Pontificia Universidad Católica del Ecuador | SEDE ESMERALDAS

ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

CARACTERIZACIÓN DE DIATOMEAS COMO HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO ATACAMES

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL

AUTORA

MARTA RITA MALDONADO CHASING

ASESOR

MGT. MÉRIDA ORTIZ

ESMERALDAS, 2022

TRIBUNAL DE GRADUACION

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos establecidos por el reglamento de grado de la PUCESE, previo a la obtención del título de INGENIERA EN GESTION AMBIENTAL.

Presidenta de Tribunal de Graduación

PhD. Jon Molinero Ortiz
Lector 1

Mgt. Pedro Jiménez Prado
Lector 2

Coordinador de la carrera de Gestión Ambiental

Mgt. Mérida Ortiz

Directora de Tesis

Esmeraldas,……de..... de 2022

AUTORIA

Yo, Marta Rita Maldonado Chasing declaro que la presente investigación enmarcada en el actual de trabajo de tesis es auténtica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

_____

Marta Rita Maldonado Chasing

CI:

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis maestros que me han guiado con sabiduría y paciencia en el camino para alcanzar mis objetivos.

A mi asesora Mgt . Meridad Ortiz quien nos solo ha sido la base de esta investigación, sino que también ha demostrado su conocimiento en este proyecto de tesis.

A mi maestro Mgt. Eduardo Rebolledo quien compartió su conocimiento y amplia experiencia durante el proceso del trabajo de tesis.

A mis docentes quienes a pesar de no ser parte de esta investigación me han empujado a seguir a pesar de las dificultades, docentes que aparte de haber sido mis guías académicas han sido una guía de crecimiento personal.

A mi familia por su constante impulso y fe a lo largo de estos años de estudio, han sido mi base fundamental para no perder el horizonte.

DEDICATORIA

A mi madre quien ha sido el motor de todos en casa, quien con su pasión y amor por el estudio nos has impulsado a no desmayar, a ella cuyo corazón demuestra su amor viéndonos triunfar y formarnos como seres humanos correctos.

¡A mi padre que desde el cielo me ilumina y acompaña desde el momento que fui parte de su vida… lo logramos papá!

A mis hermanos quien entre bromas y tristezas han sido mis compañeros ya sea física o espiritualmente.

Y a mis hijos y esposo quien desvelaba sus noches a mi lado, subió montañas y me sostuvo cada vez que mi mente decía “ya no”

Gracias infinitas a mi familia la base de todo lo que logro en la vida

TABLA DE CONTENIDOS

TRIBUNAL DE GRADUACION ii
AUTORIA iii
AGRADECIMIENTO iv
DEDICATORIA v
LISTA DE TABLAS viii
LISTA DE FIGURAS ix
RESUMEN x
ABSTRACT xi
INTRODUCCIÓN 12
Presentación del tema de investigación 12
Planteamiento del problema 13
Justificación 15
Objetivos 16
Objetivo general 16
Objetivos específicos 16
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO 17
Bases teórico-científicas 17
Antecedentes 18
Marco Legal 19
CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS 21
Área de estudio 21
Recolección de datos 22
Parámetros físico- químico 22
Muestreo diatómico 23
Análisis de laboratorio 23
Técnica de conteo 23
Análisis de datos 24
CAPITULO lll: RESULTADOS 27
Comunidad de diatomeas bentónicas 27

Índice de similitud y de calidad de agua 28
Relación entre el número de diatomeas y parámetros físicos químicos 33
CAPITULO IV: DISCUSION 36
CAPITULO V: CONCLUSIONES 40
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES 41
BIBLIOGRAFÍA 42
Anexos 46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas de los puntos de muestreo 21
Tabla 2 Parámetros e instrumentos de medición..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 3 Valoraciones para determinar la calidad de agua..... 26
Tabla 4 Presencia de géneros en los diferentes puntos de muestreo..... 27
Tabla 5 Abundancia absoluta en cada uno de los puntos de muestreo ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 6 Índice de Jaccad 32
Tabla 7 Estado de polución 32
Tabla 8 Relación entre los parámetros físico – químicos y la cantidad de diatomeas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Tabla 9 Análisis comparativo entre géneros y estaciones..... **¡Error! Marcador no definido.**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de estaciones de muestreo del río Atacames..... 22
Figura 2. Área de observación y transeptos para el conteo de diatomeas en el microscopio óptico..... 24
Figura 3: Abundancia absoluta de la estación Las Vegas. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 4: Abundancia absoluta de la estación Las Luchas..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 5: Abundancia absoluta de la estación Tazone. ..... **¡Error! Marcador no definido.**

RESUMEN

La contaminación de los ríos resulta ser un problema que no solo afecta a la parte ambiental, sino también a nivel social y económico, por lo que es necesario poner atención a las condiciones actuales de estos recursos a través de instrumentos de medición eficientes como son los indicadores biológicos, siendo uno de los principales el estudio de diatomeas. En la presente investigación se tuvo como objetivo general caracterizar las condiciones ambientales del río Atacames a través del estudio de la comunidad de diatomeas bentónicas como bioindicadores.

Para cumplir con el objetivo se utilizó una metodología descriptiva donde se analizó algunos parámetros físicos entre ellos la temperatura, pH, conductividad, sólidos disueltos y oxígeno disuelto, así como parámetros químicos como los fosfatos. A su vez se realizó un muestreo diatómico en tres estaciones como son Las Luchas, Las Vegas y Tazone. El procedimiento se ejecutó durante tres meses (julio, agosto y septiembre) siendo un muestreo mensual, al final se recolectó un total de 27 muestras. Los parámetros físico – químicos se evaluaron in situ, mientras que, los fosfatos se analizaron en el laboratorio.

Los resultados evidenciaron la presencia de 22 géneros siendo un total de 19935 especies, donde las más abundantes fueron *Navícula* y *Cymbella y Oscillatoria;* encontrándose mayor abundancia y diversidad en Tazone. Por su parte, el índice de Jaccard presentó porcentajes de 60 y 76% y el índice diatómico general en su mayoría mostró una polución moderada y media en los diferentes puntos. De igual manera, se observó que al relacionar los parámetros físicos – químico y los grupos de diatomeas se encontró que la conductividad y los sólidos disueltos variaron conjuntamente con la cantidad de diatomeas encontradas.

Del estudio se concluye que se encontró variabilidad de géneros en los distintos tramos analizados, siendo más evidentes en la zona alta, por ser la menor intervenida, lo que quiere decir que hay presencia de contaminación en el río Atacames, aunque no es alta, sin embargo, es importante estudiar la distribución de diatomeas como indicador de polución para plantear medidas preventivas y correctivas.

Palabras clave: diatomeas, calidad de agua, índices de calidad de agua, bioindicadores.

ABSTRACT

River pollution turns out to be a problem that not only affects the environment, but also at a social and economic level, so it is necessary to pay attention to the current conditions of these resources through efficient measurement instruments such as biological indicators, one of the main ones being the study of diatoms. The general objective of this research was to characterize the environmental conditions of the Atacames River through the study of the benthic diatom community as bioindicators.

To meet the objective, a descriptive methodology was used where some physical parameters were analyzed, including temperature, pH, conductivity, dissolved solids and dissolved oxygen, as well as chemical parameters such as phosphates. In turn, a diatonic sampling was carried out in three stations such as Las Luchas, Las Vegas and Tazone. The procedure was executed for three months (July, August and September) being a monthly sampling, at the end a total of 27 samples were collected. The physical-chemical parameters were evaluated in situ, while the phosphates were analyzed in the laboratory.

The results evidenced the presence of 22 genera with a total of 19935 species, where the most abundant were *Navicula, Cymbella* and *Oscillatoria;* being found greater abundance in Las Vegas and greater diversity in Tazone. For its part, the Jaccard index presented percentages of 60 and 76% and the general diatonic index mostly showed moderate and medium pollution at the different points. In the same way, it was observed that when relating the physical-chemical parameters and the groups of diatoms, it was found that the conductivity and the dissolved solids varied together with the amount of diatoms found.

From the study it is concluded that gender variability was found in the different sections analyzed, being more evident in the upper zone, as it is the least intervened, which means that there is presence of contamination in the Atacames River, although it is not high, without However, it is important to study the distribution of diatoms as an indicator of pollution to propose preventive and corrective measures.

Keywords: diatoms, water quality, water quality indices, bioindicators.

INTRODUCCIÓN

Presentación del tema de investigación

Los ríos recorren por extensos territorios en los cuales son impactados de forma negativa por la contaminación que procede de las diferentes actividades que realiza el ser humano. En este caso, la presencia de agua contaminada puede afectar directamente a los seres vivos que se encuentran en dichas fuentes de agua, debido a los cambios drásticos tanto físicos como químicos, reduciendo la población de los mismos de manera significativa (1). Por otro lado, el nivel y tipo de contaminación que se efectúa depende de la actividad causante dentro del área en estudio, por ejemplo, una de las acciones antropogénicas que causa más perjuicio en la actualidad son las actividades agropecuarias incluyendo patógenos, metales pesados, sustancias tóxicas y demás materiales que se desechan en los ríos. Lo anterior es la razón principal de que en los diferentes tramos exista un sistema heterogéneo de contaminación (2,3).

Siguiendo con el conjunto de ideas anteriores, actualmente las actividades que se establecen cerca a los ecosistemas acuáticos se presentan como un riesgo latente, como el incremento de agricultura, ganadería, producción textil, petroleras, entre otros (4).

Los residuos generados de las actividades mencionadas son arrastrados por las corrientes provocando alteraciones en las especies causando su desintegración, desplazamiento y muerte porque dependen unas de otras, en especial las microalgas como fuente primaria, ocasionándose cambios en la cadena trófica (5).

Adicional a lo señalado, la existencia de contaminación orgánica e inorgánica provocan un gran impacto sobre las especies, haciéndolas sensibles y generando una serie de bioindicadores que permiten evaluar la calidad de agua desde un punto de vista biológico (6).

Anteriormente solo se realizaban estudios de los factores físicos y químicos para el monitoreo de la calidad de agua, sin embargo, el mismo solo mostraban resultados

momentáneos y reflejan las consecuencias para las especies a largo plazo, sin dejar de lado que los costos de estos tipos de análisis son elevados (7).

Por las razones anteriores, se han realizado varias investigaciones al notar que las especies sirven como bioindicadores en los ecosistemas acuáticos, dando a conocer el estado del agua durante periodos prolongados y sirven como complemento de los otros monitoreos. Generalmente, los estudios se basan en notar la presencia y ausencia de las especies a través de la cuantificación y características de cada una de ellas, lo que sería un indicador biológico de las condiciones del río, además de precisar las sustancias contaminantes que les afectan (1).

De acuerdo a la Directiva relacionada al marco de agua de la Unión Europea, las microalgas son frecuentemente recomendadas como herramientas para analizar el estado ecológico dentro de las aguas superficiales. Mediante la alta sensibilidad que poseen ante la presencia de contaminantes se ha observado que son eficientes para detectar los cambios ambientales (8). En cuanto a lo indicado la especie dominante son las diatomeas y son las más utilizadas para estos tipos de estudios a causa de que presentan ciclos de vida rápidos y logran colonizar los distintos sustratos de manera óptima, por lo que brindan información sobre los comportamientos de las poblaciones en los sistemas acuáticos (2).

Entonces, la ejecución de la presente tesis propone la utilización de diatomeas como herramienta para el monitoreo de la calidad de agua en el río Atacames, porque esto ayudaría a determinar las condiciones en las que se encuentran los sistemas acuáticos en sus distintos tramos. Cabe señalar que los resultados son de gran ayuda para la gestión correcta de los recursos, siendo indispensable para todas las poblaciones que se benefician del mismo.

Planteamiento del problema

El hombre ha visto a los recursos naturales como una herramienta importante para el crecimiento económico o un seguro en su calidad de vida (9), sin embargo, la sobre explotación, contaminación o degradación de los recursos han generado que nuestro ecosistema se encuentre en riesgo. De acuerdo a estadísticas de carácter hídricos el recurso

de agua dulce disponible para el consumo humano representa el 0.007%, lo cual hace que este se encuentre escaso y amenazado (10).

El agua ya sea de origen superficial o subterráneo presenta características que le permite tener una estrecha relación con la vida animal y vegetal, es por ello que la creciente contaminación originada por de actividades agrícola, industriales o el crecimiento poblacional han alterado directamente su composición, exigiendo de la misma forma mayores niveles de sistema de control (11,12)

En los últimos años se ha incrementado la estimación de las condiciones tróficas del agua a partir de sus parámetros físico- químicos, para determinar en cierta medida la dinámica entre ellos (5). El uso de técnicas que incluyan dos o más parámetros Físico- Químicos en la evaluación de las condiciones ecológicas de agua tiene su importancia en los índices de calidad los mismos que abarcan tanto parámetros fisicoquímicos como microbiológicos (13).

El análisis químico del agua fue hasta hace pocos años considerado como el sistema más eficiente a la hora de determinar la condición ecológica de un cuerpo de agua dulce, en la actualidad se reconoce la eficiencia de diversos microorganismos entre los que se encuentran las algas diatomeas Bentónicas (14).

De la mano de Kolkwitz & Marsson en 1908 inicia el uso de diatomeas como herramienta de análisis en la calidad de agua(11). Ya que por su gran diversidad en tamaño, formas y estructura tanto fisiológica ha venido representando un instrumento eficiente en aras científicas (14).

La implementación de microorganismos unicelulares como base de una investigación de calidad de agua es una herramienta considerada tanto en controles diarios como en análisis exhaustivos de calidad hídrica a gran escala, ya que estos presentan gran sensibilidad a cambios ambientales por su característica de crecimiento en cortos periodos de tiempo (15).

En la última década se ha incrementado la preocupación por la gestión de los recursos hídricos convirtiéndose en una de las prioridades para la ciencia y la sociedad en general (16).

Las algas diatomeas bentónicas representan entre el 80 y el 90% de la comunidad de algas en el recurso agua, y siendo susceptibles ante factores físicos tales como la luz, temperatura, pH o naturaleza del sustrato, que pueden incidir en la composición o abundancia, por lo tanto, es considerado como un bioindicador preferencial de calidad de agua (14).

El uso de diatomeas bentónicas para el análisis de calidad de agua presenta grandes ventajas frente a otros indicadores biológicos, ya que por ser cosmopolita se encuentran presentes a lo largo de todo el cuerpo de agua, así mismo estas presentan gran sensibilidad (17), los mismos que pueden ser durante largos o cortos periodos de tiempo, no presentan gran dificultad durante su muestreo ya que su recolección se hace en grandes cantidades y en superficies pequeñas, en lo que corresponde a la etapa de análisis la muestra extraída puede ser preservado y transportado con facilidad (18).

Por las razones mencionadas para la presente investigación se establece el siguiente cuestionamiento: ¿Utilizando diatomeas y parámetros físicos-químicos es posible determinar la calidad del agua del río Atacames?

Justificación

La implementación de microorganismos unicelulares como base de una investigación de calidad de agua es una herramienta considerada tanto en controles diarios como en análisis exhaustivos de calidad hídrica a gran escala, ya que estos presentan gran sensibilidad a cambios ambientales por su característica de crecimiento en cortos periodos de tiempo, de la misma en la última década se ha incrementado la preocupación por la gestión de los recursos hídricos y se ha convertido en una de las prioridades para la ciencia y la sociedad en general (16).

Las diferentes actividades antrópicas tales como: la agricultura, la ganadería y la industria han afectado directa o indirectamente a la calidad del recurso agua (19). Las algas

diatomeas bentónicas representan entre el 80 y el 90% de la comunidad de algas en el recurso agua, y siendo susceptibles ante factores físicos tales como la luz, temperatura, pH o naturaleza del sustrato, que pueden incidir en la composición o abundancia, por lo tanto, es considerado como un bioindicador preferencial de calidad de agua (14).

El uso de diatomeas bentónicas para el análisis de calidad de agua presenta grandes ventajas frente a otros indicadores biológicos, ya que por ser cosmopolita se encuentran presentes a lo largo de todo el cuerpo de agua, así mismo estas presentan gran sensibilidad a los cambios ambientales los mismos que pueden ser durante largos o cortos periodos de tiempo, no presentan gran dificultad durante su muestreo ya que su recolección se hace en grandes cantidades y en superficies pequeñas, en lo que corresponde a la etapa de análisis la muestra extraída puede ser preservado y transportado con facilidad (18).

Objetivos

Objetivo general

Caracterizar la comunidad de diatomeas bentónicas como herramienta para describir la calidad del río Atacames en la provincia de Esmeraldas.

Objetivos específicos

- Identificar la comunidad de diatomeas bentónicas presentes en la cuenca media del río Atacames.
- Caracterizar la calidad del agua del río Atacames utilizando a las diatomeas como bioindicadores.
- Relacionar la presencia de diferentes grupos de diatomeas indicadoras con las condiciones ambientales del agua.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

Bases teórico-científicas

Un afluente es toda descarga de agua o material líquido que ha sido modificado con por la ayuda de un proceso de producción o actividad (20).

Un muestreo es toda actividad que tiene como objetivo la extracción de una muestra representativa de una población de total, la cual presenta las mismas características de toda la población y puede ser evaluada y caracterizada (20).

En lo que respecta al monitoreo de carácter biológico en ríos, se ha considerado esta práctica de gran importancia ya que estos organismos reflejan una respuesta integral frente a la variaciones en el ecosistema acuático (21).

Se ha determinado como indicador biológico bajo la idea de que todo organismo vivo trabaja como un indicador de calidad de ambiente dado que su capacidad de adaptase responde a las condiciones del mismo, de la misma forma al hablar de un indicador biológico de cuerpos hídricos se ha considerado a aquel organismo que mediante su abundancia o presencia indica el estado actual de dicho ecosistema en el cual habita revelando de esta manera las condiciones del recurso hídrico (22).

De la misma forma la implementación de diatomeas como Bioindicadores se encuentra dirigida a la búsqueda de una respuesta de estas ante la física y química del cuerpo de agua (2). Considerando lo anterior encontramos a las Diatomeas, que son las micro algas más numerosas dentro del grupo de Fito-bentos y fitoplancton, los mismo que dada sus características biológicas y de comportamiento reflejan las condiciones o el estado ecológico del cuerpo hídrico proporcionando al investigador información eficiente (23).

Un parámetro representa una variable de naturaleza física, química, o la combinación entre estas, que puesta en contacto con un medio hídrico nos permite la caracterización de dicho recurso biológica (20).

El oxígeno disuelto es un parámetro que evalúa la calidad de agua, el cual se determina in situ¨ a través de un electrodo de membrana o por yodometría, en donde por medio de sulfato de magnesio se fija el oxígeno, el cual es expresado en mg/L (24).

Agua dulce constituye todo cuerpo de agua que en su composición no presenta sales o valores menos a 0.50 gramos de salinidad disueltos en la misma (20).

Se conoce como calidad de agua a la capacidad que tiene este recurso a reaccionar funcionalmente ante las necesidades de una población o comunidad, cumpliendo con todos los estándares de calidad establecidos (25).

La carga máxima permisible es el límite máximo que puede alcanzar un parámetro para que pueda ser permitido en la descarga de un cuerpo hídrico el cual funciona como agente de disposición final (20).

Antecedentes

El interés por el estudio de cuerpos hídricos por medio del monitoreo de las condiciones físicas, químicas y biológica se fundamentan en el análisis de datos técnicos y científicos, que permiten fortalecer y validar dichos resultados, de tal manera que han traído consigo arduos trabajos de investigación a lo largo de los últimos años, permitiendo establecer estándares de calidad que satisfagan la demanda del consumo de agua dulce (18).

Según un estudio realizado en la cuenca del Rio Locumba en Perú, en donde tomo como base de investigación los factores de influencia por la presencia de actividades realizadas por el hombre, investigación en la cual se obtuvo que los parámetros físico- químicos reaccionaban de manera inversa a las características altitudinales del afluente, dicho de otra forma, a medida que aumentaba la altitud, los parámetros físico- químicos disminuían. De la misma formar el autor pudo identificar al género *Nitzschia,* con diecinueve individuos y *Navícula,* con siete; a su vez se pudo observar variaciones tanto en el comportamiento de agrupación de sus comunidades como en su abundancia,

característica que también fue directamente relacionado con la gradiente altitudinal y de las condiciones ambientales (23).

En el río Sarapiquí ubicado en Costa Rica al implementar la presente técnica, se determinó que la especie con mayor tolerancia a la variación de sólidos en suspensión *fue S. goulardi* y *N. symmetrica* (21).

En el Rio Pirro en la ciudad de Heredia perteneciente a Costa Rica, el estudio fue desarrollado en época de transición climática, en el cual se tomaron como ejes de análisis parámetros físicos- químicos en donde sus valores de pH variaban entre los 7 y 7.44, mientras que el oxígeno disuelto se presentaba con valores entre 5.9 y 6.50, en cuanto a la constante de oxígeno disuelto reflejaba resultados de 3.19-6.91 mg/L, características que reflejan la inestabilidad del cuerpo hídrico, producto de la época de transición climática, en donde la presencia de lluvias hace que la materia orgánica u otros contaminantes se diluyan mientras que en época de mayor sequia se concentren, como por ejemplo en el caso del oxígeno disuelto que reflejo un aumento en sus cifras (21).

En el Ecuador el uso de Algas diatomeas como indicador biológico se aplicó en el Macizo del Cajas, zona ubicada alrededor del Parque Nacional Cajas, en la provincia de Azuay en donde se identificaron 127 especies correspondientes a 64 géneros, donde los géneros de mayor abundancia fueron *Nitzchia, Gomphonema, Cymbella, Navícula y Melosira* (26).

En el río Teaone de la provincia de Esmeraldas se implementó la metodología de la extracción de muestras planctónicas por medio del raspado de piedras se obtuvo como resultado 25 géneros de los cuales los más abundantes fueron *Navivula, Cymbella, Encyonema y Synedra,* abundancia que según el estudio se debe a la presencia poblacional en donde ha existido una disminución de vegetación y aumento de entrada de luz (27).

Marco Legal

La constitución de la República del Ecuador en base a lo estipulado en el 2008 establece en su artículo 14 el reconocimiento al derecho de la población a vivir en un ambiente sano desde el punto de vista ecológico de tal manera que permita a sus habitantes alcanzar la sostenibilidad de sus recursos, garantizando el buen vivir (28).

De acuerdo al artículo 21 perteneciente a la ley Orgánica de Recursos Hídricos y aprovechamiento del agua. Nº 305 establecida en la ciudad de Quito el miércoles 6 de agosto del 2014, determina que la Agencia de Regulación y control del Agua ejecutará la regulación de los recursos hídricos en base a la calidad y cantidad de sus fuentes para generar un servicio de calidad a la población, de tal manera que estos sean evaluados de forma periódica y permanente (29).

En el acuerdo ministerial 097, Anexo 1 registrado el 4 de noviembre del 2015 establece al proceso de control de contaminación en un cuerpo hídrico como el mantenimiento de calidad de dicho recurso, cumpliendo con la respectiva norma de calidad, a su vez determina los parámetros de monitoreo de las descargas a cuerpos de hídricos originadas por sistema de alcantarillado y residuos finales de prácticas industriales de carácter público o privado (20).

En el reglamento al Código Orgánico de Ambiente establecido en el decreto ejecutivo 752 el cual data con el registro el 12 de junio del 2019 aún vigente, establece en su artículo 14 el derecho de su población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado de tal manera que garantice la sostenibilidad de sus recursos.

Mientras que en articulo 73 obliga al estado a establecer medidas de precaución o la restricción de actividades que afecten directamente los recursos eco-sistémicos, ya sea por extinción o alteración del mismo (30).

CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

El cantón Atacames forma parte de la provincia de Esmeraldas, el cual se encuentra localizada a 30 km de la misma, constituido por 5 parroquias (31)**.**

Ubicada a 1000 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar), Atacames limita al norte con el Océano Pacifico, al sur con Muisne y Esmeraldas, al este con el cantón Esmeraldas y al oeste con Galera, presentando una extensión de 509 $km^{2,}$ y una superficie aproximada de 5.099.553 ha.

En cuanto a sus condiciones climáticas el cantón Atacames muestra precipitaciones entre los 500 a 1000 ml anuales, mientras que su temperatura alcanza un promedio de 27 grados centígrados.

Se encuentra atravesado por los ríos Tonchigüe, Súa y Atacames este último siendo nuestra área de interés cuenta con una extensión de 41 km (32).

Ubicación de puntos de muestreo

Para el muestreo se establecieron 3 puntos los cuales se encuentran ubicados en la parte media del río Atacames los mismos que fueron seleccionados bajo la premisa de poseer características similares tanto ambientales como geográficas, a la vez que posean la adecuada accesibilidad para la toma de muestras.

Las coordenadas UTM de los puntos de muestreo fueron obtenidas por un GPS Garmin, las cuales fueron ingresadas al programa Qgis 3.10.6 para la obtención del mapa, las mismas que se encuentran reflejadas en la Tabla 1:

Tabla 1

Coordenadas de los puntos de muestreo.

Punto	Lugar	X	Y
1	Las Luchas	626933	10086003
2	Las Vegas	627899	10083885

3	Tazones	628509	10082052

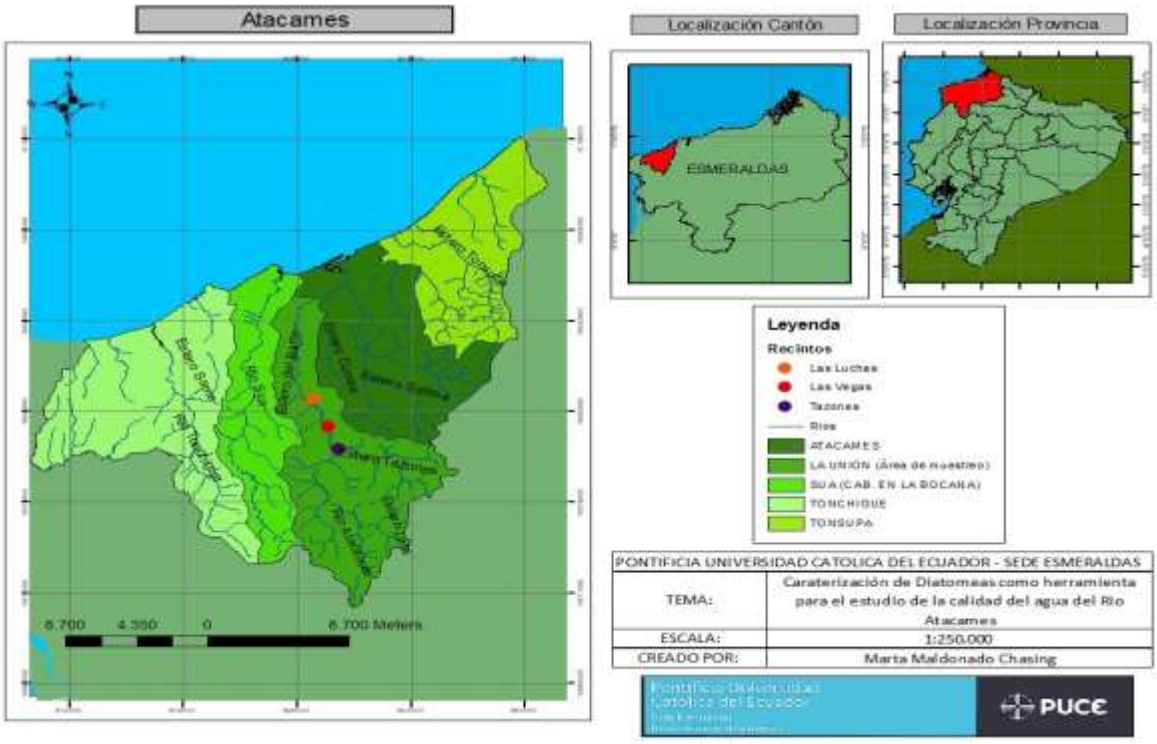


Figura 1. Mapa de estaciones de muestreo del río Atacames.

Recolección de Datos

Parámetros físico- químico

Para el presente trabajo se tomaron parámetros físicos *in-situ* tales como temperatura (℃) pH, conductividad (Ms/cm), sólidos disueltos y oxígeno (mg/L) disuelto, los cuales fueron medidos con el sensor multiparamétrico Hach HQ40d (Anexo 1).

Mientras que, para los parámetros químicos se realizó la recolección de muestra de 1 litro de agua en cada punto de muestreo, luego fueron trasladados al laboratorio de la Escuela de Gestión Ambiental, en donde se evaluaron fosfato, nitrato, amonio y nitrito por medio del Colorímetro Hach DR 900.

Muestreo diatómico

El muestreo se realizó en 3 estaciones en la cuales se procedió a extraer 3 muestras en cada punto, procedimiento se efectuó durante los meses de julio, agosto y septiembre, en donde al final se obtuvieron un total de 27 muestras.

Se recolectaron 3 piedras de cada punto las mismas que con la ayuda de una plantilla de cartón con un marco de 5x5 cm se procedió a marcar el área de muestra, la mismas que fue extraída por medio del rapado en introducida en un reciente platico con 50 ml de agua del mismo punto, a continuación, se agregó 3 gotas de formol al 37 %, posteriormente sellado y transportado manteniendo la cadena de frio hasta el laboratorio de la Escuela de Gestión Ambiental para su análisis.

Análisis de laboratorio

El análisis en el laboratorio inició a partir de la homogenización de la muestra previo a la sedimentación, para lo cual se procedió agitar los recipientes plásticos en forma de 8 un mínimo 20 veces, luego con la ayuda de una pipeta de pasteur se procede a extraer un volumen de 1 ml para ser analizado por medio del microscopio invertido (33).

Técnica de conteo

Para el conteo e identificación se diseñó un formulario que nos permitió llevar un seguimiento sobre las diatomeas identificadas en donde se refleja los géneros y los puntos de muestreo. El libro utilizado para el conteo fue “Indentification and use as bioindicators” de Bellinger y Sigce (34).

Para reducir el margen de error en el reconteo se consideraron los siguientes aspectos:

1. La observación se inició con el lente de menor medida (x40) siendo esta aumentada de manera progresiva hasta alcanzar la medida de (x60).
2. Para la diferenciación entre géneros se tomaron en cuenta características tales como dirección del rafe, curvatura, presencia de estrías, forma y numero de valvas, forma de ápice, los mismos que fueron identificados con la guía.

3. El área de observación fue dividida en transeptos 2 verticales y dos horizontales, para facilitar el conteo (ver la Figura 2).

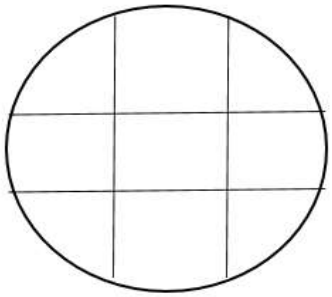


Figura 2. Área de observación y transeptos para el conteo de diatomeas en el microscopio óptico.

Análisis de datos

A través del programa Microsoft Excel, se realizó el ingreso y manipulación de datos estadísticos, los mismos que posteriormente fueron analizados con el programa R studios (35) y Past en los cuales se realizaron los diferentes análisis de datos, considerando la aplicación de dos índices ecológicos, como son el índice de Jaccard, el índice diatómico general, Shannon y Margalef.

Determinación de abundancia

Una vez realizado el conteo en el microscopio invertido y tomando en cuenta los barridos de observación y la base de decantación de Utermohol se procedió a estimar la abundancia por mililitros en base a la formula siguiente (36):

$$\text{Células/ ml} = (C * TA)/(L * W * V * S)$$

En donde:

C= células contabilizadas

TA= Superficie de la base de la cámara de decantación en mm^2

L= Longitud de la tira contabilizada en mm
W= Ancho del transepto en mm
V= Volumen de decantación de la cámara en mililitros
S= número de tiras contabilizadas

Índice o coeficiente de Jaccard

El coeficiente o índice de similitud de Jaccard es una un análisis estadístico permite establecer una relación entre dos puntos de muestreo, utilizando una razón de intersección, obteniendo como resultado la similitud y diversidad entre dos muestras (37).

Expresión.

$$ISJ = \frac{c}{a + b + c}\ x\ 100\%$$

En donde:

ISJ: Índice de similitud Jaccard

a. Numero de géneros presentes en la estación 1
b. Numero de géneros presentes en la estación 2
c. Sumatoria de géneros presentes en la estación 1 y 2

Índice Diatómico

El Índice Diatómico General centra su análisis los niveles de polución, la abundancia y la capacidad de adaptación de los organismos a través de rangos de 1-5 es cual permite determinar la calidad del agua. La ecuación de cálculo es la siguiente:

$$IDG = \frac{\sum_{J=1}^{J} Aj\ Sj\ Vj}{\sum_{j=1}^{n} Aj\ Vj}$$

En donde:

IDG. Índice Diatómico General

Aj: Abundancia

Sj: Sensibilidad de polución de cada género

Vj: Variabilidad

Rango para la estimación de la calidad de agua según IDG y una Tabla de referencia (ver la Tabla 3 y 4), las tablas de sensibilidad de cada uno de los géneros se los puede observar en el Anexo 6.

Tabla 2

Valoraciones para determinar la calidad de agua.

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

Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados es una técnica estadística multivariante que tiene como objeto agrupar elementos o variables tratando de conseguir la mayor homogeneidad posible en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos. En este caso, el gráfico de conglomerados que se obtuvo sirvió para determinar la abundancia absoluta de los individuos que se encontraron a lo largo del estudio, conforme a las estaciones de muestreo.

Del mismo modo, se obtuvo un gráfico de conglomerados para determinar la influencia de los parámetros fisicoquímicos en la abundancia de las diatomeas a lo largo de los muestreos (37).

CAPITULO lll: RESULTADOS

Comunidad de diatomeas bentónicas

En nuestro análisis de datos se pudo obtener un total de 22 géneros distribuidos en los 3 puntos de muestreo, los mismos que corresponden a la abundancia absoluta en donde se puede observar que el punto de mayor número de géneros fue el P3, mientras que donde existe menor variedad de géneros fue el P2 (ver la Tabla 4).

Tabla 3

Presencia de géneros en los diferentes puntos de muestreo.

GÉNEROS	**P1**	**P2**	**P3**
Achnanthes	x	x	x
Achnanthidium	x	x	x
Amphora	x		x
Asteriotella			x
Caloneisy	x	x	x
Cladophora	x	x	x
Closterium			x
Cocconeis	x	x	x
Cosmarium			x
Cymbella	x	x	x
Didymosphenia	x	x	x
Encyonema	x	x	x
Gomphonema	x	x	x
Gyrosigma	x	x	x
Meridium	x		x
Navícula	x	x	x
Nitzschia	x	x	x
Oscillatoria	x	x	x
Pinularia	x		x
Synedra	x	x	x
Tabellaria			x
Rivularia		x	

Nota. P1: Las Luchas; P2: Las Vegas; P3: Tazone

En total se recolectó a 19935 diatomeas dentro del área de estudio pertenecientes a 22 géneros. De acuerdo a la abundancia absoluta, los géneros con mayor abundancia en la investigación fueron *Pinularia* (6852.56 diatomeas) y *Rivularia* (10315.07 diatomeas), mientras que, las menos abundantes fueron *Asteriotella* (305.06 diatomeas) y *Tabellaria* (324.13 diatomeas), considerando de manera general a las diferentes estaciones y muestreos (ver la Figura 3).

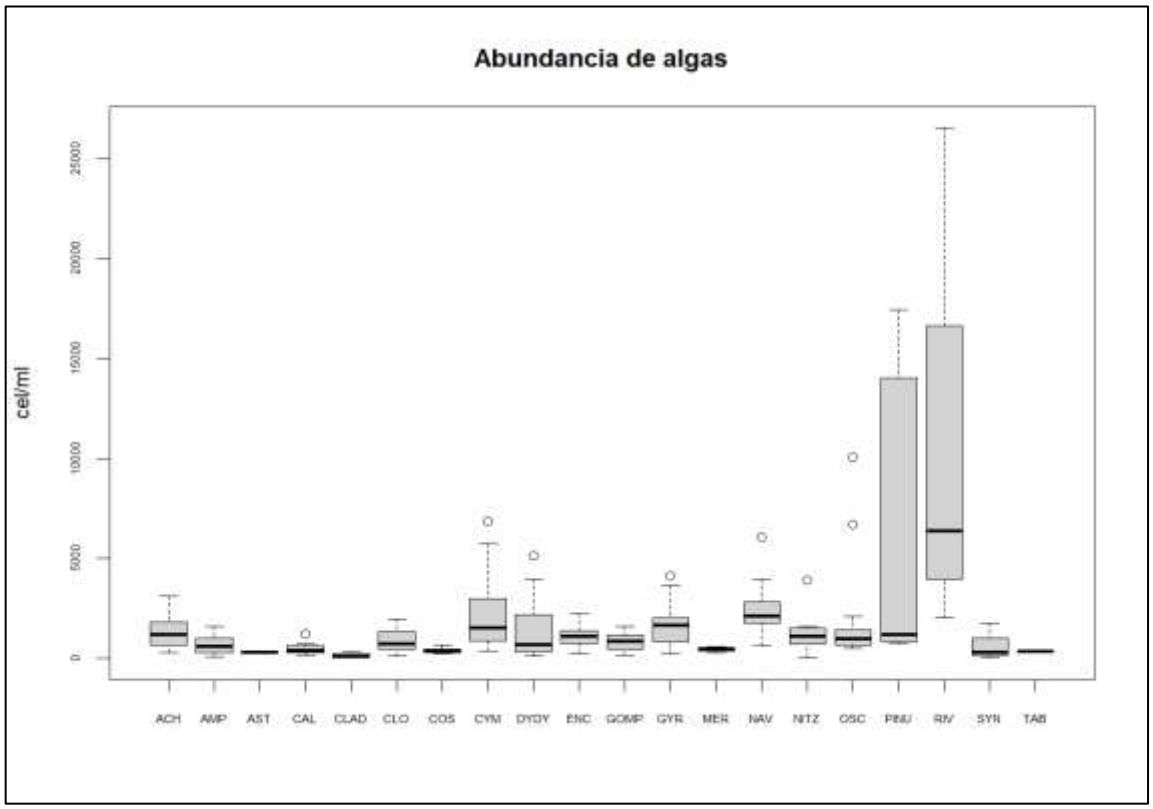


Figura 3: Abundancia absoluta encontrada en el estudio por género.

De acuerdo a las estaciones, el lugar que tuvo más abundancia fue Las Vegas (3671 diatomeas), seguido por Tazone (1218 diatomeas), mientras que, la estación con menos abundancia fue Las Luchas (1136 diatomeas) (ver la Figura 4). Lo mencionado también lo confirma el gráfico por conglomerados por dispersión donde Las Vegas es la estación que más abundancia tiene, considerando principalmente el primer muestreo realizado (ver la Figura 5).

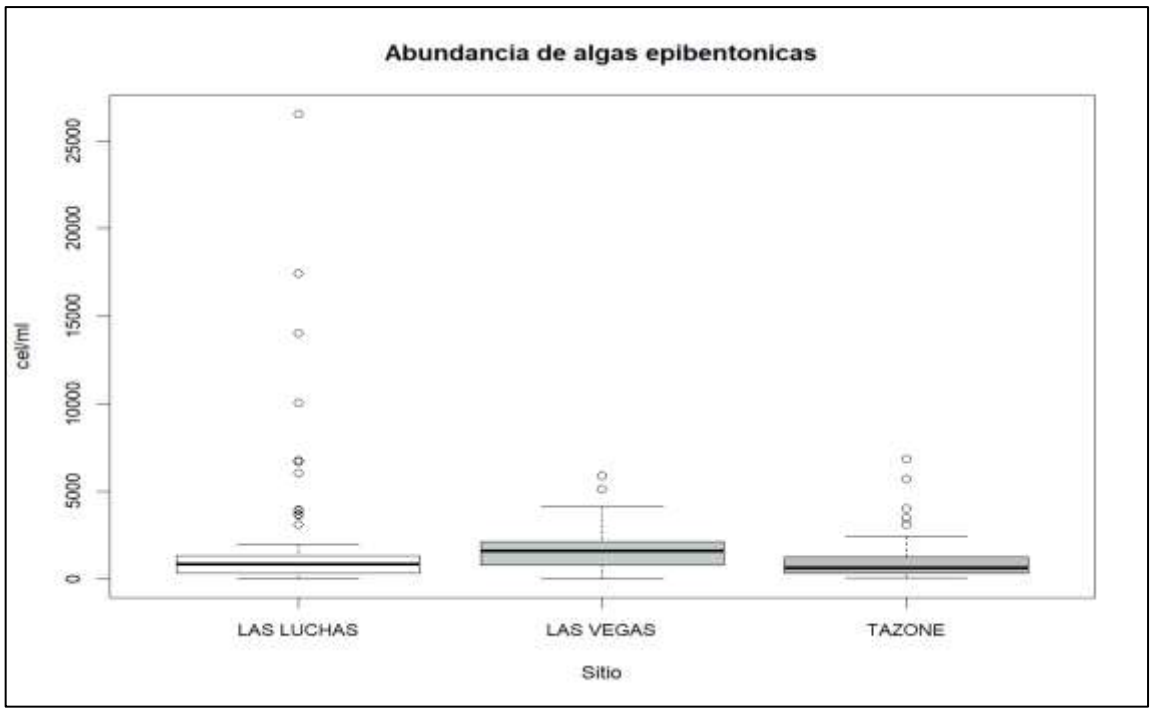


Figura 4: Abundancia absoluta encontrada en el estudio por estación.

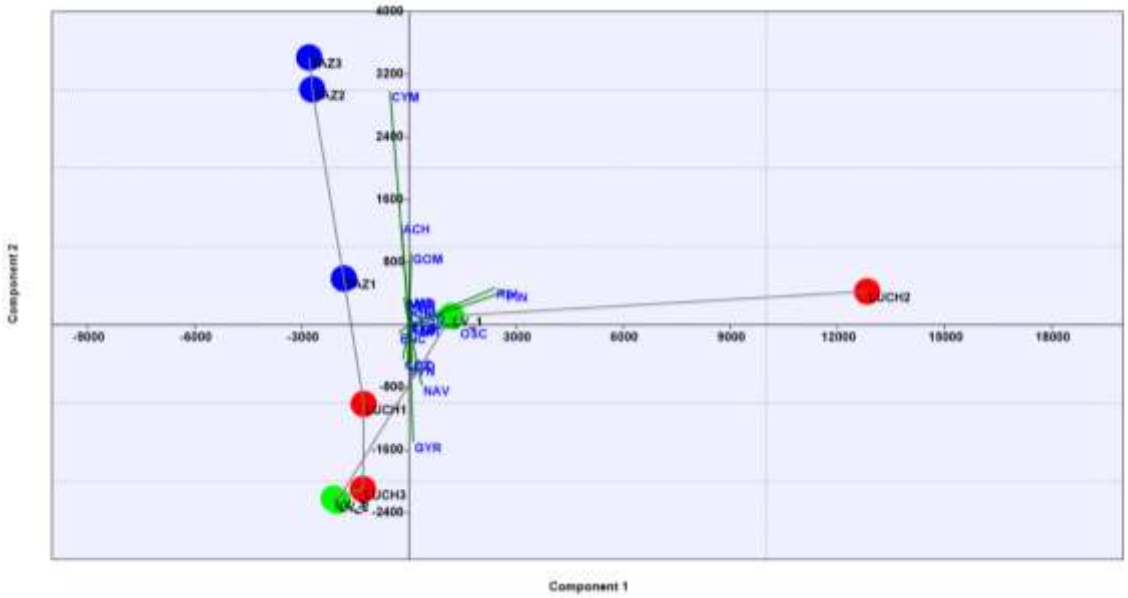


Figura 5*:* Gráfico por conglomerados de la abundancia absoluta encontrada en el estudio por estación.

En relación a las fechas en las que se realizaron los muestreos se obtuvo que en agosto fue el mes con mayor abundancia (3685 diatomeas), seguido por septiembre (1310 diatomeas) y por último estuvo julio (1118 diatomeas) (ver la Figura 6).

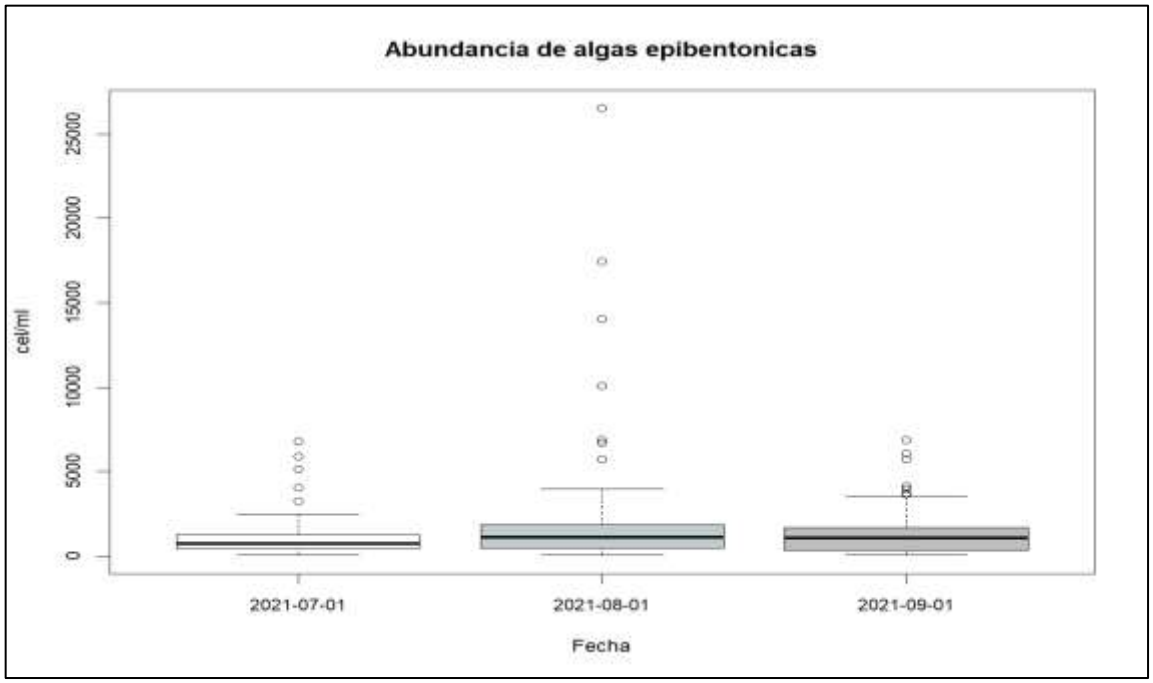


Figura 6: Abundancia absoluta encontrada en el estudio por fecha.

Tomando en consideración la abundancia encontrada en las diferentes estaciones y muestreos, se puede observar en la siguiente gráfica que en Las Luchas durante el segundo muestreo se obtuvo la mayor abundancia de diatomeas; mientras que, la estación con más baja abundancia fue también Las Luchas durante el primer muestreo. Por su parte, en Las Vegas y Tazone la tendencia se fue más homogénea (ver la Figura 7).

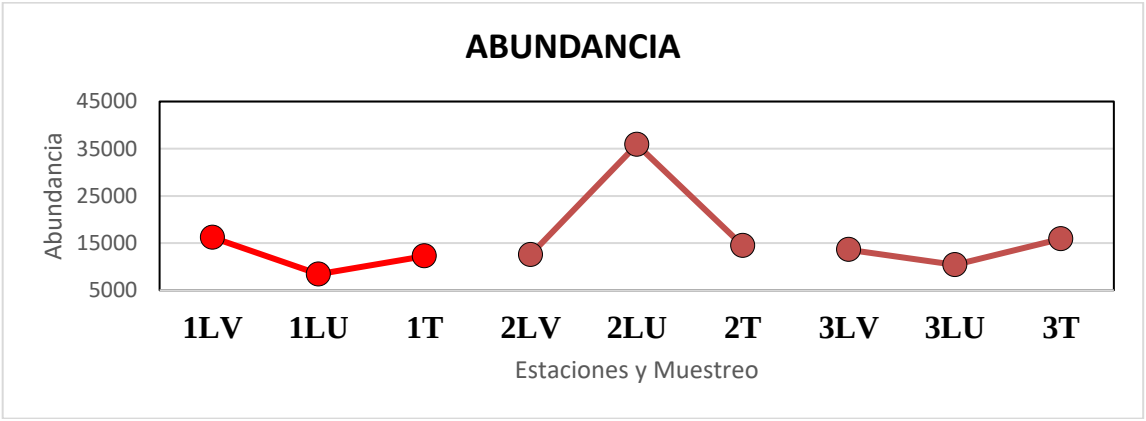


Figura 7: Abundancia absoluta de acuerdo a las diferentes estaciones y muestreo expresado en individuos/ml. Nota: LV: Las Vegas, LU: Las Luchas, T: Tazone.

Después de haber analizado la abundancia y riqueza de diatomeas encontradas se ha determinado los índices ecológicos de Shannon Wiener y Margalef, estos reflejaron la cantidad de diversidad dentro de cada estación. El índice de Shannon Wiener mostró que Tazone fue la única estación que en los tres muestreos se mantuvo sobre valores mayores a 2 lo que es un indicativo de una diversidad normal. En cambio, en Las Vegas existió una baja diversidad en los tres puntos. Con respecto al índice de Margalef evidenció una diversidad inferior a la que mostró el de Shannon Wiener, sin embargo, se obtuvo que Tazone fue la estación con mayor diversidad específica y Las Vegas la menor en todo el estudio (ver la Figura 9).

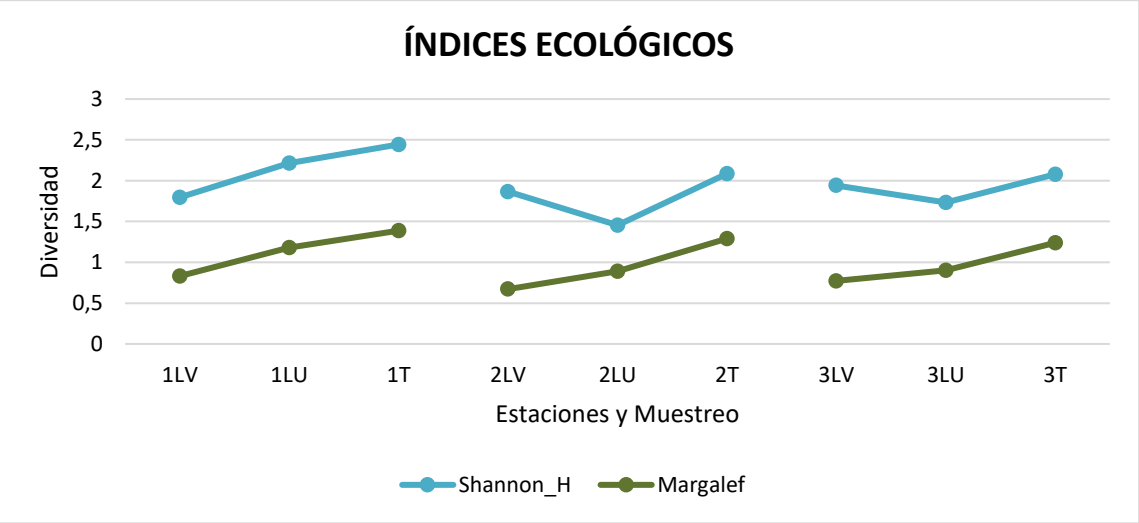


Figura 8: Riquezas de acuerdo a las diferentes estaciones y muestreo.

Índice de similitud y de calidad de agua

Índice de Jaccard

Para determinar la similitud entre los puntos de muestreo se empleó el índice de Jaccard en donde la similitud en general entre los tres puntos de muestreo (Las Vegas, Las Luchas y Tazone) varía entre un 60 y 76%. Existió una mayor semejanza de géneros es mayor entre P1 y P2 (76.4%), mientras que, resultó una menor similitud entre los P2 y P3 (60%) (ver la Tabla 6).

Tabla 4

Índice de Jaccard.

	P1	P2	P3
P1	-	76,4	71,1
P2	76,4	-	60
P3	71,1	60	-

Nota. P1: Las Luchas; P2: Las Vegas; P3: Tazone

Índice Diatómico General

El Índice Diatómico General (IDG) evidenció la calidad de agua en las diferentes estaciones del río Atacames encontrándose varias diferencias. El P1 durante el primer muestreo presentó una polución moderada (3.72) manteniéndose así en el muestreo 2 (3.74), sin embargo, durante el último muestreo la polución fue media (3.46). El P2 tuvo más variación puesto que durante el primer muestreo la polución fue moderada (3.59), posteriormente en los siguientes muestreos la polución fue media (3.31 y 3.27 respectivamente). Mientras que, el P3 mostró una polución moderada (3.98) durante el primer muestreo y en los siguientes fue débil (4.23 y 4.46 respectivamente) (ver la Tabla 7).

Tabla 5

Estado de polución.

MUESTREO	ESTACIÓN	ESTADO/CALIDAD	VALOR
1	P1	Polución moderada	3.72
	P2	Polución moderada	3.59
	P3	Polución moderada	3.98
2	P1	Polución moderada	3.74
	P2	Polución media	3.31
	P3	Polución débil	4.23
3	P1	Polución media	3.46
	P2	Polución media	3.27
	P3	Polución débil	4.46

Nota. P1: Las Luchas; P2: Las Vegas; P3: Tazone

Relación entre el número de diatomeas y parámetros físicos químicos

Conforme al análisis de conglomerados que se obtuvo en las diferentes estaciones se observa en la Figura 10 que las diatomeas encontradas en la Las Vegas durante el tercer muestreo tienen a ser más abundantes cuando existen sólidos disueltos, turbidez, pH y conductividad, también se puede notar que el oxígeno disuelto y la temperatura no influyeron en la abundancia de ninguna de las estaciones. Así también, no se observa relación entre los parámetros físico químicos con el primer muestreo en las diferentes estaciones.

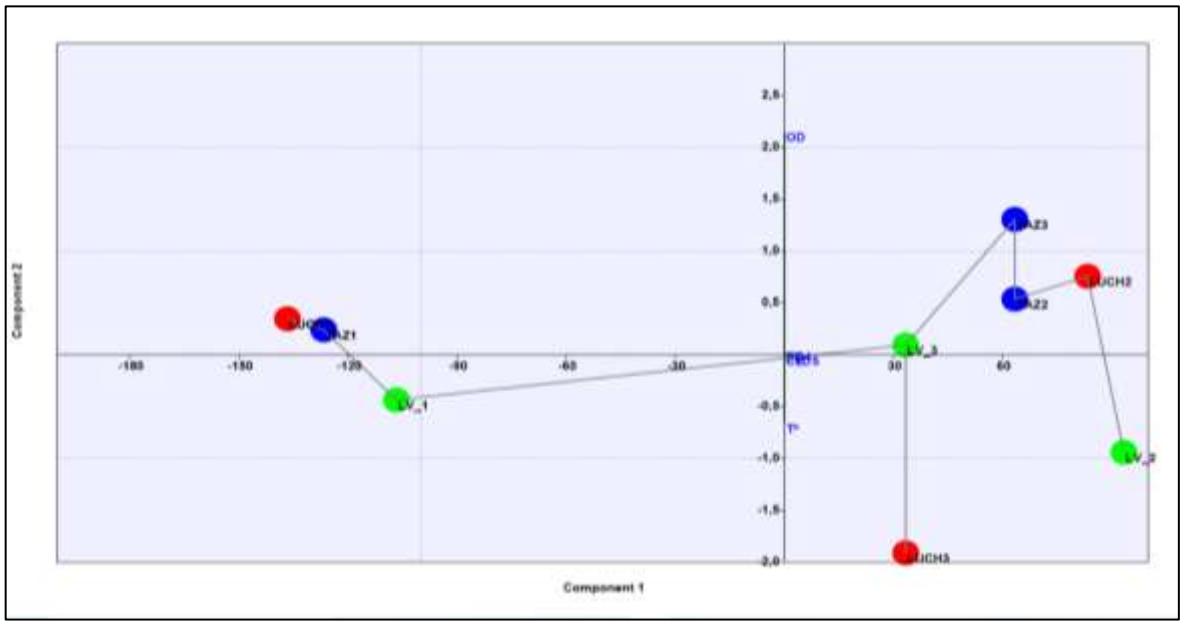


Figura 9: Relación entre la abundancia de estaciones y muestreos y los parámetros físico químicos.

Del mismo modo, el análisis de conglomerados con respecto a cada uno de los géneros encontrados, se estima que *Synedra*, *Encyonema y Cocconeis* se muestran más abundantes cuando hay altas cantidades de sólidos disueltos. El género *Navícula* por su parte, se encuentra más influenciado por la alta cantidad de conductividad y *Gomphonema* tiene una estrecha relación con el oxígeno disuelto al notarse una mayor abundancia cuando se incrementan los valores del parámetro físico químico (ver la Figura 11).

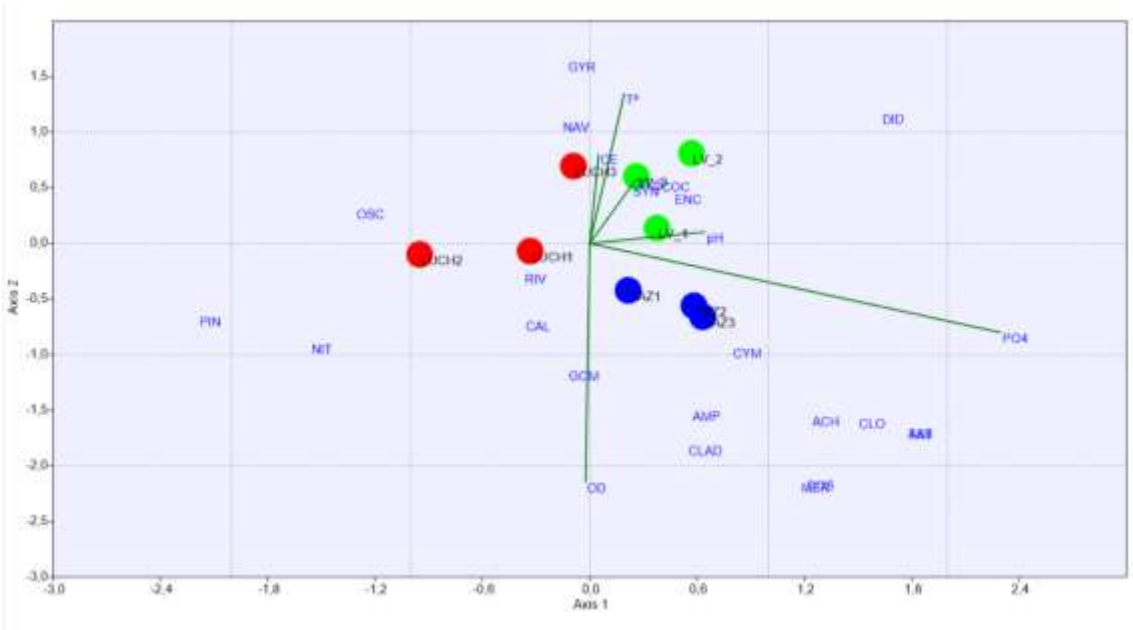


Figura 10: Relación entre la abundancia de géneros y los parámetros físico químicos.

Cuadro comparativo

Se consideró la abundancia y los meses de estudio, se determinó que hubo diferencias significativas entre los meses de (p = 0.010) por ser inferior a p = 0.05 (ver la figura 12).

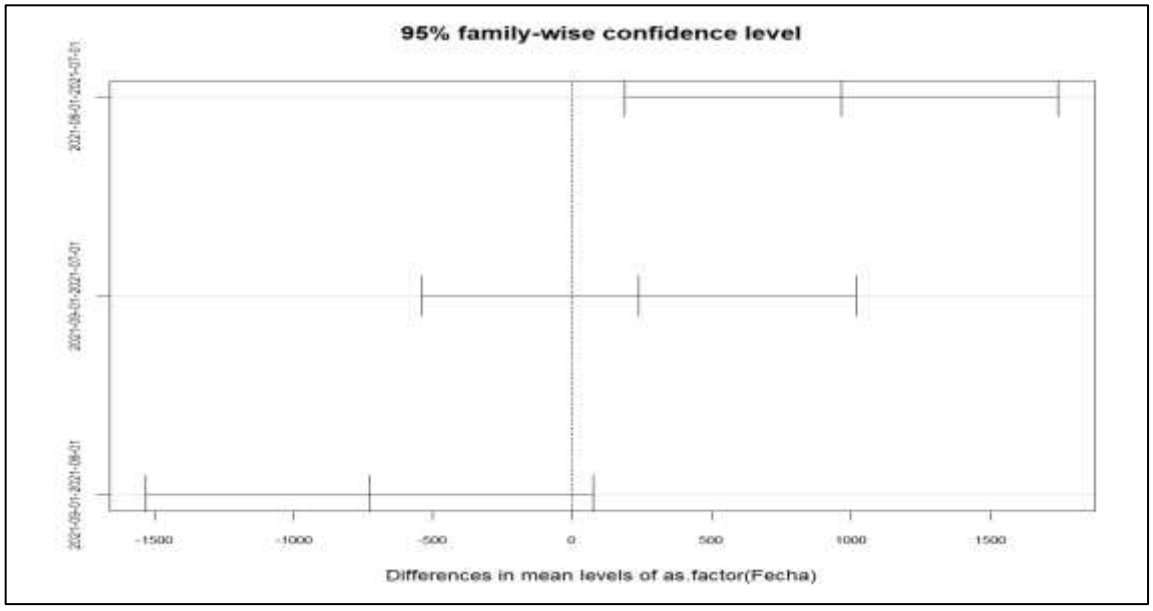


Figura 11: Comparación entre abundancias y fechas.

Al hacer el mismo procedimiento con las estaciones se evidenció que existe cierta significancia entre las abundancias obtenidas en Tazone con las de Las Luchas (p = 0.059) por ser cercano a p = 0.05 (ver la Figura 13).

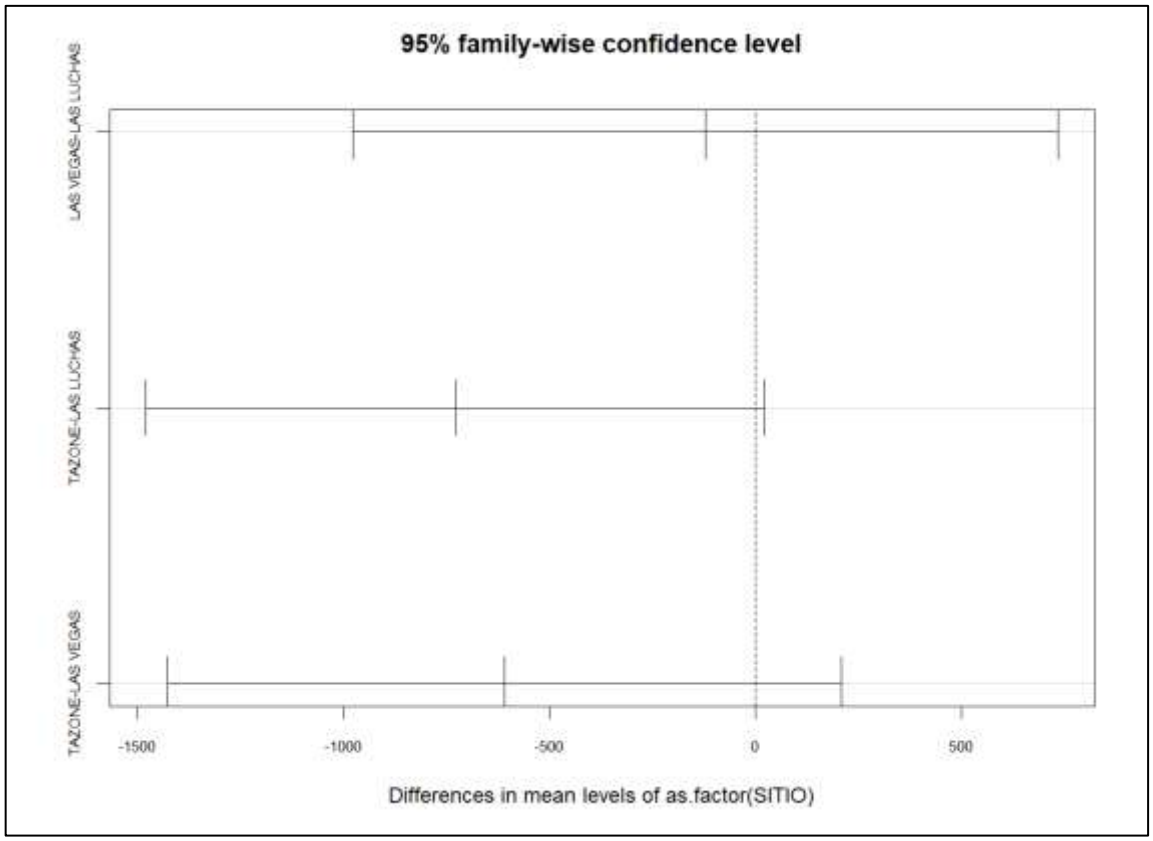


Figura 12: Comparación entre abundancias y estaciones.

CAPITULO IV: DISCUSIÓN

Los ríos son fuente de vida no solo para especies acuáticas, sino que también son medios de supervivencia de las poblaciones, debido a que mediante este recurso natural se obtiene agua, sirve de recreación y de trasporte para las personas, sin dejar de lado que forman parte de la economía de los pueblos, puesto que de los mismo se obtienen alimentos y el agua se utiliza para actividades agrícolas y ganaderas (2,38). Por lo tanto, su conservación es de gran importancia no solo desde el punto de vista ambiental, sino también desde el ámbito social y económico (5). Entonces resulta necesario plantear estrategias para solucionar el problema de la contaminación, iniciando por realizar evaluaciones y monitoreos que identifiquen las condiciones actuales para proponer medidas de actuación oportuna (26).

Por lo mencionado, la utilización de diatomeas en estudios sobre calidad de agua ha sido eficaz, pudiéndose observar el impacto de la contaminación sobre especies sensibles y los perjuicios relacionados que logran afectar en el corto, mediano y largo plazo (7). En la presente investigación realizada en el río Atacames, se determinó un total de 22 géneros de diatomeas, de las cuales *Navícula* (3340 diatomeas), *Cymbella* (3240 diatomeas) y *Oscillatoria* (1664 diatomea) obtuvieron la mayor abundancia absoluta, lo que constituye una cantidad considerable de diatomeas encontradas en el trabajo, a diferencia de lo reportado por estudios internacionales como es el caso de Calizaya et al. (23) donde el género más abundante fue *Nitzschia* con un total de 19 y *Navícula* con siete individuos; otras investigaciones reportaron un total de 64 diatomeas donde *Bacillariophytas* presentó una abundancia de 252.

Mientras que, un estudio nacional realizado en los ríos del Parque Nacional Cajas reflejó que los géneros más comunes y abundantes fueron *Nitzchia, Gomphonema, Cymbella, Navícula* y *Melosira* (26). Por su parte, el número de géneros del presente estudio fue mayor al obtenido en el estudio de Echeverría (39) también en el río Atacames, donde se encontró 13 entre ellos *Navícula.* Las comparaciones entre estudios indican que el género *Navícula* está presente de manera frecuente en las investigaciones relacionadas a las diatomeas como bioindicadores de calidad de agua, por lo que su presencia hace entender

que son las más tolerantes a la contaminación, tal como se indican los autores Novoa y Raviol (5); sin embargo, si no se encuentran quiere decir que la polución es demasiado alta. Además, las diferencias entre los estudios señalados se dan debido a que fueron ejecutados en diferentes lugares, con diversos climas desde los más fríos hasta los más cálidos, siendo que algunas zonas como en el caso del Parque Nacional Cajas fueron sitios de conservación.

Por otro lado, la recolección total fue de 19935 diatomeas que se distribuyeron de manera desigual entre los 22 géneros, esto lo confirmó el análisis comparativo, el cual mostró diferencias significativas entre la abundancia absolutas existente entre géneros, entre estaciones de muestreo y en la interacción entre las variables. Lo anterior resulta similar a otras investigaciones en el río Atacames, donde también se observó diferencias significativas entre estaciones y géneros a razón de que en las zonas altas existe una menor intervención de la población, mientras que, en las zonas intermedias y bajas se efectúan una mayor cantidad de actividades antropogénicas, por lo que la contaminación estaría en diferentes niveles (39), esto también se refleja al evidenciar que Tazone, al ser una zona alta, obtuvo la mayor cantidad de géneros observados en la presente investigación.

De acuerdo al índice Jaccard la similitud de géneros en las diferentes estaciones estuvo entre un 60 y 76%, siendo un porcentaje alto entre el P1 y P2 (76.4%). Estos resultados concuerdan con lo obtenido en el estudio de Céspedes et al. (21) donde en dos tramos del río evaluado se obtuvo un índice de 75% debido a que presentaban las mismas condiciones ambientales, así también se destacó que en los dos lugares se establecían actividades agrícolas en la cercanía. Sin embargo, en otro estudio ninguno de los tramos presentó una similitud sobre el 50%, concluyendo que en cada punto de muestreo se practicaban actividades antropogénicas diferentes lo que influía al momento de encontrar diversos géneros (11). Entonces, la presencia de las mismas condiciones ambientales y las mismas actividades influyen en la similitud de géneros según lo observado.

Así también, se evidenció que la presencia de diatomeas varió entre las estaciones de muestreo, encontrando la mayor cantidad de géneros en el P3 (Tazone) y la menor cantidad en el P2 (Las Vegas); los géneros no encontrados en el P1 fueron *Asteriotella*,

Clorerium, Cosmarium y Tabellaria; en el P2 fueron *Asteriotella, Cosmarium, Meridium Pinularia* y *Tabellaria*. Finalmente, en el P3 el único género que no se halló fue *Rivularia.*

De lo anterior cabe destacar que la diferencia en la presencia de géneros en las estaciones tiene relación con el índice Diatómico General porque se encontró que todos los puntos sufrieron una variación en el estado del agua en el trascurso de los tres muestreos siendo menor en el P3. En lo que corresponde al P1 la polución llegó a ser media en el muestreo 3 (3.46) siendo que los géneros mencionados anteriormente presentaron una sensibilidad entre 4 y 5 puntos lo que indica que la existencia de variaciones en la calidad de agua influyó en la presencia/ausencia de dichos géneros. Esto se confirma al analizar la situación de Tazone, pues fue la única estación que mostró valores de polución débil en los dos últimos muestreos y solo un género de los 22 observados no se encontró, el mismo que mostraba una sensibilidad de 4.

Lo indicado concuerda con varios autores señalando que la sensibilidad de las diatomeas es efectiva al analizar la contaminación en los ecosistemas acuáticos, por lo tanto, al no encontrar ciertos géneros, es conveniente determinar que ese tramo del río está siendo afectado por las actividades cercanas (40). Además, el índice diatómico general permite observar el grado de sensibilidad de cada género de diatomeas, resultando ser un buen indicados de las condiciones de los ríos (18); así también, estudios realizados anteriormente en el río Atacames muestran un índice de polución débil en Tazone (39) corroborando lo indicado por la investigadora.

Considerando los parámetros físico – químicos, las diatomeas se desarrollan de forma óptima en temperaturas entre 18 y 30°C (23), si se observa los resultados del presente estudio se puede evidenciar que en todas las estaciones y muestreos la temperatura no bajó de 25.60°C ni sobrepasó los 27.60° C, por lo que se determina que la temperatura no influyó en la cantidad de diatomeas encontradas debido a que el rango fue el adecuado. En cuanto al pH, las diatomeas se desarrollan mejor en medios acidófilos (cercano o menor a 7) y alcabióticos (mayor a 7), corroborándose con los resultados de obtenidos donde el pH estuvo en un rango de 7.80 y 8.45 evidenciando las razones por las que se encontró una cantidad de géneros más alta que en estudios anteriores.

Por otro lado, dentro del estudio el rango de conductividad estuvo entre 70 y 100 mS/cm, sin embargo, son considerados como bajos frente a otros estudios donde el mínimo ha sido de 172 y el máximo de 345 mS/cm (14,21), incluso existen investigaciones donde la conductividad máxima es mayor a 400 mS/cm (26); estas diferencias pueden deberse a que los otros estudios fueron realizados en época de lluvia. La conductividad puede influir en la cantidad de diatomeas encontradas puesto que en los estudios con conductividad más alta también tenían el número de diatomeas más alto, mientras que, cuando la conductividad era menor el número de diatomeas también se reducía (26); lo que se logró corroborar en la presente investigación.

De igual manera, el oxígeno disuelto debe estar en un rango de 5.89 y 6.91mg/L (40), sin embargo, en la presente investigación se encontraron valores más altos llegando hasta 8.50 mg/L, siendo un indicador de eutrofización en el medio. De hecho, varios estudios mostraron que el género *Navícula* es muy común en medios eutrofizados (21) y en el presente estudio fue uno de los géneros con mayor abundancia absoluta. En relación a los fosfatos, cantidad normal en los ríos es de 0.075 mg/L (39), lo que demuestra que las cantidades obtenidas en la presente investigación fueron altas superando los límites permisibles, siendo la razón por la cual se ha encontrado gran cantidad de diatomeas durante el estudio, lo que conllevaría a un estado de eutrofización y concordaría con lo observado en el oxígeno disueltos

Finalmente, se señala que el uso de diatomeas es conveniente para este tipo de investigaciones porque plantean las bases para proponer futuras medidas de intervención que mejoren la situación en estos ecosistemas; todo con la finalidad de que los ríos sigan brindando los beneficios ambientales, sociales y económicos a las poblaciones aledañas.

.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como objetivo general caracterizar las condiciones ambientales del río Atacames a través del estudio de la comunidad de diatomeas bentónicas como bioindicadores, lo que se ha llevado a cabo de manera efectiva; por lo tanto, de acuerdo con los objetivos específicos se concluye lo siguiente:

- En relación a la identificación de la comunidad de diatomeas bentónicas se encontró un total de 22 géneros en los tres puntos de muestreo, siendo un total de 19935 individuos, donde los más abundantes fueron *Navícula, Cymbella y Oscillatoria;* mientras que, las estaciones con mayor cantidad de diatomeas fue Tazone con un total de 6768 además fue la estación con mayor diversidad de géneros. Con esto se concluye que la cantidad de diatomeas no es uniforme en todo el río Atacames, existiendo mayor variedad de géneros en las zonas altas y menos intervenidas.

- De acuerdo al objetivo sobre la aplicación de los índices de Jaccard y el diatómico general se encontró que la similitud en general de los tres puntos varía entre un 60 y 76%, siendo mayor entre los puntos Las Luchas y Las Vegas. Por su parte, con respecto a la calidad del agua se obtuvo que ninguna de las estaciones mostró una polución crítica, sin embargo, durante el tercer muestreo llegaron a presentar polución media. Además, Tazone fue el único punto de muestreo que evidenció polución débil durante el segundo y tercer muestreo. Entonces se concluye que existe contaminación principalmente en zonas bajas.

- Con respecto a la relación entre las condiciones ambientales del agua y la cantidad de diatomeas se encontró que no hubo una variabilidad significativa en los parámetros físico – químicos, sin embargo, la mayor cantidad de diatomeas del estudio fue de 3339 coincidiendo con el valor más alto de la conductividad y sólidos disueltos, así también la menor cantidad de diatomeas concuerda con el valor de conductividad más bajo. Lo anterior podría ser un indicador de que la conductividad y los sólidos disueltos influyen en el desarrollo de las diatomeas.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

A partir de las conclusiones determinadas anteriormente, se exponen las siguientes recomendaciones:

- Fomentar la investigación de la calidad de agua en los diferentes ramos del río Atacames de la provincia de Esmeraldas, debido a que varias poblaciones aledañas hacen uso de los recursos naturales, por lo que es necesario disminuir la polución para no afectar la salud de las personas.

- Promover proyectos de restauración ecológica en el río Atacames con un trabajo en conjunto de las poblaciones, instituciones privadas y públicas con la finalidad de adquirir los recursos económicos, técnicos y humanos para mejorar la situación actual, sin dejar de lado que se debe poner atención a las construcciones porque se evidencia un aumento de la conductividad en las estaciones lo que es un indicador de contaminación ambiental.

- Es importantes realizar más estudios en las zonas bajas con la finalidad de observar cómo influyen las actividades domésticas, agrícolas y ganaderas que funcionan en las cercanías de río, esto para lograr plantear medidas preventivas y correctivas que ayuden a reducir la contaminación y los efectos negativos en las especies de flora y fauna del lugar. Es importante fomentar una cultura de conciencia ambiental en la población para que sirva como herramienta de mejora continua.

- Es conveniente generar un plan de manejo en la cuenca a la que pertenece el río Atacames que evite la degradación ambiental y que promueva el desarrollo y restauración. De igual manera con el plan, las autoridades competentes pueden regular con mayor facilidad todas las actividades que se ejecutan e implementar los proyectos de restauración.

BIBLIOGRAFÍA

1. Franco P, Franco P, Sulca L, Oyague E. Diatomeas teratológicas como organismos bioindicadores de la calidad del agua del río Tingo, Hualgayoc, Cajamarca. Revista del Fondo Editorial Universitario Ciencia y Desarrollo. 2018;10(22):26-33.

2. Lobo E, Weber N, Salinas V. Diatoms as bioindicators: Ecological aspects of the algae response to eutrophication in Latin America. Mexican Journal of Biotechnology. 2019;4(1):1-24.

3. Bere T, Mangadze T. Diatomcommunities in streamdrainingurbanareas: communitystructure in relation toenvironmental variables. Tropical Ecology. 2014;55(2):271-2081.

4. Arroyo J, Encalada A. Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina montano. Cien Ing. 2009;1(1):12-20.

5. Novoa M, Raviol F. Calidad de agua en el Río Uruguay en el tramo Tortuga Alegre-Puerto Yeruá utilizando bioindicadores (Diatomeas). Ciencia, Docencia Y Tecnología Suplemento. 2021;11(12):12-27.

6. Sánchez A, García R. Biomonitoreo de ríos en la gestión de cuencas. IX Congreso Nacional de Irrigación. 1999;2(4):9.

7. Piccardo A. Diatomeas bentónicas como indicadores de gradientes ambientales asociados a actividades antrópicas en arroyos de la cuenca del Río Negro [Internet] [Tesis de maestría]. [Montevideo]: Universidad de la República Uruguay; 2020. Disponible en: https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/25814/1/uy24-19792.pdf

8. Sardi C. La diversidad de algas diatomeas como herramientas de monitoreo para la gestión de la calidad de recursos hídricos, en los páramos del Macizo del Cajas [Internet] [Tesis de maestría]. [Cuenca]: Universidad del Azuay; 2018. Disponible en: https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8324/1/14046.pdf

9. Chamba K, Guallasamin S. Estudio de la disponibilidad y calida del agua de consumo humano a través del monitores de caudales y análisis de los parámetros físico - químicos y microbiológicos en la zona Pesillo - Imbabura [Internet] [Tesis de grado]. [Quito]: Universidad Politécnica Saleciana; 2015. Disponible en: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10082/6/UPS-ST001591.pdf

10. Toledo A. El agua en México y el mundo. Gaceta Ecológica. 2002;64:9-18.

11. Hernández González S. Indicadores biológicos de calidad de las aguas superficiales de la subcuenca del Río Viejo, utilizando Fitobentos (Diatomeas). Universidad y Ciencia. 2015;6(9):20-3.

12. Bere T, Tundisi J. Epipsammicdiatoms in streamsinfluenced by urbanpollution, São Carlos, SP, Brazil,. Brazilian Journal ofBiology. 2010;70(4):56-68.

13. Eugenia N, Ruiz S, Carvajal Y, Carlos J. A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators. Ingeniería e Investigación. 2010;27(3):172-81.

14. Rosero Córdova KJ. Establecimiento de un índice biótico para determinar la calidad de aguas de los ríos andinos presentes en el ecuador basado en poblaciones de diatomeas epilíticas. BooksGoogleCom. 2016;1-57.

15. Flórez E. Implementación de un modelo de uso libre para la aplicación y apoyo en la interpretación del índice de calidad ecológica [Internet] [Tesis de grado]. [Medellín]: Universidad de Antioquia; 2015. Disponible en: http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/17288/1/FlorezElizabeth_2020_IndiceCalidadEcologica.pdf

16. Peñas V, Masip I. Agua y desarrollo: el reto de la conservación del medio hídrico. Cuaderno Bakeaz. 2010;(97):1-15.

17. Valdivia J. Determinación del estado ecológico de la cuenca baja del río Tambo; mediante bioindicadores biológicos Bacillariophyta (Diatomeas). Durante las épocas de Estiaje 2018 y creciente del 2019 [Internet] [Tesis de grado]. [Arequipa]: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa; 2019. Disponible en: http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/10427/BIvahujc.pdf?sequence=1&isAllowed=y%20los%20cambios%20ambientales

18. Toro J, Schuster JP, Kurosawa JUN. Loticos Utilizando Diatomeas Y Macroinvertebrados Bentonicos Como Bioindicadores Rio Maipo (Santiago : Chile) Bentonicos Como Bioindicadores Rio Maipo (Santiago : Chile). Sociedad Chilena De Ingeniería Hidráulica Xvi Congreso Chileno De Ingeniería Hidráulica. 2003;1-11.

19. Escobar J. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. Vol. 50, Serie recursos naturales e infraestructura. 2002. 68 p.

20. MAE. Tulsma, Libro Vi, Anexo I. 2015;1-75.

21. Céspedes-Vargas E, Umaña-Villalobos G, Silva-Benavides AM. Tolerancia de diez especies de diatomeas (Bacillariophyceae) a los factores físico-químicos del agua en el Río Sarapiquí, Costa Rica. Revista de Biología Tropical. 2016;64(1):105-15.

22. Pinilla G. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica. 1998;(JANUARY 1998):67.

23. Calizaya J, Avendaño M, Delgado I. Evaluación de la calidad del agua fluvial con diatomeas (Bacillariophyceae), una experiencia en Tacna, Perú. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública. 2013;30(1):58-63.

24. Antonio AJ. Determinación de los parámetros Fisicoquímicos de Calidad de las Aguas. 2(23).

25. Bosch JR. La calidad de las aguas. Revista de Obras Públicas. 1999;146(3388):103-4.

26. Barzallo BLGACS. La diversidad de Algas Diatomeas como herramienta de monitoreo para la gestión de la calidad del Recurso hídrico, en los páramos del Macizo del Cajas. 2018;(1):43.

27. Ortiz M. Caracterización de diatomeas como herramienta para el estudio de la calidad del agua del río Teaone [Internet] [Tesis de grado]. [Esmeraldas]: Pontifica Universidad Católica del Ecuador; 2015. Disponible en: https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/589/1/ORTIZ%20CASTRO%20MERIDA.pdf

28. Asamble Nacional. Constitución de la República del Ecuador [Internet]. Ecuador; 2008. Report No.: Registro Oficial 449 de 20-oct-2008. Disponible en: https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

29. Asamblea Nacional Constituyente RDE. Ley Orgánica De Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento Del Agua. Registro Oficial. 2014;32.

30. 507 S del RONo. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. Fielweb Evolución Jurídica. 2019;752(507):1-223.

31. Secretaria. Alcaldia de Atacames [Internet]. Hiatoria. 2019. Disponible en: https://www.municipiodeatacames.gob.ec/index.php/turismo/historia

32. GAD Portovelo. Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Canton Portovelo. 2014;

33. Ferrario M, Sar E. Metodología básica para el estudio del fitoplancton con especial referencia a las diatomeas. Manual de Métodos fisiológicos. 1995;3(4):23.

34. Bellinger E, Sigce D. Identification and Use as Bioindicatons. Vol. 1. John Wiley y Sons Ltd.; 2010.

35. RStudio Team. RStudio: Integrated Development Environment R. [Internet]. Boston, MA,; 2015. Disponible en: http://www.rstudio.com/

36. EPA. Standard Operating Procedure for Zooplankton Analusis [Internet]. 2016. 22 p. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-01/documents/sop-for-zooplankton-analysis-201607-22pp.pdf

37. De la Fuente S. Análisis conglomerados. Madrid: Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales; 2011 p. 57.

38. Alarcón P, Peláez D. Calidad del agua del río Sedamal (Celendín Cajamarca, Perú): Determinación mediante uso de diatomeas. REBIOL. 2014;34(2):29-37.

39. Echeverría M. Estudio de la comunidad de fitoplancton en el río Atacames provincia de Esmeraldas en el periodo enero - abril del 2015 [Internet] [Tesis de grado]. [Esmeraldas]: Pontifica Universidad Católica del Ecuador; 2016. Disponible en: https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/774/1/ECHEVERRIA%20CHAVEZ%20%20MARCOS.pdf

40. Flores E, Villalobos N, Piedra L. Evaluación breve de la presencia de diatomeas y su relación con algunos parámetros físico - químicos en el río Pirro, Heredia, Costa Rica. Revista Uniciencia. 2017;31(2):102-16.

Anexos

Anexo 1. Monitoreo de parámetros físicos



Anexo 2. Monitoreo de parámetros químicos





Anexo 3. Muestreo Diatómico





Anexo 4. Análisis de laboratorio



Anexo 5. Técnica de conteo

LAS VEGAS				
GENERO	REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3	**TOTAL**
ACHNANTHIDIUM		86	126	**212**
AMPHORA				**0**
CLOSTERIUM	7			**7**
COCCONEIS	25		62	**87**
COSMARIUM				**0**
CYMBELLA	30	130	128	**288**
DIATOMA				**0**
DIDYMOSPHENIA	270	115	170	**555**
DIPLONEIS				**0**
ENCYONEMA	18	38	39	**95**
EPITHEMIA				**0**
GOMPHONEMA	12	9		**21**
GYROSIGMA		43		**43**
NAVICULA	115	66	111	**292**
NITZSCHIA				**0**
OSCILLATORIA	36	110		**146**
RIVULARIA	106	310	355	**771**
CLADOPHORA				**0**
SYNEDRA	5		22	**27**
TOTAL	624	907	1013	

TOTAL	2544

Anexo 6. Valores de referencia IDG.

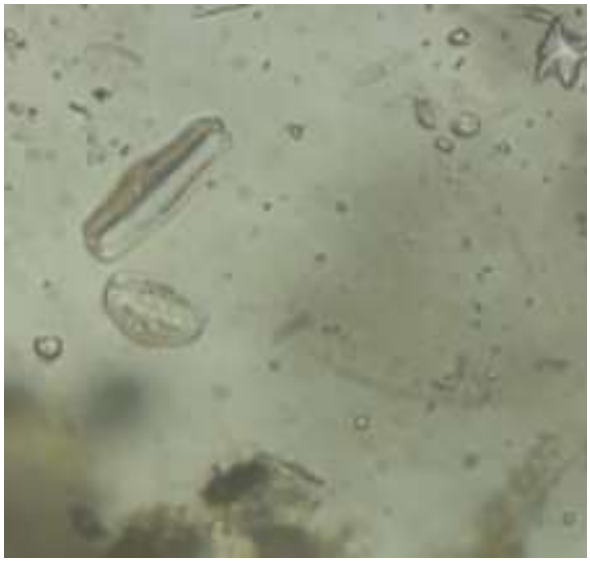
TAXONES	CÓDIGO	SENSIBILIDAD (S)	VARIABILIDAD (V)
Achnantes	**ACH**	**5**	**1**
Amphipleura	**AMH**	**5**	**3**
Amphora	**ARA**	**3**	**2**
Anomoeneis	**ANO**	**5**	**2**
Asterionela	**AST**	**4**	**1**
Attbeya	**ATT**	**2**	**3**
Caloneis	**CAL**	**4**	**2**
Campylodiscus	**CAM**	**5**	**2**
Caratoneis	**CER**	**5**	**2**
Cocconeis	**COC**	**4**	**1**
Cyclotella	**CYC**	**3**	**1**
Cymetopleura	**CMA**	**4**	**2**
Cymbella	**CMB**	**5**	**1**
Denticula	**DEN**	**5**	**3**
Diatoma	**DIA**	**4**	**1**
Diploneis	**DIP**	**5**	**1**
Ephitemia	**EPI**	**5**	**2**
Eunotia	**EUN**	**5**	**1**
Fragilaria	**FRA**	**4**	**1**
Frustulia	**FRU**	**5**	**2**
Gomphoneia	**GIS**	**4**	**2**
Gomphonema	**GMA**	**3**	**2**
Gyrosigma	**DYA**	**4**	**3**
Hantzschia	**HAN**	**1**	**3**

Melosira	**MEL**	**3**	**1**
Meridion	**MER**	**5**	**1**
Navícula ortbostichae	**NOR**	**2**	**2**
Navícula punctatae mutica	**NPM**	**1**	**2**
Navícula (otras)	**NAV**	**3**	**1**
Neidium	**NEI**	**4**	**3**
Nitzschia dissiparae	**NID**	**4**	**2**
Nitzschia (otras)	**NIT**	**1**	**1**
Pinnularia	**PIN**	**4**	**3**
Rhizosoenis	**RHI**	**3**	**3**
Rhoiscophenia	**RHO**	**4**	**1**
Rhopalodia	**RHP**	**4**	**1**
Stauroneis	**STA**	**5**	**2**
Stephanodiscus	**STE**	**2**	**1**
Surirella	**SUR**	**3**	**3**
Synedra	**SYN**	**3**	**1**
Tabellaria	**TAB**	**5**	**1**
Tetracyclus	**TET**	**5**	**3**
Thalasssiosira	**THA**	**2**	**3**

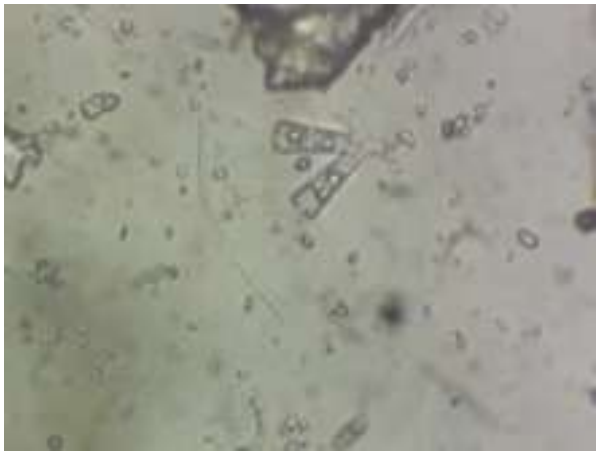
Anexo 7. Géneros encontrados



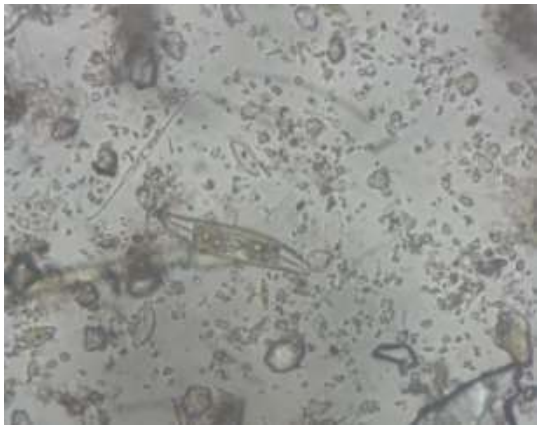
Cymbella



Pinularia



Meridion



Gyrosigma



Cocconeis



Synedra



Rivularia