



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

N° 564-2022-UNF/CO

Sullana, 07 de noviembre de 2022.

VISTOS:

El Informe N° 010-2022-UNF-VPIN-DGI-UAI/WMCS de fecha 25 de octubre de 2022; el Oficio N° 19-2022-UNF-VPIN-DGI-UAI/WMCS de fecha 25 de octubre de 2022; el Oficio N° 093-2022-UNF-PCO-DGA/UEI-CSLIAS/C de fecha 26 de octubre de 2022; el Oficio N° 289-2022-UNF-VPIN de fecha 02 de noviembre de 2022; Acta de Sesión Ordinaria de Comisión Organizadora, de fecha 03 de noviembre de 2022; y,

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 18° de la Constitución Política del Perú, prescribe que la Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico: Las Universidades se rigen por sus propios estatutos en el marco de la Constitución y de las leyes.

Que, mediante Ley N° 29568 del 26 de julio de 2010 se crea la Universidad Nacional de Frontera en el distrito y provincia de Sullana, departamento de Piura, con fines de fomentar el desarrollo sostenible de la Subregión Luciano Castillo Colonna, en armonía con la preservación del medio ambiente y el desarrollo económico sostenible; y, contribuir al crecimiento y desarrollo estratégico de la región fronteriza noroeste del país.

Que, el artículo 8° de la Ley Universitaria, establece que la autonomía inherente a las Universidades se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica los derechos de aprobar su propio estatuto y gobernarse de acuerdo con él, organizar su sistema académico, económico y administrativo.

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 461-2021-UNF/CO de fecha 29 de noviembre de 2021, se resuelve aprobar el Estatuto de la Universidad Nacional de Frontera.

Que, el artículo 56 del Estatuto Institucional señala que: "La investigación de la UNF constituye una función esencial y obligatoria de la universidad, que la fomenta y realiza, respondiendo a través de la producción de conocimiento científico y desarrollo de tecnologías a las necesidades de la sociedad, con énfasis en la realidad nacional. Los docentes, estudiantes y graduados participan en la actividad investigadora en la universidad o en redes de investigación regional, nacional e internacional con fines de elevar la calidad académica de la UNF".

Página | 1





UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

Que, con Oficio N° 093-2022-UNF-PCO-DGA/UEI-CSLIAS/C, de fecha 25 de octubre de 2022, el Coordinador del Proyecto de Laboratorio de Investigación de Agua y Suelos comunica al Jefe de la Unidad de Análisis de Investigación e Información que, en el marco a la ejecución del proyecto con CU N°2444086 "Creación del Servicio del Laboratorio de Investigación de Agua y Suelos de la UNF", es necesario el desarrollo de investigaciones para validar procesos de evaluación en el marco de la línea de investigación de cantidad y calidad del agua. Los proyectos permitirán la implementación de técnicas analíticas en el laboratorio y el uso de estándares internacionales de análisis vinculados a la línea de investigación de Cantidad y calidad de agua. De acuerdo con ello, se solicita, tenga a bien realizar las gestiones correspondientes para la aprobación mediante acto resolutivo de los proyectos de investigación.

Que, mediante Informe N° 010-2022-UNF-VPIN-DGI-UAI/WMCS, de fecha 26 de octubre de 2022, el Jefe de la Unidad de Análisis e Información de la Investigación comunica a la Vicepresidencia de Investigación que, de acuerdo al análisis realizado por este despacho, se concluye que los 03 proyectos presentados ante la Vicepresidencia de Investigación cumplen con la estructura y los formatos establecidos por la normativa interna. Asimismo, recomienda la aprobación mediante acto resolutivo de los proyectos de investigación denominados: "Estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica de la Laguna Chorrera de Pilar Negro – Lancones y su relación con el estado trófico"; "Caracterización de bacterias relacionadas con el ciclo del azufre en diferentes ecosistemas acuáticos en la provincia de Sullana" y "Evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Sullana en el Río Chira a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos".

Que, con Oficio N° 19-2022-UNF-VPIN-DGI-UAI/WMCS, de fecha 26 de octubre de 2022, el Jefe Unidad de Análisis de la Información e Investigación remite a la Vicepresidencia de Investigación, la evaluación de los proyectos de investigación presentados por el Coordinador del Proyecto de Inversión Creación de Laboratorio de Investigación en Agua y Suelos de la Universidad Nacional de Frontera.

Que, mediante Oficio N° 289-2022-UNF-VPIN, de fecha 02 de noviembre de 2022, la Vicepresidencia de Investigación eleva a Presidencia de Comisión Organizadora, los proyectos de investigación presentados por el Coordinador del Proyecto de Inversión Creación de Laboratorio de Investigación en Agua y Suelos de la Universidad Nacional de Frontera. En tal sentido, solicito tenga bien gestionar a quien corresponda, tratar los documentos en Sesión de Comisión Organizadora, para su aprobación mediante acto resolutivo.

Que, en Sesión Ordinaria de Comisión Organizadora, de fecha 03 de noviembre de 2022, se aprobó los acuerdos contenidos en la parte resolutive de la presente.

Estando a lo expuesto y en uso de las atribuciones conferidas por la Ley Universitaria – Ley N° 30220 y por las Resoluciones Viceministeriales Nros. 200-2019-MINEDU, 179-2020-MINEDU, 149-2021-MINEDU y 244-2021-MINEDU.

Página | 2





UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR los proyectos de investigación científica de la Universidad Nacional de Frontera, en el marco de la ejecución del proyecto "Creación del Servicio del Laboratorio de Investigación de Agua y Suelos de la UNF" con CUI N°2444086, de acuerdo al siguiente detalle:

N°	DENOMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
1	Estructura y Composición de la Comunidad Fitoplanctónica de la Laguna Chorrera de Pilar Negro – Lancones y su Relación con el Estado Trófico.
2	Caracterización de Bacterias Relacionadas con el Ciclo del Azufre en Diferentes Ecosistemas Acuáticos en la Provincia De Sullana.
3	Evaluación del Impacto del Vertimiento de Aguas Residuales Municipales de la Ciudad de Sullana en el Río Chira a través de Parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos.

ARTICULO SEGUNDO.- DISPONER que, el Coordinador del proyecto "Creación del Servicio del Laboratorio de Investigación de Agua y Suelos de la UNF", realice las acciones necesarias para la ejecución de los proyectos aprobados en el artículo primero de la presente resolución.

ARTÍCULO TERCERO.- NOTIFICAR a través, de los mecanismos más adecuados y pertinentes, para conocimiento y fines correspondientes.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y EJECÚTESE.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA
Dr. Raul Edgardo Natividad Ferrer
Presidente de la Comisión Organizadora


UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA
Abg. José Hipólito Pasthuan Rivera
SECRETARIO GENERAL



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica de la laguna chorrera de pilar negro – Lancones y su relación con el estado trófico.

Proyecto CU N°2444086:
“Creación del servicio de laboratorio de investigación de agua y suelos en
la Universidad Nacional de Frontera”.

SULLANA – PERÚ

2022

1.1. Título

Estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica de la laguna chorrera de pilar negro – Lancones y su relación con el estado trófico.

1.2. Datos del equipo investigador

Investigador principal: Jhony Alberto Gonzáles Malca
Coordinador del proyecto

Coinvestigadores: William Lorenzo Aldana Juárez
Claudia Mabel Palacios Zapata
Lidman D. Gálvez Paucar

Localidad donde se realizará la investigación

Lugar: Laboratorio de investigación en Agua y Suelos de la UNF.

Localidad: Sullana

Institución: Universidad Nacional de Frontera.



RESUMEN

El estudio de la microflora de un lago, en este caso de su fitoplancton, sumando además las características fisicoquímicas, se hace especialmente interesante, para conocer el estado trófico Laguna Chorrera de Pilar Negro, el cual está muy influenciado por la estacionalidad y su uso recreacional. El estado trófico es un indicador muy usado para ver la influencia del hombre sobre las masas de agua, al verter desechos provocados de las actividades, que pueden aumentar la cantidad de nutrientes en el agua y por tanto un aumento del fitoplancton. Igualmente es un indicador de las presiones hidromorfológicas, que determinan cambios en la tasa de renovación de los sistemas lénticos. También el conocimiento de la composición de comunidad fitoplanctónica y su reacción con las características fisicoquímicas del agua es interesante, al tener cada lago o laguna una composición distintiva en cuanto a esta comunidad. Con este fin el presente proyecto tiene el objetivo de estudiar la comunidad

fitoplanctónica, así como su composición y su dinámica, a través de varias estaciones de muestreo en la Laguna Chorrera de Pilar Negro durante un año. Se procederá a la identificación y cuantificación de fitoplancton, así como a la extracción de Clorofila "a". También se determinarán parámetros fisicoquímicos. Por último, se aplicarán tres tipos de Índice de Estado Trófico, y así conocer la calidad ecológica. La identificación, y por consiguiente el análisis de la comunidad fitoplanctónica y su relación con el estado trófico, calculado con los índices, nos va a indicar si los usos que hace la población cercana influyen en el estado trófico, en las presiones hidromorfológicas que sufre y en la composición de la comunidad fitoplanctónica que posee.

PALABRAS CALVE

Algas, clorofila "a", sistemas lénticos, calidad agua

LINEA DE INVESTIGACIÓN

Cantidad y calidad del Agua



II. Antecedentes

El fitoplancton es considerado uno de los productores primarios más importantes en los ecosistemas acuáticos, está ampliamente distribuido y juega un rol fundamental en la regulación de los ecosistemas y el ciclo del carbono (Kraus et al., 2021). Las células de fitoplancton que se hunden rápidamente son las principales contribuyentes al sumidero de carbono acuático (Boyd & Newton, 1999; Wilson et al., 2018) Muchos estudios han demostrado que el impacto del flujo de agua sobre el fitoplancton también es extremadamente importante. Los científicos creían que la perturbación del agua podría reducir la tasa de precipitación de fitoplancton (Lande & Wood, 1987; Schindler et al., 2012). Otros científicos han sugerido que la perturbación del agua acelera la tasa de deposición de fitoplancton (Calvo

et al., 2021; Ruiz et al., 1996). Otros estudios hablan sobre la tasa de hundimiento del fitoplancton y otros factores, como la densidad celular, la medición de la actividad fisiológica celular y las características del agua. Algunos factores ambientales, como la concentración de nutrientes, la irradiación, la viscosidad del agua y la turbulencia, también afectan indirectamente a las tasas de hundimiento (Mao et al., 2021)

A nivel mundial son abundantes los estudios que determinan el estado trófico y la comunidad fitoplanctónica existente, gran parte de estos estudios se enfocan en el análisis cuantitativo de ríos y lagos. Algunas investigaciones relevantes se realizaron en ecosistemas acuáticos de lagos tropicales de alta montaña. En México, identificaron los efectos del cambio global en las características ambientales y la comunidad de plancton del lago tropical Alchichica, donde obtuvieron como resultados, aumento de la temperatura del agua en el periodo 1993 – 2013 y 1966 - 2018, rango considerado indicativo del cambio climático. El lago mostró un patrón térmico monomítico cálido, la composición y estructura de la comunidad planctónica se mantuvo similar. Las pequeñas clorofitas (*Monoraphidium minutum*) dominó la abundancia de fitoplancton, pero la gran diatomea *Cyclotella alchichicana* dominó la biomasa. El copépodo calanoideo *Leptodiptomus garciai* dominó ambas características del zooplancton (Alcocer et al., 2022). Al sur de Ecuador, probaron los componentes geográficos y ambientales de las relaciones distancia-degradación en la estructura del fitoplancton en 24 lagos tropicales. Obteniendo como resultados que, la composición del fitoplancton a nivel de phyla mostró una alta variación entre lagos, además observaron algunos patrones de relacionados con el medio ambiente, entre ellos, el potencial redox, la altitud, la temperatura del agua y el fósforo total, la composición de la comunidad de fitoplancton en el sistema Tres Lagunas o cualquier otro ecosistema puede estar regulada conjuntamente por fuerzas neutrales y basadas en nichos que aún deben explorarse (Cartuche et al., 2021)



Sin embargo, la mayor cantidad de estudios se han realizado en lagos templados, donde las temperaturas del agua superficial pueden llegar a valores negativos y en invierno se hielan. En un lago kárstico de Rusia, se analizaron las variables estructurales de las algocenosis donde, encontraron un total de 133 especies de fitoplancton con porcentajes de prevalencia de Bacillariophyta (46%), Chlorophyta (24%) y Ochrophyta (11%). La diversidad varió de 4 a 30 taxones específicos e intraespecíficos por muestra. Finalmente observaron biomasa de fitoplancton en el ecotono, en el límite entre la columna de agua y el fondo. Allí se demostró la formación de comunidades de diatomeas de nanoplancton mono y oligodominantes con predominio de la especie rara *Cyclotella distinguenda* Hustedt (Gypsum et al., 2022).

Por otro lado, existen investigaciones en lagos artificiales, aunque es escasa. En China, se diseñaron arrecifes artificiales para lagos de agua dulce de acuerdo con la profundidad del agua del lago y los hábitos de los peces bentónicos, donde estudiaron la estructura de la comunidad de fitoplancton alrededor del arrecife artificial y sus aguas adyacentes. Como resultados se identificaron 77 especies de siete filos, con un alto número de especies de Chlorophyceae, la densidad de cianobacterias disminuyó cada mes, mientras que los filos Chlorophyta y Cryptophyta y composición de la biomasa, Chlorophyta y Cryptophyta aumentaron y luego disminuyeron (Hao et al., 2021).

Sin embargo, algunos ríos como en el caso del río Amazonas también existen poblaciones fitoplanctónicas, específicamente en zonas con bajas velocidades. Si el coeficiente de atenuación difusa vertical multiespectral de los gradientes de irradiancia hacia abajo (K_d) podría ser un buen marco para acceder a los géneros de fitoplancton (Kraus et al., 2021). En dicha investigación, se obtuvieron como resultados que los géneros de fitoplancton se organizan según su capacidad para utilizar la intensidad de la luz y diferentes rangos espectrales de luz visible (400 a 700 nm). Algunos géneros, como *Microcystis*, se adaptan a la baja intensidad de luz a 550–



650 nm, por otro lado, otros géneros, como *Aulacoseira*, están muy adaptados para captar luz azul verdosa con mayor intensidad y probablemente crecen en lagos con concentraciones más bajas de materia orgánica disuelta coloreada que absorbe mucho la luz azul (405–498).

Según lo antes mencionado, el fitoplancton desempeña un papel importante en el ciclo hidrogeológico y proporcionan trascendentales servicios hidrológicos como el almacenamiento de agua entre otros, sin embargo, están poco estudiados. Es por ello que es necesario describir la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica de la laguna Chorrera del Pilar Negro – Lancones y su relación con el estado trófico de la comunidad en estos lagos para comprender mejor las consecuencias de su degradación por las actividades humanas.

III. Justificación

El fitoplancton es considerado uno de los productores primarios más importantes en los ecosistemas acuáticos, está ampliamente distribuido y juega un rol fundamental en la regulación de los ecosistemas y el ciclo del carbono (Kraus et al., 2021). Las células de fitoplancton que se hunden rápidamente son las principales contribuyentes al sumidero de carbono acuático (Boyd & Newton, 1999; Wilson et al., 2018) Muchos estudios han demostrado que el impacto del flujo de agua sobre el fitoplancton también es extremadamente importante. Los científicos creían que la perturbación del agua podría reducir la tasa de precipitación de fitoplancton (Lande & Wood, 1987; Schindler et al., 2012). Otros científicos han sugerido que la perturbación del agua acelera la tasa de deposición de fitoplancton (Calvo et al., 2021; Ruiz et al., 1996). Otros estudios hablan sobre la tasa de hundimiento del fitoplancton y otros factores, como la densidad celular, la medición de la actividad fisiológica celular y las características del agua. Algunos factores ambientales, como la concentración de nutrientes, la



irradiación, la viscosidad del agua y la turbulencia, también afectan indirectamente a las tasas de hundimiento (Mao et al., 2021)

A nivel mundial son abundantes los estudios que determinan el estado trófico y la comunidad fitoplanctónica existente, gran parte de estos estudios se enfocan en el análisis cuantitativo de ríos y lagos. Algunas investigaciones relevantes se realizaron en ecosistemas acuáticos de lagos tropicales de alta montaña. En México, identificaron los efectos del cambio global en las características ambientales y la comunidad de plancton del lago tropical Alchichica, donde obtuvieron como resultados, aumento de la temperatura del agua en el periodo 1993 – 2013 y 1966 - 2018, rango considerado indicativo del cambio climático. El lago mostró un patrón térmico monomítico cálido, la composición y estructura de la comunidad planctónica se mantuvo similar. Las pequeñas clorofitas (*Monoraphidium minutum*) dominó la abundancia de fitoplancton, pero la gran diatomea *Cyclotella alchichicana* dominó la biomasa. El copépodo calanoideo *Leptodiptomus garciai* dominó ambas características del zooplancton (Alcocer et al., 2022). Al sur de Ecuador, probaron los componentes geográficos y ambientales de las relaciones distancia-degradación en la estructura del fitoplancton en 24 lagos tropicales. Obteniendo como resultados que, la composición del fitoplancton a nivel de phyla mostró una alta variación entre lagos, además observaron algunos patrones de relacionados con el medio ambiente, entre ellos, el potencial redox, la altitud, la temperatura del agua y el fósforo total, la composición de la comunidad de fitoplancton en el sistema Tres Lagunas o cualquier otro ecosistema puede estar regulada conjuntamente por fuerzas neutrales y basadas en nichos que aún deben explorarse (Cartuche et al., 2021)

Sin embargo, la mayor cantidad de estudios se han realizado en lagos templados, donde las temperaturas del agua superficial pueden llegar a valores negativos y en invierno se hielan. En un lago kárstico de Rusia, se analizaron las variables estructurales de las algocenosis donde, encontraron un total de 133 especies de fitoplancton con porcentajes de



prevalencia de Bacillariophyta (46%), Chlorophyta (24%) y Ochrophyta (11%). La diversidad varió de 4 a 30 taxones específicos e intraespecíficos por muestra. Finalmente observaron biomasa de fitoplancton en el ecotono, en el límite entre la columna de agua y el fondo. Allí se demostró la formación de comunidades de diatomeas de nanoplancton mono y oligodominantes con predominio de la especie rara *Cyclotella distinguenda* Hustedt (Gypsum et al., 2022).

Por otro lado, existen investigaciones en lagos artificiales, aunque es escasa. En China, se diseñaron arrecifes artificiales para lagos de agua dulce de acuerdo con la profundidad del agua del lago y los hábitos de los peces bentónicos, donde estudiaron la estructura de la comunidad de fitoplancton alrededor del arrecife artificial y sus aguas adyacentes. Como resultados se identificaron 77 especies de siete filos, con un alto número de especies de Chlorophyceae, la densidad de cianobacterias disminuyó cada mes, mientras que los filos Chlorophyta y Cryptophyta y composición de la biomasa, Chlorophyta y Cryptophyta aumentaron y luego disminuyeron (Hao et al., 2021).



Sin embargo, algunos ríos como en el caso del río Amazonas también existen poblaciones fitoplanctónicas, específicamente en zonas con bajas velocidades. Si el coeficiente de atenuación difusa vertical multiespectral de los gradientes de irradiancia hacia abajo (K_d) podría ser un buen marco para acceder a los géneros de fitoplancton (Kraus et al., 2021). En dicha investigación, se obtuvieron como resultados que los géneros de fitoplancton se organizan según su capacidad para utilizar la intensidad de la luz y diferentes rangos espectrales de luz visible (400 a 700 nm). Algunos géneros, como *Microcystis*, se adaptan a la baja intensidad de luz a 550–650 nm, por otro lado, otros géneros, como *Aulacoseira*, están muy adaptados para captar luz azul verdosa con mayor intensidad y probablemente crecen en lagos con concentraciones más bajas de materia orgánica disuelta coloreada que absorbe mucho la luz azul (405–498).

Según lo antes mencionado, el fitoplancton desempeña un papel importante en el ciclo hidrológico y proporcionan trascendentales servicios hidrológicos como el almacenamiento de agua entre otros, sin embargo, están poco estudiados. Es por ello que es necesario describir la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica de la laguna Chorrera del Pilar Negro – Lancones y su relación con el estado trófico de la comunidad en estos lagos para comprender mejor las consecuencias de su degradación por las actividades humanas.

IV. Hipótesis

La alta estacionalidad de la laguna Chorrera de Pilar Negro – Lancones. influencia en el estado trófico y por tanto en la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica y en los parámetros fisicoquímicos de dicho cuerpo de agua.



V. Objetivos

Objetivo general:

Evaluar la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica de la laguna Chorrera de Pilar Negro – Lancones y su relación con el estado trófico

Objetivos específicos:

- Determinar la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica y los parámetros fisicoquímicos.
- Determinar el estado trófico de la laguna de Chorrera de Pilar Negro, a través de la aplicación de tres tipos de índices de estado trófico (OCDE, IET y ITEM).

- Relacionar estadísticamente, los géneros y las familias de fitoplancton con el estado trófico, para realizar la validación estadística del fitoplancton como indicador de contaminación.

VI. Metodología

Área de estudio

La laguna Chorrera de Pilar Negro se encuentra en el distrito de Lancones, Provincia de Sullana (Departamento Piura), cuenta con una población aproximada de 12000 personas (INEI, 2018). Es una laguna de tipo estacional, por lo que depende de los regímenes hídricos que se dan a lo largo del año (Wetzel, 2001). Tiene dos tipos de clima, tropical y sabana tropical, destacando los bosques secos tropicales. La zona se destaca por tener una temperatura media anual de 24.2 °C, con máximas de 38.2 °C y mínimas de 15.3 °C. La precipitación media anual es de 203 mm, con precipitaciones máximas en marzo (72.9 mm) y precipitaciones mínimas en los meses de julio, agosto y septiembre (0.5 mm). Estas condiciones climáticas, son las que rigen la estacionalidad de la laguna Chorrera de Pilar Negro (Figura 1).

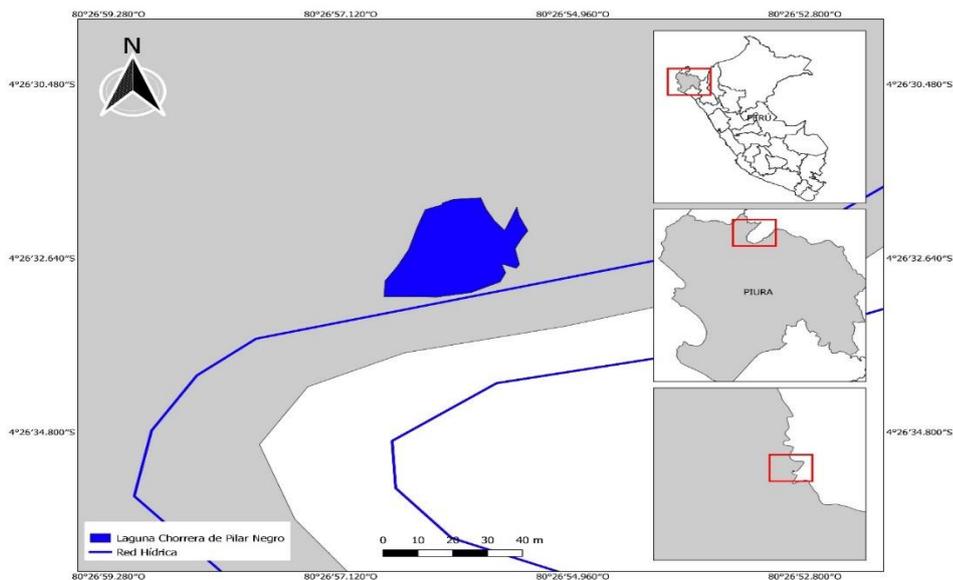


Figura 1. Ubicación de la laguna Chorrera de Pilar Negro, Distrito de Lancones, Provincia de Sullana, Departamento Piura.

Trabajo de Gabinete

Se elaborarán mapas topográficos, para tener un mejor conocimiento de la zona. Con dichos mapas topográficos y con datos climáticos satelitales (Aybar et al., 2019), se harán cálculos de parámetros hidrológicos, como la tasa de renovación, aporte hídrico de la cuenca del lago, balance hídrico y otros. Todo ello según la metodología descrita en CHE (2005) y Rascón et al. (2021)

Determinación de las estaciones de muestreo

Se establecerán aproximadamente de 2 a 4 estaciones de muestreo en la Laguna Chorrera de Pilar Negro, mediante un recorrido en zigzag de oeste a este. Todo ello siguiendo y adaptando las metodologías establecidas por CHE (2005), MAGRAMA (2013) y Rascón, Corroto, et al. (2021). Las estaciones se establecerán primero en fase de gabinete, y se confirmarán en campo, mediante el uso de un GPS.

Toma de muestras

La recolección, almacenamiento y traslado de las muestras, así como los análisis de laboratorio, se realizarán de acuerdo con APHA et al. (2017), ANA (2016) y MAGRAMA (2013). Las muestras para el análisis de clorofila 'a' serán tomadas a tres profundidades en cada punto de muestreo: a nivel superficial, a un metro y en el límite de la zona fótica, el cual se calculará previamente, usando un disco de Secchi. Dichas muestras se recolectarán con una botella Van Dorn y serán homogenizadas en el momento. Para la determinación de clorofila "a", las muestras de agua serán filtradas en laboratorio usando filtros de microfibras de vidrio de 47 mm de diámetro. El contenido del filtro se usará para extraer la clorofila "a", usando acetona al 90% como solvente extractor en oscuridad, de acuerdo con el procedimiento de MAGRAMA (2013) y luego se determinará la concentración usando la ecuación desarrollada por Jeffrey & Humphrey (1975). Las variables a medir in situ serán: transparencia del agua; temperatura, pH, conductividad y saturación de oxígeno. Para las variables turbidez, nitratos, nitritos, amonio y fósforo reactivo soluble, se usarán muestras de la misma mezcla homogeneizada, refrigeradas a 4 °C durante



su traslado, para su posterior análisis en laboratorio. Las muestras de fitoplancton serán tomadas mediante una red para fitoplancton, con un poro de 20 micras. Lo recolectado por la red, será depositado en un envase oscuro, con agua de la laguna y lugol para su conservación, adaptando el procedimiento de CHE (2005)

Determinación del estado trófico y de la estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica.

El estado trófico de la Laguna Chorrera de Pilar Negro se obtendrá a partir de tres índices de estado trófico que son, el índice propuesto por el Comité de Eutrofización de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (Moreno Franco et al., 2010), Índice de Carlson o Índice de Estado Trófico o IET (Carlson, 1977) y el índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo o IETM (Rascón, Corroto, et al., 2021) para regiones tropicales, usando las concentraciones de clorofila "a" y las transparencia determinada por el disco de Secchi (DS) y la concentración de fosforo reactivo. La comunidad fitoplanctónica se identificará a través de guías de identificación, claves y literatura especializada (MAGRAMA, 2012).

Análisis de datos

Para establecer si existen diferencias en las abundancias de las clases de algas fitoplanctónicas entre los diferentes puntos y las profundidades de muestreo, se planteará un diseño de bloques completos (DCA), aplicándose un Análisis de Varianza a dos Vías (ANOVA), y los análisis de test de rango múltiple y potencia de la prueba, previa verificación del cumplimiento de los supuestos paramétricos del modelo mediante las pruebas de Bartlett y Shapiro Wilks. Para determinar diferencias en abundancia entre las estaciones de muestreo se llevará a cabo un análisis de varianza multidimensional en bloques. Se realizará un Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando la matriz de correlación de los datos transformados logarítmicamente ($Lg x + 1$). Para el análisis estadístico del IET y el IETM se utilizará la media aritmética como medida de tendencia central, la desviación estándar como medida de dispersión absoluta y el coeficiente de variación de Pearson como medida de dispersión relativa.



Para establecer las relaciones entre las variables físicas, químicas y biológicas se utilizará la correlación de Pearson. El análisis de clasificación de las especies fitoplanctónicas se hará con el índice de BrayCurtis mediante la técnica de unión simple. Para ver las relaciones entre la composición y estructura del fitoplancton y el estado trófico, o la dominancia de una especie y el estado trófico, también se utilizará la correlación de Pearson. Todos los análisis se realizarán con el software estadístico R, con un nivel de significancia del 5% (Borcard et al., 2018; Idalino Rodrigues & Idalino Rodrigues, 2015; R Core Team, 2022; Thioulouse et al., 2018).

VII. Resultados esperados

Los resultados esperados del proyecto son:

- Conocer la comunidad fitoplanctónica, el estado trófico y los parámetros fisicoquímicos de la laguna Chorrera de Pilar Negro, a lo largo de un año.
- Implementar un protocolo de monitoreo de la calidad del agua en lagos y lagunas de la provincia de Sullana
- Formación de nuevos investigadores a través de tesis de pregrado y postgrado.
- Mejoramiento y fortalecimiento de las capacidades técnicas del equipo de investigación.
- Publicar artículos en revistas indexadas con alto factor de impacto.



VIII. Impactos de los resultados

El contexto socioeconómico del proyecto se centra en un problema de los contaminantes relacionados con la actividad recreacional que, ha tenido un

gran crecimiento en los últimos años en Sullana, con un considerable impacto en la población. Como cualquier actividad productiva que genera desarrollo, debe ir alineada con un adecuado sistema de vigilancia y medidas de prevención frente a la contaminación que originan, tanto biológica como química. La propuesta permitirá brindar una línea base sobre los contaminantes relacionados con las actividades recreacionales en la provincia de Sullana. Esto tendrá un impacto tanto para la toma de decisiones sobre las actividades lúdicas, como un cambio de las prácticas recreacionales, así como en el tratamiento del agua y asimismo un impacto en la salud pública al identificar el posible efecto sobre la población.

En el contexto ambiental, la contaminación de los cuerpos de agua por parte de las actividades humanas, sobre todo las recreacionales, terminara afectando al entorno, tanto a la población rural como urbana. Estas aguas son usadas por la población, no solo para la actividad recreacional o doméstica, también para la ganadera o agrícola. Así, nuestra propuesta permitirá determinar los efectos de los afloramientos fitoplanctónicas en el agua, y así establecer un sistema de control y prevención, de tal manera que se puedan ejecutar medidas de mitigación con mayor eficacia.

En el contexto científico, en los últimos años, en Sullana hay un creciente desarrollo científico y tecnológico que se ha evidenciado con las investigaciones de la Universidad Nacional de la Frontera (UNF). De esta manera, la generación de información a partir de los datos recopilados se establecerá una línea base para ver el efecto de las actividades humanas en las comunidades fitoplanctónicas y viceversa.

IX. Generación de derechos de propiedad intelectual

Dentro de los resultados esperados, encontramos varios artículos científicos, dónde oss derechos de propiedad se compartirían con las revistas donde se publiquen. Por otro lado, si se genera un protocolo de



monitoreo específico para los recursos hídricos de Sullana, dicho protocolo se podría registrar en INDECOP, como un libro con sus derechos de autor.

X. Cronograma de actividades

Tabla 1: Cronograma de las actividades

Actividades	AÑO 2022		AÑO 2023				AÑO 2024				
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
<i>Línea base</i>		X	X								
<i>Revisión de literatura</i>			X								
<i>Inicio del proyecto</i>				X							
<i>Adquisición de equipamiento</i>				X	X						
<i>Recolección de muestras</i>					X						
<i>Desarrollo y validación de la metodología</i>						X					
<i>Análisis de las muestras</i>						X					
<i>Discusión de resultados</i>							X				
<i>Resultados finales</i>							X	X			
<i>Redacción de manuscritos</i>										X	X



Referencias bibliográficas

Alcocer, J., Lugo, A., Fernández, R., Vilaclara, G., Oliva, M. G., Oseguera, L. A., Silva-Aguilera, R. A., & Escolero, Ó. (2022). 20 Years of Global Change on the Limnology and Plankton of a Tropical, High-Altitude Lake. *Diversity*, 14(3), 190. <https://doi.org/10.3390/d14030190>

APHA, AWWA, & WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (R. B. Baird, A. D. Eaton, & E. W. Rice (eds.)). American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation.

Asch, R. G., Stock, C. A., & Sarmiento, J. L. (2019). Climate change impacts on mismatches between phytoplankton blooms and fish spawning phenology. *Global Change Biology*, 25(8), 2544–2559. <https://doi.org/10.1111/gcb.14650>

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Autoridad Nacional del Agua.



Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2019). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770–785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>

Borcard, D., Gillet, F., & Legendre. (2018). *Numerical Ecology with R*. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.b03>

Bordallo López, A., & Casado Sancho, C. (2012). Aproximación al establecimiento de una red de referencia para la implantación de la Directiva Marco del Agua en la Comunidad de Madrid. *Limnetica*, 31(31), 1–12. <https://doi.org/10.23818/limn.31.01>

Boyd, P. W., & Newton, P. P. (1999). Does planktonic community structure determine downward particulate organic carbon flux in different oceanic provinces? *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 46(1), 63–91. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(98\)00066-1](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(98)00066-1)

Brookes, J. D., & Carey, C. C. (2011). Resilience to Blooms. 46(October).
<https://doi.org/10.1126/science.1207349>

Calvo, S., Romo, S., Soria, J., & Picó, Y. (2021). Pesticide contamination in water and sediment of the aquatic systems of the Natural Park of the Albufera of Valencia (Spain) during the rice cultivation period. *Science of the Total Environment*, 774, 145009.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145009>

Canosa, A., & Pinilla, G. (2007). Relaciones entre las abundancias del bacterioplancton y del fitoplancton en tres ecosistemas lénticos de los Andes Colombianos. 55(March), 135–146.

Cao, J., Hou, Z., Li, Z., Chu, Z., Yang, P., & Zheng, B. (2018). Science of the Total Environment Succession of phytoplankton functional groups and their driving factors in a subtropical plateau lake. *Science of the Total Environment*, 631–632, 1127–1137.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.026>

Carlos, J., Navas-parejo, C., Corzo, A., & Papaspyrou, S. (2020). Science of the Total Environment Seasonal cycles of phytoplankton biomass and primary production in a tropical temporarily open-closed estuarine lagoon — The effect of an extreme climatic event. *Science of the Total Environment*, 723, 138014.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138014>

Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369.
<https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>

Cartuche, A., Manoylov, K. M., Ibelings, B. W., & Venail, P. (2021). Highest Composition Dissimilarity among Phytoplankton Communities at Intermediate Environmental Distances across High-Altitude Tropical Lakes.

Casallas, J. E., & Gunkel, G. (2001). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador. *Limnetica*, 20(2), 215–232.

CHE, (Confederación Hidrográfica Del Ebro). (2005). Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro (M. J. de la F. Álvaro (ed.); 1st ed.). MMA.



Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). (2005). Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro.

Gypsum, S., Lake, K., Okhapkin, A., Sharagina, E., Kulizin, P., Startseva, N., & Vodeneeva, E. (2022). Phytoplankton Community Structure in Highly-Mineralized. 1–20.

Hao, Z., Xingguo, L., Shuiping, C., & Jie, W. (2021). Effects of Artificial Reefs on Phytoplankton Community Structure in Baiyangdian Lake, China. 1–14.

Hill, B. H., Herlihy, A. T., Kaufmann, P. R., Decelles, S. J., & Vander, M. A. (2003). Assessment of streams of the eastern United States using a periphyton index of biotic integrity. 2, 325–338.

Hushchyna, K., & Nguyen-quang, T. (2016). Indexes for Evaluating and Predicting Toxic Algal Blooms , application to Mattatall Lake (Nova Scotia , Canada). November 2014.

Huszar, V. L. M., Caraco, N. F., & Roland, F. (2006). Nutrient–chlorophyll relationships in tropical–subtropical lakes: do temperate models fit? Biogeochemistry, 79(1–2), 239–250.

Idalino Rodrigues, E., & Idalino Rodrigues, E. (2015). Ecología numérica. CAPES.

INEI. (2018). Perú: Perfil Sociodemográfico. Informe Nacional. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Jeffrey, S. W., & Humphrey, G. F. (1975). New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. Biochemie Und Physiologie Der Pflanzen, 167(2), 191–194. [https://doi.org/10.1016/S0015-3796\(17\)30778-3](https://doi.org/10.1016/S0015-3796(17)30778-3)

Kraus, C. N., Maciel, D. A., & Bonnet, M. P. (2021). Phytoplankton Genera Structure Revealed from the Multispectral Vertical Diffuse Attenuation Coefficient. 1–13.



Lande, R., & Wood, A. M. (1987). Suspension times of particles in the upper ocean. *Deep Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers*, 34(1), 61–72. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(87\)90122-1](https://doi.org/10.1016/0198-0149(87)90122-1)

MAGRAMA. (2012). Id-Tax. Catálogo y claves de identificación de organismos fitoplanctónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). Publicaciones de la Administración General del Estado.

MAGRAMA. (2013). Protocolo de Análisis y Cálculo de Métricas de Fitoplancton en Lagos y Embalses.

Mao, Y., Li, X., Zhang, G., Liao, Y., Qian, G., & Sun, J. (2021). Sinking Rate and Community Structures of Autumn Phytoplankton Responses to Mesoscale Physical Processes in the Western South China Sea. *Frontiers in Microbiology*, 12(December). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.777473>

Moreno Franco, D. P., Quintero Manzano, J., & López Cuevas, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, 78, 25–33. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199602\)10:2<295::AID-HYP360>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199602)10:2<295::AID-HYP360>3.0.CO;2-F)

Noori, R., Ansari, E., Bhattarai, R., Tang, Q., Aradpour, S., Maghrebi, M., Torabi, A., Bengtsson, L., & Kløve, B. (2021). Complex dynamics of water quality mixing in a warm mono-mictic reservoir. *Science of the Total Environment*, 777, 146097. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146097>

Palau Ibars, A. (2003). Medidas de gestión y adecuación ambiental de embalses frente a la eutrofia. *Limnetica*, 22(1–2), 1–13. <https://doi.org/10.23818/limn.22.01>

Peltomaa, E. T., Aalto, S. L., Vuorio, K. M., & Taipale, S. J. (2017). The importance of phytoplankton biomolecule availability for secondary production. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5(OCT), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00128>

Pinilla, G., Duarte-Coy, J., & Vega-Mora, L. (2010). Limnological State Index (LSI) to Evaluate Ecological Conditions of the Canal del Dique Wetlands, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 15(2), 169–188.



http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci%7B%5C_%7Darttext%7B%5C%7Dpid=S0120-548X2010000200012%7B%5C%7Dlng=en%7B%5C%7Dnrm=iso%7B%5C%7Dtlng=es

Pulido-López, P. C., & Pinilla-Agudelo, G. A. (2017). Evaluación del estado trófico de El Salitre , último humedal urbano de referencia en Bogotá. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 41(158), 41–50.

R Core Team. (2022). R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

Rascón, J., Corroto, F., Leiva-Tafur, D., & Gamarra Torres, O. A. (2021). Variaciones limnológicas espaciotemporales de un lago altoandino tropical al norte de Perú. *Ecología Austral*, 31(2), 343–356. <https://doi.org/10.25260/ea.21.31.2.0.1200>

Rascón, J., Gosgot Angeles, W., Quiñones Huatangari, L., Oliva, M., & Barrena Gurbillón, M. Á. (2021). Dry and Wet Events in Andean Populations of Northern Peru: A Case Study of Chachapoyas, Peru. *Frontiers in Environmental Science*, 9(March), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.614438>



Ruiz, J., García, C. M., & Rodríguez, J. (1996). Sedimentation loss of phytoplankton cells from the mixed layer: Effects of turbulence levels. *Journal of Plankton Research*, 18(9), 1727–1734. <https://doi.org/10.1093/plankt/18.9.1727>

Schindler, D. W., Hecky, R. E., & McCullough, G. K. (2012). The rapid eutrophication of Lake Winnipeg: Greening under global change. *Journal of Great Lakes Research*, 38(SUPPL. 3), 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2012.04.003>

Thioulouse, J., Dufour, A. B., Jombart, T., Dray, S., Siberchicot, A., & Pavoine, S. (2018). Multivariate analysis of ecological data with ade4. In *Multivariate Analysis of Ecological Data with ade4*. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8850-1>

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (Tercera Ed). Academic Press Elsevier.

Wilson, S. M., Brandt, D. H., Corsi, M. P., & Dux, A. M. (2018). Early trophic responses to nutrient addition in Dworshak Reservoir, Idaho. *Lake and Reservoir Management*, 34(1), 58–73. <https://doi.org/10.1080/10402381.2017.1384416>

Wu, N., Schmalz, B., & Fohrer, N. (2012). Development and testing of a phytoplankton index of biotic integrity (P-IBI) for a German lowland river. *Ecological Indicators*, 13(1), 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.05.022>

Yang, B., Jiang, Y. J., He, W., Liu, W. X., Kong, X. Z., Jørgensen, S. E., & Xu, F. L. (2016). The tempo-spatial variations of phytoplankton diversities and their correlation with trophic state levels in a large eutrophic Chinese lake. *Ecological Indicators*, 66, 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.013>

Yin, X., Yan, G., Wang, X., Huang, D., & Li, L. (2022). Spatiotemporal Distribution Pattern of Phytoplankton Community and Its Main Driving Factors in Dongting Lake ,China—A Seasonal Study from 2017 to 2019. 1–15.



Znachor, P., Nedoma, J., Hejzlar, J., & Sed'a, J. (2019). Journal Pre-proof. *Science of the Total Environment*, 135626. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135626>



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CARACTERIZACIÓN DE BACTERIAS RELACIONADAS CON EL CICLO DEL AZUFRE EN DIFERENTES ECOSISTEMAS ACUÁTICOS EN LA PROVINCIA DE SULLANA.



Proyecto CU N°2444086:
“Creación del servicio de laboratorio de investigación de agua y suelos en
la Universidad Nacional de Frontera”.

SULLANA – PERÚ

2022

1.1. Título

CARACTERIZACIÓN DE BACTERIAS RELACIONADAS CON EL CICLO DEL AZUFRE EN DIFERENTES ECOSISTEMAS ACUÁTICOS EN LA PROVINCIA DE SULLANA.

1.2. Datos del equipo investigador

Investigador principal:	Jhony Alberto Gonzáles Malca Coordinador del proyecto
Coinvestigadores:	William Lorenzo Aldana Juárez Claudia Mabel Palacios Zapata María S. Abanto López Lidman D. Gálvez Paucar

Localidad donde se realizará la investigación

Lugar: Laboratorio de investigación en Agua y Suelos de la UNF.

Localidad: Sullana

Institución: Universidad Nacional de Frontera.



RESUMEN

El estudio del ciclo del azufre en diferentes sistemas acuáticos, sumando además las características fisicoquímicas, se hace especialmente interesante, para conocer el funcionamiento de uno de los ciclos biogeoquímicos más importantes del planeta. Sin embargo, la contaminación generada por las actividades antrópicas puede modificar este ciclo, sobre todo en los ecosistemas acuáticos, al ser más vulnerables. También el conocimiento de la composición de comunidad de bacterias del azufre es interesante, al tener cada ecosistema acuático una composición distintiva en cuanto a esta comunidad. Con este fin el presente proyecto tiene el objetivo de estudiar la comunidad de bacterias del azufre, así como su comportamiento y dinámica, a través de la creación de columnas de Winogradsky a partir de agua y sedimento de cuatro ecosistemas acuáticos en la provincia de Sullana. Para ello, se irán evaluando los cambios de biótica y de los parámetros fisicoquímicos en las columnas de Winogradsky

cada 15 días. Al mismo tiempo, se harán frotis para reconocer a través del microscopio las distintas bacterias. Con todo esto, este estudio nos va a indicar si los usos que hace la población influyen en el ciclo biogeoquímico del azufre.

PALABRAS CALVE

Bacterias azufre, columnas de Winogradsky, ciclos biogeoquímicos

LINEA DE INVESTIGACIÓN

Cantidad y calidad del Agua

II. Antecedentes

Los sistemas Lénticos son ecosistemas acuáticos pequeños, pero muy complejos, pueden caracterizarse por una fuerte estratificación térmica y química, lo que conduce a gradientes contrastantes en el potencial redox y el metabolismo microbiano (Green & Paget, 2004; Keshri et al., 2018). En general, los procesos fotalitoautotróficos oxigénicos aerobios dominan las aguas superficiales de los lagos estratificados (İnceoğlu et al., 2015). Por el contrario, los procesos foto/quimiolitotróficos o heterótrofos anoxigénicos anaeróbicos (estos son mediados por bacterias oxidantes de azufre y reductoras de sulfato) prevalecen en las capas euxínicas (sulfúricas y anóxicas) de la columna de agua. (Baatar et al., 2016; Diao et al., 2018). Para el caso de los sistemas Lóticos, son ecosistemas en el cual el movimiento del agua es predominante en una sola dirección, siguiendo el curso que tenga el cuerpo, afectado por factores físicos como: pendiente, caudal, profundidad, sinuosidad, entre otros (Galarza et al., 2016). Se considera una parte importante de la zona crítica de la tierra porque conectan los ecosistemas terrestres y oceánicos (Fan, 2015). Existe una relación muy ligada entre el ciclo global del carbono, la migración y transformación de material terrígeno de los ríos a los océanos (Luo et al.,



2019; Liu & Han, 2021). En este caso la meteorización química de las rocas es una fuente clave de solutos fluviales que afecta los niveles de CO₂ a lo largo del tiempo geológico (Han et al., 2020). El CO₂ de la atmósfera y la respiración del suelo participa en los procesos de meteorización y entra en los ríos como carbono inorgánico disuelto (S. Li et al., 2020).

Por lo tanto, el conocimiento de la comunidad de microorganismos y las características fisicoquímicas del agua donde se encuentra, es muy útil para el conocimiento del ciclo del azufre del ecosistema en estudio puesto que los compuestos orgánicos volátiles de azufre (VOSC) funcionan como un vínculo entre el agua y la atmósfera en el ciclo global del azufre, por lo que se considera que, la gran mayoría de los VOSC se liberan del océano (debido a la eutrofización generalizada y la contaminación de las aguas continentales, la producción y emisión de VOSC en ríos, lagos y embalses) (Y. Li et al., 2022). Además de que indirectamente se puede tener un conocimiento de la dinámica de los sistemas lénticos y lóticos y por ende hacer una gestión y conservación de esas masas de agua dulce.



Este tipo de estudios se suelen emplear tanto para aguas terrestres como aguas marinas (Korneeva et al., 2015). El uso de las columnas de Winogradsky, se empezó a usar a finales del siglo XIX, por parte del microbiólogo Sergei Winogradsky, el cual es considerado el padre de la ecología microbiana (Rogan et al., 2005). A nivel mundial son abundantes los estudios donde se usan las columnas de Winogradsky, ésta es un ecosistema en miniatura, ayuda a identificar los microbios en nichos específicos y ayuda en la degradación. La configuración ayudará a los microbios a evolucionar en función del oxígeno, la intensidad de la luz y los nutrientes. El microbio utiliza los contaminantes para mantener la apariencia escultural (López, 2019).

Gran parte de estos estudios se enfocan en conocer los efectos de ciertos contaminantes en la población de microorganismo, fue reportado que en

suelos y aguas superficiales expuestos a derrames de crudo, se producen cambios en la población microbiana, ya que se crea una población microbiana más homogénea de microorganismos dominados por miembros de Actinomycetales, Clostridiales y Bacillales (todos pertenecientes a bacterias Gram-positivas), así como Flavobacteriales, Pseudomonadales, Burkholderiales, Rhizobiales y Sphingomonadales (todas pertenecientes a bacterias Gram-negativas). Estos cambios en la biodiversidad disminuyeron las proporciones de las bacterias quimioheterotróficas en concentraciones más altas de contaminación por petróleo crudo, reemplazándolas por bacterias fotoheterotróficas, principalmente Rhodospirillales (Abbasian et al., 2016). Del mismo modo, en Colombia, evaluaron la diversidad microbiana de una quebrada, utilizando Columnas de Winogradsky, para recrear artificialmente un ecosistema microbiano del lugar variando sustratos para enriquecer grupos microbianos diferentes. Donde encontraron que en la zona de estudio existe una alta concentración de bacterias sulfúreas y quimioheterótrofas asociadas a la presencia de sulfatos y metales pesados (Martínez & Moyano, 2019).



Otros estudios han probado el efecto de diferentes proporciones de celulosa/sulfato en columnas de Winogradsky para mejorar la generación de voltaje. Obtenido como resultado una relación óptima de celulosa/sulfato igual a 0.75, además identificaron el modelo de superficie de respuesta, la cual produjo un voltaje entre 300 y 400 mV durante 20 días (Fernández-Rendón et al., 2021). También existen estudios que se centra en la construcción de una columna Winogradsky utilizando suelo de vertedero, la utilización de microbios en cada nicho para la degradación aumenta la degradación del LDPE. Donde el análisis FTIR muestra la incorporación de OH, CO y otros CO-O-CO en la columna vertebral de CH del PEBD (Sridharan et al., 2021).

Por último, hay estudios que buscan recuperar bacterias sulfuro oxidadoras a partir del uso de columnas de Winogradsky, donde obtuvieron como resultado a géneros como Thiobacillus, Beggiatoa, Chlorobium, Thiocapsa

y algunas actinobacterias que podrían estar relacionadas con el ciclo del azufre (Espinosa & Muñoz, 2020).

Según lo antes mencionado, las bacterias del azufre cumplen un papel importante en el ciclo biogeoquímico, que, en el agua están poco estudiados. Es por ello que es necesario describir la estructura y composición de las bacterias del azufre, así como sus condiciones fisicoquímicas para comprender mejor las consecuencias de las actividades humanas de uno de los ciclos biogeoquímicos más importantes en cuatro ecosistemas acuáticos de la provincia de Sullana.

III. Justificación



Los sistemas lénticos y lóticos, son los ecosistemas muy vulnerables a la contaminación (Blaber & Barletta, 2016); siendo este fenómeno generado por actividades humanas, como la deforestación y la quema de combustibles fósiles, o la agricultura (Chagnon et al., 2015) y la ganadería (F. Li et al., 2016), las cuales son las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (Nicoletti et al., 2015) o de desechos bioquímicos, como el CO₂ o compuestos derivados del nitrógeno o el del azufre; cuyas consecuencias se pueden observar en el día a día, tales como la lluvia ácida (Nicoletti et al., 2015) o la eutrofización de masas de agua (Zamparas & Zacharias, 2014).

Los derivados del azufre, como los sulfatos (SO₄⁻), en exceso provocan una modificación de los ciclos biogeoquímicos (Regel, 2018), que junto con el nitrógeno, carbono y fósforo, son los más importantes para la vida, por lo que una modificación en cualquiera de los ciclos biogeoquímicos en un ecosistema acuático como los lagos, lagunas o ríos, conllevaría a una modificación en la red trófica que existe en estos ecosistemas (Rabalais et al., 2014), y por tanto estos problemas que se generan para el medio

ambiente, hace que las medidas para mitigar sus efectos, sea un reto para todos, identificando y proponiendo alternativas de solución (Corral et al., 2006).

La mayoría de los estudios de microorganismos relacionados con el ciclo del azufre, se centran en usar los microorganismos para generar electricidad o para conocer el efecto de contaminantes como el petróleo o sus derivados (Ainiyah & Shovitri, 2014), a la biota microbiana de sistemas acuáticos y terrestres. Para ello se hace uso de una técnica muy simple y efectiva, que son las columnas de Winogradsky, ya que reproduce las condiciones existentes en los suelos inundados, como arrozales, humedales (marismas, pantanos y turberas), suelos compactados e inundados por las lluvias, en los sedimentos marinos, lacustres y de río, que juntos ocupan el 75 % de la corteza terrestre (Bacchetti De Gregoris et al., 2015). Por tanto, el conocimiento del ciclo de azufre, para conocer el efecto de la contaminación a la que se encuentra sometida el ecosistema léntico o lótico, desde nivel humano o nivel ambiental, se hace necesario el conocimiento de la ecología microbiana.



A medida que va aumentando las consecuencias de la contaminación, también crece la preocupación de la población para solucionar este problema (John & Shaike, 2015). De este modo los ciclos biogeoquímicos juegan un rol muy importante en los sistemas lénticos y lóticos (Bravo Chaves & Restrepo Franco, 2021). Por ello, es necesario realizar estudios relacionados con la comunidad microbiana en vínculo con el ciclo del azufre, en la provincia de Sullana, para aumentar el conocimiento de los recursos hídricos que hay en el país.

IV. Hipótesis

La estructura de las comunidades microbianas relacionadas con el azufre, será diferente en cada uno de los ecosistemas acuáticos.

V. Objetivos

Objetivo general:

Caracterizar la comunidad de microorganismos relacionados con el ciclo del azufre en diferentes ecosistemas acuáticos de la provincia de Sullana.

Objetivos específicos:

- Establecer el ecosistema microbiano de sedimentos y agua de los ecosistemas acuáticos a partir de la construcción de columnas de Winogradsky.
- Evaluar los cambios en la biota de las columnas de Winogradsky, a través de del reconocimiento e interpretación de los diferentes estratos, cada 15 días.
- Conocer los grupos taxonómicos presentes en la comunidad microbiana que integra la columna de Winogradsky, cada 15 días.
- Analizar los parámetros fisicoquímicos, cada 15 días.
- Comparar y analizar estadísticamente todos los resultados encontrados en cada lago o laguna.



VI. Metodología

Área de estudio

Se establecerán cuatro ecosistemas acuáticos, dos lóticos y dos lénticos. Estos ecosistemas serán la quebrada Palomas, la quebrada Peroles, la laguna de los Patos y la laguna Chorrera de Pilar Negro. Todos estos ecosistemas se encuentran en la Provincia de Sullana (Departamento Piura), que cuenta con una población aproximada de 300000 personas (INEI, 2018). Las quebradas Palomas y Peroles pertenecen a la red Hídrica del río Chira, uno de los ríos más imperantes del norte de Perú (Delgado et al., 2020). Por otro lado, la laguna de los Patos y la laguna Chorrera de Pilar

Negro, son de tipo estacional, por lo que depende de los regímenes hídricos que se dan a lo largo del año (Wetzel, 2001). En la provincia de Sullana, destacan dos tipos de clima, el tropical y la sabana tropical. En lo referente a la vegetación, predominan los bosques secos tropicales. La temperatura media anual es de 24.2 °C, con máximas de 38.2 °C y mínimas de 15.3 °C. La precipitación media anual es de 203 mm, con precipitaciones máximas en marzo (72.9 mm) y precipitaciones mínimas en los meses de julio, agosto y septiembre (0.5 mm) (Figura 1 - 4).

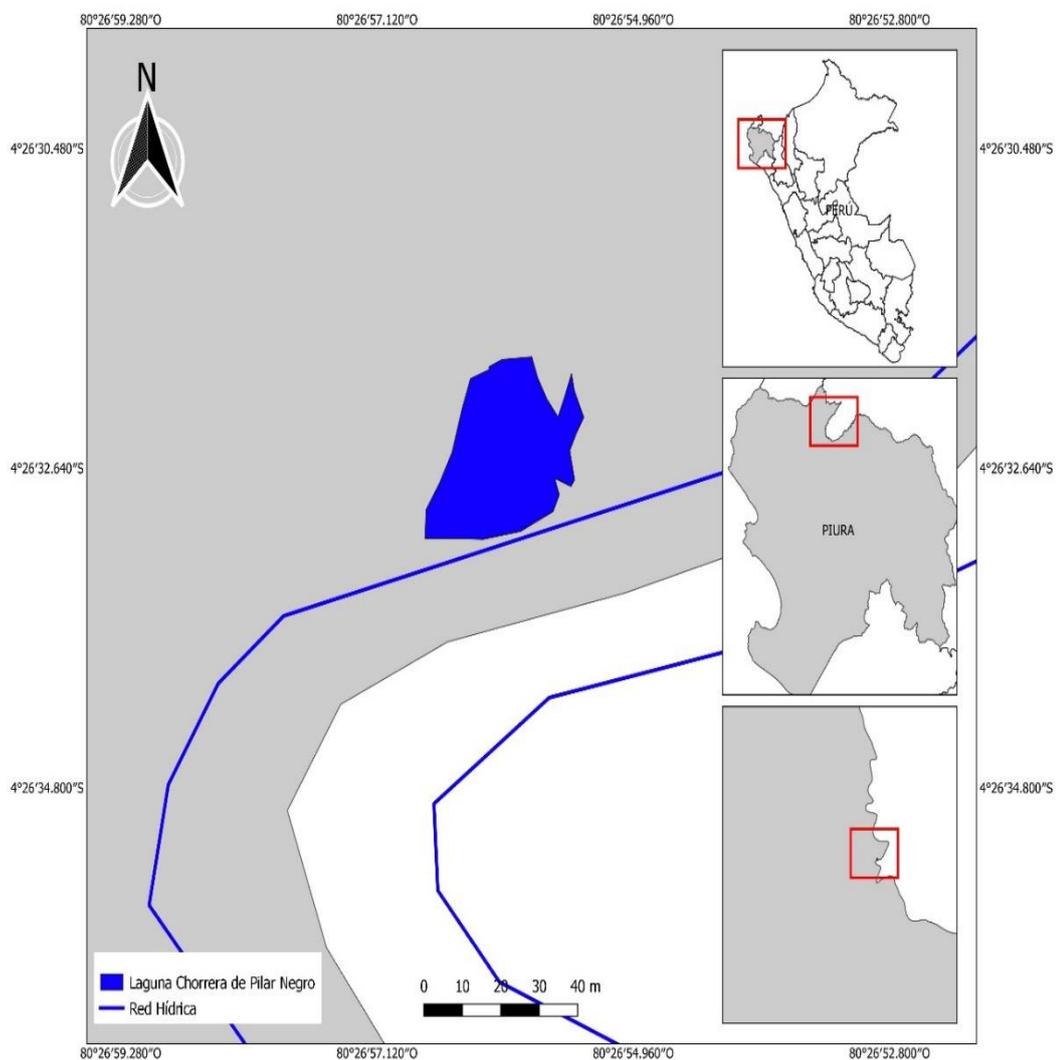


Figura 1. Ubicación de la laguna Chorrera de Pilar Negro, Distrito de Lancones, Provincia de Sullana, Departamento Piura.

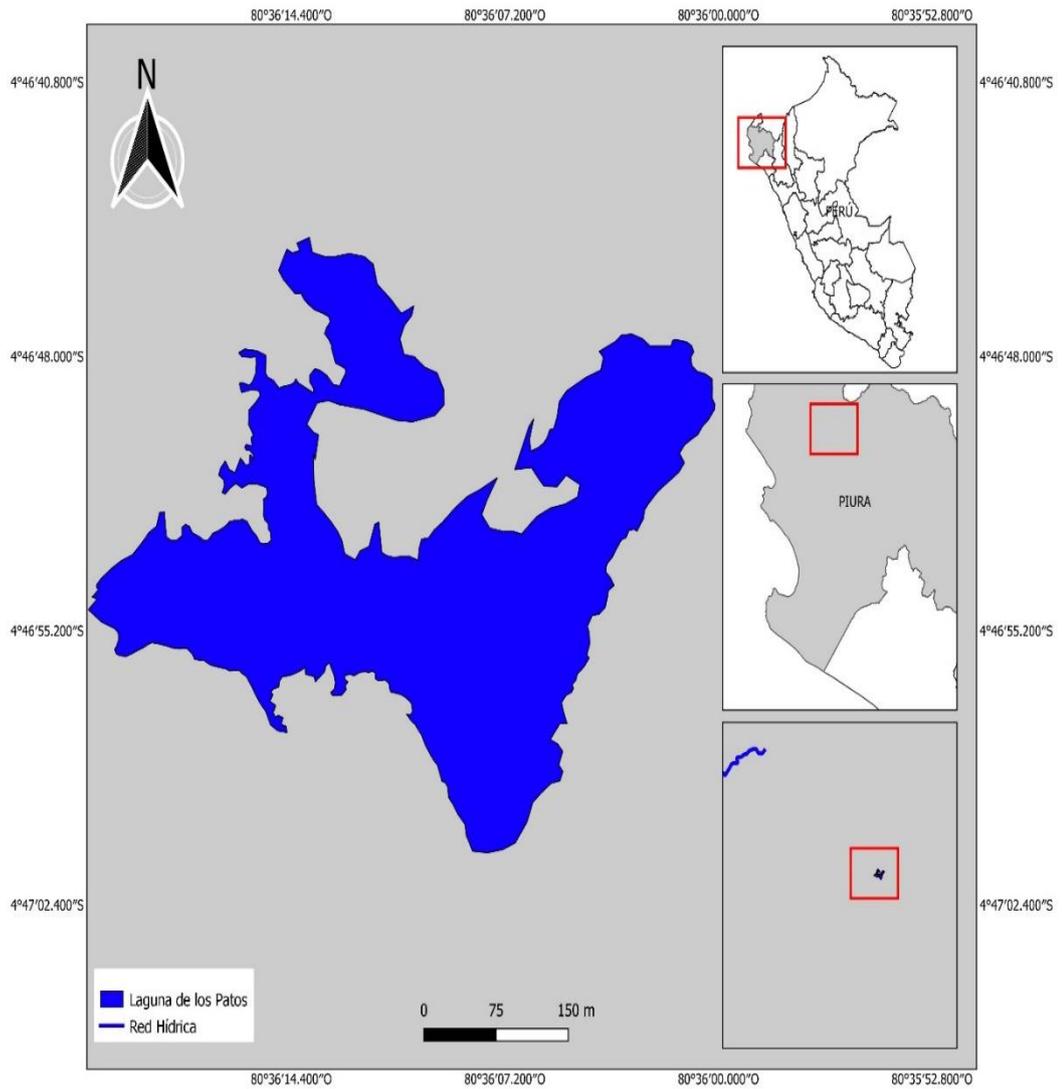


Figura 2. Ubicación de la laguna de los Patos, Distrito de Querecotillo, Provincia de Sullana, Departamento Piura.

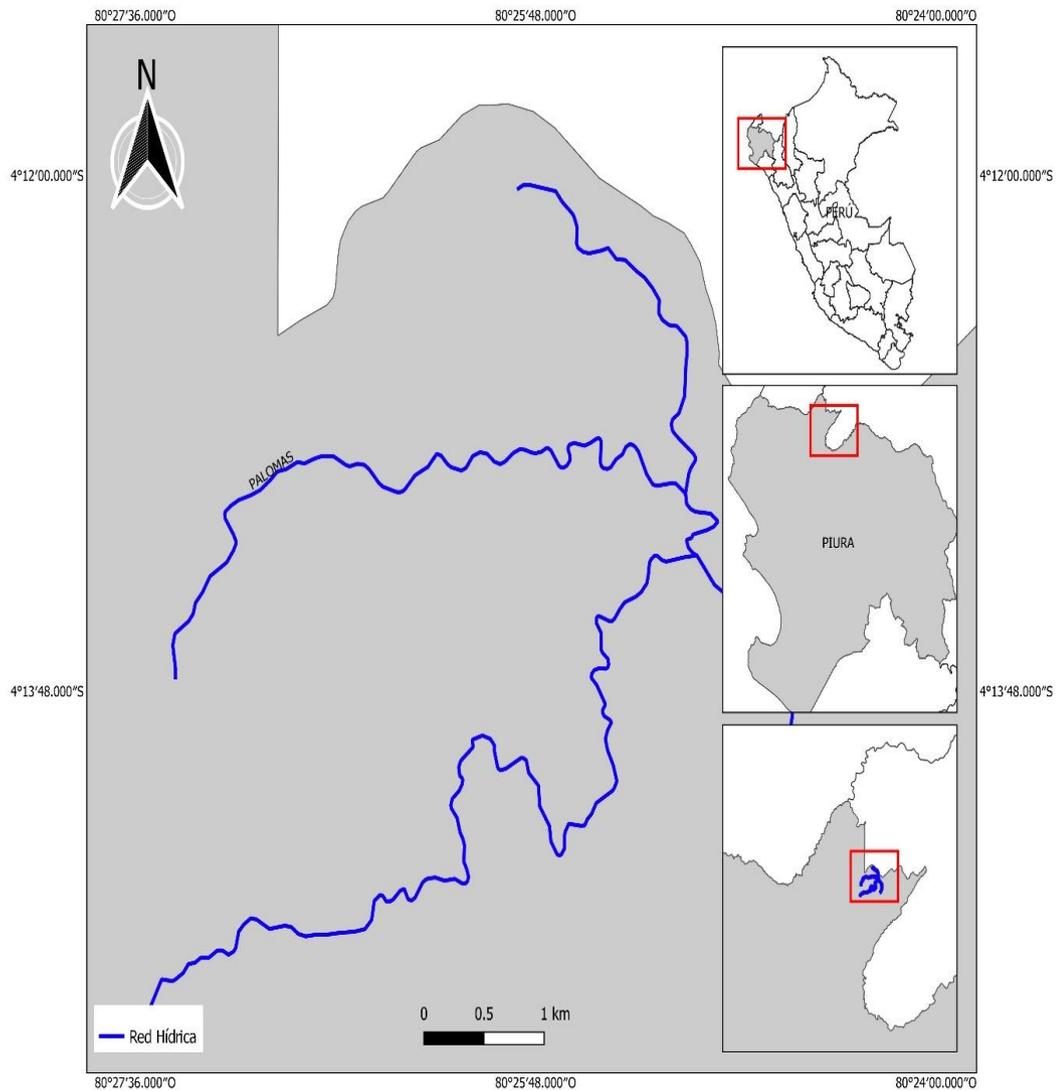


Figura 3. Ubicación de la Quebrada Palomas, Distrito de Lancones, Provincia de Sullana, Departamento Piura.

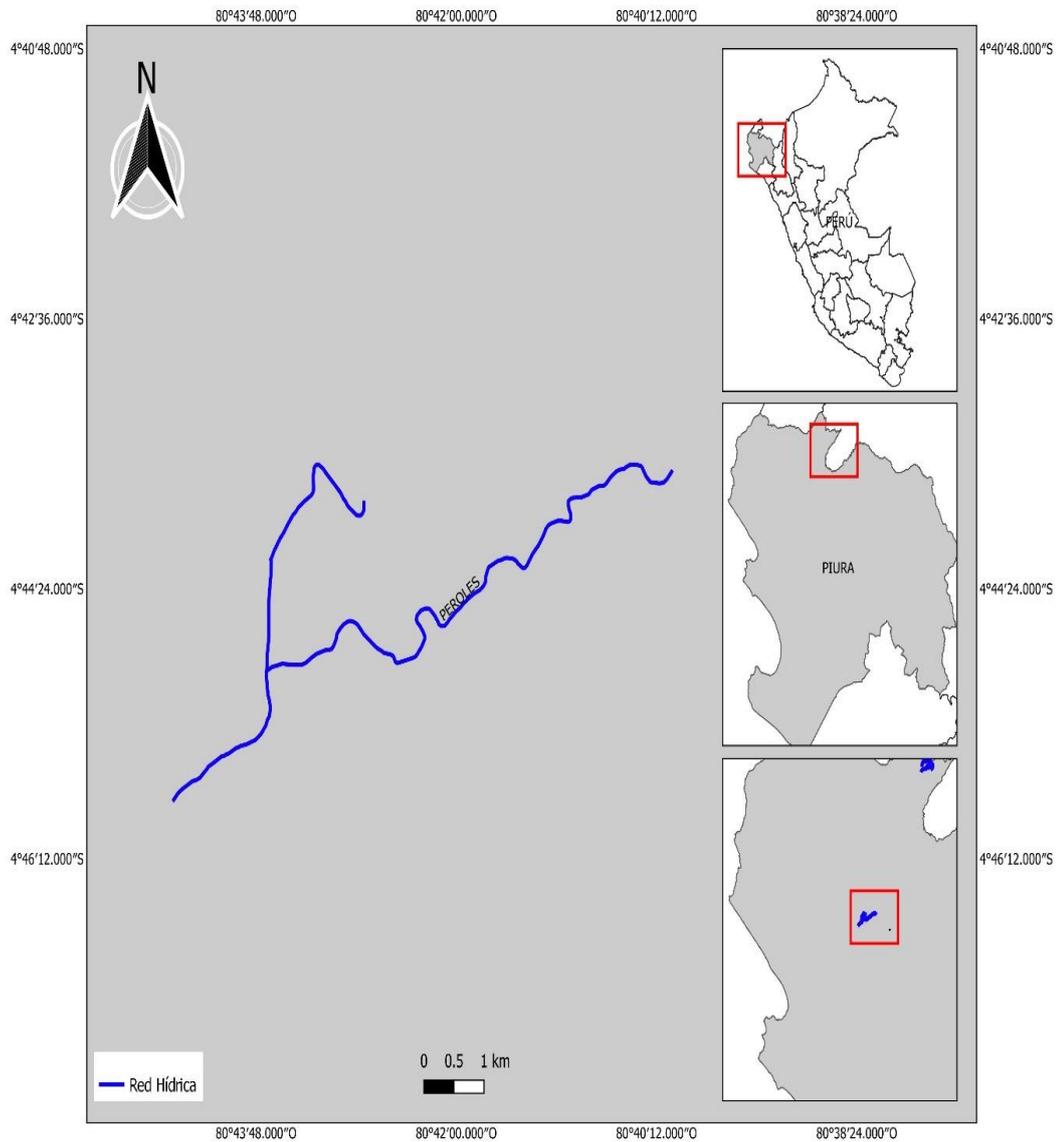


Figura 4. Ubicación de la Quebrada Peroles, Distrito de Marcavelica, Provincia de Sullana, Departamento Piura.

Trabajo de Gabinete

Se elaborarán mapas topográficos, para tener un mejor conocimiento de la zona. Con dichos mapas topográficos y con datos climáticos satelitales (Aybar et al., 2019), se harán cálculos de parámetros hidrológicos, como la tasa de renovación, aporte hídrico de la cuenca del lago, balance hídrico y

otros. Todo ello según la metodología descrita en CHE (2005) y Rascón et al. (2021)

Determinación de las estaciones de muestreo

Se establecerán 2 estaciones de muestreo en cada lago, siguiendo la metodología establecida por (Karlov et al., 2017).

Toma de muestras

La recolección, almacenamiento y traslado de las muestras, así como los análisis de laboratorio, se realizarán de acuerdo con APHA et al. (2017), ANA (2016) y MAGRAMA (2013), siguiendo las recomendaciones de algunos autores (Karlov et al., 2017; Zakharenko et al., 2015).

Establecimiento de las columnas de Winogradsky

Para la construcción de las columnas de Winogradsky se seguirán las metodologías propuestas por Grau et al. (1991) y Pagaling et al. (2017). El inóculo se preparará mezclando el sedimento muestreado con 4 g de cada una de las siguientes sales: CaCO_3 y CaSO_4 . Esta preparación se colocará en una probeta de vidrio de 1000 ml, y se agrega agua del ecosistema acuático muestreado hasta aproximadamente 3 cm del borde de la probeta y se dejará decantar esta suspensión durante dos o tres días. Finalmente, se agregará papel de filtro finamente picado hasta cubrir casi totalmente la superficie del sedimento, teniendo cuidado de que no queden burbujas de aire atrapadas en la columna. Posteriormente se recubrirá la columna con papel de aluminio para protegerla de la luz, y se colocará en una estufa a 28-30°C (se puede disminuir la temperatura de incubación, pero se alarga el experimento). Una vez finalizado el tiempo de incubación, se deja reposar durante una semana. Durante este período debe comenzar a aparecer el primer grupo de microorganismos, que generan un flujo ascendente de H_2S y CO_2 (respiración anaeróbica heterotrófica). Este flujo ascendente originará un gradiente positivo de O_2 hacia la superficie. Luego de una semana, se comenzará a iluminar la columna con luz solar o luz artificial de 100 Watts. Se recomienda cubrir la boca de la columna para evitar tanto el depósito de polvo como la evaporación de agua. Se debe agregar agua periódicamente para mantener el nivel inicial procediendo con



mucho cuidado a fin de no modificar los distintos niveles de flujos de los gases y de no introducir aire dentro de la columna. A fin de seguir el proceso completo desde el principio, se realizarán descripciones macroscópicas y observaciones microscópicas de muestras de agua a diferentes alturas del cilindro, cada 15 días. Al mismo tiempo, con una sonda multiparamétrica se tomarán datos físicos.

Análisis de datos

En primer lugar, se determinarán los gradientes fisicoquímicos generados en cada columna mediante gráficos elaborados por software R, con la librería ggplot 2 (Wickham, 2016). Se crearán dos dendrogramas utilizando la correlación de Pearson y aplicando el método de agrupación por ligamento promedio, uno para agrupar los ecosistemas acuáticos y sus respectivas columnas, y otro para agrupar los parámetros fisicoquímicos. Además, para determinar las diferencias significativas de los parámetros fisicoquímicos según los ambientes acuáticos, se realizará una ANOVA. Todos los análisis se realizarán con el software estadístico R, con un nivel de significancia del 5% (Borcard et al., 2018; Idalino Rodrigues & Idalino Rodrigues, 2015; R Core Team, 2022; Thioulouse et al., 2018). Por último, se identificarán los microorganismos generados en cada columna a través de una revisión bibliográfica, usando las coloraciones generadas como guía.



VII. Resultados esperados

Los resultados esperados del proyecto son:

- Conocer las bacterias de azufre de cuatro ecosistemas acuáticos y su relación con el ciclo biogeoquímico del azufre.
- Implementar un protocolo de monitoreo de la calidad del agua y sedimentos en lagunas y ríos de la provincia de Sullana
- Formación de nuevos investigadores a través de tesis de pregrado y postgrado.

- Mejoramiento y fortalecimiento de las capacidades técnicas del equipo de investigación.
- Publicar artículos en revistas indexadas con alto factor de impacto.

VIII. Impactos de los resultados

El contexto socioeconómico del proyecto se centra en el problema de los contaminantes relacionados con las actividades antrópicas que, en los últimos años, han tenido un gran crecimiento en la provincia de Sullana, con un considerable impacto en la población. Como cualquier actividad productiva que genera desarrollo, esta debe ir alineada con un adecuado sistema de vigilancia y medidas de prevención frente a la contaminación que originan, tanto biológica como química. La propuesta permitirá brindar una línea base sobre los contaminantes que pueden modificar el ciclo biogeoquímico del azufre, así como las actividades que generan dicha perturbación, en la provincia de Sullana. Esto tendrá un impacto tanto para la toma de decisiones sobre las actividades, como un cambio en las prácticas de algunas actividades como la ganadera o la agrícola, así como en el tratamiento del agua y asimismo un impacto en la salud pública al identificar el posible efecto sobre la población.



En el contexto ambiental, la contaminación de los cuerpos de agua por parte de las actividades humanas, terminaran afectando al entorno, tanto a la población rural como urbana. Estas aguas son usadas por la población, no solo para la actividad recreacional o doméstica, también para la ganadera o agrícola. Así, nuestra propuesta permitirá determinar los efectos de la contaminación en el ciclo biogeoquímico del azufre, y así establecer un sistema de control y prevención, de tal manera que se puedan ejecutar medidas de mitigación con mayor eficacia.

En el contexto científico, en los últimos años, en Sullana hay un creciente desarrollo científico y tecnológico que se ha evidenciado con las

investigaciones de la Universidad Nacional de la Frontera (UNF). De esta manera, la generación de información a partir de los datos recopilados, establecerá una línea base para ver el efecto de las actividades humanas en las comunidades fitoplanctónicas y viceversa.

IX. Generación de derechos de propiedad intelectual

Dentro de los resultados esperados, encontramos varios artículos científicos, dónde oss derechos de propiedad se compartirían con las revistas donde se publiquen. Por otro lado, si se genera un protocolo de monitoreo específico para los recursos hídricos de Sullana, diacho protocolo se podría registrar en INDECOPI, como un libro con sus derechos de autor.

X. Cronograma de actividades

Tabla 1: Cronograma de las actividades

Actividades	AÑO 2022		AÑO 2023				AÑO 2024			
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<i>Línea base</i>		X	X							
<i>Revisión de literatura</i>			X							
<i>Inicio del proyecto</i>				X						
<i>Adquisición de equipamiento</i>				X	X					
<i>Recolección de muestras</i>					X					
<i>Desarrollo y validación de la metodología</i>						X				
<i>Análisis de las muestras</i>						X				
<i>Discusión de resultados</i>							X			
<i>Resultados finales</i>							X	X		
<i>Redacción de manuscritos</i>									X	X



XI. Presupuesto

Tabla de presupuesto

Componente	Bien / Servicio	Unidades	Cantidad	Costo (\$)		Meses												Meses											
				Unitario	Sub total	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 Adquisición equipos / Preparación protocolos / Recolección de información																													
1.1 Elaboración de plan de muestreo / preparación de protocolos																													
	- Servicio de elaboración de línea base	Servicio	1	10,000.00	10,000.00	5,000.00	5,000.00																						
	- Desarrollo de plan de muestreo	Servicio	1	1,600.00	1,600.00		3,600.00																						
1.2 Recolección de muestras																													
	- Movilidad regional / local	GBL	1	10,000.00	10,000.00						2,500.00	2,500.00	2,500.00	2,500.00															
	- Recipientes para recolección de muestras	Unidad	600	20.00	12,000.00																								
	- Instrumentaria	Unidad	5	650.00	3,250.00							3,250.00																	
	- Costo de muestras	Unidad	600	20.00	12,000.00							3,000.00	3,000.00	3,000.00															
1.3 Análisis de muestras																													
	- Equipamiento	GBL	1	325,000.00	325,000.00	125,000.00	200,000.00																						
	- Material de vidrio	GBL	1	10,000.00	7,200.00																								
	- Material Emplata	GBL	2	10,000.00	14,800.00																								
	- Reactivo Nitratro 5	Paquete	1	322.00	322.00																								
	- Reactivo Nitratro 3	Paquete	1	322.00	322.00																								
	- Reactivo Phosvar 3	Paquete	1	322.00	322.00																								
	- Reactivo Nisslar	ml	500	400.00	400.00																								
	- Lugol	ml	250	400.00	400.00																								
	- Solución de acetona	litro	1	1,800.00	1,800.00		1,800.00																						
	- Pipetas Pastuer Plastico	Unidad	100	600.00	600.00		600.00																						
	- Tubos de centrifuga de 15 ml (Tijco tikcon)	Unidad	15	150.00	150.00		150.00																						
	- Caudales polipropileno para tubos, 20 mm, 40 tubos	Unidad	1	100.00	100.00		100.00																						
	- Cámara de recuento de Sedgwich Rafter	Unidad	2	800.00	1,600.00		1,600.00																						
	- Micropipetador de 5 ml	Unidad	1	700.00	700.00		700.00																						
	- Matraz Erlenmeyer, cuello estrecho graduado 250 ml. Clase A	Unidad	12	30.00	360.00		360.00																						
	- Puntas de Pipetas de 1 ml	caja	1	500.00	500.00		500.00																						
	- Tubo de vidrio borosilicato 16 x 100 mm. Con Rosca. Clase A	caja	1	1,200.00	1,200.00		1,200.00																						
	- Probeta vidrio de 100 ml. Clase A. división 1 ml	Unidad	2	25.00	50.00		50.00																						
	- Fialas de vidrio de 50 ml. Clase A. con tapón	Unidad	5	20.00	100.00		100.00																						
	- Botellas Winkler de 250 ml color ámbar	Unidad	14	300.00	4,200.00		4,200.00																						
	- Botellas Winkler de 250 ml transparentes	Unidad	4	300.00	1,200.00		1,200.00																						
	- Botellas Winkler de 125 ml color ámbar	Unidad	14	280.00	3,920.00		3,920.00																						
	- Botellas Winkler de 125 ml transparentes	Unidad	4	280.00	1,120.00		1,120.00																						
	- Botellas de Plástico Transparente (1L)	Unidad	14	58.00	812.00		812.00																						
	- Botellas de Vidrio Transparente (1L)	Unidad	14	50.00	700.00		700.00																						
	- Bolsas de gel refrigerante	Unidad	12	11.00	132.00		132.00																						
	- Contenedor Opaco (Caja de cartón o parecido)	Unidad	1	115.00	115.00		115.00																						
	- Filtros de fibra de Vidrio de 47 mm de diametro	Caja	2	400.00	800.00		800.00																						
	- Pinzas	Unidad	6	39.00	234.00		234.00																						
	- GPS	Unidad	1	2,750.00	2,750.00		2,750.00																						
	- Laptop	Unidad	2	8,500.00	17,000.00		17,000.00																						
	- Refrigeradora	Unidad	2	4,850.00	9,700.00		9,700.00																						
	- Equipo multiparamétrico	Unidad	1	19,500.00	19,500.00		19,500.00																						
	- Placa calefactora	Unidad	1	8,524.00	8,524.00		8,524.00																						
	- Tubofluorimetro	Unidad	1	8,700.00	8,700.00		8,700.00																						
	- Microscopio con pantalla para investigación de 10X hasta 40X	Unidad	1	68,750.00	68,750.00		68,750.00																						
	- Estufa, esterilizadora secadora	Unidad	1	6,650.00	6,650.00		6,650.00																						
	- Cámara de bioseguridad clase II tipo A2	Unidad	1	46,000.00	46,000.00		46,000.00																						
	- Análisis	Unidad	1	128.00	128.00		128.00																						
	- pH-metro	Unidad	1	5,000.00	5,000.00		5,000.00																						
	- Espectrofotómetro UV-VIS	Unidad	1	42,500.00	42,500.00		42,500.00																						
1.4 Evaluación para la validación de metodología aplicada.																													
	- Servicios de laboratorio certificado	Muestra	600	95.00	57,000.00							28,500.00	28,500.00																
2 Análisis de datos																													
2.1 Entrenamiento en laboratorio internacional certificado																													
	- Pasajes internacionales	Pasaje	3	4,600.00	13,800.00									13,800.00															
	- Alojamiento - Alimentación (12 días)	GBL	3	14,400.00	43,200.00										43,200.00														
	- Transporte interno	Unidad	1	4,800.00	4,800.00										4,800.00														
2.2 Análisis estadístico descriptivo																													
	- Consultoría de análisis estadístico	Informe	1	4,500.00	4,500.00											4,500.00													
3 Elaboración de informes / artículos																													
3.1 Manuscrito (Traducción, corrección estilo)																													
	- Profesional de apoyo	Informe	5	3,800.00	19,000.00												7,600.00												
3.3 Difusión de resultados																													
4.1 Someteimiento de artículos de revisión / aceptación																													
	- Someteimiento de artículo de investigación / aceptación	Artículo	1	9,000.00	9,000.00																								
4.2 Someteimiento de artículo de investigación / aceptación																													
	- Publicación de libro	Artículo	1	9,000.00	9,000.00																								
4.3 Difusión de resultados																													
	- Servicios de edición gráfica	GBL	1	7,800.00	7,800.00																								
	- Derechos de autor (INDECOP)	Servicio	1	650.00	650.00																								
	- Deposito en la Biblioteca Nacional	Servicio	1	980.00	980.00																								
4.4 Participación en eventos científicos																													
4.4.1 - Evento internacional																													
	- Evento internacional	Evento	2																										
	- Pasajes Internacionales	Pasaje	2	4,200.00	8,400.00																								

Referencias bibliográficas

- Abbasian, F., Lockington, R., Megharaj, M., & Naidu, R. (2016). The Biodiversity Changes in the Microbial Population of Soils Contaminated with Crude Oil. *Current Microbiology*, 72(6), 663–670. <https://doi.org/10.1007/s00284-016-1001-4>
- Ainiyah, D. N., & Shovitri, M. (2014). Bakteri Tanah Sampah Pendegradasi Plastik dalam Kolom Winogradsky. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 3(2), 63–66.
- APHA, AWWA, & WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (R. B. Baird, A. D. Eaton, & E. W. Rice (eds.)). American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Autoridad Nacional del Agua.
- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2019). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770–785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- Baatar, B., Chiang, P. W., Rogozin, D. Y., Wu, Y. T., Tseng, C. H., Yang, C. Y., Chiu, H. H., Oyuntsetseg, B., Degermendzhy, A. G., & Tang, S. L. (2016). Bacterial communities of three saline meromictic lakes in Central Asia. *PLoS ONE*, 11(3), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150847>
- Bacchetti De Gregoris, T., Barroeta, B., & Nuñez, A. E. (2015). La columna bioelectrogénica: una herramienta para introducir conceptos de ecología microbiana y electroquímica en la educación secundaria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 12(3), 529–535. <http://hdl.handle.net/10498/17607>



- Blaber, S. J. M., & Barletta, M. (2016). A review of estuarine fish research in South America: what has been achieved and what is the future for sustainability and conservation? *Journal of Fish Biology*, 89(1), 537–568. <https://doi.org/10.1111/jfb.12875>
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre. (2018). *Numerical Ecology with R*. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.b03>
- Bravo Chaves, L. R., & Restrepo Franco, G. M. (2021). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en dos ecosistemas lóticos en El Doncello, Caquetá. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 17(1), 57–72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.5432>
- Chagnon, M., Kreuzweiser, D., Mitchell, E. A. D., Morrissey, C. A., Noome, D. A., & Van der Sluijs, J. P. (2015). Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environmental Science and Pollution Research International*, 22(1), 119–134. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3277-x>
- Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). (2005). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro*. Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Corral, R., Duicela, L., & Maza, H. (2006). Fijación Y Almacenamiento De Carbono En Sistemas Agroforestales Con Café Arabigo Y Cacao , En Dos Zonas Agroecológicas Del Litoral Ecuatoriano. *Congreso Ecuatoriano De La Ciencia Del Suelo*, 1–15.
- Delgado, A., Jiménez, J., Ochoa, L., Mendiola, L., Alvarado, A., & Huamaní, E. L. (2020). Applying grey systems to analyze water quality on the river Chira watershed. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(7), 3880–3886. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/156872020>
- Diao, M., Huisman, J., & Muyzer, G. (2018). Spatio-temporal dynamics of sulfur bacteria during oxic-anoxic regime shifts in a seasonally stratified lake. *FEMS Microbiology Ecology*, 94(4).



<https://doi.org/10.1093/FEMSEC/FIY040>

Espinosa, D. S., & Muñoz, P. A. (2020). *Aislamiento de bacterias Sulfuro Oxidadoras a partir de Columnas de Winogradsky*. 78.

Fan, Y. (2015). Groundwater in the Earth's critical zone: Relevance to large-scale patterns and processes. *AGU.PUBLICATIONS*, 64(46), 929. <https://doi.org/10.1029/eo064i046p00929-04>

Fernández-Rendón, C. L., Barrera-Escorcía, G., Romero-Paredes, H., & González, I. (2021). Influence of the cellulose and sulfate ratio on voltage generation in winogradsky columns. *Revista Mexicana de Ingeniera Química*, 20(3), 1–11. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Bio2292>

Galarza, G., Quinche, L., Aguilera, D., Garzon, C., & Manzano, J. (2016). Estudio Limnológico De Varios Sistemas Lóticos Y Lénticos Aledaños a La Reserva Yotoco-Valle Del Cauca, Colombia. *Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia*, 102.

Grau, R. R., Limansky, A. S., Diaz Ricci, J. C., & De Mendoza, D. (1991). The windogradsky column: A simple and inexpensive approach to teach environmental biochemistry. *Biochemical Education*, 19(3), 143–147. [https://doi.org/10.1016/0307-4412\(91\)90058-G](https://doi.org/10.1016/0307-4412(91)90058-G)

Green, J., & Paget, M. S. (2004). Bacterial redox sensors. *Nature Reviews Microbiology*, 2(12), 954–966. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1022>

Han, G., Tang, Y., Liu, M., Van Zwieten, L., Yang, X., Yu, C., Wang, H., & Song, Z. (2020). Carbon-nitrogen isotope coupling of soil organic matter in a karst region under land use change, Southwest China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 301(March), 107027. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107027>

Idalino Rodrigues, E., & Idalino Rodrigues, E. (2015). *Ecología numérica*. CAPES.

Inceoğlu, Ö., Lliros, M., Crowe, S. A., García-Armisen, T., Morana, C., Darchambeau, F., Borges, A. V., Descy, J. P., & Servais, P. (2015). Vertical Distribution of Functional Potential and Active Microbial



Communities in Meromictic Lake Kivu. *Microbial Ecology*, 70(3), 596–611. <https://doi.org/10.1007/s00248-015-0612-9>

INEI. (2018). *Perú: Perfil Sociodemográfico. Informe Nacional*. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

John, E. M., & Shaik, J. M. . (2015). Chlorpyrifos: pollution and remediation. *Environmental Chemistry Letters*, 13(3), 269–291. <https://doi.org/10.1007/s10311-015-0513-7>

Karlov, D. S., Marie, D., Sumbatyan, D. A., Chuvochina, M. S., Kulichevskaya, I. S., Alekhina, I. A., & Bulat, S. A. (2017). Microbial communities within the water column of freshwater Lake Radok, East Antarctica: predominant 16S rDNA phylotypes and bacterial cultures. *Polar Biology*, 40(4), 823–836. <https://doi.org/10.1007/s00300-016-2008-9>

Keshri, J., Pradeep Ram, A. S., Nana, P. A., & Sime-Ngando, T. (2018). Taxonomical Resolution and Distribution of Bacterioplankton Along the Vertical Gradient Reveals Pronounced Spatiotemporal Patterns in Contrasted Temperate Freshwater Lakes. *Microbial Ecology*, 76(2), 372–386. <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1143-y>

Korneeva, V. a, Pimenov, N. V, Krek, a V, Tourova, T. P., & Bryukhanov, a L. (2015). Sulfate-Reducing Bacterial Communities in the Water Column of the Gdansk Deep (Baltic Sea). *Mikrobiologiya*, 84(2), 250–260. <https://doi.org/10.1134/S002626171502006X>

Li, F., Cheng, S., Yu, H., & Yang, D. (2016). Waste from livestock and poultry breeding and its potential assessment of biogas energy in rural China. *Journal of Cleaner Production*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.104>

Li, S., Luo, J., Wu, D., & Jun Xu, Y. (2020). Carbon and nutrients as indicators of daily fluctuations of pCO₂ and CO₂ flux in a river draining a rapidly urbanizing area. *Ecological Indicators*, 109(February 2019), 105821. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105821>

Li, Y., Gong, X., Zhao, Z., Shen, Q., & Zhang, L. (2022). Distribution and



Release of Volatile Organic Sulfur Compounds in Yangcheng Lake.
Water (Switzerland), 14(8), 1–15. <https://doi.org/10.3390/w14081199>

Liu, J., & Han, G. (2021). Tracing Riverine Particulate Black Carbon Sources in Xijiang River Basin: Insight from Stable Isotopic Composition and Bayesian Mixing Model. *Water Research*, 194, 116932. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116932>

López, J. P. (2019). La columna de Winogradsky: Un ejemplo de Microbiología básica. *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien*, 5(3), 373–376.

Luo, W., Su, L., Craig, N. J., Du, F., Wu, C., & Shi, H. (2019). Comparison of microplastic pollution in different water bodies from urban creeks to coastal waters. *Environmental Pollution*, 246, 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.081>

MAGRAMA. (2013). *Protocolo de Análisis y Cálculo de Métricas de Fitoplancton en Lagos y Embalses*.

Martínez, S. X., & Moyano, J. F. (2019). *Evaluación Preliminar De La Diversidad Bacteriana De La Quebrada El Muña Empleando Columnas De Winogradsky*. 13(1), 28–39. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa>

Nicoletti, G., Arcuri, N., Nicoletti, G., & Bruno, R. (2015). A technical and environmental comparison between hydrogen and some fossil fuels. *Energy Conversion and Management*, 89, 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.09.057>

Pagaling, E., Vassileva, K., Mills, C. G., Bush, T., Blythe, R. A., Schwarz-Linek, J., Strathdee, F., Allen, R. J., & Free, A. (2017). Assembly of microbial communities in replicate nutrient-cycling model ecosystems follows divergent trajectories, leading to alternate stable states. *Environmental Microbiology*, 19(8), 3374–3386. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13849>

R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>

Rabalais, N. N., Cai, W.-J., Carstensen, J., Conley, D. J., Fry, B., Hu, X.,



Quiñones-Rivera, Z., Rosenberg, R., Slomp, C. P., Turner, R. E., Voss, M., Wissel, B., & Zhang, J. (2014). Eutrophication-driven deoxygenation in the coastal ocean. *Oceanography*, 27(1), 172–183. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2011.65>

Rascón, J., Gosgot Angeles, W., Quiñones Huatangari, L., Oliva, M., & Barrera Gurbillón, M. Á. (2021). Dry and Wet Events in Andean Populations of Northern Peru: A Case Study of Chachapoyas, Peru. *Frontiers in Environmental Science*, 9(March), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.614438>

Regel, J. A. (2018). Aislamiento de microalgas mixotróficas a partir de columnas de Winogradsky, con posible aplicación en la remoción de materia orgánica y color en aguas residuales no domésticas pos tratadas. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 44(8), 1689–1699.

Rogan, B., Lemke, M., Levandowsky, M., & Gorrell, T. (2005). Exploring the Sulfur Nutrient Cycle Using the Winogradsky Column. *The American Biology Teacher*, 67(6), 348–356. [https://doi.org/10.1662/0002-7685\(2005\)067\[0348:ETSNCU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1662/0002-7685(2005)067[0348:ETSNCU]2.0.CO;2)

Sridharan, R., Krishnaswamy, V. G., & Kumar, P. S. (2021). Analysis and microbial degradation of Low-Density Polyethylene (LDPE) in Winogradsky column. *Environmental Research*, 201(July), 111646. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111646>

Thioulouse, J., Dufour, A. B., Jombart, T., Dray, S., Siberchicot, A., & Pavoine, S. (2018). Multivariate analysis of ecological data with ade4. In *Multivariate Analysis of Ecological Data with ade4*. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8850-1>

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (Tercera Ed). Academic Press Elsevier.

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>

Zakharenko, A. S., Pimenov, N. V., Ivanova, V. G., & Zemskaya, T. I. (2015).



Detection of methane in the water column at gas and oil seep sites in central and southern Lake Baikal. *Microbiology*, 84(1), 90–97.
<https://doi.org/10.1134/S0026261715010178>

Zamparas, M., & Zacharias, I. (2014). Restoration of eutrophic freshwater by managing internal nutrient loads. A review. *Science of the Total Environment*, 496, 551–562.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.076>





PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE LA CIUDAD DE SULLANA EN EL RÍO CHIRA A TRAVÉS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.



Proyecto CU N°2444086:
“Creación del servicio de laboratorio de investigación de agua y suelos en
la Universidad Nacional de Frontera”.

SULLANA – PERÚ

2022

1.1. Título

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DE LA CIUDAD DE SULLANA EN EL RÍO CHIRA A TRAVÉS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.

1.2. Datos del equipo investigador

Investigador principal:	Jhony Alberto Gonzáles Malca Coordinador del proyecto
Coinvestigadores:	William Lorenzo Aldana Juárez Claudia Mabel Palacios Zapata María S. Abanto López Lidman D. Gálvez Paucar

Localidad donde se realizará la investigación

Lugar: Laboratorio de investigación en Agua y Suelos de la UNF.

Localidad: Sullana

Institución: Universidad Nacional de Frontera.



RESUMEN

Los recursos hídricos como ríos, lagos y lagunas tienen importancia ecológica y económica, pero continuamente se ven afectados por las actividades humanas que podrían ser responsables de importantes márgenes de contaminación del medio acuático. El vertimiento de aguas residuales municipales y otros residuos al río Chira son una gran fuente de contaminación. Dado el gran interés con respecto a la conservación de los ecosistemas de aguas de transición y el claro riesgo de exposición a la contaminación por vertimiento de aguas residuales al río, este estudio tiene como objetivo: (i) Evaluar el impacto de los efluentes domésticos en la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del río Chira a su paso por la ciudad de Sullana; (ii) caracterizar fisicoquímicamente y microbiológicamente de las aguas río, por época.; (iii) evaluar la variación espacio-temporal de la calidad del agua del río; (iv) conocer el grado de

contaminación de las aguas del río Chira con la aplicación de índices de contaminación; y (v) finalmente se realizará la comparación de los resultados con normativas nacionales. Con todo esto, este estudio nos indicara los principales contaminantes y sus fuentes de emisión, para establecer correctas políticas para la conservación del medio ambiente.

PALABRAS CALVE

Aguas residuales, sistemas lóticos, calidad agua, impacto ambiental, contaminación.

LINEA DE INVESTIGACIÓN

Cantidad y calidad del Agua

II. Antecedentes

La degradación de los recursos acuáticos es motivo de interés para las ciencias del medio ambiente, para proteger los ecosistemas fluviales y analizar sus cambios en el tiempo, por lo que es importante estimar el efecto y magnitud de la intervención antrópica (Luna Hernández & Madroñero Palacios, 2015). El manejo de los recursos hídricos cada vez juega un papel más importante en el desarrollo económico de las actividades humanas con el fin de no afectar las cuencas hidrográficas (Martínez & Villalejo, 2018). La contaminación de los ríos debido a la incorporación de microorganismos, productos químicos y residuos industriales genera graves problemas de carácter ecológico, social y económico, los cuales van deteriorando la calidad del agua (Bussi et al., 2021)

Los ríos son masas de aguas naturales sometidas a las características propias de la cuenca, como su geología, cambios climáticos y la calidad del agua varía naturalmente a lo largo del tiempo y de su curso debido a los



diferentes factores ambientales (Chávez Ortiz et al., 2016). Sin embargo, las características tanto biológicas como fisicoquímicas, se ven afectadas por las actividades humanas, en algunos casos de forma irreversible (Cortona, 2020). Las principales fuentes de contaminación de los ríos son las descargas de tipo municipal e industrial, así como los flujos de retorno generados por las actividades agropecuarias (Ospanov et al., 2020). La aceleración de los procesos de eutrofización es uno de los principales efectos causados por fuentes de contaminación, lo que hace que disminuya la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, aumentando la población de algas, provocando la muerte de animales acuáticos (García Miranda & Miranda Rosales, 2018). Asimismo, son muchos los estudios que han revelado que el agua es una fuente de diversas enfermedades infecciosas, siendo las enfermedades diarreicas la más comunes (Argotti, 2021).

En muchos países del mundo, la cuestión de la calidad del agua es motivo de preocupación. Los diferentes usos de esta sustancia por parte del ser humano y sus actividades industriales explican la importancia y el interés que se le otorga a este elemento importante para la vida (Renzi et al., 2020). En nuestro país, el vertido directo de diversos contaminantes a los ríos se está convirtiendo en un grave problema, derivado principalmente de la descarga de aguas servidas (Gamarra et al., 2018).

Algunas investigaciones revelan estudios respecto a evaluaciones de características fisicoquímicas y microbiológicas del agua según épocas de muestreo. Ellassassi et al., (2022) estimaron el grado de contaminación y sus principales fuentes de contaminación del río Tiflet, evaluando once parámetros fisicoquímicos. Obteniendo como resultados que las descargas de aguas residuales al río pueden aumentar la salinidad del agua, la carga de fósforo y la carga de contaminación orgánica. Las cargas de nitrógeno y nitrato fueron superiores a las normas estándar en las estaciones expuestas a la contaminación agrícola y a la lixiviación de cuencas, la carga de contaminación orgánica registrada en la estación húmeda es baja a diferencia de la estación seca. Mientras que (Lencha et al., 2021),



evaluaron las variaciones estacionales y espaciales en la calidad del agua de la cuenca del lago Hawassa (LHW), obteniendo como resultados que, los ríos y el lago estaban moderadamente contaminados (MP), el reporte de resultados de conductividad eléctrica (EC), oxígeno disuelto (DO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (TN) , fósforo total (TP), ion sodio (Na) fueron designados como moderadamente contaminados (MP) y altamente contaminados (HP). Chávez Ortiz et al., (2016) en su investigación determinaron los efluentes residuales de la ciudad de Chachapoyas en la calidad del agua de la quebrada Santa Lucía y el río Sonche a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Obteniendo como resultado que los parámetros microbiológicos no cumplen con ninguna de las categorías analizadas, el índice ICOMI, reflejó un mayor grado de contaminación para la quebrada y el río (concentraciones elevadas de parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos), evidenciando la influencia negativa de las aguas residuales de la ciudad de Chachapoyas. En otra investigación realizada en la cuenca del río Utcumaba, se evaluaron 19 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, cuyos resultados se emplearon para determinar las posibles fuentes de contaminación del sistema, siendo los residuos agropecuarios y domésticos, la presencia de vertederos ilegales y canteras y la ausencia de bosques de galería las principales actividades y factores que afectan a la calidad del agua. Por otra parte, variables como CE, DUR, T, TB, CF, CLO, CT, EC y EF mostraron diferencias significativas entre tramos de cuenca, mientras que CE, OD, TB, CT y EC lo hicieron entre temporadas de muestreo (Gamarra et al., 2018)

Por otro lado, Capizzi et al., (2021), investigaron respecto a la evaluación de la contaminación viral del agua superficial utilizando el molusco bivalvo *Dreissena polymorpha* (mejillón cebra). Los resultados mostraron que los análisis del tejido blando de los mejillones son capaces de reflejar el nivel de contaminación del agua muy rápidamente (en menos de 24 horas). Además, el tejido blando retuvo la carga viral mucho más tiempo que el agua. También se realizó un estudio de Evaluación del impacto del



vertimiento de aguas residuales en el río Ventilla en Amazonas. Evaluando específicamente los parámetros microbiológicos en las aguas del río a su paso por la zona con mayor actividad ganadera, que además cuenta con la presencia de una laguna de oxidación para el tratamiento de aguas residuales. Obteniendo como resultados la presencia de grandes concentraciones de estas bacterias en el agua, provocadas por la descarga de las aguas residuales de la laguna de oxidación de dicha localidad, el pastoreo y el consecuente vertido de desechos fecales del propio ganado vacuno en las riberas del río (Chávez et al., 2017)

Según lo antes mencionado, el impacto de las aguas residuales en las aguas del río Chira a su paso por la ciudad de Sullana genera un gran perjuicio en el ambiente y en la salud pública. Es por ello, que es necesario caracterizar y estudiar la calidad del agua tanto a nivel fisicoquímico como microbiológico a nivel espacial y temporal, así como conocer el grado de contaminación, además si las aguas cumplen con las normativas nacionales de las aguas del río Chira a su paso por la ciudad de Sullana.



III. Justificación

Los recursos hídricos (mar, ríos, lagos y lagunas) son vulnerables a la contaminación (Martínez & Villalejo, 2018). La relación entre calidad del agua de uso humano y la salud pública, está ampliamente reconocida (Patiño et al., 2014) En este sentido, el aumento de la contaminación de los recursos hídricos provoca que estos recursos naturales se conviertan en inadecuados para el uso primario y/o secundario de la población (Gamarra et al., 2018).

Para poder darle un posible manejo a la contaminación y gestionar los recursos hídricos, es preciso identificar los índices de contaminación respecto a parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, como

consecuencia de las actividades del vertimiento de aguas residuales municipales en el río Chira. Este es un río de la vertiente del Pacífico, localizado al sur del Ecuador y norte del Perú. Actualmente sus dos principales fuentes de contaminación son: el vertido de los residuos sólidos, los cuales provienen de los botaderos no controlados ubicados a lo largo de toda la cuenca, esto provoca que gran parte de los residuos sean arrastrados hacia las fuentes de agua o bien son vertidos directamente al río. Este problema adquiere mayor importancia dado el hecho que no hay ningún tipo de control sobre estos vertimientos. Por otro lado, está el vertimiento de aguas residuales sin previo tratamiento, este es un problema recurrente ya que la cuenca del Chira cuenta con un reducido número de plantas de tratamiento y muchas de ellas se encuentran inoperativas, lo que ha traído como consecuencia el vertido de los desagües a los ríos y quebradas, contaminado las aguas con materias orgánicas de origen doméstico, además de otras sustancias, como hidrocarburos, detergentes, ácidos, álcalis, entre otros. Los vertimientos que revisten mayor impacto negativo son aquellos que desembocan entre las localidades de Salitral, Querecotillo, Sullana y Marcavelica, así como los vertidos de los desagües que van al río Huancabamba. Los mayores afectados son los habitantes de la cuenca baja, los cuales se abastecen del recurso que aporta los efluentes a lo largo de todo el curso.

Sin embargo, existen otras razones de contaminación como: Problemas con la actividad agrícola, debido al uso de fertilizantes y pesticidas, así como los residuos orgánicos de los cultivos, orina y estiércol del ganado vacuno, ovino y equino. Problemas con la actividad minera, actualmente en la parte alta de la cuenca del Chira se encuentran explotaciones mineras informales, cuyo manejo no considera el cuidado de los recursos hídricos, siendo un riesgo potencial de contaminación de las aguas, con las mayores consecuencias en la parte baja de la cuenca. Problemas con la industria y agroindustrias. En la parte alta de las ciudades de Sullana, Marcavelica y Cieneguillo se hallan diversas empresas dedicadas al procesamiento de productos hidrobiológicos, agroindustrias, centros de beneficio de animales



menores, entre otros. Y finalmente la Contaminación natural Si bien no se puede considerar causada por el humano, este tipo de contaminación puede verse agravada por la acción de este.

IV. Hipótesis

Los efluentes residuales municipales impactan en la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del río Chira a su paso por la ciudad de Sullana.

V. Objetivos

Objetivo general:

Evaluar el impacto de los efluentes domésticos en la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del río Chira a su paso por la ciudad de Sullana.



Objetivos específicos:

- Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas río Chira por época.
- Evaluación de la variación espacio-temporal de la calidad del agua del río Chira.
- Aplicación de cuatro índices de contaminación para conocer el grado de contaminación del agua del río Chira.
- Comparación de los resultados con normativas nacionales.

VI. Metodología

Área de estudio

El río Chira, es un río internacional de la vertiente del Pacífico, a traviesa el sur de Ecuador y el norte de Perú. Cuenta con una longitud de 170

kilómetros en total, con un área de drenaje de total de 19000 km² aproximadamente (Delgado et al., 2020; La Rosa Lama & Sanchez, 2020). La ciudad más importante que se encuentra a sus orillas, es la Ciudad de Sullana (Figura 1). Aunque hay que mencionar que antes de llegar sus aguas a la dicha ciudad, el río Chira atraviesa otras poblaciones, aunque más pequeñas que Sullana. La zona de la ciudad de Sullana se destaca por tener una temperatura media anual de 25.4 °C, con máximas de 38.1 °C y mínimas de 16.1 °C. La precipitación media anual es de 142.2 mm, con precipitaciones máximas en marzo (54.9 mm) y precipitaciones mínimas en el mes de agosto (0.1 mm).

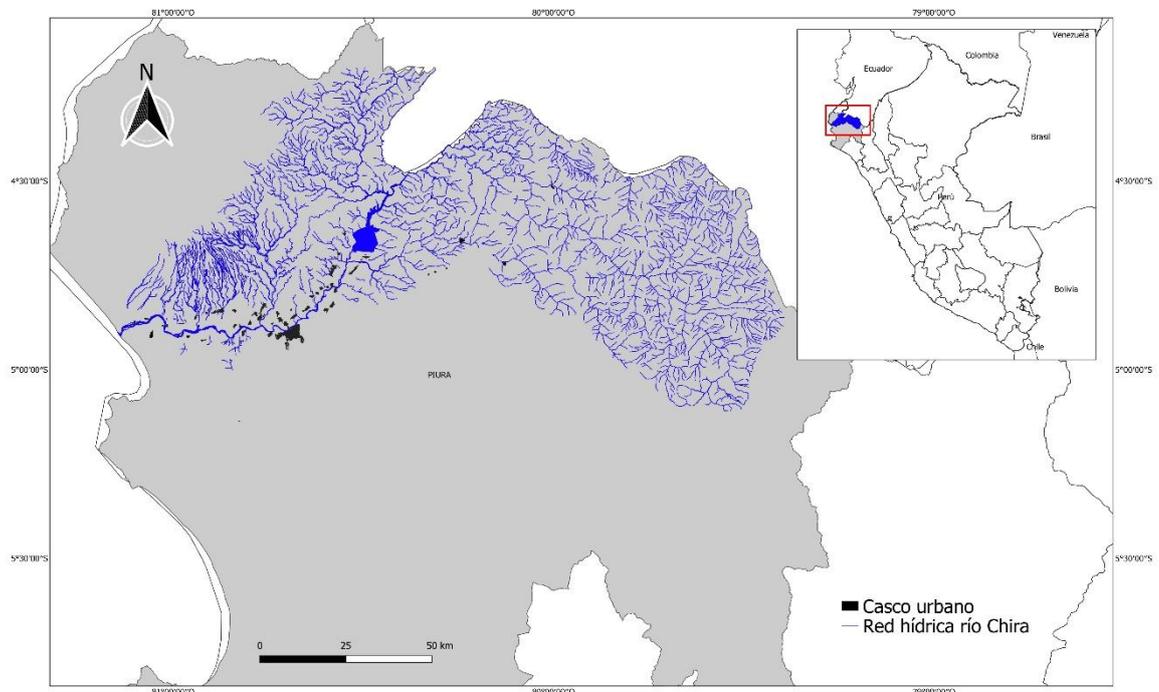


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Chira.

Trabajo de Gabinete

Se elaborarán mapas topográficos, para tener un mejor conocimiento de la zona. Con dichos mapas topográficos y con datos climáticos satelitales (Aybar et al., 2019), se harán cálculos de parámetros hidrológicos el aporte hídrico de la cuenca, balances hídricos entre otros. Todo ello según la metodología descrita en CHE (2005) y Rascón et al. (2021)

Determinación de las estaciones de muestreo

Para establecer las estaciones de muestreo se deben tener en cuenta dos aspectos fundamentales, dadas las características de la zona de estudio. El primero es que, aunque haya PTARS, están no funcionan adecuada; y el segundo es que hay puntos de descargas tanto puntuales como no, a lo largo del Río Chira a su paso por Sullana. Por tanto, se ha seguido la metodología establecida por ANA (2016), en la que se selecciona un tramo específico del río y se establecen las estaciones de muestreo en este tramo con una distancia entre estaciones de aproximadamente 1 a 3 kilómetros. En este caso se establecerá un tramo con una longitud aproximada de 20 km, contando en total con 15 estaciones de muestreo. Con ello se busca conocer el estado de la calidad del agua antes, durante y después de su paso por la ciudad de Sullana (Figura 2).

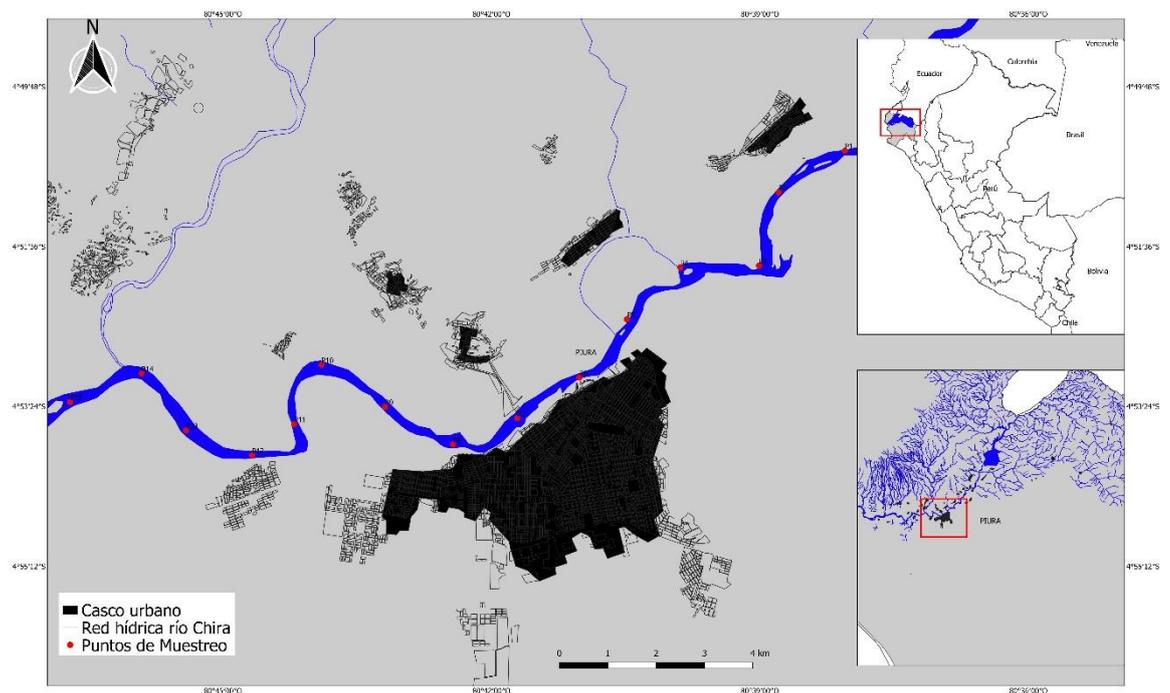


Figura 2. Localización de las estaciones de muestreo en el río Chira.

Toma de muestras y análisis de laboratorio

La recolección, almacenamiento y traslado de las muestras, así como los análisis de laboratorio, se realizarán de acuerdo con las metodologías del ANA (2016) y APHA et al. (2017). Todas las muestras se tomarán por triplicado una vez al mes durante un año, para tener datos tanto de la época seca como de la época húmeda. Las variables a medir in situ serán: temperatura, pH, conductividad y saturación de oxígeno. Para las variables como turbidez, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, alcalinidad, cloruros, dureza, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, enterococos totales y enterococos fecales, se usarán muestras de agua, refrigeradas a 4 °C durante su traslado, para su posterior análisis en laboratorio. Para determinar tanto la concentración del grupo coliformes, como del grupo enterococos, se usará la técnica del número más probable en series de tubos fermentados. Todos los análisis se harán por triplicado.



Análisis de datos

Para la caracterización del agua del río Chira, se realizará un análisis estadístico descriptivo, acompañado de un boxplot por cada parámetro, dicho análisis se realizará tanto por época como por año. Para conocer la evolución espacio temporal se realizará primero un análisis de componentes principales (ACP) acompañado de un gráfico biplot, y un análisis PERMANOVA para determinar si hay similitud de agrupación tanto por época como por espacio. Al mismo tiempo, se seleccionarán las variables más importantes estableciendo un matriz de correlaciones entre las componentes principales y los parámetros determinados. Con estas variables se determinará si hay diferencias entre estaciones con un análisis de varianzas (ANOVA o Kruskal-Wallis), dependiendo de la normalidad de los datos, de darse diferencias significativas se realizará un análisis post-hoc, para ver en que estación de muestreo los valores son más altos. Posteriormente se realizará un análisis de t de student para determinar

como difieren los parámetros según la época de muestreo. Para conocer cuál es el estado de contaminación de cada estación se aplicarán tres de los cuatro índices de Ramírez et al. (1997), los cuales son el índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) y el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS). Por último, se usarán las medias de los valores de todos parámetros, tanto por estación como por época, y se compararán gráficamente con normativas nacionales. Las normativas por usar se ven en la tabla 1.

Tabla 1. Normativas nacionales e internacionales

Normativa	Referencia
Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA)	(MINAM, 2017)
Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales	(MINAM, 2010)
Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales No domésticas	(MVCS, 2019)

Todos los análisis se realizarán con el software estadístico R, con un nivel de significancia del 5% (Borcard et al., 2018; Idalino Rodrigues & Idalino Rodrigues, 2015; R Core Team, 2022; Thioulouse et al., 2018).

VII. Resultados esperados

Los resultados esperados del proyecto son:

- Conocer estado de la calidad del agua del río Chira a su paso por la ciudad de Sullana.



- Conocer el grado de contaminación del río Chira a su paso por la ciudad de Sullana.
- Conocer si las aguas del río Chira cumplen con normativas nacionales e internacionales.
- Implementar un protocolo de monitoreo de la calidad fisicoquímica y microbiológica en ríos de la provincia de Sullana.
- Formación de nuevos investigadores a través de tesis de pregrado y postgrado.
- Mejoramiento y fortalecimiento de las capacidades técnicas del equipo de investigación.
- Publicar artículos en revistas indexadas con alto factor de impacto.

VIII. Impacto de los resultados

El contexto socioeconómico del proyecto, se centra en el problema de las aguas residuales, tanto domésticas, agrícolas, mineras o industriales, y como estas impactan en la población que usa las aguas del río Chira. Este problema se ha venido incrementado en los últimos años por dos razones, el gran crecimiento de la población en los últimos años en la provincia de Sullana y al deficiente tratamiento de las aguas residuales, dado que la mayoría de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales están inoperativas o están en un estado deficiente. Cualquier creciente poblacional y/o actividad productiva generada por el desarrollo, debe ir alineada con un adecuado sistema de vigilancia y medidas de prevención frente a la contaminación que originan, tanto biológica como fisicoquímica. La propuesta permitirá brindar una línea base sobre las principales fuentes de contaminación y los contaminantes relacionados con la ciudad Sullana. Esto tendrá un impacto tanto para la toma de decisiones sobre el desarrollo social y urbano de dichas ciudades, como un cambio en la toma de decisiones por parte de las autoridades, así como mejorar el tratamiento de agua residuales. Asimismo, tendrá un impacto en la salud pública al identificar el posible efecto sobre la población.



En el contexto ambiental, la contaminación de los cuerpos de agua por parte de las aguas residuales, termina afectando al entorno, tanto a la población rural como urbana. Por otro lado, estas aguas contaminadas son usadas por la población, para actividades como la ganadera o agrícola, generando así una translocación de los contaminantes de las aguas a los alimentos y de estos a los animales y humanos que se abastecen de ellos. Así, nuestra propuesta permitirá determinar los principales contaminantes y sus fuentes en el agua, esto permitiría establecer un sistema de control y prevención, de tal manera que se puedan ejecutar medidas de prevención, tratamiento y mitigación con mayor eficacia para eliminar o reducir dichos contaminantes, reduciendo así el impacto ambiental.

En el contexto científico, en los últimos años, en Sullana hay un creciente desarrollo científico y tecnológico que se ha evidenciado con las investigaciones de la Universidad Nacional de la Frontera (UNF). De esta manera, la generación de información a partir de los datos recopilados, establecerá una línea base para ver el efecto de las aguas residuales en el río Chira, y así poder ser usados por las respectivas autoridades para el desarrollo de leyes, normativas y decretos.



IX. Generación de derechos de propiedad intelectual

Dentro de los resultados esperados, encontramos varios artículos científicos, dónde los derechos de propiedad se compartirían con las revistas donde se publiquen. Por otro lado, si se genera un protocolo de monitoreo específico para los recursos hídricos de Sullana, dicho protocolo se podría registrar en INDECOPI, como un libro con sus derechos de autor.

X. Cronograma de actividades

Tabla 1: Cronograma de las actividades

Actividades	AÑO 2022		AÑO 2023				AÑO 2024			
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<i>línea base</i>		X	X							
<i>Revisión de literatura</i>			X							
<i>Inicio del proyecto</i>				X						
<i>Adquisición de equipamiento</i>				X	X					
<i>Recolección de muestras</i>					X					
<i>Desarrollo y validación de la metodología</i>						X				
<i>Análisis de las muestras</i>						X				
<i>Discusión de resultados</i>							X			
<i>Resultados finales</i>							x	x		
<i>Redacción de manuscritos</i>									X	X



Referencias bibliográficas

- ANA. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. In *Autoridad Nacional del Agua* (p. 85).
- APHA, AWWA, & WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation.
- Argotti Zumbana, C. F. (2021). *Prevención comunitaria de enfermedades diarreicas agudas a partir de la evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua*.
<https://doi.org/10.5867/medwave.2021.s1.cs22>
- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2019). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770–785.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre. (2018). *Numerical Ecology with R*. Springer Science+Business Media.
<https://doi.org/10.18637/jss.v067.b03>
- Bussi, G., Whitehead, P. G., Jin, L., Taye, M. T., Dyer, E., Hirpa, F. A., Yimer, Y. A., & Charles, K. J. (2021). Impacts of climate change and population growth on river nutrient loads in a data scarce region: The upper awash river (Ethiopia). *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–15.
<https://doi.org/10.3390/su13031254>
- Capizzi-Banas, S., Ladeiro, M. P., Bastien, F., Bonnard, I., Boudaud, N., Gantzer, C., & Geffard, A. (2021). The Utility of *Dreissena polymorpha* for Assessing the Viral Contamination of Rivers by Measuring the Accumulation of F-Specific RNA Bacteriophages. *Water (Switzerland)*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/w13070904>
- Chávez, J., Rascón, J., & Eneque, A. (2017). Evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales en la calidad del río Ventilla,



Amazonas. *Revista de Investigación Para El Desarrollo Sustentable*, 3(1), 99–107.

Chávez Ortiz, J., Leiva Tafur, D., & Corroto, F. (2016). Caracterización físicoquímica y microbiológica de las aguas residuales en la ciudad de Chachapoyas, Región Amazonas. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 6(1), 16–27. <https://doi.org/10.22386/ca.v6i1.104>

Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). (2005). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro*. Confederación Hidrográfica del Ebro.

Cortona, R. (2020). *Producción Académica Estudio de correlación entre parámetros biológicos y microbiológicos con parámetros físicoquímicos en agua para consumo humano*. 135.

Delgado, A., Jiménez, J., Ochoa, L., Mendiola, L., Alvarado, A., & Huamaní, E. L. (2020). Applying grey systems to analyze water quality on the river Chira watershed. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(7), 3880–3886. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/156872020>

Elassassi, Z., Ougrad, I., Bedoui, I., Kara, M., El Bouch, M., Assouguem, A., Fadli, M., Almeer, R., Mohamed, H. R. H., Peluso, I., & Chaouch, A. (2022). Spatial and Temporal Variations of the Water Quality of the Tiflet River, Province of Khemisset, Morocco. *Water*, 14(12), 1829. <https://doi.org/10.3390/w14121829>

Gamarra, O., Barrena, M., Barboza, E., Rascón, J., Corroto, F., & Taramona, L. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú Seasonal sources of pollution in the Utcubamba river basin, region of Amazonas, Peru. *Arnoalda*, 25(1), 179–194.

García Miranda, F. G., & Miranda Rosales, V. (2018). Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico. *Volumen II de La Colección: Agenda Pública Para El Desarrollo Regional, La Metropolitización y La Sostenibilidad*, 35–367.



Idalino Rodrigues, E., & Idalino Rodrigues, E. (2015). *Ecología numérica*. CAPES.

La Rosa Lama, G., & Sanchez, I. (2020). Hybrid models based on mode decomposition and recurrent neural networks for streamflow forecasting in the Chira river in Peru. *Proceedings of the 2020 IEEE Engineering International Research Conference, EIRCON 2020*, 2020–2023. <https://doi.org/10.1109/EIRCON51178.2020.9254035>

Lencha, S. M., Ulsido, M. D., & Muluneh, A. (2021). Evaluation of seasonal and spatial variations in water quality and identification of potential sources of pollution using multivariate statistical techniques for Lake Hawassa Watershed, Ethiopia. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/app11198991>

Luna Hernández, S. M., & Madroñero Palacios, S. M. (2015). Importancia Del Componente Social En El Manejo Del Recurso Hídrico, Río El Encano, Humedal Ramsar La Cocha (Nariño, Colombia). *Luna Azul*, 42, 200–216. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.13>

Martínez, Y., & Villalejo, V. M. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1), 58–72.

MINAM. (2017). D.S. N° 004-2017-MINAM. *Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen disposiciones complementarias*. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

MINAM, M. del A. (2010). D.S. N°003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. In *El Peruano* (p. 2). Ministerio del Ambiente.

MVCS, M. de V. C. y S. (2019). D.S. N°010-2019-VIVIENDA. *Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario* (p. 45). Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. http://files/589/DS_010-2019-VIVIENDA.pdf



- Ospanov, K., Rakhimov, T., Myrzakhmetov, M., & Andraka, D. (2020). Assessment of the impact of sewage storage ponds on the water environment in surrounding area. *Water (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/w12092483>
- Patiño, Y., Díaz, E., & Ordoñez, S. (2014). *Microcontaminantes emergentes en aguas: Tipos y Sistemas de tratamiento*.
- R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación. *CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135–153.
- Rascón, J., Gosgot Angeles, W., Quiñones Huatangari, L., Oliva, M., & Barrena Gurbillón, M. Á. (2021). Dry and Wet Events in Andean Populations of Northern Peru: A Case Study of Chachapoyas, Peru. *Frontiers in Environmental Science*, 9(March), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.614438>
- Renzi, M., Pauna, V. H., Provenza, F., Munari, C., & Mistri, M. (2020). Marine litter in transitional water ecosystems: State of the art review based on a bibliometric analysis. *Water (Switzerland)*, 12(2), 1–12. <https://doi.org/10.3390/w12020612>
- Thioulouse, J., Dufour, A. B., Jombart, T., Dray, S., Siberchicot, A., & Pavoine, S. (2018). *Multivariate analysis of ecological data with ade4*. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8850-1>

