

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



TESIS

**ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL Y CALIDAD FÍSICA Y
QUÍMICA DEL AGUA EN LOS AFLUENTES DE LA LAGUNA
DE PIURAY, CUSCO, 2022**

PRESENTADO POR:

Bach. LUQUE CALLO, NICOLE
ADRIANA

**Para optar el título profesional de
Biólogo**

ASESORES:

Blgo. YANQUE YUCRA, PERCY
Dra. MOSTOWSKA, AGNIESZKA

FINANCIADO POR:

UNSAAC – CONCYTEC

**CUSCO - PERÚ
2023**

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: "Índice Diatómico General y calidad física y química del agua en los afluentes de la laguna de Piuray, Cusco, 2022"

presentado por: Bach. Luque Callo, Nicole Adriana con DNI Nro.: 70448989

presentado por: con DNI Nro.:

para optar el título profesional/grado académico de Biólogo

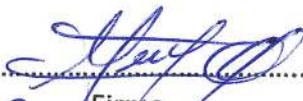
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 07%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 04 de enero de 2024


Firma

Post firma Peru Luque Callo

Nro. de DNI 23827387

ORCID del Asesor 0000-0003-1777-2560

ORCID del 2º Asesor: 0000-0003-4109-5125

Nº doc identidad: 0XN232137

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259: 301796941

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS FINAL Nicole Luque.pdf

AUTOR

Nicole Luque Callo

RECUENTO DE PALABRAS

43298 Words

RECUENTO DE CARACTERES

213236 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

151 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

22.8MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 3, 2024 12:46 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 3, 2024 12:49 PM GMT-5**● 7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

RECONOCIMIENTO

A la Universidad Nacional San Antonio Abad (UNSAAC) por el financiamiento a través del convenio CONCYTEC–UNSAAC, según contrato de subvención N° 019-2018-UNSAAC, del Esquema Financiero: E041-2017-UNSAAC-02, DENOMINADO "PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN" de la convocatoria 2017-2. Proyecto de Investigación "Implementación de un sistema de múltiples barreras para eliminar quistes de protozoarios patógenos del agua potable de la fuente Piuray"

INDICE

INDICE DE TABLAS.....	5
DEDICATORIA.....	7
AGRADECIMIENTOS.....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
JUSTIFICACIÓN.....	13
HIPÓTESIS.....	15
OBJETIVOS.....	16
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	17
1.1 ANTECEDENTES.....	17
1.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	26
1.2.1 AGUA.....	26
1.2.2. CALIDAD DEL AGUA.....	27
1.2.3. CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA.....	30
1.2.4. SISTEMAS DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA.....	32
1.2.5. ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL.....	40
1.2.6. RELACIÓN DE LAS DISTINTAS VARIABLES.....	41
1.3. MARCO CONCEPTUAL.....	42
1.4. MARCO LEGAL.....	42
CAPÍTULO II: ÁREA DE ESTUDIO.....	44
2.1 UBICACIÓN.....	44
2.2 ACCESIBILIDAD.....	46
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	46
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	60
3.1. MATERIALES.....	60
3.2. MÉTODOS Y FUNDAMENTOS.....	61
3.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA.....	63
3.2.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL.....	66

3.2.3. CORRELACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL Y LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA	69
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
4.1. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA.....	71
4.2. ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL.....	82
4.3. CORRELACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL Y LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA.....	91
4.4. DISCUSIÓN.....	98
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES.....	104
BIBLIOGRAFÍA.....	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua Categoría 1-Subcategoría A- A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, establecidos por el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. Ministerio del Ambiente del Perú	43
Tabla 2: Coordenadas UTM de los ríos/riachuelos de la Laguna de Piuray	45
Tabla 3: Características morfológicas y morfométricas de la cuenca de Piuray.....	48
Tabla 4: Datos hidrológicos obtenidos en los puntos de muestreo.....	48
Tabla 5: Ubicación y Características de los puntos de muestreo pertenecientes al riachuelo Huila Huila	50
Tabla 6: Ubicación y Características de los puntos de muestreo pertenecientes al río Ravilchaka	51
Tabla 7: Ubicación y Características de los puntos de muestreo pertenecientes al río Pongobamba	52
Tabla 8: Ubicación y Características de los puntos de muestreo pertenecientes al río Ocotuán...	53
Tabla 9: Ubicación y Características de los puntos de muestreo pertenecientes al riachuelo Maychu	54
Tabla 10: Especies de flora registradas en la cuenca de Piuray	56
Tabla 11: Especies de fauna registradas en la cuenca de Piuray	57
Tabla 12: Valores meteorológicos tomados de la estación meteorológica de Urubamba.	58
Tabla 13: Distribución de los puntos de muestreo	62
Tabla 14: Conservación y preservación de muestras según el parámetro evaluado.....	63
Tabla 15: Valores establecidos en los ECAs para los parámetros físicos	66
Tabla 16: Valores establecidos en los ECAs para los parámetros químicos	66
Tabla 17: Valores de sensibilidad y variabilidad por taxones	68
Tabla 18: Clasificación de la calidad de agua de acuerdo al valor de I.D.G.....	69
Tabla 19: Parámetros físicos y químicos obtenidos en el primer muestreo	71
Tabla 20: Parámetros físicos y químicos obtenidos en el segundo muestreo.....	72
Tabla 21: Parámetros físicos y químicos obtenidos en el tercer muestreo	73
Tabla 22: Temperaturas obtenidas en el primer, segundo y tercer muestreo	74
Tabla 23: Diferencias de temperatura (ΔT) obtenidas en el primer, segundo y tercer muestreo ..	74
Tabla 24: Valores de conductividad obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo	75
Tabla 25: Valores de turbidez obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo.....	76
Tabla 26: Valores de sólidos disueltos totales (TDS) obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo	77
Tabla 27: Valores de pH obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo	78
Tabla 28: Valores de oxígeno disuelto (OD) obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo	79
Tabla 29: Valores de fosfatos obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo	80
Tabla 30: Valores de nitratos obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo.....	81
Tabla 31: Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V) respecto a la Abundancia (A) de diatomeas en porcentajes obtenidas en Huila Huila	82

Tabla 32: Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V) respecto a la Abundancia (A) de diatomeas en porcentajes obtenidas en Ravilchaca	83
Tabla 33: Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V) respecto a la Abundancia (A) de diatomeas en porcentajes obtenidas en Pongobamba	84
Tabla 34: Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V) respecto a la Abundancia (A) de diatomeas en porcentajes obtenidas en Ocotuan	85
Tabla 35: Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V) respecto a la Abundancia (A) de diatomeas en porcentajes obtenidas en Maychu.....	86
Tabla 36: Índice Diatómico General obtenido por punto de muestreo en el primer muestreo.....	87
Tabla 37: Índice Diatómico General obtenido por punto de muestreo en el segundo muestreo...	88
Tabla 38: Índice Diatómico General obtenido por punto de muestreo en el tercer muestreo	89
Tabla 50: Prueba de Shapiro-Wilk por fecha de muestreo para los valores obtenidos del Índice Diatómico General (IDG) obtenidos de cada rio de la Laguna de Piuray	91
Tabla 51: Prueba de Shapiro-Wilk por fecha de muestreo para los valores obtenidos de los parámetros físicos obtenidos de cada rio de la Laguna de Piuray	92
Tabla 52: Prueba de Shapiro-Wilk por fecha de muestreo para los valores obtenidos de los parámetros químicos obtenidos de cada rio de la Laguna de Piuray.....	93
Tabla 53: Pruebas de significancia para fechas de muestreo de los parámetros obtenidos de cada afluente de la Laguna de Piuray	94
Tabla 54: Matriz de correlación IDG- Calidad física y química utilizando Rho de Spearman (valores p) en el primer muestreo.....	95
Tabla 55: Matriz de correlación IDG- Calidad física y química utilizando Rho de Spearman (valores p) en el segundo muestreo.	96
Tabla 56: Matriz de correlación IDG- Calidad física y química utilizando Rho de Spearman (valores p) en el tercer muestreo.....	96
Tabla 57: Matriz de correlación Total de taxones- Calidad física y química utilizando Rho de Spearman (valores p).....	97

DEDICATORIA

A Dios por protegerme y permitirme llegar a este momento de mi vida, a mis padres Edward Luque Florez y Dalia Anahi Callo Sanchez por su paciencia en las enseñanzas que me dieron, por los sacrificios que hicieron por mí y mis hermanos y por ser la luz y guía en cada reto que tengo y un digno ejemplo a seguir. A mis abuelos que transmitieron su sabiduría a mis padres y a nosotros, sus nietos. A todos ellos, muchísimas gracias.

Nicole Adriana

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis, el biólogo Percy Yanque Yucra y a mi coasesora de tesis, la doctora Agnieszka Mostowska por compartir sus conocimientos y darme el apoyo necesario para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A mi padre, el doctor Edward Luque Florez por ayudarme en la organización y la orientación de la forma del presente trabajo.

A la doctora Yanet Mendoza Muñoz y al doctor Marco Edmundo Ordoñez por la aceptación del desarrollo del trabajo como parte del proyecto canon “Implementación de un sistema de múltiples barreras para eliminar quistes de protozoarios patógenos del agua potable de la fuente Piuray” y por su constante apoyo en el ámbito metodológico y administrativo.

A la doctora Agnieszka Mostowska y al departamento de Anatomía Vegetal de la Universidad de Varsovia por su apoyo incondicional en la elaboración de este trabajo de tesis y el apoyo en la identificación y aporte de material bibliográfico.

A la magister Luz Ramos Lara, por su constante dedicación y apoyo para que este trabajo de investigación sea realidad.

RESUMEN

El presente estudio fue realizado entre los meses de julio a setiembre del 2022. El objetivo fue analizar la relación entre el Índice Diatómico General (IDG) y la calidad física y química de los afluentes de la laguna de Piuray, teniendo en cuenta las siguientes variables: Índice Diatómico General y parámetros físicos y químicos de los afluentes de la laguna los cuales son: Huila Huila, Ravilchaca, Pongobamba, Ocotuan y Maychu. Se establecieron 14 estaciones de muestreo distribuidas a lo largo de los cinco afluentes, los muestreos se realizaron tres veces durante julio, agosto y setiembre. Para obtener los valores de los parámetros físicos y químicos se requirió de análisis in situ y la toma de muestras de acuerdo a los protocolos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y la American Public Health Association (APHA); para la determinación del IDG en cada estación de muestreo, se recolectaron muestras de agua de un litro con sustratos sumergidos o sedimentos correspondientes a cada punto de muestreo, en el laboratorio, los sustratos colectados fueron sometidos a un raspado para obtener sedimentos, los sedimentos de cada punto de muestreo fueron depositados en dos tubos de ensayo con agua para su centrifugación y posteriormente tratados en H_2O_2 durante 24 horas; las diatomeas fueron observadas con un microscopio de fotografía marca LEICA. Se utilizó literatura especializada para la identificación de las especies y posteriormente, hallar la abundancia, sensibilidad y variabilidad mediante el uso de la metodología propuesta por Coste & Ayphassorho para obtener el IDG, y de esa forma, obtener el IDG por punto de muestreo. Los resultados arrojan que los valores de conductividad y de sólidos totales disueltos se encuentran dentro de los valores límites permitidos por los ECAs y en cada río existe al menos un parámetro que está fuera de este rango de valores permitido; en todos los muestreos en el riachuelo Huila Huila y al menos uno de los muestreos de los ríos Ravilchaca y Ocotuan las medias obtenidas del IDG son menores a la media esperada ($IDG < 3$), por lo tanto, existe contaminación fuerte en estos, no existen correlaciones continuas entre el Índice Diatómico General (IDG) y al menos alguno de los parámetros físicos o químicos estudiados. La relación entre el IDG y la calidad física y química del agua es nula y se puede indicar que está condicionada por factores externos.

Palabras clave: Índice Diatómico General, Parámetros físicos, Parámetros químicos, Calidad de agua, Laguna de Piuray.

ABSTRACT

The present study was conducted from July to September 2022. The objective was to analyze the relationship between the General Diatomic Index (GDI) and the physical and chemical quality of the tributaries of the Piuray lagoon, taking into account the following variables: General Diatomic Index and physical and chemical parameters of the lagoon's tributaries, which are: Huila Huila, Ravilchaca, Pongobamba, Ocotuan and Maychu: Huila Huila, Ravilchaca, Pongobamba, Ocotuan and Maychu. Fourteen sampling stations were established along the five tributaries and sampling was carried out three times during July, August and September. In order to obtain the values of physical and chemical parameters, in situ analysis and sampling were required according to the protocols established by the National Water Authority (ANA) and the American Public Health Association (APHA); For GDI determination at each sampling station, one-liter water samples were collected with submerged substrates or sediments corresponding to each sampling point; in the laboratory, the collected substrates were scraped to obtain sediments; the sediments from each sampling point were deposited in two test tubes with water for centrifugation and then treated in H₂O₂ for 24 hours; the diatoms were observed with a LEICA photographic microscope. Specialized literature was used to identify the species and subsequently, to find the abundance, sensitivity and variability by using the methodology proposed by Coste & Ayphassorho to obtain the GDI, and thus, to obtain the GDI per sampling point. The results show that the values of conductivity and total dissolved solids are within the limit values allowed by the ECAs and in each river there is at least one parameter that is outside this range of allowed values; In all the samples in the Huila Huila stream and at least one of the samples in the Ravilchaca and Ocotuan rivers, the GDI averages obtained are lower than the expected average (GDI<3), therefore, there is strong contamination in these rivers, there are no continuous correlations between the General Diatomic Index (GDI) and at least one of the physical or chemical parameters studied. The relationship between the GDI and the physical and chemical quality of the water is null and it can be indicated that it is conditioned by external factors.

Key words: General Diatomic Index, Physical parameters, Chemical parameters, Water quality, Piuray Lagoon.

INTRODUCCIÓN

Para tener calidad de vida, se requieren varios recursos dentro de los cuales se encuentra el agua y no solo una cantidad suficiente, sino que también tenga inocuidad y sobre todo, sea accesible para todos (WHO, 2017). Proteger el agua, como recurso fundamental para el consumo y los ecosistemas, debe ser una alta prioridad política. La UE indica que el agua debe ser un patrimonio que debe ser protegido, defendido y tratado como tal (Baattrup, 2019). El término agua, abarca muchos aspectos incluso de naturaleza política; sin embargo, en la actualidad se observa que muchas actividades realizadas por el hombre llevan consigo un impacto negativo a este recurso (Monforte & Cantú, 2009). Los ríos son considerados como un recurso hídrico de suma importancia, ya que se atribuyen funciones tales como, la de abastecer a los cuerpos de agua lénticos (lagos, lagunas, etc.) y en el caso de la zona de los Andes, son fuentes de abastecimiento de agua para las poblaciones aledañas; además, también cumplen la función de dar el equilibrio ecosistémico (Díaz, 2004).

Por otro lado, la laguna de Piuray y sus afluentes (Maychu, Ocotuan, Ravilchaka, Pongobamba y Huila Huila) conforman el sistema Piuray el cual abastece a casi el 40 por ciento de la población de la ciudad del Cusco (Rosas & Miranda, 2015; SEDACUSCO, 2017). La calidad del agua que existe a lo largo de este sistema, influirá en la calidad del agua que se ofrecerá a la población usuaria; por lo tanto, el monitoreo de la calidad de agua en toda la cuenca, es fundamental para asegurar que el agua potable que llegue a cada poblador sea un agua que contribuya con su salud y bienestar. Una baja calidad del agua en una fuente, afectaría de manera negativa la salud de la población. Para evitar este grave problema, se requiere tomar medidas de gestión en toda la cuenca debido al alto riesgo de contaminación que existe, al tratarse de un sistema de agua netamente superficial.

La obtención de los valores de los parámetros físicos y químicos del agua para su posterior comparación con los ECAs, la determinación de las condiciones en que se encuentra el Índice Diatómico General y la evaluación de la correlación entre el Índice Diatómico General y la calidad física y química del agua en los afluentes de la laguna de Piuray, nos permitió conseguir el objetivo principal de la presente investigación el cual es analizar la relación entre el Índice Diatómico General y las características físicas y químicas de los afluentes de la Laguna de Piuray 2022. Por otra parte, los resultados obtenidos serán alcanzados al repositorio de la UNSAAC para posteriormente ser utilizados en otras investigaciones futuras y ser usados como antecedentes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las fuentes de agua dulce cumplen varias funciones importantes tales como ser parte de una cuenca hidrográfica la cual proporciona equilibrio ecosistémico y cuya fuente de agua puede ser usada como agua de consumo humano (Díaz, 2004). Para medir la calidad del agua, se requieren una serie de indicadores que proporcionen información o describan el estado de los recursos hídricos. En el Perú, para medir la calidad de los cuerpos de agua se consideran los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) establecidos por el D.S 004-2017 MINAM los cuales indican el estado de la calidad del agua considerando en su mayoría los parámetros físicos y químicos (Lone, 2016), no obstante, el solo priorizar estos indicadores, no pueden determinar el estado del río en toda su integridad (Calizaya, 2013), para lo cual se requieren indicadores biológicos que nos permitan tener una visión más longitudinal del estado del cuerpo de agua, lo cual podría permitir, establecer una relación entre estas y los parámetros físicos y químicos. Las comunidades diatómicas están consideradas dentro de estas comunidades biológicas indicadoras (Díaz, 2004).

La cuenca de Piuray se encuentra en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, región del Cusco. La cuenca está compuesta por una laguna (Piuray) y cinco cuerpos de agua lóticos los cuales son: los riachuelos Maychu y Huila Huila y los ríos Ravilchaka, Pongobamba y Ocotuan. Se considera que esta cuenca abastece de recurso hídrico a casi el 40% de la población de la ciudad del Cusco. En esta área, se realizaron estudios de sus comunidades fitoplanctónicas y entre estas, se identificaron varias comunidades diatómicas, por lo tanto, es factible el usar índices diatómicos para determinar la calidad de los cuerpos de agua. El Índice Diatómico General es un instrumento que puede formar parte de un plan de monitoreo de calidad mediante el uso de comunidades de diatomeas las cuales indican cual es el estado del recurso hídrico tomando en cuenta los aspectos espaciales y temporales.

Tomando en cuenta el enunciado anterior y que, en el Perú se utilizan los ECAs, se pretende saber cuan diferentes son estas dos variables.

Ante este dilema, se formularon los siguientes problemas:

a. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la relación entre el Índice Diatómico General y las características físicas y químicas de los afluentes de la laguna de Piuray, Cusco, 2022?

b. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a) ¿Cuáles son los valores de los parámetros físicos y químicos del agua de los afluentes de la laguna de Piuray, Cusco, 2022?
- b) ¿Cuáles son los valores del Índice Diatómico General de los afluentes de la laguna de Piuray, Cusco?
- c) ¿Qué correlación se establece entre el Índice Diatómico General y la calidad física y química del agua en los afluentes de la laguna de Piuray-Cusco?

JUSTIFICACIÓN

La laguna de Piuray se encuentra en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, región del Cusco, el recurso hídrico de esta abastece de agua potable a casi el 40 por ciento de la población de la ciudad del Cusco, por lo tanto, es necesario que la calidad del agua sea óptima. También se debe tener en cuenta que la laguna de Piuray tiene cinco afluentes: Pongobamba, Ocotuan, Ravilchaca, Maychu y Huila Huila, los cuales aportan de recurso hídrico a la laguna, por lo cual este trabajo de investigación debe ser realizado y sus recomendaciones puestas en práctica porque es momento de considerar los indicadores biológicos en los monitoreos de recursos hídricos debe ser a nivel de toda esta microcuenca y para comprobar que es necesario el uso de varios tipos de indicadores para realizar un monitoreo más exacto y posteriormente, realizar un buen plan de gestión ambiental de toda la microcuenca, la erradicación de las malas prácticas y exigir una mayor participación de todas las partes involucradas.

a. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La presente investigación es de importancia debido a que los afluentes objeto de estudio abastecen de agua a la laguna de Piuray la cual es fuente de recurso hídrico que abastece a casi la mitad de la población de la ciudad del Cusco. El agua es indispensable para nuestras vidas y la calidad de esta, es considerada como un factor que influye de manera directa a la calidad de vida de las poblaciones por lo cual se debe tener mucho cuidado en la gestión de la calidad de agua de la laguna (OMS, 2015). Para cumplir esto, se requiere un monitoreo con todos los indicadores que nos muestren la calidad en un rango espacio-tiempo.

En nuestra región, se debe lograr el acceso universal y equitativo al agua potable para consumo humano de calidad, a un precio asequible para todos los cusqueños (OMS, 2015).

b. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

Esta investigación permitirá obtener el conocimiento del estado de la calidad de los afluentes de la laguna de Piuray, los cuales influyen de manera directa en la calidad del recurso hídrico de la laguna, también influye en su productividad primaria la cual determinará el estado trófico de este importante cuerpo de agua.

En general, es tiempo de tomar medidas para proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos en toda la región Cusco (OMS, 2015).

c. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Este trabajo de investigación permitirá corroborar la teoría de que, debido a la sensibilidad de las diatomeas respecto a ciertos factores ambientales de su entorno, estas podrán ser usadas en un futuro como bioindicadores para determinar la calidad del agua potable.

d. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Para lograr los objetivos de la investigación se recurren a métodos y técnicas los cuales nos permitirán realizar una comparación tanto de los indicadores abarcados en las variables independientes, así como la influencia que tienen estos en nuestra variable dependiente.

e. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La investigación permitirá poner en práctica soluciones recomendadas respecto a una interrogante que se tiene respecto a los indicadores utilizados en los afluentes con el objetivo de medir la calidad de sus aguas y también se podrá corroborar de manera indirecta, la respuesta a la incógnita de como las actividades humanas del entorno afectan tanto a la calidad del agua, así como al nivel de diatomeas. Se requiere poner en práctica gestiones que permitan el cuidado del agua mediante la cooperación interinstitucional e interregional, garantizando su calidad, evitando su contaminación y estableciendo reservas acuíferas para el futuro (OMS, 2015).

f. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA

La investigación permitirá evaluar si el nivel de diatomeas puede ser usado como bioindicadores para determinar la calidad de los cuerpos de agua. Si fuera así, existiría un gasto menor en cuanto a análisis de laboratorio.

g. JUSTIFICACIÓN POLÍTICA

Con la presente investigación se busca que el gobierno además de apoyar este tipo de investigaciones en las instituciones involucradas, se actualicen los Decretos Supremos y estos incluyan en las ECAs al nivel de diatomeas, de esta forma, se fomentará la participación de las comunidades locales a nivel regional en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento a todo nivel; especialmente la protección de las fuentes de agua para el consumo humano que abastecerá a futuro la ciudad del Cusco (OMS, 2015).

h. JUSTIFICACIÓN LEGAL

Los resultados de la investigación permitirán comprobar si el artículo 2, inciso 22 y el artículo 67 de la Constitución Política del Perú los cuales indican que el hombre tiene derecho a vivir en un medio ambiente saludable y que el estado debe velar que sea así se cumplen en la zona, para lo cual, el uso de indicadores que nos permitan obtener datos respecto a la calidad del área objeto de estudio.

HIPÓTESIS

a. HIPÓTESIS GENERAL

Existe una relación significativa entre el Índice Diatómico General y los parámetros de temperatura, oxígeno disuelto, fosfatos y nitratos en los afluentes de la laguna de Piuray, Cusco, 2022.

b. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. Los valores de los parámetros físicos y químicos del agua en los afluentes de la laguna de Piuray, Cusco, 2022 no se encuentran dentro del rango de valores permitidos por los ECAs.
2. Los valores del Índice Diatómico General de los afluentes de la laguna de Piuray, Cusco, 2022, son menores a tres, indicado una alta contaminación.
3. Existe correlaciones entre el Índice Diatómico General y la calidad física y química del agua en los afluentes de la laguna de Piuray-Cusco, 2022.

OBJETIVOS

a. OBJETIVO GENERAL

Analizar la relación entre el Índice Diatómico General y los parámetros físicos y químicos de los afluentes de la laguna de Piuray, Cusco, 2022.

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar los valores de los parámetros físicos y químicos del agua en los afluentes de la laguna de Piuray, Cusco, 2022, comparándolos con los ECAs establecidos.
2. Determinar las condiciones en que se encuentra el Índice Diatómico General de los afluentes de la laguna de Piuray, Cusco, 2022.
3. Evaluar la correlación del Índice Diatómico General y la calidad física y química del agua en los afluentes de la laguna de Piuray-Cusco, 2022.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

Celekli & colaboradores (Turquía, 2021), en su investigación titulada “Eco-Assessment of Streams of Konya Closed River Basin (Turkey) Using Various Ecoregional Diatom Indices”. El objetivo del estudio fue evaluar las diferencias en la relación diatomeas-estresores en los arroyos relativamente menos perturbados de la cuenca fluvial cerrada de Konya y bioevaluar los arroyos mediante la aplicación de diferentes índices ecorregionales de diatomeas. Los investigadores definieron 39 estaciones de muestreo, las muestras fueron colectadas en primavera, verano y otoño, se analizaron in situ: Temperatura, conductividad eléctrica, pH y oxígeno disuelto; las muestras de agua fueron llevadas al laboratorio para los análisis de nitrógeno total, fósforo total y nitratos; las diatomeas fueron extraídas mediante el raspado del sustrato, se contaron 500 valvas por muestra, la identificación se realizó mediante la bibliografía especializada. Se hallaron los índices EPI-D, TI, TDI, TIT, TWOI y DEQI. Para los análisis estadísticos se utilizaron: La prueba de ANOVA, el test múltiple de Duncan y la correlación de Spearman. Los resultados indican que hay variabilidad en los valores de variables fisicoquímicas obtenidos: en el OD (7.5 a 8.8 mg/L), en la conductividad eléctrica (64 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 723 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y en el PT (10 mg/L a 142 $\mu\text{g}/\text{L}$); los índices de diatomeas desde una mala calidad hasta buena calidad.

Çetin & colaboradores (Turquía, 2021), elaboraron un artículo de investigación titulado: “Testing the performance of European diatom indices for evaluating the ecological status in the Kızılırmak basin, Turkey: flowing waters” realizada en Turquía. El objetivo general fue el probar estadísticamente el rendimiento de los índices europeos de diatomeas más utilizados (IPS, IDG, IBD, EPI-D, TDI y TI) por medio de su comparación con los indicadores de contaminación orgánica (DBO y amonio-nitrógeno), eutrofización (ortofosfato y nitrato-nitrógeno) y salinización (conductividad eléctrica). Los investigadores recolectaron estacionalmente en 2014 un total de 97 muestras de diatomeas de 33 ríos, La conductividad eléctrica (CE) se midió in situ, las muestras para analizar PO_4^{-3} , NO_3^- , NH_4^- y DBO_5 se llevaron al laboratorio, para calcular la degradación general en la cuenca, realizaron un análisis de componentes principales y utilizaron regresión lineal para calcular las correlaciones con los índices de diatomeas. Los resultados encontraron 215 especies de diatomeas, mientras que se ha comprobado que los índices EPI-D, IPS, IBD y TI están fuertemente correlacionados, respectivamente, mientras que el IDG ($R=0.44$) y TDI tuvieron las correlaciones más bajas respecto a la degradación general. Solo el índice EPI-D se correlacionó significativamente con todas las variables ambientales; en cambio el IDG tiene una baja correlación con la conductividad ($R= -0.2780$) y una correlación medio baja con los nitratos ($R= -0.4141$).

Piccardo Antunez (Uruguay, 2020), elaboró una tesis de postgrado titulada “Diatomeas bentónicas como indicadores de gradientes ambientales asociados a actividades antrópicas en arroyos de la cuenca del Río Negro, Montevideo” (cuenca de Tacuarembó y del alto Río Negro). El objetivo fue evaluar el estado trófico y calidad del agua de los tributarios de la cuenca y relacionarlo con la biomasa de microalgas bentónicas y con la composición de diatomeas epilíticas. La investigadora, realizó muestreos en dos etapas, en cada uno de los 92 puntos de muestreo. La temperatura, el pH, el OD y la turbidez, se midieron con una sonda multiparamétrica Horiba U51. Se tomaron muestras de agua de cada arroyo para la medición de SST, MOS, NT, PT, PRS, NO₃ y NH₄. Para el muestreo de diatomeas, se realizó el raspado de sustratos rocosos y para la identificación de las especies de diatomeas se utilizó un microscopio óptico a 1000x de aumento y bibliografía especializada. Para determinar abundancia, contó 400 valvas por muestra. Para los análisis estadísticos, utilizó: DCA, prueba de Kruskal-Wallis y ACP. Se evaluaron los índices de diatomeas: IDP, TDI y el TWQI. Los SST: entre 0.79 y 38.60 mg/L, turbidez de las muestras: (0 a 35.73 NTU); conductividad: (28 a 593 uS/cm). Los parámetros químicos: Valores PT: entre 14.10 a 514 ug/L.; NO₃: (42.57 y 1240 ug/L); NH₄: (2.19 y 52.94 ug/L); NT: (154.98 y 3085 ug/L) y OD: (2.52 y 11.40 mg/L). Fueron significativos sólo PT y NT. Se identificaron un total de 122 especies de Diatomeas y de estas, 52 presentaron una abundancia relativa mayor a 5%. En cuanto a la calidad del agua e índices diatómicos, el TDI indica que 6 arroyos tienen buena calidad, 11 calidad regular, 8 mala calidad y 6 de calidad muy mala. Los arroyos de buena calidad, tenían como especie dominante a *Achnantheidium minutissimum* mientras que los arroyos de mala calidad estuvieron dominados por *Nitzschia palea* y *Nitzschia semirobusta*.

Machuca, López & Castillo (Chile, 2018), investigaron sobre el diseño de un modelo de cuantificación de calidad hídrica en humedales que fue efectuado en la provincia de Curicó, (región Maule). El objetivo fue proponer un modelo de cuantificación para definir la calidad hídrica en un ecosistema acuático en dicha región. Se definieron 23 estaciones de muestreo en la Laguna Torca, los muestreos se realizaron los meses de agosto, septiembre, octubre y diciembre (2014) y enero de 2015. El muestreo biológico se realizó utilizando la metodología de Wetzel & Likens, en sitios con presencia de vegetación acuática. Se utilizaron frascos plásticos de 40 ml con alcohol al 70 % para preservación. Para determinar la calidad del agua, se utilizaron el Índice Diatómico General (IDG) y el Índice Biótico de Familias (IBF). Los resultados indican que las temperaturas fluctúan entre 9,4 a 30,2 °C, mientras que la conductividad eléctrica tuvo valores entre 880 y 9630 µS/Cm y los sólidos disueltos totales, entre 432 a 4722 mg/L. El pH tuvo valores de 7 a 9,5. El IDG tuvo como valor mínimo 2,73 y como máximo 4,43, el ChIBF tuvo como valor mínimo 2,63 y como valor máximo 8,00.

Toro (Ecuador, 2017), realizó su tesis en el estado ecológico de los ríos Atacames y Súa mediante el análisis de la comunidad fitoplanctónica, realizado en la ciudad de Esmeraldas, Ecuador. El objetivo fue determinar el estado ecológico de los ríos Atacames y Súa empleando la comunidad fitoplanctónica como bioindicadora. Se consideraron 10 estaciones en el río Atacames y 9 estaciones en el río Súa. Se realizaron cuatro muestreos bimensuales desde julio de 2016 hasta enero de 2017. Se obtuvieron muestras de agua de 1L por triplicado para transporte y posterior análisis laboratorial mediante el método de Utermohl, Se obtuvieron descriptivos ecológicos, abundancia, riqueza de géneros presentes, Índice de diversidad H' de Shannon, el índice Compuesto, índice de Palmer y el índice Diatómico General (IDG). Los IDG en los puntos de muestreo del río Atacames en el mes de julio (entre 3.55 a 4.15); setiembre (3.3 y 4.1); noviembre (3.4 y 4) y enero (3.3 a 3.85). IDG en el río Súa en el mes de julio (entre 3.3 a 3.5); setiembre (3.5 y 3.95); noviembre (3.63 y 4.2) y enero (3.18 a 3.63); concluyendo que ambos ríos se encuentran poco contaminados, el Río Súa muestra mejores condiciones.

Mac Donagh & Colaboradores (Argentina 2016), realizaron una investigación sobre la aplicación de índices bióticos basados en diatomeas epífitas sobre *Schoenoplectus californicus* (C.A. MEY.) Soják, en lagunas pampeanas de Lacombe y La Rosita. El objetivo fue comparar los índices bióticos basados en diatomeas epífitas en lagos con distintos usos del suelo en sus cuencas. Se realizaron cuatro muestreos con frecuencia estacional, durante los años 2005 a 2006. Se tomaron variables fisicoquímicas in situ: temperatura, pH, concentración de oxígeno disuelto, salinidad y conductividad; se tomaron muestras superficiales de agua para análisis de clorofila y fósforo. Se midió la concentración de fósforo total (PT) y fósforo reactivo soluble (PRS) en el agua. En cada punto de muestreo, se tomaron tres réplicas de epífiton; para determinar la abundancia de diatomeas, se tomaron raspados de los juncos analizados, se contabilizaron 400 valvas por muestra mediante microscopía 1000x, finalmente, se calcularon los siguientes índices: Índice de Eutrofización/Polución basado en Diatomeas (EPI-D:), Índice Genérico de Diatomeas (IDG:), Índice Poluto Sensible (IPS), Índice de Diatomeas Pampeano (IDP), Índice Trófico de Rott (Rott-t) y el Trophic Diatom Index (TDI). Los parámetros fisicoquímicos obtuvieron valores similares entre las dos lagunas: La turbidez presentó valores de 15 a 74,2 NTU, la conductividad presentó valores entre 260 a 2298 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el OD presentó valores de 2,7 a 11,7 mg/L , la temperatura, presentó valores desde 7 °C en invierno a 19,5 °C en verano, el pH tuvo valores alcalinos de 9 y el fósforo total tuvo valores de 189 a 222 $\mu\text{g}/\text{L}$. El 100% de los géneros presentaron valor indicador en el índice IDG, este indicó en todas las ocasiones una mejor calidad del agua en Lacombe (2.45 a 3.48) con respecto a la misma fecha de La Rosita, laguna cuyos valores de IDG obtenidos indican que existe una polución fuerte a muy fuerte (1.79 a 2.47).

Echeveria (Ecuador, 2016), realizó su tesis de pregrado en el estudio de la comunidad de fitoplancton en el río Atacames provincia de Esmeraldas. El objetivo fue analizar la estructura y composición de la comunidad de fitoplancton en el río Atacames. Se analizó la comunidad fitoplanctónica que se encuentra presente en 6 estaciones distribuidas a lo largo del río Atacames de enero a abril del año 2015. Los parámetros físicos químicos analizados fueron: temperatura, pH, turbidez y conductividad eléctrica y se midieron in situ usando un Multiparametros Hanna

Instruments; así mismo, colectó muestras de agua de 500 ml en cada estación registrándose en cada momento los parámetros físico-químicos. El análisis de muestras, se realizó mediante el método de Utermohl, se utilizó microscopía invertida para obtener la riqueza de especies, diversidad y abundancia de algas expresadas en algas/ml. Se utilizó el índice Diatómico General; finalmente, se correlacionó la abundancia, los parámetros físico químicos y puntos de muestreo mediante el uso del coeficiente de determinación. Los parámetros físicos y químicos obtenidos fueron: La turbidez presentó valores de 2,03 a 5,3 NTU, conductividad: (entre 236 a 589 us/cm); temperatura: (desde 24,5 °C en invierno a 29,3 °C en verano); pH: valores alcalinos entre 7,3 a 9,21. Se encontró un total de 14 géneros de fitoplancton de los cuales 13 pertenecen a Diatomeas. IDG en punto de muestreo La Unión: de 2,2 a 3; en el Repartidero: de 2,5 a 2,7; en Las Brisas: de 2,9 a 3,4; en Las Vegas: de 2,7 a 3; en Agua Fría: de 2,4 a 2,7 y en Boca de Tazones: 2,4 a 3,1. La correlación entre la abundancia del fitoplancton y el pH es de 0,87 (Relación fuerte), mientras que los coeficientes de determinación de la relación entre la abundancia del fitoplancton y la temperatura, entre la abundancia del fitoplancton y conductividad en cada punto de muestreo, entre la abundancia de fitoplancton y turbidez en cada punto de muestreo y entre abundancia y precipitación en la zona es de 0,27, 0,003, 0,0016 y de 0,34 respectivamente, indicando una relación insignificante.

Mena (Ecuador, 2015), trabajó su tema de tesis en el establecimiento de mecanismos biorremediadores mediante la identificación del agente causal de eutrofización en los acuíferos superficiales realizado en el sector los Poguios – Isinche de Vacas, cantón Pujilí, ubicado en la provincia de Cotopaxi, Ecuador. El objetivo fue determinar características del proceso de degradación que experimentan los acuíferos, así como la estimación de él o los agentes causales de Eutrofización para lo cual, realizó cinco monitoreos mensuales en los cuales se evaluó: parámetros físicos y químicos (Nitrógeno total, fósforo total, OD, pH); así como fitoplancton, se tomaron valores de IDG y se registraron el total de taxones encontrados. Los valores de nitrógeno total y fósforo total y de OD son bajos y el pH se encuentra entre los valores neutros mientras que el IDG (4,16-4,97) indican desde calidad normal hasta calidad óptima. La relación del OD con la riqueza de especies es baja y que el pH en las comunidades fitoplanctónicas no influencia en su dinámica.

Pérez & Colaboradores (Cuba, 2012), realizó un estudio de la correlación entre el índice biótico BMWP-CUB y parámetros físicoquímicos en el río Gascón de Santiago de Cuba, Cuba. El objetivo principal es determinar la riqueza de familias y calidad del agua empleando el índice biótico BMWP-Cub. para establecer la posible correlación existente entre los resultados del índice y los parámetros físico-químicos. Se efectuaron cuatro cortes transversales, en época de seca, en tres puntos de muestreo del río Gascón y se analizaron 17 parámetros medioambientales. Se aplicó el índice BMWP-Cub, y se analizó la correlación de Spearman del mismo con ocho parámetros físico-químicos. Se ha determinado que las correlaciones entre el índice biótico y los parámetros como la conductividad, los nitratos y los fosfatos son fuertes y negativas, también ha encontrado una correlación entre la conductividad eléctrica presenta y el OD ($r^2 = 0,741$), explicando que la conductividad se debe a la presencia de sales orgánicas.

González Silva (Ancash, 2019), elaboró su tesis de pregrado en la evaluación de la calidad de agua del río Mancos mediante el uso de diatomeas (Bacillariophyceae) para su uso agrícola la cual fue realizada en el callejón de Huaylas. El objetivo fue determinar la calidad del agua del río Mancos para su uso agrícola mediante el uso de diatomeas (Bacillariophyceae). Se realizaron dos muestreos de diatomeas (agosto y noviembre 2018) en tres puntos de muestreo, se recolectaron piedras sumergidas, cepillando un área de 10 a 20 cm². También se tomó muestras de agua directamente y sin filtrar (1000 ml de agua). Los parámetros fisicoquímicos analizados in situ fueron: temperatura del agua, oxígeno disuelto, pH y sólidos totales y entre los analizados en laboratorio se encuentran los nitratos. Para evaluar la calidad del agua se empleó los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Categoría III, Riego de Vegetales y Bebida de Animales y los Índices de diversidad de Shannon - Wiener (H'). Los resultados de la aplicación de los índices de diversidad de Shannon & Wiener (H') indican que el agua presenta una contaminación leve en los tres puntos de muestreo. Acorde al análisis fisicoquímico, el agua es de buena calidad (ECA). Los valores de conductividad eléctrica fueron: (39.1 uS.cm⁻¹ a 709.5 uS.cm⁻¹); temperatura: (entre 11.5 a 13.4 °C); OD: (de 7.27 a 7.92 mg/L); pH se mantuvo en valores neutros, nitratos: (entre 1 a 9.9 mg/L).

Cavero Arana & Manrique Carhuas (Huánuco, 2019), realizaron un informe de seis lagunas altoandinas: Huascacocha, Quimahuanca, Mancapozo, Grimalma, Quiullacocha y Huampo. El objetivo fue determinar el estado de seis lagunas para el desarrollo de la agricultura, mediante tres estaciones de muestreo por laguna. Las variables fisicoquímicas estudiadas: pH, oxígeno disuelto, dureza, alcalinidad, nitrógeno amoniacal, CO₂, cloruro, temperatura Agua, nitrito y turbidez (in situ). Las variables ecológicas a estudiar: fitoplancton, zooplancton, perifiton y macrobentos (superficial, medio y profundidad). Se utilizaron como indicadores biológicos el IDG, Índice de Shannon & Wiener y el Índice de Margaleff. Los parámetros fisicoquímicos fueron: Turbidez: 0,35 a 2 NTU; OD: >5 mg/L; temperatura: 11,33 a 13,5 °C; pH: 7; IDG, se obtuvieron valores que indican entre una polución fuerte (2,21) y una calidad biológica óptima (4,69).

Baylón & Colaboradores (Pasco, 2018), investigó acerca de la evaluación de la diversidad de algas fitoplanctónicas como indicadores de la calidad del agua en lagunas alto andinas de la región Pasco. El objetivo fue evaluar la calidad del agua de cinco lagunas (Lacsacocha, Yanamate, Quiulacocha, Milpo Andina y Huaroncocha), en base a la abundancia, riqueza y diversidad del fitoplancton. Se colectaron 14 muestras de las cinco lagunas, para la identificación se utilizó la bibliografía de Anagnostidis, Komárek, Strelbe & Krauter, Whitford & Schumacher, Prescott, West et al., John et al., Wehr et al. para su identificación. Se relacionó el fitoplancton con los parámetros fisicoquímicos, a partir de la similaridad de Bray-Curtis, empleando la correlación de Spearman. Los resultados indican que conductividad más baja se encontró en Huaroncocha con 110 µS.cm⁻¹ y la más alta en Yanamate con 5 200 µS.cm⁻¹. La temperatura fluctuó entre 10.6 °C en Yanamate y 19 °C en Huaroncocha. El pH más bajo se encontró en Yanamate (2.4) y el más alto Huaroncocha (8.11). Tanto los valores de conductividad, así como los de pH, no cumplen con los ECAs establecidos. Los IDG obtenidos indican desde contaminación fuerte en Quilacocha (2.71) hasta calidad biológica óptima en Huaroncocha (4.61). La conductividad eléctrica presentó

alta correlación (0.74) con la comunidad fitoplanctónica en los cinco ambientes lenticos, seguido del pH (0.55) y por último la temperatura (0.51).

Yovera (Piura, 2016), elaboró su tesis en algas como parte del perifiton en los cuerpos de agua realizada en el distrito Canchaque-Huancabamba, región Piura. El objetivo fue determinar que algas están presentes, como parte del perifiton. Se establecieron cuatro zonas, con seis estaciones por cada una de ellas, realizando siete muestreos entre febrero y agosto del 2015. Las muestras biológicas se obtuvieron mediante cepillados y se preservaron con formalina al 4 %, se midieron la temperatura del agua y pH. Para determinar la correlación entre el número total de especies con cada parámetro se usó la correlación de Spearman y de Pearson. Los resultados indican que se han encontrado 59 especies de diatomeas y que la correlación entre el total de especies y la temperatura del agua es media ($R= 0,570$ y $p\text{-value} = 0.00$). Indica que la correlación del total de especies encontradas y el pH es bajo y no hay correlación ($0,010$ y $p\text{-value} = 0,964$).

Mallqui (Trujillo, 2015), en su tesis de pregrado que se realizó en tres cuencas: Huacamarcanga, Tres Cruces, Barro Negro y La Arena y cuyo objetivo del estudio fue determinar la calidad del agua de las microcuencas usando parámetros físicos e índices biológicos de diatomeas, tomaron 19 estaciones de muestreo en dos temporadas. Se estudiaron parámetros físicos: Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto, Temperatura, Sólidos totales disueltos, Fosfatos y Nitratos y se tomaron índices de diversidad e ISS, EPI-D e IBD. Resultados: Los parámetros fisicoquímicos son óptimos en casi todos los puntos de muestreo, mientras que se ha indicado que *Cocconeis placentula*, *Diatoma mesodon*, *Diatoma vulgaris*, *Fragilaria*, *Gomphonema gracile*, *Melosira* y *Ulnaria ulna* son especies relacionadas a agua con OD alto y buena conductividad, mientras que los géneros *Nitzschia* y *Navicula* son características de aguas salobres con contaminación orgánica. La correlación de los parámetros, indica que el pH, y la presencia de nutrientes influyen en la distribución de diatomeas y que el OD baja a medida que aumenta la temperatura.

Guzman Valqui & Leiva Tafur (Amazonas, 2015), elaboraron un trabajo de investigación para tesis de pregrado sobre el uso de diatomeas (bacillariophyceae) como bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua trabajo que fue efectuado en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas. El objetivo fue determinar la calidad del agua del río Utcubamba, mediante la utilización de diatomeas como bioindicadores. Se tomaron 43 puntos de muestreo a lo largo de la cuenca, los muestreos se realizaron en dos etapas: Época de lluvias y época de secas. Se tomaron cinco piedras por estación, luego de tratar las muestras, se identificó los individuos a nivel de especie utilizando la información de la Confederación Hidrográfica del Duero (2010), Soler (2012) y de la Universidad Nacional Autónoma de México (2012). Los análisis de datos lo realizaron aplicando índice de Shannon y Weaver y el patrón establecido por Lobo & Kobayasi (1990). Resultados: Se encontraron 102 especies, las que se encuentran en 25 géneros y 22 familias, la mayor cantidad de taxones encontradas fueron en el muestreo realizado en la época seca, los valores obtenidos en el índice de Shannon y Weaver fluctúan entre 1,890 a 2,533, comparando estos valores con el patrón establecido por Lobo & Kobayasi (1990) se evidenció la existencia de contaminación

leve a moderada. La diferencia significativa en los análisis de cuenca indica que los datos en los sectores alto, medio y bajo de la cuenca son significativos y existe homogeneidad de varianzas.

Inca (Tacna, 2014), realizó una tesis sobre la diversidad de diatomeas como bioindicadores de contaminación orgánica y por metales pesados en los humedales de Ite, realizado en la Provincia de Jorge Basadre, Tacna. El objetivo fue determinar la diversidad de diatomeas como bioindicadores de contaminación orgánica y por metales pesados del agua del Humedal de Ite. Se realizaron cuatro muestreos mensuales desde diciembre de 2013 hasta marzo de 2014. Se midieron in situ Oxígeno Disuelto, pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales Disueltos y Turbidez. Se obtuvieron muestras de agua de 1L conservadas en formol al 4%, para su posterior conteo en la cámara de Sedgwick–Rafter (1ml); se obtuvieron los descriptivos ecológicos, abundancia, riqueza de géneros presentes, Índice de diversidad H' de Shannon y el índice Diatómico General. Los parámetros físicoquímicos evaluados, estaban por encima de lo permitido según la Norma Peruana de Estándares de Calidad del Ambiente para aguas (ECAs). Resultados: Oxígeno Disuelto (3,91-8,94), pH (7,09-8,08), Temperatura (17,38-27,48), Sólidos Totales Disueltos (2974- 3162,57), Conductividad Eléctrica (5950,14- 6325,29), y Turbidez (21,43-61,87), todos ellos no presentan mucha influencia las especies de diatomeas. Se han encontrado 33 géneros y 129 especies de Diatomeas, el IDG indica polución fuerte (2.1-2.6), posiblemente debido a la presencia de materia orgánica de la ganadería y desechos de actividades antrópicas, en los índices más bajos se han registrado especies indicadoras de contaminación.

Cruz (Chincho, 2022), para su tesis doctoral, realizó una evaluación del efecto del cambio climático en el recurso hídrico el cual se desarrolló en la laguna de Piuray, microcuenca de Piuray entre julio de 2014 y junio de 2015. El objetivo de la investigación fue el evaluar los efectos del cambio climático en la calidad de agua de los ríos Pongobamba I, Pongobamba II, Ocotuan, Huila Huila y Maychu y de la laguna de Piuray; las variables estudiadas fueron el índice de calidad de agua (ICA) la cual evalúa características físicas, químicas y bacteriológica y las variables climáticas que afectan la calidad de agua. El investigador realizó muestreos mensuales de agua en los ríos para luego hacer 7 muestreos en la laguna de Piuray a profundidades desde 0 metros a 30 metros en una escala de 5 m de profundidad. El rango de temperaturas de agua en los ríos fue entre 9.9 °C y 19.8 °C, el rango de turbidez estuvo entre 0.51 NTU a 19.1 NTU, el de oxígeno disuelto de 3.2 mg/l a 8.3 mg/l, de pH entre 7 a 9.1; el de nitratos de 0 mg/l a 1.03 mg/l y el rango de fosfatos estuvo entre 0 a 0.13 mg/l, además, indicó que la calidad de las aguas de los ríos afluentes y la laguna de Piuray se ven afectadas por el calentamiento global de 1.5 °C y 2 °C, en 44 % y la diferencia estaría dada por la actividad natural como los forzantes externo y forzantes internos.

Mendoza & Colaboradores (Chincho, 2019), elaboraron un informe sobre el monitoreo de Algas en los Afluentes de la Laguna de Piuray Chincho, Urubamba, región Cusco. El objetivo del informe fue determinar las especies diatomeas presentes en las muestras de agua tomadas en los afluentes de la laguna de Piuray: Ravilchaca, Pongobamba, Maychu, Ocotuan y Huila Huila. El trabajo se realizó en los meses de julio y noviembre del año 2019. Los muestreos se realizaron en cinco puntos distribuidos en los afluentes de la laguna de Piuray. Se tomaron muestras de 1L,

estas muestras fueron enviadas al laboratorio de fitoplancton perteneciente al Laboratorio CERPER; en el documento, se indica que se siguió la metodología perteneciente al Instructivo 8033-1: Inspección de Aguas Naturales y Salinas. En Ravilchaca se encontraron 9 géneros de la división Bacillariophyta, en el riachuelo Pongobamba, 10 géneros, Maychu presentó 4 géneros mientras que en Ocotuan se encontraron 11 géneros y en Huila Huila, 6 géneros; los géneros más abundantes en julio del año 2019 fueron los siguientes: en Ravilchaca, el género *Nitzschia* abarca 91.37% seguido por el género *Navícula* (7.79%) en Pongobamba, se encontró que el género *Nitzschia* tiene un porcentaje de 45.73 % seguida por la especie *Rhoicosphenia abbreviata* (10.74%), en Maychu, el género *Nitzschia* es el más abundante con un porcentaje de 72.55%, en Ocotuan, el género más abundante fue *Navícula* con 93.55% seguida por la especie *Nitzschia linearis* (2.15%) finalmente, en Huila Huila, el género *Navícula* abarca el 96.3%, seguido por la especie *Nitzschia accicularis* (3.24%).

Rosas & Miranda (Chincheró, 2015), realizaron una tesis de pregrado acerca de la estructura temporal y espacial de las comunidades planctónicas realizada en la laguna de Piuray. El objetivo fue evaluar la estructura temporal y espacial de las comunidades planctónicas de la laguna de Piuray. El trabajo se realizó en las temporadas de secas y lluvias de los años 2013 y 2014. El muestreo se realizó en distintos estratos de la laguna de Piuray y sus cinco tributarios: Ravilchaca, Pongobamba, Maychu, Ocotuan y Huila Huila. Se tomaron muestras de 3 litros, para la identificación se utilizó bibliografía especializada Prescott, 1973. Para el conteo poblacional se utilizó la cámara de SEDGWICK-RAFTER (S=R); también se calcularon el valor de importancia, frecuencia, densidad, abundancia y los índices de diversidad alfa, Shannon-Wiener, Simpson, de Jaccard y Morisita-Horn. En Ravilchaca se encontraron 27 géneros de la división Bacillariophyta; en Pongobamba; 20 géneros; Maychu; 21 géneros; Ocotuan: 23 géneros y en Huila Huila; 19 géneros. Los géneros más abundantes el año 2014 fueron los siguientes: Ravilchaca: Géneros *Synedra* (junio, 20.31%) y *Pinnularia* (junio, 14.15%); los géneros *Synedra* (julio, 40.18%) y *Nitzschia* (julio, 18.26%). Pongobamba: Géneros *Rhoicosphenia* (junio, 19.33%) y *Nitzschia* (junio, 13.5%); los géneros *Synedra* (julio, 22.65%) y *Denticula* (julio, 15.7%). Maychu; Géneros *Rhoicosphenia* (junio, 36.47%) y *Nitzschia* (junio, 22.35%); los géneros *Synedra* (julio, 26.09%) y *Nitzschia* (julio, 18.84%). Ocotuan: Géneros *Cymbella* (junio, 19.22%) y *Nitzschia* (junio, 15.29%); los géneros *Amphora* (julio, 37.31%) y *Cymbella* (julio, 15.82%). Huila Huila: Géneros *Bacillaria* (junio, 29.03%) y *Synedra* (junio, 27.42%); los géneros *Synedra* (julio, 48.14%) y *Fragilaria* (julio, 20.99%).

Cajavilca Barrios (Acomayo, 2014), elaboró un trabajo de tesis que determinó la calidad hídrica mediante la aplicación del Índice Diatómico Generalizado realizada en el circuito de 4 lagunas en las provincias de Acomayo y Canas, región Cusco, a altitudes entre 3600 y 3800 msnm periodo junio 2013-mayo 2014. El objetivo fue determinar la calidad hídrica mediante la aplicación del IDG en el circuito objeto de estudio. Se seleccionaron 13 puntos de muestreo con los sustratos adecuados y de dos a tres metros de la orilla de la laguna; se tomaron un total de nueve parámetros fisicoquímicos de los cuales el pH, la temperatura, la conductividad, los sólidos totales y el OD se midieron in situ, mientras que los nitratos, el DBO, los fosfatos y el amoníaco se transportaron en recipientes para ser analizados en laboratorio; se contaron los frústulos enteros hasta llegar a 400 valvas, para la identificación se requirió el uso de claves, se halló la abundancia y se aplicó la fórmula de IDG, se comparó con una tabla de clasificación de la calidad del agua con IDG de Coste & Ayphassorho, 1991. Resultados: Para los parámetros fisicoquímicos, en todas las lagunas, la cantidad de sólidos totales exceden los ECAs; en cuanto a las diatomeas, la laguna de Pomacanchi tuvo 12 familias, 20 géneros y 25 especies; la de Acopia, 13 familias, 17 géneros y 21 especies; la de Asnacocha, 14 familias, 22 géneros y 29 especies y la de Pampamarca, 14 familias, 21 géneros y 27 especies. El valor promedio del IDG para las lagunas de Pomacanchi, Acopia, Asnacocha y Pampamarca fueron de 3.91, 3.84, 3.47 y 4.17 respectivamente, los cuales indican que existe polución débil en la laguna de Pampamarca, polución moderada y proceso de eutrofización en las lagunas de Pomacanchi y Acopia y polución media con proceso de eutrofización en la laguna de Asnacocha.

1.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.2.1 AGUA

El agua es un recurso esencial para la vida, por lo tanto, se requiere que exista un suministro accesible para todos y que tenga una buena calidad, es utilizado para diversas actividades humanas y también para el consumo, por lo tanto, la calidad de esta es sinónimo de mejoras para la salud poblacional (WHO, 2017), además, garantiza la seguridad alimentaria y el funcionamiento de los sistemas sociales que hay en el mundo (Lee et al., 2022; Mendoza et al., 2019) además, influye directamente en la distribución de los seres vivos y en actividades humanas tales como: la irrigación, la industria, la bebida, el transporte, la pesca y el ocio (Celekli et al. , 2021).

Los seres humanos usamos aguas provenientes de distintas fuentes: subterráneas, superficiales y marinas (Lee et al., 2022), dentro de las cuales las más utilizadas son los ríos y arroyos seguidos por las aguas subterráneas. La falta de compromiso para mejorar la calidad de estas fuentes de agua, es algo que pone en riesgo su calidad y por lo tanto, la salud de los usuarios (Saalidong et al., 2022). Ante tal realidad, los distintos gobiernos deben encargarse de realizar una gestión adecuada de estos recursos para su buen uso (Lee et al., 2022).

1.2.1.1. AGUA PARA CONSUMO EN EL PERÚ Y EN CUSCO

Como se indicó antes, los recursos hídricos son importantes para el desarrollo de actividades socioeconómicas (agricultura, ganadería, biodiversidad, seguridad pública e industria) y ambientales, tanto de carácter consuntivo y no consuntivo (Cruz, 2022).

En estos últimos cinco años, la proporción de viviendas que cuentan con fuente de agua para beber por red pública, se mantiene estable. En todo el país fue de 81,3% para el año 2015 y 82,8% en el año 2020. En el área rural hubo una variación significativa del servicio, que pasó de 69,6% a 75,9% en el periodo 2015- 2020 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020a). Ver figura adjunta.

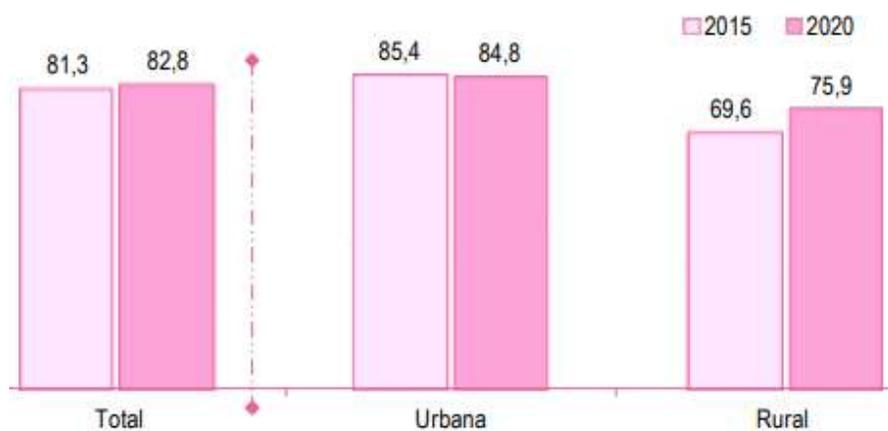


Figura 1: Fuente de agua para beber por red pública según residencia 2015-2020

Nota: En base al Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020

Según la evolución, en los años 1991-1992, las viviendas que disponían de fuente de agua para beber conectada a red pública alcanzaron al 71,5%; para el área urbana el porcentaje alcanzó 88,5% y en el área rural fue más bajo (28,7%). En el año 2020 alcanzó una cobertura de 82,8% siendo mayor en el área urbana que en el área rural. (84,8% y 75,9%, respectivamente) (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020a).

La población Cusco, que tiene acceso a red pública de agua se estima en 93.30%, mientras que la población que no tiene acceso a red pública de agua se encuentra en 6.70% (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020b).

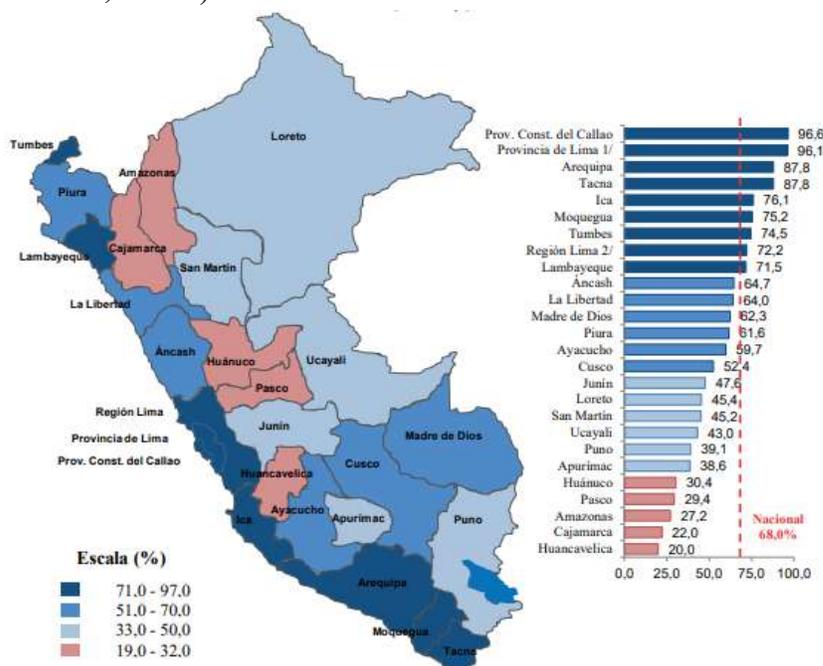


Figura 2: Población que consume agua potable proveniente de red pública por departamento 2019

Nota: En base al Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020

1.2.1.2. RÍO

Un río es definido como un ecosistema de naturaleza fluvial el cual está compuesto por un cauce, una ribera y una llanura de inundación, además se considera los organismos acuáticos y terrestres que son beneficiados por la existencia de este (Fernandez, 2012). No todos los ríos son iguales, el trayecto que abarcan estos son en zonas geográficas muy diferentes, por lo tanto, la morfología fluvial también lo es; gracias a estas diferencias, se puede determinar la erosión, el transporte de sedimentos y los organismos que existen en este ecosistema (Elosegui y Diez, 2009).

1.2.2. CALIDAD DEL AGUA

Se puede entender como calidad de agua a la capacidad de respuesta ante los usos distintos que se le puede dar, también es definida como el conjunto de condiciones que se deben tomar en cuenta para poder denominar a un ecosistema como ecosistema equilibrado, estas condiciones pueden ser físicas, químicas o biológicas (Ministerio de Agricultura, 2000). Es considerada como uno de los

aspectos más importantes que afectan en la red alimentaria de las biotas, evitan problemas de salud tanto en plantas, animales e incluso humanos. Sabiendo esto, se debe considerar cuán importante es la protección, renovación y uso sostenible del agua (Celekli et al., 2021). Esta puede verse influida por los usos de suelo que se dan en este tales como la industria, la agricultura, las explotaciones; sin embargo, hay que considerar procesos tales como las precipitaciones, la meteorización, las erosiones entre otros fenómenos (Saalidong et al., 2022). Las aguas superficiales son más susceptibles ante los contaminantes debido a su fácil exposición (Saalidong et al., 2022). Se considera que los sistemas de agua están contaminados o tienen baja calidad, cuando la presencia de sustancias orgánicas, inorgánicas y los componentes biológicos se encuentran en una cantidad tal, que tiende a degradar el ecosistema y posteriormente, generar impactos negativos (Saalidong et al., 2022).

1.2.2.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL AGUA

La calidad de agua puede verse afectada por diversos factores tales como: Uso de suelo, actividades antrópicas, topografía, clima. En las zonas agrícolas, los mayores contaminantes son: el estiércol de ganado, los fertilizantes y los pesticidas (Lee et al., 2022). Los principales factores para el deterioro ecológico de los ecosistemas de agua dulce son: el enriquecimiento de nutrientes y la alteración hidromorfológica causada por distintas actividades, incluso las humanas; pese a saberlo y ser estudiados de manera frecuente, los conocimientos sobre los efectos de estos factores son desconocidos (Celekli et al., 2021). Tomando en cuenta lo anterior, podemos decir que varios de los factores que más influyen en la calidad del agua, están relacionados con contaminación antropogénica que afecta negativamente a la fuente de agua, generando el deterioro acelerado del ecosistema, problema el cual, es más preocupante debido a la falta de monitoreos realizados de manera eficiente (Shuang et al., 2022). Otro factor que influye en estos recursos es el cambio climático (Celekli et al., 2021). Desde la década de 1990, la contaminación de los ríos en África, Asia e incluso nuestro continente América Latina, es una problemática mundial, en especial si esta, es causada por las actividades humanas que crecen exponencialmente. Otro factor a tomar en cuenta, es el crecimiento poblacional, que inevitablemente, podrán bajo presión la calidad del agua de los ríos, lo cual pone en riesgo la salud de los usuarios y residentes; esto es una razón más que justificada para evidenciar la importancia que conlleva hacer una eficiente gestión medioambiental en los cuerpos de agua (Shuang et al., 2022).

Las actividades urbanas concentradas y la distribución urbana periférica sin un plan de ordenamiento territorial, provocaron un evidente deterioro en la calidad del agua en las urbes (Shuang et al., 2022).

1.2.2.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA

Se indica que existe muy poca información sobre los impactos ambientales que afectan a ciertos sistemas acuáticos lo cual tiene como consecuencia una carencia de información suficiente para una gestión eficiente del recurso agua, por lo cual, es necesario realizar un seguimiento o monitoreo biológico en estos ecosistemas para saber los efectos que producen los factores mencionados en el ecosistema acuático (Celekli, et al., 2021).

La evaluación de la calidad del agua, debe llevarse tomando en cuenta los siguientes indicadores: Parámetros físicos, parámetros químicos, parámetros de calidad biológica y los metales pesados, de ser necesario (Saalidong et al., 2022), En muchos lugares, se realizan seguimientos rutinarios de parámetros tales como pH, oxígeno, nutrientes, entre otros y a su vez, se determina la composición de las comunidades biológicas. En otros lugares, los monitoreos son más específicos en caso de ríos con contaminantes específicos (metales pesados, plaguicidas, etc) o también que se requiera tomar acciones para la protección de ciertas especies. A pesar de los diferentes objetivos, los gestores tienden a aplicar un conjunto de herramientas estándar las cuales son tomadas de un ámbito a otro. Un ejemplo es la DMA de la UE (Elosegi et al., 2017), dado los resultados obtenidos, los monitoreos deben ser realizados basándose en variables hidrológicas, físicas, químicas y biológicas. Estas características, nos permiten estimar el impacto de ciertos factores sobre el ecosistema en forma de valores que nos dan a conocer las características bióticas y abióticas existentes las cuales son los factores físicos y químicos en las cuales se desarrollan ciertas comunidades biológicas (Machuca et al., 2018). El uso de estas evaluaciones permiten realizar una buena vigilancia de los ecosistemas acuáticos, para posteriormente, dar un plan de gestión eficiente además de tener un menor coste de muestreo y mayor facilidad de recogida de datos (Saalidong et al., 2022).

La abundancia y la distribución de ciertas especies nos dan información que permiten evaluar y determinar la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos ya que son la base para la distribución de nutrientes que actúan como factores limitantes en la producción primaria y las cadenas tróficas existentes (Ismiño et al., 2018).

1.2.2.3. IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua es importante ya que es la base para poder poner en marcha un conjunto de objetivos los cuales toman en cuenta aspectos de la salud. La OMS lo denomina “Marco para el agua potable segura” para lo cual se requieren sistemas de vigilancia y autoridades que velen por asegurar la calidad del agua (WHO, 2017). Se usa la calidad del agua como un medio descriptor del medio hídrico desde varios aspectos, tanto aspectos ambientales así como aspectos que pueden ser utilizados para la planificación de tipo demográfica, hidrográficas, entre otros (Ministerio de Agricultura, 2000).

En estos años, las actividades humanas, han supuesto graves daños hacia la calidad de los cuerpos de agua. Las fuentes de contaminación pueden ser domésticas, industriales y urbanas. (Martins et al., 2020). Muchas actividades económicas dan como resultado la generación de sustancias contaminantes a lo largo de la trayectoria del río, lo cual trae consigo perjuicios para el ecosistema y la población aledaña (Calizaya, 2013). En la zona andina, la ganadería y otras actividades económicas junto a una inadecuada legislación medioambiental y una pobre gestión ambiental de las cuencas, ha generado una seria amenaza a estos ecosistemas fluviales (Alarcón & Peláez, 2014). La calidad hídrica de muchos cuerpos de agua pequeños, tienen importantes implicaciones para la calidad de agua en muchos sistemas de agua y tiene gran influencia en la gestión general de una cuenca. Estos pequeños afluentes, pueden llegar a transportar grandes cantidades de nutrientes contaminantes en magnitudes alarmantes (Lee et al., 2022).

1.2.3. CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA

Muchos estudios recomiendan utilizar las variables físicas y químicas para que el diseño de monitoreo tenga más confiabilidad siempre y cuando exista una variación espacio temporal; esto generaría que ciertas variables tomen una mayor preponderancia que las variables que habitualmente se toman en cuenta. Las variables físicas y químicas que son seleccionadas nos indican una característica en distintos estados de manera simultánea lo cual influencia a las comunidades biológicas que se desarrollan en los ecosistemas acuáticos (Machuca et al., 2018).

1.2.3.1. PARÁMETROS FÍSICOS

A. TEMPERATURA

Este parámetro es aquel que mide la cantidad de energía cinética que existe en un cuerpo o hábitat, la temperatura es utilizada para la medida de otros parámetros tales como: alcalinidad, salinidad y en todos los análisis de laboratorio en general (APHA et al., 2017) también, nos permite determinar si los sistemas están en equilibrio térmico y en este caso, la unidad con la que mediremos la temperatura es el grado Celsius. Se indica que la temperatura es un factor limitante para varias funciones biológicas, incluidos los cuerpos de aguas lóxicos y lénticos (APHA et al., 2017).

B. CONDUCTIVIDAD

Es el parámetro que se encarga de indicar la capacidad del agua de poder conducir una corriente eléctrica a través de ella, las causas de la conductividad es la cantidad de iones que pueden encontrarse y la temperatura del agua. La unidad en la que se expresa es el Microsiemens por centímetro. Se indica que, tiene relación con los sólidos totales disueltos presentes en el agua ya que estos aumentan la concentración de iones en el agua (Ramírez & Viña, 1998).

C. TURBIDEZ

Este parámetro es el que se encarga de medir la cantidad de materia suspendida en el agua que desvía la luz en su recorrido al tener contacto con esta. El factor para determinar la turbidez en un cuerpo de agua puede ser los procesos erosivos en la cuenca, La turbidez tiene influencia directa en los ecosistemas acuáticos, a mayor turbidez, menor penetración de luz y con ello, menor cantidad de fotosíntesis provocando que el oxígeno sea menor. Los valores de turbidez se interpretan en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) (Ramírez & Viña, 1998).

D. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Se denomina sólidos disueltos totales a las sales inorgánicas y algunas cantidades de materia orgánica que se encuentran disueltas en el agua. Su presencia, puede tener distintas causas, estas pueden ser: fuentes naturales, descargas de efluentes de aguas servidas, descargas de desechos industriales y escurrimientos urbanos (Ramírez & Viña, 1998).

1.2.3.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

La composición química del agua, determina en gran medida el funcionamiento de los sistemas ecológicos y la calidad del agua. Entre los componentes, se encuentran el fósforo, nitrógeno.

Algunos compuestos como los nutrientes, tienen una relevancia muy importante en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales ya que, determinan el estado trófico del cuerpo de

agua. Este estado trófico, es el que nos indica cómo funciona la red de energía para la red alimentaria, tomando en cuenta la función del ecosistema y la integridad de las comunidades que habitan en este (Piccardo, 2020).

A. pH

El pH o también llamado el potencial de hidrogeniones, es una medida que nos permite saber cuán ácida o alcalina es una solución. Sus valores pueden ir de 0 a 14, siendo 14 el valor asignado a las soluciones más alcalinas y 0 el valor de las más ácidas. Se considera como el valor neutro al 7, en caso de que el disolvente será el agua (Sandoval & Torrez, 2013).

En los cuerpos de agua, las variaciones de este parámetro, influyen directamente en la cantidad y forma de compuestos de carbono que pueden existir en el agua, por ejemplo: en un pH entre 4,5 y 8 la cantidad de CO₂ disminuye y en su lugar, aparecen más bicarbonatos (Ramírez & Viña, 1998). Se podría considerar al pH como el parámetro más importante que controla el comportamiento de otros parámetros de calidad de agua; también influye en los procesos químicos tales como: reacciones ácido-base, reacciones óxido-reducción, entre otras. Incluso, la concentración de ciertos metales pesados, es influido por este parámetro (Saalidong et al., 2022).

B. OXÍGENO DISUELTO

Se denomina oxígeno disuelto (OD) al parámetro que mide la cantidad de oxígeno que hay en el agua, este puede estar influenciado por los siguientes parámetros: salinidad, presión y temperatura. Por lo cual, se requiere homologar estos resultados a distintas condiciones. Se indica que la salinidad puede reducir el OD en dos microgramos por litro en temperaturas de 5 a 30 °C si se aumenta hasta 35 ppm, evidenciando una relación inversa entre el OD y la salinidad (Ramírez & Viña, 1998). El oxígeno en el agua, desempeña un papel muy importante en la óxido-reducción que acontece en los ecosistemas acuáticos, además de la solubilidad en muchas sustancias y también en la regulación de compuestos tales como el amonio (Piccardo, 2020).

C. FOSFATOS

Este parámetro nos indica la cantidad de compuestos fosfatados presentes en el agua. El fósforo, debido a que forma compuestos con alta cantidad de energía que permite la síntesis gran cantidad de biomasa vegetal, se lo considera el nutriente limitante, en el caso que la relación N:P sea mayor a diez. El fósforo, a diferencia del nitrógeno y sus componentes, se acumula en los sedimentos, no es soluble en agua y es muy escaso. La eutrofización tiene relación directa con la cantidad de fósforo que hay en el cuerpo de agua (Ramírez & Viña, 1998). Los nutrientes, tales como el fósforo, están influenciados por distintos factores, entre los cuales se encuentran las características morfológicas de la cuenca. En algunos casos, estos nutrientes llegan a la superficie, producto de procesos naturales tales como la meteorización (Piccardo, 2020).

D. NITRATOS

El nitrógeno está presente en las estructuras de moléculas orgánicas tales como los aminoácidos y ácidos nucleicos, muchos de estos, durante su proceso de descomposición, son liberados al agua, generando compuestos como los nitritos y nitratos, estos últimos son en cierta proporción más abundantes. Tienen una importancia en el proceso de eutrofización, sin embargo, estos no se acumulan en los sedimentos como el fósforo, sino, ingresan a los ciclos vitales de ciertos organismos tales como las plantas, lo cual no lo hace el nutriente limitante y puede renovarse en el

transcurso del ciclo del agua (Pacheco et al., 2002; Ramírez & Viña, 1998). La presencia de nitratos, sin la intervención antrópica, se debe más al proceso de descomposición de los organismos muertos y a la liberación de sustancias de desecho de estos (Piccardo, 2020), todo gracias al ciclo del nitrógeno, existen de manera natural los compuestos nitrogenados tales como los nitritos y nitratos (en general estos son los que más abundan), en exceso, el nitrato es considerado como el contaminante del agua de naturaleza nitrogenada más abundante. El proceso de nitrificación (Ion amonio a nitrato) tiene como rango de pH óptimos 6.5 a 7.5 y el rango de temperaturas 15 a 30 °C (Pacheco et al., 2002).

1.2.3.3. LIMITACIONES DE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA

Las evaluaciones físicas del agua, junto a las químicas, nos permiten tener información acerca del estado, productividad y la sostenibilidad existente en un ecosistema acuático; no obstante, esta información nos da un conocimiento algo restringido acerca de las condiciones del agua (Celekli et al., 2019), esto es debido a que, estos datos no tienen validez en aspectos espacio-temporales ya que ignoran las variaciones que pueden existir en los ecosistemas acuáticos con el tiempo. Tomando en cuenta esto, estos datos nos permiten saber parte del estado ecológico; sin embargo, solo de ese momento. Para que estas evaluaciones den resultados que reflejen la realidad, deben realizarse con regularidad, ya que, en cada monitoreo, dan valores instantáneos (Celekli et al., 2021).

Lo mejor, es complementar con los monitoreos biológicos ya que estos nos indican, mediante la existencia y respuesta de cierto tipo de comunidades biológicas frente a los cambios de ciertos factores, la variación de los ecosistemas con el paso del tiempo.

1.2.4. SISTEMAS DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA

El estudio de la composición y estructura de las comunidades biológicas existentes en un cuerpo de agua, recibe la denominación de calidad biológica del agua. El agua posee características naturales que permite el florecimiento de ciertas comunidades biológicas, las cuales presentarán adaptaciones evolutivas a ciertas condiciones ambientales y límites de tolerancia frente a ciertos grados de contaminación o la concentración de determinados parámetros. De acuerdo con esto último podemos clasificar a los organismos como “sensibles” los cuales no soportan cambios, lo opuesto a los organismos “tolerantes” (Gonzales, 2019).

Las evaluaciones biológicas para determinar la calidad del agua, comenzó en el siglo XX lo cual indica que este enfoque ya tiene años de desarrollo. Esta evaluación biológica, ha sido una cuestión más importante para evaluar el deterioro de los ecosistemas acuáticos y tomar decisiones para la sostenibilidad del recurso mediante el uso de los enfoques. Uno de esos enfoques, y de los más usados está basado en Diatomeas. El monitoreo biológico nos permite saber los efectos acumulativos de los parámetros ambientales en un ecosistema y los efectos que estos producen sobre la biota (Celekli et al., 2021).

Los primeros que intentaron realizar una evaluación biológica para determinar la calidad de agua, fueron Kolkwitz & Marsson (1908), quienes hicieron un inventario de organismos indicadores de

contaminación orgánica, estos organismos eran bacterias, plantas y animales cuya presencia indica niveles de calidad de agua (Lobo et al., 2019).

La medición de variables fisicoquímicas nos da resultados a corto plazo, lo cual hace que sean complementadas con los monitoreos biológicos. Estos monitoreos, evalúan la respuesta de los bioindicadores frente a la contaminación en un espacio y tiempo determinado (Gonzales, 2019). En muchas zonas de Latinoamérica, solo se enfoca en la calidad fisicoquímica del agua pese a que varios autores indican que la calidad del agua, engloba aspectos como condiciones naturales y el uso del suelo en la cuenca monitoreada (Martins et al., 2020), además, se comprobó que medir tan solo los parámetros físicos y químicos es, en muchos casos, caro y poco práctico ya que solo reflejan la realidad del momento de tomar la muestra; por lo cual, el seguir la biota, permite determinar los cambios del ecosistema (Celekli et al., 2021).

La manera más fácil de determinar el estado en el que se encuentra una cuenca, es por medio del biomonitoreo (Martins et al., 2020) aunque necesariamente, los biomonitoreos deben ser apoyados con las evaluaciones de los parámetros físicos, químicos y también por las condiciones hidromorfológicas y viceversa, para poder determinar de manera exacta, el estado de la calidad del agua del ecosistema acuático (Celekli et al., 2021).

1.2.4.1. IMPORTANCIA DE LOS ÍNDICES BIOLÓGICOS

El estudio sobre la calidad de las masas de agua mediante el uso de bioindicadores, ha empezado a aumentar. El punto importante de estas bioevaluaciones es determinar que especies se pueden utilizar y que tipo de contaminante puede ser usado lo cual da como resultado un índice que nos permita, además de saber que especies son sensibles y cuáles no y el estado de ciertos contaminantes en los ecosistemas. Tanto los estudios taxonómicos, así como las especies bioindicadores deben ser llevados por investigadores especializados ya que el error hará que los índices expresen un resultado que no refleje la realidad del ecosistema (Celekli et al., 2021).

Las limitaciones para realizar un eficiente monitoreo en América Latina, es que solo se consideran los parámetros físicos, químicos y no los biológicos, lo cual los haría más completos. En estudios posteriores, se incluyen parámetros biológicos para hacer un monitoreo más eficaz (Shuang et al., 2022).

Los parámetros físicos y químicos pueden determinar el grado de contaminación; mas no el nivel de respuesta de las distintas comunidades biológicas frente al contaminante. El uso de bioindicadores es necesario para la evaluación de la calidad del agua, en especial, si los cuerpos de agua son fuente de abastecimiento de sistemas de agua potable (Martins et al., 2020).

En el mundo, los cuerpos de agua están expuestos a factores dañinos, por lo cual, se requiere realizar gestiones que identifiquen y clasifiquen los impactos para aplicar medidas de mitigación eficientes; se incluye el uso de sistemas de evaluación biológicos, la mayoría de estos sistemas, son para detectar la influencia de factores específicos sobre las comunidades biológicas, lo cual, hace que no se tenga un valor tan preciso de cuan de grado podría estar un ecosistema por lo cual, se requiere ir actualizando estos sistemas, con el fin de obtener uno que nos indique la calidad ecológica de un ecosistema acuático frente a factores múltiples (Baattrup, 2019). y así, tomar las decisiones correspondientes para la conservación del recurso (Celekli et al., 2021).

1.2.4.2. ESPECIES BIOINDICADORAS

Las evaluaciones biológicas incluyen especies pertenecientes a los fitobentos, los macroinvertebrados, peces, macrofitas y fitoplancton en los monitoreos rutinarios de calidad de agua. Estas evaluaciones, tienden a ser uno de los pasos más importantes para lograr la sostenibilidad de los recursos (Celekli et al., 2021).

La contaminación está definida como el ingreso de agentes extraños a un determinado ecosistema, afectando su equilibrio (Celekli et al., 2021). Una especie bioindicadora es aquella que nos permite cuantificar el estado y el nivel de contaminación presente en un determinado ecosistema gracias a la sensibilidad que presenta frente a ciertos factores (Gonzales, 2019); esta especie presenta requerimientos de tal manera que su presencia o ausencia, cambios morfológicos, fisiológicos entre otros indiquen que las condiciones del ambiente donde viven han variado. Son organismos cuyo rango de tolerancia frente a ciertas condiciones ambientales son estrechos (Soler B. et al., 2012).

La Directiva Marco del Agua en Europa, exigió diferentes tipos de bioindicadores para evaluar la calidad ecológica de los ecosistemas acuáticos desde el año 2000. Estos indicadores son (Celekli et al., 2019):

- i. Fitobentos
- ii. Fitoplancton
- iii. Macrófitos
- iv. Invertebrados bentónicos
- v. Peces

1.2.4.3. DIATOMEAS

Se denominan como diatomeas a los microorganismos unicelulares los cuales pertenecen al phylum Bacilliarophyta, el cual se encuentra distribuido ampliamente en cuerpos de agua dulces y salados, son un grupo de fitobentos que posee más de 100000 especies y se pueden muestrear en cualquier época del año. Este phylum, responde rápidamente frente a los cambios medioambientales; por lo tanto, son utilizadas como indicadores biológicos para determinar la calidad del agua utilizadas desde 1990 (Celekli et al., 2019), además, cuentan con diversas características ecológicas, amplia distribución y gran importancia en la cadena alimenticia. Las diatomeas, dependiendo la especie, tienden a vivir en cierto tipo de ambientes, gracias a esto, la presencia de ciertas especies, pueden indicarle la calidad ecológica que existe en un ecosistema acuático. Un claro ejemplo es que ciertas especies tales como *Gomphoneis minuta* pueden ser agresivas invasoras de ríos debido a su capacidad de formar floraciones en los sistemas oligotróficos. La especie mencionada tiene predilección por cuerpos de agua con altos contenido de materia orgánica, conductividad elevada, pH alcalino y oxígeno disuelto alto (Franco et al., 2020).

A. ESTRUCTURA

- i. **Frústulo:** Todas las diatomeas poseen una pared externa de sílice denominada frústulo (Soler B. et al., 2012). Esta frústulo se va formando con los restos de materiales los cuales provienen del medio acuático donde viven (Calizaya, 2013). Su importancia radica en que las ornamentaciones presentes en esta, son únicas para cada especie, por lo tanto, es de mucha utilidad para la identificación taxonómica (Soler B. et al., 2012).
- ii. **Tecas o valvas:** Constituyen la pared celular, son dos: la externa se denomina mientras que la interior, Hipoteca; estas dos valvas se ensamblan estrechamente a la manera de cajas de Petri (Lora et al., 2020).
- iii. **Cíngulo:** Son estructuras que unen a ambas valvas (Lora et al., 2020).
- iv. **Poros o areolas:** Característicos de cada especie, se encuentran sobre las valvas, se presentan de manera diversa en trama, textura y tamaño. Su función es el permitir el intercambio de nutrientes, desechos, agua, gases, así como comunicación interespecífica, los espacios entre los poros son denominados estrías (Lora et al., 2020).
- v. **Rafe:** Es una hendidura que cumple las funciones de ser soporte estructural, secreción de sustancias mucosas para fijación a un sustrato y para ayudar al movimiento. En general se presentan en dos ramas que se unen o no en el área central (Lora et al., 2020).
- vi. **Ápice:** Son los dos extremos de las valvas de las diatomeas, es mucho más evidente en las diatomeas pennadas (Lora et al., 2020).

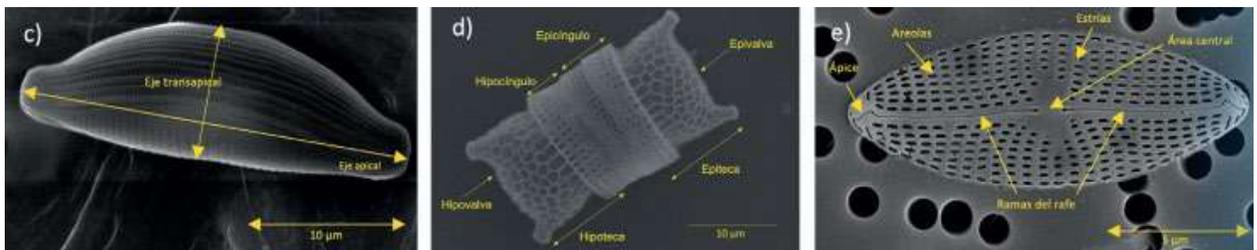


Figura 3: Estructuras externas y ejes de las diatomeas

Fuente: Lora et al, (2020).

B. TAXONOMÍA

Para poder realizar la identificación correcta a nivel de familia, género e incluso especie, se toman en cuenta claves establecidas, muchas de estas están basadas en las ornamentaciones de sus paredes. (Calizaya, 2013) la presencia de los poros, su tamaño, distribución y número por unidad de área (10 micras), la longitud de los ejes apical, transapical o perivalvar son características para identificar las especies (Lora et al., 2020).

En cuanto a la clasificación se tienen tres tipos (Lora et al., 2020):

- i. **Céntricas** (clase Coscinodiscophyceae) Son simétricas en varios planos y poseen simetría radial.
- ii. **Penadas:** Presentan simetría bilateral y se subdividen en dos clases: Bacillariophycidae (Con rafe) y Fragilariophyceae (Sin rafe)

C. CARACTERÍSTICAS DE LAS DIATOMEAS

- i. **Ubicuidad:** Se encuentran presentes en todos los ecosistemas, desde los ríos hasta los océanos. Esta característica hace que podamos encontrarlas en distintas variedades de formas vitales (planctónicas, coloniales, etc.) (Gonzales, 2019).
- ii. **Cosmopolitanismo:** Su distribución es en todo el mundo, podemos encontrarlas en los polos hasta en regiones desérticas, en todo tipo de aguas, bajo amplios rangos de condiciones ambientales (Gonzales, 2019).
- iii. **Bajo grado de endemismo:** La gran mayoría de las especies de diatomeas, se encuentran en todo el mundo, razón por la cual, muchos de los índices diatómicos establecidos, tienen aplicación universal lo cual permite, en algunos casos, que se realicen estudios comparativos entre diferentes regiones (Gonzales, 2019).
- iv. **Sensibilidad:** Las diatomeas al ser uno de los productores primarios en los ecosistemas acuáticos, presentan una alta sensibilidad a las concentraciones de nutrientes (P, N, Si) y a otros cambios de naturaleza química. Al estar en el agua, tienen reacciones específicas frente a las alteraciones ambientales de los ecosistemas en los cuales se desarrollan (Gonzales, 2019).
- v. **Diversidad:** Tan solo en las aguas dulces, se pueden encontrar miles y miles de especies descritas; cada una de ellas posee su propio rango de tolerancia frente a una gran variedad de factores ambientales (Gonzales, 2019).
- vi. **Precisión estadística:** Los índices diatómicos establecidos se basan en una identificación de un mínimo de 400 individuos por muestra; esto hace que el error cometido sea menor al 10%, lo cual nos da una mayor fiabilidad en cuanto al punto de vista estadístico (Gonzales, 2019).
- vii. **Ciclos vitales:** Los ciclos vitales de las diatomeas, son cortos y homogéneos, lo cual permite que se desenvuelvan con rapidez ante un cambio en las condiciones del medio. La composición de las comunidades de las diatomeas determina, por lo tanto, la calidad biológica existente en un cuerpo de agua en un periodo de tiempo más largo que los valores de los análisis físicos y químicos (Gonzales, 2019).
- viii. **Facilidad de muestreo:** Pueden muestrearse en cualquier tramo fluvial, sobre una variedad de sustratos y con esfuerzos de tiempo y material completamente mínimos (Gonzales, 2019).
- ix. **Facilidad de tratamiento, procesado y almacenaje:** Los tratamientos para los análisis y observaciones microscópicas es relativamente sencillo y barato (Gonzales, 2019).
- x. **Estudios temporales:** La taxonomía de las diatomeas, se basa en sus frústulos o cubiertas silíceas. Estas estructuras son prácticamente inalterables en el tiempo y se pueden recuperar en su estado fósil o sub-fósil de los distintos estratos y sedimentos fluviales y lacustres (Gonzales, 2019).
- xi. **Nutrición:** Al ser autotrofos, las diatomeas necesitan para su crecimiento un medio de cultivo base agua, nitrógeno, fósforo, carbono, metales traza (zinc, cobre, cobalto, molibdeno y manganeso etc) y vitaminas B12 cianocobalamina, biotina y tiamina además del silicio. Realizan fotosíntesis y algunas pueden realizar mixotrofia (Lora et al., 2020).
- xii. **Reproducción:** se dividen en general por mitosis, en cada división, el tamaño de una de las valvas disminuye; por lo que cuando la célula alcanza un tamaño crítico implica la formación de gametos o en otras palabras, realiza meiosis (Lora et al., 2020).

D. IMPORTANCIA DE LAS DIATOMEAS

En muchos de los sistemas fluviales de inundación del Perú, tales como los pertenecientes a la cuenca del Amazonas, las microalgas tales como las diatomeas, constituyen el primer eslabón de la cadena trófica existente en los ecosistemas acuáticos. Su importancia es grande; desde ser considerados como proveedores de oxígeno hasta la denominación de bioindicadores de calidad de agua (Ismiño et al., 2018). Las diatomeas son importantes porque son productoras de alimento en las cadenas tróficas, la oxigenación de los ecosistemas acuáticos y los ciclos biogeoquímicos; también son consideradas factores de biodiversidad y diversidad genética en los ecosistemas acuáticos. El análisis de sus ensamblajes es una herramienta útil para realizar planes que den como resultado la conservación y una gestión sostenible de los recursos hídricos. En muchos países, para evaluar la calidad del agua, sólo se toma en cuenta a las diatomeas. Además de que las diatomeas son sensibles a los cambios ambientales, poseen una alta valencia ecológica hacia ciertos factores ambientales (Jakovljevi et al., 2021).

En algunos lugares con consideradas como indicadoras del estado trófico, la acidez y la contaminación orgánica del agua ya que sus estructuras se ven afectadas por la concentración de nutrientes en el agua lo cual hace que muchos estudios indiquen que los cambios en la biomasa y la diversidad de las diatomeas, reflejen los cambios en la concentración del fósforo y el nitrógeno en los ecosistemas acuáticos (Jakovljevi et al., 2021).

E. DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES

Las diatomeas, son unos de los organismos que se utilizan para realizar las evaluaciones biológicas; para su buen uso, se requiere tener los conocimientos de taxonomía para una correcta identificación. Se han desarrollado varios índices de diatomeas basados en peso trófico y valores indicadores de cada especie desarrollados en diferentes ecorregiones (Celekli et al., 2021). Las diatomeas pueden ser utilizadas para evaluar el estado biológico de un ecosistema acuático, gracias a su sensibilidad a los factores ambientales externos tales como: contaminación orgánica e inorgánica, el pH y la salinidad (Antonelli et al., 2017); gracias a esto, son utilizadas para evaluar la calidad de agua en todos los ecosistemas acuáticos del mundo. Los cambios que sufren los taxones sensibles y tolerantes, nos permiten tener una información más precisa de los cambios existentes en los ecosistemas acuáticos (Celekli et al., 2019). Estos individuos poseen una respuesta rápida ante el cambio de ciertos factores en el medio acuático en el que viven, comportamiento el cual nos permite corroborar la situación del ecosistema acuático objeto de estudio y por lo tanto, corroborar la estrecha relación Individuo-medio (Calizaya, 2013) esto podría explicarse de mejor manera en un cuerpo de agua lótico, ya que debido al dinamismo que existe en este, los sedimentos son transportados lo cual altera los parámetros de interés en cierto tramos haciendo que la subsistencia de ciertas especies esté condicionada (Elosegi & Diez, 2009). Otros aspectos que las califican como buenas bioindicadora son la gran riqueza de especies con la que cuentan, su amplia distribución y el rol que cumplen en la cadena alimenticia (Soler B. et al., 2012). La relación entre las diatomeas y las variables medioambientales es fuerte y puede ser cuantificada lo cual, hace que

sean aptas para ser denominadas como bioindicadores de condiciones ecológicas (Celekli et al., 2019; Díaz, 2004).

Las diatomeas, tienen sensibilidad a las actividades antrópicas ya que, en muchos casos, estas actividades producen materia orgánica la cual influye directamente en la existencia de las comunidades biológicas (Antonelli et al., 2017).

Actualmente, el uso de las diatomeas como indicadores biológicos, está bien documentada: Para determinar la calidad del agua se utilizan índices tales como: el Índice trófico de diatomeas (TDI), el índice biológico de diatomeas (BDI), el índice de sensibilidad específica de diatomeas (IPS) entre otros. Estos índices son utilizados en los programas de biomonitoreo relacionados con la DMA (Antonelli et al., 2017).

1.2.4.4. ÍNDICES DE DIATOMEAS

El uso de diatomeas como bioindicadores frente a las condiciones ambientales en un ecosistema acuático, incluye descifrar información ambiental integrada con la riqueza de especies tomando en cuenta su presencia o ausencia frente a ciertas condiciones ambientales y su vinculación con los ciclos biogeoquímicos. Esta información fue utilizada en varias métricas establecidas a lo largo de los años; sin embargo, no todas estas métricas se pueden adoptar a un 100 por ciento en todas las regiones, ya que estas unas son muy diferentes a otras y la influencia de factores ambientales, así como la riqueza de especies, actúa de diferente manera (Celekli et al., 2019). Estos índices, indican la relación entre las diatomeas y el gradiente de contaminación (Celekli et al., 2021).

Los taxones de diatomeas, de acuerdo a su aparición, sucesión y abundancia en diferentes gradientes ambientales, pueden considerarse sensibles, intermedios tolerantes o tolerantes a la contaminación; además, muchos de los índices de diatomeas establecidos, se basan en indicadores tales como: el peso trófico y los valores indicadores de las especies de diatomeas. Algunos de los factores que actúan en los ecosistemas tales como demografía, usos de suelo y clima, pueden ser limitantes para el uso de los índices (Celekli et al., 2021).

El conjunto de diatomeas tolerantes y sensibles a la contaminación nos permiten saber con mayor precisión la variación de las condiciones ambientales que hay en los ecosistemas y cuanto varían ante ciertas actividades humanas. Esto podría desembocar en la pérdida de especies muy sensibles a la contaminación o en el florecimiento de comunidades más tolerantes; se comprobó que existe una fuerte relación entre las diatomeas y parámetros tales como: nutrientes, especialmente fósforo reactivo y conductividad eléctrica TP, salinidad, acidez, entre otros. Dicho lo anterior, el establecimiento de normas para factores físicos y químicos son distintas en los distintos países, las mejores métricas que reflejen el impacto de gradientes humanos, son muy importantes para realizar las evaluaciones biológicas. Para lo cual, se requiere (Celekli et al., 2021).

- i. Las métricas deben tener una baja variación entre las áreas de referencia y deben mostrar una alta variabilidad frente a la perturbación de los ecosistemas.
- ii. Deben tener un gradiente trófico mayor que cero
- iii. Deben mostrar variabilidad entre los distintos sitios tróficos.

Un factor que hay que tomar en cuenta, es que los lugares donde se realizan los estudios, tienen diferentes ecosistemas acuáticos con factores como: la geología, clima, vegetación, hidrología y

actividades humanas que afectan factores ambientales como el peso trófico y la abundancia, sensibilidad a la polución y amplitud ecológica de las diatomeas (Celekli et al., 2021). Como resultado de los índices de diatomeas desarrollados, se puede determinar, mediante las especies sensibles y tolerantes a la contaminación, la distribución de estas en los diferentes ecosistemas de acuerdo a la calidad de estos en las cinco condiciones ecológicas (alta, buena, moderada, baja y mala) (Celekli et al., 2021)

Las especies indicadoras, tienen un valor asignado, de acuerdo a su tolerancia a la contaminación, de modo que, la suma de los valores, dan como resultado, una expresión matemática la cual se denomina índice. Entre estos índices se encuentran (Lobo et al., 2019) :

- i. Índice Trófico de Diatomeas (TDI)
- ii. Índice Genérico de Diatomeas (GDI)
- iii. Índice Específico de Sensibilidad a la Contaminación (SPI)
- iv. Índice Biológico de Diatomeas (BDI)
- v. Índice de Contaminación a la Eutrofización en Italia (EPI-D)
- vi. Índice Saprobio de Rott en Austria
- vii. Índice Trófico de Schiefele y Kohmann
- viii. Índice CCE
- ix. Índice de la Comunidad de Diatomeas para la Contaminación Orgánica del Agua en Japón (DAIpo)
- x. Índice Saprobico de Pantle y Buck (SI)

Estos índices, fueron desarrollados en regiones diferentes; sin embargo, los resultados de la evaluación de calidad de agua usando diatomeas han sido satisfactorios.

En América Latina, el uso de diatomeas, recibió poca atención, el primer estudio que se realizó usando índices diatómicos, fue en el sur de Brasil en 1996, sin embargo, el primer sistema saprobio, se publicó el 2002 (Lobo et al., 2019).

A. LIMITACIONES DE LOS ÍNDICES DE DIATOMEAS

En las ecorregiones, las respuestas de las diatomeas frente a las distintas condiciones ambientales y distintos niveles de contaminación, es muy útil para determinar la calidad del agua. Los estudios que consideran a las diatomeas como indicadores biológicos, nos permiten tener un resultado más preciso acerca del estado ecológico (Celekli et al. , 2021); no obstante existe un riesgo de uso de índice de diatomeas que podrían llevar a una interpretación no muy exacta debido a los factores ecorregionales (Celekli et al., 2021).

1.2.5. ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL

La determinación de la presencia o ausencia de sustancia contaminantes a lo largo de los ríos es mediante el uso de equipos que si bien identifican el valor del momento, no pueden determinar el estado del río en toda su integridad (Calizaya, 2013), en varios estudios realizados anteriormente, se recomienda el uso de indicadores biológicos para determinar las condiciones medioambientales de un cuerpo de agua lótico y así detectar los niveles de polución existentes (Alarcón & Peláez, 2014).

Se denomina Índice Diatómico General al índice que involucra diversas características de la muestra. Estas características son: La amplitud ecológica o sensibilidad, la sensibilidad a la polución y la abundancia encontrada por taxón. A cada especie encontrada, se le asigna dos valores: uno refleja la tolerancia a cierta calidad de agua y el otro, cuan fuerte o débil es la relación calidad de agua-especie. Estos valores, relacionados con la cantidad de individuos de la especie encontrados en la muestra, nos dan un valor que nos permite inferir en la calidad del agua que existe en un determinado lugar. (Soler B. et al., 2012). Este índice puede ser utilizado en los ecosistemas de agua dulce ya que las diatomeas están presentes en todos estos, en especial en todo tipo de sustrato (Iturra, 2011).

Este índice nos permite evaluar la calidad el agua, tomando en cuenta el principio de que las diatomeas son microalgas que son sensibles a los procesos eutróficos y a la polución en sus distintas naturalezas, la reacción de estas comunidades es muy rápida; por lo tanto, son considerados unos de los mejores bioindicadores de calidad de agua en un corto periodo de tiempo (Ismiño et al., 2018).

$$IDG = \frac{\sum_{j=1}^j A_j S_j V_j}{\sum_{j=1}^n A_j V_j}$$

Ecuación 1: Índice Diatómico General

Fuente: Echeverría, 2016.

En esta fórmula indica el i-ésima especie identificada hasta nivel de género; A_i es la abundancia, S_j es la sensibilidad del individuo y V_j es el valor indicativo del i-ésimo individuo (Machuca et al., 2018).

1.2.5.1. ABUNDANCIA

La abundancia se define como el valor que nos indica cuantas veces se encontró un individuo de la misma especie en una determinada muestra. La distribución de esta está relacionada con la sensibilidad a la polución y al valor indicativo de la especie (Soler B. et al., 2012).

1.2.5.2. SENSIBILIDAD A LA POLUCIÓN

Este valor indica cuan fuerte o débil es la relación que existe entre la presencia de una especie y la calidad del agua en la que se encuentra. (Soler B. et al., 2012).

Estos valores van entre 1 a 5: el 1 es un valor designado a especies con una alta resistencia a la polución presente en el agua mientras que el 5 son las especies más sensibles a las condiciones ecológicas adversas y estas solo podrían ser encontradas en aguas de buena calidad. (Iturra, 2011).

1.2.5.3. VALOR INDICATIVO DE LA ESPECIE

El valor indicativo de la especie, describe cómo están distribuidos los valores alrededor de una abundancia óptima o la llamada abundancia máxima. En este, se puede saber cuan tolerante es una especie frente a cierta calidad de agua. Una distribución normal de estos valores, indican valores distribuidos de manera amplia alrededor de la abundancia máxima (Soler B. et al., 2012).

Este valor puede variar de 1 a 3: el 1 es designado si la especie tiene una alta capacidad para desarrollarse en diversos ambientes en diferentes condiciones, mientras que el 3 es para aquellas especies que requieren condiciones específicas para llegar a la abundancia óptima (Iturra, 2011).

1.2.6. RELACIÓN DE LAS DISTINTAS VARIABLES

Se requiere relacionar los parámetros con las comunidades biológicas para una mejor toma de decisiones respecto a la gestión del ecosistema acuático, además que pueden llevar a construir una gestión eficiente similar a una Directiva marco del Agua (Baattrup, 2019).

1.2.6.1. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Los compuestos de nitrógeno y fósforo en el agua son indicadores de eutrofización y en general, se correlacionan positivamente con el fitoplancton (Inca, 2014; Inyang & Wang, 2020; Sun et al., 2022; Çetin et al., 2021) también se da a entender que la presencia excesiva de nitratos y fosfatos, puede derivar en el crecimiento de especies de plantas que degraden el estado ecológico (Çetin et al., 2021). La temperatura del agua y el pH tienen mayor influencia en climas más fríos y temperaturas del agua más bajas (Sun et al., 2022). La conductividad puede tener relación con la geología y el clima, se ha comprobado que al aumentar la evaporación, aumenta las concentraciones de iones disueltos, por lo tanto, la conductividad podría jugar un papel importante en la estructuración de las comunidades diatómicas (Çetin et al., 2021).

1.2.6.2. FACTORES EXTERNOS

Se debe considerar variables de carácter hidromorfológico tales como el caudal, la retención de agua, corriente del río, turbidez, heterogeneidad del sustrato y la estructura ribereña, afectan a toda una escala de parámetros que determinan el estado ecológico de un ecosistema contribuyendo a la alteración de los ciclos de nutrientes y materia orgánica (Celekli et al., 2019), también hay que considerar la velocidad de la corriente que permiten en asentamiento de ciertas comunidades por lo tanto, influyen en variables como la presencia y la densidad de diatomeas (Inyang & Wang, 2020) otro factor a considerar es la diferencia de altitud, a menor diferencia, el ecosistema es mucho más dinámico (Sun et al., 2022), la distancia de los ríos juega un papel importante en los cambios de parámetros como la conductividad (Rodríguez et al., 2010). Las variables climáticas tales como la temperatura ambiental, la humedad (Factor positivo) y la sequía (Factor negativo) son factores importantes (Sun et al., 2022), al igual que las temperaturas y precipitaciones; debemos tener en cuenta que el cambio climático hace que los ríos sean intermitentes, afectando su biota natural, los cambios de los parámetros físicos y químicos reflejan esta intermitencia, los parámetros que influye en el caudal, aunque estos cambios no se dan de manera inmediata en la mayoría de las comunidades biológicas (Cruz, 2022; Novais et al., 2020; Rodríguez et al., 2010). Las actividades humanas tales como las actividades agrícolas podrían alterar los valores de ciertos parámetros de

estudio tales como la conductividad, los sólidos disueltos totales y la turbidez (Çetin et al., 2021) cuando sucede el proceso de irrigación dando como consecuencia el lavado de suelos (Rodriguez et al., 2010) lo cual da como consecuencia la alteración de la conductividad o el incremento de los nutrientes tales como los nitratos y fosfatos (Salinas-Camarillo et al., 2020).

1.3. MARCO CONCEPTUAL

Calidad del agua: Se define como calidad de agua al conjunto de características las cuales el agua debe cumplir para ser considerada como buena.

Cuerpo de agua: Todo aquel que contenga agua dentro de su estructura.

Cuerpo de agua lóxico: Es aquel cuerpo de agua que posee una naciente y una desembocadura. Estos se caracterizan porque sus aguas se dirigen a una sola dirección.

Parámetros físicos: Son aquellos parámetros que miden las propiedades físicas de una muestra de agua.

Parámetros químicos: Son aquellos parámetros que miden las propiedades químicas del agua, la presencia y la cantidad de algunos elementos químicos.

Diatomeas: Son microorganismos pertenecientes al phylum Bacilliarophyta cuya característica es la presencia de una pared externa compuesta de sílice.

Bioindicadores: Son organismos los cuales podemos utilizar para determinar la calidad de un medio con solo ver los cambios que ocurren en sus poblaciones.

Índice Diatómico General (IDG): Es un índice que relaciona la abundancia de una especie con la sensibilidad a la polución y su valor indicativo. Este valor, nos puede indicar la calidad de agua que existe en una determinada zona.

1.4. MARCO LEGAL

El marco jurídico general en que se ubicará el presente trabajo de investigación se regirá a la Constitución Política del Perú y los distintos artículos emanados de la propia Constitución.

Tienen orientación en la implicancia de las políticas del sub sector saneamiento que comprenden las siguientes leyes, decretos y normas:

1.4.1. BASE LEGAL

En el Perú, para la fiscalización de aguas residuales se tiene la siguiente base legal:

- Ley General del Ambiente, Ley N° 28611
- Decreto Legislativo N° 1357, Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento (2018).
- Ley de creación de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento- SUNASS, Decreto de Ley N° 25965.
- Decreto Legislativo N° 004- 2017, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental del agua para consumo humano y otros fines.
- Ley de los Recursos Hídricos, Ministerio de Agricultura y Riego, Ley N° 29338

1.4.2. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA

Según el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM, tomando en cuenta que el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida (Ministerio del Ambiente, 2017) Por lo cual se requirió la compilación de los anteriores decretos: Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM; los cuales aprobaban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Estos decretos quedaron sujetos a lo establecido en este nuevo Decreto (Ministerio del Ambiente, 2017). Este decreto, copila, elimina y agrega algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías que fueron aprobados por los anteriores Decretos (Ministerio del Ambiente, 2017).

De acuerdo a este Decreto Supremo, un agua de categoría 1, sub categoría A2 es aquella que está destinada para el consumo humano si ser sometidas a un tratamiento convencional previo. Estos procesos pueden ser: coagulación, floculación, filtración entre otros; se debe incluir la posterior desinfección conforma a la normativa. Un agua perteneciente a esta subcategoría, debe cumplir los ECAs establecidos. Los ECAs para algunos parámetros se dan en la siguiente tabla (Ministerio del Ambiente, 2017):

Tabla 1: Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua Categoría 1-Subcategoría A- A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, establecidos por el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM. Ministerio del Ambiente del Perú

Físicos y Químicos	Unidad	ECA (D.S N° 004-2017-MINAM)
Conductividad	μS/cm	1600 μS/cm
Fosforo total	mg/L	0,15 mg/L
Nitratos	mg/L	50 mg/L
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 5 mg/L
pH		5,5-9,0
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	1000 mg/L
Temperatura	°C	Δ 3 °C
Turbidez	UNT	100 UNT

Fuente: D.S N° 004-2017-MINAM.

CAPÍTULO II: ÁREA DE ESTUDIO

2.1 UBICACIÓN

2.1.1 UBICACIÓN POLÍTICA

El distrito de Chinchero, se encuentra ubicado en la provincia de Urubamba, la cual se encuentra ubicada en la parte central de la Región del Cusco. Limita con los distritos de Maras, Huayllabamba y Calca por el norte; por el sur con Cachimayo y Cusco; por el este con el distrito de Coya y por el oeste con Anta. Tiene una extensión de 94,47 Km² y una densidad poblacional de 111 habitantes/Km² y un 4.3 % de las viviendas no tienen acceso a agua segura (Gobierno del Perú, 2020).

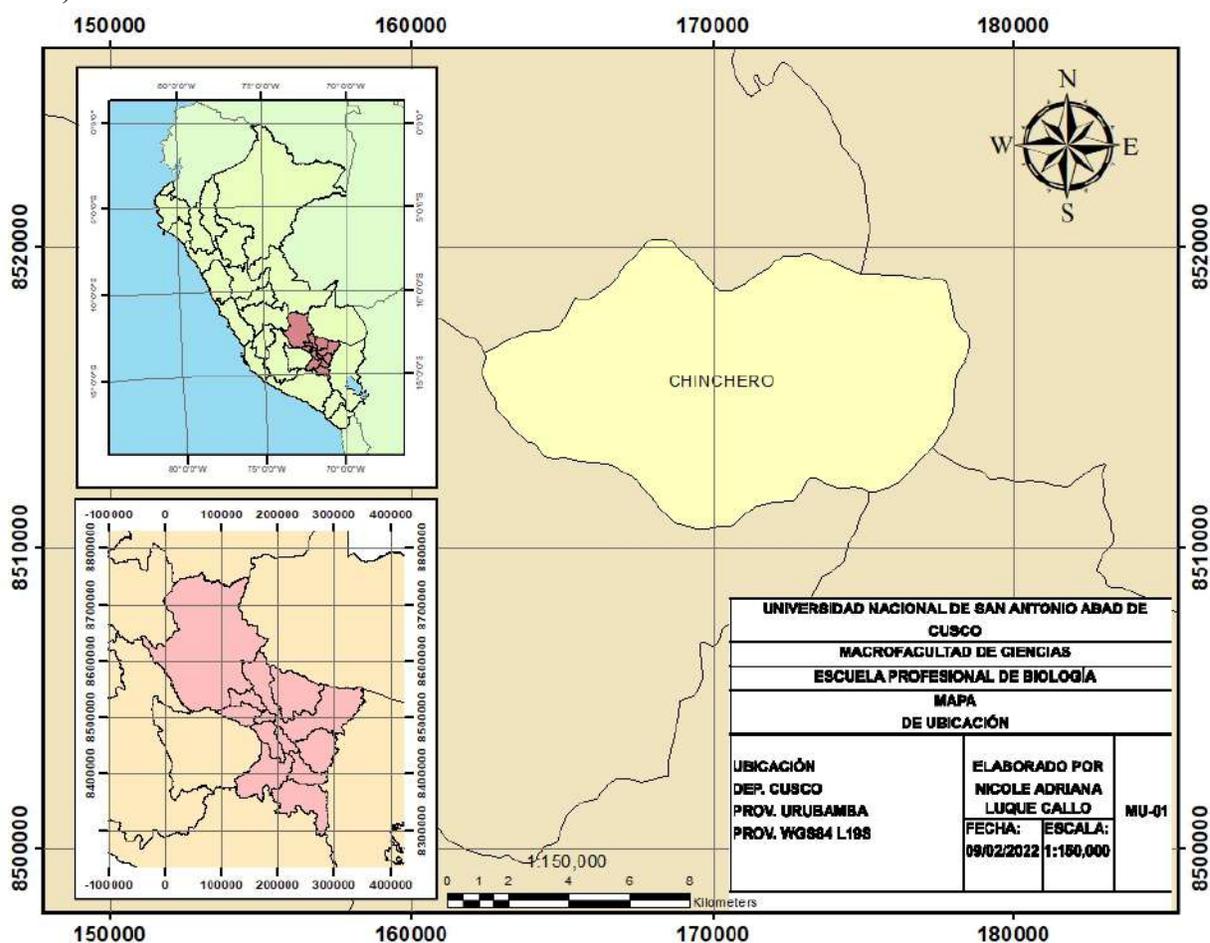


Figura 4: Mapas de ubicación a nivel regional, provincial y distrital del área de estudio

2.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

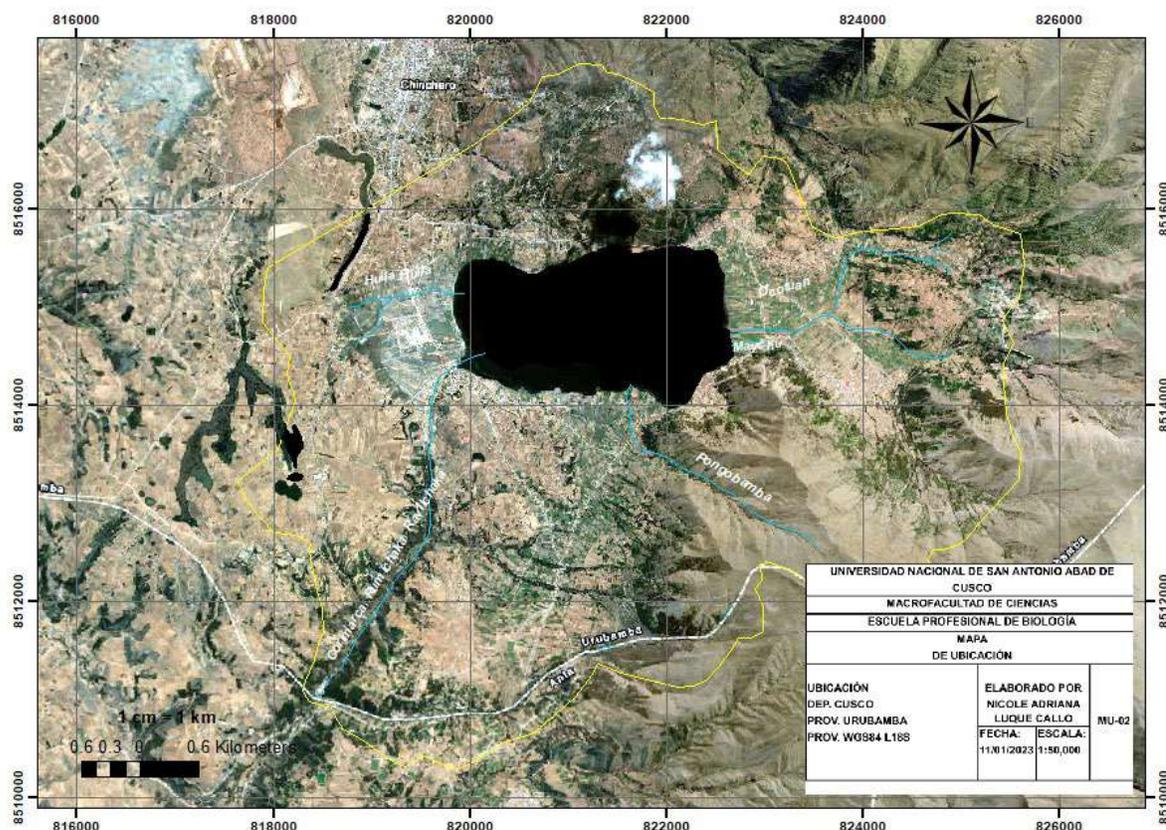


Figura 5: Mapa de Ubicación de la Cuenca de Piuray

La cuenca de Piuray es considerada como una cuenca endorreica, perteneciente a la cuenca de Urubamba. Se ubica a 30 km de la ciudad del Cusco, en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba. Su altitud es de 3750 m.s.n.m. (Rosas & Miranda, 2015).

El trabajo de investigación se desarrolló en los ríos/riachuelos pertenecientes a la laguna de Piuray, la cuenca de Piuray se encuentra en la zona 18L y abarca desde las coordenadas 817608.6 m E 8513226.6 m N a las coordenadas 825530.3 m E 8515750.7 m N. Las coordenadas UTM de cada río/riachuelo objeto de estudio se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 2: Coordenadas UTM de los ríos/riachuelos de la Laguna de Piuray

Nombre del río/riachuelo	Coordenadas UTM					
	WGS 84					
	Zona: 18L					
	Naciente			Desembocadura		
	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m)	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m)
Huila Huila	0819861	8515133	3698	0818824	8514588	3708
Ravilchaca	0818438	8511008	3579	0819898	8514428	3697
Pongobamba	0821631	8514203	3696	0823534	8512536	4321
Maychu	0822668	8514608	3699	0823052	8514617	3708
Ocotuan	0822657	8514755	3697	0824913	8515330	3840

2.2 ACCESIBILIDAD

Para acceder a la cuenca, se han registrado tres vías de acceso (Rosas & Miranda, 2015):

- a) Vía asfaltada Cusco-Chinchero-Urubamba, a 27 Km de la ciudad del Cusco.
- b) Vía asfaltada Cusco-Pisac-Urubamba, a 104 Km de la ciudad del Cusco.
- c) Vía Cusco-Izcuchaca-Huaypo-Cruz Pata

2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.3.1. GEOGRAFÍA

La cuenca de Piuray, posee 17,6 Km de longitud y una pendiente abrupta de aproximadamente 4,83° (Valcárcel, 2005). Se ubica dentro de la pampa Piuray-Maras, en la unidad denominada como altiplanicie la cual está constituida por cuencas de subsistencia que pertenecen a los ecosistemas de páramo de Puna; su topografía es abrupta gracias a los cerros circundantes que se encuentran en la parte Norte y Sur-Norte (Oblitas, 2010; Rosas & Miranda, 2015).

2.3.2. GEOMORFOLOGÍA

La Cuenca de Piuray se ubica dentro de la geoforma denominada pampa de Piuray-Maras, la cual se caracteriza por su forma ondulada y un aplanamiento de relieve montañoso, que limita con la cordillera central. En la depresión central, se encuentra una laguna de forma rectangular conocida como la laguna de Piuray cuyo origen tectónico se remota a la fase Quechua perteneciente a la era del Pleistoceno (Oblitas, 2010; Rosas & Miranda, 2015).

Regionalmente, se han identificado tres unidades geomorfológicas: Antiplanicies, La Cordillera Oriental y la Zona Subandina.

Dentro de las planicies bajas de la cuenca, se encuentran pampas y llanuras con formas sub horizontales y depósitos lacustres aluviales (Rosas & Miranda, 2015).

Litológicamente, la cuenca está compuesta por estratos compuestos por arcilla, turbas y diatomitas; estos horizontes, con el tiempo, formaron las siguientes llanuras (Rosas & Miranda, 2015):

- a) Por el nor-oeste: Llanura Mermepampa
- b) Por el oeste: Llanura Huila Huila
- c) Por el nor-oeste: Llanura Huitapugio
- d) Por el este: Llanura Ocotuan

También se han registrado lomadas las cuales sobresalen de las planicies, dando lugar a un relieve ondulado, principalmente los denominados del Grupo Yuncaypata. Entre estos afloramientos tenemos (Rosas & Miranda, 2015):

- a) Por el sur: Afloramiento de Pongobamba
- b) Por el oeste: Afloramiento de Ccorimarca
- c) Por el este: Afloramiento de Yanacona
- d) Por el nor-este: Afloramientos de Pukamarca, Cuper y Taucca

2.3.3. GEOLOGÍA

La cuenca de Piuray se encuentra dentro de un rango de altitud entre 3600 a 4300 m.s.n.m. aunque se han registrado algunas cumbres que se encuentran entre los 4200 y 4400 m.s.n.m. La pampa de Piuray- Maras posee un relieve algo plano (Oblitas, 2010; Rosas & Miranda, 2015), esta pampa posee secuencias accidentadas compuestas por grandes bloques de la Formación Chincheros (Plioceno) y por series de naturaleza fluvio-lacustres provenientes de la formación de San Sebastián (Pleistoceno) (Oblitas, 2010; Rosas & Miranda, 2015).

Estatigráficamente, el Grupo Yuncaypata está constituido por dos formaciones:

- a) Yuncaypata inferior: Litológicamente, posee limolitas, lutitas, yesos y calizas, con textura wackestone; Aflora al nor-oeste y al sur de la laguna de Piuray, posee un espesor de 50 a 75 m; un detalle a tener en cuenta es que se correlaciona con la Formación Ayabacas
- b) Yuncaypata superior: En esta formación se pueden encontrar calizas las cuales afloran en el lado nor-este (Rosas & Miranda, 2015)

2.3.3.1. FENÓMENOS GEODINÁMICOS

Los fenómenos registrados más frecuentes fueron: deslizamientos, aluviones, erosión; estos determinan la vulnerabilidad en centro poblados, infraestructura pública, áreas productivas, entre otros (Valcárcel, 2005).

A. DESLIZAMIENTOS

Estos son causados por los problemas litológicos y sísmicos existentes, las fallas, la estratificación, problemas hidrológicos e hidrogeológicos (Valcárcel, 2005).

Entre los deslizamientos registrados más importantes fueron:

- i. Deslizamiento de Pakamarca: Este deslizamiento fue dado el año 1998; los deslizamientos en la parte superior fueron de tipo rotacional y translacional-rotacional (Valcárcel, 2005).
- ii. Deslizamiento en Pongobamba: Este hundimiento se registró en diciembre del año 1999-enero 2000; los deslizamientos fueron de tipo semicircular, registrándose una altura promedio de 2,50 metros. Se indica que el factor causante fue la litología del suelo (Valcárcel, 2005).
- iii. Deslizamiento en Ocotuan: Este conjunto de deslizamientos velatorios fueron registrados a mediados del año 2000. Se indica que el factor causante fue la composición litológica y las consecuencias se vieron en las áreas de cultivo.
- iv. Deslizamiento de Cuper Bajo y Omasbamba: Fueron deslizamientos de carácter pasivo. Las causas fueron el relieve y la erosión de la zona (Valcárcel, 2005).

2.3.4. MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DE LA CUENCA DE PIURAY

Los datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3: Características morfológicas y morfométricas de la cuenca de Piuray.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Área	35.27 km ²
Perímetro	26.10 km
Longitud ríos	11.78 Km
Longitud río más largo	4.20 Km (Ravilchaca- Ccorimarca)
Tipo de curva hipsométrica	Tipo B, indica cuenca equilibrada
Rango de altitudes con mayor área	3650-3750 m.s.n.m.
Forma de la cuenca	Alargada (kc=1.24)
Factor de Forma	2 (Rodeando el desagüe)
Densidad de drenaje	Baja (0.33)
Extensión media de escurrimiento superficial (Es)	0.75 Km
Frecuencia de ríos (Fr)	0.14 río/Km ²
Densidad de corrientes (Dc)	0.11 corrientes/Km ²
Rectángulo equivalente	L=9.23; l=3.82

2.3.5. HIDROGRAFÍA E HIDROLOGÍA

El drenaje de la Cuenca corresponde a la red hidrográfica del Vilcanota. En la parte alta, se encuentran quebradas de tipo dendríticas, las cuales son afluentes de la laguna; la laguna descansa sobre sedimentos lacustres antiguos los cuales se encuentran sobre las superficies rocosas de la formación Yuncapata (Rosas & Miranda, 2015).

Tabla 4: Datos hidrológicos obtenidos en los puntos de muestreo

Rio-riachuelo	Velocidad (m/s)			Profundidad media (m)			Caudal (m ³ /s)		
	Julio	Agosto	Setiembre	Julio	Agosto	Setiembre	Julio	Agosto	Setiembre
Huila Huila PA	0.22	0.17	0.111	0.15	0.18	0.13	0.05	0.04	0.160
Huila Huila PM	0.13	0.09	0.119	0.11	0.12	0.125	0.03	0.02	0.234
Huila Huila PB	0.02	0.01	0.340	0.29	0.22	0.25	0.01	0.00	0.422
Ravilchaca PA	0.15	0.21	0.136	0.16	0.25	0.11	0.01	0.08	0.124
Ravilchaca PM	0.17	0.26	0.102	0.14	0.13	0.135	0.03	0.05	0.078
Ravilchaca PB	0.11	0.09	0.043	0.12	0.48	0.37	0.02	0.21	0.218
Pongobamba PA	0.34	0.38	0.102	0.09	0.07	0.065	0.03	0.02	0.085
Pongobamba PM	0.26	0.21	0.056	0.11	0.11	0.105	0.03	0.02	0.066
Pongobamba PB	0.38	0.21	0.196	0.11	0.10	0.08	0.05	0.04	0.491
Ocotuan PA	0.27	0.13	0.094	0.09	0.33	0.095	0.05	0.07	0.173
Ocotuan PM	0.38	0.27	0.170	0.12	0.12	0.095	0.10	0.05	0.309
Ocotuan PB	1.73	1.02	0.128	0.39	0.40	0.18	3.87	2.17	0.266
Maychu PA	0.51	0.51	0.306	0.45	0.38	0.445	0.31	0.56	0.491
Maychu PB	0.85	0.72	0.213	0.80	0.81	0.465	1.12	1.13	0.464

A. AFLUENTES DE LA LAGUNA DE PIURAY

Los afluentes de la laguna son cinco: Huila Huila, Ravilchaca, Ocotuan, Pongobamba y Maychu. Todos poseen una corriente permanente a lo largo del año (Rosas & Miranda, 2015; SEDACUSCO, 2017).

El río Ravilchaca, pasa por varias comunidades y sus aguas son utilizadas para la agricultura y ganadería. Los demás afluentes, son usados como agua para el ganado (Rosas & Miranda, 2015).

B. EFLUENTE DE LA LAGUNA DE PIURAY

Los estudios e informes realizados en la cuenca, indican que sólo existe un efluente artificial en la laguna de Piuray. Este efluente, se encuentra en el punto de captación de la EPS SEDACUSCO y su uso es para el transporte de agua para consumo humano de parte de la ciudad del Cusco (Rosas & Miranda, 2015).

2.3.6. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

En las siguientes tablas, se describe cada uno de los puntos por afluente:

Tabla 5: Ubicación y Características de los puntos de muestreo pertenecientes al riachuelo Huila Huila

PUNTO 1: HUILA HUILA PARTE ALTA	
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:
UTM: 0819188E 8515064N	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales. Ancho de cauce amplio Agua turbia. Presencia de ganadería y agricultura. Ausencia de elementos heterogéneos. Presencia de algas acuáticas. Presencia de Lenteja de agua. Porcentaje de sombra medio-alto.
	
PUNTO 2: HUILA HUILA PARTE MEDIA	
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:
UTM: 0819373E 8515081N	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales. Ancho de cauce amplio Agua turbia. Presencia de ganadería y agricultura. Presencia de infraestructuras antrópicas. Ausencia de elementos heterogéneos. Presencia de algas acuáticas. Presencia de Lenteja de agua. Bajo porcentaje de sombra
	
PUNTO 3: HUILA HUILA PARTE BAJA	
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:
UTM: 0819800E 8515150N	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales. Ancho de cauce estrecho Agua turbia. Presencia de ganadería y agricultura y de infraestructuras antrópicas. Ausencia de elementos heterogéneos (Rocas, piedras sumergidas) Presencia de algas acuáticas. Porcentaje de sombra medio. Presencia de elementos antrópicos (Diques de sacos de arena)
	

Tabla 6: Ubicación y Características de los puntos de muestreo pertenecientes al río Ravilchaka

PUNTO 4: RAVILCHAKA PARTE BAJA		
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:	
UTM: 0819591E 8513718N	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales e ichu. Ancho de cauce estrecho y amplio. Agua turbia, estancada y con mal olor, color azulado. Presencia de ganadería. Presencia de elementos heterogéneos (Rocas, piedras sumergidas) Presencia de algas acuáticas y de plantas semiacuáticas (Totora). Porcentaje de sombra medio.	
PUNTO 5: RAVILCHAKA PARTE MEDIA		
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:	
UTM: 0819584E 8514032N	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales y ichu. Ancho de cauce amplio. Agua turbia. Presencia de ganadería. Presencia de elementos heterogéneos (Rocas, piedras sumergidas) Presencia de algas acuáticas y Lenteja de agua. Porcentaje de sombra bajo. Presencia de infraestructuras.	
PUNTO 6: RAVILCHAKA PARTE ALTA		
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:	
UTM: 0819700E 8514300N (Este punto solo se consideró para el 1° muestreo)	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales. Ancho de cauce amplio. Agua turbia, negra, estancada. Presencia de ganadería. Ausencia de elementos heterogéneos. Porcentaje de sombra alto. Presencia de infraestructuras.	
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:	
UTM: 0819894E 8514410N (Este punto se consideró para el 2° y 3° muestreo)	Vegetación de ribera dominada por juncos, pastos naturales. Ancho de cauce amplio. Agua de color verde ligero. Ausencia de elementos heterogéneos. Porcentaje de sombra alto. Presencia de algas y plantas semisumergidas.	

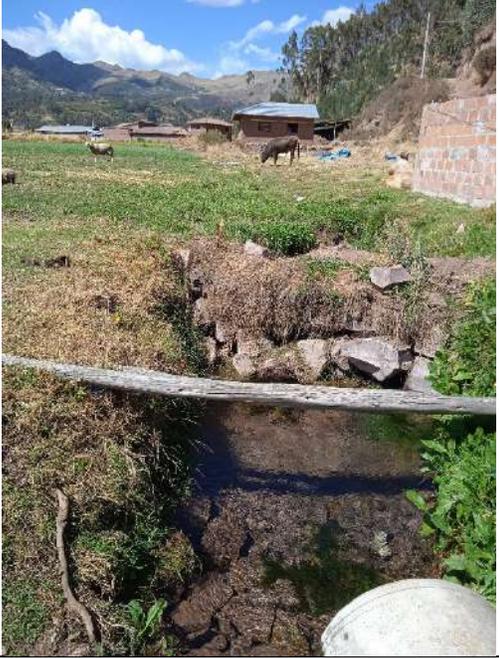
Tabla 7: Ubicación y Características de los puntos de muestreo pertenecientes al río Pongobamba

PUNTO 7: PONGO BAMBAMBA PARTE ALTA	
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:
UTM: 0822439E 8513137N	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales, fabáceas y especies arbóreas introducidas y nativas. Ancho de cauce estrecho. Presencia de elementos heterogéneos. Porcentaje de sombra alto. Agua cristalina. Presencia de plantas sumergidas pequeñas.
	
PUNTO 8: PONGO BAMBAMBA PARTE MEDIA	
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:
UTM: 0821589E 8513842N	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales, fabáceas y especies arbóreas introducidas y nativas. Ancho de cauce estrecho. Agua algo turbia. Presencia de ganadería y agricultura. Presencia de elementos heterogéneos. Porcentaje de sombra alto. Presencia de algas acuáticas y berro.
	
PUNTO 9: PONGO BAMBAMBA PARTE BAJA	
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:
UTM: 0821601E 8513969N	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales y especies arbustivas y arbóreas introducidas y nativas. Ancho de cauce amplio. Agua algo turbia. Presencia de ganadería y agricultura. Presencia de elementos heterogéneos. Porcentaje de sombra bajo. Presencia de algas acuáticas y berro.
	

Tabla 8: Ubicación y Características de los puntos de muestreo pertenecientes al río Ocotuán

PUNTO 10: OCOTUAN PARTE ALTA	
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:
UTM: 0824100E 8515500N	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales. Ancho de cauce medio. Agua algo turbia. Presencia de ganadería y agricultura. Presencia de elementos heterogéneos. Porcentaje de sombra bajo. Presencia de residuos (botellas, plásticos)
	
PUNTO 11: OCOTUAN PARTE MEDIA	
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:
UTM: 0822999E 8514733N	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales. Ancho de cauce amplio. Agua algo turbia. Presencia de ganadería y agricultura. Presencia de elementos heterogéneos. Porcentaje de sombra medio bajo. Presencia de estructuras antrópicas
	
PUNTO 12: OCOTUAN PARTE BAJA	
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:
UTM: 0822573E 8514741N	Vegetación de ribera dominada por pastos naturales, arbustos e ichu. Ancho de cauce amplio. Agua turbia. Presencia de ganadería y agricultura. Presencia de elementos heterogéneos. Porcentaje de sombra medio bajo. Presencia de restos biológicos de aves.
	

Tabla 9: Ubicación y Características de los puntos de muestreo pertenecientes al riachuelo Maychu

PUNTO 13: MAYCHU PARTE ALTA		
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:	
UTM: 0822828E 8514601N	Vegetación de ribera dominada por lengua de vaca y pastos naturales. Ancho de cauce amplio Agua cristalina. Presencia de ganadería y agricultura. Presencia de infraestructura antrópica. Presencia de elementos heterogéneos (Rocas, piedras sumergidas) Presencia de algas Bajo porcentaje de sombra Presencia de elemento antrópico (Tronco que funciona como puente, tubería amplia aparentemente prefabricada)	
PUNTO 14: MAYCHU PARTE BAJA		
COORDENADAS	CARACTERÍSTICAS:	
UTM: 0822797E 8514592N	Vegetación de ribera dominada por lengua de vaca. Ancho de cauce amplio. Agua cristalina. Presencia de plásticos blancos que actúan como diques. Presencia de elementos heterogéneos (Rocas, piedras sumergidas). Presencia de algas. Bajo porcentaje de sombra. Todo el recorrido del riachuelo está cercado por la comunidad.	

2.3.7. ECOLOGÍA

2.3.7.1. ECOSISTEMAS PRESENTES

A. ECOSISTEMA DE PAJONAL DE PUNA

Este ecosistema se encuentra en altitudes entre 3 900 a 4 500 m.s.n.m. Las comunidades vegetales dominantes pertenecen a las gramíneas las cuales se encuentran en grandes extensiones. Las comunidades animales más importantes son: mamíferos (zorro, venado, gato montés, cuy silvestre, zorrino), aves (alkamari, killincho, kechali, dormilona, canastero, perdiz andina) (Valcárcel, 2005).

B. ECOSISTEMA DE COMUNIDADES ARBUSTIVAS

Se encuentra entre altitudes de 3500 a 4000 m.s.n.m.; se presentan en quebradas, faldas de los cerdos, terrenos pedregosos y peñascos que sirven de refugio para varias especies animales. Las comunidades animales presentes son: reptiles como el machajhuay, las aves (kjallwa, checcollo, chayna, utallaque, jacacho, quellopesco, pichinco, chicherique, pitajo, chiguaco, canastero, huascar kente, ccullco, urpi, upapesko, etc) (Valcárcel, 2005).

C. ECOSISTEMA DE COMUNIDADES ARBÓREAS

La especie vegetal dominante es el Eucalipto. Se ubica en laderas y quebradas; tanto el eucalipto como las otras comunidades vegetales, son utilizadas como fuente de alimento o como refugio para las comunidades animales registradas en este hábitat. Entre las comunidades de animales más importantes, tenemos al zorro andino, zorrino y algunas aves (paloma, utallaque, quellopesco seshilio, piccholin, pichinco, kechalli, aguilucho, canastero, sihuar kente, tuco, inchu, etc.) (Valcárcel, 2005).

D. ECOSISTEMA DE CAMPOS CULTIVADOS

Se encuentra entre las altitudes de 3350 a 3850 m.s.n.m. Los usos de suelos registrados son para el cultivo de secano, cultivo de leguminosas, cultivo de gramíneas y agroforestería; la actividad ganadera no es tan frecuente, sin embargo, se puede encontrar ganado vacuno alrededor de las riberas de los afluentes. En estas áreas, se han registrado una gran variedad de comunidades faunísticas circundantes; entre las cuales tenemos a los ratones y a algunas aves (lequecho, paloma, killincho, jacachu, chiwaco, atallaque, pisaca, chayña, upapesco, alcamari, pichinco, seshlio, etc.) (Valcárcel, 2005).

2.3.7.2. FLORA

Tal como se ve en la siguiente tabla, se han registrado comunidades vegetales acuáticas y circundantes (Rosas & Miranda, 2015).

Tabla 10: Especies de flora registradas en la cuenca de Piuray

Familia	Especie	Nombre común
	Vegetación Sumergida	
	<i>Elodea potamogeton</i>	Chinquill
	<i>Chara foetida</i>	Chara
	Vegetación Flotante	
	<i>Lemna gibba</i>	Lenteja de agua
	<i>Azorella filiculoides</i>	Azolla
	Vegetación Emergente	
	<i>Scirpus californicus</i> var.	Tоторa
	<i>Juncus arcticus</i> var.	Totorilla
	<i>Andicola</i>	
	<i>Hydrocotyle bonariensis</i>	Matecllo
	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Chinquil
	Vegetación Circundante	
	<i>Mimulus glabratus</i>	OcJORURU
	<i>Mentha piperita</i>	Menta
	<i>Conium maculatum</i>	Asnac - Ccora
	<i>Coronopus didymus</i>	Chichicara
	<i>Brassica campestris</i>	Yuyo
	<i>Rumex cuneifolius</i>	Llampu- Llacque
	<i>Muehlenbeckia volcanica</i>	Mullaca
	<i>Alchémilla pinnata</i>	Sillu- Sillu
	<i>Polylepis incana</i>	Queuña
	<i>Baccharis polyantha</i>	Mayu- Chillca
	<i>Barnadesia horrida</i>	Llaulli
	<i>Senecio rudbeckiaefolius</i>	Maichcha
	<i>Senna birostris</i>	Mutuy- Mutuy
	<i>Astragalus garbancillo</i>	Jusk'a -Jusk'a
	<i>Solanum nitidum</i>	Ñuñumea
	<i>Buddleja coriacea</i>	Kolli
	<i>Colletia spinosissima</i>	Roque
	Vegetación introducida	
	<i>Eucaliptus globulus</i>	Eucalipto
	<i>Cupressus macrocarpa</i>	Ciprés

Fuente: Rosas y Miranda, 2015. Constatación in situ

2.3.7.3. FAUNA

A lo largo de la cuenca, se han observado varias especies circundantes, en especial, aves, tal como se observa en la siguiente tabla (Rosas & Miranda, 2015):

Tabla 11: Especies de fauna registradas en la cuenca de Piuray

Familia	Especie	Nombre común
	Aves residentes visitantes	
	<i>Bubulcus ibis</i>	Garza bueyera
	<i>Tringa melanoleuca</i>	Chorlito
	<i>Rallus sanguinolentus</i>	Gallineta común
	<i>Spatula puna</i>	Pato de la puna
	<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón pequeño
	<i>Rollandia microptera</i>	Zambullidor pimpollo
	<i>Chloephaga melanoptera</i>	Huallata
	<i>Vanellus resplendens</i>	Lequecho
	<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota andina
	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Mayu sonso
	<i>Plegadis ridgwayii</i>	Yanavico
	<i>Theristicus melanopis</i>	Bandurria
	<i>Fulica americana</i>	Chocca
	<i>Gallinula chloropus</i>	Polla de agua
	Anfibios	
	<i>Rhinella spinulosa</i>	Sapo común
	<i>Gasthroteca marsupiata</i>	Cheqlla

Fuente: Rosas y Miranda, 2015. Constatación in situ

2.3.8. CLIMA

Según el SENAEMI y los estudios realizados en estos últimos años, indica que el clima que se registró en la Microcuenca de Piuray, es semiseco frío, un clima característico de los valles interandinos. Las precipitaciones, según los registros realizados por estos estudios, empiezan en noviembre y terminan en abril (Fernández Baca & Mamani, 2016). En la siguiente tabla se pueden observar los valores de temperatura, humedad y precipitación registrados en los meses en los cuales se realizaron los muestreos:

Tabla 12: Valores meteorológicos tomados de la estación meteorológica de Urubamba.

AÑO: 2022	TEMPERATURA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)			PRECIPITACIÓN (mm/día)		
	JULIO		AGOSTO		SETIEMBRE		JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE
	DÍA	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	JULIO	AGOSTO
1	26	0.5	24.8	5.5	25	5	54.6	57.6	55.6	0	0	0
2	24.6	1.5	24.8	3.5	25	4.5	57.9	58.4	53.6	0	0	0
3	23.5	0.5	26.4	3.5	24.3	3	66.3	56.5	65.9	0	0	0
4	23	2.5	23.3	4.5	25.8	4	58.2	58.7	60.9	0	0.6	0
5	24	0	23.3	6.5	24.5	6.5	60.9	62.1	54.8	0	1	0
6	23.5	-0.2	23.6	9	25	4	57.4	S/D	48.2	0	0.4	0
7	23.5	5	19.8	8.5	26.5	4	58.9	76.5	50.1	0	1.7	0
8	21	4.5	21	8.5	26.5	5	63.3	72.2	53.1	0	0.1	0
9	21	3	S/D	3	24	4	72.8	S/D	54.3	0	S/D	0
10	23.5	1	23	5.5	24.5	6.5	61.2	62.2	60.6	0	0	0
11	24.8	2	26	9	27	6	59.3	53.3	59.5	0	0	0
12	23	4.5	26	4.5	28	6.5	65.6	60.5	56.4	0	0	0
13	22	5.5	26.2	4	25	8	65.7	61.1	56	0	0	0
14	24.5	6.5	25.5	5.5	22.8	9.5	59.8	66.4	59.6	0	0	2.9
15	24.5	6.5	26.4	4.5	20	9	52.5	59.7	69.1	0	0	2.5
16	24	4	S/D	6	23.5	9.5	69.2	S/D	61.9	0	S/D	0
17	22.6	1	26	7	25.5	7.5	60.4	48	59.5	0	0	0
18	20.5	8	26.5	2	S/D	8	68.4	49.7	S/D	0	0	S/D
19	24	2.5	24.5	8	27.8	8	61.6	59.1	48.5	0	0	0
20	24.8	3	25	9.5	27	9	49.2	59.5	53.7	0	0	0
21	25.5	0.5	24.5	6	24.5	9.5	59.8	54.6	56	0	0	0
22	26	1	22.5	7	25.8	5	60.6	57.5	52.6	0	0	0
23	25.3	2	24	3.5	25	10	63.1	59.7	57.4	0	0	0
24	25.5	5	25.5	2.5	23.8	8	56.6	58.7	55.8	0	0	0
25	24.8	6	26.3	2	26.8	6	54.2	54.5	54.7	0	0	0
26	24.5	5	25	5	24.5	9.5	61.8	52.8	52.9	0	0	0
27	25.5	5.5	25.8	2.5	25.3	9.5	56	55	60.8	0	0	0
28	27	2.5	24.5	4	27.3	8	62.1	61.7	48.4	0	0	0
29	26	1	21.5	5	26	8.5	54.7	63.2	49.9	0	0	0
30	26.5	4.5	24	5	24.3	8	54	57.1	62.7	0	0	0
31	26.5	6.5	25.5	7.5			52.6	52.2		0	0	

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos de SENAHMI, 2022.

2.3.9. POBLACIÓN

2.3.10.1. ORGANIZACIONES CAMPESINAS

La microcuenca cuenta con un aproximado de 21 comunidades campesinas. Entre las más importantes tenemos: Cachimayo, Chinchimarca, Cuyuralpampa, Quencoahuasi, Maychu, Cuper Bajo, Cuper Alto, Taucca, Nucchopata, Ichupampa, Huila Huila, Valle Chosica, entre otros (Béjar, 2016; SEDACUSCO, 2017).

2.3.10.2. USOS DEL AGUA DE LA CUENCA DE PIURAY

Como dicen algunos estudios, las lagunas de Piuray, Chichac, Cusicocha y Coyococha son las reservas naturales de agua; desde 1970, la laguna de Piuray ha servido durante mucho tiempo como fuente principal de abastecimiento para el consumo humano de la ciudad del Cusco (Rosas & Miranda, 2015; Valcárcel, 2005). La fuente de agua está concesionada a la Empresa Prestadora de Servicios de Agua y Desagüe SEDACUSCO; quienes se responsabilizan del monitoreo analítico fisicoquímico y biológico rutinario para ofrecer un servicio de calidad (Fernández Baca & Mamani, 2016). Las familias pertenecientes a las comunidades aledañas, utilizan el agua de los tributarios para el cultivo de *Triticum aestivum* (trigo), *Lupinus mutabilis* (tarwi), *Hordeum vulgare* (cebada), entre otros; el tipo de riego que efectúan los agricultores es por aspersión o por inundación (Rosas & Miranda, 2015). En la ganadería, se crían ganado vacuno, ovino, porcino y camélido (Rosas & Miranda, 2015; SEDACUSCO, 2017).

Debido a que el agua de la laguna, abastece a un aproximado del 40% de los habitantes de la ciudad del Cusco; por lo tanto, la actividad pesquera, al igual que otras actividades en la laguna en la zona, está restringida (Rosas & Miranda, 2015; SEDACUSCO, 2017).

2.3.10.3. SITUACIÓN ACTUAL FRENTE A LA PROBLEMÁTICA DE USO DE AGUA

La relación comunidades aledañas-EPS SEDACUSCO es tensa, esto puede deberse al tipo de modelo que se aplicó para el aprovechamiento del recurso agua perteneciente a la laguna, para el consumo de gran parte de la población de la ciudad del Cusco. Debido a esto, se tuvo que realizar arduos procesos de negociación dentro de los cuales se abarcaron puntos tales como la legitimización y reconocimiento de los derechos sobre el agua y el territorio de las comunidades aledañas de la Cuenca. Esto permitió que se lograra un mecanismo de reciprocidad usuarios-comunidades; este consiste en que, las comunidades se comprometen a la conservación de los recursos y fuentes hídricas tanto para el abastecimiento de agua para la población usuaria del Cusco, así como para las actividades económicas que se desarrollan (Béjar, 2016; SEDACUSCO, 2017).

Gracias a estas negociaciones, se logró acceder a la Ley de Retribución por Servicios Ecosistémicos, además de una Resolución Directoral emitida por la SUNASS. Estas normativas, permitieron un nuevo enfoque en cuanto al accionar de las empresas prestadoras de servicios de agua en el país, rumbo a un modelo de diálogo y cooperación entre los distintos actores del proceso de abastecimiento de agua potable (Béjar, 2016).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. MATERIAL BIOLÓGICO

- a) Muestras de agua obtenidas en los puntos de muestreo.
- b) Muestras de diatomeas obtenidas en los puntos de muestreo.

3.1.2. MATERIAL DE CAMPO

- a) Frascos de plástico de 1L.
- b) Cooler.
- c) Libreta de campo.
- d) Etiquetas.
- e) Plumón indeleble.

3.1.3. EQUIPOS DE CAMPO

- f) Cámara fotográfica marca CANON.
- g) Multiparamétrico marca HANNA modelo HQ40d.
- h) Termómetro digital marca modelo TA-288.
- i) GPS marca GARMIN.

3.1.4. MATERIAL DE LABORATORIO

- a) Tubos de ensayo.
- b) Pipetas de vidrio de 5 y 10 ml.
- c) Portaobjetos.
- d) Cubreobjetos.

3.1.5. EQUIPOS DE LABORATORIO

- a) Microscopio de fotografías con wi-fi marca LEICA 100X.
- b) Centrifuga de 7500 rpm.

3.1.6. REACTIVOS DE LABORATORIO

- a) Agua oxigenada.
- b) Aceite de inmersión para objetivo 100x.

3.2. MÉTODOS Y FUNDAMENTOS

Tipo de investigación: Aplicada, debido a que se tomó en cuenta los conceptos establecidos sobre la calidad del agua y su relación con el nivel de diatomeas abarcado en anteriores investigaciones.

Enfoque de investigación: Cuantitativa ya que el presente trabajo de investigación además de buscar la descripción del problema, buscó explicar y poner a prueba teorías que se trabajaron en anteriores investigaciones mediante el uso de sistemas de medidas de naturaleza numérica.

Nivel de investigación: Relacional, debido a que se buscó analizar la relación de los parámetros físicos y químicos del agua (variable independiente) con la variable dependiente la cual es el Índice Diatómico General (IDG).

Nivel de investigación acorde a la temporalidad: Longitudinal, ya que la recolección de datos se realizó de manera mensual durante tres meses y la recolección de datos fue de nivel primario ya que se realizaron observaciones directas y tomas de muestras en el área de estudio.

A. TIPO Y PERIODO DE MUESTREO

El tipo de muestreo fue no probabilístico debido a que los puntos de muestreo se escogieron según el criterio del investigador. Se realizaron muestreos mensuales de julio a setiembre en los catorce puntos de muestreo, distribuidos entre los afluentes dando un total de 42 valores totales para cada parámetro físico, 42 valores totales para cada parámetro químico y 42 valores para el Índice Diatómico General (IDG).

El primer muestreo se realizó el 19 de julio del 2022. La primera muestra se tomó en el punto 2 (Huila Huila- Parte media) a las 13:15 y la última muestra, perteneciente al punto 14 (Maychu- Parte Baja) fue tomada el mismo día a las 17:16 horas. El segundo muestreo fue realizado el 16 de agosto del 2022. La primera muestra tomada perteneció al punto 1 (Huila Huila- Parte alta) y la toma de esta se registró a las 10:20; la última muestra tomada se registró a las 15:45, esta pertenecía al punto 14 (Maychu- Parte baja). El tercer muestreo fue realizado el 22 de setiembre del 2022 iniciándose a las 10:39 con la toma de muestra en el punto 1 (Huila Huila. Parte alta) y finalizando a las 14:07 en el punto 11 (Ocotuan- Parte alta).

B. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La unidad de análisis fueron las muestras de agua obtenidas en la parte alta, media y baja de los afluentes de la laguna de Piuray, los cuales se encuentran dentro de la cuenca de Piuray entre las coordenadas 18L 0819402E 8515069N y 18L 0821104E 8513945N.

Para la obtención de los distintos parámetros, se tomaron catorce puntos de muestreo ubicados en la parte alta, media y baja de cada afluente. En caso de Maychu, debido a su corta longitud, solo se tomaron dos puntos de muestreo.

Tabla 13: Distribución de los puntos de muestreo

Punto de muestreo	Río/riachuelo	Ubicación	Coordenadas (Zona 18 L)	Altitud (m.s.n.m.)
01	Huila Huila	Parte alta	0819188E 8515064N	3708
02	Huila Huila	Parte media	0819373E 8515081N	3703
03	Huila Huila	Parte baja	0819800E 8515150N	3703
04	Ravilchaca	Parte baja	0819591E 8513718N	3703
05	Ravilchaca	Parte media	0819584E 8514032N	3700
06	Ravilchaca	Parte alta	0819894E 8514410N	3700
07	Pongobamba	Parte alta	0822439E 8513137N	3834
08	Pongobamba	Parte media	0821589E 8513842N	3731
09	Pongobamba	Parte baja	0821601E 8513969N	3711
10	Ocotuan	Parte alta	0824100E 8515500N	3707
11	Ocotuan	Parte media	0822999E 8514733N	3704
12	Ocotuan	Parte baja	0822573E 8514741N	3698
13	Maychu	Parte alta	0822828E 8514601N	3707
14	Maychu	Parte baja	0822797E 8514592N	3703

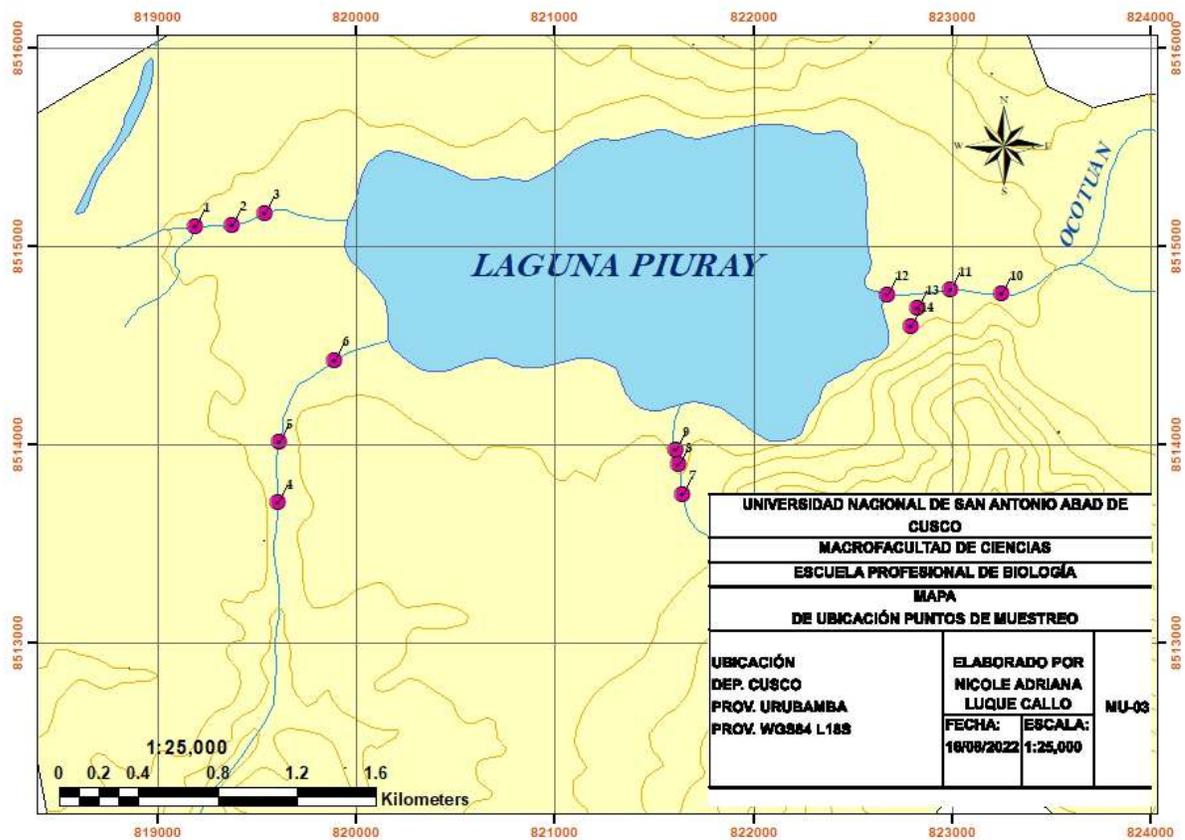


Figura 6: Mapa de distribución de los puntos de muestreo

3.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA

Cabe mencionar que la asistencia en la toma, el procesamiento y el análisis de muestras estuvo a cargo del laboratorio Hidrolab S.A. acreditado por INACAL.

Para el análisis de los parámetros físicos y químicos del agua se siguieron los protocolos de muestreo establecidos por el ANA, tal como se detalla en la siguiente tabla (Autoridad Nacional del Agua, 2016):

Tabla 14: Conservación y preservación de muestras según el parámetro evaluado

Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
Temperatura	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ	15 minutos
Conductividad	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ	24 horas
Turbidez	Plástico o vidrio	Analizar preferiblemente in situ. Almacenar en botellas oscuras o a oscuras	24 horas
Sólidos totales disueltos	Plástico o vidrio		2 días
pH	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ	24 horas
OD	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente in situ	Inmediato
	Botella de vidrio Winkler	Fijar el oxígeno, almacenar en botellas oscuras o a oscuras	4 días
Fosfatos	PE-HD o PTFE	Filtrar in situ. Acidificar a pH 1-2 con HNO ₃	1 mes
Nitratos	Plástico o vidrio	Filtrar in situ	4 días

Fuente: ANA, 2016

3.2.1.1. OBTENCIÓN DE DATOS

Se utilizó información primaria para la cual el personal del laboratorio mencionado anteriormente obtuvo in situ mediante la observación directa. El instrumento utilizado para obtener los valores de temperatura, pH, conductividad y OD fue un multiparamétrico marca HANNA modelo HQ40d. En cuanto a los demás parámetros físicos y químicos, se tomaron muestras en los frascos correspondientes preparados y se llevaron al laboratorio en una cadena de frío.

A. TEMPERATURA

Se aplicó la medición directa in situ (Método estandarizado 2550 B: Temperatura), la cual es propuesta por la American Public Health Association la cual consiste en obtener el valor sumergiendo un termómetro digital de campo modelo TA-288 (APHA et al., 2017) la unidad de medida fue en grados Celsius (C°).

B. CONDUCTIVIDAD

Se realizó la medición in situ utilizando el método electrométrico (SM 2510 B) propuesto por la American Public Health Association el cual consiste en que, mediante el uso de una solución estándar de KCl y de su conductividad, se calcula una constante de celda; luego, el medidor muestra

la conductividad de una solución desconocida. (APHA et al., 2017). La unidad de medida utilizada fue $\mu\text{S}/\text{m}$ (microsiemens por metro) y el equipo utilizado fue el multiparamétrico marca HANNA modelo HQ40d.

C. TURBIDEZ

Para obtener el valor de este parámetro se realizó la medición utilizando el SM 2130 B, método nefelométrico propuesto por la American Public Health Association el cual consiste en la medida de la intensidad de la luz con una muestra de referencia (puede ser un polímero de formazin) bajo las mismas condiciones (APHA et al., 2017). La unidad de medida fue los NTU (Unidades nefelométricas de turbidez).

D. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Se aplicó el método de la gravimetría (2540 C) propuesto por la American Public Health Association, el cual consiste en mezclar y filtrar la muestra mediante un filtro estándar de fibra de vidrio preparado y cuyo peso se conoce, se lava el filtro con tres volúmenes sucesivos mayores a 10 mL de agua y se continua hasta eliminar el excedente de humedad, se transfiere 100 ml del filtrado a una capsula de porcelana limpia y previamente pesada, someter a baños de vapor, luego se seca la cápsula por más de una hora en un horno a $180 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, finalmente se enfría en un desecador por más de una hora y se procede a pesar. (APHA et al., 2017). La unidad de medida utilizada fue mg/L (Microgramos por litro).

E. pH

Se aplicó la medición directa in situ mediante el método estandarizado 4500-H+ B (Metodo del potenciómetro usando un electrodo estándar de hidrogeniones), el cual es propuesto por la American Public Health Association la cual consiste en obtener el valor sumergiendo el electrodo de vidrio previamente sumergido en los tres buffer (para estandarizarlo) en la muestra y en el tablero electrónico aparecerá un valor, se procede a leer (APHA et al., 2017). La unidad de medida es adimensional y se utilizó como equipo de medida el multiparamétrico marca HANNA modelo HQ40d.

F. OXÍGENO DISUELTO

Para obtener el valor de este parámetro se realizó la medición in situ propuesto por la Norma Técnica Peruana (NTP 214.046: Método de sonda instrumental Sensor basado en luminiscencia) sobre calidad de agua. El método está basado en la luminiscencia de un luminóforo, el cual es un material que emiten luz cuando son excitados por una longitud de onda de la luz de excitación, y se miden la intensidad de la luminiscencia y el tiempo que ésta tarda en desvanecerse; estas dos variables dependen de la concentración de oxígeno que rodea el material (Häck, 2015; Norma Técnica Peruana, 2013). La unidad de medida usada fue mg/L (Microgramos por litro) y se contó con el multiparamétrico marca HANNA modelo HQ40d.

G. FOSFATOS

Para obtener el valor de este parámetro se utilizó el método de la reducción de ácido ascórbico (4500-P E) propuesto por la American Public Health Association el cual consiste en la reacción del agua muestreada y el reactivo combinado previamente leído por espectrofotómetro (50 mL de ácido

sulfúrico 5N, 5 mL de tartrato de antimonio y potasio, 15 mL de molibdato de amonio y 30 mL de ácido ascórbico). Este reactivo da lugar al ácido fosfomolibdico que se reduce a azul de molibdeno intensamente coloreado por el ácido ascórbico. La cantidad de fosfatos en la mezcla de agua muestreada con reactivo (5:1) se determinó por determinación colorimétrica por medio de espectrofotometría y comparación de estándares preparados de soluciones de fosfatos con distintas concentraciones (APHA et al., 2017). Los analistas usaron una membrana de filtración de 0.45µm por cada muestra de agua y se agregó aproximadamente 40 mg HgCl₂/L a las muestras para almacenarlas en periodo prolongado La unidad de medida fue mg/L (Microgramos por litro).

H. NITRATOS

El laboratorio utilizó el método estandarizado 4500-NO₃⁻ E (método del electrodo selectivo de amoníaco) propuesto por la American Public Health Association. El electrodo selectivo de amoníaco usa una membrana permeable a gases, esta tiene naturaleza hidrofóbica; el objetivo de esta membrana es el separar la solución de muestra de una solución interna de electrodo de cloruro de amonio. El amoníaco disuelto se convierte en nitratos en solución acuosa haciendo que el pH tenga valores mayores a 11 con una base fuerte. El nitrato se difunde a través de la membrana y el pH de la solución interna varía, este fenómeno es detectado por un electrodo de pH. El nivel de cloruro de amonio es detectado por un electrodo selectivo y de referencia de iones de cloruro. Para las mediciones potenciométricas, se usa un medidor de pH con escala de milivoltios expandida o con un medidor de iones específico. (APHA et al., 2017). La unidad de medida fue de mg/L (Microgramos por litro).

3.2.1.2. ANÁLISIS DE DATOS

A. CALIFICACIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS

Al ser en su mayoría afluentes de un cuerpo de agua el cual está considerado en la categoría 1, subcategoría A2, se toman en cuenta los ECAs para cuerpos de agua destinados a ser agua de consumo humano.

Se considera que los parámetros físicos indican buena calidad si sus valores no exceden los ECAs establecidos por la normativa. Los ECAs se dan de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 15: Valores establecidos en los ECAs para los parámetros físicos

Parámetro Físico	ECA
Temperatura	$\Delta 3$ °C
Conductividad	1600 μ S/cm
Turbidez	100 UNT
Sólidos totales	100 mg/L

Fuente: MINAM, 2017.

B. CALIFICACIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS QUÍMICOS

De la misma forma que los parámetros físicos, se toma en cuenta el aspecto anterior para la categorización de los ríos y riachuelos; se consideró que los parámetros químicos indican buena calidad si sus valores no exceden los ECAs establecidos por la normativa. Estos se dan de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 16: Valores establecidos en los ECAs para los parámetros químicos

Parámetro Químico	ECA
pH	5,5 – 9,0
OD	≥ 5 mg/L
Fosforo total	0,15 mg/L
Nitratos	50 mg/L

Fuente: MINAM, 2017.

3.2.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL

Para la colecta de las diatomeas se utilizó una adaptación de la técnica de recolección utilizada por (Calizaya-Anco et al., 2013) la cual consiste en el raspado de piedras provenientes de los sitios de muestreo seleccionados, estas deben estar sumergidas en 1L de agua del río; sin embargo, en los puntos en los cuales no se encontraron piedras, se requirió realizar la toma de una muestra de sedimento sumergido en 1L de agua del río. Los recipientes utilizados fueron de plástico de 1L de capacidad.

3.2.2.1. OBTENCIÓN DE DATOS

Se utilizó información primaria cuyas muestras fueron obtenidas in situ. Para obtener el Índice Diatómico General, se tomaron las muestras siguiendo los procedimientos correspondientes, para posteriormente llevarlas a laboratorio para su observación.

A. CONCENTRACIÓN DE ESPECÍMENES

Para la concentración de especímenes se utilizó el método de centrifugación recomendado por la American Public Health Association (APHA et al., 2017) con la modificación del número de revoluciones por minuto (4800 prm) y el tiempo de centrifugación (5m), luego se colocó agua oxigenada para la separación de la materia orgánica. Cada punto de muestreo, tuvo dos ensayos.

B. ABUNDANCIA DE DIATOMEAS.

Se utilizó la metodología de recuento establecida por Coste & Ayphassorho, 1991 y adaptada por Echeverría. El método consiste en anotar la especie identificada en un formulario preparado acompañado con una fotografía. El formulario cuenta con dos columnas: En la parte derecha corresponde escribir el género y posteriormente se requiere el uso de bibliografía especializada que empleen guías de identificación. Al llegar a 400 especímenes (sumando los dos ensayos por punto), se procedió al cálculo del porcentaje de cada género (Coste & Ayphassorho, 1991). Para la identificación de las especies se utilizó el sistema de identificación de North American Diatoms (Spaulding et al., 2021), el libro de identificación “Klucz do oznaczania okrzemek w fitobentosie na potrzeby oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych w Polsce” (Bąk et al., 2022) y el Id-Tax. Catálogo y claves de identificación de organismos fitobentónicos (Blanco et al., 2012) y la consulta de especialistas de la universidad de Varsovia.

C. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL

Para determinar el Índice Diatómico General se aplicó la metodología propuesta por Coste & Ayphassorho, la cual consiste en tomar tres indicadores: Abundancia, sensibilidad a la polución y amplitud ecológica (Coste & Ayphassorho, 1991). Posteriormente se aplicó la siguiente fórmula en el software Excel:

$$IDG = \frac{\sum_{j=1}^j A_j S_j V_j}{\sum_{j=1}^n A_j V_j}$$

Ecuación 2: Índice Diatómico General

A_j= Abundancia (%), S_j= Sensibilidad a la polución (1 a 5), V_j= Valor indicativo de la especie (1 a 3)

Fuente: Echeverría, 2016.

3.2.2.2. ANALISIS DE DATOS

Para determinar la sensibilidad y variabilidad de las especies encontradas se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 17: Valores de sensibilidad y variabilidad por taxones

TAXONES	CÓDIGO	SENSIBILIDAD (S)	VARIABILIDAD (V)
<i>Achnantes</i>	ACH	5	1
<i>Amphipleura</i>	AMH	5	3
<i>Amphora</i>	ARA	3	2
<i>Anomoeneis</i>	ANO	5	2
<i>Asterionela</i>	AST	4	1
<i>Attbeya</i>	ATT	2	3
<i>Caloneis</i>	CAL	4	2
<i>Campylodiscus</i>	CAM	5	2
<i>Caratoneis</i>	CER	5	2
<i>Cocconeis</i>	COC	4	1
<i>Cyclotella</i>	CYC	3	1
<i>Cymetopleura</i>	CMA	4	2
<i>Cymbella</i>	CMB	5	1
<i>Denticula</i>	DEN	5	3
<i>Diatoma</i>	DIA	4	1
<i>Diploneis</i>	DIP	5	1
<i>Ephitemia</i>	EPI	5	2
<i>Eunotia</i>	EUN	5	1
<i>Fragilaria</i>	FRA	4	1
<i>Frustulia</i>	FRU	5	2
<i>Gomphoneia</i>	GIS	4	2
<i>Gomphonema</i>	GMA	3	2
<i>Gyrosigma</i>	DYA	4	3
<i>Hantzschia</i>	HAN	1	3
<i>Melosira</i>	MEL	3	1
<i>Meridion</i>	MER	5	1
<i>Navicula ortbostichae</i>	NOR	2	2
<i>Navicula punctatae mutica</i>	NPM	1	2
<i>Navicula germainii</i>	NGM	2	1
<i>Navicula (otras)</i>	NAV	3	1
<i>Neidium</i>	NEI	4	3
<i>Nitzschia dissipata</i>	NID	4	2
<i>Nitzschia (otras)</i>	NIT	1	1
<i>Pinnularia</i>	PIN	4	3
<i>Planothidium biporum</i>		4	1
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>		2	2
<i>Rhizosoenis</i>	RHI	3	3
<i>Rhoiscopehia</i>	RHO	4	1
<i>Rhopalodia</i>	RHP	4	1
<i>Stauroneis</i>	STA	5	2
<i>Stephanodiscus</i>	STE	2	1
<i>Surirella</i>	SUR	3	3
<i>Synedra</i>	SYN	3	1
<i>Tabellaria</i>	TAB	5	1
<i>Tetracyclus</i>	TET	5	3
<i>Thalassiosira</i>	THA	2	3

Fuente: Echeverría, 2016.

Para clasificar la calidad del agua de acuerdo a los valores obtenidos en el IDG se utilizó la siguiente tabla de clasificación:

Tabla 18: Clasificación de la calidad de agua de acuerdo al valor de I.D.G

VALOR	SIGNIFICADO
IDG>4.5	Calidad biológica óptima
4<IDG<4.5	Calidad normal. Polución Débil
3.5<IDG<4	Polución moderada. Eutrofización
3<IDG<3.5	Polución media.
2<IDG<3	Desaparición de especies sensibles. Polución fuerte
1<IDG<2	Polución muy fuerte.
IDG=0	La población es considerada como inexistente (polución toxica). Por debajo de 10 individuos por mm ² .

Fuente: Echeverría, 2016.

3.2.3. CORRELACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL Y LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA

Los datos respecto a la relación entre las especies y cada parámetro se obtuvieron mediante el método de correlación de Spearman.

3.2.3.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se utilizaron las siguientes pruebas:

A. PRUEBA DE SHAPIRO-WILK

Esta prueba fue utilizada cuando el tamaño muestral es igual o inferior a 50. En esta prueba se pudo ver si el ajuste de la muestra pertenecía a una distribución normal o no (Romero, 2016), de esta manera, podremos verificar si se requiere el uso del coeficiente de correlación de Pearson o el de Spearman.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i (x_{(n-i+1):n} - x_{i:n}))^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Ecuación 3: Fórmula de la prueba de Shapiro-Wilk

Donde:

n= número total de muestras en la población

a_i= coeficiente

x= x_n/n

x_i= Valor dato en “i” muestreo.

x_{i:n}= Valores de los muestreos

Fuente: Romero, 2016.

B. PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA

B.1. PRUEBA DE ANOVA

Esta es una prueba de significancia utilizada para muestras con distribución normal, cuando estas muestras pertenecen a la misma población se podrá realizar un análisis de variancias que permitirá comparar sus medias (Gómez-Biedma et al., 2001). La fórmula es la siguiente:

	Sumatoria de cuadrados "SC"	grados libertad (gl)	CM*
Intermuestra	$\Sigma T^2/n - \Sigma T/N = 3.41/4 - 1.5/20 = 0.778$	k-1=4	CMMedias=0.195
Intramuestra**	2.77-0.778= 1.99	19-4=15	CMResidual=0.133
Total	$\Sigma_i \Sigma_j X_{ij}^2 - \Sigma T/N = 2.84 - 1.5/20 = 2.77$	N-1=19	CMTotal=0.146

*CM (cuadrado medio)= SC/gl. ** los valores intramuestra se calculan por diferencia entre el total y el intermuestra, ya que la variancia total es la suma de la variancia inter e intramuestra.

Figura 7: Fórmulas pertenecientes a la prueba ANOVA

Fuente: Gómez-Biedma et al., 2001

B.2. PRUEBA DE KRUSKAL- WALLIS

Esta prueba fue creada por Wallis en 1939 y Kruskal y Wallis en 1952, sirve para probar las hipótesis nulas en muestras sin distribución normal. Se puede realizar una comparación de tres a más variables no paramétricas (Ramírez Ríos & Polack Peña, 2019). La fórmula es la siguiente:

$$E_R^2 = \frac{H}{(n^2 - 1)/(n + 1)}$$

Ecuación 4: Formula perteneciente a la prueba de Kruskal-Wallis

C. CORRELACIÓN DE SPEARMAN

Las correlaciones fueron usadas para determinar el comportamiento de una variable respecto a otra, en caso de que exista, se procedieron a usar los distintos modelos de regresión lineal. (Astorga, 2014). La correlación de Spearman fue utilizada para los datos que no poseen distribución normal y su uso fue recomendado cuando existen valores extremos (Martínez et al., 2009), tal como sucedió en la presente investigación. La fórmula es la siguiente:

$$R_s = 1 - \frac{6 \sum d_i d_i}{n((n * n) - 1)}$$

Ecuación 5: Fórmula de la correlación de Spearman

Donde:

d_i = rango x_i – rango y_i (diferencia rangos de X e Y)

n= número de datos

Fuente: Martínez, 2009.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los tres muestreos realizados, se pudo corroborar lo siguiente:

- i. El riachuelo Huila Huila en las fechas de muestreo, no llegó a verter sus aguas en la laguna, esto podría ser por la ausencia de lluvias o por los diques artificiales que colocó la población aledaña.
- ii. En todos los ríos y riachuelos objeto de estudio, se ha observado una considerable disminución del caudal a medida que pasaban las fechas de muestreo.

4.1. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA

A. PRIMER MUESTREO

En el primer muestreo, se obtuvieron los valores que se observan en la tabla 19:

Tabla 19: Parámetros físicos y químicos obtenidos en el primer muestreo

Río/Riachuelo	Temperatura (C°)	Conductividad (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Sólidos disueltos totales (mg/l)	pH	Oxígeno disuelto (mg/l)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)
Huila Huila PA	14.5	491	225	267	7.79	3.96	0.016	0.05
Huila Huila PM	13.6	485	84	263	7.91	4.29	0.02	0.04
Huila Huila PB	14.6	515	36	279	7.82	3.7	0.04	0.19
Ravilchaca PB	13.4	597	18	318	7.36	0.51	0.831	0.11
Ravilchaca PM	14.1	441	234	241	7.66	3.97	0.114	0.48
Ravilchaca PA	13.4	320	600	412	7.35	2.1	0.957	412
Pongobamba PA	12.6	672	24	179	7.87	4.66	0.145	0.39
Pongobamba PM	12.4	334	6	183	7.98	4.84	0.123	0.47
Pongobamba PB	12.2	353	8	192	7.66	4.02	0.193	0.48
Ocotuan PA	12.9	555	18	297	8.04	4.54	0.142	0.01
Ocotuan PM	12.7	560	8	297	7.93	4.17	0.133	0.01
Ocotuan PB	12.8	520	90	273	8.24	4.41	0.111	0.02
Maychu PA	14.2	548	0.99	285	7.24	7.7	0.014	0.65
Maychu PB	14.4	545	5	283	7.12	7.92	0.013	0.63

Fuente: Elaboración propia, análisis de laboratorio realizados por el laboratorio Hidrolab.

B. SEGUNDO MUESTREO

En el segundo muestreo, se obtuvieron los siguientes valores, tal como se ven en la tabla 20:

Tabla 20: Parámetros físicos y químicos obtenidos en el segundo muestreo

Río/Riachuelo	Temperatura (C°)	Conductividad (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Sólidos disueltos totales (mg/L)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)
Huila Huila PA	12.13	411	24	221	7.84	4.33	0.044	0.01
Huila Huila PM	12.6	412	492	222	8.16	6.82	0.045	0.01
Huila Huila PB	12.33	406	66	224	8.42	7.76	0.012	0.02
Ravilchaca PB	13.45	646	18	347	7.46	0.54	1.031	0.041
Ravilchaca PM	13.43	646	1326	335	7.76	4.52	0.07	0.62
Ravilchaca PA	14.83	441	48	225	8.04	9.04	0.077	0.03
Pongobamba PA	15.73	314	3	173	8.26	5.24	0.164	0.36
Pongobamba PM	14.9	324	18	174	8.04	4.98	0.133	0.37
Pongobamba PB	15.43	351.3	162	190	7.72	4.35	0.169	0.63
Ocotuan PA	18.7	472	126	250	8.67	7.08	0.213	0.09
Ocotuan PM	17.5	579.4	96	303	7.8	4.91	0.156	0.07
Ocotuan PB	18.43	444	534	238	8.57	7.34	0.097	0.07
Maychu PA	14.8	530	0.99	280	7.83	4.04	0.019	0.89
Maychu PB	16.5	528	0.99	267	7.97	4.02	0.016	0.05

Fuente: Elaboración propia, análisis de laboratorio realizados por el laboratorio Hidrolab.

C. TERCER MUESTREO

En el tercer muestreo, se obtuvieron los valores que se observan en la tabla 21:

Tabla 21: Parámetros físicos y químicos obtenidos en el tercer muestreo

Río/Riachuelo	Temperatura (C°)	Conductividad (µS/cm)	Turbidez (NTU)	Sólidos disueltos totales (mg/L)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)
Huila Huila PA	15.49	386	8	210	7.81	6.88	0.027	7.79
Huila Huila PM	18.39	399	606	213	8.12	4.6	0.11	0.31
Huila Huila PB	19.09	334	46	205	8.36	7.41	0.021	0.16
Ravilchaca PB	15.89	757	14	402	7.53	0.47	0.326	0.16
Ravilchaca PM	19.89	513	44	265	7.85	4.37	0.064	0.13
Ravilchaca PA	23.09	452	316	236	9.46	5.16	0.092	0.03
Pongobamba PA	16.09	341	9	184	8.03	5.43	0.245	0.45
Pongobamba PM	14.9	324	22	188	8.04	4.98	0.188	0.36
Pongobamba PB	17.09	342	8	183	7.64	4.88	0.146	0.33
Ocotuan PA	17.49	604	90	318	8.03	7.33	0.143	0.05
Ocotuan PM	16.69	526	11	275	8.25	8.23	0.148	0.02
Ocotuan PB	17.69	527	12006	311	6.86	3.91	4.73	0.02
Maychu PA	16.19	532	0.99	279	7.68	5.76	0.012	0.59
Maychu PB	16.69	531	5	278	7.66	4.34	0.011	0.57

Fuente: Elaboración propia, análisis de laboratorio realizados por el laboratorio Hidrolab.

4.1.1. ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE AGUA

4.1.1.1. PARÁMETROS FÍSICOS

A. TEMPERATURA

Tal como se puede observar en la tabla 22, en el primer muestreo, la temperatura más alta se registró en el punto de muestreo 3 (Huila Huila parte baja) la cual fue 14.6 °C mientras que la más baja, en el punto de muestreo 9 (Pongobamba parte baja) cuyo valor fue 12.2 °C. En el segundo muestreo, la temperatura más alta fue hallada en el punto de muestreo 10 (Ocotuan parte alta) la cual es 18.7 °C en cuanto a la más baja, se encontró en el punto de muestreo 1 (Huila Huila parte alta) y su valor fue de 12.13 °C; finalmente, en el tercer muestreo, la temperatura más alta registrada se encontró en el punto de muestreo 6 (Ravilchaca parte alta) la cual fue 23.09 °C mientras que la más baja fue registrada en el punto de muestreo 1 (Pongobamba parte media) cuyo valor fue 14.9 °C.

Sacando las diferencias de temperatura (ΔT), como se observa en la tabla 23, casi todas se encontraron dentro de los ECAs establecidos.

Tabla 22: Temperaturas obtenidas en el primer, segundo y tercer muestreo

Temperatura (C°) \ Punto de muestreo	Huila Huila PA	Huila Huila PM	Huila Huila PB	Ravilchaca PB	Ravilchaca PM	Ravilchaca PA	Pongobamba PA	Pongobamba PM	Pongobamba PB	Ocotuan PA	Ocotuan PM	Ocotuan PB	Maychu PA	Maychu PB
1° muestreo	14.5	13.6	14.6	13.4	14.1	13.4	12.6	12.4	12.2	13	12.7	12.8	14.2	14.4
2° muestreo	12.1	12.6	12.3	13.5	13.4	14.8	15.7	14.9	15.4	19	17.5	18.4	14.8	16.5
3° muestreo	15.49	18.4	19.1	15.9	19.9	23.09	16.1	14.9	17.1	17	16.7	17.69	16.19	16.7

Fuente: Elaboración propia, análisis de laboratorio realizados por el laboratorio Hidrolab.

Tabla 23: Diferencias de temperatura (ΔT) obtenidas en el primer, segundo y tercer muestreo

ΔT (C°) \ Punto de muestreo	Huila Huila PA	Huila Huila PM	Huila Huila PB	Ravilchaca PB	Ravilchaca PM	Ravilchaca PA	Pongobamba PA	Pongobamba PM	Pongobamba PB	Ocotuan PA	Ocotuan PM	Ocotuan PB	Maychu PA	Maychu PB
1° muestreo	0.9	-1	-0.1	-0.7	0.7	0	0.2	0.2	0.4	0.2	-0.1	0.1	-0.2	-0.2
2° muestreo	-0.47	0.27	-0.2	0.02	-1.4	-1.38	0.83	-0.5	0.3	1.2	-0.9	0.27	-1.7	-1.7
3° muestreo	-2.9	-0.7	-3.6	-4	-3.2	-7.2	1.19	-2.2	-1	0.8	-1	-0.2	-0.5	-0.5
ECA	$\Delta 3$													

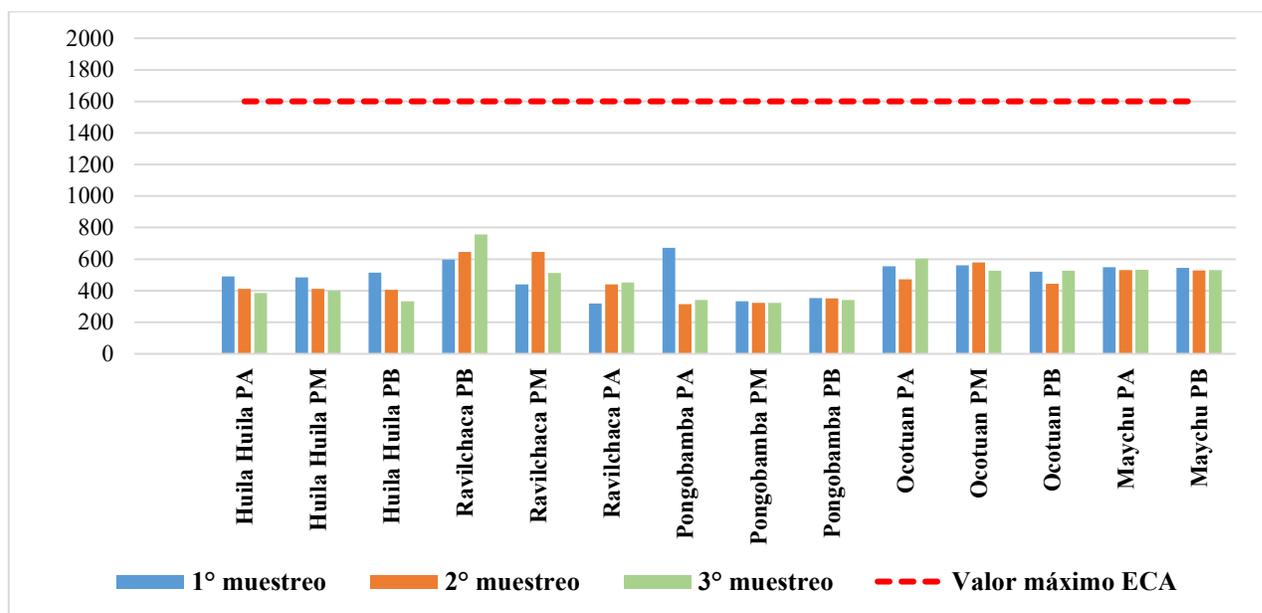
Fuente: Elaboración propia.

B. CONDUCTIVIDAD

En la tabla 24 se observa que el valor de conductividad más alto registrado en el primer muestreo se registró en el punto de muestreo 7 (Pongobamba parte alta) el cual fue de 672 $\mu\text{S/cm}$ mientras que el valor más bajo (320 $\mu\text{S/cm}$) se encontró en el punto de muestreo 6 (Ravilchaka parte alta). En el segundo muestreo, los valores de conductividad más altos registrado se encontraron en los puntos de muestreo 4 y 5 (Ravilchaka parte baja y parte media) los cuales fueron de 646 $\mu\text{S/cm}$ mientras que el más bajo fue registrado en el punto de muestreo 7 (Pongobamba parte alta) cuyo valor es 314 $\mu\text{S/cm}$; finalmente, el valor de conductividad más alto registrado en el tercer muestreo perteneció al punto 4 (Ravilchaka parte baja) el cual es 757 $\mu\text{S/cm}$ mientras que el valor más bajo fue registrado en el punto N° 7 (Pongobamba parte media) cuyo valor fue de 324 $\mu\text{S/cm}$. En la gráfica 1, se observa que todos los valores registrados fueron menores a 1600 $\mu\text{S/cm}$, por lo tanto, están dentro de los ECAs establecidos.

Tabla 24: Valores de conductividad obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo

Punto de muestreo / Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Huila Huila PA	Huila Huila PM	Huila Huila PB	Ravilchaca PB	Ravilchaca PM	Ravilchaca PA	Pongobamba PA	Pongobamba PM	Pongobamba PB	Ocotuan PA	Ocotuan PM	Ocotuan PB	Maychu PA	Maychu PB
1° muestreo	491	485	515	597	441	320	672	334	353	555	560	520	548	545
2° muestreo	411	412	406	646	646	441	314	324	351.3	472	579	444	530	528
3° muestreo	386	399	334	757	513	452	341	324	342	604	526	527	532	531
ECA	1600													



Fuente: Elaboración propia, análisis de laboratorio realizados por el laboratorio Hidrolab.

Gráfica 1: Valores de conductividad obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo respecto a los ECAs establecidos

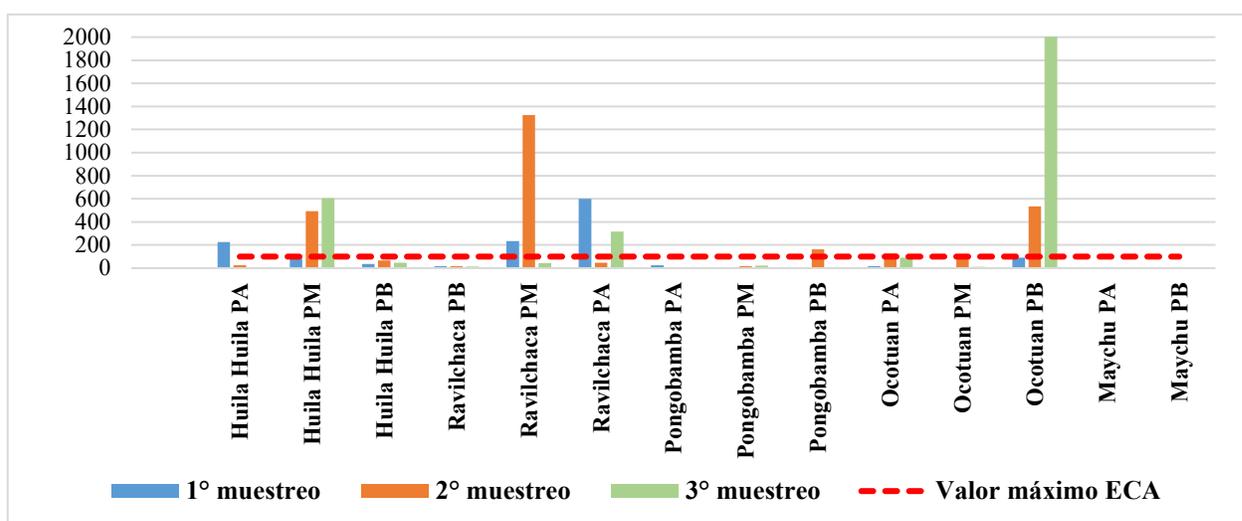
C. TURBIDEZ

En la tabla 25, los datos registrados en el primer muestreo indicaron que la turbidez más alta registrada se encontró en el punto de muestreo 6 (Ravilchaka parte alta) la cual es 600 NTU mientras que la más baja fue registrada en el punto de muestreo 13 (Maychu parte alta) cuyo valor es 0.99 NTU; en el segundo muestreo la turbidez más alta registrada se registró en el punto 5 (Ravilchaka parte media) con un valor de 1326 NTU mientras que la más baja fueron registradas en los puntos de muestreo pertenecientes al Riachuelo Maychu (13 y 14) cuyos valores fueron de 0.99 NTU; finalmente, el valor de turbidez más alto registrado en el tercer muestreo se encontró en el punto 12 (Ocotuan parte baja) el cual es de 12006 NTU mientras que el más bajo fue registrado en el punto 13 (Maychu parte alta) cuyo valor es 0.99 NTU.

En la gráfica 2, se observó que, en el primer muestreo, solo los puntos de muestreo 1, 5 y 6 fueron mayores a 100 NTU; de la misma forma en el segundo muestreo, los puntos N° 2,5,9,10 y 12 y finalmente, en el tercer muestreo, los puntos 2, 6 y 12. Los puntos mencionados anteriormente, se encuentran fuera del ECA establecido.

Tabla 25: Valores de turbidez obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo

Punto de muestreo / Turbidez (NTU)	Huila Huila PA	Huila Huila PM	Huila Huila PB	Ravilchaca PB	Ravilchaca PM	Ravilchaca PA	Pongobamba PA	Pongobamba PM	Pongobamba PB	Ocotuan PA	Ocotuan PM	Ocotuan PB	Maychu PA	Maychu PB
1° muestreo	225	84	36	18	234	600	24	6	8	18	8	90	0.99	5
2° muestreo	24	492	66	18	1326	48	3	18	162	126	96	534	0.99	0.99
3° muestreo	8	606	46	14	44	316	9	22	8	90	11	12006	0.99	5
ECA	100													



Fuente: Elaboración propia, análisis de laboratorio realizados por el laboratorio Hidrolab.

Gráfica 2: Valores de turbidez obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo respecto a los ECAs establecidos

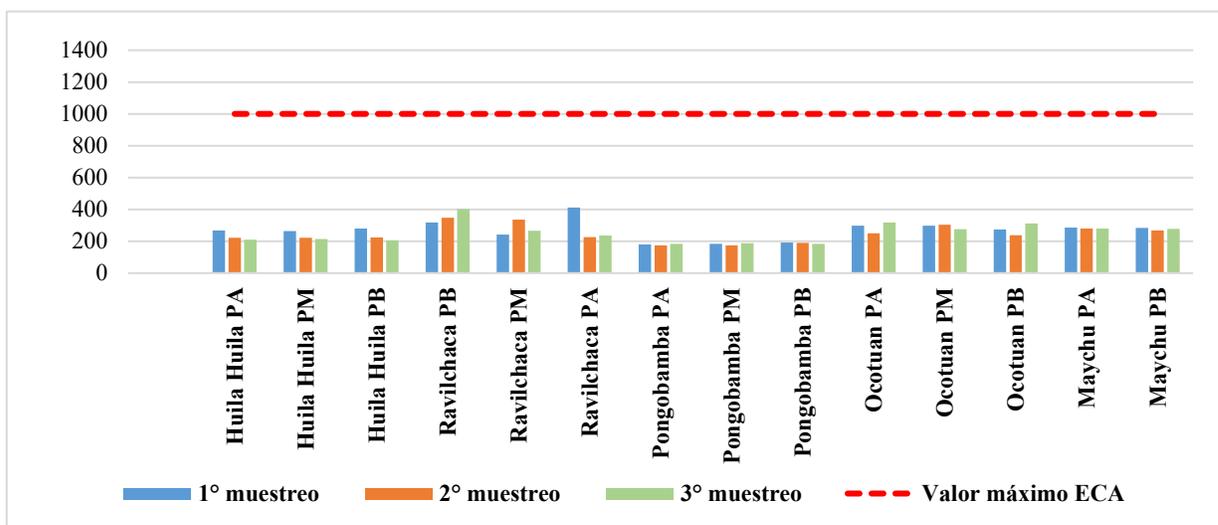
D. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

De acuerdo a lo que se observa en la tabla 26, en el primer muestreo, el valor de sólidos disueltos totales (TDS) más alto registrado se encontró en el punto de muestreo 4 (Ravilchaca parte baja) el cual es de 318 mg/L mientras que el valor más bajo fue registrado en el punto de muestreo 7 (Pongobamba parte alta) el cual fue de 179 mg/L, de la misma manera, en el segundo muestreo, el más alto fue de 347 mg/L el cual también perteneció al punto 4 mientras que el valor más bajo fue de 173 mg/L que también perteneció al punto 7; aunque el valor de TDS más alto encontrado en el tercer muestreo fue de 412 mg/L el cual al igual que los dos muestreos anteriores perteneció al punto 4, el valor más bajo fue registrado en el punto 9 (Pongobamba parte baja) cuyo valor es 183 mg/L.

De acuerdo a la gráfica 3, todos los valores medidos son menores al valor establecido de 1000 mg/L; por lo tanto, todos los valores se encuentran dentro del ECA establecido.

Tabla 26: Valores de sólidos disueltos totales (TDS) obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo

Punto de muestreo / TDS (mg/L)	Huila Huila PA	Huila Huila PM	Huila Huila PB	Ravilchaca PB	Ravilchaca PM	Ravilchaca PA	Pongobamba PA	Pongobamba PM	Pongobamba PB	Ocotuan PA	Ocotuan PM	Ocotuan PB	Maychu PA	Maychu PB
1° muestreo	267	263	279	318	241	412	179	183	192	297	297	273	285	283
2° muestreo	221	222	224	347	335	225	173	174	190	250	303	238	280	267
3° muestreo	210	213	205	402	265	236	184	188	183	318	275	311	279	278
ECA	1000													



Fuente: Elaboración propia, análisis de laboratorio realizados por el laboratorio Hidrolab.

Gráfica 3: Valores de sólidos disueltos totales (TDS) obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo respecto a los ECAs establecidos

4.1.1.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

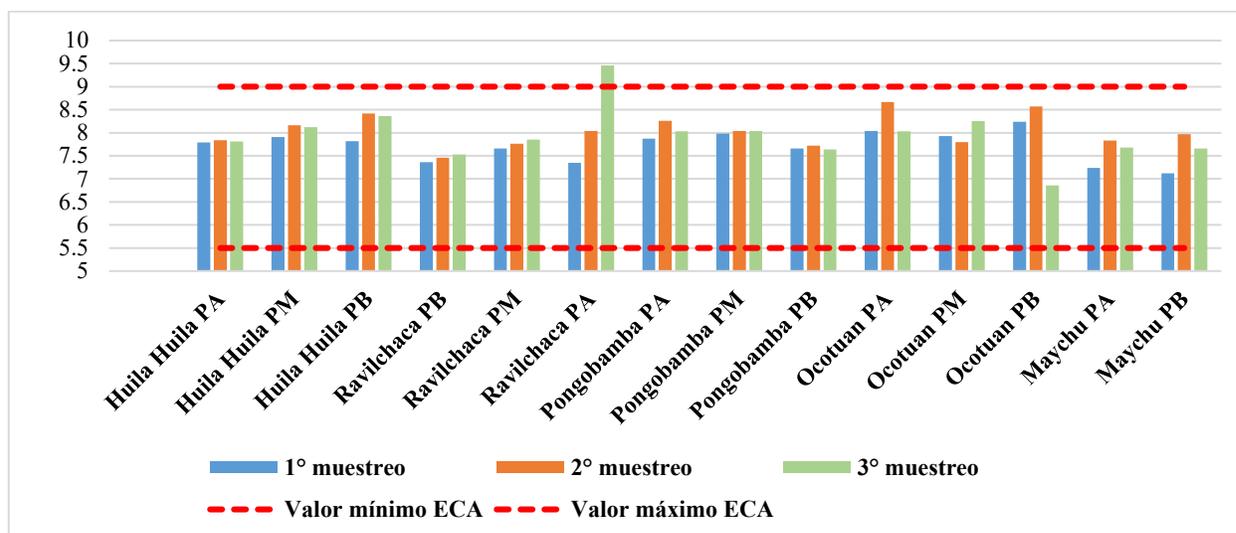
A. pH

En la tabla 27, en el primer muestreo, el valor de pH más alto registrado se encontró en el punto de muestreo 12 (Ocotuan parte baja) el cual era de 8.24 mientras que el valor más bajo fue registrado en el punto de muestreo 4 (Ravilchaka parte baja) cuyo valor fue de 7.36; en cambio, en el segundo muestreo, se ha registrado como el pH más alto el valor de 8.67 el cual pertenece al punto 11 (Ocotuan parte alta) mientras que pH más bajo tuvo un valor de 7.46 que pertenece al punto 4 (Ravilchaka parte baja); finalmente, en el tercer muestreo, el valor de pH más alto es de 9.46 el cual pertenece al punto 6 (Ravilchaka parte alta) mientras que el más bajo se encontró en el punto 12 (Ocotuan parte baja) cuyo valor registrado fue de 6.86.

En la gráfica 4, se puede observar que tan solo el punto 5 en el tercer muestreo (Ravilchaka parte alta) superó el valor máximo permitido en los ECAs.

Tabla 27: Valores de pH obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo

pH	Punto de muestreo	Huila Huila PA	Huila Huila PM	Huila Huila PB	Ravilchaca PB	Ravilchaca PM	Ravilchaca PA	Pongobamba PA	Pongobamba PM	Pongobamba PB	Ocotuan PA	Ocotuan PM	Ocotuan PB	Maychu PA	Maychu PB
		1° muestreo	7.79	7.91	7.82	7.36	7.66	7.35	7.87	7.98	7.66	8.04	7.93	8.24	7.24
2° muestreo	7.84	8.16	8.42	7.46	7.76	8.04	8.26	8.04	7.72	8.67	7.8	8.57	7.83	7.97	
3° muestreo	7.81	8.12	8.36	7.53	7.85	9.46	8.03	8.04	7.64	8.03	8.25	6.86	7.68	7.66	
ECA								5.5-9							



Fuente: Elaboración propia, análisis de laboratorio realizados por el laboratorio Hidrolab.

Gráfica 4: Valores de pH obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo respecto a los ECAs establecidos

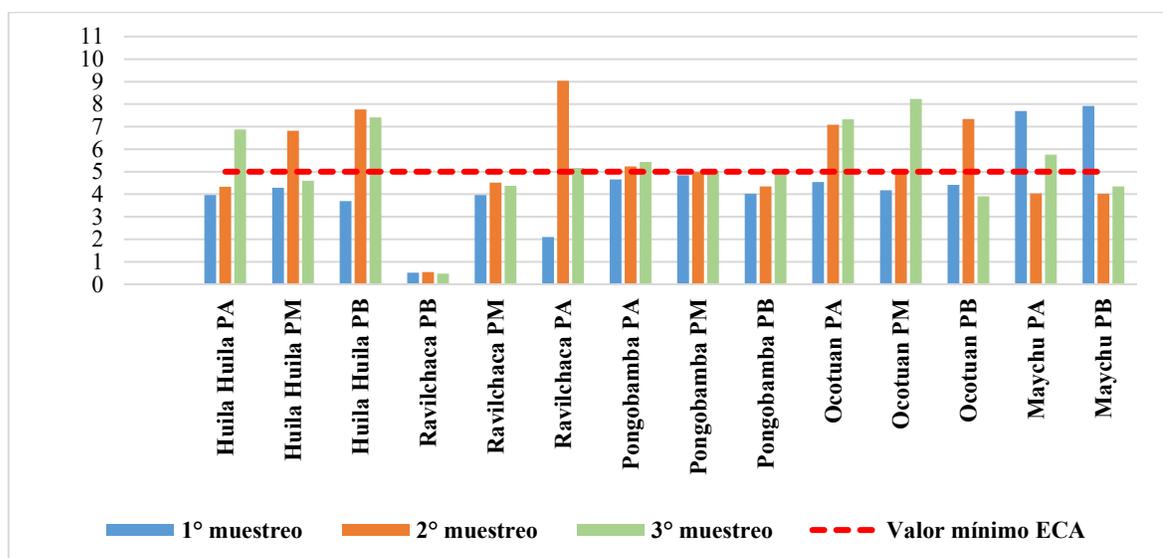
B. OXÍGENO DISUELTO (OD)

En el primer muestreo, como se puede observar en la tabla 28, el valor de OD más alto registrado perteneció al punto de muestreo 14 (Maychu parte baja) el cual es de 7.92 mg/L mientras que el valor más bajo fue registrado en el punto de muestreo 4 (Ravilchaka parte baja) cuyo valor fue 0.51 mg/L. En el segundo muestreo, el valor de OD más alto registrado fue de 9.04 mg/L perteneciente al punto 6 (Ravilchaka parte alta) mientras que el valor más bajo fue de 0.54 mg/L que perteneció al punto 4 (Ravilchaka parte baja); finalmente, el valor más alto de OD en el tercer muestreo era de 8.23 mg/L el cual perteneció al punto 11 (Ocotuan parte media) mientras que el más bajo fue registrado en el punto N° 4 (Ravilchaka parte baja) cuyo valor era 0.47 mg/L.

Respecto a los ECAs, los puntos N° 13 y 14 del primer muestreo, los puntos N° 2,3,6,7,10 y 11 del segundo muestreo y los puntos N° 1,3,6,7,10,11 y 13 del tercer muestreo presentaron valores que eran mayores al valor mínimo establecido por los ECAs (5 mg/L); por lo tanto, tan solo los valores pertenecientes a los puntos mencionados anteriormente, se encuentran dentro de los ECAs establecidos.

Tabla 28: Valores de oxígeno disuelto (OD) obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo

OD (mg/L)	Huila Huila PA	Huila Huila PM	Huila Huila PB	Ravilchaca PB	Ravilchaca PM	Ravilchaca PA	Pongobamba PA	Pongobamba PM	Pongobamba PB	Ocotuan PA	Ocotuan PM	Ocotuan PB	Maychu PA	Maychu PB
1° muestreo	3.96	4.29	3.7	0.51	3.97	2.1	4.66	4.84	4.02	4.54	4.17	4.41	7.7	7.92
2° muestreo	4.33	6.82	7.76	0.54	4.52	9.04	5.24	4.98	4.35	7.08	4.91	7.34	4.04	4.02
3° muestreo	6.88	4.6	7.41	0.47	4.37	5.16	5.43	4.98	4.88	7.33	8.23	3.91	5.76	4.34
ECA	>5													



Fuente: Elaboración propia, análisis de laboratorio realizados por el laboratorio Hidrolab.

Gráfica 5: Valores de oxígeno disuelto (OD) obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo respecto a los ECAs establecidos

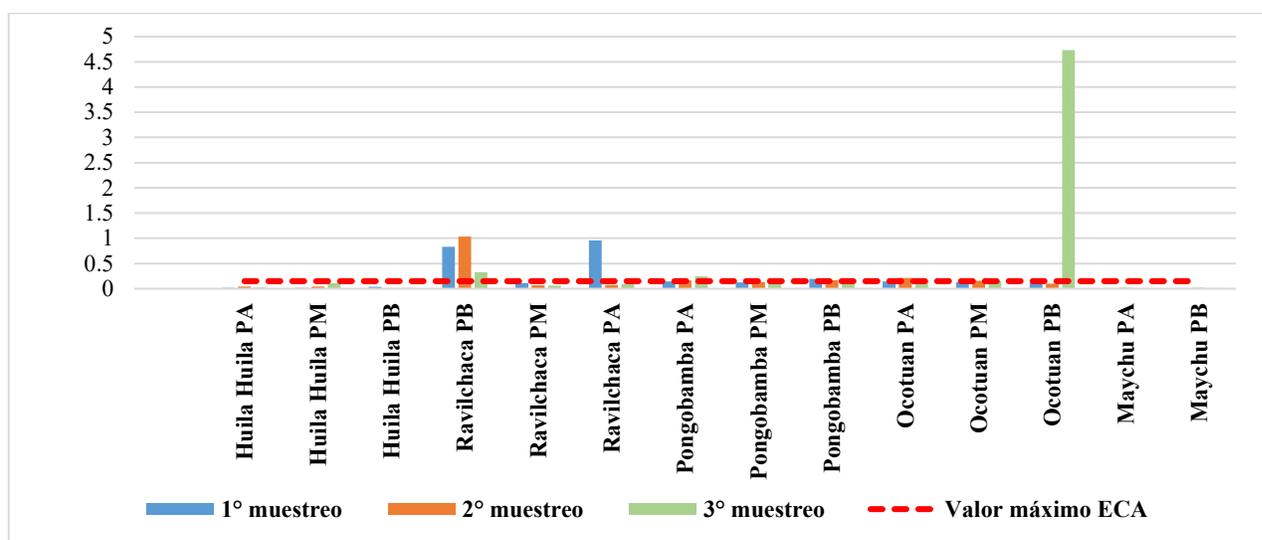
C. FOSFATOS

En la tabla 29 se puede observar que, en el primer muestreo, el valor de fosfatos más alto fue registrado en el punto 6 (Ravilchaca parte alta) el cual es de 0.957 mg/L mientras que el valor más bajo registrado fue de 0.013 mg/L, este valor pertenece al punto 14 (Maychu parte baja). En el segundo muestreo, el valor más alto fue de 1.031 mg/L el cual también pertenece al punto 6 mientras que el valor más bajo fue de 0.012 mg/L perteneciente al punto 3 (Huila Huila parte baja), finalmente, el valor más alto de fosfatos en el tercer muestreo fue de 4.73 mg/L el cual pertenece al punto 12 (Ocotuan parte baja) mientras que el más bajo, al igual que en el primer muestreo, perteneció al punto 14 cuyo valor es 0.011 mg/L.

Se observa en la gráfica 6 que los puntos N° 4,6 y 9 del primer muestreo, los puntos N° 4,7,9,10 y 11 del segundo muestreo y los puntos N° 4,7,8 y 12 del tercer muestreo presentaron valores que fueron mayores al valor máximo establecido por los ECAs (0.15 mg/L); por lo tanto, tan solo los valores pertenecientes a los puntos mencionados anteriormente, sobrepasaron los ECAs establecidos.

Tabla 29: Valores de fosfatos obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo

Fosfatos (mg/L)	Punto de muestreo														
	Huila Huila PA	Huila Huila PM	Huila Huila PB	Ravilchaca PB	Ravilchaca PM	Ravilchaca PA	Pongobamba PA	Pongobamba PM	Pongobamba PB	Ocotuan PA	Ocotuan PM	Ocotuan PB	Maychu PA	Maychu PB	
1° muestreo	0.016	0.02	0.04	0.83	0.11	0.957	0.15	0.12	0.193	0.14	0.13	0.111	0.014	0.01	
2° muestreo	0.044	0.05	0.01	1.03	0.07	0.077	0.16	0.13	0.169	0.21	0.16	0.097	0.019	0.02	
3° muestreo	0.027	0.11	0.02	0.33	0.06	0.092	0.25	0.19	0.146	0.14	0.15	4.73	0.012	0.01	
ECA															0.15



Fuente: Elaboración propia, análisis de laboratorio realizados por el laboratorio Hidrolab.

Gráfica 6: Valores de fosfatos obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo respecto a los ECAs establecidos

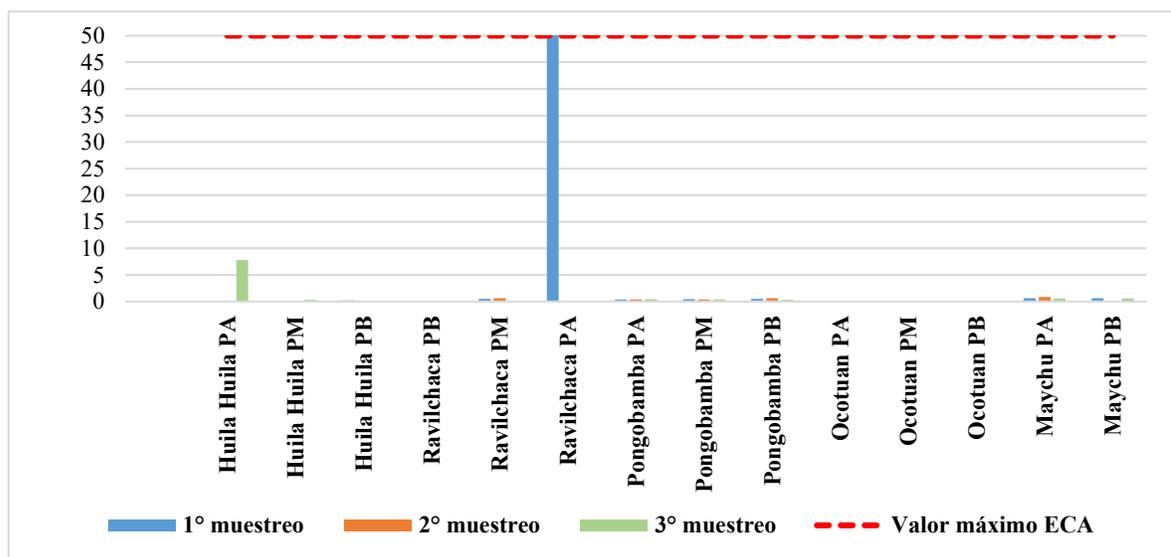
D. NITRATOS

En la tabla 30, se puede observar que en el primer muestreo el valor máximo registrado fue de 412 mg/L (Ravilchaca parte baja) mientras que 0.01 mg/L fue el valor más bajo y fue registrado en la parte alta y media de Ocotuan; sin embargo, en el segundo muestreo, el valor máximo fue de 0.89 mg/L (Maychu parte alta) mientras que el valor mínimo fue de 0.01 (Huila Huila parte alta y media); finalmente, en el tercer muestreo los valores 7.79 mg/L (Huila huila parte alta) y 0.02 mg/L (Ocotuan parte media y baja) fueron los valores máximo y mínimo respectivamente.

Tal como se observa en la gráfica 7, el punto 6 del primer muestreo tiene un valor que fue mayor al valor máximo establecido por los ECAs (50 mg/L); por lo tanto, se encuentra fuera de los ECAs establecidos.

Tabla 30: Valores de nitratos obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo

Punto de muestreo	Huila Huila PA	Huila Huila PM	Huila Huila PB	Ravilchaca PB	Ravilchaca PM	Ravilchaca PA	Pongobamba PA	Pongobamba PM	Pongobamba PB	Ocotuan PA	Ocotuan PM	Ocotuan PB	Maychu PA	Maychu PB
1° muestreo	0.05	0.04	0.19	0.11	0.48	412	0.39	0.47	0.48	0.01	0.01	0.02	0.65	0.63
2° muestreo	0.01	0.01	0.02	0.04	0.62	0.03	0.36	0.37	0.63	0.09	0.07	0.07	0.89	0.05
3° muestreo	7.79	0.31	0.16	0.16	0.13	0.03	0.45	0.36	0.33	0.05	0.02	0.02	0.59	0.57
ECA	50													



Fuente: Elaboración propia, análisis de laboratorio realizados por el laboratorio Hidrolab.

Gráfica 7: Valores de nitratos obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo respecto a los ECAs establecidos

4.2. ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL

4.2.1. ABUNDANCIA

En la tabla 31, en el riachuelo Huila Huila, se registró lo siguiente:

- i. En el primer muestreo, el taxón encontrado en mayor porcentaje en los tres puntos de muestreo fue *Nitzschia** (69.25%, 59.5% y 44.5% respectivamente) seguido por el género *Navicula germanii* para la parte alta y media (12.25% y 17.75% respectivamente) y *Denticula* (35%) para la parte baja.
- ii. En el segundo muestreo, el taxón más representativo en la parte alta, en la parte media y la parte baja fue *Nitzschia** (60.25%, 50.25% y 52.5% respectivamente) seguido por *Navicula germanii* (17.25%, 18.25% y 12% respectivamente).
- i. En el tercer muestreo, los taxones más abundantes en los tres puntos pertenecientes al riachuelo fueron *Nitzschia** (73.5%, 67.5% y 65% respectivamente) seguido por *Navicula germanii* (6%, 17.5% y 8.5% respectivamente).

* No se consideran las especies *Nitzschia dissipata* ni *Navicula germanii* debido a que poseen otros valores de Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V).

Tabla 31: Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V) respecto a la Abundancia (A) de diatomeas en porcentajes obtenidas en Huila Huila

LUGAR: HUILA HUILA TAXONES	S	V	“A” Primer muestreo			“A” Segundo muestreo			“A” Tercer muestreo		
			PA	PM	PB	PA	PM	PB	PA	PM	PB
<i>Nitzschia (otras)</i>	1	1	69.25	59.5	44.5	60.25	50.25	52.5	73.5	67.5	65
<i>Navicula germanii</i>	2	1	12.25	17.75	6.25	17.25	18.25	12	6	17.5	8.5
<i>Navicula (otras)</i>	3	1	6.25	10	2.75	12	9.25	8	4	7.75	3.75
<i>Denticula</i>	5	3	1.5	0.75	35	0	5	11.75	0	0.25	5.25
<i>Ulnaria</i>	3	1	2.75	4.75	0	3.5	8.5	5.75	5.75	0.25	3.75
<i>Cymbella</i>	5	1	3	0	7	0	2.25	2.25	0	0	3.25
<i>Bacillaria</i>	0	0	3	1.5	0	0.5	1.75	2	2.75	0	2.5
<i>Nitzschia dissipata</i>	4	2	0.5	1.75	0.5	1	0.25	0.5	5.25	1.5	2.5
<i>Ephitemia</i>	5	2	0	0	1.5	0	1.25	0.75	0	1.75	3.25
<i>Achnantes</i>	5	1	0.5	0.75	0.5	1	0.75	1	0.25	0.5	1
<i>Diatoma</i>	4	1	0	0.25	0.25	2	0.5	0.25	1.25	0	0
<i>Cocconeis</i>	4	1	0	0.25	0.25	0.25	0.5	1.25	0	0.75	0.5
<i>Gomphoneia</i>	4	2	0	0.5	0.75	0.5	0	1	0	0.75	0
<i>Amphora</i>	3	2	0	0.75	0	0	0	0.25	0.75	0.5	0
<i>Pinnularia</i>	4	3	0	0.75	0	1	0	0.25	0	0	0
<i>Hantzschia</i>	1	3	0.25	0	0.25	0	0.75	0.25	0	0	0
<i>Fragilaria</i>	4	1	0	0.25	0	0	0	0	0	0.5	0.5
<i>Synedra</i>	3	1	0.25	0.25	0	0.25	0	0.25	0	0	0
<i>Diploneis</i>	5	1	0	0	0	0	0	0	0.25	0.25	0.25
<i>Eunotia</i>	5	1	0	0	0.25	0.25	0.25	0	0	0	0
<i>Surirella</i>	3	3	0.5	0	0	0	0	0	0.25	0	0
<i>Gyrosigma</i>	4	3	0	0.25	0	0	0	0	0	0.25	0
<i>Rhoiscopehia</i>	4	1	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0
<i>Neidium</i>	4	3	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	2	2	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0

En el río Ravilchaka, el cual se comporta como efluente, se ha registrado lo siguiente en la tabla 32:

- i. Primer muestreo: El taxón más representativo en los tres puntos de muestreo fue *Nitzschia** (36.5%, 49.8% y 46.5% respectivamente) mientras que el género *Navicula germanii* (19% y 16.5%) fue abundante en la parte baja y media y el género *Diploneis* (10.3%), en la parte alta.
- ii. Segundo muestreo: *Nitzschia** (33% y 37.5%) fue el taxón con mayor porcentaje en la parte baja y en la parte media, *Navicula germanii* (15.25%) era representativo en la parte media y *Melosira* (17.5%) en la parte baja. En la parte alta, el género *Cocconeis* (55.5%) seguido del género *Ephitemia* (8.75%) fueron los taxones más abundantes.
- iii. Tercer muestreo: En la parte baja y en la parte media, el taxón más abundante fue *Nitzschia** (61.25% y 40.75%) seguido por *Navicula germanii* (10.5%, y 10%); sin embargo, en la parte alta, el género más abundante fue *Cocconeis* (65%) seguido de *Ephitemia* (6%).

* No se consideran las especies *Nitzschia dissipata* ni *Navicula germanii* debido a que poseen otros valores de Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V).

Tabla 32: Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V) respecto a la Abundancia (A) de diatomeas en porcentajes obtenidas en Ravilchaca

LUGAR: RAVILCHAKA TAXONES	S	V	"A" Primer muestreo			"A" Segundo muestreo			"A" Tercer muestreo		
			PB	PM	PA	PB	PM	PA	PB	PM	PA
<i>Nitzschia (otras)</i>	1	1	36.5	49.75	48.5	34.5	38.5	5.5	61.75	40.75	61.8
<i>Cocconeis</i>	4	1	1.25	3.25	6	5.25	2	55.5	0.5	8.25	65
<i>Navicula germanii</i>	2	1	19	16.5	7.75	10.75	15.25	1.5	10.5	10	10.5
<i>Diploneis</i>	5	1	18.25	9	10.3	8.25	5.75	1.25	0.75	5.5	0.75
<i>Navicula (otras)</i>	3	1	4.25	6.25	2.75	3.75	5.5	3.75	8	6	8
<i>Ephitemia</i>	5	2	0	0.5	0	3.25	4.25	8.75	1.5	2.5	6
<i>Denticula</i>	5	3	1.25	2	3	1.75	2.5	5.75	0.75	6	2.75
<i>Achnantes</i>	5	1	2.25	1	1.5	0.5	1.25	6	1.75	4.25	5.5
<i>Melosira</i>	3	1	0	0	0	17.5	5	0	0	0	0
<i>Ulnaria</i>	3	1	2.75	2.25	5	0	4.75	0	3	4	0.25
<i>Cyclotella</i>	3	1	7	2	6.25	0.75	1.25	0	0.25	2.25	1
<i>Bacillaria</i>	0	0	1	2.5	1.75	2	2.25	0	5.5	0.5	0
<i>Nitzschia dissipata</i>	4	2	1.75	2.25	0	3.75	2	2	1.75	1.25	0
<i>Cymbella</i>	5	1	1.5	0.75	1.5	3	1.75	0	1	2.25	0.5
<i>Pinnularia</i>	4	3	0	0.75	0.5	0	1	5.25	0	0.5	1.25
<i>Amphora</i>	3	2	1.5	0.25	1.75	0	0.25	2	0.25	0	2.5
<i>Planothidium biporumum</i>	4	1	0	0	0	0	2	0	0	1.75	1.5
<i>Fragilaria</i>	4	1	0	0	0	0.5	0	0.75	2.25	0.5	1
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	2	2	0	0	0	0	1	1.5	0	1.5	0.25
<i>Gomphoneia</i>	4	2	0	0.25	0.75	0.75	1	0	0	0.75	0.25
<i>Rhoiscopehia</i>	4	1	0	0	1.25	0.75	1	0	0	0.25	0
<i>Hantzschia</i>	1	3	0.25	0	0	0	0	0.5	0	0	2.25
<i>Neidium</i>	4	3	0	0.25	0	2	0.25	0	0.25	0	0
<i>Surirella</i>	3	3	0	0.25	0	0.25	1	0	0	0.25	0
<i>Eunotia</i>	5	1	0.25	0.25	0.5	0	0	0	0	0	0
<i>Diatoma</i>	4	1	0	0	0	0.25	0	0	0	0.5	0
<i>Stauroneis</i>	5	2	0	0	0	0.25	0.25	0	0	0.25	0
<i>Frustulia</i>	5	2	0	0	0.25	0	0	0	0.25	0	0
<i>Gomphonema</i>	3	2	0	0	0	0.25	0	0	0	0.25	0
<i>Cymatopleura</i>	4	2	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0
<i>Synedra</i>	3	1	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0

En el río Pongobamba, se han registrado los siguientes valores de abundancia de diatomeas tal como se ve en la tabla 33:

- i. Primer muestreo: El taxón más abundante en la parte alta y en la parte media fue *Diploneis* (40.75% y 22% respectivamente) seguido por el género *Nitzschia** (12.25% y 18.75%) mientras que en la parte baja los taxones más abundantes fueron *Nitzschia** (26.75%) y *Diploneis* (19.25%).
- ii. Segundo muestreo: El taxón con mayor porcentaje en la parte alta, media y baja fue *Diploneis* (46%, 22.3% y 52.25% respectivamente), *Navicula germanii* (7.5% y 12.5%) fue representativo parte alta y media y *Planothidium biporumum* (9 %) en la parte baja.
- iii. Tercer muestreo: Género más abundante (parte alta) fue *Navicula germanii* (24.75%), seguido por el género *Pinnularia* (11.8%); en la parte media, el taxón más abundante fue *Planothidium biporumum* (24.25%) seguido por *Navicula** (13.25%); finalmente, en la parte baja el género con mayor porcentaje fue *Diploneis* (27.5%) seguido por el género *Cocconeis* (22.75%).

* No se consideran las especies *Nitzschia dissipata* ni *Navicula germanii* debido a que poseen otros valores de Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V).

Tabla 33: Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V) respecto a la Abundancia (A) de diatomeas en porcentajes obtenidas en Pongobamba

LUGAR: PONGO BAMB A TAXONES	S	V	"A" Primer muestreo			"A" Segundo muestreo			"A" Tercer muestreo		
			PA	PM	PB	PA	PM	PB	PA	PM	PB
<i>Diploneis</i>	5	1	40.75	22	19.25	46	22.3	52.25	1	19	27.5
<i>Navicula germanii</i>	2	1	12	10	11.5	7.5	12.5	7.75	24.75	10	11.25
<i>Navicula (otras)</i>	3	1	9.25	8.5	9	6.5	10.5	6.75	20	13.25	8.25
<i>Nitzschia (otras)</i>	1	1	12.25	18.75	26.75	3	8.25	7	4.75	7.5	2.25
<i>Cocconeis</i>	4	1	2.75	5.5	0.5	6.5	15	2	6.75	7.25	22.75
<i>Planothidium biporumum</i>	4	1	2.75	3	5.75	6	0.5	9	9.75	24.25	4
<i>Pinnularia</i>	4	3	8.5	3	2.75	6.75	8	6.25	11.8	7.5	2
<i>Achnantes</i>	5	1	0.5	3	2.25	6.75	5.25	3.25	1.5	2	2.5
<i>Amphora</i>	3	2	1.25	5.75	1.75	2	1.25	1.75	3	0.5	2.5
<i>Gomphoneia</i>	4	2	0.25	6	4.75	1	3.75	0.5	1.5	1.25	0
<i>Nitzschia dissipata</i>	4	2	2.5	2.75	3.75	3.25	1.5	1.75	0	1.5	1.75
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	2	2	0	0.25	0.5	1	0.25	0	10.3	0.75	3.5
<i>Rhoiscophenia</i>	4	1	0.25	6.25	0.75	0.75	3.5	0	1.5	1.25	0.5
<i>Ulnaria</i>	3	1	0.75	1.75	2	0	1.25	1	1	1.5	3.25
<i>Bacillaria</i>	0	0	2.25	1.5	4	0	1.25	0	0.25	0.5	1
<i>Surirella</i>	3	3	0.25	0.75	1.25	0	1	0	1.5	0	3.25
<i>Cyclotella</i>	3	1	0	1.25	0.75	0	0.5	0.25	0.5	1.5	0.75
<i>Melosira</i>	3	1	2.5	0	1.25	0	1.5	0	0	0	0
<i>Stauroneis</i>	5	2	0.5	0	1	2.5	0.5	0.5	0	0	0
<i>Fragilaria</i>	4	1	0	0	0.5	0.5	1.25	0	0	0	0
<i>Ephitemia</i>	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.75
<i>Denticula</i>	5	3	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.5
<i>Gomphonema</i>	3	2	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0.25
<i>Neidium</i>	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0
<i>Diatoma</i>	4	1	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0

En el río Ocotuan, como se observa en la tabla 34, se han registrado los siguientes valores:

- i. Primer muestreo: Género con mayor porcentaje en la parte alta, en la parte media y en la parte baja fue *Nitzschia** (29.75%, 32.8% y 43% respectivamente) seguido por *Cyclotella* (17%) en la parte alta, *Diploneis* (15.8%) en la parte media y *Navicula germanii* (11.5%) en la parte baja.
- ii. Segundo muestreo: El taxón con mayor porcentaje en la parte alta, en la parte media y en la parte baja fue *Nitzschia** (23%, 23.5% y 29.75%) seguidos por el género *Cyclotella* (17%) en la parte alta, *Diploneis* (19.25%) en la parte media y *Navicula germanii* y el género *Fragilaria* (9.25%, baja).
- iii. Tercer muestreo: *Cyclotella* (28%) fue el taxón más abundante (parte alta), seguido por *Diploneis* (25%). En la parte media, el taxón más abundante fue *Ulnaria* (20.25%) seguido por *Navicula** (20%). Finalmente, en la parte baja el taxón con mayor porcentaje fue *Nitzschia** (17.5%) seguido por *Navicula germanii* (12.25%).

* No se consideran las especies *Nitzschia dissipata* ni *Navicula germanii* debido a que poseen otros valores de Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V).

Tabla 34: Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V) respecto a la Abundancia (A) de diatomeas en porcentajes obtenidas en Ocotuan

LUGAR: OCOTUAN TAXONES	S	V	"A" Primer muestreo			"A" Segundo muestreo			"A" Tercer muestreo		
			PA	PM	PB	PA	PM	PB	PA	PM	PB
<i>Nitzschia (otras)</i>	1	1	29.75	32.8	43	23	23.5	29.75	4.75	13.25	17.5
<i>Diploneis</i>	5	1	8.75	15.8	8.75	15.5	19.25	9	25	20	6
<i>Cyclotella</i>	3	1	17	15.3	0.5	17	15.75	3.25	28	7	5.75
<i>Navicula germanii</i>	2	1	13.75	14	11.5	8.5	9.75	9.25	5.25	9.75	12.25
<i>Navicula (otras)</i>	3	1	11.5	11.25	9.5	9.25	10.5	7	6.5	10.25	14
<i>Ulnaria</i>	3	1	3.5	2.25	5.75	3	3	5.5	6.75	20.25	17
<i>Nitzschia dissipata</i>	4	2	2.5	1.25	2.75	6	4.5	6.25	0.75	1.75	1.25
<i>Fragilaria</i>	4	1	3.5	2	3	1.25	0	9.25	0	2.5	1.75
<i>Planothidium biporumum</i>	4	1	1.25	0.25	0	5.5	1.5	0.25	7.5	5	1.25
<i>Cocconeis</i>	4	1	0.75	0	0	0.75	0	7.5	7	1.5	3.5
<i>Pinnularia</i>	4	3	2	0.75	4	3.25	3	4.25	1.5	1	0.75
<i>Bacillaria</i>	0	0	0.25	0.5	6.25	1.5	1.25	1.75	0.5	3.75	1.25
<i>Melosira</i>	3	1	0	1	2.5	1.25	0	5	0	0	4
<i>Gomphoneia</i>	4	2	3.75	0.75	1	0	1.5	0	1.75	0.5	2
<i>Amphora</i>	3	2	0.25	0.5	1.5	1.25	1.5	0.5	0.75	1.25	1.5
<i>Achnantes</i>	5	1	0	0.25	2	0	2	0.25	1.25	0.25	1.75
<i>Frustulia</i>	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5.25
<i>Stauroneis</i>	5	2	0.25	1	1	1.5	1	0	0.5	0	0
<i>Pseudostauroneis brevistriata</i>	2	2	0.25	0	0	0	0.5	0	1	0.5	0.5
<i>Cymatopleura</i>	5	3	0	0.5	0	0.25	0	0.5	0	0.75	0.5
<i>Gomphonema</i>	3	2	0	0	0	0.5	0	0	1.25	0	0.75
<i>Rhoiscophenia</i>	4	1	1	0	0	0.25	0.25	0	0	0.25	0.75
<i>Surirella</i>	3	1	0	0	0.25	0.25	0.75	0	0	0	0.75
<i>Diatoma</i>	4	1	0	0	1.5	0	0	0	0	0	0
<i>Denticula</i>	5	3	0	0	0	0	0.25	0.25	0	0.25	0
<i>Neidium</i>	4	3	0	0	0	0	0	0.25	0	0.25	0
<i>Synedra</i>	5	3	0	0	0.25	0.25	0	0	0	0	0
<i>Ephitemia</i>	5	2	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0
<i>Hantzschia</i>	1	3	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0

Finalmente, en el riachuelo Maychu, tal como se ve en la tabla 35, se han registrado los siguientes valores:

- i. Primer muestreo: Los taxones encontrados en mayor porcentaje en la parte alta y baja fue el género *Ulnaria* (22.5% y 20.5% respectivamente) seguido por *Navicula** (14.75%) y *Nitzschia** (14.5%) para la parte alta y para la parte baja, *Nitzschia** (18.5%) y *Navicula** (22.25%).
- ii. Segundo muestreo: Los taxones encontrados en mayor porcentaje en la parte alta fueron los géneros *Ulnaria* (35.75%), *Diatoma* (22%) y *Navicula** (10.5%); en la parte baja el taxón más abundante fue el género *Nitzschia** (21.25%), seguido por *Navicula** (18%) y la especie *Nitzschia dissipata* (11.75%).
- i. Tercer muestreo: En la parte alta, el taxón más abundante fue el género *Nitzschia** (24.25%), seguido por el género *Navicula** (14.25%) y la especie *Planothidium biporumum* (15.75%); finalmente, en la parte baja el taxón más abundante también fue el género *Nitzschia** (20.25%) seguido por la especie *Navicula germanii* (15.75%) y la especie *Nitzschia dissipata* (11.5%).

* No se consideran las especies *Nitzschia dissipata* ni *Navicula germanii* debido a que poseen otros valores de Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V).

Tabla 35: Sensibilidad a la polución (S) y Amplitud ecológica (V) respecto a la Abundancia (A) de diatomeas en porcentajes obtenidas en Maychu

LUGAR: MAYCHU TAXONES	S	V	“A” Primer muestreo		“A” Segundo muestreo		“A” Tercer muestreo	
			PA	PB	PA	PB	PA	PB
<i>Nitzschia (otras)</i>	1	1	14.5	18.5	7.75	21.25	24.25	20.25
<i>Navicula (otras)</i>	3	1	14.75	16	10.5	18	14.25	15
<i>Ulnaria</i>	3	1	22.5	20.5	35.75	1	7	0.75
<i>Navicula germanii</i>	2	1	6	6.5	5	15.25	7.5	15.75
<i>Fragilaria</i>	4	1	5.25	10.75	6.25	15	0	9
<i>Diatoma</i>	4	1	7.5	4.5	22	3.75	0.25	0
<i>Nitzschia dissipata</i>	4	2	2	0.75	2.75	11.75	7.25	11.5
<i>Pinnularia</i>	4	3	6.75	2	2	6.25	1.25	9
<i>Planothidium biporumum</i>	4	1	4.5	2.5	1	2.5	11.25	3.5
<i>Achnantes</i>	5	1	5.75	4.5	0	0.5	9.75	1.25
<i>Diploneis</i>	5	1	4.25	6.25	0	1.25	1.75	4.25
<i>Melosira</i>	3	1	1.75	0	3.5	0	4.5	1.25
<i>Bacillaria</i>	0	0	2.25	1	1.25	0	3	2.75
<i>Amphora</i>	3	2	2.5	2.5	0.5	0	2	0.75
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	2	2	0	0	0	1.25	1.75	1.5
<i>Cocconeis</i>	4	1	0.5	1.5	0	1.5	0.5	0
<i>Gomphoneia</i>	4	2	0	1.25	0	0.5	1	1
<i>Stauroneis</i>	5	2	0.75	0	1.25	0	1.5	0.25
<i>Rhoiscophenia</i>	4	1	0	1	0	0	1.25	1
<i>Cyclotella</i>	3	1	1	0	0	0	0	0.25
<i>Rhopalodia</i>	4	1	0	0	0	0	0	1
<i>Denticula</i>	5	3	0	0	0.5	0	0	0
<i>Hantzschia</i>	1	3	0	0	0	0.25	0	0

4.2.2. SENSIBILIDAD A LA POLUCIÓN (S)

Tomando en cuenta las tablas 31, 32, 33, 34 y 35 y la metodología citada, los valores de sensibilidad a la polución, se asignó tal como se observa en las tablas anteriormente mencionadas. Los valores asignados, son constantes y se encuentran establecidos de acuerdo a la especie encontrada. Ver tabla 17.

4.2.3. AMPLITUD ECOLÓGICA O VARIABILIDAD (V)

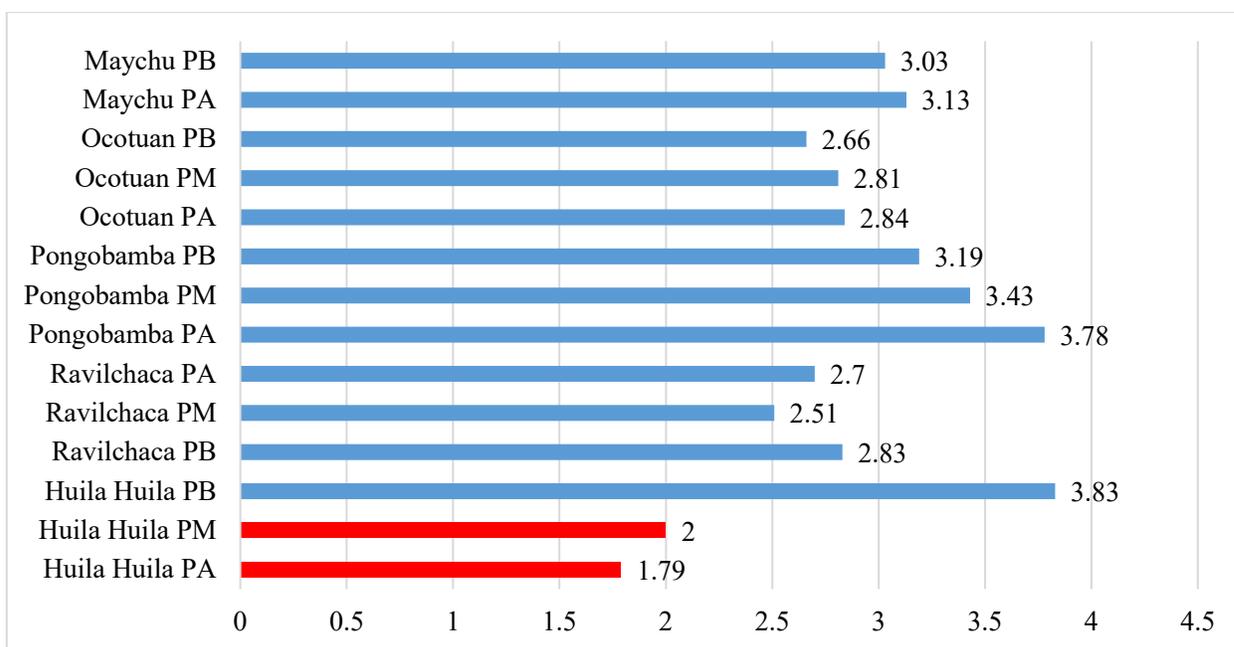
Tomando en cuenta la tabla 17 y la metodología citada, los valores de sensibilidad a la polución, se asignan de acuerdo a las especies encontradas en las tablas 31, 32, 33, 34 y 35, estos son constantes.

4.2.4. ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL (IDG)

Los valores de rojo, tal como se muestra en las tablas 36, 37 y 38, son inferiores a 3. El Índice Diatómico General se da de la siguiente manera:

Tabla 36: Índice Diatómico General (IDG) obtenido por punto de muestreo en el primer muestreo

Punto de muestreo	IDG	Significado
Huila Huila parte alta	1.79	Polución muy fuerte
Huila Huila parte media	2.00	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Huila Huila parte baja	3.83	Polución moderada, eutrofización
Ravilchaca parte baja	2.83	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Ravilchaca parte media	2.51	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Ravilchaca parte alta	2.70	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Pongobamba parte alta	3.78	Polución moderada, eutrofización
Pongobamba parte media	3.43	Polución media
Pongobamba parte baja	3.19	Polución media
Ocotuan parte alta	2.84	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Ocotuan parte media	2.81	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Ocotuan parte baja	2.66	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Maychu parte alta	3.13	Polución media
Maychu parte baja	3.03	Polución media

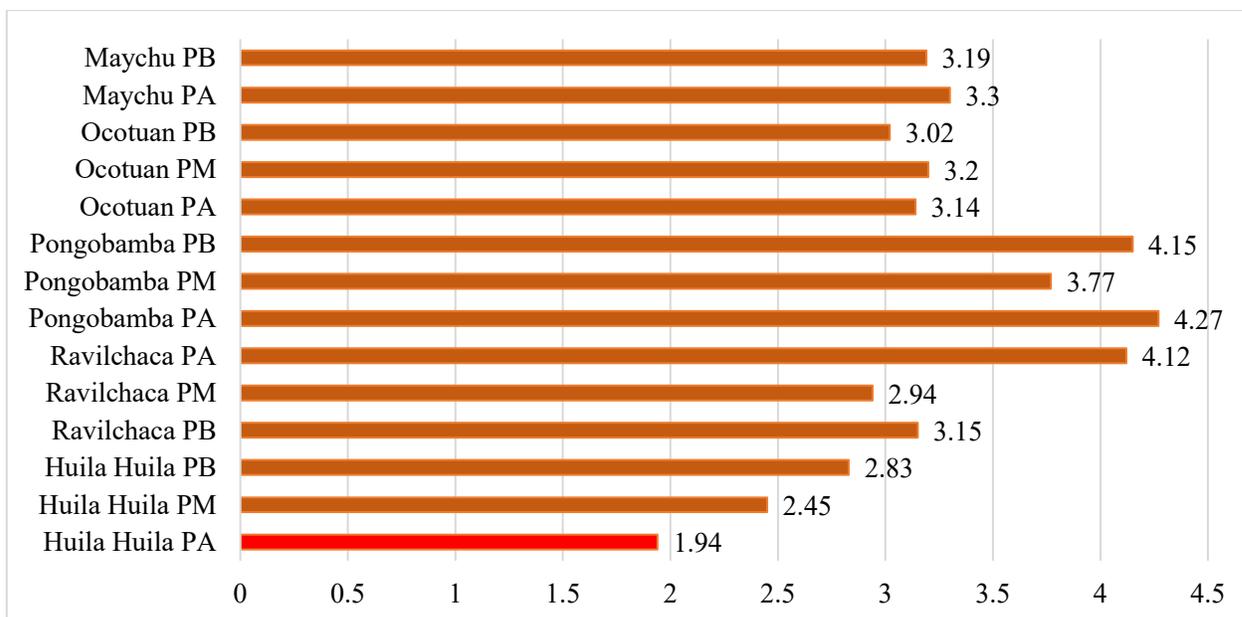


Gráfica 8: Valores del Índice Diatómico General obtenidos en el primer muestreo.

En el primer muestreo, se puede observar, en la tabla 36 y en la gráfica 8, que el valor más alto es el registrado en el punto n°3 (Huila Huila parte baja) cuyo valor es de 3.79 el cual está dentro del rango que indica inicio de eutrofización con polución moderada; mientras que el valor más bajo pertenece al punto N°1 (Huila Huila parte alta) este valor, el cual es 1.67, según la metodología de evaluación utilizada, indica una polución muy fuerte.

Tabla 37: Índice Diatómico General (IDG) obtenido por punto de muestreo en el segundo muestreo

Punto de muestreo	IDG	Significado
Huila Huila parte alta	1.94	Polución muy fuerte
Huila Huila parte media	2.45	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Huila Huila parte baja	2.83	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Ravilchaca parte baja	3.15	Polución media
Ravilchaca parte media	2.94	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Ravilchaca parte alta	4.12	Calidad normal, polución Débil
Pongobamba parte alta	4.27	Calidad normal, polución Débil
Pongobamba parte media	3.77	Polución moderada, eutrofización
Pongobamba parte baja	4.15	Calidad normal, polución Débil
Ocotuan parte alta	3.14	Polución media
Ocotuan parte media	3.20	Polución media
Ocotuan parte baja	3.02	Polución media
Maychu parte alta	3.30	Polución media
Maychu parte baja	3.19	Polución media

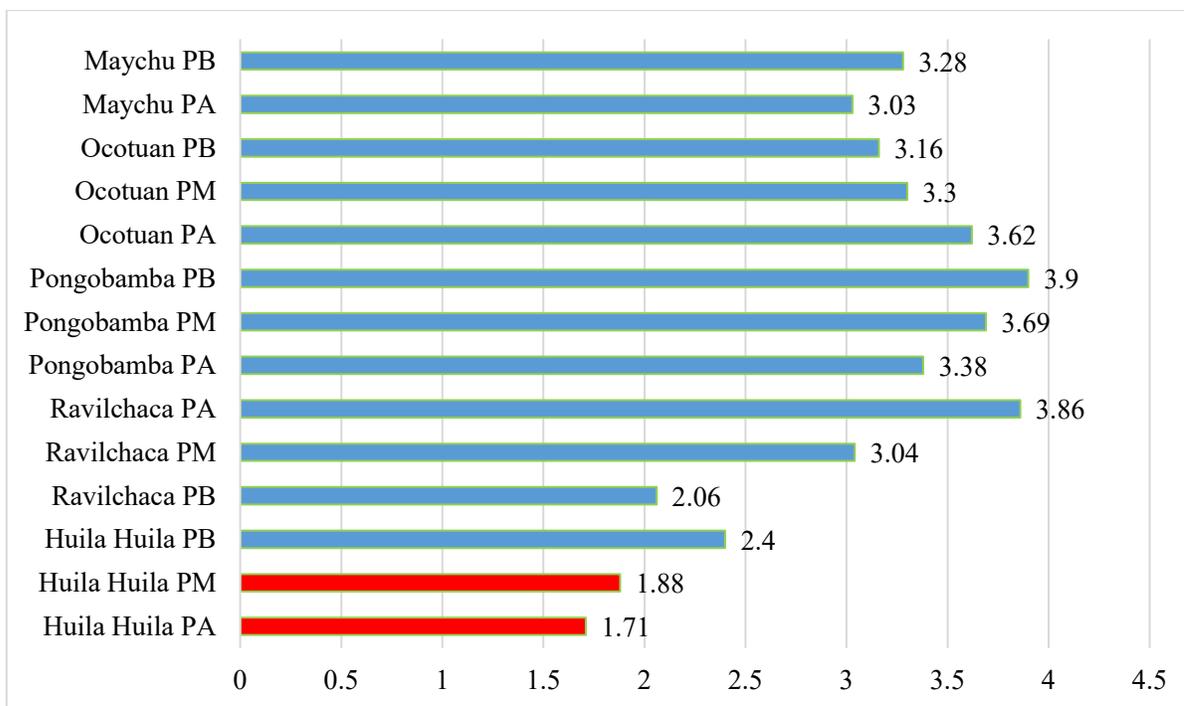


Gráfica 9: Valores del Índice Diatómico General obtenidos en el segundo muestreo.

Tal como se ve en la tabla 37 y en la gráfica 9, el valor más alto del IDG encontrado en el segundo muestreo es el perteneciente al punto N° 7 (Pongobamba parte alta) cuya medida es 4.16, valor que nos indica polución débil con una calidad normal; mientras que el valor más bajo es 1.77 perteneciente al punto 1 (Huila Huila parte alta), este valor indica una polución muy fuerte.

Tabla 38: Índice Diatómico General (IDG) obtenido por punto de muestreo en el tercer muestreo

Punto de muestreo	IDG	Significado
Huila Huila parte alta	1.71	Polución muy fuerte
Huila Huila parte media	1.88	Polución muy fuerte
Huila Huila parte baja	2.40	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Ravilchaca parte baja	2.06	Desaparición de especies sensibles, polución fuerte
Ravilchaca parte media	3.04	Polución media
Ravilchaca parte alta	3.86	Polución moderada, eutrofización
Pongobamba parte alta	3.38	Polución media
Pongobamba parte media	3.69	Polución moderada, eutrofización
Pongobamba parte baja	3.90	Polución moderada, eutrofización
Ocotuan parte alta	3.62	Polución moderada, eutrofización
Ocotuan parte media	3.30	Polución media
Ocotuan parte baja	3.16	Polución media
Maychu parte alta	3.03	Polución media
Maychu parte baja	3.28	Polución media



Gráfica 10: Valores del Índice Diatómico General obtenidos en el tercer muestreo.

En la tabla 38 y en la gráfica 10, pertenecientes al tercer muestreo, se puede observar que el valor más alto es de 3.83 el cual pertenece al punto 6 (Ravilchaca parte alta) el cual evidencia una polución moderada con eutrofización presente; mientras que el valor más bajo corresponde al punto 1 (Huila Huila parte alta) y es de 1.65, este valor indica una polución muy fuerte.

4.3. CORRELACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL Y LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA

4.3.1. PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA DETERMINAR SIGNIFICANCIA

A. PRUEBA DE SHAPIRO-WILK

Los resultados de la prueba de Shapiro–Wilk para determinar si las muestras por río o riachuelo tienen una distribución normal o no, se da en la siguiente tabla:

Tabla 39: Prueba de Shapiro-Wilk por fecha de muestreo para los valores obtenidos del Índice Diatómico General (IDG) obtenidos de cada río de la Laguna de Piuray

Río/Riachuelo		Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo
Huila Huila	N	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	0.8063	0.9977	0.8166
	p(normal)	0.1295	0.9082	0.1547
Ravilchaca	N	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	0.9643	0.8979	0.9991
	p(normal)	0.6369	0.3789	0.9414
Pongobamba	N	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	0.9918	0.8823	0.8073
	p(normal)	0.8264	0.3312	0.1321
Ocotuan	N	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	0.9643	0.794	0.9694
	p(normal)	0.6369	0.1001	0.6642
Maychu	N	2	2	2
	Shapiro-Wilk W	1	1	1
	p(normal)	1	1	1

En esta tabla 50, se observa que todos los valores p (normal) son mayores a 0.05 lo cual indica que en todos los datos por río o riachuelos existe una distribución normal en todas las fechas de muestreo.

Tabla 40: Prueba de Shapiro-Wilk por fecha de muestreo para los valores obtenidos de los parámetros físicos obtenidos de cada río de la Laguna de Piuray

Río/Riachuelo		Temperatura (C°)			Conductividad (μS/cm)			Turbidez (NTU)			Sólidos disueltos totales (mg/L)		
		Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo	Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo	Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo	Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo
Huila Huila	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	0.871	0.9179	0.9046	0.8929	0.871	0.893	0.925	0.817	0.798	0.923	0.964	0.980
	p(normal)	0.2983	0.4451	0.4003	0.3631	0.298	0.363	0.471	0.155	0.108	0.463	0.637	0.727
Ravilchaca	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	0.9985	0.9845	0.9976	0.9947	0.75	0.893	0.978	0.767	0.824	0.997	0.823	0.876
	p(normal)	0.9265	0.7615	0.9056	0.8609	0	0.363	0.718	0.038	0.172	0.891	0.171	0.314
Pongobamba	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	0.9423	0.8523	0.8627	0.792	0.934	0.792	0.832	0.820	0.803	0.953	0.794	0.893
	p(normal)	0.5367	0.2466	0.2749	0.0956	0.50	0.094	0.194	0.163	0.122	0.583	0.100	0.363
Ocotuan	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	1	0.9084	0.8929	0.8421	0.898	0.76	0.840	0.801	0.755	0.75	0.883	0.868
	p(normal)	1	0.4128	0.3631	0.2196	0.378	0.021	0.214	0.117	0.011	0	0.333	0.291
Maychu	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Shapiro-Wilk W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	p(normal)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Lo que se puede observar en la tabla 51 es que los valores con negrita de p (normal) son menores a 0.05, por lo tanto, podemos decir que estas muestras no tienen una distribución normal. Los valores menores a 0.05 pertenecen a los ríos Ravilchaca (Conductividad y Turbidez) y Ocotuan (Conductividad, Turbidez y Sólidos disueltos totales).

Tabla 41: Prueba de Shapiro-Wilk por fecha de muestreo para los valores obtenidos de los parámetros químicos obtenidos de cada río de la Laguna de Piuray

Río/Riachuelo		pH			Oxígeno disuelto (mg/L)			Fósforo total (mg/L)			Nitratos (mg/L)		
		Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo	Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo	Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo	Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo
Huila Huila	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	0.923	0.9964	0.9964	0.995	0.936	0.886	0.871	0.773	0.8	0.80	0.75	0.765
	p(normal)	0.463	0.8861	0.8861	0.869	0.513	0.341	0.298	0.051	0.115	0.114	0	0.033
Ravilchaca	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	0.774	0.9996	0.9996	0.998	0.999	0.872	0.859	0.756	0.829	0.751	0.764	0.912
	p(normal)	0.054	0.962	0.962	0.911	0.93	0.302	0.266	0.012	0.186	0.002	0.031	0.424
Pongobamba	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	0.969	0.9887	0.7687	0.905	0.946	0.881	0.956	0.852	0.992	0.832	0.78	0.923
	p(normal)	0.659	0.7966	0.0418	0.402	0.550	0.328	0.597	0.246	0.833	0.194	0.062	0.463
Ocotuan	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Shapiro-Wilk W	0.973	0.8349	0.8653	0.971	0.829	0.898	0.945	0.99	0.751	0.75	0.75	0.75
	p(normal)	0.683	0.201	0.282	0.675	0.186	0.38	0.546	0.981	0.002	0	0	0
Maychu	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Shapiro-Wilk W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	p(normal)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Se observa en la tabla 52 que los valores con negrita de p (normal) son menores a 0.05, por lo tanto, podemos decir que estas muestras no tienen una distribución normal. Los valores menores a 0.05 pertenecen a los ríos Ravilchaca, Huila Huila y Ocotuan (Fosfatos y Nitratos) y a Pongobamba (pH).

B. PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA PARA LAS FECHAS DE MUESTREO POR AFLUENTE

En la tabla 53, se puede observar que no todas las diferencias entre las medias de los muestreos por río no son significativas. Los valores de p (normal) son menores a 0.05 por lo cual, indican que las diferencias entre las medias son significativas, tal como se puede ver en casi todos los valores p (normal) de temperatura, y en al menos uno de los valores p (normal) de IDG, conductividad, sólidos disueltos totales, pH, oxígeno disuelto, fosfatos y nitratos.

Tabla 42: Pruebas de significancia para fechas de muestreo de los parámetros obtenidos de cada afluente de la Laguna de Piuray

Parámetro		Huila Huila	Ravilchaka	Pongobamba	Ocotuan	Maychu
	N	3	3	3	3	2
IDG	Prueba	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA
	p(normal)	0.696	0.423	0.116	0.011	0.791
Temperatura	Prueba	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA
	p(normal)	0.0032	0.0264	0.0247	1.88E-05	0.128
Conductividad	Prueba	ANOVA	Kruskall- Wallis	ANOVA	Kruskall- Wallis	ANOVA
	p(normal)	0.001	0.358	0.367	0.561	0.0027
Turbidez	Prueba	ANOVA	Kruskall- Wallis	ANOVA	Kruskall- Wallis	ANOVA
	p(normal)	0.87	0.74	0.461	0.172	-
Sólidos Disueltos Totales	Prueba	ANOVA	ANOVA	ANOVA	Kruskall- Wallis	ANOVA
	p(normal)	2.26E-05	0.9296	0.5249	0.249	0.2927
pH	Prueba	ANOVA	ANOVA	Kruskall- Wallis	ANOVA	ANOVA
	p(normal)	0.309	0.335	0.441	0.386	0.005
Oxígeno Disuelto	Prueba	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA
	p(normal)	0.128	0.62	0.269	0.233	0.016
Fosfatos	Prueba	ANOVA	Kruskall- Wallis	ANOVA	Kruskall- Wallis	ANOVA
	p(normal)	0.5854	0.393	0.398	0.252	0.046
Nitratos	Prueba	Kruskall- Wallis	Kruskall- Wallis	ANOVA	Kruskall- Wallis	ANOVA
	p(normal)	0.038	0.432	0.63	0.033	0.89

4.3.2. CORRELACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL Y LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA

4.4.2.1. CORRELACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL Y LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA

Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk nos indica que, para correlacionar las distintas variables, debemos utilizar el coeficiente de Spearman.

Tal como se observa en la tabla 54, la correlación IDG- parámetros físicos y químicos en el primer muestreo se ha registrado una correlación media y negativa entre el IDG y la Turbidez; sin embargo, se ha registrado correlaciones medias de fosfatos-temperatura, oxígeno disuelto-turbidez y una correlación fuerte nitratos-pH, todas son negativas.

Tabla 43: Matriz de correlación IDG- Calidad física y química utilizando Rho de Spearman (valores p) en el primer muestreo.

Variables	IDG	Temperatura	Conductividad	Turbidez	Sólidos disueltos totales	pH	Oxígeno Disuelto	Fosfatos	Nitratos
IDG	—								
Temperatura	0.470	—							
Conductividad	0.387	0.994	—						
Turbidez	0.019	0.451	0.223	—					
Sólidos disueltos totales	0.517	0.298	0.387	0.976	—				
pH	0.875	0.098	0.765	0.622	0.337	—			
Oxígeno Disuelto	0.193	0.527	0.445	0.014	0.277	0.642	—		
Fosfatos	0.771	0.011	0.976	0.482	0.589	0.708	0.094	—	
Nitratos	0.340	0.588	0.130	0.671	0.828	<.001	0.759	0.958	—

En el segundo muestreo, como se puede observar en la tabla 55, existe una correlación positiva media entre el IDG y los nitratos, también existe una correlación muy fuerte positiva entre los sólidos disueltos totales y la conductividad y una correlación positiva fuerte entre el oxígeno disuelto y el pH.

Tabla 44: Matriz de correlación IDG- Calidad física y química utilizando Rho de Spearman (valores p) en el segundo muestreo.

Variables	IDG	Temperatura	Conductividad	Turbidez	Sólidos disueltos totales	pH	Oxígeno Disuelto	Fosfatos	Nitratos
IDG	—								
Temperatura	0.064	—							
Conductividad	0.353	0.799	—						
Turbidez	0.232	0.934	0.722	—					
Sólidos disueltos totales	0.391	0.797	< .001	0.799	—				
pH	0.697	0.322	0.119	0.688	0.151	—			
Oxígeno Disuelto	0.928	0.627	0.156	0.109	0.209	0.001	—		
Fosfatos	0.054	0.075	0.946	0.572	0.988	0.615	0.916	—	
Nitratos	0.019	0.141	0.828	0.875	0.834	0.382	0.395	0.283	—

En el tercer muestreo, como se puede observar en la tabla 56, no se registraron correlaciones significativas entre el IDG y los parámetros físicos y químicos; sin embargo, se han encontrado también se han encontrado correlaciones entre fuertes y muy fuertes positivas entre la turbidez y la temperatura, entre los sólidos disueltos totales y la conductividad y entre el oxígeno disuelto y el pH, también se encontraron correlaciones fuertes negativas entre los nitratos y la temperatura y los nitratos y la turbidez.

Tabla 45: Matriz de correlación IDG- Calidad física y química utilizando Rho de Spearman (valores p) en el tercer muestreo.

Variables	IDG	Temperatura	Conductividad	Turbidez	Sólidos disueltos totales	pH	Oxígeno Disuelto	Fosfatos	Nitratos
IDG	—								
Temperatura	0.674	—							
Conductividad	0.799	0.899	—						
Turbidez	0.940	0.018	0.881	—					
Sólidos disueltos totales	0.637	0.823	< .001	0.594	—				
pH	0.554	0.229	0.102	0.235	0.205	—			
Oxígeno Disuelto	0.719	0.905	0.349	0.620	0.382	0.016	—		
Fosfatos	0.512	0.413	0.964	0.199	0.880	0.473	0.341	—	
Nitratos	0.288	0.022	0.387	0.003	0.193	0.412	0.970	0.117	—

4.4.2.2. CORRELACIÓN DEL TOTAL DE TAXONES Y LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

En la tabla 57, se ha registrado una correlación significativa fuerte de comportamiento negativo en el primer muestreo entre el total de taxones y la temperatura; sin embargo en los otros muestreos, no se ha registrado alguna correlación significativa.

Tabla 46: Matriz de correlación Total de taxones- Calidad física y química utilizando Rho de Spearman (valores p)

Variable: Total Taxones	Primer Muestreo	Segundo Muestreo	Tercer Muestreo
IDG	0.589	0.528	0.177
Temperatura	0.004	0.650	0.346
Conductividad	0.800	0.147	0.157
Turbidez	0.939	0.197	0.907
Sólidos disueltos totales	0.180	0.118	0.262
pH	0.580	0.886	0.128
Oxígeno Disuelto	0.442	0.650	0.106
Fosfatos	0.103	0.204	0.474
Nitratos	0.507	0.874	0.106

4.4. DISCUSIÓN

4.4.1. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

4.4.1.1. PARÁMETROS FÍSICOS

A. TEMPERATURA

Las temperaturas reportadas en los ríos tributarios de la laguna de Piuray, no se encuentran en su totalidad en el rango de valores de temperatura descritos en la investigación realizada por Cruz el cual estaba entre 9.9 °C a 19.8 °C; no obstante, el rango de valores si coincide con los hallados por Machuca, López & Castillo y Baylón & Colaboradores que registran rangos entre 9,4 a 30,2 °C y entre 10.6 °C y 19°C respectivamente. En Cuanto a Gonzáles Silva y Cavero Arana & Manrique Carhuas (11,3 a 13,5 °C), no todas se encuentran dentro de estos rangos. Nuestros resultados no coinciden con los resultados obtenidos por Mac Donagh & Colaboradores, ni con los de Echeveria (media de temperatura en invierno es de 7 °C y 24,5 °C respectivamente). Estas variaciones podrían deberse a dos factores: La hora de toma de muestra y las temperaturas ambientes. Otros factores a considerar son las precipitaciones, la humedad y la sequía (Novais et al., 2020; Rodriguez et al., 2010; Sun et al., 2022) los cuales, en caso de esta investigación, tienen valores críticos e influyen en la temperatura del agua.

B. CONDUCTIVIDAD

Los resultados obtenidos en el primer, segundo y tercer muestreo en cada río/riachuelo se encuentran dentro del rango de los valores obtenidos por Celekli & colaboradores, de Gonzáles Silva, de Echeveria, de Mac Donagh & Colaboradores y de Piccardo Antunez quienes obtuvieron un rango de conductividad entre 64 a 723 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (S2), entre 39.1 a 709.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, entre 236 a 589 $\mu\text{S}/\text{cm}$, entre 260 a 2298 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y entre 28 a 593 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente. Sin embargo, no coinciden con Machuca, López & Castillo (880 y 9630 $\mu\text{S}/\text{cm}$.). La conductividad, se ve influida por la distancia de los ríos y las actividades humanas tales como la agricultura, en especial el proceso de riego; también tiene relación con la geología, la evaporación y el clima (Rodriguez et al., 2010; Çetin et al., 2021). Sin embargo, en esta investigación no se vio reflejado el anterior enunciado; aunque también los valores de conductividad más bajos, son aquellos que se obtuvieron en los caudales más bajos.

C. TURBIDEZ

Algunos valores de turbidez son superiores al rango obtenido por Cruz (0.51 a 19.1 NTU). Sólo los resultados obtenidos en el Río Pongobamba coinciden con los hallazgos obtenidos por Mac Donagh & Colaboradores (15 a 74,2 NTU). Los valores obtenidos en el riachuelo Maychu coinciden con los valores obtenidos por Piccardo Antunez (0 a 35.73 NTU); Echeveria (2,03 a 5,3 NTU) y Cavero Arana & Manrique Carhuas (0,35 a 2 NTU). Esto podría deberse a la presencia de actividad agrícola aledaña y a el lavado de suelos que se da naturalmente. Los valores de turbidez más elevados (Huila Huila, Ravilchaka y Ocotuan) se dieron debido a las actividades humanas determinantes (Çetin et al., 2021). Otros factores externos observados en nuestra investigación fueron los caudales registrados y la sequía presente en los muestreos, la cual redujo de manera considerable los caudales. Estos factores pueden influir de manera negativa en los parámetros medidos (Novais et al., 2020; Rodriguez et al., 2010; Sun et al., 2022).

D. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Los valores obtenidos en el presente estudio, no se encuentran dentro del rango de los hallazgos Machuca s de López & Castillo (432 a 4722 mg/L) y Piccardo Antunez (0.79 a 38.60 mg/L). Estos valores se ven influidos por las actividades agrícolas, tanto sus procesos como sus desechos (Çetin et al., 2021). En caso se la investigación, se han observado actividad agrícola y ganadera considerable, incluso se encontraron desechos orgánicos tanto en las riberas, así como dentro del agua, otro factor que hay que considerar son los caudales registrados, al tener valores bajos, hizo que los sedimentos se acentuaran con más facilidad.

4.4.1.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

A. pH

Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por Cruz (7 a 9.1) y Machuca, López & Castillo (7 a 9,5), mientras que Gonzáles Silva y Cavero Arana & Manrique Carhuas obtuvieron valores neutros. Sin embargo, no todos los valores se encuentran dentro de los rangos obtenidos por Baylón & Colaboradores (2.4 y 8.11), Echeveria (7,3 a 9,21), Mac Donagh & Colaboradores (9). La razones por las cuales el pH posee tanta variabilidad es debido a las actividades biológicas y el ciclo del carbono (Mallqui, 2015); sin embargo, en la presente investigación no hubo una gran diferencia de pH, debido probablemente a que el aporte de nutrientes no es muy significativo, lo cual hace que las diferencias entre las actividades biológicas de cada río, no sea muy significativa.

i. OXÍGENO DISUELTO

No todos los valores de oxígeno disuelto se encuentran dentro del rango de valores obtenido por Cruz (3.2 mg/L a 8.3 mg/L) tampoco coinciden con el rango de valores obtenido en las investigaciones de Celekli & colaboradores (7.5 a 8.8 mg/L), Piccardo Antunez (2.52 y 11.40 mg/L), Gonzáles Silva (7.27 a 7.92 mg/L) y Cavero Arana & Manrique Carhuas (superior a 5 mg/L). El oxígeno disuelto se ve influenciado por el caudal, la actividad biológica producto del aporte de nutrientes y la presencia de comunidades de plantas que compiten por el (Gonzales, 2019) además, se indica que el OD tiene valores críticos en caudales bajos (Mallqui, 2015), en caso de nuestra investigación, se ha observado caudales bajos, aporte de nutrientes por parte de actividades humanas con procesos de eutrofización y presencia de plantas acuáticas, coincidente con los anteriores enunciados.

ii. FOSFATOS

El rango de fosfatos obtenido no es el mismo obtenido por Cruz (entre 0 a 0.13 mg/L), no todos los valores obtenidos se encuentran dentro del rango obtenido por Mac Donagh & Colaboradores (0.189 a 0.222 mg/L) ni de Piccardo Antúnez (0.014 a 0.514 mg/L); no obstante, si coinciden con el rango obtenido por Celekli & colaboradores (<10 mg/L); Los nutrientes fosfatados en muchos casos son producto del aporte de ciertas actividades humanas o los desechos orgánicos (Celekli et al., 2021), en la presente investigación se ha observado agricultura (producción de papa, en la cual se utilizan fertilizantes organofosforados) y ganadería (En la cual se producen desechos orgánicos) en las riberas de los ríos o riachuelos objeto de estudio, no obstante, también debemos considerar los bajos caudales y la sequía que hace que los nutrientes sedimenten más rápido.

iii. NITRATOS

Algunos de los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de nitratos obtenido por Cruz (0 mg/L a 1.03 mg/L), del obtenido por Piccardo Antúnez (0.43 a 1.24 mg/L) y del obtenido por González Silva (1 a 9.9 mg/L). El nitrógeno está presente en las estructuras de moléculas orgánicas tales como los aminoácidos y ácidos nucleicos, muchos de estos, durante su proceso de descomposición, son liberados al agua, generando compuestos como los nitritos y nitratos (Pacheco Ávila et al., 2002; Ramírez & Viña, 1998); sin embargo, también existe aporte de nutrientes por parte de las actividades antrópicas, los desechos orgánicos y los procesos de eutrofización por parte de las actividades biológicas, influyen en el valor de nitratos (Piccardo, 2020). En la presente investigación, se ha observado actividades humanas tales como la agricultura y la ganadería, así como procesos de eutrofización en algunos puntos debido al aporte de nutrientes y al estancamiento producto de los caudales bajos.

4.4.2. ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL

i. ABUNDANCIA

La abundancia de especies coincide con los hallazgos de Mendoza & Colaboradores como es el caso del río Rivilchaca en el que los géneros *Nitzschia* y *Navícula* son los más representativos (91.37% y 7.79% respectivamente). Sin embargo, no coinciden con los resultados obtenidos en el río Huila Huila en el que el género *Navícula* (96.3%); tampoco coincide con los datos hallados en Pongobamba, en el que el género más representativo es *Nitzschia* (63.25%), *Rhoicosphenia sp.* (16.5%). Tampoco coincide con los hallazgos en el río Ocotuan en el que el género más abundante es *Navícula* (93.55%), finalmente, no coincide con los hallazgos del río Maychu, en el cual, el género *Nitzschia* es el más abundante (72.55%). Tampoco coincide con los datos hallados por Rosas & Miranda, que indican que en el mes de julio del año que realizaron la investigación; en los ríos Huila Huila, Rivilchaca, Pongobamba y Maychu el género *Synedra* es el género dominante y en el río Ocotuan, el género *Amphora*. Los resultados de abundancia obtenidos, están influidos por factores físicos, químicos y ecológicos, la dominancia de ciertas especies está influida por ciertos parámetros, por ejemplo, la especie *Diatoma Vulgaris* es considerada como indicadora de buena calidad, especies pertenecientes a los géneros *Cocconeis*, *Diatoma*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Melosira* y *Ulnaria* y los géneros *Nitzschia* y *Navícula* son características de aguas salobres con contaminación orgánica (Mallqui, 2015), esto se ha corroborado en la presente investigación.

ii. ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL

No todos los datos obtenidos en el presente estudio, coinciden con los obtenidos en la investigación de Machuca, López & Castillo y Toro (2,73 a 4,43), Mac Donagh & Colaboradores y por Echeveria (1.79 a 3.48), Cavero Arana & Manrique Carhuas (2,21 a 4,69). En el ámbito local, los datos no coinciden del todo con el rango de valores obtenidos por Cajavilca Barrios (3.47 a 4.17), Baylón & Colaboradores (2.71 a 4.61). La abundancia de ciertos géneros y especies nos indican la dominancia de ciertas condiciones: Géneros o especies más abundantes como *Nitzschia*, *Navicula germainii*, son indicadoras de alta contaminación y tienen valores bajos de sensibilidad a la polución y variabilidad (valores de IDG bajos) (Baylón et al., 2018). Mientras que si los géneros más abundantes son especies con puntuaciones de sensibilidad a la polución y variabilidad de media a alta (*Diploneis*, *Cyclotella*, etc.), los valores de IDG son más altos. Esto se comprueba en la presente investigación.

4.4.3. CORRELACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO Y LA CALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA

i. RELACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL Y LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Los compuestos de nitrógeno, son factores que influyen tanto de manera positiva, como de manera negativa en el desarrollo de las comunidades de diatomeas, dependiendo de la cantidad presente. La turbidez por su parte, condiciona la cantidad de luz que recibe un ecosistema acuático, sin embargo, en ciertos casos, pueden ser indicadoras de eutrofización (Inca, 2014; Inyang & Wang, 2020; Sun et al., 2022; Çetin et al., 2021) aunque también debemos considerar factores externos tales como la temperatura ambiental, el caudal y la sequía (Sun et al., 2022). En caso de nuestra investigación se observaron temperaturas ambientales medias, caudales bajos y sequía lo cual afecta de manera negativa la correlación entre el IDG y los parámetros físicos y químicos.

También se encontraron correlaciones entre el fosfato y la temperatura (Rho de Spearman = -0.656), entre el oxígeno disuelto y la turbidez (Rho de Spearman = -0.641), entre los nitratos y el pH (Rho de Spearman = -0.789) en el primer muestreo. En el segundo muestreo se encontraron correlaciones entre la conductividad y los sólidos disueltos totales (Rho de Spearman = 0.986) y entre el pH y el oxígeno disuelto (Rho de Spearman = 0.768). Finalmente, en el tercer muestreo se encontraron correlaciones entre la turbidez y la temperatura (Rho de Spearman = 0.619); sólidos disueltos totales y la conductividad (Rho de Spearman = 0.947); oxígeno disuelto y el pH (Rho de Spearman = 0.629); nitratos y la temperatura (Rho de Spearman = -0.605) y entre los nitratos y la turbidez (Rho de Spearman = -0.730).

Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Pérez, que encontró que la conductividad eléctrica presenta una correlación fuerte con el OD ($r^2 = 0,741$) y Mallqui, que encontró que el OD baja a medida que aumenta la temperatura. Una correlación fuerte entre la Conductividad-OD es evidencia que la causa de la conductividad es la presencia de sales de origen orgánico (Pérez-Pompa et al., 2012). El conjunto de residuos orgánicos que se vierten en el agua, son descompuestos por bacterias aeróbicas y cuando estos desechos están en exceso, no se permite la existencia de ciertas comunidades biológicas ya que los niveles de OD son más críticos (Mallqui, 2015). Esto se ha corroborado en la presente investigación.

ii. RELACIÓN DEL TOTAL TAXONES Y LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

En la presente investigación se obtuvo tan solo una correlación significativa entre el Total de taxones y la Temperatura en el primer muestreo (Rho de Spearman = -0.711); este hallazgo, no coincide con los resultados obtenidos en la investigación realizada por Jakovljevi & colaboradores que indican que encontraron una correlación significativa entre el total de taxones y la conductividad, algo que no se encontró en la presente investigación. Tampoco coincide con Baylón & Colaboradores (R=0.55), ni con Mena (fosfatos, R=0,91), que indican que el pH, la conductividad y los componentes fosfatados presentó alta correlación con la comunidad fitoplanctónica.

Nuestros hallazgos coinciden con Baylón & Colaboradores, que indica que la temperatura también presenta una correlación ligeramente positiva ($R^2=0.51$); además, encontraron una correlación significativa con la conductividad eléctrica ($R^2=0.74$). Yovera obtuvo una correlación media entre el total de especies y la temperatura del agua (R= 0,570); también indica que no hay correlación entre el total de especies encontradas y el pH. Inyang encontró que todos los taxones de especies se correlacionaron positivamente con la temperatura del agua ($r = 0.376$); sin embargo, también registró una correlación con los TDS (R = -0.431), esto último no coincide con lo obtenido en la investigación, respecto a lo que indica Nardelli & colaboradores, la mayor riqueza de especies estuvo en estado oligotrófico, lo cual coincide con la presente investigación.

Algunas investigaciones indican que parámetros que influyen en la distribución de diatomeas son el pH, y la presencia de nutrientes (Mallqui, 2015), así como la relación del OD con la riqueza de especies y la abundancia también es baja, respecto al pH, este es un factor en la diversidad de casi todas las comunidades, sin embargo en las comunidades fitoplanctónicas no influye en su dinámica (Inca, 2014). La conductividad puede tener relación ya que al aumentar la evaporación, aumenta las concentraciones de iones disueltos con lo cual podría jugar un papel importante en la estructuración de las comunidades diatómicas (Çetin et al., 2021), todo esto, salvo lo último, no se ha observado en la presente investigación, quizá debido a la existencia de factores tales como la temperatura ambiental y la sequía los cuales son factores limitantes (Sun et al., 2022).

CONCLUSIONES

1. En los tres muestreos, de todos los valores de parámetros físicos y químicos en los afluentes de la laguna de Piuray, tan solo todos los valores de conductividad y de sólidos totales disueltos se encuentran dentro del rango de los valores permitidos por los ECAs en el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM (Categoría 1-Subcategoría A-A2- Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional). En todos los afluentes estudiados, al menos uno de estos parámetros está fuera del rango de valores permitidos por los ECAs; por lo tanto, aceptamos la hipótesis de que los valores de los parámetros físicos y químicos del agua en los afluentes de la laguna de Piuray, no se encuentran dentro del rango de valores permitidos por los ECAs. Con esta afirmación, decimos que estas aguas NO son aptas para ser catalogadas como aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
2. De todos los valores obtenidos del Índice Diatómico General (IDG) en los afluentes de la laguna de Piuray, se han observado resultados inferiores a 3 en el riachuelo Huila Huila, en el río Ravilchaka y en menor proporción, en el río Ocotuan, con estas afirmaciones aceptamos, para los afluentes mencionados con anterioridad, la hipótesis de que los valores del Índice Diatómico General de estos afluentes son menores a tres, indicado una alta contaminación. Para los afluentes no mencionados (Pongobamba y Maychu) se rechaza esta hipótesis. En cuanto al total de taxones, se ha observado mayores cantidades de taxones en Pongobamba y Maychu, los cuales poseen un IDG que indican menor contaminación que los otros ríos/riachuelos estudiados; también se puede relacionar las especies más abundantes con los valores de IDG obtenidos: La dominancia de *Nitzchia* y *Navicula gemainii* se dio en los puntos de muestreo con valores de IDG más bajos.
3. La correlación de Spearman indicó que existen correlaciones positivas entre el IDG y la turbidez (Primer muestreo) y entre el IDG y los nitratos (Segundo muestreo); por lo tanto, aceptamos la hipótesis de que existen correlaciones entre el Índice Diatómico General y la calidad física y química del agua en los afluentes; no obstante, estas no son continuas. También se encontró una correlación Total de taxones- Temperatura y correlaciones positivas en los distintos muestreos entre fosfato-temperatura, oxígeno disuelto- turbidez, nitratos-pH, pH-oxígeno disuelto, turbidez-temperatura y sólidos disueltos totales – conductividad. También se encontraron correlaciones negativas entre la conductividad-sólidos disueltos totales, nitratos-temperatura y nitratos-turbidez. Ninguna de estas correlaciones se mantiene en los tres muestreos y no coinciden con las encontradas por la mayoría de las fuentes bibliográficas revisadas.
4. En general, no existe una relación significativa entre el IDG y los parámetros de temperatura, oxígeno disuelto, fosfatos y nitratos, tampoco existe una relación continua entre el IDG y los otros parámetros objeto de estudio, por lo tanto, rechazamos la hipótesis general del presente trabajo de investigación. Debido a esto, se debe considerar que existe la posibilidad de que otros factores no estudiados en el presente estudio como el clima, las precipitaciones pluviales, la temperatura ambiental y los caudales como factores que estarían influyendo en los valores del IDG.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar con índices biológicos que permitan calificar de una manera más eficiente el estado de los afluentes y efluentes y en periodos más frecuentes, complementando con evaluaciones periódicas de la calidad física y química de los ríos pertenecientes a la cuenca Piuray.
2. Motivar a la realización de estudios para la evaluación de la calidad física, química y biológica considerando bioindicadores en toda la cuenca de Piuray, Urubamba y Cusco, también sugerir la elaboración de trabajos de investigación los cuales estudien índices biológicos para la región del Cusco.
3. Realizar un proyecto de inversión para el mejoramiento del tratamiento de las aguas (Considerando a los afluentes de la laguna) provenientes de la cuenca de Piuray, Urubamba, Cusco.
4. Realizar un plan de gestión ambiental para toda la cuenca de Piuray incluyendo el posible establecimiento de una faja marginal, el control de disposición de los residuos producto de las actividades humanas realizadas en las poblaciones aledañas con el fin de mantener una buena calidad del agua y un plan frente a eventos climáticos tales como las sequías permitiendo así, un mejor manejo de la cuenca y conservación del recurso hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos superficiales*. Retrieved Enero from https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/turismo/asuntos_ambientales_turisticos/Normas_Ambientales/Normas_Ambientales_Transversales/Recursos_Hidricos/RJN_010_2016_ANA.pdf.
- Alarcón Rojas, N., & Peláez Peláez, F. (2014). Calidad del agua del río Sendamal (Celendín, Cajamarca, Perú): determinación mediante uso de diatomeas, 2012. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 34(2), 9.
- Antonelli, M., Wetzel, C. E., Ector, L., Teuling, A. J., & Pfister, L. (2017). On the potential for terrestrial diatom communities and diatom indices to identify anthropic disturbance in soils. *ELSEVIER*, 75, 13.
- APHA, AWWA, & WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23 ed.). APHA.
- Astorga Gómez, J. M. (2014). Aplicación de modelos de regresión lineal para determinar las armónicas de tensión y corriente. *Ingeniería Energética*, 35(3), 8.
- Baatrup Pedersen, A. (2019). The future of European water management: Demonstration of a new WFD compliant framework to support sustainable management under multiple stress. *ELSERVIER*, 654(1), 7.
- Baylón Coritoma, M., Roa Castro, K., Libio Sánchez, T., Tapia Ugaz, L., Jara Pena, E., Macedo Prada, D., . . . Dextre Rubina, A. (2018). Evaluación de la diversidad de algas fitoplanctónicas como indicadores de la calidad del agua en lagunas altoandinas del departamento de Pasco (Perú). *Ecología Aplicada*, 17, 119-132.
- Blanco, S., Barrios, E., Puig, A., Ruza, J., Alvarez-Troncoso, R., Ventosa, M., . . . Fernández, R. (2012). *Id-tax. catálogo y claves de identificación de organismos fitobentónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico* (Vol. 1). ReseachGate.
- Béjar Saya, J. V. (2016). *Caso: Microcuenca Piuray Ccorimarca y el agua para la ciudad del Cusco - Perú* (Conflicto, negociación y retribución por servicios ecosistémicos Issue. SEDACUSCO.
- Bąk, M., Andrzej, W., Zelazna-Wieczorek, J., Wojtal, A. Z., Szczepocka, E., Szulc, K., & Szulc, B. (2022). *Klucz do oznaczania okrzemek w fitobentosie na potrzeby oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych w Polsce*. ReseachGate.
- Calizaya Anco, J. (2013). *El uso de las diatomeas (Bacillariophyceae) como potenciales herramientas en la gestión de la calidad del agua superficial* Segundo Encuentro de Investigadores Ambientales, Arequipa-Perú.
- Calizaya-Anco, J., Avendaño-Cáceres, M., & Delgado-Vargas, I. (2013). Evaluación de la calidad del agua fluvial con diatomeas (Bacillariophyceae), una experiencia en Tacna, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 30, 58-63.
- Cavero Arana, J. G., & Manrique Carhuas, M. F. (2019). *Lagunas altoandinas de Huánuco evaluadas para el desarrollo de acuicultura, 2016* (Informe, Issue).
- Celekli, A., Lekesiz, O., & Cetin, T. (2021). Eco-Assessment of Streams of Konya Closed River Basin (Turkey) Using Various Ecoregional Diatom Indices. *Reseach Square*, 1, 25.
- Celekli, A., Lekesiz, O., Gümüş, E. Y., Kayhan, S., Lekesiz, H. Ö., & Cetin, T. (2019). Determination of trophic weight and indicator values of diatoms in Turkish running waters for water quality assessment. *Tubitak*, 43(1), 12. <https://doi.org/doi:10.3906/bot-1704-40>

- Celekli, A., Lekesiz, O., & Yavuzatmaca, M. (2021). Bioassessment of water quality of surface waters using diatom metrics. *Tubitak*, 45(1), 18. <https://doi.org/doi:10.3906/bot-2101-16>
- Coste, M., & Ayphassorho, H. (1991). *Etude de la qualité des eaux du Bassin Artois-Picardie à l'aide des communautés de diatomées benthiques (Application des indices diatomiques)* (A. d. l. E. Artois-Picardie, Ed.). Rapport Cemagref Bordeaux.
- Cruz Miranda, L. J. (2022). *Evaluación del efecto del cambio climático en el recurso hídrico de la laguna de Piuray en la microcuenca de Piuray (Chincheros, Cusco)* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Arequipa.
- Díaz Quirós, C. R. R., Carlos Alberto. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia*, 26(2), 14.
- Echeverría Chávez, M. (2016). *Estudio de la comunidad de fitoplancton en el río Atacames provincia de Esmeraldas en el periodo enero – abril del 2015* Pontificia Universidad Católica de Ecuador, sede Esmeraldas]. Esmeraldas-Ecuador.
- Elosegi, A., & Díez, J. (2009). La estructura física de los Cauces Fluviales. *Conceptos y técnicas en ecología Fluvial* 14.
- Elosegi, A., Gessner, M. O., & Young, R. G. (2017). River doctors: Learning from medicine to improve ecosystem management. *ELSEVIER*, 595, 9.
- Fernández Yuste, J. A. (2012). *La recuperación de ríos en entornos urbanos: el caso del Río Zadorra en Vitoria-Gasteiz*.
- Fernández Baca Campos, M. V., & Mamani Licon, F. M. (2016). *Evaluación de Cryptosporidium sp. y Giardia sp. en el cuerpo lentic de Piuray por Pruebas de Certeza Parasitológica y PCR en Tiempo Real*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Cusco.
- Gobierno del Perú, G. p. (2020). *Plataforma Nacional de Datos Georeferenciados GeoPerú*. Gobierno del Perú. Retrieved Febrero from <https://visor.geoperu.gob.pe/>
- Gonzales Silva, D. N. (2019). *Evaluación de la calidad de agua del río Mancos mediante el uso de diatomeas (Bacillariophyceae) para su uso agrícola - 2018* Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Huaraz-Ancash.
- Guzmán Valqui; Leiva Tafur, . (2015). *Uso de diatomeas (bacillariophyceae) como bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua trabajo que fue efectuado en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza]. Amazonas.
- Häck, M. (2015). *Informe práctico sistema de control de proceso LDO*. H. Lange.
- Inca Ormachea, A. (2014). *Diversidad de diatomeas como bioindicadores de contaminación orgánica y por metales pesados en los humedales de Ite, Tacna* Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Tacna.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020a). *Perú: Encuesta Demográfica y de Salud Familiar 2020 - Nacional y Departamental*. Retrieved Febrero from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1795/
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020b). *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico”. En base a la Encuesta nacional de programas presupuestales (ENAPRES) y la Encuesta nacional de hogares (ENAH) a diciembre del 2019*. Retrieved Febrero from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf
- Inyang, I. A., & Wang, Y.-S. (2020). *Phytoplankton diversity and community responses to physicochemical variables in mangrove zones of Guangzhou Province, China* <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10646-020-02209-0>

- Ismiño, R., Montalván, G., García, A., Maco, J., Tello, S., Palacios, J. J., & Rodríguez, L. (2018). Comunidad fitoplanctónica de la cuenca del río Itaya en Loreto, Perú. *Rev Inv Vet Perú*, 29(3), 12. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i3.14766>
- Iturra Medina, C. A. (2011). *Establecer las bases para un sistema de monitoreo de la calidad de aguadas del Parque Nacional Llanos de Challe, utilizando las comunidades acuáticas como bioindicadores* Universidad de Chile]. Santiago de Chile.
- Jakovljevi, O. S., Popovic, S. S., Zivi, I. M., Stojanovi, K. Z., Vidakovic, D. P., Naunovic, Z. Z., & Krizmanic, J. Z. (2021). Epilithic diatoms in environmental bioindication and trout farm's effects on ecological quality assessment of rivers. *ELSEVIER*, (128), 12.
- Lee, H.-S., Lim, S.-J., Lim, B.-R., Kim, H.-S., Lee, H.-S., Ahn, T.-U., & Shin, H.-S. (2022). Spatiotemporal Evaluation of Water Quality and Hazardous Substances in Small Coastal Streams According to Watershed Characteristics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 634(19), 14.
- Lobo, E. A., Weber Freitas, N., & Salinas, V. H. (2019). Diatomeas como bioindicadores: Aspectos ecológicos de la respuesta de las algas a la eutrofización en América Latina. *Mexican Journal of Biotechnology*, 4(1), 24.
- Lone, P. P. (2016). *Indicadores de calidad de agua*. Retrieved diciembre from <https://www.iagua.es/blogs/pedro-pablo-lone/indicadores-calidad-agua>
- Lora Vilchis, M. C., López Fuerte, F. O., & Pérez Rojas, C. A. (2020). Algas de Cristal; diatomeas. *Recursos Naturales y Sociedad*, 6(1), 17.
- Mac Donagh, M. E., Paredes del Puerto, J. M., Altieri, P., & Cano, M. G. (2016). Aplicación de índices bióticos basados en diatomeas epífitas sobre *Schoenoplectus californicus* (c.a. meyer.) Soják, en lagunas pampeanas de Argentina. *Biología Acuática*, 31, 12.
- Machuca Sepúlveda, J., López Muñoz, M., & Castillo Soto, M. (2018). Diseño de un modelo de cuantificación de calidad hídrica en humedales. *Investigaciones Geográficas*, 1(55), 22.
- Mallqui Velásquez, L. M. (2015). *Determinación de la calidad de agua de las Microcuencas Huacamarcanga, Tres Cruces, Barro Negro y La Arena: Mediante diatomeas y parámetros fisicoquímicos 2015* Universidad Nacional de Trujillo]. Trujillo.
- Martins, L. P., Sampaio, J., Souza de Godoi, R., Vargas, L., Da Silva, F., & Beneduzi, A. (2020). Water quality assessment of the Demetrio stream: an affluent of the Gravataí River in the South of Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 82(1), 10.
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). EL COEFICIENTE DE CORRELACION DE LOS RANGOS DE SPEARMAN CARACTERIZACION. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8, 0-0.
- Mena, & Bautista, C. M. (2015). *Establecimiento de mecanismos biorremediadores mediante la identificación del agente causal de eutrofización en los acuíferos superficiales, sector los Poguios – Isinche de Vacas, cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi, período 2014 – 2015* Universidad Técnica de Cotopaxi]. Latacunga.
- Mendoza Muñoz, Y., Costa Taborga, J. F., Curo Miranda, J. L., Ocampo Huaycho, A., & Dueñas Quispe, J. C. (2019). *Libro de resúmenes del Congreso Científico Internacional “Sistema de múltiples barreras para la preservación del agua segura y saludable”* (V. d. I. d. I. U. N. d. S. A. A. d. Cusco, Ed. Vol. 1). Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Ministerio de Agricultura de España. (2000). *Libro blanco del agua en España*. Centro de Publicaciones de la Secretaría general Técnica del Ministerio de Medio Ambiente.

- MINAM. "Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias", 10 10 (2017).
- Monforte García, G., & Cantú Martínez, P. C. (2009). Escenario del Agua en México. *Culcyt*, 10.
- Norma Técnica Peruana. "Determinación de oxígeno disuelto en agua Método de sonda instrumental Sensor basado en luminiscencia", 1ª Edición., 1 (2013). <https://www.deperu.com/normas-tecnicas/NTP-214-046.html>
- Novais, M. H., Morales, E. A., Penha, A. M., Potes, M., Bouchez, A., Barthès, A., . . . Morais, M. (2020). Benthic diatom community dynamics in Mediterranean intermittent streams: Effects of water availability and their potential as indicators of dry-phase ecological status. *Elsevier*, 1, 19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137462> 0048-9697
- Oblitas Perez, J. G. (2010). *Estudio Geodinámico y Diagnostico Hídrico de la Laguna de Piuray - Cusco* (Publication Number 2021G0000218) Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Cusco.
- OMS. (2015). *Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS6)*. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- Pacheco Ávila, J., Pat Canul, R., & Cabrera Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 9.
- Piccardo Antunez, A. (2020). *Diatomeas bentónicas como indicadores de gradientes ambientales asociados a actividades antrópicas en arroyos de la cuenca del Río Negro PEDECIBA*]. Montevideo.
- Pérez-Pompa, N. E., Marañón-Reyes, A. M., González-Marañón, A., Rodríguez, -Mendoza, Y., & Naranjo-López, C. (2012). Estudio de la correlación entre el índice biótico BMWP-CUB y parámetros fisicoquímicos en el río Gascón de Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, xxiv(3), 13.
- Ramírez González, A., & Viña Vizcaino, G. (1998). *Limnología colombiana, aportes a su conocimiento y estadística de análisis* (Primera ed.). Fundación universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Rodríguez, C. I., Duque, C., Calvache, M. L., & López-Chicano, M. (2010). Causas de las variaciones de la conductividad eléctrica del agua subterránea en el acuífero Motril-Salobreña, España. *Geogaceta*, 49, 4.
- Romero Saldaña, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería del Trabajo*, 6(3), 10.
- Rosas Zevallos, J., & Miranda Núñez, G. J. (2015). *Estructura temporal y espacial de las comunidades planctónicas de la laguna de Piuray, Chinchero - Cusco* Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Cusco.
- Saalidong, B. M., Aram, S. A., Otu, S., & Lartey, P. O. (2022). Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems. *PLOS ONE*, 17(1), 17.
- Salinas-Camarillo, V. H., Carmona-Jiménez, J., & Lobo, E. A. (2020). Development of the Diatom Ecological Quality Index (DEQI) for peri-urban mountain streams in the Basin of Mexico. *Environ Sci Pollut Res Int*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11604-3>
- Sandoval, Y. d. S., & Torrez, A. M. (2013). *Calidad de Agua del Río de Oro Mediante la Aplicación de Índices Biológicos y Parámetros Fisicoquímicos Durante la Estación Seca y Lluviosa en el Departamento de Rivas, Año 2012* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Managua.
- SEDACUSCO, E. (2017). *Memoria Anual 2016*. E. SEDACUSCO.

- SENAHMI. (2022). *Datos Hidrometeorológicos en Cusco*. Ministerio del Ambiente. Retrieved Octubre from <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cusco&p=estaciones>
- Shuang Chen, S., Kimirei, I. A., Cheng, Y., Qiushi, S., & Qun, G. (2022). Assessment of urban river water pollution with urbanization in East Africa. *Springer*, 1(1), 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-021-18082-1>
- Soler B., A., Pérez A., M. a. I., Aguilar, E. d., & Villarreal Batista, I. (2012). *Diatomeas del canal de panamá: Bioindicadores y otros estudios pioneros*.
- Spaulding, S. A., Potapova, M. G., Bishop, I. W., Lee, S. S., Gasperak, T. S., Jovanoska, E., . . . Edlund, M. B. (2021). *Diatoms of North America*. Diatoms.org. Retrieved 15 de agosto from
- Sun, X., Wu, N., Hörmann , G., Faber, C., Beata, M., Yueming, Q., & Fohrer, N. (2022). Using integrated models to analyze and predict the variance of diatom community composition in an agricultural area. *Elsevier*, 803(149894), 12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149894> 0048-9697
- Sánchez Turcios, R. A. (2015). t-Student. Usos y abusos. *Revista Mexicana de Cardiología*, 26(1), 3.
- Toro Valdez, M. E. (2017). *Estado ecológico de los ríos Atacames y Súa mediante el análisis de la comunidad fitoplanctónica* Pontificia Universidad Católica de Ecuador sede Esmeraldas]. Esmeraldas.
- Valcárcel Manga, L. R. (2005). *Percepciones, actores locales y el servicio ambiental que presta la laguna de Piuray (Chincheró-Cusco)* FLACSO-ECUADOR]. Ecuador.
- WHO. (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (W. H. Organization, Ed. 4 ed.). Interligar.
- Yovera Gálvez, F. d. P. (2016). *Algas como parte del perifitón en los cuerpos de agua en el distrito Canchaque-Huancabamba-Piura*. Universidad Nacional de Piura]. Piura.
- Çetin, T., Solak, C. N., & Yilmaz, E. (2021). *Testing the performance of European diatom indices for evaluating the ecological status in the Kızılırmak basin, Turkey: flowing waters* <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-021-13282-1>

ANEXOS

**ANEXO 1:
INFORMES DE
MUESTREO
DEL LABORATORIO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**

MONITOREO DE AGUA

PRIMER MUESTREO



Informe N° IM 2208001

Inf. de Ensayo N° 2207075
Inf. de Ensayo N° 2207076
Inf. de Ensayo N° 2207077
Inf. de Ensayo N° 2207078
Inf. de Ensayo N° 2207079
Inf. de Ensayo N° 2207080
Inf. de Ensayo N° 2207081

Inf. de Ensayo N° 2207082
Inf. de Ensayo N° 2207083
Inf. de Ensayo N° 2207084
Inf. de Ensayo N° 2207085
Inf. de Ensayo N° 2207086
Inf. de Ensayo N° 2207087
Inf. de Ensayo N° 2207088

Lima, agosto 2022



CAPÍTULO I: DATOS DE LA EMPRESA

RUC: 20512976795

Razón Social: HIDROLAB PERU SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - HIDROLAB PERU S.A.C.

Nombre Comercial: HIDROLAB PERU

Dirección Legal: Car. Central Km. 9.3 Mz. a Lote. 6 A.V. Ntra. Sra. de la Merced (a Media Cuadra del Cruce Entrada Huachipa), Ate – Lima – Perú.

CAPÍTULO II: MONITOREO

2.1. MONITOREO DE AGUA

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO DE ABAD DEL CUSCO, solicito al laboratorio HIDROLAB PERU S.A.C. el servicio de monitoreo de agua potable en catorce estaciones ubicados en el Rio Huila Huila Cuenca de Piuray, en el distrito de Chinchero – Urubamba, provincia y departamento del Cusco.

2.1.1. ESTACIONES DE MONITOREO

El monitoreo de calidad de Agua se desarrolló el 19 de julio del 2022 donde se estableció catorce estaciones de monitoreo, los cuales se detallan a continuación:

Tabla N° 2.1.1.1.- Ubicación de las Estaciones de Monitoreo

Tipo de Producto	Estación de Muestreo	Descripción del muestreo	Coordenadas UTM – WGS84	
			ESTE	NORTE
Agua Potable	PUNTO 01	Huila Huila - parte alta	0819100	8514800
	PUNTO 02	Huila Huila - parte media	0819300	8515100
	PUNTO 03	Huila Huila - parte baja	0819800	8515150
	PUNTO 04	Ravilchaca - parte alta	0818800	8511500
	PUNTO 05	Ravilchaca - parte media	0819600	8513200
	PUNTO 06	Ravilchaca - parte baja	0819700	8514300
	PUNTO 07	Pongobamba - parte alta	0822900	8512900

Tipo de Producto	Estación de Muestreo	Descripción del muestreo	Coordenadas UTM – WGS84	
			ESTE	NORTE
Agua Potable	PUNTO 08	Pongobamba - parte media	0822300	8513300
	PUNTO 09	Pongobamba - parte baja	0821600	8513800
	PUNTO 10	Ocotuan - parte alta	0824100	8515500
	PUNTO 11	Ocotuan - parte media	0823500	8514800
	PUNTO 12	Ocotuan - parte baja	0822700	8514700
	PUNTO 13	Maychu - parte alta	0822900	8514600
	PUNTO 14	Maychu - parte baja	0822700	8514600

(*): Datum: World Geodetic System 1984

2.1.2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE ENSAYOS

A continuación, en la Tabla N° 2.1.2.1 se muestra los métodos de ensayo aplicados por el laboratorio, para lo cual se ha tomado como referencia las normas establecidas por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Tabla N° 2.1.2.1.- Métodos de Ensayo

Parámetro	Unidades	Normas
Turbidez	NTU	SM 2130 B
Nitrato	Mg N-NO ₃ /L	SM 4500-NO ₃ -E
Fosfatos	mg P/L	SM 4500-P E
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	SM 2540 C
pH	Unidad de pH	SM 4500-H+ B
Temperatura	°C	SM 2550 B (Excepto parte 2)
Oxígeno disuelto	mg/L	NTP 214.046
Conductividad	µmho/cm	SM 2510 B

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**

MONITOREO DE AGUA

SEGUNDO MUESTREO



Informe N° IM 2208002

Inf. de Ensayo N° 2208097
Inf. de Ensayo N° 2208098
Inf. de Ensayo N° 2208099
Inf. de Ensayo N° 2208100
Inf. de Ensayo N° 2208101
Inf. de Ensayo N° 2208102
Inf. de Ensayo N° 2208103

Inf. de Ensayo N° 2208104
Inf. de Ensayo N° 2208105
Inf. de Ensayo N° 2208106
Inf. de Ensayo N° 2208107
Inf. de Ensayo N° 2208108
Inf. de Ensayo N° 2208109
Inf. de Ensayo N° 2208110

Lima, agosto 2022



CAPÍTULO I: DATOS DE LA EMPRESA

RUC: 20512976795

Razón Social: HIDROLAB PERU SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - HIDROLAB PERU S.A.C.

Nombre Comercial: HIDROLAB PERU

Dirección Legal: Car. Central Km. 9.3 Mz. a Lote. 6 A.V. Ntra. Sra. de la Merced (a Media Cuadra del Cruce Entrada Huachipa), Ate – Lima – Perú.

CAPÍTULO II: MONITOREO

2.1. MONITOREO DE AGUA – SEGUNDO MUESTREO

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO DE ABAD DEL CUSCO, solicito al laboratorio HIDROLAB PERU S.A.C. el servicio de recolección y análisis de catorce muestras de agua en tributarios de la Cuenca de Piuray para la tesis de pregrado intitulada “Índice Diatómico General y Calidad Física y Química del Agua en los Afluentes de la Laguna de Piuray, Cusco 2022”, del Proyecto de Investigación Canon, tipo aplicada – intermedio "Implementación de un Sistema de Múltiples Barreras para Eliminar Quistes de Protozoarios Patógenos del Agua Potable de la Fuente Piuray”

2.1.1. ESTACIONES DE MONITOREO

El segundo monitoreo de calidad de Agua se desarrolló el 16 de agosto del 2022 donde se estableció catorce estaciones de monitoreo, los cuales están ubicados en la cuenca de Piuray ubicada en el distrito de Chincheros, provincia de Urubamba, región del Cusco. La Cuenta Piuray está compuesta por la laguna de Piuray y cinco tributarios los cuales son: Maychu, Ocotuan, Ravilchaka, Pongobamba y Huila Huila, a continuación, se detallan los puntos de muestreo:

Tabla N° 2.1.1.1.- Ubicación de las Estaciones de Monitoreo

Tipo de Producto	Estación de Muestreo	Afluente	Ubicación	Coordenadas UTM – WGS84	
				ESTE	NORTE
Agua	PUNTO 01	Huila Huila	Parte alta	0819188	8515064
	PUNTO 02	Huila Huila	Parte media	0819373	8515081
	PUNTO 03	Huila Huila	Parte baja	0819800	8515150
	PUNTO 04	Ravilchaca	Parte alta	0819591	8513718
	PUNTO 05	Ravilchaca	Parte media	0819584	8514032
	PUNTO 06	Ravilchaca	Parte baja	0819894	8514410
	PUNTO 07	Pongobamba	Parte alta	0822900	8512900
	PUNTO 08	Pongobamba	Parte media	0821589	8513842
	PUNTO 09	Pongobamba	Parte baja	0821601	8513969
	PUNTO 10	Ocotuan	Parte alta	0824100	8515500
	PUNTO 11	Ocotuan	Parte media	0822999	8514733
	PUNTO 12	Ocotuan	Parte baja	0822573	8514741
	PUNTO 13	Maychu	Parte alta	0822828	8514601
	PUNTO 14	Maychu	Parte baja	0822797	8514592

2.1.2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE ENSAYOS

A continuación, en la Tabla N° 2.1.2.1 se muestra los métodos de ensayo aplicados por el laboratorio, para lo cual se ha tomado como referencia las normas establecidas por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Tabla N° 2.1.2.1.- Métodos de Ensayo

Parámetro	Unidades	Normas
Turbidez	NTU	SM 2130 B
Nitrato	Mg N-NO ₃ /L	SM 4500-NO ₃ -E
Fosfatos	mg P/L	SM 4500-P E
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	SM 2540 C
pH	Unidad de pH	SM 4500-H+ B
Temperatura	°C	SM 2550 B (Excepto parte 2)
Oxígeno disuelto	mg/L	NTP 214.046
Conductividad	µmho/cm	SM 2510 B

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**

MONITOREO DE AGUA

TERCER MUESTREO



Informe N° IM 2208002

Inf. de Ensayo N° 2208097
Inf. de Ensayo N° 2208098
Inf. de Ensayo N° 2208099
Inf. de Ensayo N° 2208100
Inf. de Ensayo N° 2208101
Inf. de Ensayo N° 2208102
Inf. de Ensayo N° 2208103

Inf. de Ensayo N° 2208104
Inf. de Ensayo N° 2208105
Inf. de Ensayo N° 2208106
Inf. de Ensayo N° 2208107
Inf. de Ensayo N° 2208108
Inf. de Ensayo N° 2208109
Inf. de Ensayo N° 2208110

Lima, setiembre, 2022



CAPÍTULO I: DATOS DE LA EMPRESA

RUC: 20512976795

Razón Social: HIDROLAB PERU SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - HIDROLAB PERU S.A.C.

Nombre Comercial: HIDROLAB PERU

Dirección Legal: Car. Central Km. 9.3 Mz. a Lote. 6 A.V. Ntra. Sra. de la Merced (a Media Cuadra del Cruce Entrada Huachipa), Ate – Lima – Perú.

CAPÍTULO II: MONITOREO

2.1. MONITOREO DE AGUA – TERCER MUESTREO

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO DE ABAD DEL CUSCO, solicito al laboratorio HIDROLAB PERU S.A.C. el servicio de recolección y análisis de catorce muestras de agua en tributarios de la Cuenca de Piuray para la tesis de pregrado intitulada “Índice Diatómico General y Calidad Física y Química del Agua en los Afluentes de la Laguna de Piuray, Cusco 2022”, del Proyecto de Investigación Canon, tipo aplicada – intermedio "Implementación de un Sistema de Múltiples Barreras para Eliminar Quistes de Protozoarios Patógenos del Agua Potable de la Fuente Piuray”

2.1.1. ESTACIONES DE MONITOREO

El segundo monitoreo de calidad de Agua se desarrolló el **22 de setiembre del 2022** donde se estableció catorce estaciones de monitoreo, los cuales están ubicados en la cuenca de Piuray ubicada en el distrito de Chincheros, provincia de Urubamba, región del Cusco. La Cuenta Piuray está compuesta por la laguna de Piuray y cinco tributarios los cuales son: Maychu, Ocotuan, Ravilchaka, Pongobamba y Huila Huila, a continuación, se detallan los puntos de muestreo:

Tabla N° 2.1.1.1.- Ubicación de las Estaciones de Monitoreo

Tipo de Producto	Estación de Muestreo	Afluente	Ubicación	Coordenadas UTM – WGS84	
				ESTE	NORTE
Agua	PUNTO 01	Huila Huila	Parte alta	0819188	8515064
	PUNTO 02	Huila Huila	Parte media	0819373	8515081
	PUNTO 03	Huila Huila	Parte baja	0819800	8515150
	PUNTO 04	Ravilchaca	Parte alta	0819591	8513718
	PUNTO 05	Ravilchaca	Parte media	0819584	8514032
	PUNTO 06	Ravilchaca	Parte baja	0819894	8514410
	PUNTO 07	Pongobamba	Parte alta	0822900	8512900
	PUNTO 08	Pongobamba	Parte media	0821589	8513842
	PUNTO 09	Pongobamba	Parte baja	0821601	8513969
	PUNTO 10	Ocotuan	Parte alta	0824100	8515500
	PUNTO 11	Ocotuan	Parte media	0822999	8514733
	PUNTO 12	Ocotuan	Parte baja	0822573	8514741
	PUNTO 13	Maychu	Parte alta	0822828	8514601
	PUNTO 14	Maychu	Parte baja	0822797	8514592

2.1.2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE ENSAYOS

A continuación, en la Tabla N° 2.1.2.1 se muestra los métodos de ensayo aplicados por el laboratorio, para lo cual se ha tomado como referencia las normas establecidas por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd. Edition 2017.

Tabla N° 2.1.2.1.- Métodos de Ensayo

Parámetro	Unidades	Normas
Turbidez	NTU	SM 2130 B
Nitrato	Mg N-NO ₃ /L	SM 4500-NO ₃ -E
Fosfatos	mg P/L	SM 4500-P E
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	SM 2540 C
pH	Unidad de pH	SM 4500-H+ B
Temperatura	°C	SM 2550 B (Excepto parte 2)
Oxígeno disuelto	mg/L	NTP 214.046
Conductividad	µmho/cm	SM 2510 B

ANEXO 2:
REGISTRO
FOTOGRAFÍCO

i. FOTOGRAFÍAS DE CAMPO



Figura 1: Toma de muestra en el Riachuelo Huila Huila parte media (Primer muestreo)



Figura 2: Toma de muestra en el Riachuelo Huila Huila parte baja (Segundo muestreo)



Figura 1: Toma de muestra en el Riachuelo Huila Huila parte alta (Tercer muestreo)



Figura 2: Toma de medidas en el río Ravilchaka parte baja (Primer muestreo)



Figura 3: Toma de datos de parámetros físicos y químicos in situ en el río Ravilchaka parte media (Segundo muestreo)



Figura 4: Toma de muestra en el río Ravilchaka parte baja (Tercer muestreo)



Figura 5: Toma de muestra en el río Pongobamba parte alta (Primer muestreo)



Figura 6: Toma de muestra en el río Pongobamba parte media (Segundo muestreo)



Figura 7: Toma de muestra en el río Pongobamba parte baja (Tercer muestreo)



Figura 8: Toma de muestra en el río Ocotuan parte baja (Primer muestreo)



Figura 9: Toma de muestra en el río Ocotuan parte media (Segundo muestreo)



Figura 10: Toma de muestra en el río Ocotuan parte alta (Tercer muestreo)



Figura 11: Toma de muestra en el río Maychu parte baja (Segundo muestreo)



Figura 12: Toma de muestra en el río Maychu parte alta (Tercer muestreo)



Figura 13 y Figura 14: Toma de muestra con el personal del laboratorio Hidrolab (Primer y tercer muestreo respectivamente)

ii. **FOTOGRAFÍAS DE LABORATORIO**



Figura 15: *Achnantes* sp. -Maychu parte alta (Tercer muestreo)



Figura 16: *Amphora* sp. -Pongobamba parte alta (Tercer muestreo)



Figura 17: *Bacillaria sp.* -Pongobamba parte baja (Tercer muestreo)



Figura 18: *Bacillaria sp.* - Maychu parte alta (Tercer muestreo)



Figura 19: *Cocconeis* sp. -Ravilchaka parte alta (Tercer muestreo)



Figura 20: *Cyclotella* sp.- Ocotuan parte alta (Tercer muestreo)



Figura 21: *Cymatopleura* sp.- Ocotuan parte media (Tercer muestreo)



Figura 22: *Cymbella* sp. -Huila Huila parte baja (Primer muestreo)



Figura 23: *Denticula sp.* -Huila Huila parte baja (Primer muestreo)



Figura 24: *Denticula sp.* -Huila Huila parte baja (Primer muestreo)



Figura 25: *Diatoma sp.*- Maychu parte alta (Segundo muestreo)

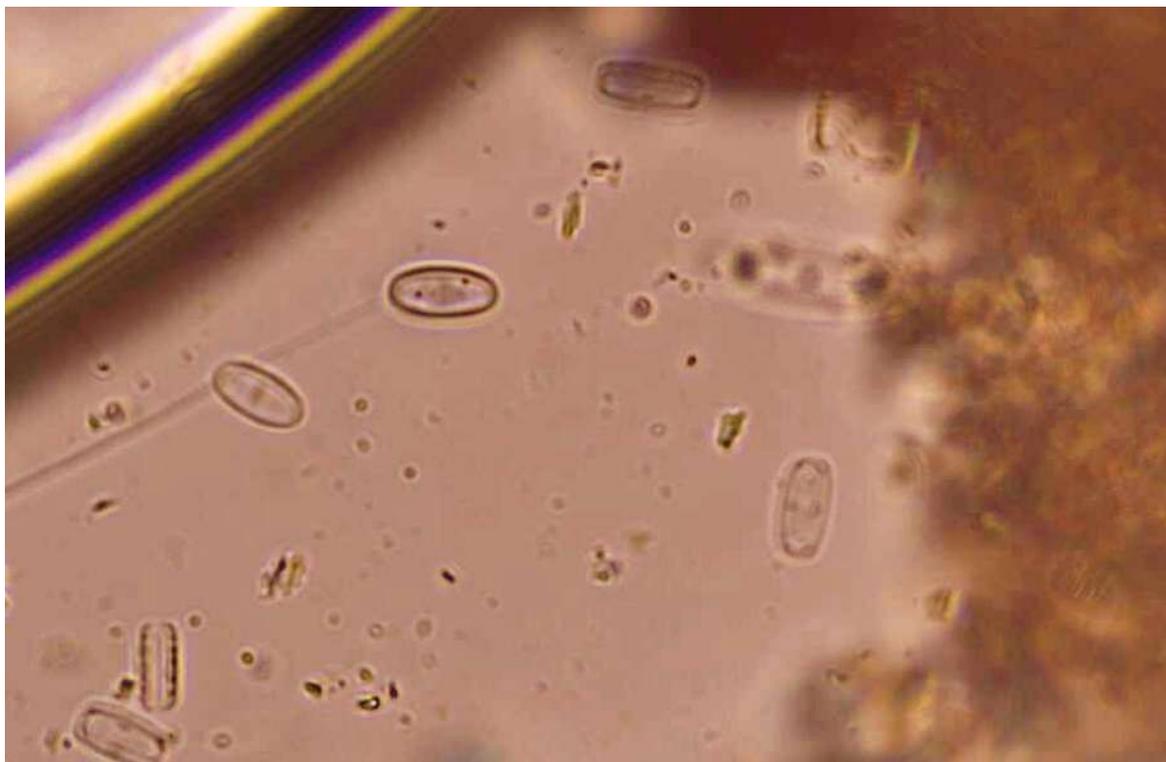


Figura 26: *Diploneis sp.*- Pongobamba parte baja (Segundo muestreo)



Figura 27: *Ephitemia* sp. -Ravilchaka parte alta (Tercer muestreo)



Figura 28: *Eunotia* sp. -Ravilchaka parte alta (Primer muestreo)



Figura 29: *Eunotia sp.* –Huila Huila parte baja (Primer muestreo)



Figura 30: *Fragilaria sp.*- Maychu parte alta (Segundo muestreo)



Figura 31: *Fragilaria sp.*- Ocotuan parte baja (Tercer muestreo)



Figura 32: *Frustulia sp.*- Ocotuan parte baja (Tercer muestreo)



Figura 33: *Gomphoneis sp.*- Ocotuan parte alta (Tercer muestreo)



Figura 34: *Gomphonema sp.*- Ocotuan parte alta (Segundo muestreo)



Figura 35: *Gyrosigma sp.* - Huila Huila parte media (Primer muestreo)

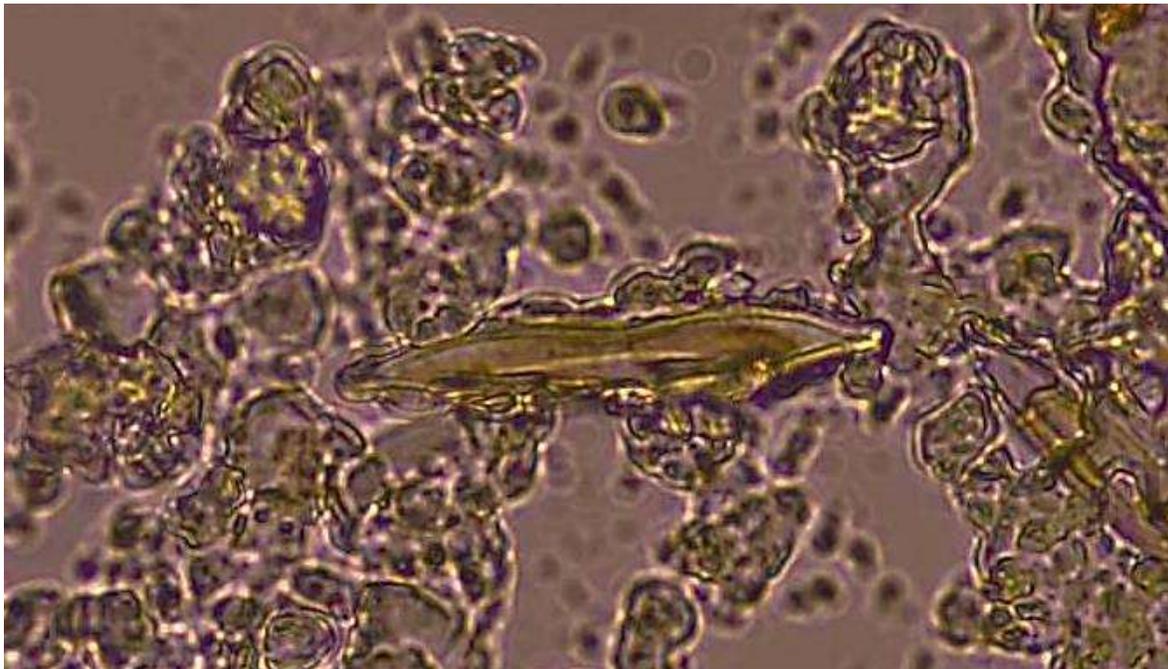


Figura 36: *Hantzschia sp.* -Ravilchaka parte alta (Segundo muestreo)

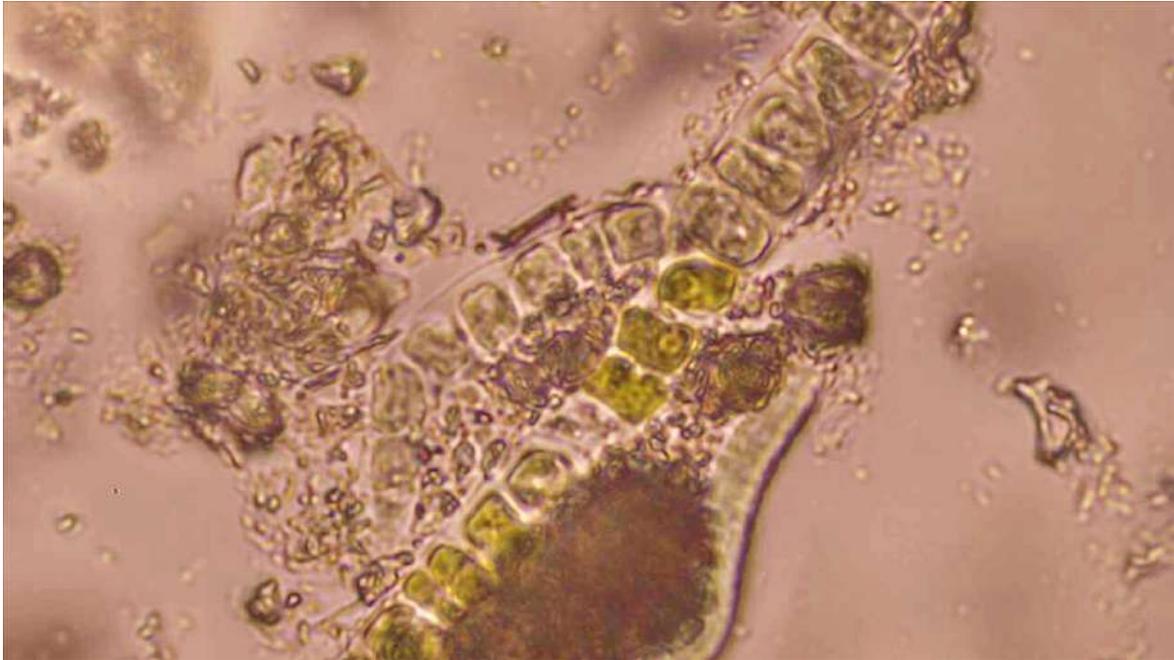


Figura 37: *Melosira sp.* -Ravilchaka parte baja (Segundo muestreo)



Figura 38: *Navícula germainii*- Pongobamba parte baja (Tercer muestreo)



Figura 39: *Navícula sp.*- Pongobamba parte baja (Segundo muestreo)



Figura 40: *Neidium sp.*- Ravilchaka parte baja (Primer muestreo)



Figura 41: *Nitzschia dissipata* -Maychu parte alta (Tercer muestreo)



Figura 42: *Nitzschia dissipata* -Pongobamba parte alta (Tercer muestreo)



Figura 43: *Nitzchia accicularis* -Huila Huila parte alta (Primer muestreo)



Figura 44: *Nitzchia sp.*-Ravilchaka parte media (Tercer muestreo)

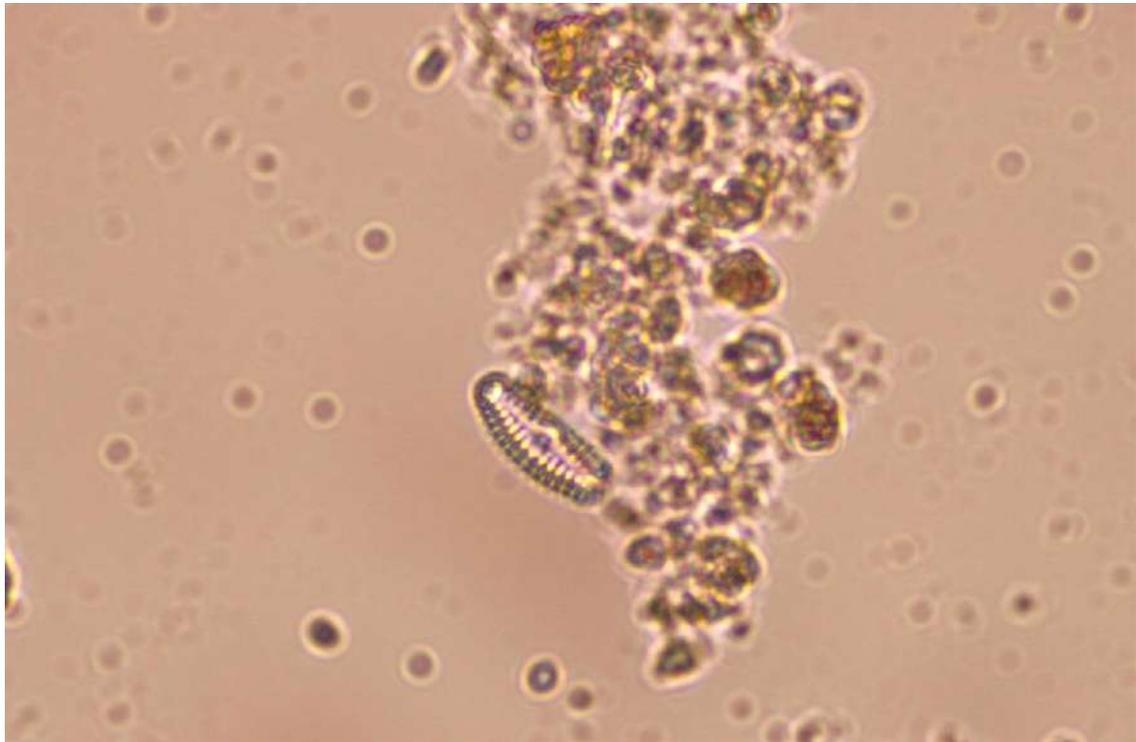


Figura 45: *Planothidium biporum*- Pongobamba parte baja (Tercer muestreo)



Figura 46: *Planothidium biporum*- Pongobamba parte media (Tercer muestreo)



Figura 47: *Pseudostaurosira brevistriata*- Huila Huila parte baja(Primer muestreo)



Figura 48: *Pseudostaurosira brevistriata*- Pongobamba parte media (Tercer muestreo)



Figura 49: *Pinnularia* sp. - Pongobamba parte alta (Segundo muestreo)



Figura 50: *Rhiscosphenia* sp. - Pongobamba parte media (Tercer muestreo)



Figura 51: *Rhoiscophenia* sp. - Pongobamba parte media (Segundo muestreo)



Figura 52: *Rhopalodia* sp. (Izquierda) – Pongobamba parte baja (Tercer muestreo)



Figura 53: *Stauroneis* sp. (Izquierda) – Ocotuan parte media (Segundo muestreo)



Figura 54: *Surirella* sp. - Pongobamba parte alta (Tercer muestreo)



Figura 55 y Figura 56: *Ulnaria ulna* - Ocotuan parte baja y Ocotuan parte alta respectivamente (Tercer muestreo)

