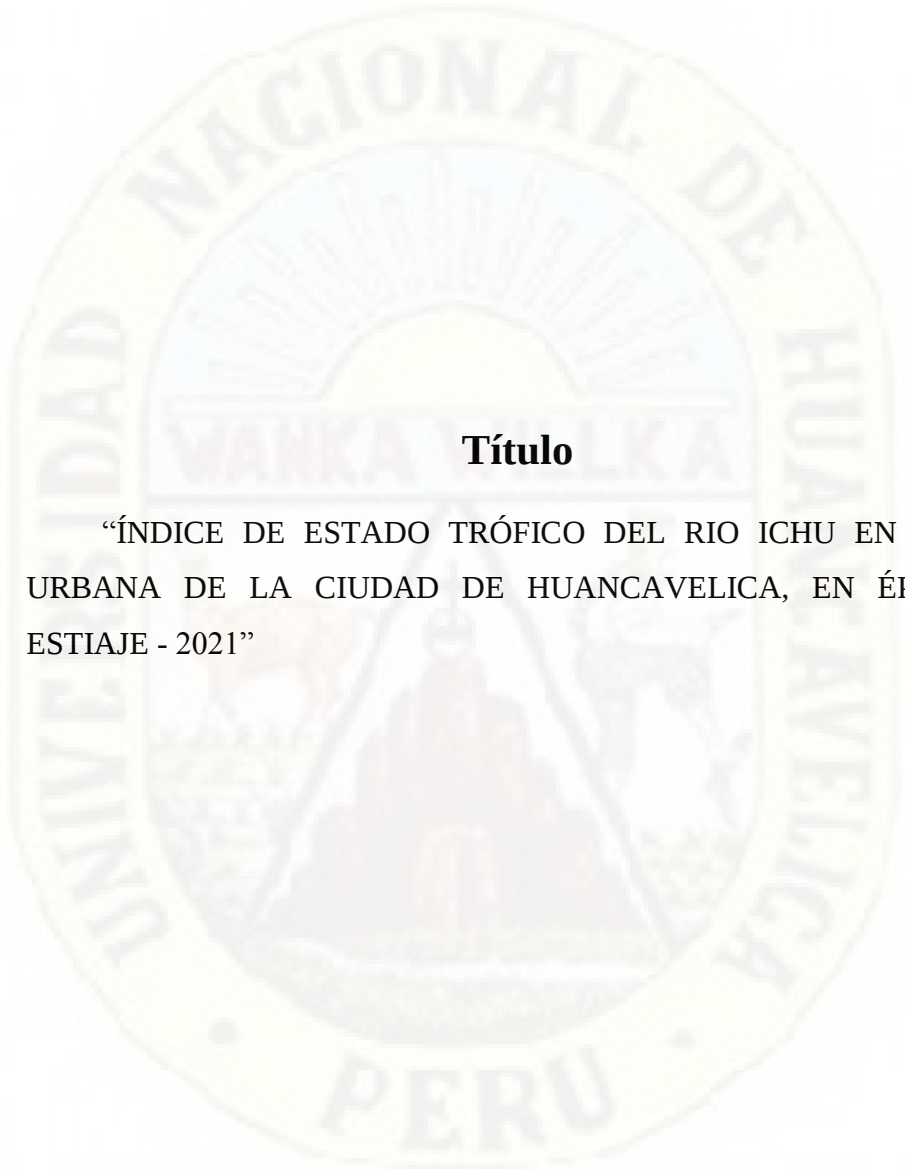
Secretario



Asesor

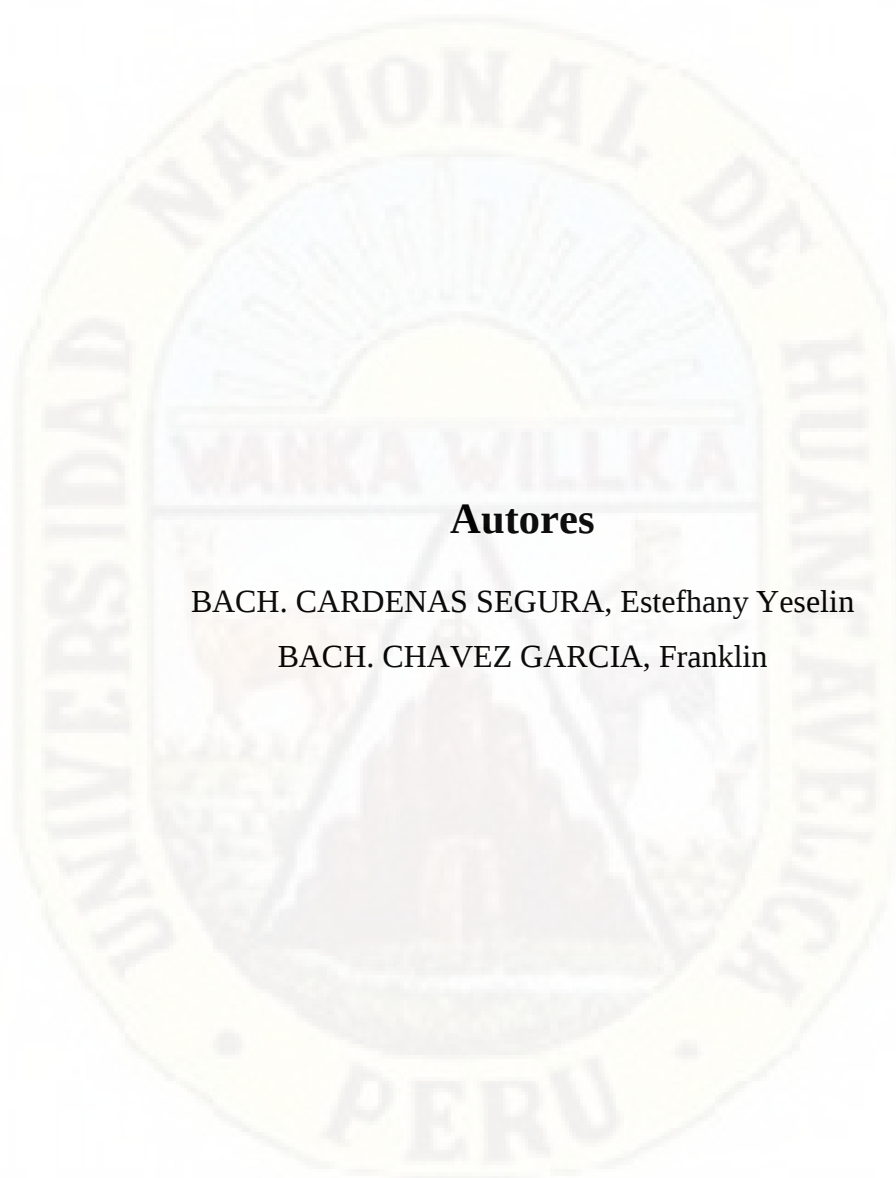


Vº Bº Decano



Título

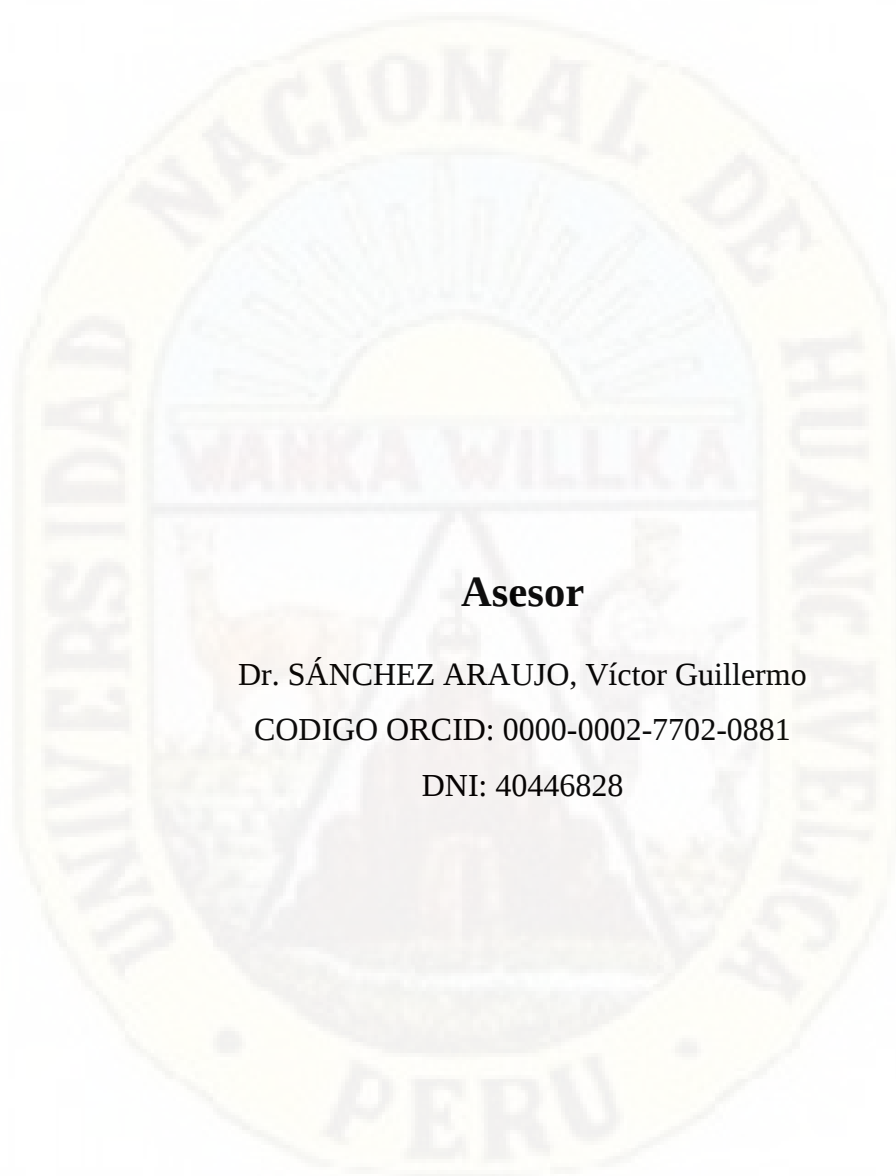
“ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DEL RIO ICHU EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE HUANCABELICA, EN ÉPOCAS DE ESTIAJE - 2021”



Autores

BACH. CARDENAS SEGURA, Estefhany Yeselin

BACH. CHAVEZ GARCIA, Franklin



Asesor

Dr. SÁNCHEZ ARAUJO, Víctor Guillermo

CODIGO ORCID: 0000-0002-7702-0881

DNI: 40446828

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a Dios por permitirme haber llegado hasta este momento de mi vida, y a mis padres Jorge y Elena, por darme la vida, brindarme su apoyo incondicional, consejos y educación; todo lo que hoy soy, es gracias a ellos.

Estefhany Yeselin Cardenas Segura

Dedico este trabajo primeramente a Dios por bendecirme y cuidarme todos los días, a mis padres por brindarme su apoyo incondicional durante el transcurso de toda mi carrera universitaria.

Franklin Chavez Garcia

Agradecimiento

Agradecemos primeramente a Dios, por bendecirnos y cuidarnos durante el transcurso de toda nuestra vida, por brindarnos fortaleza en los momentos difíciles, y darnos una vida plena y feliz.

A nuestros padres, quienes nos dieron la vida, por habernos inculcado buenos valores y brindarnos su apoyo incondicional, ya que gracias a sus esfuerzos pudimos acceder a una educación universitaria.

Al Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo, por brindarnos su tiempo, paciencia, asesoramiento y apoyo brindado, para lograr el adecuado desarrollo de nuestra tesis.

A nuestros jurados Mg. Mabel Yesica Escobar Soldevilla, Mg. Luis Alberto Tito Córdova y Dr. Víctor Guillermo Sánchez Araujo, quienes nos brindaron su tiempo, orientación y recomendaciones para la adecuada realización de nuestra investigación.

A los catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica, por impartirnos sus conocimientos durante el transcurso de toda nuestra vida universitaria.

Índice

Título	iii
Autores	iv
Asesor.....	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Índice.....	viii
Índice De Tablas	xi
Índice De Figuras	xiii
Resumen.....	xiv
Abstract	xv
Introducción	xvi
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1. Descripción y Formulación del Problema	17
1.1.1. Descripción del Problema	17
1.1.2. Formulación del Problema.....	19
1.2. Objetivos.....	20
1.2.1. Objetivo general.....	20
1.2.2. Objetivos específicos	20
1.3. Justificación	21
1.4. Limitaciones.....	21
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Antecedentes	22
2.1.1. A nivel Internacional	22
2.1.2. A nivel Nacional	27
2.1.3. A nivel Local	32
2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación	33
2.2.1. Estado Tráfico.....	33
2.2.2. Índice de Estado Tráfico	38

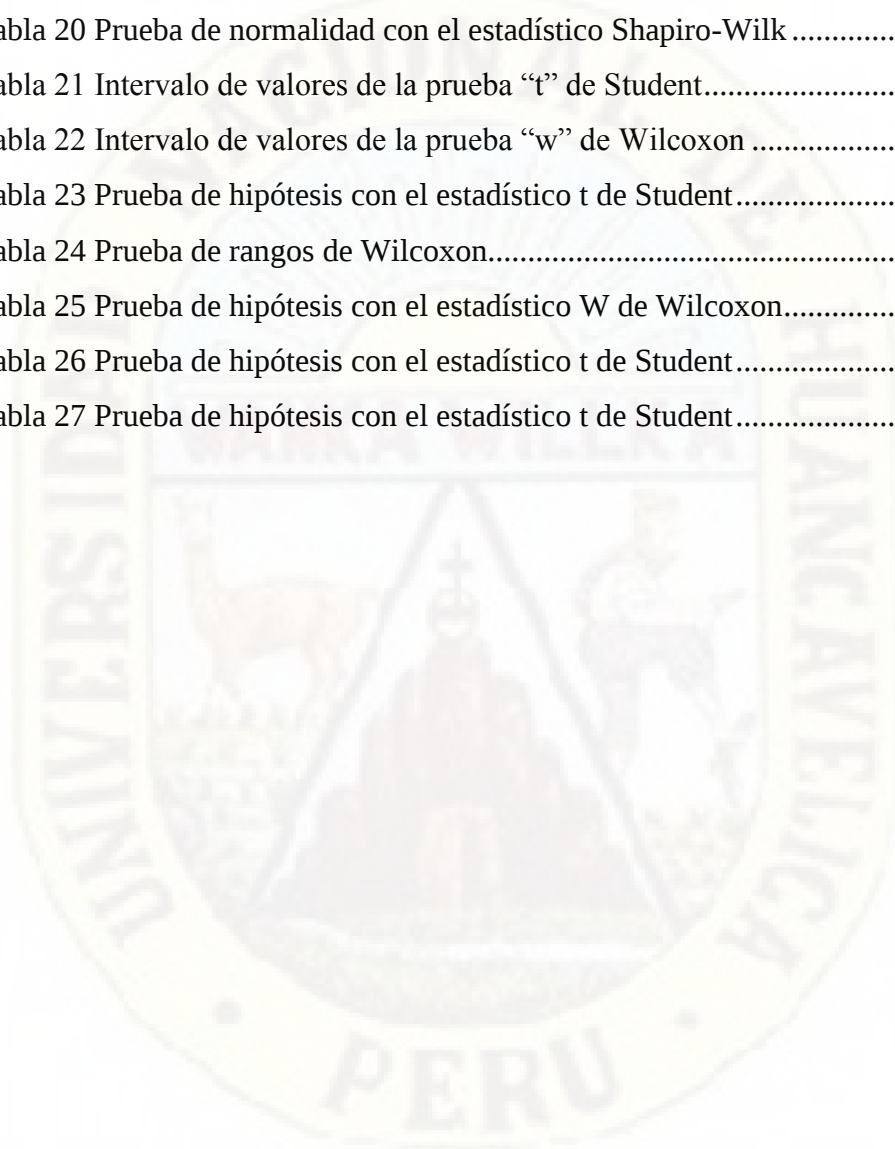
2.1.1.	Eutrofización.....	44
2.1.2.	Indicadores físicos del agua.....	52
2.1.3.	Indicadores químicos como indicadores del estado trófico del agua....	55
2.1.4.	Aguas superficiales	57
2.1.5.	Calidad de agua.....	58
2.1.6.	Contaminación de agua.....	58
2.1.7.	Monitoreo de la calidad de agua	59
2.2.	Bases Conceptuales.....	61
2.3.	Definición de términos.....	62
2.4.	Hipótesis	65
2.4.1.	Hipótesis General.....	65
2.4.2.	Hipótesis Específicas	65
2.5.	Variables	65
2.6.	Operacionalización de variables	65
CAPÍTULO III.....		67
MATERIALES Y MÉTODOS		67
3.1.	Ámbito temporal y espacial	67
3.1.1.	Ámbito temporal	67
3.1.2.	Ámbito espacial	67
3.2.	Método de investigación.....	67
3.2.1.	Método general	67
3.2.2.	Métodos específicos.....	68
3.3.	Tipo de investigación.....	68
3.4.	Nivel de investigación	68
3.5.	Diseño de investigación	69
3.6.	Población, muestra y muestreo	69
3.6.1.	Población	69
3.6.2.	Muestra	70
3.6.3.	Muestreo	72
3.7.	Instrumentos y técnicas para recolección de datos	72
3.7.1.	Instrumentos.....	72
3.7.2.	Técnicas	72

3.8.	Procedimiento de recolección de datos.....	73
3.8.1.	Toma de las muestras de agua	73
3.8.2.	Análisis de los parámetros insitu	73
3.8.3.	Análisis de los parámetros físicos.....	74
3.8.4.	Análisis de la transparencia	74
3.8.5.	Análisis de los parámetros químicos en el laboratorio	74
3.9.	Técnicas y procesamiento de análisis de datos	75
CAPÍTULO IV.....		76
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		76
4.1.	Análisis de información	76
4.1.1.	Indicadores físico-químicos de los puntos de monitoreo.....	76
4.1.1.	Determinación del Índice de estado trófico del río Ichu en base a la transparencia	85
4.1.2.	Determinación del Índice de estado trófico del río Ichu en base a la concentración de nitratos	86
4.1.3.	Determinación del Índice de estado trófico del río Ichu en base a la concentración de fosfatos totales	88
4.1.4.	Determinación del Índice de estado trófico del río Ichu.....	89
4.2.	Prueba de hipótesis	91
4.2.1.	Prueba de normalidad	91
4.2.2.	Contraste de la hipótesis específica 01	94
4.2.3.	Contraste de la hipótesis específica 02	96
4.2.4.	Contraste de la hipótesis específica 03	98
4.2.5.	Contraste de la hipótesis general	99
4.1.	Discusión de resultados	101
CONCLUSIONES		109
RECOMENDACIONES		110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		111
APÉNDICE		117

Índice De Tablas

Tabla 1 Clasificación del índice de estado trófico modificado para ríos según el índice de Carlson.....	42
Tabla 2 Relación entre los factores del TSI y las condiciones de los cuerpos de agua	43
Tabla 3 Clasificación del índice de estado trófico según Karydis, Ignatiades y Moschopoulou.....	44
Tabla 4 Distribución de las aguas superficiales en el mundo	58
Tabla 5 Operacionalización de variables	65
Tabla 6 Puntos de monitoreo del rio Ichu	70
Tabla 7 Cantidad de muestras en la investigación	71
Tabla 8 Estadísticos descriptivos de la variación del pH en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica	77
Tabla 9 Estadísticos descriptivos de la variación de la temperatura en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica.....	78
Tabla 10 Estadísticos descriptivos de la variación de la DBO en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica.....	79
Tabla 11 Estadísticos descriptivos de la variación de OD en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica	80
Tabla 12 Estadísticos descriptivos de la variación de la turbidez en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica.....	81
Tabla 13 Estadísticos descriptivos de la variación de la transparencia en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica.....	82
Tabla 14 Estadísticos descriptivos de la variación de la concentración de nitratos en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica.....	83
Tabla 15 Estadísticos descriptivos de la variación de la concentración de nitratos en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica.....	84
Tabla 16 Determinación del IET en base a la transparencia del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica	85
Tabla 17 Determinación del IET en base a la concentración de nitratos del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica	87

Tabla 18 Determinación del IET en base a la concentración de fosfatos totales del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica.....	88
Tabla 19 Determinación del Índice de estado trófico del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica.....	90
Tabla 20 Prueba de normalidad con el estadístico Shapiro-Wilk	92
Tabla 21 Intervalo de valores de la prueba “t” de Student.....	93
Tabla 22 Intervalo de valores de la prueba “w” de Wilcoxon	94
Tabla 23 Prueba de hipótesis con el estadístico t de Student.....	95
Tabla 24 Prueba de rangos de Wilcoxon.....	96
Tabla 25 Prueba de hipótesis con el estadístico W de Wilcoxon.....	97
Tabla 26 Prueba de hipótesis con el estadístico t de Student.....	98
Tabla 27 Prueba de hipótesis con el estadístico t de Student.....	100



Índice De Figuras

Figura 1 Cuerpo de agua oligotrófico	36
Figura 2 Cuerpo de agua mesotrófico	36
Figura 3 Cuerpo de agua eutrófico	37
Figura 4 Cuerpo de agua hipertrófico	37
Figura 5 Comparación de la eutrofización natural vs la eutrofización producida por el hombre	45
Figura 6 Proceso de eutrofización en un cuerpo de agua.....	48
Figura 7 Planificación de monitoreo de calidad de agua	60
Figura 8 Zona de monitoreo – puntos de monitoreo para el desarrollo de la investigación	71
Figura 9 Variación del pH en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica.....	77
Figura 10 Variación de la temperatura en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica	78
Figura 11 Variación de la DBO en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica	79
Figura 12 Variación de OD en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica.....	80
Figura 13 Variación de la Turbidez en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica	81
Figura 14 Variación de la Transparencia en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica	82
Figura 15 Variación de la concentración de Nitratos en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica	83
Figura 16 Variación de la concentración de Fosfatos totales en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica.....	84

Resumen

La presente investigación fue titulada: “Índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021”, con el objetivo de determinar el índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, cuya metodología de investigación fue de tipo básica, de nivel descriptivo y diseño no experimental – longitudinal, en donde se aplicó la ficha de observación como instrumento de recolección de datos; asimismo, se realizó 3 veces la medición de los parámetros fisicoquímicos del río Ichu en 07 puntos de monitoreo; en donde se encontraron los siguientes resultados: en promedio el pH fue de 7.42, la temperatura fue de 13.14 °C, la demanda bioquímica de oxígeno fue de 24.25 mg/L, el oxígeno disuelto fue de 4.70 mg/L, la turbidez fue de 4.74 NTU, la transparencia fue de 0.17 metros, la concentración de nitratos fue de 13.43 mg/L y la concentración de fosfatos totales fue de 0.59 mg/L; asimismo, se determinó que el IET Total del río Ichu fue en promedio de 88.56, en cuanto a su transparencia el IET de río fue de 85.81; en base a la concentración de nitratos el río presentó un IET de 4.21 y en base a la concentración de fosfatos el IET de río fue de 87.03; concluyendo así que el índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica fue hipertrófico, esto en la época de estiaje.

Palabras clave: Estado trófico, calidad de agua, eutrofización, hipertrofización.

Abstract

This research was entitled: "Trophic status index of the Ichu river in the urban area of the city of Huancavelica, in times of low water - 2021", whose objective was to determine the trophic status index of the Ichu river in the urban area of the city of Huancavelica, in times of low water - 2021, whose research methodology was of a basic type, descriptive level and non-experimental design - longitudinal, where the observation sheet was applied as a data collection instrument; Likewise, the measurement of the physicochemical parameters of the Ichu river was carried out 3 times in 07 monitoring points; where the following results were found: on average the pH was 7.42, the temperature was 13.14 ° C, the biochemical oxygen demand was 24.25 mg / L, the dissolved oxygen was 4.70 mg / L, the turbidity was 4.74 NTU, the transparency was 0.17 meters, the nitrate concentration was 13.43 mg / L and the total phosphate concentration was 0.59 mg / L; Likewise, it was determined that the Total IET of the Ichu river was on average 88.56, in terms of its transparency the IET of the river was 85.81; Based on the concentration of nitrates, the river presented an EIT of 4.21 and based on the concentration of phosphates, the EIT of the river was 87.03; thus concluding that the trophic state index of the Ichu river in the urban area of the city of Huancavelica was hypertrophic, this in the dry season.

Keywords: Trophic state, water quality, eutrophication, hypertrophy.

Introducción

La eutrofización es un proceso por el que pasa un río, en donde el agua recibe altas concentraciones de nutrientes (fósforo y nitrógeno), los cuales ayudan al incremento y acumulación de la biomasa de algas, las cuales causan la disminución del oxígeno disuelto en el agua, provocando la destrucción del ecosistema acuático, este proceso en los últimos años se ve acelerado drásticamente debido a las actividades antropogénicas causando que los ríos pasen de oligotróficos a eutróficos, y en el peor de los casos a hipertróficos; debido a ello la eutrofización es considerado como un problema de contaminación a nivel mundial desde el siglo pasado.

Actualmente, debido a las descargas de aguas residuales sin tratamiento que sufre el río Ichu dentro de la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, causan una evidente contaminación del río. Esta situación puede acelerar el proceso de estado trófico en el río.

En base a lo expuesto, en la presente investigación se determina el nivel de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, para que en base al resultado se pueda garantizar la conservación de este cuerpo de agua y de este modo aportar para futuras investigaciones y proyectos que busquen realizar la prevención y descontaminación del cauce de dicho río.

La presente investigación está conformada por cuatro capítulos, las cuales son los siguientes: en el Capítulo I se realiza el planteamiento del problema, en el Capítulo II se describe el marco teórico, en el Capítulo III se expone la metodología con la que se realizó la investigación, en el Capítulo IV se presenta los resultados, la prueba de hipótesis y las discusiones; últimamente se presenta las conclusiones, recomendaciones, las referencias bibliográficas y los apéndices.

Los autores.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y Formulación del Problema

1.1.1. Descripción del Problema

La calidad de cualquier cuerpo de agua depende de la acción antropogénica y de factores naturales, generalmente la calidad el agua es determinada en base a indicadores físicos y químicos comparados con estándares o directrices (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2014).

En la actualidad, mundialmente es una fuente de preocupación el deterioro de la calidad del agua, el cual se ve afectada por la actividad agrícola, antropogénica, industrial y el cambio climático (ONU, 2014).

Mundialmente, el principal problema de la calidad del agua es la eutrofización, el cual es causado principalmente por el incremento en el vertimiento de nutrientes (fósforo y nitrógeno) en un cuerpo de agua; la eutrofización daña principalmente los usos del agua. Los principales vertimientos de nutrientes provienen de la escorrentía de suelos agrícolas y de aguas residuales domésticas (ONU, 2014).

La eutrofización es un proceso por el que pasa un río, lago, embalses, etc., en donde el agua recibe altas concentraciones de nutrientes (fósforo y nitrógeno), los cuales ayudan al incremento y acumulación de la biomasa de algas, las cuales causan la disminución del oxígeno disuelto en el agua, provocando la destrucción del ecosistema acuático, este proceso se desarrolla de manera natural a lo largo de un periodo de tiempo muy largo (entre 500 a 10 mil años); pero, las actividades antropogénicas han venido apresurando drásticamente este proceso causando que ríos, lagos, lagunas, etc., a nivel mundial se transformen de oligotróficos a eutróficos, y en el peor de los casos a hipertróficos, solo en periodo de décadas; debido a ello la eutrofización es considerado como un problema de contaminación a nivel mundial desde el siglo pasado (García M. , 2016).

Las principales fuentes de vertimiento de nutrientes que causan la eutrofización en los ríos son: la actividad agrícola, las aguas residuales domésticas, los detergentes, áreas urbanas etc. (García M. , 2016).

En el Perú, existen 159 unidades hidrográficas, en donde el agua de estos recursos es usada en diversas actividades, en donde el 85% es usado para la agricultura, el 6% para consumo humano, el 6% para industrias, en donde solo el 24% de las aguas residuales domésticas son tratadas; por lo que, según la Autoridad Nacional del Agua, 129 de estas unidades hidrográficas se encuentran contaminadas, las cuales son a causa de actividades antropogénicas.

El agua en el Perú es aprovechada en diversas actividades, por lo que presenta características de contaminación, las que se originan debido a la necesidad que tiene el país de superar su desarrollo (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], s.f.).

La microcuenca del río Ichu posee una superficie de 1,382.73 km², en donde la fuente principal de contaminación en la zona de Ascensión y la ciudad de Huancavelica, se ven afectados por un caudal continuo de 11 l/s de descargas de aguas residuales domésticas (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2015).

Actualmente, debido a las descargas de aguas residuales sin tratamiento que sufre el río Ichu dentro de la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, causan una evidente contaminación del río. Estas aguas residuales principalmente contienen altas concentraciones de nutrientes (nitratos y fosfatos), esta situación puede acelerar el proceso de estado trófico en el río.

Debido al gran problema que causa la eutrofización y que es uno de los problemas más comunes a nivel mundial de la calidad del agua, se ha decidido determinar por qué nivel de estado trófico está atravesando el río Ichu, ya que es el único cuerpo de agua que atraviesa por la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, lo cual es importante para garantizar la conservación de este cuerpo de agua y de este modo aportar para futuras investigaciones y proyectos que busquen realizar la prevención y descontaminación del cauce de dicho río.

1.1.2. Formulación del Problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es el índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los indicadores físico-químicos (turbidez, pH, DBO, OD, temperatura, transparencia, nitratos y

fosfatos totales) del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021?

- ¿Cuál es el índice de estado trófico en base a la transparencia del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021?
- ¿Cuál es el índice de estado trófico en base a la concentración de nitratos en el río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021?
- ¿Cuál es el índice de estado trófico en base a la concentración de fosfatos totales en el río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- Medir los indicadores físico-químicos (turbidez, pH, DBO, OD, temperatura, transparencia, nitratos y fosfatos totales) del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021.
- Establecer el índice de estado trófico en base a la transparencia del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021.
- Establecer el índice de estado trófico en base a la concentración de nitratos en el río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021.

- Establecer el índice de estado trófico en base a la concentración de fosfatos totales en el río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021.

1.3. Justificación

Debido al acelerado crecimiento de la población en la ciudad de Huancavelica el cual ocasiona un mayor consumo de agua potable proveniente del cauce del río Ichu, que a su vez causa la disminución del caudal de agua de dicho río; asimismo, la gran generación de aguas residuales domésticas vertidas al río sin previo tratamiento, la ganadería, el pastoreo, la agricultura y la descarga directa de detergentes hacia las aguas del río Ichu, nació la presente investigación la cual identificó el estado trófico dicho cuerpo de agua, ya que los ríos son una base indispensable para los ecosistemas, debido a que mantiene la flora, fauna y vida humana que se desarrollan al alrededor.

Por lo expuesto, la investigación fue desarrollada para identificar porque estado trófico está atravesando el río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, esto con la finalidad de garantizar la conservación del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica y de este modo aportar para futuras investigaciones y proyectos que busquen realizar la prevención y descontaminación del cauce de dicho río.

1.4. Limitaciones

No se encontraron limitaciones en el desarrollo de la presente investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel Internacional

Rodrigues et al. (2015) realizaron la investigación “*Determination of toxicity assays, trophic state index, and physicochemical parameters on Piracicaba River and Itapeva Stream*”, la cual fue publicada en la Revista Interdisciplinaria de Ciencia Aplicada Ambiente & Agua; cuyo objetivo fue estudiar el factor de toxicidad de D magna, el índice de estado trófico (TSI), pH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto (OD) del arroyo Itapeva y del río Piracicaba en el año 2011; llegando a los siguientes resultados: En el río Piracicaba la temperatura promedio fue de 21.3°C y en el arroyo Itapeva fue de 21.2°C, los cuales fueron valores normales; en cuanto a la conductividad el arroyo Itapeva presentó valores entre 418.1 a 538.2 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y el río Piracicaba fue de 187.5 a 260.1 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; el oxígeno disuelto (OD) del arroyo Itapeva fue de 2.85 mg/l en promedio y en el río Piracicaba presentó un oxígeno disuelto de 8.79 mg/l en promedio; en cuanto al índice de estado trófico el río Piracicaba durante los meses de mayo, junio y julio presentó un estado mesotrófico y en agosto un estado eutrófico,

mientras que el arroyo Itapeva en mayo presento un estado ultraoligotrófico, en junio oligotrófico y en julio y agosto mesotrófico; llegando a la conclusión: El arroyo Itapeva y el río Piracicaba se encuentran en estados eutróficos, el pH y la temperatura de ambos cuerpos de agua son normales; el río Piracicaba posee un alto nivel de OD mientras que el arroyo Itapeva posee un OD por debajo del requerido para la vida acuática.

Batista y Flores (2013) realizaron el estudio: “*Estado trófico dos estuários dos rios Ipojuca e Merepe – PE*” el cual fue publicado en la Revista Online Tropical Oceanography de la Universidad de Federal de Pernambuco, cuyo objetivo fue estudiar el estado trófico y la calidad de agua de los estuarios de los ríos Ipojuca y Merepe utilizando el índice TRIX; los resultados fueron: Los valores TRIX en la confluencia de los ríos estuvo entre 5.41 y 7.50 lo que indico niveles tróficos altos y de mala calidad mostrando índices más bajos en la época de lluvia; en el río Merepe los valores de TRIX estuvo entre 6.07 y 7.50 lo que indica aguas de baja calidad y el río Ipojuca mostro valores de 5.63 a 783, lo que mostro niveles tróficos altos y de mala calidad; en general los valores más altos de los puntos de monitoreo fueron encontrados en mareas bajas en las épocas de lluvia lo cual muestra la estación más crítica para el sistema, en cuanto al fósforo total el río Ipojuca presentó la concentración más baja con un valor promedio de 35.37 $\mu\text{g/L}$, en cuanto al nitrógeno inorgánico en la confluencia de los ríos presento un promedio de 218.57 $\mu\text{g/L}$ y en el río Merepe las concentraciones de nitrógeno inorgánico fueron de 535.62 $\mu\text{g/L}$; las conclusiones fueron: Los estuarios de los ríos Ipojuca y Merepe se encuentran bajo una fuerte presión antrópica esto debido a altas cargas de nitrógeno y fósforo; los estados tróficos de los ríos estudiados mostraron una mala calidad de las aguas de sus estuarios.

Campos et al. (2020) realizaron la investigación: “*Índice del Estado Trófico (IET) en aguas amazónicas: bahía Marajó y bahía*

Guajará”, el cual fue publicado en la Revista Investigación, Sociedad y Desarrollo, cuya finalidad fue determinar el índice de estado tr fico en cuerpos de agua de la amazonia, para determinar el IET en esta investigación se utilizó la metodología de Lamparelli la cual a su vez fue adaptado de la metodología propuesta por Carlson; los resultados fueron: en la bahía de Guajará se determinó un valor promedio de 0.25 mg/L de fósforo total, y un valor de 62.47 de IET, clasificándolo de este modo como eutrófico, por otro lado en el rio Maratauir  se determinó un valor promedio de 0.246 mg/L de fósforo total y un valor promedio de 44.92, clasificándolo así como ultraoligotrófico; las conclusiones fueron: La bahía Guajará obtuvo valores eutróficos en promedio, estos valores están ligados al uso y ocupación del suelo cercanos a los puntos de monitoreos y la interferencia del recurso hídrico mientras que el rio Maratauir  presentó valores ultraoligotr ficos lo que mostró un bajo grado tr fico.

Park et al. (2018) realizaron la investigación: “*Análisis de las características de eutrofización en la cuenca de Sookcheon utilizando el índice de eutrofización de Corea*”, la cual fue publicada en la Revista de Investigación de Humedales, cuya finalidad fue evaluar las características de la eutrofización en la cuenca del Sookcheon en los ocho ríos principales de esta cuenca, la metodología que se utilizó en el estudio fue el índice de Eutrofización de Corea; los resultados fueron: en el punto SoOak 1 el índice tr fico en primavera fue 36.36, en verano 39.77, en otoño 51.76 y en invierno 33.11, en el punto SoOak 2 el índice tr fico en primavera fue 39.23, en verano 43.85, en otoño 45.72 y en invierno 39.72, en el punto Chupung el índice tr fico en primavera fue 33.90, en verano 44.65, en otoño 50.80 y en invierno 33.04, lo cual indicó que el índice tr fico en este punto fue mesotrófico durante 3 estaciones del año, mientras que en otoño tuvo un índice eutrófico, en el punto SoOak 3 el índice tr fico en primavera fue de 37.95, en verano de 35.92, en otoño de 38.62 y en invierno de

33.05, en el punto SoOak 4 el índice trófico en primavera fue de 31.27, en verano de 34.97, en otoño de 38.55 y en invierno de 30.76, en el punto SoOak 5 el índice trófico en primavera fue de 44.95, en verano de 40.77, en otoño de 49.44 y en invierno de 45.01, en el punto SoOak 6 el índice trófico en primavera fue de 33.22, en verano de 42.92, en otoño de 44.48 y en invierno de 42.28 y en el punto Chuso el índice trófico en primavera fue de 52.66, en verano de 50.73, en otoño de 60.60 y en invierno de 44.80, lo cual indica que el índice trófico en este punto fue mesotrófico durante todo el año; las conclusiones fueron: los ríos SoOak del 1 al 6 mostraron un índice trófico mesotrófico en general durante todo el año; en el río Chupung se determinó un índice mesotrófico durante 3 estaciones del año, mientras que en otoño tuvo un índice eutrófico y en el río Chuso durante todo el año se mostró un índice eutrófico.

Ruiz (2017) realizó la investigación: *“Análisis comparativo de índices de eutrofización en lagunas costeras del Estado de Sonora, México”*, para optar el grado de Doctor en Ciencia en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., donde se planteó la finalidad de identificar indicios de eutrofización y contrastar la sensibilidad de los parámetros ambientales en las lagunas costeras de Sonora; obteniendo los siguientes resultados: las concentraciones anuales de nitrógeno fueron: en la laguna El Soldado fue entre 0.0 a 7.4 µg/L, en Guaymas fue entre 0.6 a 27.3 µg/L, en Lobos fue entre 0.2 a 30.6 µg/L y en El Tóbari fue entre 0.2 y 92.3 µg/L, en cuanto a las concentraciones anuales de fósforo fueron: en la laguna El Soldado fue entre 0.03 a 3.3 µg/L, en Guaymas fue entre 0.0 y 1.8 µg/L, en Lobos fue entre 0.0 y 2.4 µg/L y en El Tóbari fue entre 0.0 y 5.3 µg/L, las concentraciones del OD en las cuatro lagunas oscilaron entre los valores de 2 a 14 mg/L; las conclusiones fueron: en las 4 lagunas costeras estudiadas se identificó el proceso de eutrofización, en cuanto a las lagunas Guaymas, Lobos y El Tóbari presentaron un estado que

varía de oligotrófico a mesotrófico y una calidad de agua buena; no obstante, debido a los efluentes de aguas residuales, estas lagunas mostraron indicios de eutrofización.

Moreira y Sabando (2016) realizaron la investigación: *“Determinación del nivel de eutrofización del embalse Sixto Duran Ballén mediante índices de estado trófico”*, para lograr el grado de Ingeniero en Medio Ambiente en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, en donde se plantearon el objetivo de identificar el grado de eutrofización del embalse en estudio y determinar la caracterización física y química del agua del embalse, llegando a los siguientes resultados: los valores de pH varían entre 9.17 y 9.87, los valores de temperatura oscilan entre 28 y 31.1 °C, el OD mostró valores entre 4.27 y 11.8 mg/L; los valores de la transparencia fueron entre 0.39 y 0.62 m; el fósforo total determinado tuvo valores entre 0.521824 y 0.880878 mg/L; asimismo, el IET del embalse mostró valores entre 80 y 84; las conclusiones fueron: El embalse en estudio presentó un índice eutrófico, lo cual es debido a que los habitantes de los alrededores del embalse hacen uso de fertilizantes y pesticidas y riegan sus cultivos.

Toro (2019) realizó la tesis: *“Aplicación de metodologías para la estimación de la eutrofización en embalses tropicales y selección del índice de estado trófico más adecuado para el embalse Peñol - Guatapé, Colombia”*, para lograr el grado de título de Ingeniera Ambiental en la Universidad de Antioquia, donde se planteó la finalidad de utilizar varios índices de estado trófico y determinar cuál es el apropiado para las condiciones del embalse Peñol – Guatapé, en donde llegó a los siguientes resultados: en base al IET de Carlson, en cuanto a la transparencia del agua se encontraron valores entre 0.6 m y 3.3 m y un promedio de 1.8 m; en cuanto al fósforo total se encontró una concentración mínima de 17 µg/L, una concentración máxima de 160 µg/L y un promedio de 55 µg/L y en cuanto a los ortofosfatos la

concentración mínima fue de 10 µg/L la cual se dio durante casi todo el año y la concentración máxima fue de 37 µg/L el cual se dio en el mes de marzo; las conclusiones fueron: en el embalse Peñol – Guatapé predominaron índices que fueron desde mesotróficas a eutróficas; asimismo en épocas de estiaje impera el estado eutrófico y durante las épocas de avenida prevalece el estado mesotrófico.

Andrietti et al. (2015) ejecutaron la investigación: “*Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT*”, el cual fue publicado en la revista Ambiente y Agua: Revista Interdisciplinaria de Ciencias Aplicadas, en donde plantearon la finalidad de determinar la calidad del agua del río Caiabi base al índice de calidad de agua y el índice de estado trófico; determinaron cinco puntos de muestreo a lo largo de todo el río; los resultados fueron: el promedio del valor de la turbidez en época de lluvia fue de 11.36 NTU mientras que en época seca fue de 6.26 NTU, la temperatura en época de lluvia fue de 25.53 °C y en época seca fue de 22.48 °C; asimismo, en cuanto a las concentraciones de fósforo total el P1 y P3 tuvieron una concentración de 0.09 mg/L, el P2 de 0.24 mg/L, el P4 de 0.14 mg/L y el P5 de 0.6 mg/L; el pH del río tuvo una media de 5.18, el OD una concentración promedio de 6.61 mg/L, los valores de nitritos fueron entre 0.24 mg/L y 8.87 mg/L con una media de 3.15 mg/L, la DBO en época de lluvia fue de 1.2 mg/l mientras que en época de estiaje fue de 0.5 mg/l; las conclusiones fueron: el IET del río Caiabi durante la época de lluvia y la época seca fue ultraoligotrófico; esto quiere decir que el río presentó un riesgo bajo de eutrofización.

2.1.2. A nivel Nacional

Chávez et al. (2016) realizaron la investigación: “*Estado trófico del lago Pomacochas a través de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos*”, el cual fue publicado en la Revista Científica UNTRM, cuyo objetivo fue: estudiar el estado trófico del lago

Pomacochas y determinar las zonas más afectadas en base a las variables físicas, químicas y microbiológicas, en donde llegaron a los siguientes resultados: se determinaron 06 puntos de muestreo en el lago en donde la alcalinidad presento valores entre 118 mg/L y 141 mg/L; por otro lado, en cuanto a los nitratos el valor en los 6 puntos presentaron concentraciones entre 3.0 mg/L y 3.5 mg/L; las concentraciones de los fosfatos oscilaron entre 0.0 mg/L y 0.5 mg/L, la concentración promedio de OD fue de 8 mg/L, la turbiedad presento valores entre 1.2 UNT y 1.8 UNT; las concentraciones de DBO estuvieron entre los 7.16 mg/l – 8.34 mg/l; las conclusiones fueron: En base a los valores de $\text{Po}_4\text{-P}$ el lago presento un estado eutrófico lo que muestra que el lago presento una contaminación moderada.

Custodio y Chávez (2017) realizaron el estudio: *“Evaluación del estado trófico del rio Cunas mediante índices físicos, químicos y biológicos, en dos periodos climáticos - Junín, Perú”* la cual fue publicada en la Revista Científica en Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible, en donde se plantearon la finalidad de estudiar el estado trófico del rio Cunas a través de parámetros físicos, químicos y biológicos, en donde llegaron a los siguientes resultados; se determinaron 3 puntos de muestreo en donde los valores en época de lluvia fueron: los valores de pH oscilaron entre 7 y 8.10, en cuanto a la turbidez los valores estuvieron entre 4 FTU y 19 FTU; por otro lado, los valores de OD fueron de 50.16 y 91.60 % de saturación; las concentraciones de fosfatos oscilaron entre 0.00 y 0.153 mg/L y los valores de nitratos oscilaron entre 0.00 y 0.40 mg/L, la DBO tuvo valores entre 3.00 mg/l y 9.80 mg/l; asimismo, en la época de estiaje obtuvieron las siguientes concentraciones: en cuanto al pH se presentaron datos entre 7.00 y 8.50, la turbidez de las muestras variaron entre 2.00 FTU y 11.20 FTU; las concentraciones de OD oscilaron entre 60.00 y 87.50 % saturación, la concentración de fosfatos variaron entre 0.013 mg/L y 0.760 mg/L, la concentraciones

de nitratos estuvieron entre 0.010 mg/L y 5.793, la DBO presentó concentraciones entre 4.90 mg/l y 15.00 mg/l ; las conclusiones fueron: el estado trófico del río Cunas fue oligotrófico ya que presentaron una baja carga de algas; no obstante, aguas abajo estas algas fueron incrementado debido a que el cuerpo de agua es contaminado por el vertido de aguas residuales.

Quiroz (2019) realizó el estudio: *“Evaluación de los estados tróficos de la laguna principal del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo, Huaura – Lima”*, para lograr el grado de Ingeniero Ambiental en la Universidad Católica Sedes Sapientiae – Lima – Perú, en donde los objetivos fueron determinar los estados tróficos de la laguna de la Conservación Regional e identificar que fuentes eutrofizan dicha laguna; los resultados fueron: el índice de estado trófico del ACRAMM en base a la transparencia mostró valores entre los 0.13 m hasta los 0.19 m, en cuanto al IET los valores oscilaron entre los 74.73 y 80.20, indicando de este modo que la laguna ACRAMM esta eutrofizado, en cuanto al IET se determinaron valores entre 90.37 y 108.69, mostrando así que el ACRAMM está eutrofizado; en cuanto al fósforo total los valores obtenidos oscilaron entre $< 13 \mu\text{g/L}$ y $100 \mu\text{g/L}$, en donde el IET mostró valores entre 35.79 y 63.16 indicando de este modo que el ACRAMM se encuentra entre oligotrófico a eutrófico; las conclusiones fueron: El ACRAMM fue clasificado como eutrófico durante los 6 muestreos realizados en base a la transparencia y al fósforo total los 5 primeros muestreos mostraron un estado eutrófico y en el sexto muestreo se mostró un estado oligotrófico; Las fuentes que causan la eutrofización del ACRAMM son: aguas residuales agrícolas, industriales, pozos de oxidación del CC.PP. Medio Mundo, el pastoreo e instalaciones turísticas.

Ciriaco y Lanfranco (2020) realizaron la investigación: *“Determinación del estado trófico de la laguna San Nicolas a través*

de la cuantificación de clorofila a, nitratos, fosfatos y transparencia”, para optar el grado de Ingeniero Ambiental en la Universidad Privada del Norte, donde se plantearon la finalidad de identificar el estado trófico de la laguna San Nicolas; los resultados fueron: en cuanto a la transparencia del agua los valores hallados fueron entre 64.00 m a 68.42 m y un promedio de 66.55 m, la concentración de nitratos oscilaron entre 1.38 a 2.08 y un promedio de 1.67, en cuanto a fosfatos hallaron valores entre 2.82 a 3.31 y un promedio de 3.02, la concentración promedio del OD fue de 5.98 mg/L, una temperatura de 20.28 °C, un pH de 8.67 y una conductividad eléctrica de 296.67 $\mu\text{s}/\text{cm}$; las conclusiones fueron: el lago San Nicolas presentó un índice eutrófico según el TSI de Carlson modificado por Aizaki en base a la turbidez y clorofila-a; mientras que en base a los nutrientes (fosfatos y nitratos) la laguna presento un estado oligotrófico mesotrófico, dicho estado fue determinado con el Índice de Eutrofización por nutrientes de Karydis.

Flores et al. (2018) realizaron la investigación: *“Parámetros de calidad del agua y estado trófico de humedal artificial costero: caso de laguna "La Mansión" - Lima (Perú)”* en cual fue anunciado a través de la Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo, en el cual el objetivo general fue estudiar el estado trófico y la calidad de agua que posee la laguna La Mansión; la determinación del estado trófico fue según el criterio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo; asimismo, determinaron 12 puntos de monitoreo; los resultados del primer monitoreo fueron: en cuanto a la transparencia los valores que variaron de 40 cm a 125 cm y con un promedio de 74.4 cm, mientras que en la determinación conductividad eléctrica presentaron valores de 300 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 400 $\mu\text{s}/\text{cm}$, con un promedio de 325.8, el pH de la laguna estuvo entre 7.8 y 9.0, la concentración de OD estuvo entre 9.2 mg/L y 11.7 mg/L con un promedio de 7.58 mg/L; en el segundo monitoreo los resultados de la

transparencia oscilaron entre 75 cm y 130 cm presentando un promedio de 95.8, la conductividad eléctrica de la laguna estuvo entre 340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 390 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio de 355.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el pH del agua oscilo entre 7.70 y 8.40 con un promedio de 8.08 y la concentración del OD osciló entre 10.05 mg/L y 11.45 mg/L con un promedio de 10.82; los resultados del tercer monitoreo fueron: los valores de la transparencia del agua variaron de 62 cm a 90 cm con un promedio de 73.0, mientras que no se tuvieron datos de la conductividad eléctrica; por otro lado, el pH tuvo valores de 8.65 a 10.80 con un promedio de 9.82; no obstante, no se tuvieron datos para el OD; las conclusiones fueron: El lago La Mansión presento un estado hipertrófico; asimismo, la calidad de sus aguas pueden usarse para el riego de vegetales.

Vega y Bazán (2020) realizaron el estudio: *“Evaluación de la calidad fisicoquímica, biológica y nivel trófico del río Pinheiros - Sao Paulo - Brasil – 2016”*, para alcanzar el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad Privada del Norte, en donde se plantearon al meta de estudiar el nivel trófico, los para metros fisicoquímicos y biológicos del rio Pinheiros; para lo cual determinaron cuatro puntos de monitoreo, para determinar el estado trófico usaron el TSI de Carlson modificado; los resultados fueron: los valores de la turbidez en el primer punto de monitoreo variaron entre 8.4 UNT y 50.6 UNT, en el segundo punto de monitoreo fueron entre 27.11 UNT y 71 UNT, en el tercer punto de monitoreo estuvieron entre 6.32 UNT y 61.7 UNT y en el cuarto punto de monitoreo fueron entre 10.2 UNT y 72 UNT; los valores del pH en el primer punto de monitoreo variaron entre 6.49 y 7.28, en el segundo punto de monitoreo fueron entre 7.1 y 7.28, en el tercer punto de monitoreo oscilaron entre 6.56 y 7.25 y en el cuarto punto de monitoreo estuvieron entre 6.66 y 7.15; las concentraciones de OD en el primero punto de monitoreo fueron de 3.12 mg/L a 7.78 mg/L, en el segundo punto de monitoreo fueron

entre 0.19 mg/L y 4.69 mg/L, en el tercer punto de monitoreo oscilaron entre 0.6 mg/L y 2.32 mg/L y en el cuarto punto de monitoreo fueron entre 0.24 mg/L y 1.84 mg/L, la concentración de nitrógeno amoniacal oscilo entre 0.1 mg/L y 26.2 mg/L, el promedio de los valores del fósforo total en el primer punto fue de 2610 mg/m³, en el segundo punto fue de 10300 mg/m³, en el tercer punto presentó un valor de 9710 mg/m³ y en el cuarto punto fue de 11690 mg/m³, la concentración de DBO en el punto 1 estuvo entre 8 mg/l y 30 mg/l, en el punto 2 oscilaron entre 41 mg/l y 115 mg/l, en el punto 3 fue 16 mg/l y 68 mg/l y en el punto 4 oscilaron entre 18 mg/l y 79 mg/l; las conclusiones fueron: el rio Pinheiros presentó un estado hipertrófico y supertrófico, lo cual indica que las aguas de dicho rio no son idóneos para diversos usos.

2.1.3. A nivel Local

Dávila y Zúñiga (2018) desarrollaron el estudio: *“Determinación de fosfatos y nitratos en el río Ichu parte urbana del distrito de Huancavelica”*, para lograr el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario en la Universidad Nacional de Huancavelica, cuya finalidad fue identificar las concentraciones nitratos y fosfatos de la zona urbana del rio Ichu; los resultados fueron: los valores de fosfatos oscilaron entre 0.21 mg/L a 4.76 mg/L con un promedio de 1.17 mg/L, en donde los valores más altos se identificaron de mayo a setiembre; en cuanto a el valor del pH fue de 8.20 en promedio, el valor de OD fue en promedio de 7.85 mg/L, el valor de la temperatura fue 12.17 °C; por otro lado las concentraciones de nitratos fueron entre 0.2 mg/L y 4.6 mg/L, con un promedio de 2.42 mg/L, las concentraciones más altas de nitratos se manifestaron de mayo a setiembre; las conclusiones fueron: La concentración promedio de fosfatos en el rio Ichu sobrepasaron el valor establecido en la ECA – agua (categoría 3), lo cual ocasiona que la vida acuática se vea

afectada, esto es causado por los efluentes de aguas residuales municipales y domésticas.

Sáez (2019) realizó la investigación: *“Concentración de nitratos y fosfatos en el rio Ichu en época de estiaje en la parte urbana de Huancavelica”*, para lograr el grado de Maestro en Ciencias de Ingeniería con mención en Ecología y Gestión Ambiental en la Universidad Nacional de Huancavelica, cuya finalidad fue determinar la concentración de fosfatos y nitratos en el rio Ichu durante el tiempo de estiaje; los resultados fueron: las concentraciones de nitratos oscilaron entre 13 mg/L a 14.5 mg/l y el promedio fue de 13.583 mg/L; la concentración de fosfatos fueron entre 0.5 mg/L y 0.6 mg/L, con un promedio de 0.533 mg/L, el pH tuvo valores que oscilaron entre 6.1 a 7.5, con un promedio de 6.75, en cuanto a la temperatura determinaron temperaturas de 8.5 °C a 14 °C, con un promedio de 12.5 °C, la concentración de OD presento valores que variaron de 6.03 mg/L a 10.95 mg/L y un promedio de 8.476 mg/L; las conclusiones fueron: las concentraciones de fosfatos y nitratos se encuentran dentro de los ECA-agua (categoría 3); asimismo, el pH, temperatura, OD y conductividad eléctrica se encuentran dentro de los ECA-agua (categoría 3); por otro lado, la concentración de dichos parámetros tuvieron variaciones en los puntos de monitoreo debido a los efluentes de aguas residuales domésticas.

2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.2.1. Estado Trófico

2.2.1.1. Historia

Según Naumann E. limnólogo de origen sueco, desarrolló por primera vez lo que ahora es conocido como estado trófico esto en el año 1919, aunque comúnmente el estado trófico es vinculado con su sistema de clasificación

Naumann vio la clasificación del estado trófico como una consecuencia artificial de una realidad biológica (North American Lake Management Society, s.f.).

En el año 1929 en la publicación de un artículo, el concepto de estado trófico de Naumann se resumió en cuatro posiciones claras: (North American Lake Management Society, s.f.)

- La cantidad de algas en un cuerpo de agua se determina por diferentes factores, los cuales los principales son el fósforo y el nitrógeno.
- Las variaciones regionales en la producción de algas están vinculadas a la estructura geología de la cuenca, los cuerpos de agua en zonas agrícolas calcáreas son más verdes que los cuerpos de agua de cuencas hidrográficas boscosas y graníticas.
- La cantidad de producción en un cuerpo de agua daña la biología de esta en conjunto.
- Existen algunos vínculos evolutivos entre cuerpos de agua de varios tipos, los cuerpos de agua son más productivos al paso que envejecen.

2.2.1.2. Definición

El estado trófico se entiende como el rango en el que la materia orgánica abastece a los cuerpos de agua a través de la producción interna; el desarrollo de algas y micrófitos son influenciados por la luz, la temperatura y el abastecimiento de nutriente; ya que la luz y la temperatura casi siempre son constantes, el estado trófico se determina en base a la disponibilidad de nutrientes del cuerpo de agua, en donde el

fósforo es el nutriente que restringe el crecimiento de las plantas (Mihelcic y Zimmerman, 2012, pp. 322).

El estado trófico es el peso total de la biomasa que posee un cuerpo de agua, en un espacio y tiempo específico; esto quiere decir que, los factores de forzamiento como la gran cantidad de nutrientes provoca una respuesta biológica en el cuerpo de agua; no obstante, el efecto de los nutrientes puede variar dependiendo de la temporada, la profundidad, etc.; el estado trófico es multidimensional, por lo que un solo indicador no determina apropiadamente este estado (Nolen, 2015).

El estado trófico es el vínculo que existe entre el crecimiento de la materia orgánica viva (biomasa) y el estado de los nutrientes de un cuerpo de agua; este estado está clasificada en cuatro niveles los cuales son: oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico, esta clasificación comúnmente se realiza en base a la concentración de nutrientes (Ongley, 1997).

2.2.1.3. Clasificación de estados tróficos

2.2.1.3.1. Oligotrófico

El estado oligotrófico se da cuando los cuerpos de agua poseen pocos nutrientes, bajas concentraciones de algas, materia orgánica y macrófitos, presenta buena transparencia y una abundante concentración de oxígeno disuelto (Mihelcic y Zimmerman, 2012, pp. 322).

Figura 1

Cuerpo de agua oligotrófico



Nota: Tomado de (García & Miranda, 2018)

2.2.1.3.2. Mesotrófico

El estado mesotrófico es un punto intermedio entre el estado oligotrófico y eutrófico, constantemente cuenta con mucha vida de peces ya que posee altos niveles de producción de materia orgánica y una adecuada concentración de oxígeno disuelto (Mihelcic & Zimmerman, 2012, pp. 322).

Figura 2

Cuerpo de agua mesotrófico



Nota: Tomado de (García & Miranda, 2018)

2.2.1.3.3. Eutrófico

El estado eutrófico se da cuando el cuerpo de agua posee muchos nutrientes, grandes concentraciones de algas, materia orgánica y macrófitos, posee poca transparencia y una baja concentración de oxígeno disuelto (Mihelcic y Zimmerman, 2012, pp. 322).

Figura 3

Cuerpo de agua eutrófico



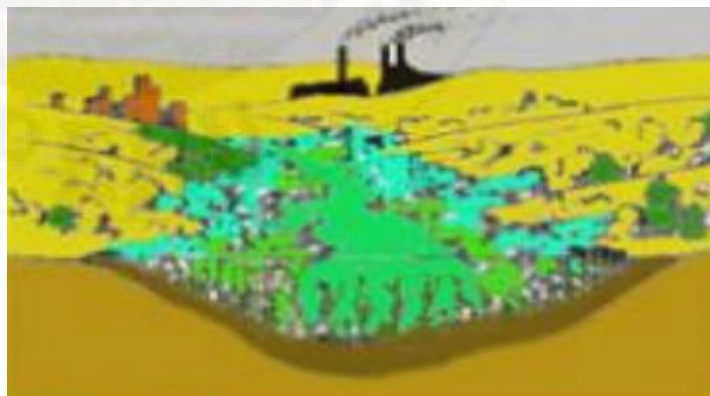
Nota: Tomado de (García & Miranda, 2018)

2.2.1.3.4. Hipertrófico

El estado hipertrófico se da cuando el cuerpo de agua posee altos niveles de producción biológica, la claridad del agua es muy poca y existe una gran cantidad de plantas acuáticas, también posee un alto potencial de soportar grandes cantidades de peces y vida silvestre (García y Miranda, 2018).

Figura 4

Cuerpo de agua hipertrófico



Nota: Tomado de (García & Miranda, 2018)

2.2.2. Índice de Estado Trófico

2.2.2.1. Definición

El índice de estado trófico es un grupo de clasificación diseñada para “clasificar” los cuerpos de agua en base a la cantidad de productividad biológicas producida en esta; al usar el índice se puede idealizar de forma rápida cuan productivo es un cuerpo de agua (Lake County Wateratlas, s.f.).

La palabra trófico significa “vinculado a la nutrición”; por lo tanto, el índice de estado trófico (IET) está diseñado para catalogar los cuerpos de agua en base a la cantidad de producción de biomasa que se da en el agua; al usar este índice se puede determinar de forma rápida cuan productivo es un cuerpo de agua; las clasificaciones del IET oscilan de 1 a 100, las cuales son descritos del siguiente modo: (Lake County Water Authority, s.f.)

- Si los valores del EIT son menores a 30 los cuerpos de agua poseen poca concentración de nutrientes y son muy poco productivos, este tipo de agua sería una adecuada fuente de abastecimiento de agua potable; estos cuerpos de agua presentan aguas cristalinas, pero al no contar con mucha disponibilidad de nutrientes y algas, no puede ser un ambiente saludable para peces y vida silvestre (Lake County Water Authority, s.f.).
- Cuando los valores del EIT se encuentran entre 30 y 45 poseen una concentración media de nutrientes, por lo que estos cuerpos de agua son razonablemente productivos, la cantidad de nutrientes y algas es óptima, por lo que es un ambiente adecuado para el desarrollo de peces y vida silvestre (Lake County Water Authority, s.f.).

- Los cuerpos de agua que poseen valores entre 46 y 70, tienen nutrientes suficientes, lo que indica que son altamente productivos, al poseer una concentración alta de nutrientes pueden soportar grandes cantidades de algas, peces, aves, etc. (Lake County Water Authority, s.f.).
- Los cuerpos de agua que poseen un valor entre 71 y 100 poseen demasiada concentración de nutrientes, por lo que es la clase trófica más productiva, por lo que los cuerpos de agua poseen el potencial de aguantar el nivel más alto de productividad biológica (grandes concentraciones de algas, plantas acuáticas, insectos, peces, etc.); asimismo, al poseer mayor potencial de condiciones de oxígeno disuelto puede llegar a perjudicar las plantas y animales nativos (Lake County Water Authority, s.f.).

2.2.2.2. Índice TSI de Carlson

Carlson en 1977 presento un nuevo enfoque sobre la clasificación trófica de los cuerpos de agua, dicha clasificación fue denominado como el índice de estado trófico (TSI) por sus siglas en inglés, este índice es un método para determinar y definir el estado trófico de los cuerpos de agua (Carlson, 1977, pp. 361).

La clasificación del índice de estado trófico de Carlson está basada en la duplicación de la biomasa de algas, en donde si se duplica la concentración de la biomasa de algas a partir de una concentración base, este valor será reconocido como un nuevo estado trófico (Carlson, 1977, pp. 364).

La determinación del TSI en base a la medición de la transparencia del cuerpo de agua con el disco Secchi la cual debe ser medida en metros es la siguiente: (Carlson, 1977, pp. 364)

$$TSI = 10(6 - \log_2 DS) \dots\dots\dots \text{Ecuación (1)}$$

Siendo:

DS = Transparencia en metros

En base a la regresión del disco Secchi se determinó las ecuaciones para calcular la clorofila a y el fósforo total; para la clorofila-a es resultado de la ecuación es: (Carlson, 1977, pp. 364)

$$\ln DS = 2.04 - 0.68 \ln Cl \dots\dots\dots \text{Ecuación (2)}$$

Siendo:

DS = Transparencia en metros

Cl = Concentración de Clorofila-a en mg/m³ tomado cerca de la superficie

En base a la ecuación Carlson determino la regresión del fósforo total, la cual fue: (Carlson, 1977, pp. 364)

$$DS = 64.9/FT) \dots\dots\dots \text{Ecuación (3)}$$

Siendo:

DS = Transparencia en metros

FT = Fósforo Total en mg/m³

Carlson en base a las regresiones de la transparencia en metros, la concentración del clorofila-a y la concentración de fósforo total; determinó las ecuaciones para calcular el índice de estado trófico de los cuerpos de agua, estas ecuaciones fueron: (Carlson, 1977, pp. 365)

Para el IET en base a la transparencia:

$$IET(DS) = 10 \left(6 - \frac{\ln DS}{\ln 2} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación (4)}$$

Para el IET en base a la clorofila-a:

$$\text{IET}(\text{Cl}) = 10 \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln \text{Cl}}{\ln 2} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación (5)}$$

Para el IET en base al fósforo total:

$$\text{IET}(\text{FT}) = 10 \left(6 - \frac{\ln \frac{48}{\text{TP}}}{\ln 2} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación (6)}$$

Siendo:

IET= Índice de estado trófico

ln = Logaritmo natural

DS = Transparencia en metros

Cl = Concentración de clorofila-a en mg/m³

FT = Concentración de fósforo total en mg/m³

Vega y Bazán en su investigación, modificaron las ecuaciones de Carlson, para determinar el índice de estado trófico en ecosistemas lóticos cambiando la unidad de medida de los parámetros, en donde: (Vega y Bazán, 2020)

$$\text{IET}(\text{DS}) = 10 \left(6 - \frac{\ln \text{DS}}{\ln 2} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación (7)}$$

$$\text{IET}(\text{CL}) = 10 \left(6 - \frac{-0.7 - 0.6 \times \ln(\text{CL})}{\ln 2} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación (8)}$$

$$\text{IET}(\text{FT}) = 10 \left(6 - \frac{0.42 - 0.36 \times \ln(\text{FT})}{\ln 2} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación (9)}$$

Siendo:

IET= Índice de estado trófico

ln = Logaritmo natural

DS = Transparencia en metros

Cl = Concentración de clorofila-a en µg/L

FT = Concentración de fósforo total en µg/L

Para determinar el índice de estado trófico (IET) en general del cuerpo de agua, se realiza en base a la ponderación de los coeficientes hallados en las tres ecuaciones ya mencionadas, cuya ecuación es: (Vega y Bazán, 2020)

$$IET = \left(\frac{IET(DS) + IET(FT)}{2} \right) \dots \dots \dots \text{Ecuación (10)}$$

Tabla 1

Clasificación del índice de estado trófico modificado para ríos según el índice de Carlson

IET	Transparencia (m)	Fósforo total (mg/m3)	Clorofila-a (mg/m3)	Categoría
≤ 44	DS = 1.6	P = 26.5	CL = 3.8	Oligotrófico
44 < IET ≤ 54	1.6 > DS = 0.8	26.5 > P ≤ 53.0	3.8 > CL ≤ 10.3	Mesotrófico
54 < IET ≤ 74	0.8 > DS = 0.2	53.0 > P ≤ 211.9	10.3 > CL ≤ 76.1	Eutrófico
IET > 74	0.2 > DS	211.91 < P	76.1 < CL	Hipertrófico

Nota: (CETESB Compañía de tecnología de Saneamiento Ambiental, 2004)

2.2.2.3. Relaciones entre variables del TSI

Los factores para determinar el índice de estado trófico están estrechamente vinculados, debido a ello en teoría cada uno de estos factores puede usarse para clasificar el estado trófico; no obstante, para la determinación del TSI se prioriza la clorofila-a, ya que este factor es el mejor para predecir la biomasa de las algas (Catalogador, s.f.).

Tabla 2*Relación entre los factores del TSI y las condiciones de los cuerpos de agua*

Relaciones entre factores del TSI	Condiciones
TSI(CI) = TSI(FT) = TSI(DS)	Algas dominan la luz.
TSI(CI) > TSI(DS)	Partículas grandes, dominan algas azules grandes.
TSI(FT) = TSI(DS) > TSI(CL)	Partículas que no son algas dominan la luz
TSI(DS) = TSI(CL) > TSI(FT)	La biomasa de algas se ve limitado por el fósforo.
TSI(FT) > TSI(CL) = TSI(DS)	La penetración de la luz está dominada por las algas, pero otro factor limita la biomasa de las algas.

Fuente: www.catalogador.mma.gob

2.2.2.4. Índice de Estado Trófico de Karydis, Ignatiades y Moschopoulou

En su investigación determinaron la evaluación del estado trófico de cuerpos de agua afectados por aguas residuales domésticas, con la formulación de un Índice de Nutrientes, el cual fue diseñado para aplicarse específicamente con cada nutriente (fosfatos y nitratos) (Karydis et al., 1983).

En base a los datos de nitratos y fosfatos formularon una ecuación de aplicación simple, para determinar los niveles de eutrofización en base a fosfatos y nitratos, esta ecuación se basó en transformaciones logarítmicas de las concentraciones de nutrientes; dicha ecuación es la siguiente: (Karydis et al., 1983)

$$IET = \frac{C}{C - \log X} + \log A \dots \dots \dots \text{Ecuación (11)}$$

Donde:

IET = Índice de estado trófico

C = Logaritmo del total de la concentración de nutrientes durante el tiempo de estudio (la suma de las concentraciones del nutriente durante todo el estudio de un punto de monitoreo)

X = La concentración del nutriente del punto de monitoreo.

A = Cantidad de puntos de monitoreo

Tabla 3

Clasificación del índice de estado trófico según Karydis, Ignatiades y Moschopoulou

Índice de estado trófico	Rango
Oligotrófico	$IET < 3$
Mesotrófico	$3 < IET < 5$
Eutrófico	$IET > 5$

Nota Karydis et al. (1983)

2.1.1. Eutrofización

2.1.1.1. Definición

La eutrofización es un estado que resulta como consecuencia del ingreso excesivo de nutrientes en un cuerpo de agua, provenientes de una fuente puntual o escorrentía de tierras agrícolas; para determinar la eutrofización en un cuerpo de agua es necesario determinar las concentraciones de nitrato, fósforo total, transparencia y clorofila-a (United Nations Environment Programme, 1996, pp. 55).

Según García y Miranda, la eutrofización es un proceso natural de envejecimiento de los cuerpos de agua, el cual se da de forma lenta sin la influencia de la actividad del hombre; no

obstante, diversos cuerpos de agua han sido dañados con las actividades diarias de la sociedad, estas actividades dañan la calidad y estética de los cuerpos de agua. Todo cuerpo de agua tiene a desaparecer con el paso del tiempo, pero las acciones de los seres humanos pueden acelerar el proceso de eutrofización (García y Miranda, 2018).

Figura 5

Comparación de la eutrofización natural vs la eutrofización producida por el hombre



Nota: (García & Miranda, 2018)

2.1.1.2. Causas de la eutrofización

Las causas de la eutrofización generalmente son antropogénicas, las cuales son: (Moreno et al. 2010)

- Descargas directas de aguas residuales, ya que estas son muy ricas en nutrientes y de este modo favorecen la variación del estado trófico del cuerpo de agua receptor.
- El uso de fertilizantes, los cuales contaminan el agua a través del aporte de nitrógeno y fósforo.

- La erosión de los suelos agrícolas y la deforestación, esto debido a los escurrimientos que al transcurrir por un área sin protección arrastran la capa fértil del suelo, traslado de este modo los nutrientes de la misma.
- La presencia de gases como el Sox, NOx, las cuales al juntarse con el agua de la atmosfera se transforman en No^{-3} y SO_4^{-2} , que a su vez forman sales solubles al entrar en contacto con el suelo causan el empobrecimiento de estos iones; estas sales, al ser arrastradas al cuerpo de agua causan un proceso de eutrofización.

2.1.1.3. Factores que influyen en la eutrofización de un cuerpo de agua

Los factores más importantes que influyen en el desarrollo de la eutrofización en un cuerpo de agua son las siguientes: (Mas, 2017)

- Clima: las temperaturas cálidas.
- Profundidad: la eutrofización se da mayormente cuando el cuerpo de agua posee poca profundidad.
- Área de drenaje: los lugares que poseen escaso manto vegetal y tiene precipitaciones intensas, ayudan al arrastre de nutrientes lo que influye en el desarrollo de la eutrofización.
- Geología: Los lugares sedimentarios aportan mayor cantidad de fósforo en comparación de otros terrenos, por lo que los suelos arcillosos a poseen una capacidad de drenaje baja contribuyen a la formación de escorrentías.

2.1.1.4. Principales efectos de la eutrofización causados por el ingreso de fósforo y nitrógeno en cuerpos de agua

El ingreso de altas concentraciones de nitrógeno y fósforo en cuerpos de agua causas los siguientes efectos principales: (García y Miranda, 2018)

- Incremento de la cantidad de algas (epifíticas y bentónicas) y macrófitos.
- Desarrollo de especies de algas potencialmente toxicas.
- Disminución de la cantidad de peces y diversidad de especies.
- Incremento de la frecuencia de mortandad de peces.
- Disminución de la transparencia del agua.
- Disminución de la concentración de oxígeno disuelto.

2.1.1.5. Mecanismo de formación de la eutrofización

La eutrofización se caracteriza por el incremento significativo de algas, debido a una gran disponibilidad de uno o varios factores necesarios para el crecimiento de estas; cuando las algas comienzan a desarrollarse descontroladamente, se genera una biomasa que está destinada a degradarse. Si los cuerpos de agua son profundos se junta sustancias orgánicas en gran cantidad (Scannone, 2016).

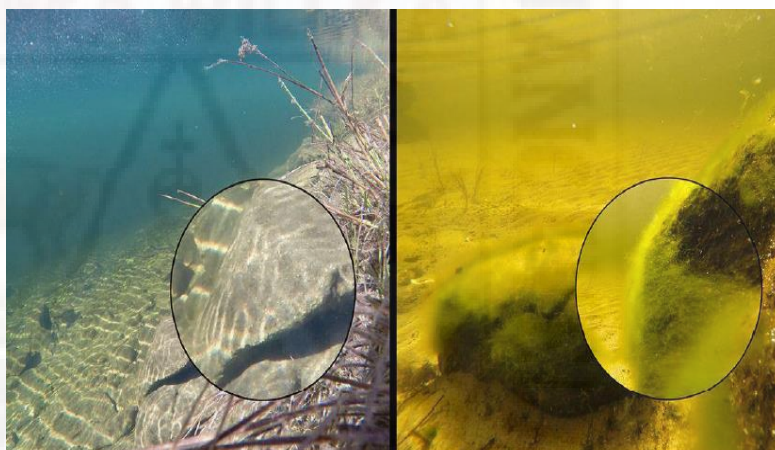
Para degradar toda la biomasa muerta de las algas se necesita muy altas concentraciones de oxígeno por parte de los microorganismos, al darse esto se desarrolla un ambiente anaerobio en el fondo del cuerpo de agua que da paso al desarrollo de microorganismos anaeróbicos, los cuales serán los nuevos encargados de la degradación de la biomasa; estos

microorganismos, al descomponer la biomasa en ausencia de oxígeno liberan compuestos tóxicos como el amoníaco y el sulfuro de hidrogeno (Scannone, 2016).

La poca concentración de oxígeno disminuye la biodiversidad del cuerpo de agua, causando en algunos casos, la muerte de seres vivos acuáticos. Lo antes descrito se da cuando la tasa de degradación de las algas por microorganismos es mayor que la de regeneración de oxígeno (Scannone, 2016).

Figura 6

Proceso de eutrofización en un cuerpo de agua



Fuente: (www.iagua.es)

2.1.1.6. Signos de eutrofización en cuerpos de agua

Los signos más importantes en el cuerpo de agua que indica que este está pasando por un proceso de eutrofización son las siguientes: (García y Miranda, 2018)

- Incremento de la cantidad de algas y macrófitos, normalmente este aumento de biomasa viene acompañado del empobrecimiento de especies típicas de

agua oligotróficas y la aparición de indicadores biológicos.

- Cambio en la calidad y el número de los seres vivos acuáticos; asimismo, cuando la eutrofización es muy avanzada se observa una disminución en el número de peces.
- Disminución química y física de la transparencia del agua y la concentración de oxígeno disuelto y el aumento de la concentración de fósforo y nitrógeno.

2.1.1.7. Consecuencias

La eutrofización causa varias consecuencias una de ellas es el consumo de grandes concentraciones de oxígeno disuelto y el aporte abundante de materia orgánica convertida en sedimentos (iAgua, 2018).

La eutrofización daña la calidad del agua, origina pérdida de biodiversidad y destrucción de los ecosistemas acuáticos, esto debido a la disminución o eliminación del oxígeno y la podredumbre de la biomasa muerta; debido a ellos, los cuerpos de agua eutrofizados adquieren un olor nauseabundo, el cual puede causar problemas respiratorios y al consumirlo puede provocar problemas sanitarios a las personas de la zona (iAgua, 2018).

Las condiciones anaeróbicas del fondo de los cuerpos de agua contribuyen al desarrollo de microorganismos que producen sustancias tóxicas que son dañinas para mamíferos y pájaros que no están afectados de forma directa por la falta de oxígeno. Al eutrofizarse un cuerpo de agua, pueden aparecer especies invasoras que desplazan a los seres vivos locales (iAgua, 2018).

2.1.1.8. Medidas para controlar la eutrofización

Las estrategias tradicionales de disminución de la eutrofización como el cambio de la concentración de nutrientes, la mezcla física del agua, la aplicación de herbicidas y alguicidas en el pasado han demostrado ser poco prácticas para ecosistemas grandes, son costosas e inefectivas, es por ellos que a la actualidad el control de la eutrofización está basado en técnicas de prevención, esto quiere decir en la eliminación de nutrientes antes de verterlos a los cuerpos de agua, a través de las siguientes actividades: (Scannone, 2016)

- Control de vertimientos: la descarga de nutrientes a los cuerpos de agua puede prevenirse con la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales, infiltrar los desechos en el suelo o exportar los residuos a una cuenca que no posea cuerpos de agua lénticos (Sierra, 2011).
- Mejoramiento del rendimiento de la depuración de las plantas de tratamiento de aguas residuales, a través de sistemas de tratamiento terciario para la disminución de la concentración de los nutrientes (Scannone, 2016).
- Implementación de filtros efectivos para la eliminación de fósforo y nitrógeno presente en el agua de escorrentía (Scannone, 2016).
- Disminución de fósforo en los detergentes (Scannone, 2016).
- Planificar la fertilización y el uso de fertilizantes de liberación lenta para racionalizar las técnicas agrícolas (Scannone, 2016).

- Realizar prácticas alternativas en la cría de animales, para de este modo la producción de aguas residuales se limite (Scannone, 2016).

Por otro lado, en el caso de que la calidad del agua ya se vea afectada, las técnicas preventivas serían ineficaces, es por ellos que se implementan procesos remediadores como: (Scannone, 2016)

- Remover y tratar las aguas profundas que tiene contacto con sedimentos, con concentraciones altas de nutrientes, ya que están directamente en contacto con la fuente de liberación.
- Oxigenar el agua para reestablecer las condiciones biológicas, disminuyendo los efectos negativos de la eutrofización, como la poca concentración de oxígeno y la formación de compuestos tóxicos provenientes del metabolismo anaeróbico.
- Precipitar químicamente el fósforo a través de la adición de sales de hierro o aluminio o carbonato de calcio en el cuerpo de agua, formando así los ortofosfatos de hierro, aluminio o calcio, disminuyendo de este modo los efectos negativos vinculados a las grandes concentraciones de fósforo en los sedimentos.
- Sembrar peces herbívoros o caracoles para incrementar la tasa de predación de algas, pero la desventaja de esta técnica es que sus efectos se dan a largo plazo.
- Realizar una biomanipulación o usar cinofagos.

La aplicación de las técnicas de control de cuerpos de agua eutrofizados dependerá de las características de cada cuerpo de agua y su cuenca, por lo que es importante aplicar

técnicas preventivas y correctivas, por lo que para determinar la mejor opción de control es necesario definir los siguientes aspectos: (Sierra, 2011, pp. 421)

- Los usos del agua. Es importante identificar las concentraciones de nutrientes que se permita en el cuerpo de agua para que se compatibilice con los usos benéficos de agua establecidos.
- El costo que tendrán las medidas a optar.
- La posibilidad de disminuir las fuentes puntuales o llegarlas a distribuir.

2.1.2. Indicadores físicos del agua

Los indicadores físicos son aquellos parámetros que influyen de manera directa en las condiciones estéticas del agua (Sierra, 2011).

2.1.2.1. Temperatura

Determinar la temperatura en el agua es importante, ya que este parámetro influye en varios indicadores de la calidad del agua; por ejemplo, la temperatura influye en el grado de saturación del oxígeno disuelto, en la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio, entre otros; asimismo, la temperatura es un indicador necesario para realizar estudios limniológicos; debido a ello, para lograr buenos resultados, la medida de la temperatura debe ser in situ (Romero, 2009, pp. 111).

2.1.2.2. Transparencia

La evaluación de este parámetro es para indicar la presencia o ausencia de materia en suspensión, viva o inerte, lo que refleja de forma general la calidad de un cuerpo de agua; no obstante, la presencia de cualquier sustancia

indeseable en solución no es determinado por la transparencia (Environmental Protection Agency Ireland, 2001, pp. 133).

La transparencia es expresada como la máxima profundidad medida en metros en la que es posible distinguir las marcas del disco Secchi; el cual es comúnmente usado en el estudio de cuerpos de agua para determinar la abundancia de algas (Environmental Protection Agency Ireland, 2001, pp. 133).

2.1.2.3. pH

La definición del pH es el logaritmo negativo del ion de hidrógeno, esto quiere decir que el pH determina si un líquido es ácido o alcalino, las escalas del pH se encuentran entre 0 (muy ácido) y 14 (muy alcalino). El pH natural de los cuerpos de agua dulce varía desde 4.5 que corresponde a cuerpos de agua con tierras altas, turbias y ácidas, hasta 10.0 que corresponde a cuerpos de agua que poseen una alta actividad fotosintética por parte de las algas; no obstante, el pH más común es entre 6.5 a 8.0 (Environmental Protection Agency Ireland, 2001, pp. 84).

2.1.2.4. Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes en la determinación de la calidad del agua, esto debido a que es muy influenciado por la eutrofización de un cuerpo de agua; la concentración de oxígeno disuelto en el agua es muy utilizado para identificar la salud de un río, ya que si la concentración del OD es menor de 4 mg/L se disminuye la cantidad de seres vivos acuáticos, y extremadamente si no existe oxígeno, los seres vivos complejos se mueren o emigran, debido a ello prevalecen

burbujeos, olores fétidos, lodos flotantes y viscosos (Masters & Ela, 2008, pp. 221).

La eutrofización está altamente relacionada con la concentración del oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, ya que, si existe gran biomasa de algas, la fotosíntesis se realizará en largos periodos de luz durante el verano, lo que puede causar que los niveles de OD se encuentren muy por encima del 100% de saturación; no obstante, durante la noche cuando no hay fotosíntesis las plantas empiezan a respirar por lo que causan el consumo de oxígeno (Environmental Protection Agency Ireland, 2001, pp. 80).

El oxígeno disuelto en el río depende de distintos factores como las aguas residuales, la fotosíntesis que es realizada por las algas dentro del río, la respiración de los seres vivos que viven en el río. En verano la solubilidad del oxígeno se ve afectada por el alza de las temperaturas (Masters y Ela, 2008, pp. 221).

2.1.2.5. Turbidez

La turbidez en la calidad de agua es una propiedad óptica, originada por la interferencia o dispersión de la luz que atraviesa una muestra de agua. La turbiedad en el agua es causada por una gran cantidad de materiales en suspensión como: limo, partículas gruesas, arcillas, materia orgánica e inorgánica, etc. (Romero, 2009).

2.1.2.6. Demanda bioquímica de oxígeno

La DBO es un parámetro importante para la determinación de la calidad del agua (Environmental Protection Agency Ireland, Ireland, 2001).

La demanda bioquímica de oxígeno es un análisis empírico estandarizada, en donde a través de procedimientos en el laboratorio se determinan las necesidades relativas del oxígeno del agua (Meybeck et al., 1996).

Los microorganismos presentes en el agua usan oxígeno disuelto en el agua obtenido de la atmosfera, para que realicen la oxidación bioquímica de la materia orgánica; el DBO es usada para determinar una aproximación de la concentración de materia orgánica bioquímicamente degradable presente en una muestra de agua (Meybeck et al., 1996).

2.1.3. Indicadores químicos como indicadores del estado trófico del agua

Los indicadores químicos están divididos en dos clases: indicadores químicos y sustancias químicas; los indicadores químicos son parámetros en donde su concentración en el agua se da debido a la presencia de varias sustancias, mientras que las sustancias químicas son aquellos parámetros químicos que se encuentran presentes en el agua (Sierra, 2011).

2.1.3.1. Nitratos

El nitrógeno es un compuesto indispensable para el desarrollo de plantas, es por ello que es nombrado como nutriente; debido a ello, es necesario conocer datos de la presencia y concentración de este en el agua, para posteriormente determinar las posibilidades de tratamiento de las aguas residuales a través de procesos biológicos (Sierra, 2011, pp. 71).

El nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua, este se origina en la

descomposición de sustancias orgánicas nitrogenadas (Sierra, 2011, pp. 71).

La concentración de nitratos en los cuerpos de agua mayormente proviene de fuentes orgánicas (descarga de aguas residuales municipales) e inorgánicas (pesticidas, fertilizantes, fungicidas, etc.); no obstante, la fijación del nitrógeno causado por las plantas y la oxidación bacteriana también producen nitratos. La determinación de este parámetro en los cuerpos de agua es importante porque, si el cuerpo de agua llegará a ser una fuente de abastecimiento de agua a una población, los altos niveles de nitratos serían peligrosos para los lactantes ya que inducen el síndrome del bebé azul; asimismo, el nitrato al reaccionar con la hemoglobina se convierte en nitrito lo cual es riesgoso para la salud ya que puede causar metahemoglobinemia (Environmental Protection Agency Ireland, 2001, pp. 68).

El nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua, este se origina en la descomposición de sustancias orgánicas nitrogenadas (Sierra, 2011, pp. 71).

Las principales fuentes de nitratos son las aguas residuales municipales, escorrentía de áreas ganaderas, fertilizantes químicos; el nitrógeno contribuye al proceso de eutrofización de un cuerpo de agua (Masters y Ela, 2008, pp. 197).

2.1.3.2. Fósforo total

El fósforo es un factor indispensable para la generación de algas. Actualmente, debido a la incontrolable propagación de algas en las aguas superficiales, es de mucho

interés limitar la cantidad de vertimientos de fósforo a las aguas superficiales (Sierra, 2011, pp. 73).

La determinación de la concentración del fósforo en los cuerpos de agua es importante ya que está vinculado a la eutrofización, ya que el fósforo junto con el nitrato contribuye al desarrollo de algas y otras plantas que causan floraciones, lodos, oxígeno disuelto diurno y consumo de oxígeno disuelto por la noche (Environmental Protection Agency Ireland, 2001, pp. 86).

El fósforo se encuentra en las plantas, microorganismos, desechos animales, en los fertilizantes y como un compuesto de los detergentes domésticos; asimismo, se encuentra en las descargas de aguas residuales municipales y escorrentías (Environmental Protection Agency Ireland, 2001, pp. 86).

2.1.4. Aguas superficiales

Las aguas superficiales son los ríos, ciénagas, lagos y lagunas, estas aguas son utilizadas por el hombre para realizar sus funciones básicas como abastecimiento de agua, recreación, acuicultura, navegación, etc.; no obstante, las aguas superficiales, son las aguas más contaminadas a nivel mundial, ya que se descargan las aguas residuales sin tratamiento de forma directa (Sierra, 2011, pp. 30).

Los lagos y las ciénagas a nivel mundial cumplen un rol importante para el balance hídrico local; los lagos más grandes del mundo se encuentran en el hemisferio norte; mientras que los del hemisferio sur los lagos más importantes están ubicados en África (Sierra, 2011, pp. 30).

Tabla 4*Distribución de las aguas superficiales en el mundo*

Situación del agua	Volumen en km ³	Porcentaje de agua dulce	Porcentaje de agua total
Lagos de agua dulce	91,000	0.26	0.007
Embalses	11,470	0.03	0.0008
Ríos	2,120	0.006	0.0002
Humedad del suelo (ciénagas, humedales, etc.)	16,500	0.05	0.001

Nota: (Sierra, 2011)

2.1.5. Calidad de agua

La calidad de agua puede ser definido como una serie de concentraciones, aspectos físicos y especificaciones de parámetros orgánicos, inorgánicos y biológicos; también es definido como el estado y composición de la biota acuática que se encuentra en el cuerpo de agua. La calidad varía espacial y temporalmente debido a los factores externos e internos del cuerpo de agua (Sierra, 2011, pp. 47).

La calidad de agua se puede determinar de dos formas básicamente: (Sierra, 2011, pp. 47)

- Determinando los factores: físicos (sólidos suspendidos totales, temperatura, transparencia, etc.), químicos (pH, nutrientes, acidez, etc.) y biológicos (coliformes, parásitos, etc.)
- Haciendo uso de un índice de calidad de agua.

2.1.6. Contaminación de agua

La contaminación del agua refiere a la introducción de sustancias o energía por parte del hombre de forma directa o indirecta,

lo cual trae como consecuencia problemas como: daños en los seres vivos, efectos en la salud de las personas, interferencia en actividades económicas como el riego, abastecimiento de agua para industrias, etc. (Sierra, 2011, pp. 47).

2.1.7. Monitoreo de la calidad de agua

El monitoreo de la calidad de aguas superficiales refiere a la medición de variables y procesos a través del tiempo, esto con la finalidad de identificar los cambios en factores físicos, químicos y biológicos del agua, con la finalidad de determinar si sus características son adecuadas para potabilización, protección de la vida acuática, etc. (Aguas Urbanas, 2018).

Existen diversas formas de realizar el muestreo de la calidad de agua, una de ellas es a través de la toma de muestras simples, como se describe a continuación:

a) Muestra simple o puntual

Este tipo de muestra radica en recoger una porción de agua en un lugar determinado, para posteriormente se realice su análisis. Este muestreo es la representación de las características de la composición original del cuerpo de agua en un determinado espacio y tiempo (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016).

La muestra simple es representativa cuando las concentraciones de los parámetros del agua son constantes relativamente a través del tiempo (ANA, 2016).

b) Planificación del monitoreo

Esta planificación es un trabajo en gabinete, en donde se diseña el trabajo de monitoreo, se determina los puntos de monitoreo, lugares de acceso y los puntos de muestreo a través

de herramientas informáticas, los factores a evaluar en cada punto, los equipos, materiales, reactivos y formatos de campo (ANA, 2016, pp. 33).

Figura 7
Planificación de monitoreo de calidad de agua



Nota: Autoridad Nacional del Agua

c) Establecimiento de la red de puntos de muestreo

La determinación de la red de puntos de muestreo se realiza antes del monitoreo de la calidad de agua, para lo cual la recopilación de información es realizada con herramientas informáticas (ANA, 2016, pp. 34).

Para el monitoreo de la calidad del agua de un río, la ubicación de los puntos de muestreo, debe ser realizado en base a los siguientes aspectos: (ANA, 2016, pp. 34)

- Determinar un punto de referencia o blanco, en la parte alta de la cuenca o intercuenca.

- Aguas arriba de la unión entre afluentes laterales importantes.
- Un punto de monitoreo aguas debajo de fuentes puntuales y difusas de contaminación.
- Aguas debajo de la salida de embalses y lagunas.

Los puntos de muestreo determinados deben ser accesible y seguros (ANA, 2016, pp. 35).

2.2. Bases Conceptuales

a) Índice de estado trófico

El índice estado trófico tiene la finalidad de catalogar los cuerpos de agua en distintos niveles tróficos, esto quiere decir, se evalúa la calidad del agua en base a los nutrientes y como estas están vinculadas con el crecimiento ilimitado de las algas o el potencial de desarrollo de macrófitos acuáticos (Compañía de tecnología de Saneamiento Ambiental, [CETESB] 2004, pp. 45).

Este índice fue introducido por Carlson, el cual desarrolló un método estadístico basado en la regresión lineal, este índice usa tres parámetros para su determinación las cuales son: transparencia, fósforo total y clorofila-a (CETESB, 2004, pp. 45).

b) Indicadores físicos del agua

La determinación de los indicadores físicos del agua no son parámetros absolutos para determinar la contaminación, los parámetros más importantes son: (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2017)

- Turbidez
- pH
- DBO

- OD
- Temperatura
- Transparencia

c) Indicadores químicos del agua

Los indicadores químicos son los más importantes para determinar la calidad el agua, los indicadores más importantes en cuerpos de agua que reciben vertimientos urbanos y/o industriales son: (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2017)

- Nutrientes (nitratos, fosfatos, etc.)

2.3. Definición de términos

1. **Aguas residuales:** Son aguas que fueron transformadas por actividades antropogénicas, estas necesitan un tratamiento antes de verterlas en un cuerpo de agua o ser reutilizadas, existen aguas residuales domésticas e industriales, en donde a la mezcla de ambas se les denomina aguas residuales municipales (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2012).
2. **Calidad de agua:** Es un término usado para determinar si el agua es adecuada para usarlo en varias actividades o procesos; cualquier uso posee diferentes requisitos físicos, químicos y biológicos, como por ejemplo límites permisibles en las concentraciones de las sustancias del agua para consumo humano (Meybeck et al., 1996).
3. **Clorofila-a:** La clorofila-a es un pigmento que se encuentra en todas las algas, la cual posee dos bandas de absorción, la zona roja con una longitud de onda entre 660 y 665 nm y la zona violeta con una longitud de onda de 430 nm (Sierra, 2011, pp. 74).
4. **Concentración:** Es la cuantía de las sustancias disueltas (solute) en relación a las sustancias que lo disuelven (solvente) (Significados.com, 2017).

5. **Conductividad eléctrica:** La conductividad en el agua es un valor numérico de su destreza para trasladar corriente eléctrica, la cual depende de los compuestos iónicos disueltos en el agua y de la temperatura (Romero, 2009, pp. 114).
6. **Cuerpos de agua:** Es un depósito natural tales como: ríos, lagunas, lagos, quebradas, etc., en donde se junta el agua para regar terrenos, criar peces, generar energía, etc. (Camacho y Ariosa, 2000).
7. **Demanda bioquímica de oxígeno:** Es la concentración de oxígeno que los microorganismos, oxidan bioquímicamente durante el proceso de degradación de la materia orgánica en la muestra de agua (Andreo, s.f.).
8. **Efluente:** Refiere a la descarga de aguas residuales de forma directa al ambiente, en donde la concentración de los contaminantes es medida con los límites Máximos Permisibles (MINAM, 2012).
9. **Estado trófico:** El estado trófico es el vínculo que existe entre el crecimiento de la materia orgánica viva (biomasa) y el estado de los nutrientes de un cuerpo de agua; este estado está clasificada en cuatro niveles los cuales son: oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico, esta clasificación comúnmente se realiza en base a la concentración de nutrientes (Ongley, 1997).
10. **Eutrofización:** La eutrofización es un estado que resulta como consecuencia del ingreso excesivo de nutrientes en un cuerpo de agua, provenientes de una fuente puntual o escurrentía de tierras agrícolas; para determinar la eutrofización en un cuerpo de agua es necesario determinar las concentraciones de nitrato, fósforo total, transparencia y clorofila-a (United Nations Environment Programme, 1996, pp. 55).
11. **Fósforo total:** Se encuentra en las plantas, microorganismos, desechos animales, en los fertilizantes y como un compuesto de los detergentes domésticos; asimismo, se encuentra en las descargas de aguas residuales municipales y escurrentías (EPA, 2001, pp. 86).

- 12. Índice de estado trófico:** Es un grupo de clasificación diseñada para “clasificar” los cuerpos de agua en base a la cantidad de productividad biológicas producida en esta; al usar el índice se puede idealizar de forma rápida cuan productivo es un cuerpo de agua (Lake County Wateratlas, s.f.).
- 13. Nitratos:** El nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua, este se origina en la descomposición de sustancias orgánicas nitrogenadas (Sierra, 2011, pp. 71).
- 14. Oxígeno disuelto (OD):** la concentración de oxígeno disuelto en el agua es muy utilizado para identificar la salud de un río, ya que si la concentración del OD es menor de 4 mg/L se disminuye la cantidad de seres vivos acuáticos, y extremadamente si no existe oxígeno, los seres vivos complejos se mueren o emigran, debido a ello prevalecen burbujeos, olores fétidos, lodos flotantes y viscosos (Masters y Ela, 2008, pp. 221).
- 15. pH:** La definición del pH es el logaritmo negativo del ion de hidrógeno, esto quiere decir que el pH determina si un líquido es ácido o alcalino, las escalas del pH se encuentran entre 0 (muy ácido) y 14 (muy alcalino) (EPA, 2001, pp. 84).
- 16. Transparencia:** La transparencia es expresada como la máxima profundidad medida en metros en la que es posible distinguir las marcas del disco Secchi; el cual es comúnmente usado en el estudio de cuerpos de agua para determinar la abundancia de algas (EPA, 2001, pp. 133).
- 17. Temperatura:** La temperatura es un indicador necesario para realizar estudios limniológicos; debido a ello, para lograr buenos resultados, la medida de la temperatura debe ser in situ (Romero, 2009, pp. 111).
- 18. Turbidez:** Es una propiedad óptica, originada por la interferencia o dispersión de la luz que atraviesa una muestra de agua. La turbiedad en el agua es causada por una gran cantidad de materiales en suspensión como:

limo, partículas gruesas, arcillas, materia orgánica e inorgánica, etc. (Romero, 2009).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

El índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 es hipertrófico.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- El indicador físico (transparencia) del río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, indica un estado hipertrófico.
- La concentración de nitratos en el río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 indican un estado eutrófico.
- La concentración de fosfatos totales en el río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 indican un estado hipertrófico.

2.5. Variables

- Variable unilateral:
 - Índice de estado trófico

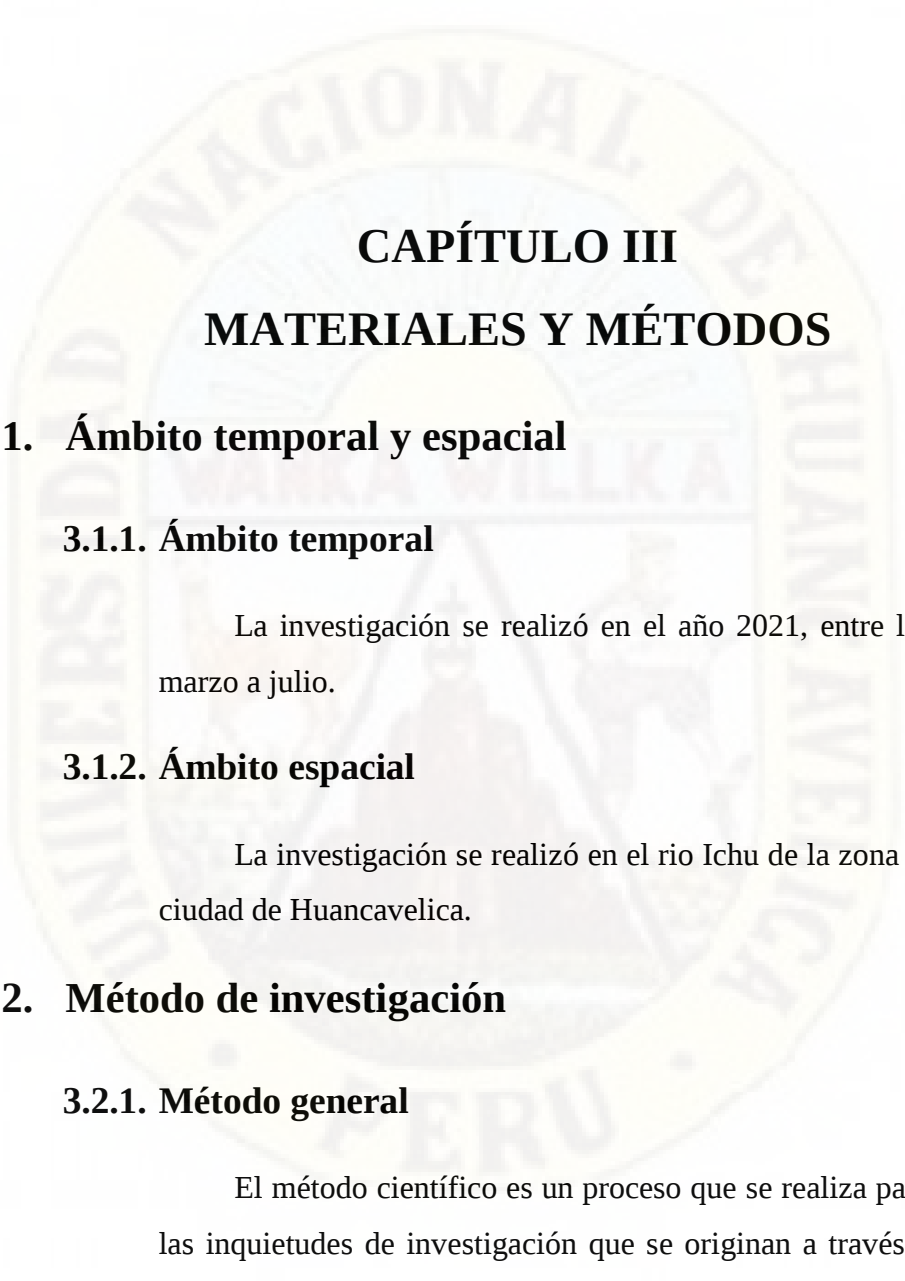
2.6. Operacionalización de variables

Tabla 5

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Escala
----------	-----------------------	------------------------	-----------	-----------	------------------	--------

Variable unilateral: Índice de estado trófico	El estado trófico es el vínculo que existe entre el crecimiento de la materia orgánica viva (biomasa) y el estado de los nutrientes de un cuerpo de agua; este estado está clasificada en	Se realizó la determinación del estado trófico del Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, a través de la determinación de la	Indicadores físicos	Transparencia	metros	Escala numérica
	cuatro niveles	transparencia,		Turbidez	NTU	
	los cuales son:	concentración		pH		
	oligotrófico,	de nitratos y		DBO ₅	mg/L	
	mesotrófico,	fosfatos totales,		OD	mg/L	
	eutrófico e	las cuales		Temperatura	° C	
	hipertrófico,	fueron	Indicadores químicos	Concentración de Fosfatos totales	mg/L	
	esta	reemplazadas en		Concentración de Nitratos	mg/L	
	clasificación	las ecuaciones				
	comúnmente se	desarrolladas				
	realiza en base a	por Carlson y Karydis et al., en donde con el coeficiente hallado se determinó el estado trófico del rio Ichu.				



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

La investigación se realizó en el año 2021, entre los meses de marzo a julio.

3.1.2. Ámbito espacial

La investigación se realizó en el río Ichu de la zona urbana de la ciudad de Huancavelica.

3.2. Método de investigación

3.2.1. Método general

El método científico es un proceso que se realiza para responder las inquietudes de investigación que se originan a través de diversos fenómenos ocurridos en la naturaleza y sobre los problemas que aquejan a la sociedad (Behar, 2008).

La investigación fue realizada bajo los procedimientos generales que establece el método científico.

3.2.2. Métodos específicos

El método inductivo se basa en la creación de leyes o conclusiones tras la observación de los hechos, esto hace que para considerar su aplicación como válida ningún caso debe contradecir el modelo propuesto (Behar, 2008, pp. 40).

El método deductivo consiste en el descubrimiento de datos desconocidos en base o a partir de datos que ya se conocen, de esta manera dichos datos descubiertos de forma global o general se podrán inferir de igual manera para los datos específicos (Arias, 2000, pp. 9).

La investigación fue desarrollada a través del método inductivo y deductivo, ya que se llegó a las conclusiones de esta a través de la observación de hechos y el descubrimiento de nuevos datos, todo ello en base a información ya conocida.

3.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación básica tiene como objetivo servir de soporte o base teórica para los otros tipos de investigación por lo que en este tipo de investigación se puede plantear la tesis con un alcance exploratorio correlacional o descriptivo (Arias, 2000, pp. 43). Por lo que la presente investigación fue de tipo básica.

3.4. Nivel de investigación

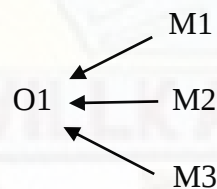
La investigación a nivel descriptivo consiste en la descripción y detalle del fenómeno en estudio por medio de la medición de sus atributos para ser capaz de delimitar los hechos que componen el problema de investigación (Behar, 2008, pp. 17).

La investigación fue de nivel descriptivo, ya que se determinó el estado trófico del río Ichu en base a la medición de sus parámetros físico-químicos.

3.5. Diseño de investigación

El diseño de investigación no experimental es aquel donde no se altera las variables independientes para poder observar su efecto sobre otras variables, para ello se observa el fenómeno tal y como se encuentra en su contexto natural para pasar con su análisis (Hernández et al., 2014, pp. 152).

El diseño de la investigación fue no experimental de corte transversal, ya que la recolección de datos se realizó sin manipular la variable y en un periodo de tiempo (época de estiaje).



Donde:

O1 = Observación del Estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica.

Mx = Mediciones de la variable.

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población

Población el fenómeno que será el objeto de estudio donde sus elementos son homogéneos, es decir dichos elementos comparten una o varias características en común (Soriano, 2012, pp. 81).

La población estuvo compuesta por la parte del río Ichu que transcurre por la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, la cual inicia desde la captación de agua para la Planta de Tratamiento Ichu de la Empresa Prestadora de Servicio EMAPA Huancavelica S.A. hasta la altura del puente Santa Rosa - Huancavelica.

3.6.2. Muestra

Es una porción representativa de la población, es decir que dicha porción o parte del universo o población osee elementos que representan y reflejan las características que definen la población de la que se extrajo (Soriano, 2012, pp. 81).

La muestra de la investigación fue determinada en base a los lineamientos establecidos en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, en donde se determinaron una muestra de 7 puntos de monitoreo, las cuales se muestran a continuación:

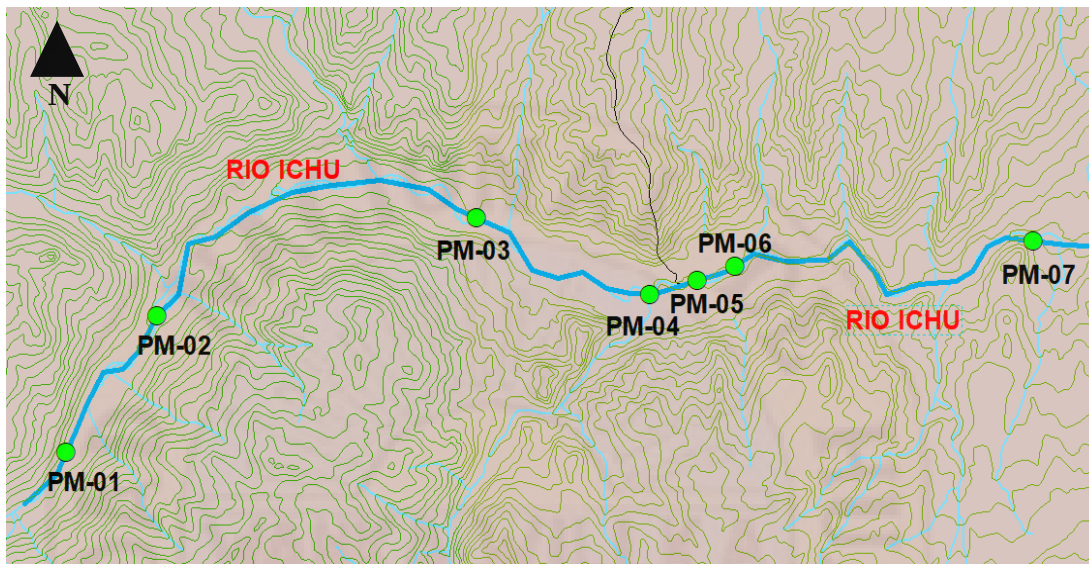
Tabla 6

Puntos de monitoreo del rio Ichu

Punto de monitoreo	Coordena da Este	Coordenada Norte	Altitud	Referencia
PM-01	494774.00	8584639.00	3792 msnm	Captación para la PTAP – EMAPA
PM-02	495893.00	8586289.00	3771 msnm	200 metros aprox. aguas abajo del Camal Municipal
PM-03	499975.00	8587536.00	3704 msnm	A 300 metros aprox. del Campo Ferial Callqui Chico
PM-04	502306.00	8586627.00	3681 msnm	300 metros aprox. aguas abajo del puente de la Victoria de Ayacucho
PM-05	503281.00	8586657.00	3676 msnm	A 70 metros aprox. aguas abajo del Puente Colgante
PM-06	503506.00	8586823.00	3673 msnm	Debajo del Puente Warmichaca
PM-07	506340.00	8586687.00	3601 msnm	100 metros aprox. antes de llegar al puente Santa Rosa

Figura 8

Zona de monitoreo – puntos de monitoreo para el desarrollo de la investigación



Las muestras fueron recolectadas cada 15 días por 2 meses, (mayo a junio), esto debido, a que el caudal del rio se ve disminuido considerablemente en estos meses por la época de estiaje. Estas muestras fueron de la siguiente manera:

Tabla 7
Cantidad de muestras en la investigación

Muestreo			Cantidad de muestra
Tercera	semana	de	07 muestras
Mayo			
Primera	semana	de	07 muestras
Junio			
Tercera	semana	de	07 muestras
Junio			
TOTAL		DE	21 muestras
MUESTRA			

3.6.3. Muestreo

El muestreo no probabilístico intencional establece cuotas en base a las características del universo o población, por consecuente la muestra será seleccionada en vista de que cumpla con tener características tanto significativas como típicas de la población (Santiesteban, 2014, pp. 265).

La determinación de la muestra de la investigación fue determinada a través del muestreo no probabilístico intencional, debido a que esta se determinó por los investigadores en base a las características de la población.

3.7. Instrumentos y técnicas para recolección de datos

3.7.1. Instrumentos

La ficha de registro se trata de una ficha la cual guarda registro y organiza los datos observados, dicha ficha puede tener estructura como también no, teniendo la primera un plan determinado y la segunda puede adoptar formas distintas, este último es mayormente empleado en estudios exploratorios (Ríos, 2017, pp. 105).

Para la recolección de datos de la investigación se aplicó la ficha de registro de datos.

3.7.2. Técnicas

La observación es una técnica con la cual se llega a conocer directamente el comportamiento de las variables, y en base a ello se llegue a analizar y describir sobre la realidad estudiada (Bernal, 2010, pp. 257).

El análisis de datos es un proceso estadístico cuyo objetivo es reducir los datos de manera que su interpretación sea sencilla y

entendible mediante la categorización, organización y resumen de estos (Ortiz, 2003, pp. 14).

Para la recolección de datos en la investigación se aplicó la técnica de observación y el análisis de datos.

3.8. Procedimiento de recolección de datos

3.8.1. Toma de las muestras de agua

La toma de las muestras de agua se realizó en base al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016), realizando los siguientes procedimientos:

1. Se determinó los puntos de monitoreo del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, considerando la seguridad de trabajo en el campo.
2. Se realizó el rotulado de la muestra.
3. La toma de muestra fue realizada en contra de la corriente, realizando el proceso de enjuague tres veces para evitar alguna alteración por parte de los frascos de muestra.
4. Se realizó la medición de los parámetros de campo con un multiparámetro.
5. Se realizó el registro de datos de la medición de los parámetros de campo, esto en la ficha de registro.
6. Se transportó las muestras dentro de un Cooler a una temperatura de 4°C para preservarlas.

3.8.2. Análisis de los parámetros insitu

Los parámetros insitu fueron analizados con un multiparámetro siguiendo los siguientes procedimientos:

1. Se calibró el multiparámetro con una solución buffer para determinar el pH.
2. Se limpió las sondas con agua destilada.
3. Se realizó la medición insitu de los parámetros de campo (pH y el OD), encendiendo el multiparámetro y presionando el botón de medición.
4. Después de la medición se enjuagó las sondas con agua destilada.
5. Con un termómetro ambiental, se midió la temperatura de la muestra.

3.8.3. Análisis de los parámetros físicos

1. La turbidez se analizó a través de un equipo nefelométrico, en el cual se introduce una pequeña cantidad de la muestra de agua.

3.8.4. Análisis de la transparencia

Se realizó la medición de la transparencia del río Ichu, en los puntos de monitoreo, para lo cual se utilizó el Disco Secchi, siguiendo los siguientes pasos:

1. Bajar el Disco Secchi dentro del agua, hasta perderlo de vista.
2. Anotar (en metros) la profundidad que el disco alcanza hasta que se pierde vista.

3.8.5. Análisis de los parámetros químicos en el laboratorio

El fosfato total y el nitrato fueron analizados a través del espectrofotómetro HACH DR 2800.

1. Con una pipeta se retiró 5 ml de la muestra, con la cual fue llenada la celda N° 1 del espectrofotómetro.

2. Se le añadió el reactivo correspondiente a la celda N°1, para la determinación de fosfato total y nitratos.
3. Se agitó hasta que la muestra de agua de la celda N°1 cambió de color.
4. Se encendió el espectrofotómetro y se introdujo la celda N°1.
5. Se llenó la celda N° 2 con 5 ml de muestra de agua destilada, ya que esta fue la muestra en blanco.
6. Se introdujo la celda N°2 en el espectrofotómetro.
7. Se presionó el botón medir del espectrofotómetro y se tomó nota de los resultados.

3.9. Técnicas y procesamiento de análisis de datos

La estadística descriptiva tiene como finalidad el procesar, resumir y analizar datos que se obtuvieron de las variables estudiadas, permitiendo conocer la magnitud de estas mediante el estudio de un conjunto de medidas tales como las de tendencia central y de dispersión (Ñaupas et al., 2014, pp. 254).

La estadística inferencial facilita a identificar la significatividad en sus variables mediante la comparación de dos o más grupos de datos, de esta manera identificamos si las diferencias existentes entre ellos son reales o son mera coincidencia (Ñaupas et al., 2014, pp. 254).

La estadística descriptiva fue realizada con el procesamiento de datos a través del programa Microsoft Excel v. 16; asimismo, para la estadística inferencial la cual corresponde a la prueba de hipótesis se realizó con el programa estadístico SPSS v. 25, en donde, primeramente, se determinó la normalidad de los datos de investigación, la cual, en base a los resultados se eligió el estadístico a utilizar, que fue la T de Student para datos con normalidad y Wilcoxon para datos sin normalidad.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

En este apartado presenté los resultados obtenidos en la investigación, el cual se realizó a través del monitoreo de agua, estos datos fueron recolectados durante los meses de mayo y junio del 2021, en donde se midió los parámetros físico-químicos más importantes del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, los datos de la estadística descriptiva fueron procesados en el programa Microsoft Excel v. 16, y la estadística inferencial fue procesada en el programa SPSS v. 25.

4.1.1. Indicadores físico-químicos de los puntos de monitoreo

En la presente investigación, los indicadores físico-químicos analizados fueron los siguientes: pH, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, turbidez, transparencia, nitratos y fosfatos totales, los cuales se analizaron durante tres tomas de muestras de cada punto de monitoreo, los cuales fueron realizados durante los meses de mayo y junio del 2021, en la época de estiaje específicamente.

4.1.1.1. Potencial de hidrógeno (pH) del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica

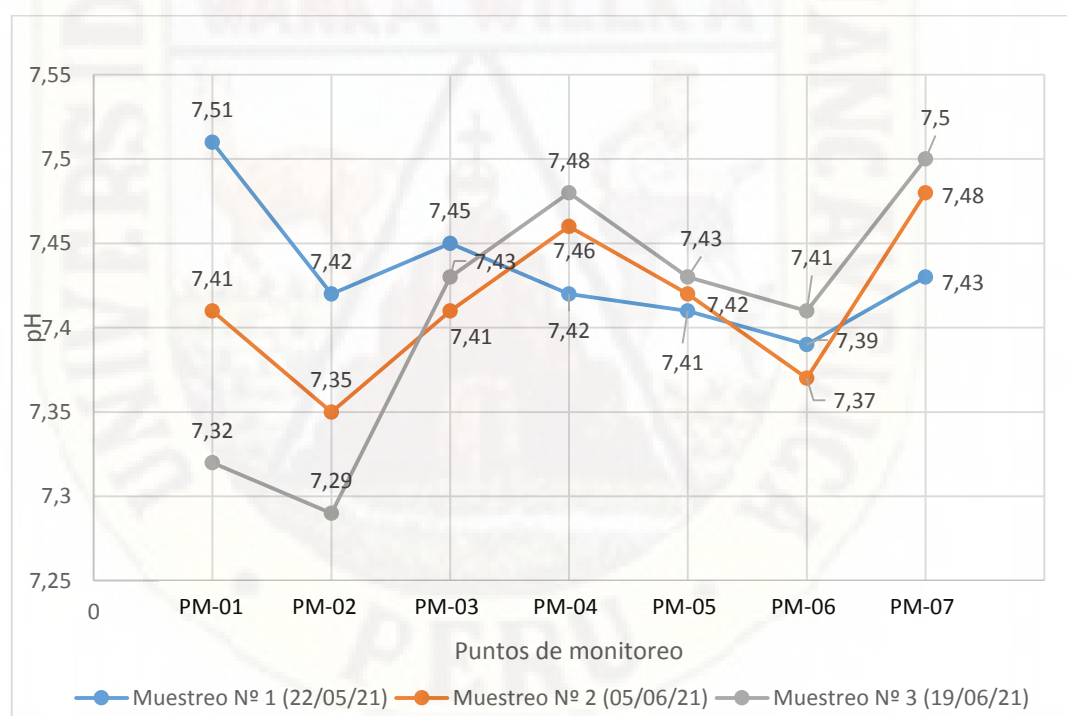
Tabla 8

Estadísticos descriptivos de la variación del pH en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica

	N	Min.	Máx.	Prom.	Moda	Desv. Desviación	Varianza
pH	21	7.29	7.51	7.42	7.41	0.05	0.00

Figura 9

Variación del pH en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica



En la Tabla 8 y Figura 9 se observó que el pH del río Ichu en la zona urbana de Huancavelica tuvo un valor promedio de 7.42, un valor máximo de 7.5 y un valor mínimo de 7.29; estos datos indicaron, que si bien el pH se encuentra dentro de la normativa establecida (ECA-Agua), tiende a ser ligeramente alcalina; asimismo, en la Figura 9 se mostró que, a medida que crece la época de estiaje, por la disminución del caudal del río, el pH tiende a volverse ligeramente alcalino.

4.1.1.2. Temperatura del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica

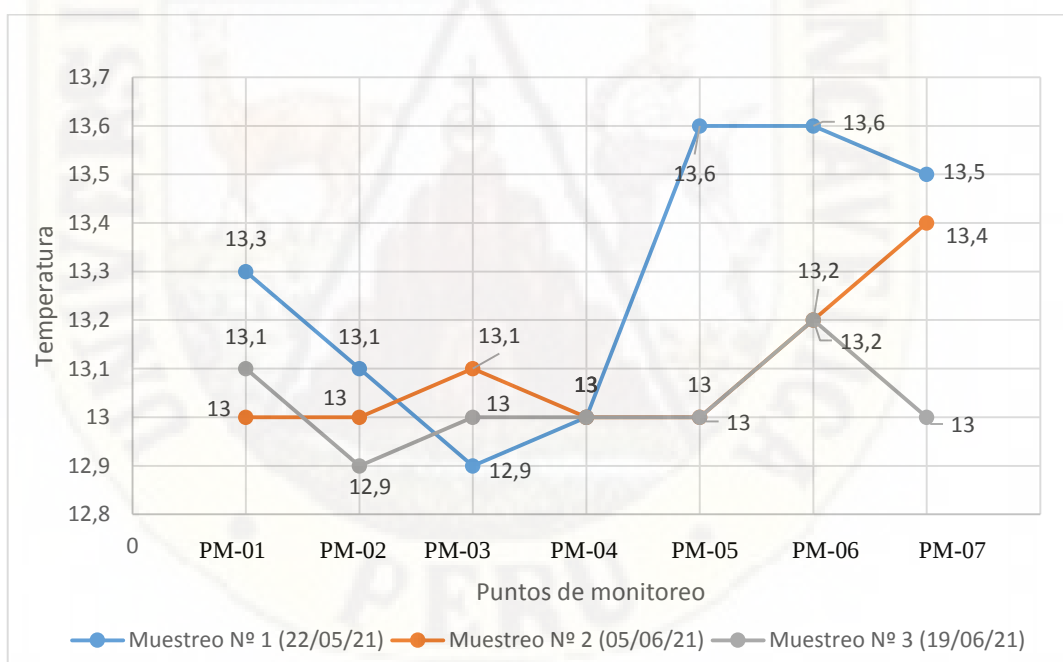
Tabla 9

Estadísticos descriptivos de la variación de la temperatura en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica

	N	Min.	Máx.	Prom.	Moda	Desv. Desviación	Varianza
Temperatura	21	12.90	13.60	13.14	13.00	0.22	0.05

Figura 10

Variación de la temperatura en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica



En la Tabla 9 y Figura 10 se mostró que la temperatura promedio del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica fue de 13.14 °C, alcanzando una temperatura máxima de 13.60 °C y una temperatura mínima de 12.90 °C, esto durante la época de estiaje; en la Figura 10 se observó que la temperatura del río oscila en los 13°C; no obstante, no se determina que esta tenga relación con la altitud del río o con alguna otra característica.

4.1.1.3. DBO del rio Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica

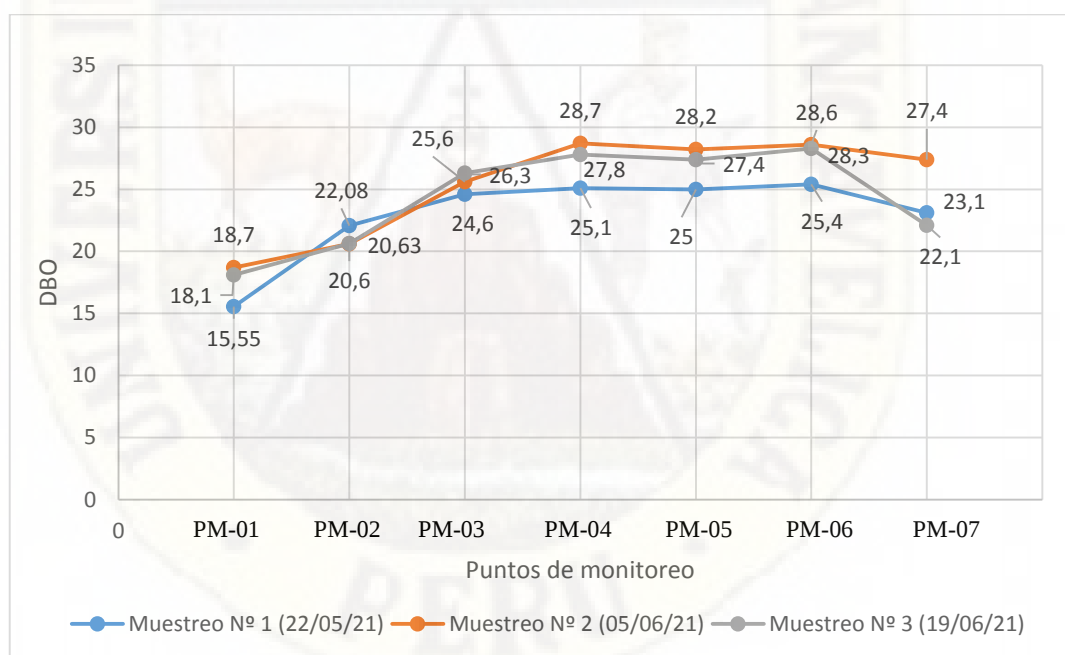
Tabla 10

Estadísticos descriptivos de la variación de la DBO en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica

	N	Min.	Máx.	Prom.	Moda	Desv. Desviación	Varianza
DBO	21	15.55	28.70	24.25	27.40	3.83	14.67

Figura 11

Variación de la DBO en los puntos de monitoreo del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica



En la Tabla 10 y Figura 11 se mostró que la concentración promedio de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) del rio Ichu en la ciudad de Huancavelica fue de 24.25 mg/L, la concentración máxima fue de 28.70 mg/L y la concentración mínima fue 15.55 mg/L; en la Figura 11 se observó que las concentraciones de DBO fue incrementando a medida de que pasara más tiempo la época de estiaje; asimismo, se mostró que en los puntos de monitoreo PM-03, PM-04, PM-05 y PM-

06, que corresponden a la zona urbana más poblada de la ciudad de Huancavelica la concentración de DBO fue incrementando en comparación con la concentración de DBO los puntos de monitoreo PM-01 y PM.07, que corresponde al inicio y final de la ciudad de Huancavelica; estas concentraciones mostraron que la calidad del río Ichu en la ciudad de Huancavelica es aceptable con indicios de contaminación; no obstante, esta cerca de pasar a una calidad contaminada.

4.1.1.4. OD del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica

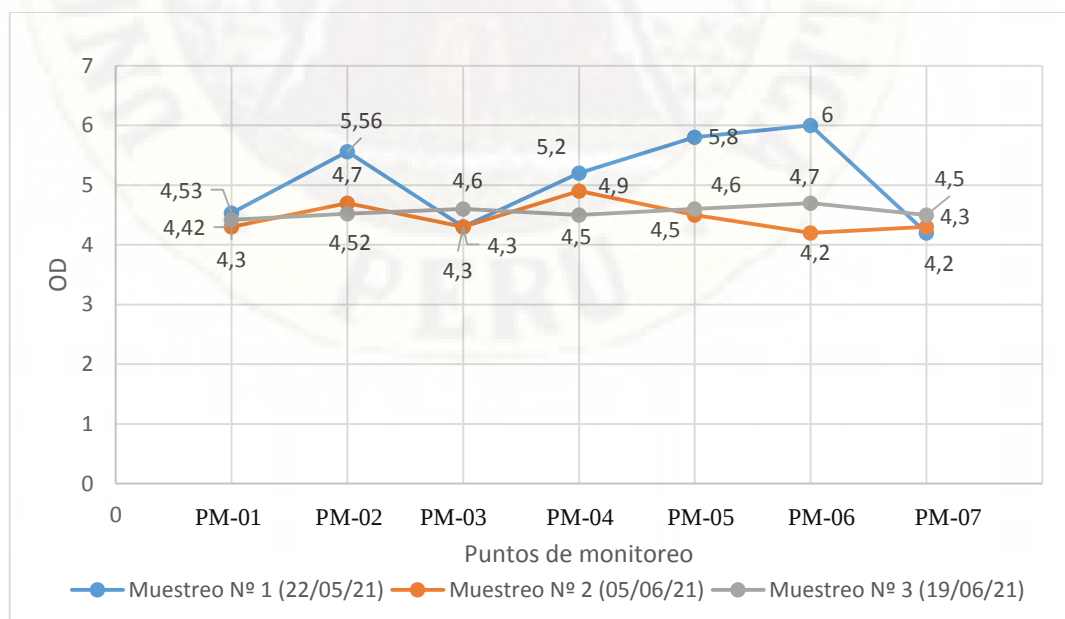
Tabla 11

Estadísticos descriptivos de la variación de OD en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica

	N	Min.	Máx.	Prom.	Moda	Desv. Desviación	Varianza
OD	21	4.20	6.00	4.70	4.30	0.52	0.27

Figura 12

Variación de OD en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica



En la Tabla 11 y Figura 12 se observó que la concentración de oxígeno disuelto en el río Ichu en la ciudad de Huancavelica durante la época de estiaje en promedio fue de 4.70 mg/L, la concentración máxima fue 6.00 mg/L y la concentración mínima fue 4.20 mg/L; estos resultados indicaron que la concentración de oxígeno disuelto, si bien en base a la normativa (ECA-Agua) es aceptable, no es una concentración óptima para garantizar que el ecosistema lótico del río Ichu sea estable y sano.

4.1.1.5. Turbidez del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica

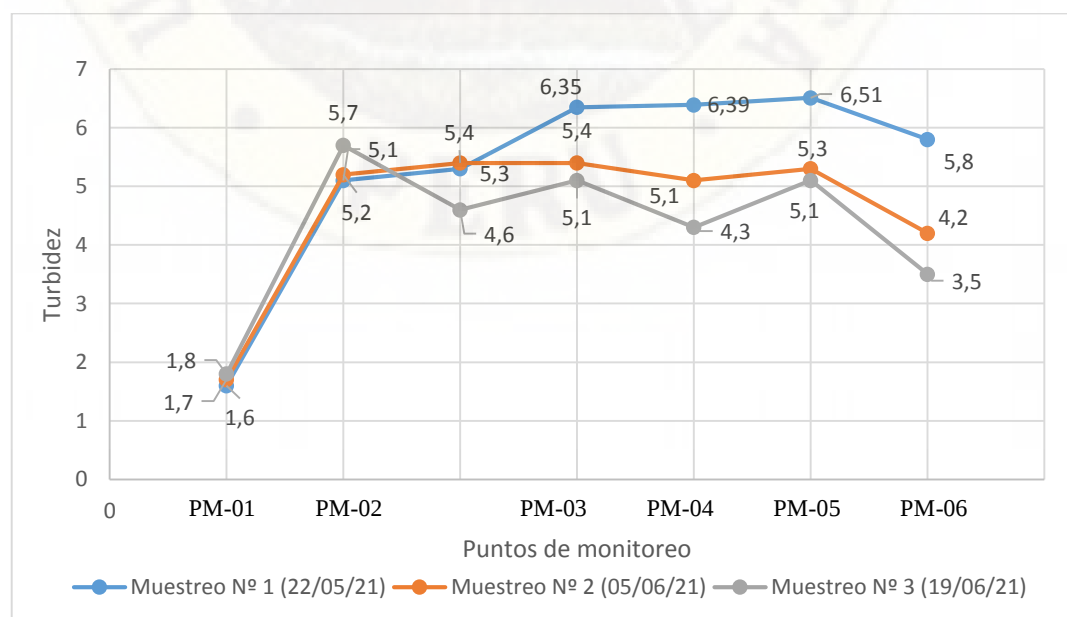
Tabla 12

Estadísticos descriptivos de la variación de la turbidez en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica

	N	Min.	Máx.	Prom.	Moda	Desv. Desviación	Varianza
Turbidez	21	1.60	6.51	4.74	5.10	1.46	2.13

Figura 13

Variación de la Turbidez en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica



En la Tabla 12 y Figura 13 se observó que la turbidez del río Ichu en la ciudad de Huancavelica durante la época de estiaje en promedio fue de 4.74 NTU, el valor máximo fue 6.51 NTU y el valor mínimo fue 1.60 NTU; estos resultados mostraron que la turbidez del río Ichu se viene incrementando al momento de atravesar por la zona urbana de la ciudad de Huancavelica.

4.1.1.6. Transparencia del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica

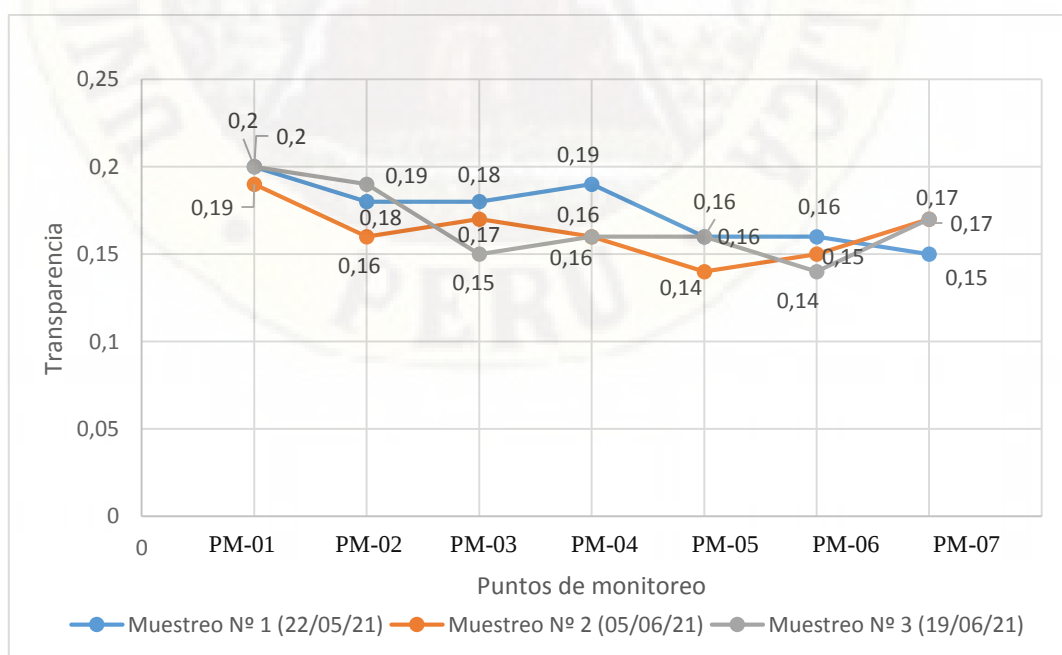
Tabla 13

Estadísticos descriptivos de la variación de la transparencia en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica

	N	Min.	Máx.	Prom.	Moda	Desv. Desviación	Varianza
Transparencia	21	0.14	0.20	0.17	0.16	0.02	0.00

Figura 14

Variación de la Transparencia en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica



En la Tabla 13 y Figura 14 se observó que la transparencia del río Ichu en la ciudad de Huancavelica durante la época de estiaje en promedio fue de 0.17 metros, el valor máximo fue 0.20 metros y el valor mínimo fue 0.14 metros; estos resultados mostraron que la transparencia del río Ichu no es la adecuada, esto debido a las aguas residuales y al desecho de residuos sólidos en su cauce, la poca penetración de la luz solar en el río causa que este acelere su eutrofización y la biomasa sedimentada se descomponga con más dificultad.

4.1.1.7. Concentración de Nitratos del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica

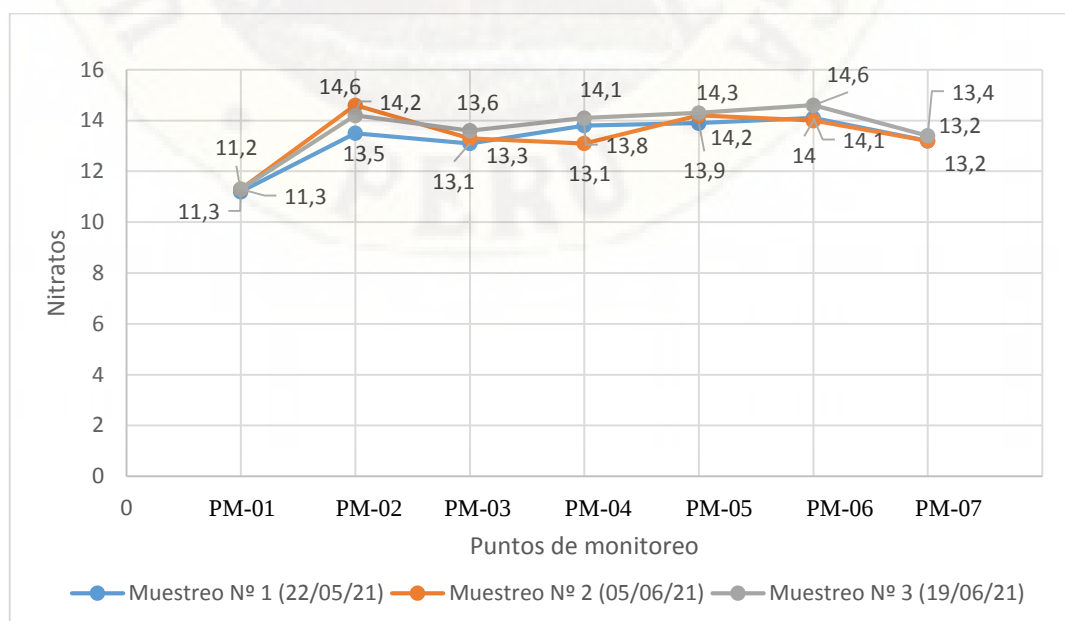
Tabla 14

Estadísticos descriptivos de la variación de la concentración de nitratos en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica

	N	Min.	Máx.	Prom.	Moda	Desv. Desviación	Varianza
Nitratos	21	11.20	14.60	13.43	11.30	1.02	1.03

Figura 15

Variación de la concentración de Nitratos en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica



En la Tabla 14 y Figura 15 se observó que la concentración de nitratos del río Ichu en la ciudad de Huancavelica durante la época de estiaje en promedio fue de 13.43 mg/l, el valor máximo fue 14.60 mg/l y el valor mínimo fue 11.20 mg/l; estos resultados mostraron que la concentración de nitratos del río Ichu se encuentra dentro de la normativa (ECA-Agua); no obstante, estos niveles de concentración se deben a que el río recibe descargas directas de aguas residuales domésticas, lo cual trae como consecuencia que el río en épocas de estiaje al tener un bajo caudal este se eutrofice por la acción de los nitratos.

4.1.1.8. Concentración de Fosfatos totales del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica

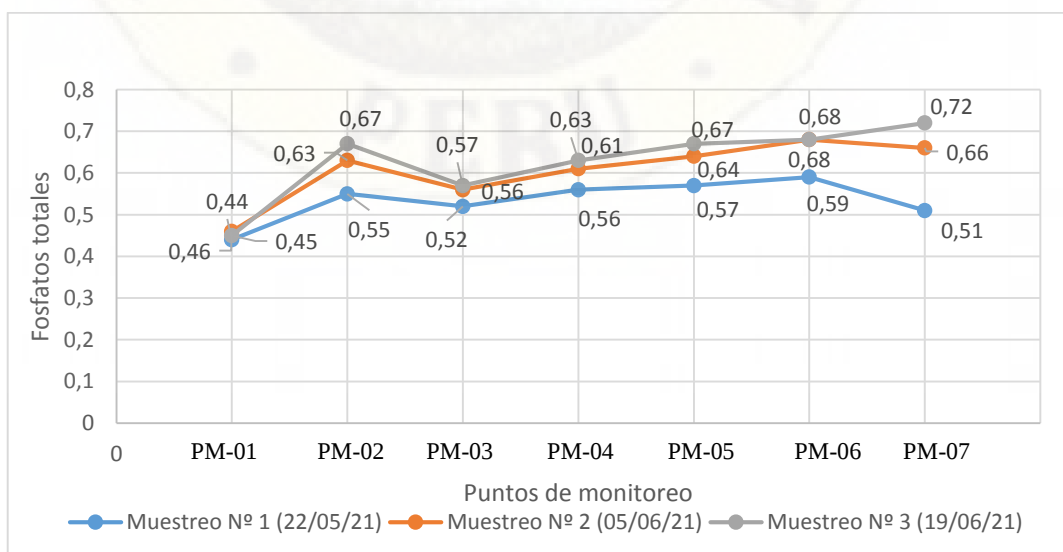
Tabla 15

Estadísticos descriptivos de la variación de la concentración de nitratos en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica

	N	Min.	Máx.	Prom.	Moda	Desv. Desviación	Varianza
Fosfatos totales	21	0.44	0.72	0.59	0.63	0.08	0.01

Figura 16

Variación de la concentración de Fosfatos totales en los puntos de monitoreo del río Ichu de la ciudad de Huancavelica



En la Tabla 15 y Figura 16 se observó que la concentración de nitratos del río Ichu en la ciudad de Huancavelica durante la época de estiaje en promedio fue de 0.59 mg/l, el valor máximo fue 0.72 mg/l y el valor mínimo fue 0.44 mg/l; estos resultados mostraron que la concentración de fosfatos totales del río Ichu sobrepasan lo establecido en la normativa (ECA-Agua), estos altos niveles de concentración de fosfatos totales se debe a la descarga directa de las aguas residuales domésticas sin tratamiento de la ciudad de Huancavelica, este parámetro es el principal causante de la eutrofización del río.

4.1.1. Determinación del Índice de estado trófico del río Ichu en base a la transparencia

Para determinar el IET en base a la transparencia del río Ichu de la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, se aplicó la siguiente ecuación, la cual fue desarrollada por Carlson (1977):

$$IET(DS) = 10 \left(6 - \frac{\ln DS}{\ln 2} \right)$$

Siendo:

IET= Índice de estado trófico

ln = Logaritmo natural

DS = Transparencia en metros

Tabla 16

Determinación del IET en base a la transparencia del río Ichu de la ciudad de Huancavelica

Punto de Monitoreo	IET DS (TRANSPARENCIA)						
	DS (m)	DS (m)	DS (m)	IET DS	IET DS	IET DS	IET DS
	22/05/2021	05/06/2021	19/06/2021	22/05/21	05/06/21	19/06/21	Promedio
PM-01	0.2	0.19	0.2	83.22	83.96	83.22	83.47
PM-02	0.18	0.16	0.19	84.74	86.44	83.96	85.05
PM-03	0.18	0.17	0.15	84.74	85.57	87.38	85.90
PM-04	0.19	0.16	0.16	83.96	86.44	86.44	85.62

PM-05	0.16	0.14	0.16	86.44	88.37	86.44	87.09
PM-06	0.16	0.15	0.14	86.44	87.38	88.37	87.40
PM-07	0.15	0.17	0.17	87.38	85.57	85.57	86.17
Promedio							85.81

En la Tabla 16 se observó que el índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica más alto se dio en el PM-05 y PM-06, los cuales son los puntos que se ubican en plena zona céntrica de la ciudad; por otro lado el IET más bajo se dio en el PM-01 el cual se encuentra ubicado aguas arriba antes de que el río atravesase por la ciudad de Huancavelica, estos resultados mostraron que el IET de río se ve afectado por la actividad antropogénica de la ciudad Huancavelica principalmente por el vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento y el desecho de residuos sólidos a este cuerpo de agua las cuales afectan la transparencia del agua; por otro lado, IET en base a la transparencia del río Ichu fue en promedio de 85.81, este valor indica que el río está atravesando por un estado hipertrófico durante las épocas de estiaje.

4.1.2. Determinación del Índice de estado trófico del río Ichu en base a la concentración de nitratos

Para determinar el IET en base a la concentración de nitratos del río Ichu de la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, se aplicó la siguiente ecuación, la cual fue desarrollada por Karydis, Ignatiades y Moschopoulou (1983), el cual determina el IET en base a la concentración del nutriente y total de la concentración del nutriente mientras se realizó el estudio:

$$IET = \frac{C}{C - \log X} + \log A$$

Siendo:

IET = Índice de estado trófico

C = Log de la sumatoria de nutrientes mientras se realizó el estudio (en cada punto de monitoreo)

X = La concentración del nutriente del punto de monitoreo.

A = Cantidad de puntos de monitoreo (7 puntos)

Tabla 17

Determinación del IET en base a la concentración de nitratos del río Ichu de la ciudad de Huancavelica

Punto de Monitoreo	IET NITRATOS								
	Nitratos	Nitratos	Nitratos	X	C	IET	IET	IET	IET
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)			Nitratos	Nitratos	Nitratos	Nitratos
	22/05/21	05/06/21	19/06/21			22/05/21	05/06/21	19/06/21	Promedio
PM-01	11,2	11,3	11,3	33,8	1,529	4,03	4,06	4,06	4,05
PM-02	13,5	14,6	14,2	42,3	1,626	4,12	4,37	4,28	4,26
PM-03	13,1	13,3	13,6	40	1,602	4,15	4,20	4,26	4,20
PM-04	13,8	13,1	14,1	41	1,613	4,26	4,10	4,32	4,23
PM-05	13,9	14,2	14,3	42,4	1,627	4,20	4,27	4,29	4,26
PM-06	14,1	14	14,6	42,7	1,630	4,23	4,21	4,34	4,26
PM-07	13,2	13,2	13,4	39,8	1,600	4,18	4,18	4,23	4,20
IET Promedio									4,21

En la Tabla 17 se mostró que el IET más alto del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica se dio en el PM-02, el cual es el punto ubicado aguas abajo del camal municipal; por otro lado el IET más bajo se dio en el PM-01 el cual se encuentra ubicado antes de la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, estos resultados mostraron que el IET de río se ve afectado por la actividad antropogénica de la ciudad Huancavelica principalmente por el vertimiento de aguas residuales del camal y domésticas sin tratamiento; por otro lado, IET en base a la concentración de nitratos del río Ichu fue en promedio de 4.21, este valor indica que el río está

atravesando por un estado mesotrófico durante las épocas de estiaje, si bien el estado mesotrófico no es signo de mala calidad, este valor esta casi por llegar al 5, el cual muestra que de seguir así, el rio llegara a atravesar un estado eutrófico en el futuro en cuanto a la concentración de nitratos.

4.1.3. Determinación del Índice de estado trófico del rio Ichu en base a la concentración de fosfatos totales

Para determinar el IET en base a la concentración de fosfatos totales del rio Ichu de la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, se aplicó la siguiente ecuación, la cual fue desarrollada por Carlson (1977), el cual fue adaptado por Vega y Bazán (2020) para ecosistemas lóticos:

$$IET(FT) = 10 \left(6 - \frac{0.42 - 0.36 \times \ln(FT)}{\ln 2} \right)$$

Siendo:

IET = Índice de estado trófico

ln = Logaritmo natural

FT = Concentración de fósforo total en µg/L

Tabla 18

Determinación del IET en base a la concentración de fosfatos totales del rio Ichu de la ciudad de Huancavelica

Punto de Monitoreo	IET FOSFATOS TOTALES						
	Fosfatos totales (µg/L)	Fosfatos totales (µg/L)	Fosfatos totales (µg/L)	IET de Fosf. Tot.	IET de Fosf. Tot.	IET de Fosf. Tot.	IET de Fosf. Tot.
	22/05/2021	05/06/2021	19/06/2021	22/05/2021	05/06/2021	19/06/2021	Promedio
PM-01	440	460	450	85,56	85,79	85,68	85,67
PM-02	550	630	670	86,72	87,42	87,74	87,30
PM-03	520	560	570	86,43	86,81	86,90	86,71
PM-04	560	610	630	86,81	87,26	87,42	87,16

PM-05	570	640	670	86,90	87,51	87,74	87,38
PM-06	590	680	680	87,08	87,82	87,82	87,57
PM-07	510	660	720	86,33	87,67	88,12	87,37
IET Promedio							87,03

En la Tabla 18 se observó que el IET más alto del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica se dio en el PM-07, el cual es uno de los puntos ubicados en la ciudad de Huancavelica; por otro lado el IET más bajo se dio en el PM-01 el cual se encuentra ubicado en la captación para la PTAP de EMAPA - Huancavelica, estos resultados mostraron que el IET de río Ichu se ve afectado por la actividad antropogénica de la ciudad Huancavelica principalmente por el vertimiento de aguas residuales del camal, el vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento y el arrojo de residuos sólidos por parte de la población, los cuales son las causas principales de las altas concentraciones de fosfatos totales en el río; por otro lado, IET en base a la concentración de fosfatos totales del río Ichu fue en promedio de 87.03, este valor indica que el río está atravesando por un estado hipertrófico durante las épocas de estiaje, lo cual indica que el ecosistema lótico del río se viene degradando drásticamente.

4.1.4. Determinación del Índice de estado trófico del río Ichu

Para determinar el IET general del río Ichu de la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, se realizó la ponderación de los valores determinados con las ecuaciones de Carlson (1977), en el cual resultó la siguiente ecuación:

$$IET = \left(\frac{IET(DS) + IET(FT)}{2} \right)$$

Tabla 19

Determinación del Índice de estado trófico del río Ichu de la ciudad de Huancavelica

Punto de Monitoreo	Origen de la fuente	IET TOTAL		
		IET TRANSP.	IET FOSF. TOTALES	IET TOTAL
PM-01	Rio corriente	83,73	85,67	84,70
PM-02	Rio corriente	90,73	87,30	89,01
PM-03	Rio corriente	88,56	86,71	87,64
PM-04	Rio corriente	92,01	87,16	89,59
PM-05	Rio corriente	91,61	87,38	89,50
PM-06	Rio corriente	95,31	87,57	91,44
PM-07	Rio corriente	88,75	87,37	88,06
Promedio				88,56

En la Tabla 19 se observó que el IET Total más alto del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica se dio en el PM-06, el cual es un punto ubicado en la zona urbana de Huancavelica; por otro lado el IET Total mínimo se dio en el PM-01 el cual se encuentra ubicado en la captación para la PTAP de EMAPA - Huancavelica, estos resultados mostraron que el estado trófico del río Ichu se ve afectado por la actividad antropogénica de la ciudad Huancavelica principalmente por el vertimiento de aguas residuales del camal, el vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratamiento y el arroj

de residuos sólidos por parte de la población, los cuales son las causas principales de que el río se encuentre en un estado hipertrófico; por otro lado, IET Total del río Ichu fue en promedio de 88.56, este valor indica que el río Ichu se encuentra hipertrófico, este es el motivo por el que en el río se encuentre gran cantidad de plantas acuáticas (algas) y que no exista mucha diversidad de animales acuáticos (peces, insectos, anfibios, etc.), lo cual de seguir de este modo llevaría a la muerte de este ecosistema lótico.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Prueba de normalidad

Se realizó la medición de los indicadores físico-químicos del río Ichu en los puntos de monitoreo, para determinar el tipo de estadístico a aplicar en la prueba de hipótesis; las pruebas de normalidad de los datos fueron realizadas con el estadístico Shapiro-Wilk, esto debido a que la cantidad de datos fue menor a 50.

a) Planteamiento de hipótesis estadística

Ho: Los datos de los indicadores físico-químicos del río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, presentan normalidad.

Ha: Los datos de los indicadores físico-químicos del río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, no presentan normalidad.

b) Nivel de significancia

Las pruebas de normalidad fueron realizadas con un nivel de significancia del 0.05; lo que indica que el nivel de confianza fue de 95%, con este nivel se definió el área de aceptación o rechazo de la hipótesis.

Tabla 20*Prueba de normalidad con el estadístico Shapiro-Wilk*

Indicadores físico- químicos	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
pH	0,951	21	0,355
Temperatura	0,814	21	0,001
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0,918	21	0,080
Oxígeno Disuelto	0,798	21	0,001
Turbidez	0,837	21	0,003
Transparencia	0,934	21	0,164
Nitratos	0,829	21	0,002
Fosfatos totales	0,952	21	0,371

En la Tabla 20 se mostró que, para el pH, DBO, transparencia, y fosfatos totales el nivel de significancia fue mayor a 0.05 lo cual indicó que los datos de estos parámetros son normales; por otro lado, para la temperatura, OD, turbidez y nitratos el nivel de significancia fue menor a 0.05, esto quiere decir que los datos de estos parámetros no son normales.

c) Decisión estadística

Se obtuvo que el nivel de significancia de los datos de pH, DBO, transparencia, y fosfatos totales fueron mayores a 0.05, motivo por el cual se aceptó la hipótesis nula en donde se señaló que estos datos son normales; por otro lado, el nivel de significancia de los datos de temperatura, OD, turbidez y nitratos fue menor a 0.05, debido a ello se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alterna, en el cual se indicó que los datos no son normales.

d) Conclusión estadística

Se concluyó que los datos de pH, DBO, transparencia, y fosfatos totales presentaron normalidad (paramétricos), mientras que los datos de temperatura, OD, turbidez y nitratos no presentaron normalidad (no paramétricos).

En base a los resultados obtenidos en las pruebas de normalidad; para el contraste de las pruebas de hipótesis de la presente investigación se hizo uso de la prueba “t” de Student, esto para las hipótesis específicas N° 01, 03 y la hipótesis general; por otro lado, para la constatación de la hipótesis específica N° 02 se hizo uso de la prueba de “w” de Wilcoxon, esto porque los datos para esta hipótesis no fueron normales.

Asimismo, para la determinación de las hipótesis se harán uso de las siguientes tablas, esto debido a que la muestra a comparar se encuentra en un intervalo de valores que varían entre $<$ y $>$, a continuación, se presenta las tablas necesarias para la conversión del p valor, el cual se realiza en base al valor de la significancia asintótica bilateral.

Tabla 21

Intervalo de valores de la prueba “t” de Student

H1	Signo de T	P-valor en SPSS
$\neq$		Significancia asintótica bilateral
$>$	+	Significancia asintótica bilateral/2
$>$	-	1- significancia asintótica bilateral/2
$<$	+	1-significancia asintótica bilateral/2
$<$	-	Significancia asintótica bilateral/2

Nota: García, Rafael (2011)

Tabla 22*Intervalo de valores de la prueba “w” de Wilcoxon*

Ha	w- VS w+	P valor en SPSS
$\neq$	w- VS w+	Significancia asintótica bilateral
	w+ VS w-	
<	w- VS w+	1 - Significancia exacta unilateral
	w+ VS w-	Significancia exacta unilateral
>	w- VS w+	Significancia exacta unilateral
	w+ VS w-	1 - Significancia exacta unilateral

Nota: García, R., citado en Quispe y Silvestre (2019)

4.2.2. Contraste de la hipótesis específica 01**4.2.2.1. Planteamiento de hipótesis estadística**

Ho: El indicador físico (transparencia) del río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, no indica un estado hipertrófico.

$$H_0 < \mu \quad \text{o} \quad H_0 < 74$$

Ha: El indicador físico (transparencia) del río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, indica un estado hipertrófico.

$$H_a > \mu \quad \text{o} \quad H_a > 74$$

4.2.2.2. Nivel de significancia

La prueba de hipótesis específica 01 fue determinada con un nivel de significancia de 0.05, esto definió el área de aceptación o rechazo de la hipótesis nula; asimismo, el nivel de confianza fue del 95%.

Tabla 23*Prueba de hipótesis con el estadístico t de Student*

	T	Gl	Sig. (bilateral)
Índice de Estado			
Trófico	23.749	6	0.000
(Transparencia)			

Nota: Procesado en el programa SPSS v. 25

Para determinar si la hipótesis nula se acepta o rechaza, se aplicó lo descrito en la Tabla 21 (intervalo de valores de la prueba “t”), en donde indica que, si el signo de T es positivo y la Ha es un valor mayor, se aplica la siguiente formula:

$$P \text{ valor} = \frac{\text{Significancia bilateral}}{2}$$

Reemplazando:

$$P \text{ valor} = \frac{0.000}{2}$$

$$P \text{ valor} = 0.000$$

4.2.2.3. Decisión estadística

Se mostró que el p-valor hallado fue menor a 0.05, lo que indicó que se rechazó la hipótesis nula (Ho) y se aceptó la hipótesis planteada por los investigadores (Ha), en donde se indicó que el indicador físico (transparencia) del rio Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, indica un estado hipertrófico.

4.2.2.4. Conclusión estadística

Se concluyó que, el indicador físico (transparencia) del rio Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, indica un estado hipertrófico, esto con un p valor de 0.000 y a un nivel de confianza del 95%.

4.2.3. Contraste de la hipótesis específica 02

4.2.3.1. Planteamiento de hipótesis estadística

Ho: La concentración de nitratos en el río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 no indican un estado eutrófico.

$$H_0 < \mu \quad \text{o} \quad H_0 < 5$$

Ha: La concentración de nitratos en el río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 indican un estado eutrófico.

$$H_a > \mu \quad \text{o} \quad H_a > 5$$

4.2.3.2. Nivel de significancia

La prueba de hipótesis específica 02 fue determinada con un nivel de significancia de 0.05, esto definió el área de aceptación o rechazo de la hipótesis nula; asimismo, el nivel de confianza fue del 95%.

Tabla 24

Prueba de rangos de Wilcoxon

		N	Rango promedio	Suma de rangos
Índice de estado trófico (Eutrófico) - Índice de Estado Trófico (Nitratos)	Rangos negativos	0 ^a	0.00	0.00
	Rangos positivos	7 ^b	4.00	28.00
Estado Trófico (Nitratos)	Empates	0 ^c		
	Total	7		

Nota:

a. Índice de estado trófico (Eutrófico) < Índice de Estado Trófico (Nitratos)

b. Índice de estado trófico (Eutrófico) > Índice de Estado Trófico (Nitratos)

c. Índice de estado trófico (Eutrófico) = Índice de Estado Trófico (Nitratos)

Procesado en el programa SPSS v. 25

Tabla 25

Prueba de hipótesis con el estadístico W de Wilcoxon

	Índice de estado trófico (Eutrófico) - Índice de Estado Trófico (Nitratos)
Z	-2,388 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	0.017

Nota: Procesado en el programa SPSS v. 25

Para determinar el área de aceptación o rechazo de la hipótesis nula, se aplicó lo descrito en la Tabla 22 (intervalo de valores de la prueba “w”), en donde indica que, si el signo de W es negativo y la Ha es un valor mayor a la Ho, se aplica la siguiente formula:

$$W = 1 - \text{significancia exacta unilateral}$$

Reemplazando:

$$W = 1 - 0.017$$

$$W = 0.983$$

4.2.3.3. Decisión estadística

Se observó que el p-valor (W) hallado fue mayor al nivel de significancia (0.05), lo que indicó que se aceptó la hipótesis nula (Ho) y se rechazó la hipótesis planteada por los investigadores (Ha), en donde se indicó que la concentración de nitratos en el rio Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 no indican un estado eutrófico.

4.2.3.4. Conclusión estadística

Se concluyó que, la concentración de nitratos en el río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 no indican un estado eutrófico, esto con un p valor de 0.000 y a un nivel de confianza del 95%.

4.2.4. Contraste de la hipótesis específica 03

4.2.4.1. Planteamiento de hipótesis estadística

Ho: La concentración de fosfatos totales en el río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 no indican un estado hipertrófico.

$$H_0 < \mu \quad \text{o} \quad H_0 < 74$$

Ha: La concentración de fosfatos totales en el río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 indican un estado hipertrófico.

$$H_a > \mu \quad \text{o} \quad H_a > 74$$

4.2.4.2. Nivel de significancia

El contraste de la hipótesis específica 03 fue determinada con un nivel de significancia de 0.05, esto definió el área de aceptación o rechazo de la hipótesis nula; asimismo, el nivel de confianza fue del 95%.

Tabla 26

Prueba de hipótesis con el estadístico t de Student

	t	gl	Sig. (bilateral)
Índice de Estado			
Trófico (Fosfatos	52.634	6	0.000
totales)			

Nota: Procesado en el programa SPSS v. 25

Para determinar si la hipótesis nula se acepta o rechaza, se aplicó lo descrito en la Tabla 21 (intervalo de valores de la prueba “t”), en donde indica que, si el signo de T es positivo y la Ha es un valor mayor, se aplica la siguiente formula:

$$P \text{ valor} = \frac{\text{Significancia bilateral}}{2}$$

Reemplazando:

$$P \text{ valor} = \frac{0.000}{2}$$

$$P \text{ valor} = 0.000$$

4.2.4.3. Decisión estadística

Se observó que el p-valor (Sig. bilateral) hallado fue menor a 0.05, por lo que, se rechazó la hipótesis nula (Ho) y se aceptó la hipótesis planteada por los investigadores (Ha), en donde se indicó que la concentración de fosfatos totales en el rio Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 indican un estado hipertrófico.

4.2.4.4. Conclusión estadística

Se concluyó que, la concentración de fosfatos totales en el rio Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 indican un estado hipertrófico, esto con un p valor de 0.000 y a un nivel de confianza del 95%.

4.2.5. Contraste de la hipótesis general

4.2.5.1. Planteamiento de hipótesis estadística

Ho: El índice de estado trófico del rio Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 no es hipertrófico.

$$H_0 < \mu \quad \text{o} \quad H_0 < 74$$

Ha: El índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 es hipertrófico.

$$H_a > \mu \quad \text{o} \quad H_a > 74$$

4.2.5.2. Nivel de significancia

El contraste de la hipótesis general fue determinado con un nivel de significancia de 0.05, esto definió el área de aceptación o rechazo de la hipótesis nula; asimismo, el nivel de confianza fue del 95%.

Tabla 27

Prueba de hipótesis con el estadístico t de Student

	t	Gl	Sig. (bilateral)
Índice de Estado			
Trófico del Río	18,36	6	0.000
Ichu			

Nota: Procesado en el programa SPSS v. 25

Para la comprobación de la hipótesis general de investigación, se aplicó lo descrito en la Tabla 21 (intervalo de valores de la prueba “t”), en donde indica que, si el signo de T es positivo y la Ha es un valor mayor a la Ho, se aplica la siguiente fórmula:

$$P \text{ valor} = \frac{\text{Significancia bilateral}}{2}$$

Reemplazando:

$$P \text{ valor} = \frac{0.000}{2}$$

$$P \text{ valor} = 0.000$$

4.2.5.3. Decisión estadística

Se observó que el p-valor hallado fue menor al nivel de significancia (0.05), lo que indicó que se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis planteada por los investigadores (H_a), en donde se indicó que el índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 es hipertrófico.

4.2.5.4. Conclusión estadística

Se concluyó que, el índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 es hipertrófico, con un p valor de 0.000 y a un nivel de confianza del 95%.

4.1. Discusión de resultados

Con respecto a determinar el índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, los resultados hallados fueron: En el PM-01 se determinó un IET de 84.57, en el PM-02 el IET fue de 86.17, en el PM-03 el IET fue de 86.31, en el PM-04 el IET fue 86.39, en el PM-05 el IET fue de 87.24, en el PM-06 el IET fue de 87.49, en el PM-07 el IET fue de 86.77; debido a ello el IET del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje durante el año 2021 fue de 86.42 mostrando así que el estado trófico del río fue hipertrófico; estos resultados tuvieron semejanza con la investigación de Rodrigues et al. (2015) en donde concluyó que el arroyo Itapeva y el río Piracicaba se encontraron en estados eutróficos; Batista y Flores (2013) concluyeron que los ríos Ipojuca y Merepe los cuales tuvieron presiones antrópicas los cuales fueron los responsables de las altas cargas de nitrógeno y fósforo, es por ello que la calidad de sus aguas son malas; Park et al. (2018) determinaron que el índice de estado trófico en el punto SoOak durante todo el año presentó un

estado mesotrófico, el río Chupung presentó un estado mesotrófico durante las épocas de avenida, mientras que en la época de estiaje presentó un estado eutrófico y el río Chuso durante todo el año tuvo un estado eutrófico; Moreira y Sabando (2016) establecieron que el índice de estado trófico en el embalse Sixto Duran Ballén tuvo valores entre 80 y 84 indicando de este modo que dicho embalse presentó un estado eutrófico; Toro (2019) concluyó que el embalse Peñol – Guatapé presentó índices entre mesotróficos y eutróficos, en donde en la época de estiaje predomina el estado eutrófico; Andrietti et al. (2015) concluyeron que el río Caibí durante todo el año presentó un estado ultraoligotrófico; Chávez et al. (2016) en su estudio concluyeron que el lago Pomacochas presentó un estado eutrófico con una contaminación moderada; Custodio y Chávez (2017) concluyeron que el río Cunas aguas arriba presentó un estado oligotrófico; no obstante, aguas abajo el cuerpo de agua es contaminado por vertido de aguas residuales incrementando de este modo el estado trófico del río; Quiroz (2019) en donde determinó que la laguna ACRAMM presentó índices tróficos entre los 74.73 y 80.20, indicando así que esta laguna estuvo eutrofizada, en donde este estado fue causado por la descarga de las aguas residuales agrícolas, industriales y los pozos de oxidación de la localidad Medio Mundo; Ciriaco y Lanfranco (2020) determinaron que la laguna San Nicolás presentó un estado eutrófico basados en los índices de turbidez y clorofila-a, mientras que en base a los nutrientes presentó un estado oligotrófico mesotrófico; Flores et al. (2018) concluyeron que el lago La Mansión presentó un estado hipertrófico y Vega y Bazán (2020) concluyeron que el río Pinheiros presentó un estado hipertrófico y supertrófico; estos resultados mostraron que la eutrofización e hipertrofización de los cuerpos de agua superficiales es una preocupación a nivel mundial, ya que en base a las investigaciones expuestas es una problemática que no solo afecta solo a los ríos, si no a lagunas, lagos, embalses entre otros; asimismo, estos resultados nos mostraron que a la actualidad, las personas no son conscientes aún del gran daño que ocasiona la eutrofización e hipertrofización, ya que los ríos en estos estados presentan un ecosistema lótico dañado y pobre.

En cuanto a medir los indicadores físico-químicos (turbidez, pH, DBO, OD, temperatura, transparencia, nitratos y fosfatos totales) del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, en la presente investigación se encontró que: el pH promedio del tramo del río estudiado fue de 7.41, mientras que la temperatura promedio fue de 13.03°C, la demanda bioquímica de oxígeno en promedio fue de 24.38 mg/l, el oxígeno disuelto promedio fue de 5.13 mg/l, la turbidez fue de 4.30 NTU, la transparencia fue de 0.17 m, en cuanto a la concentración de nitratos fue de 13.26 mg/l y la concentración promedio de fosfatos totales fue de 0.53 mg/l; estos resultados guardan una semejanza con el estudio de Rodrigues et al. (2015) en donde en el río Piracicaba la temperatura promedio fue de 21.3°C y en el arroyo Itapeva fue de 21.2°C, el oxígeno disuelto (OD) del arroyo Itapeva fue de 2.85 mg/l en promedio y en el río Piracicaba presentó un oxígeno disuelto de 8.79 mg/l en promedio, el pH y la temperatura de ambos cuerpos de agua son normales; el río Piracicaba posee un alto nivel de OD mientras que el arroyo Itapeva posee un OD por debajo del requerido para la vida acuática; Moreira y Sabando (2016) identificaron que los valores de pH varían entre 9.17 y 9.87, los valores de temperatura oscilan entre 28 y 31.1 °C, el OD mostró valores entre 4.27 y 11.8 mg/L; Andrietti et al. (2015) determinaron el promedio del valor de la turbidez en época de lluvia fue de 11.36 NTU mientras que en época seca fue de 6.26 NTU, la temperatura en época de lluvia fue de 25.53 °C y en época seca fue de 22.48 °C, el pH del río tuvo una media de 5.18, el OD una concentración promedio de 6.61 mg/L, los valores de nitritos fueron entre 0.24 mg/L y 8.87 mg/L con una media de 3.15 mg/L, la DBO en época de lluvia fue de 1.2 mg/l mientras que en época de estiaje fue de 0.5 mg/l; Chávez et al. (2016) identificó la concentración promedio de OD fue de 8 mg/L, la turbiedad presentó valores entre 1.2 UNT y 1.8 UNT; las concentraciones de DBO estuvieron entre los 7.16 mg/l – 8.34 mg/l; Custodio y Chávez (2017) se determinaron 3 puntos de muestreo en donde los valores en época de lluvia fueron: los valores de pH oscilaron entre 7 y 8.10, en cuanto a la turbidez los valores estuvieron entre 4 FTU y 19 FTU; por otro lado, los valores de OD fueron de 50.16 y 91.60 % de

saturación, la DBO tuvo valores entre 3.00 mg/l y 9.80 mg/l; asimismo, en la época de estiaje obtuvieron las siguientes concentraciones: en cuanto al pH se presentaron datos entre 7.00 y 8.50, la turbidez de las muestras variaron entre 2.00 FTU y 11.20 FTU; las concentraciones de OD oscilaron entre 60.00 y 87.50 % saturación, la concentración de fosfatos variaron entre 0.013 mg/L y 0.760 mg/L, la concentraciones de nitratos estuvieron entre 0.010 mg/L y 5.793, la DBO presentó concentraciones entre 4.90 mg/l y 15.00 mg/l; Ciriaco y Lanfranco (2020) identificaron la concentración promedio del OD fue de 5.98 mg/L, una temperatura de 20.28 °C, un pH de 8.67; Flores et al. (2018) determinaron la transparencia los valores que variaron de 40 cm a 125 cm y con un promedio de 74.4 cm, el pH de la laguna estuvo entre 7.8 y 9.0, la concentración de OD estuvo entre 9.2 mg/L y 11.7 mg/L con un promedio de 7.58 mg/L; en el segundo monitoreo los resultados de la transparencia oscilaron entre 75 cm y 130 cm presentando un promedio de 95.8, con un promedio de 355.8 μ s/cm, el pH del agua oscilo entre 7.70 y 8.40 con un promedio de 8.08 y la concentración del OD osciló entre 10.05 mg/L y 11.45 mg/L con un promedio de 10.82; los resultados del tercer monitoreo fueron: los valores de la transparencia del agua variaron de 62 cm a 90 cm con un promedio de 73.0, el pH tuvo valores de 8.65 a 10.80 con un promedio de 9.82; no obstante, no se tuvieron datos para el OD; Vega y Bazán (2020) determinó los valores del pH en el primer punto de monitoreo variaron entre 6.49 y 7.28, en el segundo punto de monitoreo fueron entre 7.1 y 7.28, en el tercer punto de monitoreo oscilaron entre 6.56 y 7.25 y en el cuarto punto de monitoreo estuvieron entre 6.66 y 7.15; las concentraciones de OD en el primero punto de monitoreo fueron de 3.12 mg/L a 7.78 mg/L, en el segundo punto de monitoreo fueron entre 0.19 mg/L y 4.69 mg/L, en el tercer punto de monitoreo oscilaron entre 0.6 mg/L y 2.32 mg/L y en el cuarto punto de monitoreo fueron entre 0.24 mg/L y 1.84 mg/L, la concentración de nitrógeno amoniacal oscilo entre 0.1 mg/L y 26.2 mg/L, el promedio de los valores del fósforo total en el primer punto fue de 2610 mg/m³, en el segundo punto fue de 10300 mg/m³, en el tercer punto presentó un valor de 9710 mg/m³ y en el cuarto punto fue de 11690 mg/m³, la concentración de DBO en el punto 1

estuvo entre 8 mg/l y 30 mg/l, en el punto 2 oscilaron entre 41 mg/l y 115 mg/l, en el punto 3 fue 16 mg/l y 68 mg/l y en el punto 4 oscilaron entre 18 mg/l y 79 mg/l; Dávila y Zúñiga (2018) establecieron los resultados fueron: los valores de fosfatos oscilaron entre 0.21 mg/L a 4.76 mg/L con un promedio de 1.17 mg/L, en donde los valores más altos se identificaron de mayo a setiembre; en cuanto a el valor del pH fue de 8.20 en promedio, el valor de OD fue en promedio de 7.85 mg/L, el valor de la temperatura fue 12.17 °C; por otro lado las concentraciones de nitratos fueron entre 0.2 mg/L y 4.6 mg/L, con un promedio de 2.42 mg/L, las concentraciones más altas de nitratos se manifestaron de mayo a setiembre; Sáez (2019) determinó las concentraciones de nitratos oscilaron entre 13 mg/L a 14.5 mg/l y el promedio fue de 13.583 mg/L; la concentración de fosfatos fueron entre 0.5 mg/L y 0.6 mg/L, con un promedio de 0.533 mg/L, el pH tuvo valores que oscilaron entre 6.1 a 7.5, con un promedio de 6.75, en cuanto a la temperatura determinaron temperaturas de 8.5 °C a 14 °C, con un promedio de 12.5 °C, la concentración de OD presento valores que variaron de 6.03 mg/L a 10.95 mg/L y un promedio de 8.476 mg/L; los resultados expuestos indicaron que los cuerpos de agua superficiales eutrofizados e hipertrofizados presentaron similares temperatura, DBO, pH, concentraciones de OD, transparencia, turbiedad, nitratos y fosfatos totales.

En cuanto a establecer el índice de estado trófico en base a la transparencia del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, los resultados encontrados en el presente estudio fueron: en el PM-01 se determinó un IET en base a la transparencia de 83.47, en el PM-02 fue de 85.05, en el PM-03 fue de 85.90, en el PM-04 fue de 85.62, en el PM-05 fue de 87.09, en el PM-06 fue de 87.40 y en el PM-07 fue de 86.17, el cual en promedio fue de 85.81 indicando de este modo que es estado trófico de dicho río durante la época de estiaje del 2021 fue hipertrófico; estos resultados guardan semejanza con la investigación de Moreira y Sabando (2016) en donde determinaron en el embalse Sicto Duran Ballén una transparencia entre 0.39 m y 0.62 m presentado un IET con

valores entre 80 y 84, el cual indico que estuvo en un estado eutrófico; Toro (2019) determinó una transparencia de 0.6 m y 3.3 m y un promedio de 1.8 m el cual determinó que el embalse Peños – Guatapé presento un estado mesotrófico; Quiroz (2019) el índice de estado trófico del ACRAMM en base a la transparencia mostró valores entre los 0.13 m hasta los 0.19 m, en cuanto al IET los valores oscilaron entre los 74.73 y 80.20, indicando de este modo que la laguna ACRAMM esta eutrofizado; Ciriaco y Lanfranco (2020) determinaron la transparencia de la laguna San Nicolas con valores hallados fueron entre 64.00 m a 68.42 m y un promedio de 66.55 m el cual indico un estado mesotrófico; estos resultados indicaron que los cuerpos de agua que presentaron una baja transparencia tuvieron un estado eutrofizado e hipertrofizado; mientras que los cuerpos de agua con una transparencia alta manifestaron un estado mesotrófico.

Con respecto a establecer el índice de estado trófico en base a la concentración de nitratos en el rio Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, los resultados hallados en la presente investigación fueron: el IET en base a los nitratos en el PM-01 fue de 4.05, en el PM-02 fue de 4.26, en el PM-03 fue de 4.20, en el PM-04 fue 4.23, en el PM-05 y PM-06 fue de 4.26 y en el PM-07 fue 4.20; mostrando de este modo que el IET promedio fue de 4.21 el indicó que el estado trófico del rio fue mesotrófico; estos resultados presentaron semejanza con la investigación de Ruiz (2017) en donde determinó las concentraciones anuales de nitrógeno en la laguna El Soldado fue entre 0.0 a 7.4 $\mu\text{g/L}$, en la laguna Guaymas fue entre 0.6 a 27.3 $\mu\text{g/L}$, en la laguna Lobos fue entre 0.2 a 30.6 $\mu\text{g/L}$ y en la laguna El Tóbari fue entre 0.2 y 92.3 $\mu\text{g/L}$, en el que concluyó que las 4 lagunas costeras estuvieron atravesando por un proceso de eutrofización, en cuanto a las lagunas Guaymas, Lobos y El Tóbari presentaron un estado que varía de oligotrófico a mesotrófico y una calidad de agua buena; no obstante, debido a los efluentes de aguas residuales, estas lagunas mostraron indicios de eutrofización; Chávez et al. (2016) determinó que la

concentración de nitratos en los 6 puntos de la laguna Pomacochas, presentaron concentraciones entre 3.0 mg/L y 3.5 mg/L, concluyendo que el lago estuvo pasando por un estado eutrófico; Custodio y Chávez (2017) en su investigación determinaron que los valores de nitratos en el río Cunas estuvo entre 0.00 y 0.40 mg/L; Ciriaco y Lanfranco (2020) en su estudio identificaron la concentración de nitratos en la laguna San Nicolás en donde estos valores estuvieron entre 1.38 a 2.08 con un promedio de 1.67; en donde dicha laguna en base a la concentración de nitratos este presentó un estado oligotrófico-mesotrófico; estos resultados reforzaron lo encontrado en el presente estudio, ya que los cuerpos de agua, en base a la concentración de nitratos no atravesaron por un estado eutrófico; lo cual indicó que la contaminación de los ecosistemas acuáticos debido a este componente, en un futuro se incrementará y de este modo causará grandes daños en los ecosistemas de los cuerpos de agua superficiales.

En cuanto a establecer el índice de estado trófico en base a la concentración de fosfatos totales en el río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021, los resultados encontrados en el presente estudio fueron: el IET de dicho tramo del río durante la época de estiaje del año 2021 en el PM-01 fue de 85.67, en el PM-02 fue de 87.30, en el PM-03 fue 86.71, en el PM-04 fue 87.16, en el PM-05 fue de 87.38, en el PM-06 fue de 87.57 y en el PM-07 fue de 87.37, en donde el promedio del IET fue de 87.03 indicando de este modo que el estado trófico del río fue hipertrófico; estos resultados mostraron una semejanza con la investigación de Batista y Flores (2013) en donde determinaron que los estuarios del río Ipojuca presentó una concentración de fósforo total de 35.37 µg/L, concluyendo que los estuarios de los ríos Ipojuca y Merepe presentaron una fuerte presión antrópica debido a altas cargas de fósforo total; manifestando de este modo una mala calidad de las aguas de sus estuarios; Campos et al. (2020) identificaron que las aguas de la bahía Marajó y Guajará presentaron una concentración de fósforo total de 0.25 mg/L y 0.246 mg/L

respectivamente, concluyendo que las aguas de la bahía Marajó presentaron un estado eutrófico y que las aguas de la bahía Guajará presentaron un estado ultraoligotrófico; Moreira y Sabando (2016) en su estudio determinaron que la concentración de fósforo total en el embalse Sixto Duran tuvo valores entre 0.521824 y 0.880878 mg/L; Toro (2019) determinó que los valores de fósforo total en el embalse Peñol en promedio fue de 55 µg/L el cual se dio durante casi todo el año; Andrietti et al. (2015) determinaron las concentraciones de fósforo total en el río Caiabi, en donde el en P1 y P3 fue de 0.09 mg/L, en el P2 de 0.24 mg/L, en el P4 de 0.14 mg/L y en el P5 de 0.6 mg/L; Chávez, Leiva et al. (2016) determinaron la concentración de fosfatos en el lago Pomacochas el cual fue entre 0.0 mg/L y 0.5 mg/L; Custodio y Chávez (2017) en su estudio indicaron que las concentraciones de fosfatos en el río Cunas oscilaron entre 0.00 y 0.153 mg/L; Quiroz (2019) identificó la concentración de fósforo total en la laguna principal del Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo los cuales oscilaron entre < 13 µg/L y 100 µg/L, con un IET entre 35.79 y 63.16, indicando de este modo que el ACRAMM presentó un estado de oligotrófico a eutrófico; estos resultados mostraron que tanto a nivel internacional y nacional, la contaminación por fósforos totales de los cuerpos de agua superficiales es muy alarmante, ya que principalmente este compuesto es el mayor responsable de la eutrofización de estos cuerpos, provocando así daños a los ecosistemas que se desarrollan en estos cuerpos de agua.

CONCLUSIONES

- Se concluyó que, el índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica en épocas de estiaje en el año 2021; fue en promedio de 88.56, el cual indicó que el estado de dicho río fue hipertrófico, durante la época de estiaje, es por ellos que en sus riveras se encontraron grandes cantidades de algas y la falta de animales acuáticos en este.
- Se concluyó que, los indicadores físico-químicos (turbidez, pH, DBO, OD, temperatura, transparencia, nitratos y fosfatos totales) del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje en el año 2021 en promedio fueron: el pH fue de 7.42, la temperatura fue de 13.14 °C, la demanda bioquímica de oxígeno fue de 24.25 mg/L, el oxígeno disuelto fue de 4.70 mg/L, la turbidez fue de 4.74 NTU, la transparencia fue de 0.17 metros, la concentración de nitratos fue de 13.43 mg/L y la concentración de fósforo total fue de 0.59 mg/L.
- Se concluyó que el índice de estado trófico en base a la transparencia del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje en el año 2021, presentó en promedio un IET de 85.81, indicando de este modo que el río en base a la transparencia se encuentra en un estado hipertrófico, esto durante la época de estiaje.
- Se concluyó que, el índice de estado trófico en base a la concentración de nitratos en el río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje en el año 2021 en promedio fue de 4.21, indicando que el río presentó un estado mesotrófico.
- Se concluyó que, el índice de estado trófico en base a la concentración de fosfatos totales en el río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje en el año 2021 en promedio fue de 87.03 el cual indicó que el IET del río fue hipertrófico, esto en la época de estiaje.

RECOMENDACIONES

- A la Municipalidad Provincial de Huancavelica y a la EPS EMAPA Huancavelica S.A, se recomienda realizar la creación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales, esto con la finalidad de disminuir las altas concentraciones de nitratos y fosfatos que actualmente viene presentando el rio Ichu; y de este modo preservar su ecosistema lótico.
- A todos los funcionarios encargados de velar por la salud de las personas y por el ambiente de la ciudad de Huancavelica, se recomienda tomar medidas inmediatas para remediar el rio Ichu, ya que este de seguir contaminado, en un futuro todo su ecosistema desaparecerá y se convertirá en un foco de contaminación.
- A la Universidad Nacional de Huancavelica, se recomienda impulsar investigaciones dirigidas a encontrar nuevas tecnologías de biorremediación de aguas, que puedan ser económicas y de fácil aplicación, esto con la finalidad de tratar las aguas del rio Ichu.
- A los futuros investigadores, se recomienda plantear nuevas soluciones para remediar y conservar las aguas contaminadas del rio Ichu, esto con la finalidad de que el rio vuelva a recuperar la buena calidad de agua que tenía años atrás.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguas Urbanas. (17 de Noviembre de 2018). *Conceptos sobre monitoreo de calidad de agua*. Obtenido de <http://www.aguasurbanas.ei.udelar.edu.uy/index.php/2018/11/17/conceptos-sobre-monitoreo-de-calidad-de-agua/>
- Andreo, M. (s.f.). *Demanda biológica de oxígeno (DBO)*. Obtenido de CONICET: <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/DBO.htm>
- Andrietti, G., Freire, R., García, A., Terra, F., Carvalho, M., & Schneider, R. (2015). Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. *Ambiente y Agua: Revista Interdisciplinaria de Ciencias Aplicadas*, 163-175.
- Arias, J. L. (2000). *Proyecto de tesis Guía para la elaboración*. Perú.
- Autoridad Nacional del Agua. (Noviembre de 2015). *Evaluación de recursos hídricos en la cuenca de Mantaro*. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/36>
- Autoridad Nacional del Agua. (29 de Abril de 2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>
- Batista, T., & Flores, M. (2013). Estado trófico dos estuários dos rios Ipojuca e Merepe - PE. *Tropical Oceanography*, 22-30.
- Behar, D. (2008). *Metodología de la investigación*. Editorial Shalom.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación*. Colombia: Pearson.
- Camacho, A., & Ariosa, L. (2000). *Diccionarios de Términos ambientales*. La Habana: Publicaciones Acuario.
- Campos, H., Pereira, S., Oliveira, C. R., Morais, G., & Salgado, D. (2020). Índice del Estado Trófico (IET) en aguas amazonicas: bahía Marajó y bahía Guajará. *Investigación, Sociedad y Desarrollo*, 1-19.

- Carlson, R. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 361-369.
- CETESB Companhia de tecnologia de Saneamiento Ambiental. (2004). *Informe de la Calidad de las Aguas Interiores del Estado de Sao Paulo 2003*. Sao Paulo: Secretaria del Medio Ambiente. Obtenido de http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/biblioteca_virtual/bv_informativos_tecnicos/Relat%C3%B3rio%20Anual.pdf
- Chávez, J., Leiva, D., Rascón, J., Hoyos, I., & Corroto, F. (2016). Estado trófico del lago Pomacocha a través de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. *Revistas Científicas UNTRM*, 70-78.
- Ciriaco, J., & Lanfranco, L. (2020). *Determinación del estado trófico de la laguna San Nicolas a través de la cuantificación de clorofila a, nitratos, fosfatos y transparencia*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Custodio, M., & Chávez, E. (2017). Evaluación del estado trófico del río Cunas mediante índices físicos, químicos y biológicos, en dos periodos climáticos - Junín, Perú. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible*, 26-36.
- Dávila, J., & Zúñiga, F. (2018). *Determinación de fosfatos y nitratos en el río Icho parte urbana del distrito de Huancavelica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Environmental Protection Agency, Ireland. (2001). *Parameters of Water Quality: Interpretation and Atandards*. Wexford.
- Flores, S., Siu, J., Tira, E., Cerna, T., & Castro, A. (2018). Parámetros de calidad del agua y estado trófico de humedal artificial costero: caso de laguna "La Mansión" - Lima (Perú). *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 31-43.
- García, F., & Miranda, V. (15 de Octubre de 2018). *Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de

México: http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf

García, M. (26 de Setiembre de 2016). Obtenido de Eutrofización: Una visión general: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGrawHill.

iAgua. (11 de Abril de 2018). *Eutrofización: Causas, consecuencias y soluciones*. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones>

Karydis, M., Ignatiades, L., & Moschopoulou, N. (1983). An Index Associated with Nutrient Eutrophication in the Marine Environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 339-344.

Lake County Water Authority. (s.f.). *Learn more: Trophic state index (TSI)*. Obtenido de WaterAtlas.org: http://www.lake.wateratlas.usf.edu/library/learn-more/learnmore.aspx?toolsection=lm_tsi

Lake County Wateratlas. (s.f.). *Trophic State Index (TSI)*. Obtenido de WaterAtlas.org: http://www.lake.wateratlas.usf.edu/library/learn-more/learnmore.aspx?toolsection=lm_tsi

Mas, M. (2017). *Uso de la teledetección y los SIG en la vigilancia de la calidad del agua: Aplicación al Mar*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

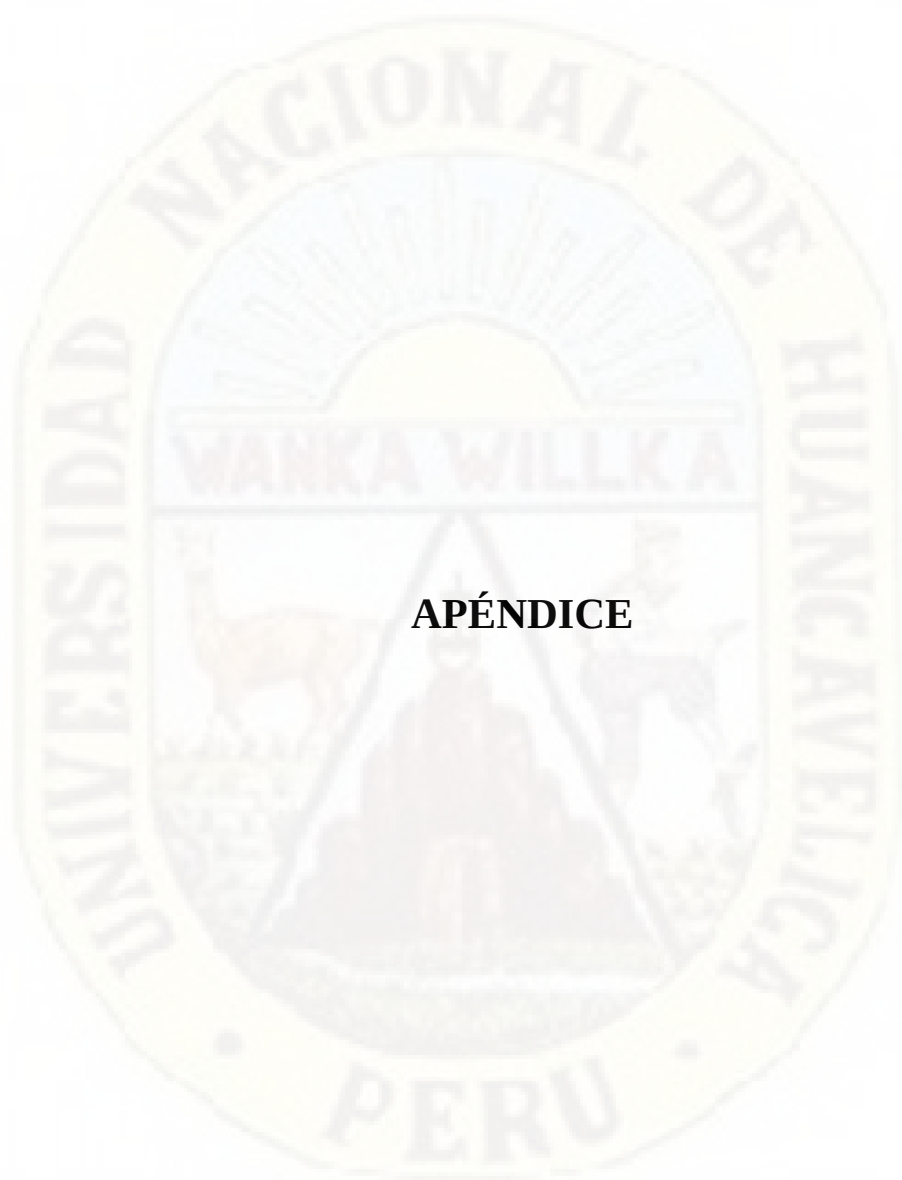
Masters, G., & Ela, W. (2008). *Introducción a la Ingeniería Medioambiental*. Madrid: Pearson.

Meybeck, M., Kuusisto, E., Makela, A., & Malkki, E. (1996). *Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: https://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqmchap2.pdf

- MIDAGRI. (s.f.). *Contaminación del agua*. Obtenido de <https://www.midagri.gob.pe/portal/54-sector-agrario/cuencas-e-hidrografia/374-problematica>
- Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2012). *Ingeniería Ambiental*. Nueva Jersey: Alfaomega.
- MINAM. (2012). *Glosarios de términos para la gestión ambiental peruana*. Lima. Obtenido de <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/504.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Productivo. (23 de Marzo de 2017). *Calidad del Agua*. Obtenido de <http://www.recursoshidricos.gov.ar/web/index.php/nuestra-funcion/2017-03-23-14-12-06/calidad-de-agua>
- Moreira, J., & Sabando, B. (2016). *Determinación del nivel de eutrofización del embalse Sixto Duran Ballén mediante índices de estado trófico*. Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
- Moreno, P., Quintero, J., & López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS* 78, 25-33.
- Nolen, J. (2015). *Trophic state equations*. Obtenido de North American Lake Management Society: <https://www.nalms.org/secchidipin/monitoring-methods/trophic-state-equations/>
- North American Lake Management Society. (s.f.). *Defining trophic state*. Obtenido de <https://www.nalms.org/secchidipin/monitoring-methods/defining-trophic-state/>
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* . Bogotá.
- Ongley, E. (1997). *Eutrofización de las aguas superficiales*. Obtenido de Food and Agriculture Organization: <http://www.fao.org/3/w2598s/w2598s05.htm#eutrofizaci%C3%B3n%20de%20las%20aguas%20superficiales>

- Organización de las Naciones Unidas. (22 de Octubre de 2014). *Calidad del Agua*.
Obtenido de Decenio Internacional para la Acción "El agua fuente de vida":
<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml#:~:text=A%20nivel%20global%2C%20el%20principal,a%20los%20usos%20del%20agua>.
- Ortiz, F. (2003). *Diccionario de metodología de la investigación científica*. México: Editorial Limusa.
- Park, J.-b., Gal, B.-s., Lee, C.-g., Hong, S.-h., Choi, M.-j., & Seo, H.-s. (2018).
Análisis de las características de eutrofización en la cuenca de Sookcheon
utilizando el índice de eutrofización de Corea. *Revista de Investigación de
Humedales*, 330-337.
- Quiroz, R. L. (2019). *Evaluación de los estados tróficos de la laguna principal del
Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo, Huaura - Lima*.
Huaura: Universidad Católica de Sedes Sapientiae.
- Rios, R. R. (2017). *Metodología para la investigación y redacción*. España:
Servicios Académicos Intercontinentales S.L.
- Rodrigues, L., Torres, N., Tornisiello, V., Ferrerira, L. F., & Maranhão, L. (2015).
Determination of toxicity assays, trophic state index, and physicochemical
parameters on Piracicaba River and Itapeva Stream. *Revista Interdisciplinaria
de Ciencia Aplicada Ambiente & Agua*, 310-317.
- Romero, J. (2009). *Calidad del Agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ruiz, T. (2017). *Análisis comparativo de índices de eutrofización en lagunas
costeras del Estado de Sonora, México*. Baja California Sur: Centro de
Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Sáez, W. (2019). *Concentración de nitratos y fosfatos en el río Ichu en época de
estiaje en la parte urbana de Huancavelica*. Huancavelica: Universidad
Nacional de Huancavelica.
- Santesteban, E. (2014). *Metodología de la investigación científica*. Cuba: Editorial
Académica Universitaria .

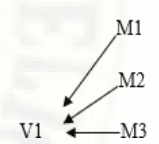
- Scannone, F. (3 de Noviembre de 2016). *What is eutrophication? Causes, effects and control*. Obtenido de Eniscuola: Energia y Medio Ambiente:
<http://www.eniscuola.net/en/2016/11/03/what-is-eutrophication-causes-effects-and-control/>
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: Evolución y diagnostico*. Medellin: Ediciones de la U.
- Significados.com. (29 de Octubre de 2017). *Concentración química*. Recuperado el 01 de Abril de 2021, de <https://www.significados.com/concentracion-quimica/>
- Soriano, M. (2012). *Guía práctica de elaboración de tesis*. Bolivia.
- Toro, L. (2019). *Aplicación de metodologías para la estimación de la eutrofización en embalses tropicales y selección del índice de estado trófico mas adecuado para el embalse Peñol - Guatapé, Colombia*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- United Nations Environment Programme. (1996). *Water Quality Monitoring*. World Health Organization.
- Vega, T., & Bazán, A. (2020). *Evaluación de la calidad fisicoquímica, biológica y nivel trófico del río Pinheiros - Sao Paulo - Brasil - 2016*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.



APÉNDICE

Apéndice 1

Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Problema General: ¿Cuál es el índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021? Problemas Específicos: ¿Cuáles son los indicadores físico-químicos (turbidez, pH, DBO, OD, temperatura, transparencia, nitratos y fosfatos totales) del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021? ¿Cuál es el índice de estado trófico en base a la transparencia del río Ichu en la zona	Objetivo General: Determinar el índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021. Objetivos Específicos: - Medir los indicadores físico-químicos (turbidez, pH, DBO, OD, temperatura, transparencia, nitratos y fosfatos totales) del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021. - Establecer el índice de estado trófico en base a la transparencia del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en	Hipótesis General: El índice de estado trófico del río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021 es eutrófico. Hipótesis Específicas: - El indicador físico (transparencia) del río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021, indica un estado hipertrófico. - La concentración de nitratos en el río Ichu en la zona urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje - 2021 indican un estado eutrófico. - La concentración de fosfatos totales en el río Ichu en la zona	Variable 1: Índice de estado trófico. Indicadores físicos: - Transparencia - Turbidez - pH - DBO - DO - Temperatura Indicadores químicos: - Fosfatos totales - Nitratos	Tipo de Investigación: Básica Nivel de Investigación: Descriptivo Método General: Científico Diseño: No experimental 	Población: El río Ichu Muestra: Río Ichu de la zona urbana. (7 puntos de monitoreo) Muestreo: No probabilístico o intencional	Técnicas: - Observación - Análisis de datos Instrumentos: - Ficha de observación.

urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021?	• Establecer el índice de estado trófico en base a la concentración de nitratos en el río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021. • Establecer el índice de estado trófico en base a la concentración de fosfatos totales en el río Ichu en la zona urbana de la ciudad de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021.	urbana de Huancavelica, en épocas de estiaje – 2021 indican un estado hipertrófico.
---	--	---

Apéndice 2

Base de datos

Ficha de observación de los resultados de indicadores físicos del río Ichu

FICHA DE OBSERVACION (INDICADORES FÍSICOS) - REGISTRO DE DATOS N° 1

Departamento : Huancavelica Fecha: **22/05/2021** T :Temperatura
 Ubicación: Provincia : Huancavelica DBO : Demanda bioquímica de oxígeno
 Distrito : Huancavelica OD : Oxígeno disuelto

Punto de Monitoreo	Origen de la fuente	Coordenadas UTM		Altura (msnm)	Hora	INDICADORES FÍSICOS					
		Este	Norte			pH	T °C	DBO mg/l	OD mg/l	Turbidez NTU	Transparencia metros
PM-01	Rio corriente	494774,00	8584639,00	3792	09:36	7,51	13,3	15,55	4,42	1,6	0,2
PM-02	Rio corriente	495893,00	8586289,00	3771	10:03	7,42	13,1	22,08	4,52	5,1	0,18
PM-03	Rio corriente	499975,00	8587536,00	3704	10:28	7,41	12,9	24,6	4,6	5,3	0,18
PM-04	Rio corriente	502306,00	8586627,00	3681	10:54	7,42	13	25,1	4,5	6,35	0,19
PM-05	Rio corriente	503281,00	8586657,00	3676	11:29	7,41	13,6	25	4,7	6,39	0,16
PM-06	Rio corriente	503506,00	8586823,00	3673	11:51	7,39	13,6	25,4	4,6	6,51	0,16
PM-07	Rio corriente	506340,00	8586687,00	3601	12:36	7,43	13,5	23,1	4,5	5,8	0,15
Promedio						7,43	13,29	22,98	4,55	5,29	0,17

FICHA DE OBSERVACION (INDICADORES FÍSICOS) - REGISTRO DE DATOS N° 2

Departamento : Huancavelica Fecha: **05/06/2021** T :Temperatura
 Ubicación: Provincia : Huancavelica DBO : Demanda bioquímica de oxígeno
 Distrito : Huancavelica OD : Oxígeno disuelto

Punto de Monitoreo	Origen de la fuente	Coordenadas UTM		Altura (msnm)	Hora	INDICADORES FÍSICOS					
		Este	Norte			pH	T °C	DBO mg/l	OD mg/l	Turbidez NTU	Transparencia metros
PM-01	Rio corriente	494774,00	8584639,00	3792	09:16	7,41	13	18,7	4,3	1,7	0,19
PM-02	Rio corriente	495893,00	8586289,00	3771	09:35	7,35	13	20,6	4,7	5,2	0,16
PM-03	Rio corriente	499975,00	8587536,00	3704	09:58	7,45	13,1	25,6	4,3	5,4	0,17
PM-04	Rio corriente	502306,00	8586627,00	3681	10:28	7,42	13	28,7	4,9	5,4	0,16
PM-05	Rio corriente	503281,00	8586657,00	3676	10:43	7,42	13	28,2	4,5	5,1	0,14
PM-06	Rio corriente	503506,00	8586823,00	3673	10:58	7,37	13,2	28,6	4,2	5,3	0,15
PM-07	Rio corriente	506340,00	8586687,00	3601	11:31	7,48	13,4	27,4	4,1	4,2	0,17
Promedio						7,41	13,10	25,40	4,43	4,61	0,16

FICHA DE OBSERVACION (INDICADORES FÍSICOS) - REGISTRO DE DATOS N° 3

Departamento : Huancavelica Fecha: **19/06/2021** T :Temperatura
 Ubicación: Provincia : Huancavelica DBO : Demanda bioquímica de oxígeno
 Distrito : Huancavelica OD : Oxígeno disuelto

Punto de Monitoreo	Origen de la fuente	Coordenadas UTM		Altura (msnm)	Hora	INDICADORES FÍSICOS					
		Este	Norte			pH	T °C	DBO mg/l	OD mg/l	Turbidez NTU	Transparencia metros
PM-01	Rio corriente	494774,00	8584639,00	3792	09:30	7,32	13,1	18,1	4,53	1,8	0,2
PM-02	Rio corriente	495893,00	8586289,00	3771	09:56	7,29	12,9	20,63	5,56	5,7	0,19
PM-03	Rio corriente	499975,00	8587536,00	3704	10:21	7,43	13	26,3	4,3	4,6	0,15
PM-04	Rio corriente	502306,00	8586627,00	3681	10:54	7,48	13	27,8	5,2	5,1	0,16
PM-05	Rio corriente	503281,00	8586657,00	3676	11:26	7,43	13	27,4	5,8	4,3	0,16
PM-06	Rio corriente	503506,00	8586823,00	3673	11:43	7,41	13,2	28,3	6	5,1	0,14
PM-07	Rio corriente	506340,00	8586687,00	3601	12:07	7,5	13	22,1	4,5	3,5	0,17
Promedio						7,41	13,03	24,38	5,13	4,30	0,17

Ficha de observación de los resultados de indicadores químicos del río Ichu

FICHA DE OBSERVACION (INDICADORES QUÍMICOS) - REGISTRO DE DATOS N° 1

Departamento : Huancavelica
 Ubicación: Provincia : Huancavelica
 Distrito : Huancavelica

Fecha: 22/05/2021

Punto de Monitoreo	Origen de la fuente	Coordenadas UTM		Altura (msnm)	Hora	INDICADORES QUÍMICOS	
		Este	Norte			Nitratos mg/l	Fosfatos totales mg/l
PM-01	Rio corriente	494774,00	8584639,00	3792	09:36	11,2	0,44
PM-02	Rio corriente	495893,00	8586289,00	3771	10:03	13,5	0,55
PM-03	Rio corriente	499975,00	8587536,00	3704	10:28	13,1	0,52
PM-04	Rio corriente	502306,00	8586627,00	3681	10:54	13,8	0,56
PM-05	Rio corriente	503281,00	8586657,00	3676	11:29	13,9	0,57
PM-06	Rio corriente	503506,00	8586823,00	3673	11:51	14,1	0,59
PM-07	Rio corriente	506340,00	8586687,00	3601	12:36	13,2	0,51
					Promedio	13,26	0,53

FICHA DE OBSERVACION (INDICADORES QUÍMICOS) - REGISTRO DE DATOS N° 2

Departamento : Huancavelica
 Ubicación: Provincia : Huancavelica
 Distrito : Huancavelica

Fecha: 05/06/2021

Punto de Monitoreo	Origen de la fuente	Coordenadas UTM		Altura (msnm)	Hora	INDICADORES QUÍMICOS	
		Este	Norte			Nitratos mg/l	Fosfatos totales mg/l
PM-01	Rio corriente	494774,00	8584639,00	3792	09:16	11,3	0,46
PM-02	Rio corriente	495893,00	8586289,00	3771	09:35	14,6	0,63
PM-03	Rio corriente	499975,00	8587536,00	3704	09:58	13,3	0,56
PM-04	Rio corriente	502306,00	8586627,00	3681	10:28	13,1	0,61
PM-05	Rio corriente	503281,00	8586657,00	3676	10:43	14,2	0,64
PM-06	Rio corriente	503506,00	8586823,00	3673	10:58	14	0,68
PM-07	Rio corriente	506340,00	8586687,00	3601	11:31	13,2	0,66
					Promedio	13,39	0,61

FICHA DE OBSERVACION (INDICADORES QUÍMICOS) - REGISTRO DE DATOS N° 3

Departamento : Huancavelica
 Ubicación: Provincia : Huancavelica
 Distrito : Huancavelica

Fecha: 19/06/2021

Punto de Monitoreo	Origen de la fuente	Coordenadas UTM		Altura (msnm)	Hora	INDICADORES QUÍMICOS	
		Este	Norte			Nitratos mg/l	Fosfatos totales mg/l
PM-01	Rio corriente	494774,00	8584639,00	3792	09:30	11,3	0,45
PM-02	Rio corriente	495893,00	8586289,00	3771	09:56	14,2	0,67
PM-03	Rio corriente	499975,00	8587536,00	3704	10:21	13,6	0,57
PM-04	Rio corriente	502306,00	8586627,00	3681	10:54	14,1	0,63
PM-05	Rio corriente	503281,00	8586657,00	3676	11:26	14,3	0,67
PM-06	Rio corriente	503506,00	8586823,00	3673	11:43	14,6	0,68
PM-07	Rio corriente	506340,00	8586687,00	3601	12:07	13,4	0,72
					Promedio	13,64	0,63

Cálculo del índice de estado trófico del río Ichu en épocas de estiaje en base a su transparencia

CALCULO DEL INDICE DE ESTADO TROFICO EN BASE A LA TRANSPARENCIA								
Ubicación:	Departamento	: Huancavelica			Logaritmo natural de 2 (Ln2)	0,693		
	Provincia	: Huancavelica						
	Distrito	: Huancavelica						
Punto de Monitoreo	Origen de la fuente	IET DS (TRANSPARENCIA)						
		DS (metros) 22/05/2021	DS (metros) 05/06/2021	DS (metros) 19/06/2021	IET DS 22/05/21	IET DS 05/06/21	IET DS 19/06/21	IET DS Promedio
PM-01	Rio corriente	0,2	0,19	0,2	83,22	83,96	83,22	83,47
PM-02	Rio corriente	0,18	0,16	0,19	84,74	86,44	83,96	85,05
PM-03	Rio corriente	0,18	0,17	0,15	84,74	85,57	87,38	85,90
PM-04	Rio corriente	0,19	0,16	0,16	83,96	86,44	86,44	85,62
PM-05	Rio corriente	0,16	0,14	0,16	86,44	88,37	86,44	87,09
PM-06	Rio corriente	0,16	0,15	0,14	86,44	87,38	88,37	87,40
PM-07	Rio corriente	0,15	0,17	0,17	87,38	85,57	85,57	86,17
					Promedio			85,81
Leyenda:								
Oligotrófico	< 44	Eutrófico	54<IET≤74					
Mesotrófico	44<IET≤54	Hipertrófico	IET > 74					

Cálculo del índice de estado trófico del río Ichu en épocas de estiaje en base a la concentración de nitratos

CALCULO DEL INDICE DE ESTADO TROFICO EN BASE A NITRATOS											
Ubicación:	Departamento	: Huancavelica				A=	7				
	Provincia	: Huancavelica									
	Distrito	: Huancavelica									
Punto de Monitoreo	Origen de la fuente	IET NITRATOS									
		Concentración de Nitratos (mg/l)	Concentración de Nitratos (mg/l)	Concentración de Nitratos (mg/l)	Total de la concentración de nitratos durante el tiempo de estudio de un punto de monitoreo	C	IET Nitratos 22/05/2021	IET Nitratos 05/06/2021	IET Nitratos 19/06/2021	IET Nitratos Promedio	
		22/05/2021	05/06/2021	19/06/2021							
PM-01	Rio corriente	11,2	11,3	11,3	33,8	1,529	4,03	4,06	4,06	4,05	
PM-02	Rio corriente	13,5	14,6	14,2	42,3	1,626	4,12	4,37	4,28	4,26	
PM-03	Rio corriente	13,1	13,3	13,6	40	1,602	4,15	4,20	4,26	4,20	
PM-04	Rio corriente	13,8	13,1	14,1	41	1,613	4,26	4,10	4,32	4,23	
PM-05	Rio corriente	13,9	14,2	14,3	42,4	1,627	4,20	4,27	4,29	4,26	
PM-06	Rio corriente	14,1	14	14,6	42,7	1,630	4,23	4,21	4,34	4,26	
PM-07	Rio corriente	13,2	13,2	13,4	39,8	1,600	4,18	4,18	4,23	4,20	
							IET Promedio			4,21	
Leyenda:											
C=	Logaritmo del total de la concentración de nutrientes durante el tiempo de estudio (la suma de las concentraciones del nutriente durante todo el estudio de un punto de monitoreo)										
A=	Cantidad de puntos de monitoreo										
Oligotrófico	IET < 3	Eutrófico	IET > 5								
Mesotrófico	3 < IET < 5										

Cálculo del índice de estado trófico del río Ichu en épocas de estiaje en base a la concentración de fósforo total

CALCULO DEL INDICE DE ESTADO TRÓFICO EN BASE A FOSFATOS TOTALES								
Ubicación:	Departamento	: Huancavelica		Logaritmo natural de 2 (Ln2)	0,693			
	Provincia	: Huancavelica						
	Distrito	: Huancavelica						
Punto de Monitoreo	Origen de la fuente	IET FOSFATOS TOTALES						
		Fosfatos totales (µg/L) 22/05/2021	Fosfatos totales (µg/L) 05/06/2021	Fosfatos totales (µg/L) 19/06/2021	IET de Carlson mod. Vega y Bazán	IET de Carlson mod. Vega y Bazán	IET de Carlson mod. Vega y Bazán	IET Fos. Totales Promedio
PM-01	Rio corriente	440	460	450	85,56	85,79	85,68	85,67
PM-02	Rio corriente	550	630	670	86,72	87,42	87,74	87,30
PM-03	Rio corriente	520	560	570	86,43	86,81	86,90	86,71
PM-04	Rio corriente	560	610	630	86,81	87,26	87,42	87,16
PM-05	Rio corriente	570	640	670	86,90	87,51	87,74	87,38
PM-06	Rio corriente	590	680	680	87,08	87,82	87,82	87,57
PM-07	Rio corriente	510	660	720	86,33	87,67	88,12	87,37
					IET Promedio			87,03
Leyenda:								
Oligotrófico	< 44	Eutrófico	54<IET≤74					
Mesotrófico	44<IET≤54	Hipertrófico	IET > 74					

Cálculo del índice de estado trófico del río Ichu en épocas de estiaje

CALCULO DEL INDICE DE ESTADO TROFICO DEL RIO ICHU EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE HUANCAMELICA

Departamento : Huancavelica

Ubicación:

Provincia : Huancavelica

Distrito : Huancavelica

Punto de Monitoreo	Origen de la fuente	IET TOTAL		
		IET TRANSP,	IET FOSF. TOTALES	IET TOTAL
PM-01	Rio corriente	83,47	85,67	84,57
PM-02	Rio corriente	85,05	87,30	86,17
PM-03	Rio corriente	85,90	86,71	86,31
PM-04	Rio corriente	85,62	87,16	86,39
PM-05	Rio corriente	87,09	87,38	87,24
PM-06	Rio corriente	87,40	87,57	87,49
PM-07	Rio corriente	86,17	87,37	86,77
			Promedio	86,42

Leyenda:

Oligotrófico

< 44

Eutrófico

54<IET≤74

Mesotrófico

44<IET≤54

Hipertrófico

IET > 74

Apéndice 3

Panel fotográfico



Fotografía 1: Realizando la determinación de los puntos de monitoreo con el GPS



Fotografía 2: Realizando la determinación de los puntos de monitoreo con el GPS



Fotografía 3: Realizando el muestreo de agua del rio Ichu en el PM-03



Fotografía 4: Realizando el muestreo de agua del rio Ichu en el PM-04



Fotografía 5: Realizando el rotulado de la muestra



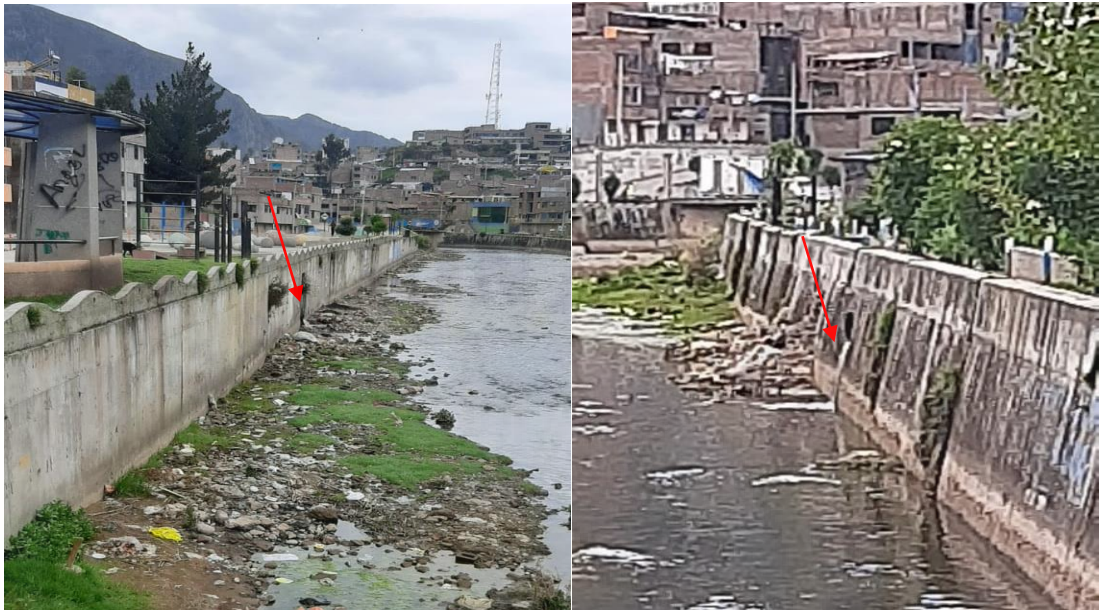
Fotografía 6: Realizando la medición de los parámetros insitu en el PM-03



Fotografía 7: Realizando la medición de los parámetros insitu en el PM-03



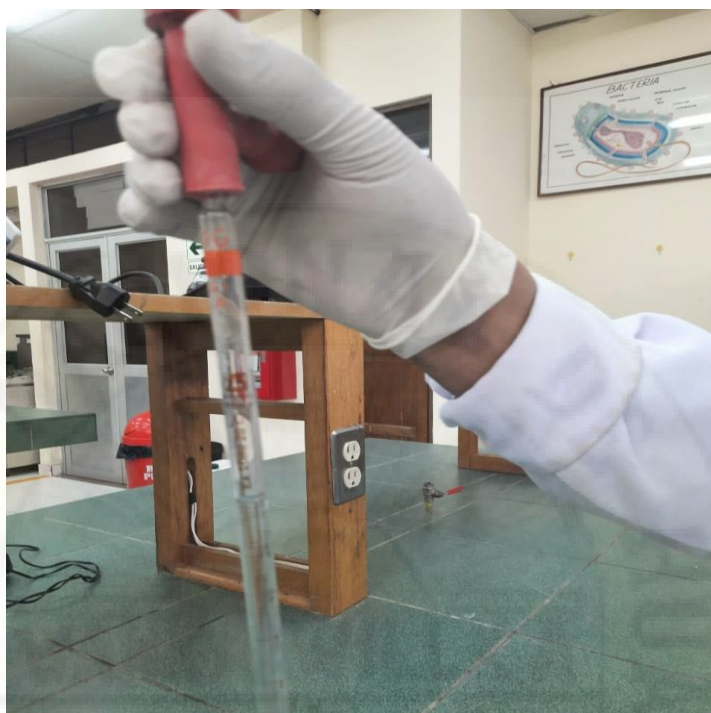
Fotografía 8: Crecimiento excesivo de algas en el PM-06



Fotografía 9: Efluente de aguas residuales domésticas sin previo tratamiento descargado al río Ichu.



Fotografía 10: Realizando la medición de 5 mL para colocarlos en las celdas del equipo HACH DR 2800, para analizar los parámetros químicos.



Fotografía 11: Realizando la medición de 5 mL de agua destilada para colocarlo en la celda de control del equipo HACH DR 2800, para analizar los parámetros químicos.



Fotografía 12: Realizando la medición de 5 mL para colocarlos en las celdas del equipo HACH DR 2800, para analizar los parámetros químicos.