

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo
Ingeniería de Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación
Diagnóstico de calidad bacteriológica en zonas seleccionadas de los
márgenes del Lago de Yojoa

Estudiante

Jhoanna Lizbeth Manosalvas Paspuel

Asesores

Erika Alejandra Tenorio Moncada, M.Sc.

Lourdes Susana Espinal Cabrera, Ing.

Honduras, agosto 2024

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

VICTORIA CORTÉS MATAMOROS

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Departamento de Ambiente y Desarrollo y AMUPROLAGO, por su valiosa contribución técnica y logística a lo largo de este estudio. Al Laboratorio de Calidad de Agua de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, por su apoyo constante y por facilitarme los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Finalmente, a la empresa de Coca-Cola, con su programa *Campeones* al brindarme el apoyo económico para cursar mi educación universitaria en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.

Contenido

Agradecimientos	3
Índice de Cuadros	6
Índice de Figuras	7
Índice de Anexos	8
Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Metodología	14
Área de Estudio	14
Condiciones del Monitoreo	15
Toma de Muestras	17
Análisis Microbiológico	17
Caracterización de Parámetros Físicoquímicos	18
Análisis de Datos	18
Resultados y Discusión	20
Coliformes Totales en Marzo	20
<i>Escherichia coli</i> en Marzo	21
Coliformes Totales en Junio	22
<i>Escherichi coli</i> en Junio	24
Variabilidad Microbiológica Temporal	25
Nitratos	27
Fosfatos	28
Parámetros Físicoquímicos	29
Análisis de Correlación entre Variables Físicoquímicas y Coliformes	32

	5
Conclusiones	35
Recomendaciones	36
Referencias.....	37
Anexos.....	41

Índice de Cuadros

Cuadro 1	Número de puntos de muestro por cada sector tanto para el mes de marzo y junio	17
Cuadro 2	Métodos analíticos utilizados para la caracterización fisicoquímica	18
Cuadro 3	Resultado de análisis de correlación Rho de Spearman en los cuatro sitios estudiados	34

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de los sitios de muestreo en el Lago de Yojoa	14
Figura 2 Ubicación de los puntos de muestreo en los sitios seleccionados del Lago de Yojoa	16
Figura 3 Distribución de UFC/ 100 ml de Coliformes Totales en el Lago de Yojoa en el mes de marzo	21
Figura 4 Distribución de UFC/100 ml de Escherichia coli en el Lago de Yojoa en el mes de marzo ...	22
Figura 5 Distribución de UFC/100 ml de Coliformes Totales en el Lago de Yojoa en el mes de junio.	23
Figura 6 Distribución de UFC/100 ml de Escherichia coli en el Lago de Yojoa en el mes de junio	24
Figura 7 Concentración media de Coliformes Totales del Lago de Yojoa en los dos meses de muestreo	26
Figura 8 Nitratos de los sitios seleccionados en el Lago de Yojoa en el mes de marzo y junio	28
Figura 9 Fosfatos de los sitios seleccionados en el Lago de Yojoa en el mes de marzo y junio.....	29
Figura 10 Parámetros fisicoquímicos en los sitios de estudio de junio y marzo en el Lago de Yojoa .	31

Índice de Anexos

Anexo A Coordenadas de los puntos de muestreo en el Lago Yojoa por cada zona	41
Anexo B Resultados de nitratos y fosfatos en los meses muestreados.....	42
Anexo C Valores obtenidos de parámetros fisicoquímicos en el mes de marzo	43
Anexo D Valores obtenidos de parámetros fisicoquímicos en el mes de junio.....	44
Anexo E Tablas de correlación de Spearman	45

Resumen

El agua superficial de lagos y ríos, esta bajo presión constante por actividades humanas y aumento poblacional, afectando la salud de los ecosistemas y por ende la del ser humano. El Lago de Yojoa en Honduras es una reserva de agua dulce muy importante, y uno de los lugares más visitado por los turistas, por lo que garantizar la calidad de su agua es de relevancia nacional. El objetivo de este estudio fue realizar un diagnóstico de la calidad microbiológica del agua en cuatro zonas de los márgenes del Lago de Yojoa. Se realizó dos muestreos independientes en el mes de marzo y junio para caracterizar la variabilidad geográfica y temporal de Coliformes Totales y *Escherichia coli* en cada zona. En promedio, se registraron las mayores concentraciones de Coliformes Totales en el mes de marzo y de *Escherichia coli*, en el mes de junio. Se determinó la calidad bacteriológica del agua, encontrando que el 50% de los puntos muestreados tanto en marzo como en junio exceden los límites máximos de 5,000 y 10,000 UFC/100 ml para actividades de uso de agua con fines recreativos de contacto directo e indirecto con las personas. Se identificó una fuerte correlación positiva entre Coliformes Totales y *Escherichia coli* y entre estos indicadores y la turbidez del agua. El diagnóstico revela mayores niveles de contaminación en el mes de marzo bajo condiciones secas en puntos que generan efluentes por actividades antropogénicas. En junio existe mayor riesgo en puntos de ingreso de tributarios que arrastran contaminantes de fuentes tanto puntuales como no puntuales luego de eventos de precipitación.

Palabras clave: Aguas residuales, Coliformes Totales, contaminación, *Escherichia coli*, variabilidad

Abstract

Surface water in lakes and rivers is under constant pressure from human activities and population growth, affecting the health of ecosystems and therefore the health of humans. Lake Yojoa in Honduras is a very important freshwater reserve and one of the most visited places by tourists, so ensuring the quality of its water is of national importance. The objective of this study was to perform a diagnosis of the microbiological quality of water in four areas on the shores of Lake Yojoa. Two independent samplings were carried out in March and June to characterize the geographic and temporal variability of Total Coliforms and *Escherichia coli* in each area. On average, the highest concentrations of Total Coliforms were recorded in March and of *Escherichia coli* in June. The bacteriological quality of the water was determined, finding that 50% of the points sampled in both March and June exceed the maximum limits of 5,000 and 10,000 CFU/100 ml for water use activities for recreational purposes of direct and indirect contact with people. A strong positive correlation was identified between Total Coliforms and *Escherichia coli* and between these indicators and water turbidity. The diagnosis reveals higher levels of contamination in the month of March under dry conditions in points that generate effluents due to anthropogenic activities. In June, there is a greater risk at tributary entry points that carry pollutants from both point and non-point sources after precipitation events.

Keywords: Wastewater, Total Coliforms, contamination, *Escherichia coli*, variability

Introducción

El agua es un recurso que se encuentra bajo presión constante debido al aumento de su contaminación (Leiva C, 2010). El agua superficial es la más vulnerable ante alteraciones en su ciclo hidrológico, pues gran parte de lagos alrededor del mundo ya han experimentado nuevos estados tróficos debido a factores de estrés antropogénicos locales (Fadum y Hall, 2022). El aumento poblacional y su dependencia del recurso hídrico han generado alteraciones en los componentes del sistema lótico, perjudicando la dinámica del flujo y cambios de la heterogeneidad espacial de los cuerpos de agua (Andrade y Machado, 2008). Los diferentes tributarios juegan un rol esencial al regular la composición química del agua, principalmente por la dilución, afectando su calidad, motivo de preocupación a nivel mundial (Rivas et al., 2005). Estos influyen en su rol dentro del ecosistema, pues aporta beneficios ambientales, ecológicos y recreativos tanto a sus pobladores cercanos, como a la fauna y flora endémica del lugar.

Los cuerpos de agua se convierten así en depósitos de desechos, al contener materiales extraños, como productos químicos, residuos industriales o domésticos y microorganismos que alteran sus características naturales (Leyva Castellanos, 2013). La calidad de agua dulce es una de dichas características, esencial para el desarrollo de actividades recreativas y productivas que cada vez se ve más amenazada debido a su alta contaminación (Agudelo C., 2005). La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2024) considera que el agua se contamina cuando su composición se ve alterada o sus condiciones naturales son modificadas por sustancias ajenas, presentando alteraciones físicas como: el color, temperatura, densidad, sólidos suspendidos; y químicas como: sustancias tóxicas y composición (McJunkin, 1988). La contaminación del agua se ha convertido en uno de los mayores problemas de salud pública, pues según Reyes et al. (2016), ya que afecta tanto a poblaciones humanas, animales y al ambiente natural en general, convirtiéndose así en una problemática de tipo sanitario. En el año 2022 al menos 1,700 millones de personas tomaban agua para consumo de fuentes

contaminadas con heces (OMS, 2024), situación que enfrentan poblaciones cerca de lagos y los ríos que desembocan en estos.

Una variedad de vías y fuentes aumentan la presencia de microorganismos patógenos en los cuerpos de agua naturales, en especial por desbordes de alcantarillado, drenaje de aguas pluviales, escorrentías agrícolas y urbanas, fugas de sistemas sépticos y tuberías de alcantarillado. La exposición a estas aguas genera altas tasas de enfermedades gastrointestinales en la población, así como, cólera, amebiasis, hepatitis, fiebre tifoidea, paratifoidea, entre otras (Rojas-Badía et al., 2013). El control y monitoreo de la calidad microbiológica del agua, en especial los análisis dirigidos a identificar la presencia de microorganismos patógenos son fundamental ante dichos riesgos de salud pública.

La calidad microbiológica está ligada la presencia y concentración de diversos microorganismos, incluyendo bacterias, virus, protozoos y otros patógenos que pueden representar riesgos a la salud de los ecosistemas y por ende la del ser humano (Hongjie et al., 2023). Desde el enfoque bacteriológico más del 80% de las bacterias pueden aislarse en agua. Entre ellas, el género *Enterobacteriaceae*, los más importantes dentro de los anaerobios facultativos y su presencia se asocia a contaminación fecal (Apella y Araujo, 2005). De acuerdo con Barrantes et al. (2013), los Coliformes Totales y termotolerantes, *Escherichia coli* y enterococos, son los indicadores de contaminación fecal más utilizados, que a su vez constituye un grupo amplio de diversos géneros y especies. *Escherichia coli* proviene comúnmente de los intestinos de animales y seres humanos, y su presencia en el agua aumenta el riesgo de enfermedades gastrointestinales, como diarreas, vómitos y malestar a quienes la consumen (Fleytas, 2018). Dicha contaminación está directamente relacionada con los vertidos de origen doméstico e industrial, descargas incontroladas de aguas residuales sin o con un tratamiento deficiente (Díaz Delgado et al., 2003).

En Honduras, el Lago de Yojoa es una de la mayor reserva de agua dulce a nivel nacional. Se encuentra ubicado en los departamentos de Comayagua, Cortés y Santa Barbara, con un área total de 79 km² dentro de la cuenca del Lago de Yojoa. La precipitación promedio anual en la zona es de 2,750

mm, con una estación lluviosa de junio a octubre y una estación seca de noviembre a mayo, siendo las más altas en el país. Sin embargo, está sometido a una alta presión de actividades antropogénicas, el aumento poblacional, la intensidad de procesos de producción y conflictos de uso del suelo que alteran las condiciones naturales del lago (Studer, 2007).

Yojoa, es uno de los lugares con mayor afluencia de turismo en Honduras, ofreciendo una diversidad de actividades recreativas como: hotelería, turismo, gastronomía local, recreaciones acuáticas, pesca deportiva, comercial y acuicultura, en las que existe contacto directo e indirecto del agua con miles de personas, por lo que evaluar los riesgos asociados a la calidad microbiológica es prioritario.

Por lo anterior, esta investigación se enfoca en diagnosticar la calidad microbiológica de las aguas superficiales del Lago de Yojoa, por medio de indicadores bacteriológicos (Coliformes Totales y *E.coli*), y otros parámetros ambientales en cuatro sectores representativos del lago. Por ende, el presente estudio tiene como objetivos específicos: determinar la calidad bacteriológica del agua para propósitos recreativos en sitios seleccionados del margen del Lago de Yojoa; describir la variabilidad de indicadores de calidad de agua en dos temporadas en los sitios seleccionados; y explorar si existe una relación entre indicadores de calidad bacteriológica y otros parámetros de calidad del agua.

Metodología

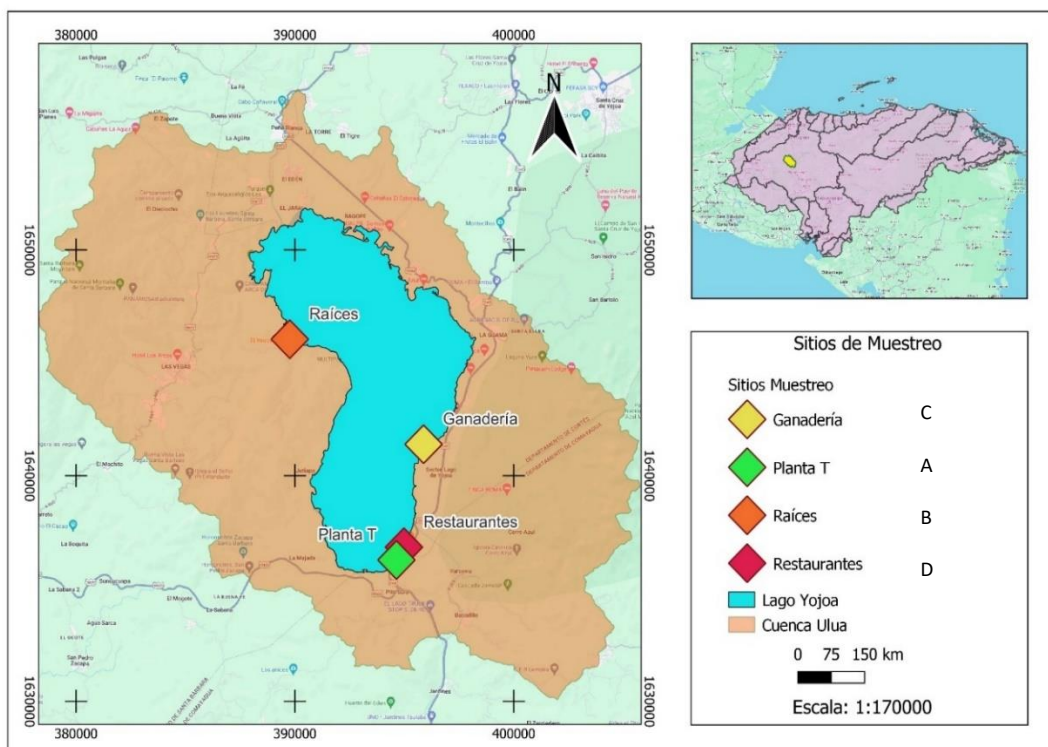
Área de Estudio

El estudio se realizó en el Lago de Yojoa, el cual se encuentra localizado a 650 msnm, entre los departamentos de Comayagua, Cortés y Santa Bárbara, con un clima tropical, una temperatura promedio de 23 °C y precipitaciones que van desde los 2,300 hasta los 3,000 mm/año. Toda la cuenca tiene una extensión de 43,475.77 ha. El Lago de Yojoa tiene una longitud de 16.2 km y 6 km de ancho, dando un área de 79 km². La subcuenca del Lago de Yojoa se ha dividido en 12 microcuencas, de las cuales 10 drenan de forma natural al lago (Studer, 2007).

Para evaluar la calidad bacteriológica en las aguas superficiales del lago, se seleccionó cuatro sectores, considerados como representativos de las actividades que influyen en la acumulación de microorganismos patógenos. Los márgenes cercanos a la planta de tratamiento de aguas domésticas del sector de restaurantes (A), la desembocadura del Río Raíces (B), un área de influencia ganadera (C) y el margen de los restaurantes (D) (Figura 1).

Figura 1

Ubicación de los sitios de muestreo en el Lago de Yojoa



Se seleccionó el punto de descarga del río Raíces al Lago de Yojoa, perteneciente a la microcuenca hidrográfica con mayor población dentro de Las Vegas, Santa Bárbara, con un área de 689.94 ha. El río Raíces según Acosta Rivera (2018), es el principal tributario de la microcuenca El Cianuro, localizada al oeste del lago, en el departamento de Santa Bárbara, este cuerpo de agua recibe vertidos de aguas residuales de la mina “El Mochito” y de vertientes domésticas sin tratar del municipio de Las Vegas.

Otras de las actividades que se desarrolla dentro de la cuenca del lago es la ganadería, ocupando las zonas planas y frecuentemente cercanas a las riberas del lago, en especial dentro de los humedales. Según Reyes Mendoza (2010), en el año 2010 se registraron más de 3,500 cabezas de ganado pastando en los humedales del lago. Se recolectaron muestras en humedales aledaños a esta actividad productiva.

Por otra parte, el turismo es la segunda mayor actividad económica en la parte sureste del lago, pues se han registrado 107 restaurantes, pertenecientes a los departamentos de Comayagua y Cortés. La gran diversidad de actividades recreativas que se desarrollan en el lago da lugar a la visita de miles de turistas en varias épocas del año. Además, un 85% de los restaurantes también son residencias, aportando cantidades significativas de nutrientes al lago, por lo que se ha seleccionado una planta de tratamiento de aguas residuales al muestreo, Playa de Marías, cuyo efluente tratado se vierte al lago (Moncada Rodríguez, 2022).

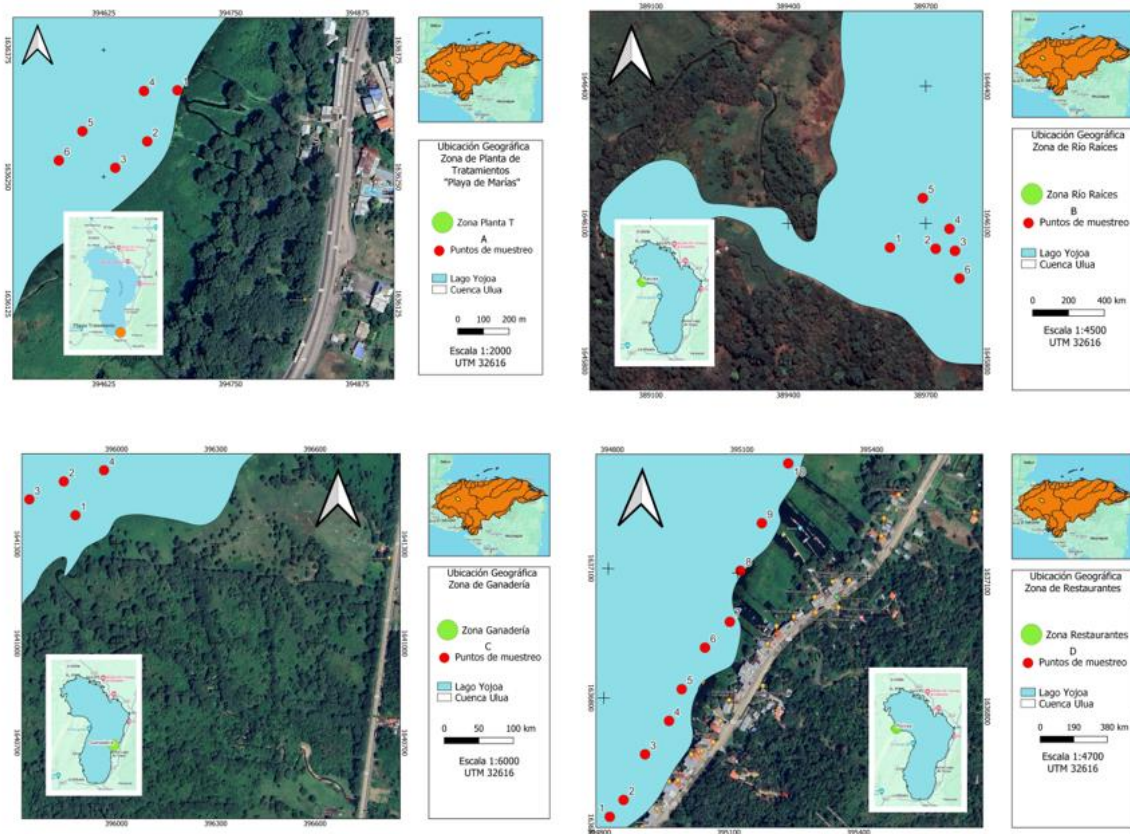
Condiciones del Monitoreo

Se realizaron dos muestreos simples independientes, en cuatro sectores representativos, con más de tres puntos en cada sector de interés. El primero fue realizado en el mes de marzo y el segundo en junio. El horario de muestreo fue de 9:00 a.m. a 12:00 p.m. para las dos estaciones. Se inició el muestreo a partir los 40 - 50 m aproximadamente desde la orilla del lago, los puntos se georreferenciaron con la aplicación UTM Geo Map®, con una selección por conveniencia debido a la

facilidad de acceso, dirección de los vientos y la corriente, presencia de redes de pesca o tomillo acuático (*Hydrilla verticillata*) (Figura 2).

Figura 2

Ubicación de los puntos de muestreo en los sitios seleccionados del Lago de Yojoa



Nota. (A) Planta Tratamiento, (B) Río Raíces, (C) Ganadería y (D) Restaurantes. Las coordenadas de los puntos se describen en el Anexo A.

El número de muestras obtenidas por sitio de estudio fue diferente debido a una elección por conveniencia y accesibilidad (Cuadro 1). El criterio de selección del muestreo en marzo fue debido a que es un mes seco y representa una época de alta actividad turística, mientras que el mes de junio representó a la época lluviosa. Este año, el país experimentó un patrón inusual en el inicio de la temporada de lluvias, con las precipitaciones comenzando a principios de junio en lugar de a comienzos de mayo, como se esperaba. En el muestreo de junio, se conservó el rango de distancia desde la orilla al punto de muestreo que en el mes de abril para el sector A y D, pero no en las mismas coordenadas que se tomaron para el primero, debido a que el nivel del lago disminuyó

significativamente y había mucha presencia de *Hydrilla verticillata*, conocido comúnmente como tomillo de agua del viejo mundo, o pinillo acuático. Esta es una planta acuática con tallos que pueden llegar a 2 m de largo, con tasas altas de crecimiento, alta adaptabilidad ecológica, capacidad de dispersión y bajos recursos requeridos. Esta planta cubrió la mayor parte de los sitios muestreados impidiendo su fácil acceso.

Cuadro 1

Número de puntos de muestro por cada sector tanto para el mes de marzo y junio

Sitios seleccionados	Número de puntos de muestro
A: Río Raíces	6
B: Restaurantes	10
C: Ganadería	4
D: Planta de Tratamientos	6

Nota. El segundo punto en A, no se tomó debido a deslave de tierra que cubrió el lugar en el muestreo de junio.

Toma de Muestras

En cada punto se tomaron muestras de agua en botellas de 100 ml, para análisis de nutrientes y en bolsas esterilizadas marca *Whirlpack*® para análisis bacteriológico. Las muestras para análisis de nutrientes se transportaron en una hielera a una temperatura de 4 °C hasta el laboratorio de Ambiente y Desarrollo de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, mientras que las pruebas bacteriológicas fueron analizadas en las primeras 12 horas siguiendo la metodología estipulada por *Standard Methods for the Examination of Water* (Baird et al., 2017).

Análisis Microbiológico

Para la detección de Coliformes Totales y *Escherichia coli*, se utilizó el método microbiológico de conteo rápido de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) para estimar el número de microorganismos viables en una muestra, utilizando 3M *Petriefilm*™. “Las placas duales 3M™ *Petriefilm*™ para recuento rápido de *E. coli*/Coliformes están diseñadas para brindar resultados rápidos y precisos en un máximo de 18 - 24 horas, a 35 °C para Coliformes Totales y 42 °C para Coliformes Termotolerantes” (Laboratorios 3M, 2024).

Para garantizar el conteo adecuado de las unidades formadoras de colonia durante el primer muestreo se realizaron diluciones con una solución salina tamponada con fosfato (PBS), que asegura que el pH y su osmolaridad sean compatibles con las células y no se alteren durante la preparación de las muestras (Biowest, 2024). Se montó un laboratorio de campo para trabajar las muestras en las primeras 12 horas, luego del muestreo en campo, tal como lo establece el *Standard Methods for the Examination of Water* (Baird et al., 2017).

Caracterización de Parámetros Físicoquímicos

Se registró parámetros en campo como: conductividad eléctrica, temperatura, pH y oxígeno disuelto, mediante una sonda multiparamétrica HYDROLAB HL7®, esta herramienta cuenta con varios sensores que pueden desarrollar técnicas de monitoreo continuo y de perfiles a largo plazo. Además, se determinó fosfatos, nitratos y turbidez en el laboratorio mediante los métodos descritos en el Cuadro 2.

Cuadro 2

Métodos analíticos utilizados para la caracterización físicoquímica

Parámetro	Método
Coliformes Totales y <i>E. coli</i>	3M Petrifilm™
Nitratos	4500 NO3 C. <i>Second-Derivate Ultraviolet Spectrophotometric Method</i>
Fosfatos	4500- P E. <i>Ascorbic Acid Method</i>
pH	<i>Sensor Hydrolab®</i>
Conductividad eléctrica	<i>Sensor Hydrolab®</i>
Turbidez	2130 B. <i>Nephelometric method</i>
Temperatura	2550. B <i>Laboratory and fields method</i>

Nota. Tomado de Baird et al. (2017)

Análisis de Datos

Se representó la variabilidad de los resultados microbiológicos en QGIS® mediante una simbología graduada por gráficos y colores, basado en las UFC de Coliformes Totales/100 ml tanto para el mes seco y lluvioso. Se aplicó una media geométrica para estimar su concentración por sitio y evaluar su concentración con respecto a la normativa de Environmental Protection Agency U.S [EPA]

(2015) para usos recreativos de aguas naturales. Además, se hizo una correlación de Rho de Spearman con programa R® entre los indicadores de calidad bacteriológico y los otros parámetros evaluados.

Resultados y Discusión

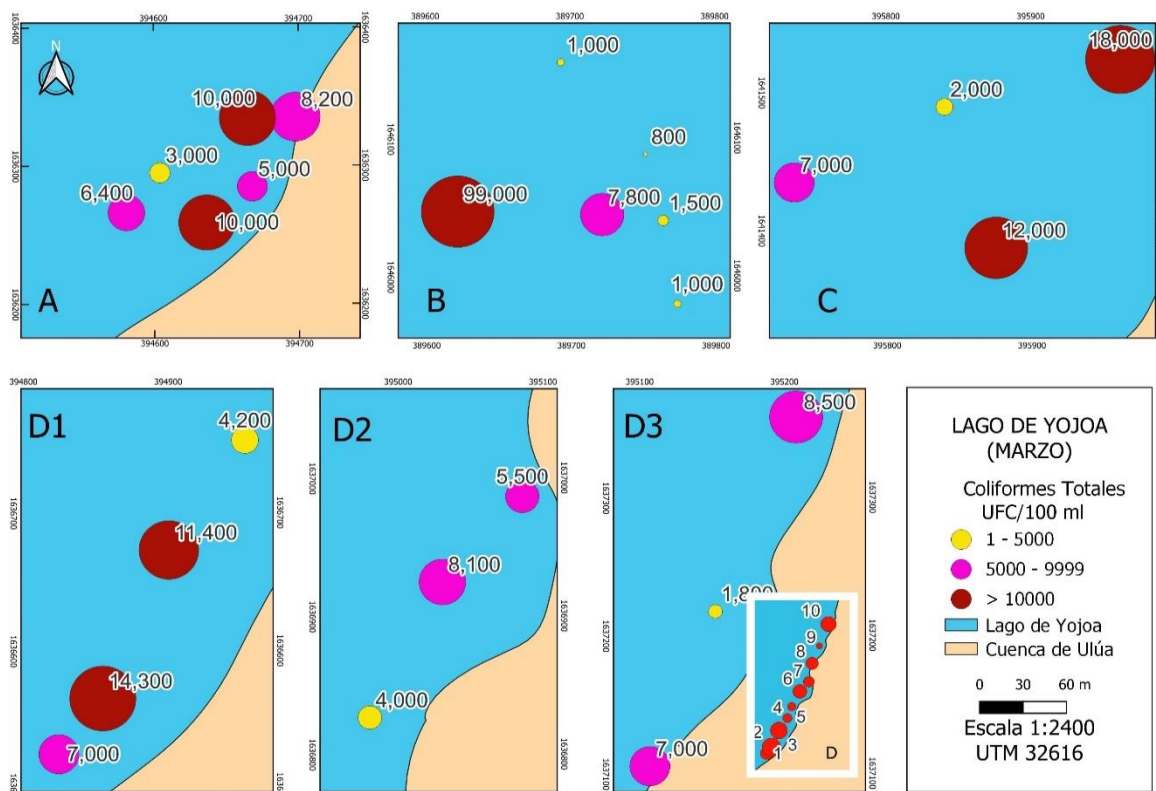
En todos los puntos del muestreo se cuantificó las UFC/ml de Coliformes Totales, pero no en todos se identificó *Escherichia coli*. La presencia de *Escherichia coli* se restringe a contaminación de origen fecal, mientras la presencia de Coliformes Totales es un indicador de contaminación bacteriana (Bautista Olivas et al., 2013).

Coliformes Totales en Marzo

En el monitoreo del mes de marzo, se registró Coliformes Totales en todos los puntos de muestreo, cuyo rango de conteo es de 8 a 960 UFC/ml es decir 800 a 96,000 UFC/100 ml. Por lo que gran parte de los puntos muestreados sobrepasan los límites máximo permisibles, con unidades de 5,000 UFC/100 ml cuando el contacto es directo y 10,000 UFC/100 ml cuando el contacto es indirecto para agua de uso recreativo (EPA, 2015). Un estudio de la calidad microbiológica del agua del lago realizado hace más de una década, determinó que los principales tributarios presentaron alto grado de contaminación, entre ellos río Raíces, realizado con el método Número Más Probable (NMP) equivalente a Unidades Formadoras de Colonia (UFC), pues registraron valores de 2,400 a 92,000 NMP/100 ml de Coliformes Totales y valores en un rango de 0.049×10^4 a 5.4×10^4 NMP/100 ml de *E. coli* (Acosta Rivera, 2018). Los resultados de Acosta Rivera (2018), muestran rangos similares con los resultados obtenidos del Lago de Yojoa, pues el sector A, registra rangos desde 3,000 a 10,000 UFC/100 ml, sobrepasando los niveles establecidos en la norma, lo que hace del lago un lugar inapropiado para actividades de uso recreativo en contacto directo. Lo mismo sucede en los sitios D y C, pues el 90% de los puntos muestreados, sobrepasan los valores establecidos para contacto directo, pero el punto 2 y 3 del sector de restaurantes (D) e 1 y 2 de ganadería (C) superan los 10,000 UFC/100 ml por contacto indirecto. El primer punto del sector B presenta un valor de 99,000 UFC/ml, el cual se encuentra muy por encima de valores registrados en otros puntos, sin embargo, conforme entra al lago esta carga de contaminación baja significativamente por efecto de dilución, por lo que el agua en sus primeros 100 m indican un riesgo para el contacto con personas (Figura 3).

Figura 3

Distribución de UFC/ 100 ml de Coliformes Totales en el Lago de Yojoa en el mes de marzo



Nota. (A) Planta Tratamiento, (B) Río Raíces, (C) Ganadería y (D) Restaurantes, D1 a D3 son segmentos de toda la parte de restaurantes.

Escherichia coli en Marzo

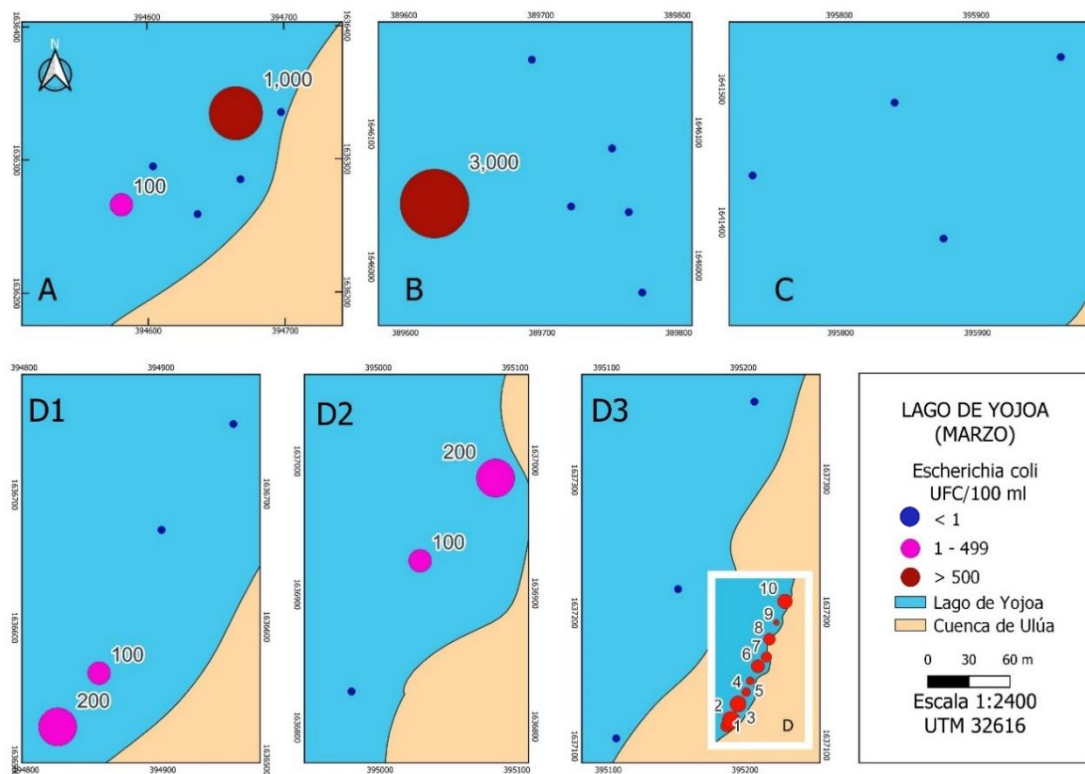
Se registró *Escherichia coli*, en algunos puntos muestreados de los sectores A, B y D, a excepción del sector C, pese a la actividad ganadera que rodeaba la zona, pues de acuerdo con Heras-Sierra et al. (2016), el estiércol del ganado bovino es una buena fuente de microorganismos patógenos como bacterias y otros parásitos. Además, *Escherichia coli* está normalmente en el tracto gastrointestinal del bovino, pero también es un indicador de contaminación fecal.

Se registró 1,000 UFC/100 ml de *Escherichia coli*, y 3,000 UFC/100 ml en los sectores A y B respectivamente, siendo los valores más altos de todos los puntos de muestreo, superando por mucho la normativa para uso de aguas recreativas con un valor máximo permisible de 575 UFC/100 ml (EPA, 2015)(Figura 4). Acosta Rivera (2018), menciona que el río Raíces es el principal tributario de la microcuenca El Cianuro, localizada al oeste del lago, en el departamento de Santa Bárbara, por lo que

recibe vertidos de aguas residuales de la mina El Mochito y de vertientes domésticas sin tratar del municipio de Las Vegas, aumentando la carga bacteriológica al lago.

Figura 4

Distribución de UFC/100 ml de Escherichia coli en el Lago de Yojoa en el mes de marzo



Nota. (A) Planta Tratamiento, (B) Río Raíces, (C) Ganadería y (D) Restaurantes, D1 a D3 son segmentos de toda la parte de restaurantes.

Coliformes Totales en Junio

La temporada de lluvias no comenzó hasta junio, por lo que antes del muestreo, las precipitaciones fueron escasas. Los datos del Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos [CENAOS] (2024) evidenció que hasta mediados del mes de mayo se registraron 1,206 mm de lluvia menos que el año pasado, por lo que la sequía en el sector sureste del lago era evidente.

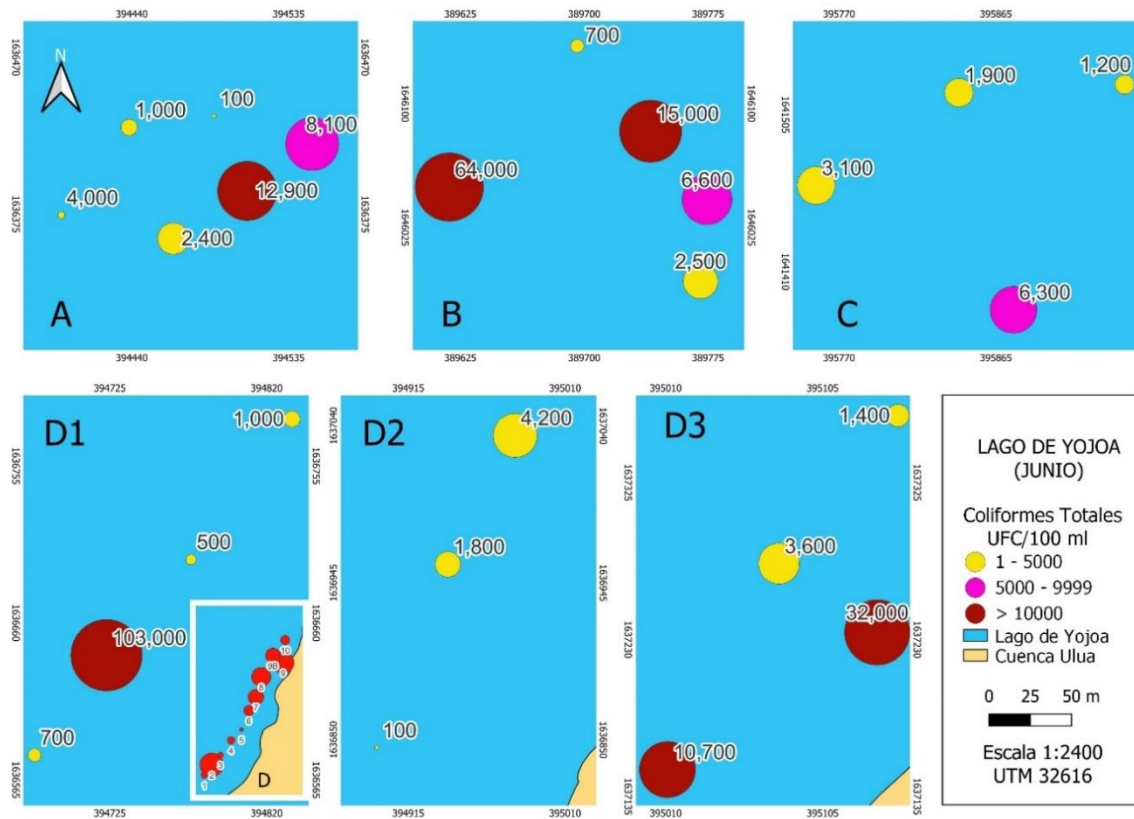
La presencia de Coliformes Totales se registró en todos los puntos muestreados con un rango de 100 a 103,000 UFC/100 ml. Lo anterior indica que algunos puntos sobrepasan el valor máximo permisible para uso de agua en actividades recreativas tanto de contacto directo como indirecto, (4,000 - 5,000 UFC/100 ml y 10,000 UFC/100 ml respectivamente). En el sector A se registraron valores

de 8,100 UFC/100 ml y 12,900 UFC/100 ml, en los puntos cercanos a la fuente de contaminación, superando las dos condiciones establecidas. El sector C, presenta su mayor valor en el primer punto muestreado por lo que, los primeros 50 m no son adecuados para un contacto directo con las personas. Por otro lado, el río Raíces (B) registró valores superiores a los recomendados por la normativa en tres de sus puntos, desde 6,600 a 64,000 UFC/100 ml, pues el río trae consigo una gran cantidad de sedimentos sólidos que contaminan el lago, por lo que en periodos lluviosos su carga tiende a aumentar y no son adecuados para el contacto directo e indirecto del agua con las personas.

Finalmente, el sector D, registra un aumento de Coliformes Totales desde finales del segmento D2 hasta finalizar el tramo que cubre a los restaurantes, por lo que tener contacto directo en esta zona no es recomendable. Además, nuevamente el segundo punto del sector D1 supera los dos rangos que establece la norma, pues se registró 103,000 UFC/100 ml (Figura 5).

Figura 5

Distribución de UFC/100 ml de Coliformes Totales en el Lago de Yojoa en el mes de junio



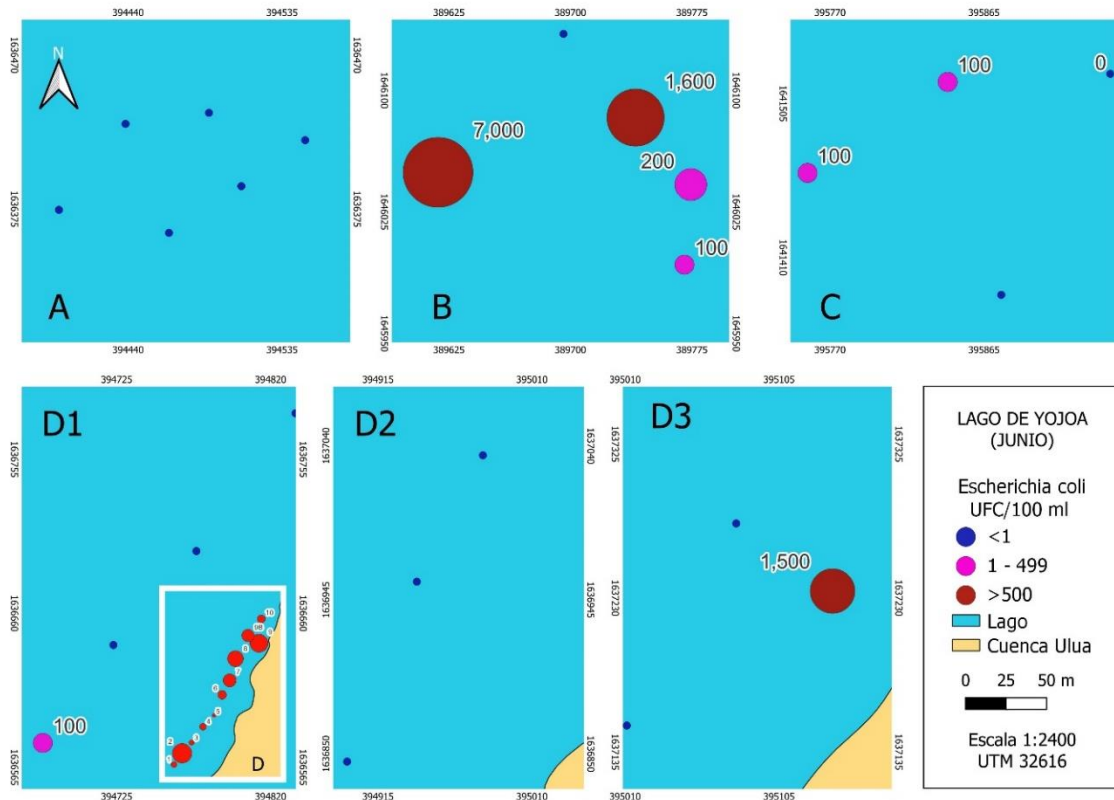
Nota. (A) Planta Tratamiento, (B) Río Raíces, (C) Ganadería y (D) Restaurantes, D1 a D3 son segmentos de toda la parte de restaurantes.

Escherichia coli en Junio

La presencia de *Escherichia coli* en el mes de junio fue mayor que en marzo. Se registró un rango entre 100 a 7,000 UFC/100 ml en el sector B (río Raíces), los primeros puntos sobrepasan la normativa establecida por EPA (2015). Estos resultados se relacionan con la acumulación de basura en la zona, así como la presencia de varias cabezas de ganado en la orilla del lago. Además, se registró 100 UFC/100 ml de *E.coli* en el sector de ganadería, relacionándolo al incremento de ganado bovino y equino que se observó durante el muestreo y el inicio de la temporada lluviosa, pese a ello, los resultados están dentro de los valores de la normativa. Por otra parte, el registro obtenido de restaurantes (D), está fuera de la normativa con 1,500 UFC/100 ml, ya que parte de los restaurantes tienen animales, como gallinas, patos, pavos que defecan en las orillas del lago, arrastrando gran parte a los márgenes del lago (Figura 6).

Figura 6

Distribución de UFC/100 ml de Escherichia coli en el Lago de Yojoa en el mes de junio



Nota: A: Planta Tratamiento, B: Río Raíces, C: Ganadería, D: Restaurantes, D1 a D3 son segmentos de toda la parte de restaurantes.

Variabilidad Microbiológica Temporal

Honduras cuenta con dos estaciones bien marcadas, de junio a noviembre una estación lluviosa y de noviembre a mayo una estación seca. Se notó una diferencia entre las concentraciones medias de cada zona y los meses muestreados. En el sector A, se puede observar que hay un ligero cambio en los rangos de UFC/100 ml de Coliformes Totales, extendiéndose para el mes de junio de 100 UFC/100 ml a 12,900 UFC/100 ml y 3,000 UFC/100 ml a 10,000 UFC/100 ml en marzo, por lo que una media geométrica genera una concentración más representativa, siendo el mes de marzo (6,500 UFC/ml) el que tiene las mayores concentraciones de coliformes, comparado con el mes de junio (1,400 UFC/100 ml).

En el sector B, se presenta un rango de 800 UFC/100 ml a 99,000 UFC/100 ml durante marzo y de 700 UFC/100 ml a 64,000 UFC/100 ml en junio, por ende, su concentración media (6,400 UFC/100 ml) es mucho más elevada en junio, esto puede atribuirse al efecto de las lluvias y al arrastre de sedimentos desde la cuenca alta. En el sector C, se registraron rangos de 2,000 UFC/100 ml a 18,000 UFC/100 ml en marzo y de 1,200 UFC/100 ml a 6,300 UFC/100 ml en junio. La mayor concentración se observó en marzo con una media de 7,400 UFC/100 ml, lo cual supera el valor máximo permisible de 5,000 UFC/100 ml establecido por la normativa para aguas de uso recreativo. En contraste, a pesar de que el número de animales (bovinos y equinos) en el área aumentó de 50 en marzo a 300 en junio aproximadamente, la concentración de Coliformes Totales disminuyó en junio. Esto sugiere que la presencia de animales no es un indicador preciso de la concentración de Coliformes Totales.

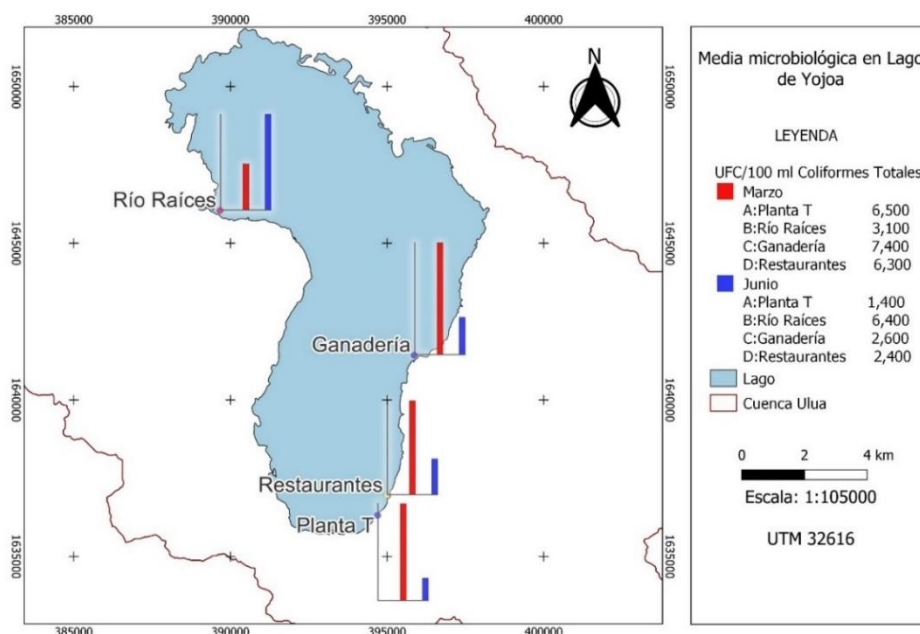
En el sector D, se obtuvo rangos de 1,800 UFC/100 ml a 14,300 UFC/100 ml en marzo y de 100 UFC/100 ml a 103,000 UFC/100 ml en el mes de junio. La mayor concentración se registró así durante el mes de marzo con 6,300 UFC/100 ml (Figura 7). La variación en este sector puede depender del manejo y cuidado del restaurante que precede el área, por lo que los resultados fluctúan mucho de un punto a otro. Las variaciones en la concentración de Coliformes Totales de marzo a junio disminuyen en los sectores A, C y D. Esta reducción puede deberse a las lluvias, que tienden a diluir las concentraciones,

o a las descargas de los restaurantes y la planta de tratamiento. Según Reyes Mendoza (2011), la temporada más alta de visitas turísticas en el lago es durante el verano, por lo que durante el mes de junio dichas visitas son menores. En el sector C, a pesar del aumento de ganado, el nivel de contaminación puede estar relacionado con otros parámetros como la temperatura, el pH y los eventos de lluvia.

Sin embargo, hoy en día la ganadería se ha convertido en un desafío significativo para la gestión de la cuenca, ya que su expansión continua está provocando numerosos problemas ambientales. Reduce el hábitat de la flora, especialmente al ocupar los humedales del lago, contribuye a la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la contaminación del agua. Según Bustillo (2024), muchas personas con título de propiedad no tienen limitaciones claras en cuanto al uso de sus terrenos dentro de los márgenes del lago, lo que ha llevado a la expansión de las áreas de pastoreo y a la ubicación de ganado bovino en zonas sensibles. Mientras que en el sector B, las concentraciones aumentan de marzo a junio, significativamente de 31 UFC/ml a 64 UFC/ml de Coliformes Totales, mes en el que se pudo observar los efectos de las lluvias, como el arrastre de desechos sólidos, deslave de tierra y mayores cargas microbianas (Figura 7).

Figura 7

Concentración media de Coliformes Totales del Lago de Yojoa en los dos meses de muestreo



Nitratos

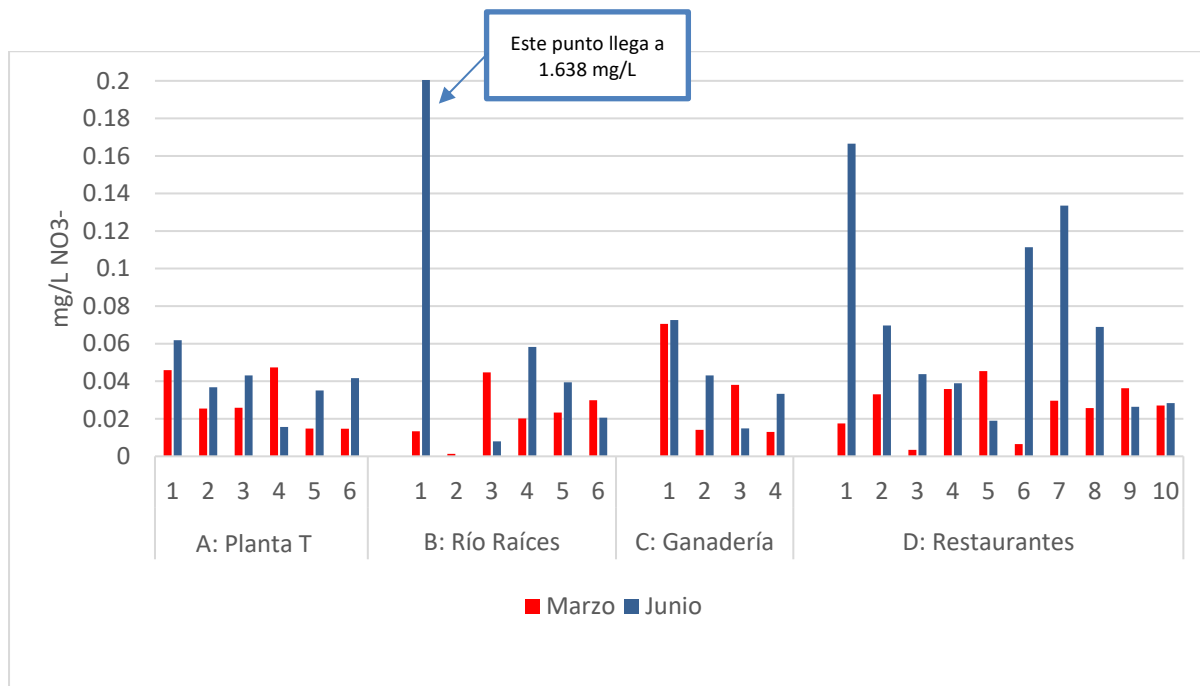
La presencia de nitratos en aguas superficiales es natural debido al ciclo del nitrógeno. Su incremento puede provenir de fuentes naturales o antropogénicas, especialmente por actividades agrícolas y ganaderas (Comisión Nacional de Emergencias [CNE], 2013). El comportamiento de nitratos en el mes de marzo está en rangos de 0.0010 y 0.070 mg/L, por lo que no superan el valor máximo permisible de 50 mg/L, según lo establece la OMS (2024), en aguas superficiales (Figura 8).

Por otra parte, en el mes de junio los valores de nitratos toman valores desde 0.005 y 1.638 mg/L, este último valor representa el primer punto del Río Raíces, por lo que es un indicador del arrastre de nutrientes y sedimentos de la cuenca arriba (Anexo B). De acuerdo con Palomares (2013), los niveles de nitratos aumentan debido a la acumulación de desechos biológicos en sus últimas etapas de estabilización, o escorrentía de campos con fertilización. Solano Peña (2005), menciona que la agricultura es la actividad que emplea la mayor fuente de amonio y nitratos, al estar presentes en los fertilizantes que utilizan. La escorrentía y percolación generan una movilidad fácil en aguas superficiales y eventualmente a aguas subterráneas. Las prácticas ineficientes de fertilización en la agricultura y escaso tratamiento de aguas residuales tienen como consecuencia la introducción de nitratos en fuentes de agua que funciona como nutriente de plantas acuáticas que en exceso puede causar eutrofización (Solano Peña, 2005).

En el sector A, el nivel de nitratos aumentó de marzo a junio en la mayoría de los puntos, aunque no superaron los 0.06 mg/L. En el sector B, hubo un cambio drástico en el primer punto, pasando de 0.013 mg/L en marzo a 1.63 mg/L en junio, debido a la cantidad de sedimentos en la zona. Sin embargo, los otros puntos del sector B no registraron niveles superiores a 0.06 mg/L. En el sector C, el primer punto no mostró una variación significativa, con cambios que no superaron los 0.08 mg/L. Por otro lado, el sector D presentó cambios significativos; en marzo, los valores no excedieron 0.04 mg/L, mientras que en junio alcanzaron hasta 0.16 mg/L (Figura 8).

Figura 8

Nitratos de los sitios seleccionados en el Lago de Yojoa en el mes de marzo y junio



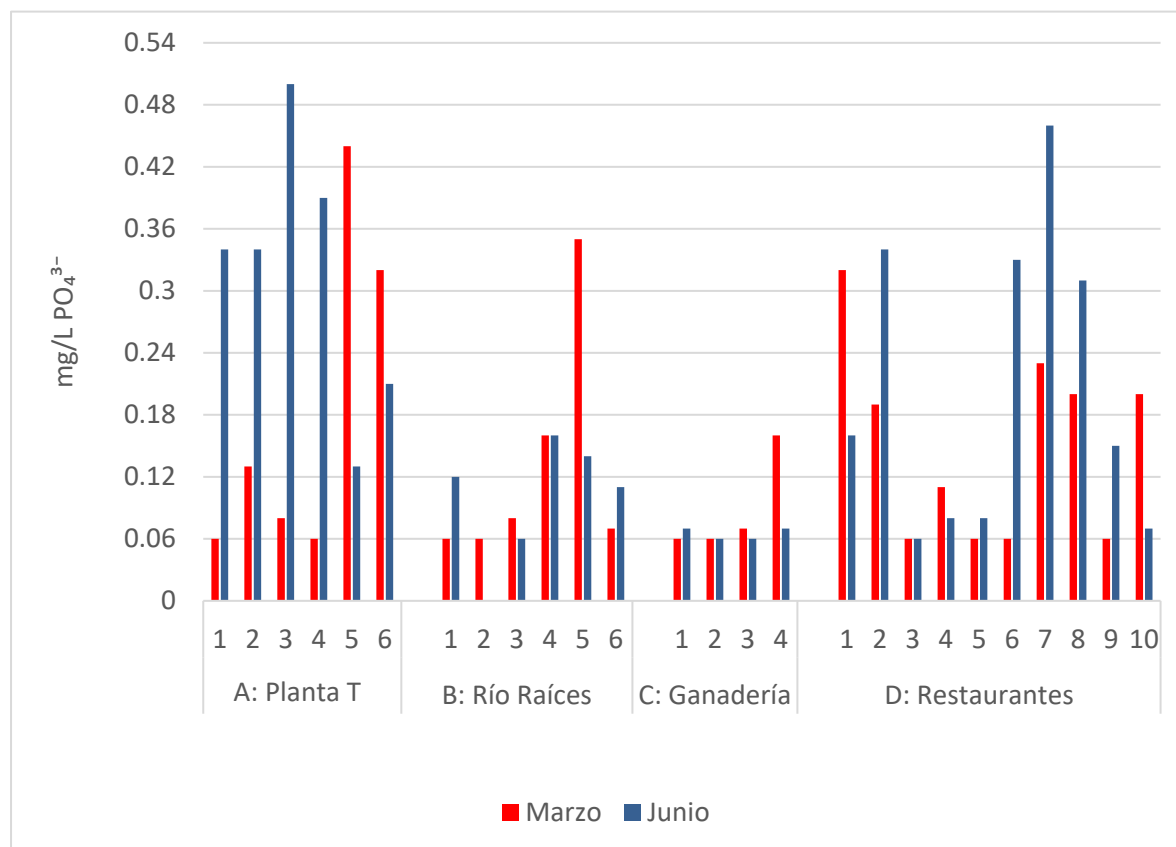
Fosfatos

Los fosfatos son nutrientes esenciales para el crecimiento de plantas y animales acuáticos, pero un exceso puede causar eutrofización y otros problemas ambientales como el crecimiento de algas, la reducción de los niveles de oxígeno disuelto en el agua y por ende la vida acuática. Además, algunos brotes de algas pueden producir toxinas dañinas para la salud humana y su fauna (Hailin Zhang, 2017).

En marzo se registraron niveles de fosfatos que varían desde, menos 0.06 mg/L hasta 0.44 mg/L, mientras que, en junio, los niveles oscilaron entre 0.06 mg/L y 0.50 mg/L (Anexo B). Los valores más altos se encontraron en los puntos cercanos al efluente de la planta de tratamiento (sector A) y en el área de restaurantes (sector B), así como son las zonas de mayor variación entre junio y marzo. Dichos rangos se pueden relacionar con la cantidad de pinillo acuático en estas zonas. Con respecto a la normativa de Environmental Protection Agency US (2013), ninguno de los valores registrados supera los 0.5 mg/L de máximo permitidos para uso de aguas recreativas (Figura 9).

Figura 9

Fosfatos de los sitios seleccionados en el Lago de Yojoa en el mes de marzo y junio



Parámetros Físicoquímicos

Los niveles de pH muestran su mayor variación en A y D, pues registran un rango de 6.68 a 7.89 en el mes de marzo, por lo que registra una media de 7.32 y 7.35 respectivamente, pero en el mes de junio llega a una media de 9.29 y 9.85 (Anexos C y D). Según Dodds y Whiles (2010), un rango ideal para la vida acuática en aguas superficiales de lagos es de 6.5 a 8.5, mayor a este se genera estrés en algunas especies, y valores mayores a 9 son un indicativo de alta alcalinidad, perjudicando procesos biológicos y estrés fisiológico. Un aumento del pH puede estar relacionado a la escorrentía de aguas agrícolas, urbanas y el proceso de eutrofización, pues durante el día el proceso de fotosíntesis puede elevar el pH (Dodds y Whiles, 2010). La alta presencia de *Hydrilla verticillata* que se observó en estas zonas pueden influir en los resultados obtenidos y que a su vez formaban una barrera natural,

atrapando residuos y minerales. Según Inaturals.LU (2022), las tasas de fotosíntesis de *Hydrilla verticillata* conducen al agotamiento del nivel de dióxido de carbono dentro del agua, lo que resulta en un mayor nivel de concentración de oxígeno que eleva el nivel de pH sustancialmente durante el día, mientras que, en la noche, el oxígeno se procesa dando como resultado menores concentraciones que a su vez reducen el nivel de pH.

Se observan valores similares con respecto a la conductividad eléctrica, predominando ligeramente en el mes de marzo en todas las zonas muestreadas y no superan un rango de 100 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De acuerdo con Vilasó Cadre et al. (2017) valores mayores a 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indica la presencia de componentes contaminantes, por el aumento de iones disueltos como sales, ácidos y bases.

Los niveles de oxígeno libre están en un rango promedio de 6.50 a 8.40 mg/L en el mes de marzo, presentando los mayores valores en B y C, pero sus valores disminuyeron para el mes de junio, caso contrario con A y D pues sus valores aumentaron para junio, registrando datos de 9.43 y 13.21 mg/L (Anexos C y D). El nivel de oxígeno libre en lagos es crucial para el desarrollo de la vida acuática y la salud del ecosistema, por ello, de acuerdo con la EPA (2015) concentraciones mayores a 4 mg/L son ideales para mantener la diversidad biológica. Además, Edwards et al. (2024) menciona que la carga de nutrientes y la descomposición de estos disminuyen el oxígeno disuelto, así como otros parámetros importantes como la temperatura y la actividad fotosintética de *Hydrilla verticillata*.

La variabilidad de la temperatura puede estar influenciada por diferentes factores, como la ubicación geográfica, profundidad del lago o estación del año. Las aguas superficiales son más calientes que las profundas, y dependen de las condiciones climáticas, como precipitación y patrones de viento, pues tienden a generar una mezcla (Wetzel, 2001). Los registros de temperatura en junio son mayores levemente a los obtenidos en marzo, con rangos de 29°C a 34°C y 23°C a 29°C respectivamente.

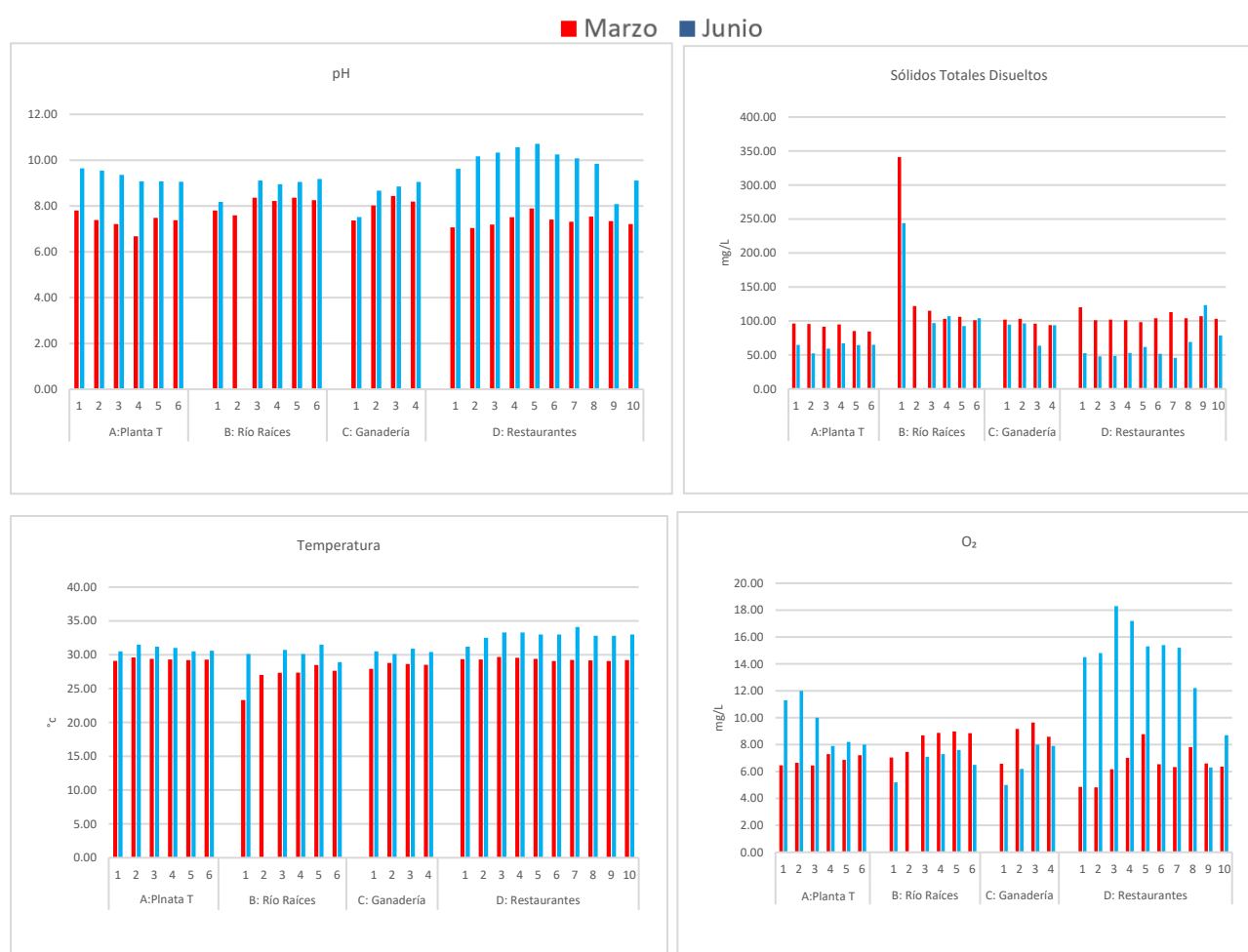
Los sólidos totales disueltos (STD) tienden a ser mayores en el mes de marzo, pues presentan rangos promedio de 91.17 a 131.94 mg/L, disminuyendo a 61.92 y 119.44 mg/L (Anexos C y D). Las

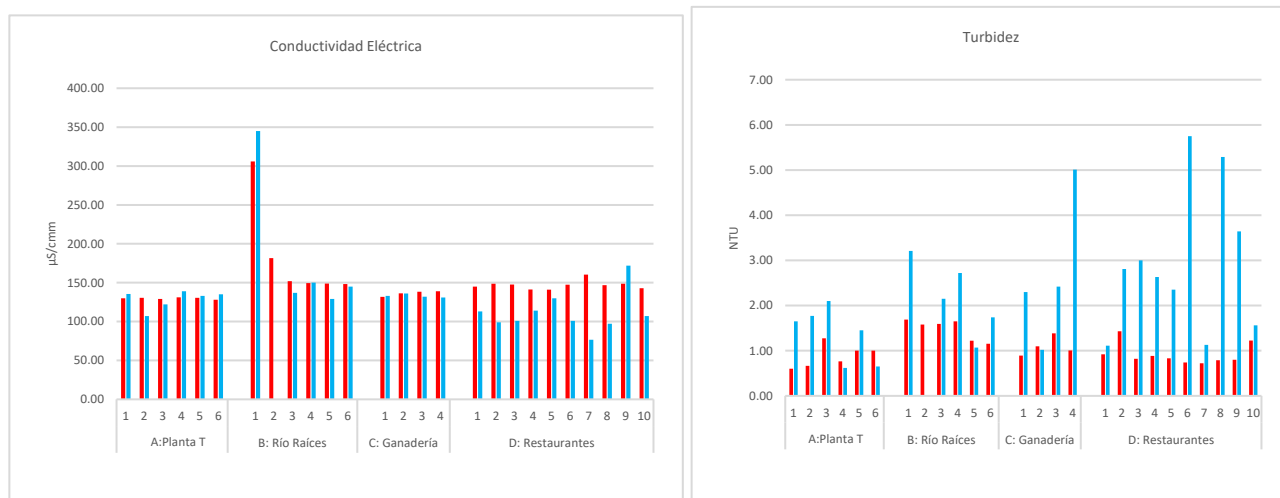
variaciones más representativas se dan en el sector A y D. Los niveles menores a 100 mg/L influyen en la productividad primaria del ecosistema al tener menores concentraciones de materia inorgánica disuelta, afectado en algunas ocasiones por escorrentías y la geología local (Mendes et al., 2019).

La turbidez fue mayor en junio que en el mes de marzo, especialmente en el sector C y D, dos sitios que están en contacto con actividades humanas, como la agricultura, el turismo y pesca. En el sector C, aumentaron las unidades animales en las cercanías del margen el día del muestreo y con mayor cercanía al lago, mientras que las lluvias, arrastraron desechos de las partes traseras de los restaurantes (Figura 10).

Figura 10

Parámetros fisicoquímicos en los sitios de estudio de junio y marzo en el Lago de Yojoa





Análisis de Correlación entre Variables Físicoquímicas y Coliformes

Los valores de la correlación de Spearman, indica la relación de Coliformes Totales con diferentes parámetros de calidad del agua, en los diferentes sectores de estudio (Anexo E). Las correlaciones estadísticamente más significativas se dan en el Río Raíces, pues presentan una fuerte correlación positiva con los niveles de turbidez del agua (0.72), y los sólidos totales disueltos (0.77) (Cuadro 3). Esto explica que el incremento de los valores de dichos parámetros puede contribuir a la proliferación de bacterias, pues los sedimentos y la materia orgánica protegen los microorganismos y crean un ambiente óptimo, así como facilita su transporte a diversos puntos (Marcó et al., 2004).

En el río Raíces, los resultados obtenidos se relacionan estrechamente con las condiciones de entrada del agua al lago. En la cuenca superior, la calidad del agua está significativamente afectada por una serie de actividades antropogénicas, como la agricultura, la minería, el vertido de residuos agroindustriales y el arrastre de sedimentos. Estas condiciones en conjunto no se dan en los otros sitios muestreados, lo que indica que la correlación observada está influenciada por factores adicionales específicos de esta área. Estas influencias fueron claramente evidentes durante el proceso de muestreo, pues se observó arrastre de sedimentos, escombros, residuos sólidos, botellas plásticas y la presencia de animales alimentándose de los residuos. Estos factores también influyen con la alta

correlación positiva observada en la concentración de Coliformes Totales y *Escherichia coli* en este sitio.

Por otra parte, estadísticamente se presenta una correlación negativa fuerte con los niveles de oxígeno tanto en B (-0.76) y D (-0.65). Es decir que, en estas zonas, un posible descenso de oxígeno libre tiende a incrementar la concentración de Coliformes Totales, o viceversa. Los Coliformes Totales que contiene *Escherichia coli*, son aerobios facultativos, por lo que pueden adaptarse tanto a ambientes con oxígeno o sin él, es así que en altos niveles de oxígeno, microorganismos competidores pueden aprovechar mejor las condiciones y disminuir la población de coliformes, así como subsistir cuando los niveles de oxígeno descienden (Swistock, 2023).

Las condiciones ambientales del lugar tienen una influencia más significativa en los resultados observados, pues en el sector de Restaurantes (B), la actividad fotosintética de *Hydrilla verticillata* es el factor predominante que afecta los niveles de oxígeno, esta planta reduce el dióxido de carbono disuelto en el agua lo que resulta en un aumento de la concentración de oxígeno y, por ende, afecta las concentraciones de Coliformes Totales y *Escherichia coli*.

Por otro lado, en el río Raíces, el arrastre y descomposición de sedimentos reducen notablemente los niveles de oxígeno, lo que afecta la calidad del agua y las concentraciones bacteriológicas. Las correlaciones estadísticas observadas entre estos parámetros están más ligados a las condiciones naturales particulares de cada sitio de muestreo.

Cuadro 3

Resultado de análisis de correlación Rho de Spearman en los cuatro sitios estudiados

	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	pH	O ₂	CE	TDS	Turbidez	Temp	Coliformes Totales	E. coli
A: Planta T										
Coliformes Totales	0.28	-0.41	-0.24	-0.15	-0.52	0.23	0.24	-0.26	1	0.31
<i>Escherichia coli</i>	-0.01	-0.32	-0.59	-0.12	-0.10	0.27	-0.11	-0.38	0.31	1
B: Río Raíces										
Coliformes Totales	-0.04	-0.44	-0.35	-0.76	0.69	0.77	0.72	-0.21	1	0.83
<i>Escherichia coli</i>	0.18	-0.17	-0.02	-0.85	0.40	0.46	0.86	0.21	0.83	1
C: Ganadería										
Coliformes Totales	-0.02	0.37	-0.62	0.21	0.45	0.07	-0.60	-0.62	1	-0.38
<i>Escherichia coli</i>	0.00	-0.55	0.50	-0.25	-0.13	-0.25	0.13	0.50	-0.38	1
D: Restaurantes										
Coliformes Totales	-0.24	0.39	-0.54	-0.65	0.37	0.40	-0.06	-0.37	1	0.30
<i>Escherichia coli</i>	-0.31	0.07	-0.43	-0.58	0.56	0.54	-0.20	-0.33	0.30	1

Nota. Conductividad Eléctrica (CE); Sólidos Disueltos Totales (TDS); Oxígeno libre (O₂); Turbidez (NTU); Temperatura (Temp); nitratos (NO₃⁻); fosfatos (PO₄³⁻).

Conclusiones

En los sitios seleccionados del Lago de Yojoa se registró presencia de Coliformes Totales en todos los puntos de muestreo. En marzo, el 65% de las muestras analizadas excedieron la *Normativa para uso de agua con fines recreativos* de contacto directo y el 19% la normativa para contacto indirecto. En junio, el 33% de los análisis excedieron la normativa para uso recreativo de contacto directo y el 22% la de contacto indirecto.

Entre el 26 - 30% de las muestras analizadas tienen presencia de *Escherichia coli* y 11% de estos exceden el valor máximo permitido de 575 UFC/100 ml establecidos por la normativa de EPA (2015), para tener contacto con agua para uso recreativo.

Las concentraciones de Coliformes Totales predominaron en los sectores de la Planta, Restaurantes y Ganadería durante el mes de marzo, disminuyendo en junio. En el sector de río Raíces las concentraciones más bajas de Coliformes Totales se registraron en marzo, aumentando significativamente en junio. Este incremento en el sector del río Raíces se atribuye al arrastre de sedimentos sólidos observados en el margen del lago durante el muestreo. El efecto de las lluvias contribuye a mezclar las masas del agua, pero repercute en el arrastre de suelo y excretas dispersas y acumuladas en el territorio durante la época seca.

La concentración promedio de Coliformes Totales más alta se registró en el sector de Ganadería con 7,400 UFC/100 ml durante el mes de marzo, mientras que, en el mes de junio, Río Raíces registró 6,400 UFC/ml promedio, siendo el valor más alto de esa temporada. Además, pese a que no se registró en todos los puntos *Escherichia coli*, los mayores valores registrados están en los primeros 100 m del Río Raíces, con 7,000 UFC/100 ml en el mes de junio.

Recomendaciones

Realizar un diagnóstico de calidad bacteriológico en los puntos del sector Los Naranjos, uno de los sectores con gran actividad turística de contacto con el recurso hídrico.

Se recomienda aumentar la frecuencia de muestreo para mejorar la precisión del diagnóstico de la calidad del agua. Es crucial realizar un mayor número de muestreos durante las temporadas lluviosa y seca para capturar variaciones estacionales más detalladas.

Además, se sugiere ampliar el estudio a lo largo de todo el margen del lago para identificar y evaluar posibles fuentes de contaminación que puedan no estar actualmente representadas en los sitios muestreados. Esta estrategia permitirá una evaluación más completa de la calidad del agua y facilitará la implementación de medidas efectivas para la gestión y mejora del recurso.

Buscar programas de inversiones de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas, especialmente en la comunidad de Las Vegas, para disminuir la carga bacteriológica durante los arrastres de sedimentos. Así como mejorar el sistema y equipo de la actual Planta de Tratamiento "Playa de Marías".

Se recomienda compartir esta información con las autoridades con la finalidad de que se trabaje en planes de gestión de aguas residuales y otras fuentes de contaminación bacteriológica.

Aumentar un control y monitoreo del área RAMSAR, debido a la invasión de ganado vacuno y equino en los humedales y márgenes cercanos del lago. Así como promover limitaciones sobre propiedades privadas.

Referencias

- Acosta Rivera, K. G. (2018). *Caracterización limnológica y calidad de agua del lago de Yojoa y Calidad del agua procedente del área de drenaje* [Tesis al grado de Máster]. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Nicaragua. <https://repositorio.unan.edu.ni/16490/1/16490.pdf>
- Agudelo C., R. M. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. *Revista Facultad Nacional De Salud Pública*, 23(1), 91–102. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562013000100009#:~:text=Introducci%C3%B3n,La%20contaminaci%C3%B3n%20fecal%20de%20las%20aguas%20superficiales%20es%20un%20problema,par%C3%A1sitos%20%5B1%2D3%5D.
- Andrade, J. y Machado, A. (2008). El control de los ríos y su impacto sobre la Ictiofauna continental: una revisión. *Bol. Acad. C. Fís., Mat. Y Nat*, LXVIV(4), 31–50. https://www.aquatic-experts.com/AQUATIC-EXPERTS%20PDF/Juana%20Andrade/Impacto_del_Control_de_los_Rios.pdf
- Apella, M. C. y Araujo, P. Z. (2005). *Microbiología de agua: Conceptos básicos*. Universidad Nacional de San Martín. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/132795>
- Baird, Rodger y Bridgewater, L. (2017). *Standard methods for examination of water and wastewater* (23rd). American Public Health Association. <https://www.standardmethods.org/>
- Barrantes, K., Chacón, L. M., Solano, M. y Achí, R. (2013). Contaminación fecal del agua superficial de la microcuenca del río Purires, Costa Rica, 2010-2011. *Revista De La Sociedad Venezolana De Microbiología*, 33(1), 40–45. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562013000100009#:~:text=Introducci%C3%B3n,La%20contaminaci%C3%B3n%20fecal%20de%20las%20aguas%20superficiales%20es%20un%20problema,par%C3%A1sitos%20\[1-3\]](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562013000100009#:~:text=Introducci%C3%B3n,La%20contaminaci%C3%B3n%20fecal%20de%20las%20aguas%20superficiales%20es%20un%20problema,par%C3%A1sitos%20[1-3]).
- Bautista Olivas, A. L., Tovar Salinas, J. L., Mancilla Villa, Ó. R., Magdaleno Flores, H., Ramírez Ayala, C., Arteaga Ramírez, R. y Vasquez Peña, M. A. (2013). Calidad microbiológica del agua obtenida por condensación de la atmósfera en Tlaxcala, Hidalgo y Ciudad de México. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 29(2), 167–175. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000200003
- Biowest. (2024, 7 de noviembre). *PBS | Solución salina tamponada con fosfato - Biowest | Your best choice for animal serum*. <https://biowest.net/es/soluciones-salinas/pbs-solucion-salina-tamponada-con-fosfato/>
- Bustillo, Y. (2024, 6 de octubre). Invasiones, deforestación, agricultura y ganado acechan Lago de Yojoa. *El Heraldo*. <https://www.elheraldo.hn/elheraldoplus/investigaciones/lago-yojoa-contaminacion-invasiones-agricultura-honduras-CJ19767252>
- Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos. (2024, 26 de julio). *Precipitación y Temperatura*. Copeco, Honduras. <http://cenaos.copeco.gob.hn/>
- Comisión Nacional de Emergencias. (2013). *Condiciones Socioeconómicas en la Cuenca del Lago Yojoa*. <https://www.cne.go.cr/>
- Díaz Delgado, C., Fall, C., Quentin, E., Jiménez Moleón, M. d. C., Esteller Alberich, M. V., Garrido Hoyos, S. E., López Vázquez, C. M. y García Pulido, D. (2003). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. Ripda - Cytel.

<https://www.virtualpro.co/biblioteca/agua-potable-para-comunidades-rurales-reuso-y-tratamientos-avanzados-de-aguas-residuales-domesticas>

- Dodds, W. K. y Whiles, M. R. (Eds.). (2010). *Freshwater ecology: Concepts and environmental applications of limnology* (2nd ed.). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123747242/freshwater-ecology>
- Edwards, T. M., Puglis, H. J., Kent, D. B., Durán, J. L., Bradshaw, L. M. y Farag, A. M. (2024). Ammonia and aquatic ecosystems - A review of global sources, biogeochemical cycling, and effects on fish. *The Science of the Total Environment*, 907, 167–911. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167911>
- Environmental Protection Agency U.S (Ed.). (2015). *508 EPA Water Quality Standards Handbook Chapter 7 WQS and the Water-Quality-based Approach to Pollution Control*. Government Institutes. <https://www.epa.gov/wqs-tech/what-are-water-quality-standards>
- Environmental Protection Agency US. (2013). *Recreational Water Quality Criteria and Methods | US EPA*. U.S Environmental Protection Agency (EPA). <https://www.epa.gov/wqc/recreational-water-quality-criteria-and-methods>
- Fadum, J. y Hall, E. K. (2022). La interacción de la estructura física y la carga de nutrientes impulsa el cambio de ecosistema en un gran lago tropical durante 40 años. *Authorea Preprints*. Publicación en línea avanzada. <https://doi.org/10.22541/au.164848878.87741167/v1>
- Fleytas, L. (2018, 21 de enero). Aguas contaminadas: Producen diarrea, problemas en la piel y parasitosis - Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social. *La Prensa*. <https://www.mspbs.gov.py/portal/14016/aguas-contaminadas-producen-diarrea-problemas-en-la-piel-y-parasitosis.html>
- Hailin Zhang. (2017). *Phosphorus and Water Quality - Oklahoma State University*. Oklahoma Department of Environmental Quality. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/phosphorus-and-water-quality.html>
- Heras-Sierra, T., Enríquez-Verdugo, I., Gaxiola-Camacho, S., Romo-Rubio, J., Anne-Marie, P. y Barajas-Cruz, R. (2016). Comportamiento de *Escherichia coli* en heces de vacas adicionadas con taninos hidrolizables. *Abanico Veterinario*, 6(3), 47–54. <https://doi.org/10.21929/ABAVET2016.63.4>
- Hongjie, W., Xingchun, L., Yali, W., Shengqi, Z., Guangming, Z., Yangyang, H., Mengxxiang, L. y Ling, L. (2023). Spatial and temporal dynamics of microbial community composition and factors influencing the surface water and sediments of urban rivers. *Journal of Environmental Sciences*, 124, 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.10.016>
- Inaturalists.LU. (2022). *Hydrilla (Hydrilla verticillata)*. <https://inaturalist.lu/taxa/77468-Hydrilla-verticillata>
- Laboratorios 3M. (2024, 7 de marzo). *Placas Petrifilm Rápido Recuento De E. Coli-Coliformes*. <https://blamis.com.co/placas-petrifilm-rapido-recuento-de-e-coli-coliformes>
- Leiva C, A. E. (2010). *Caracterización de calidad de agua en el ciclo de consumo del municipio de Guaimaca, Francisco Morazán, Honduras* [Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras]. bdigital.zamorano.edu.

- Leyva Castellanos, C. I. (2013). *Contaminación del agua por descargas de aguas residuales* [Tesis, Universidad Veracruzana, México]. [cdigital.uv.mx. https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/42348](https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/42348)
- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C. y García, M. d. C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. *Higiene Y Sanidad Ambiental*, 4, 72–82. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)
- McJunkin, F. E. (Ed.). (1988). *Agua y salud humana* (1ª ed.). Editorial Limusa, S. A. de C. V. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/3099>
- Mendes, T. A., Silva, R. F., Nunes, R., Silveira, I., Lima Borba, L., Neves Gitirana, G., Rodriguez Rebolledo, J. F. y Santos Pereira, S. (2019). *Monitoreo de la Calidad del Agua de los Lagos Artificiales y Naturales de los Parques Públicos Urbanos de la Ciudad de Goiânia - GO | Ciência e Natura*. Universidad Federal de Santa María. <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/39232/html>
- Moncada Rodríguez, K. P. (2022, 23 de mayo). *Planta de tratamiento de aguas en Las Vegas, Santa Bárbara*. <https://adh.org.hn/ensayos/planta-de-tratamiento-de-aguas-en-las-vegas-santa-barbara/>
- Organización Mundial de la Salud. (2024, 7 de febrero). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Palomares, A. E. (2013). *Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento*. Institución de Tecnología Química. <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz Lagos, M. y González Jimenez, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D*, 16(2), 66–77. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>
- Reyes Mendoza, A. (2010, 26 de octubre). Ganado está contaminando el Lago de Yojoa. *La Prensa*. <https://www.laprensa.hn/honduras/ganado-esta-contaminando-el-lago-de-yojoa-DGLP479794>
- Reyes Mendoza, A. (2011, 18 de noviembre). Leyendas, una atracción para los turistas en el Lago de Yojoa. *La Prensa*. <https://www.laprensa.hn/honduras/leyendas-una-atraccion-para-los-turistas-en-el-lago-de-yojoa-JClp341549>
- Rivas, Z., Márquez, R., Troncone, F., Sánchez, J., Colina, M. y Hernández, P. (2005). Vista de Contribución de principales ríos tributarios a la contaminación y eutrofización del Lago de Maracaibo. *Ciencia*, 13(1), 68–77. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/ciencia/article/view/9241/9230>
- Rojas-Badía, M. M., Larrea-Murrell, J. A., Romeu-Álvarez, B., Heydrich-Pérez, M. y Rojas-Hernández, N. M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Ciencias Biológicas(CENIC)*, 44(3), 24–34. <https://revista.cnica.cu/index.php/RevBiol/article/view/1014>

- Solano Peña, J. M. (2005). *Determinación de fósforo Total, Nitrógeno y Carbono orgánico en sedimentos del Lago de Tota Boyacá, Colombia* [Tesis de Pregrado]. Universidad de los Andes, Colombia. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/725fa0b7-ba97-49ed-90ec-1c70deef953f/content>
- Studer, E. (2007). *Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos indicadores del estado trófico del Lago de Yojoa, Honduras* [Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Federal de Lausana, Suiza]. infoscience.epfl.ch. <https://infoscience.epfl.ch/record/139166>
- Swistock, B. (2023). *Bacterias Coliformes*. The Pennsylvania State University. <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>
- Vilasó Cadre, J. E., Crombet Grillet, S. y Pérez Pompa, N. (2017). Algunos parámetros químico-físicos de las aguas del “Lago Azul” del poblado “El Cobre”. *Revista Cubana De Química*, 29(3), 456–465. https://www.researchgate.net/publication/320353102_Algunos_parametros_quimico-fisicos_de_las_aguas_del_Lago_Azul_del_poblado_El_Cobre
- Wetzel, R. G. (Ed.). (2001). *Limnology, Lake and River Ecosystems* (3ª ed.). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780127447605/limnology>

Anexos

Anexo A

Coordenadas de los puntos de muestreo en el Lago Yojoa por cada zona

Lugar	Latitude	Longitude	DMS	X	Y
Planta R					
1	14.7991	-87.9785	14° 47' 56.75" N 87° 58' 42.74" W	394697.8	1636335
2	14.79864	-87.9788	14° 47' 55.11" N 87° 58' 43.73" W	394668	1636285
3	14.79841	-87.9791	14° 47' 54.26" N 87° 58' 44.78" W	394636.4	1636259
4	14.79909	-87.9788	14° 47' 56.72" N 87° 58' 43.84" W	394664.8	1636334
5	14.79873	-87.9794	14° 47' 55.43" N 87° 58' 45.87" W	394604.1	1636295
6	14.79847	-87.9796	14° 47' 54.49" N 87° 58' 46.64" W	394580.9	1636266
Restaurantes					
1	14.80082	-87.9774	14° 48' 2.96" N 87° 58' 38.56" W	394823.4	1636525
2	14.80119	-87.9771	14° 48' 4.27" N 87° 58' 37.55" W	394853.9	1636566
3	14.80216	-87.9767	14° 48' 7.77" N 87° 58' 36.02" W	394900	1636673
4	14.80288	-87.9762	14° 48' 10.36" N 87° 58' 34.27" W	394952.9	1636752
5	14.80355	-87.9759	14° 48' 12.79" N 87° 58' 33.38" W	394979.5	1636827
6	14.805	-87.975	14° 48' 18.01" N 87° 58' 29.86" W	395085.5	1636987
7	14.80444	-87.9755	14° 48' 15.98" N 87° 58' 31.71" W	395030.1	1636925
8	14.80608	-87.9748	14° 48' 21.88" N 87° 58' 29.2" W	395105.9	1637106
9	14.80709	-87.9744	14° 48' 25.53" N 87° 58' 27.68" W	395151.6	1637218
10	14.80837	-87.9738	14° 48' 30.11" N 87° 58' 25.82" W	395208	1637358
Raíces					
1	14.88669	-88.0261	14° 53' 12.08" N 88° 1' 34.01" W	389621.9	1646047
2	14.88667	-88.0252	14° 53' 12.01" N 88° 1' 30.67" W	389721.8	1646045
3	14.88663	-88.0248	14° 53' 11.87" N 88° 1' 29.26" W	389763.9	1646040
4	14.88706	-88.0249	14° 53' 13.43" N 88° 1' 29.67" W	389751.9	1646088
5	14.88767	-88.0255	14° 53' 15.6" N 88° 1' 31.63" W	389693.6	1646155
6	14.88608	-88.0247	14° 53' 9.9" N 88° 1' 28.93" W	389773.5	1645980
Ganadería					
1	14.84481	-87.9678	14° 50' 41.32" N 87° 58' 4.07" W	395875.6	1641387
2	14.84574	-87.9681	14° 50' 44.65" N 87° 58' 5.26" W	395840.4	1641489
3	14.84524	-87.9691	14° 50' 42.86" N 87° 58' 8.74" W	395736.3	1641435
4	14.84605	-87.967	14° 50' 45.76" N 87° 58' 1.2" W	395962	1641523

Anexo B

Resultados de nitratos y fosfatos en los meses muestreados

	Fosfatos (mg/L)		Nitratos (mg/L)	
	Marzo	Junio	Marzo	Junio
A: Planta T				
1	< 0.06	0.34	0.04592	0.06180
2	0.13	0.34	0.02545	0.03680
3	0.08	0.50	0.02585	0.04310
4	< 0.06	0.39	0.04733	0.01560
5	0.44	0.13	0.01480	0.03510
6	0.32	0.21	0.01467	0.04170
B: Río Raíces				
1	< 0.06	0.12	0.01331	1.63800
2	< 0.06	-	0.00135	-
3	0.08	<0.06	0.04475	0.00801
4	0.16	0.16	0.02019	0.05829
5	0.35	0.14	0.02334	0.03941
6	0.07	0.11	0.02989	0.02058
C: Ganadería				
1	< 0.06	0.07	0.07056	0.07257
2	< 0.06	<0.06	0.01408	0.04310
3	0.07	<0.06	0.03807	0.01489
4	0.16	0.07	0.01297	0.03329
D: Restaurantes				
1	0.32	0.16	0.01755	0.16656
2	0.19	0.34	0.03301	0.06968
3	< 0.06	< 0.06	0.00347	0.04375
4	0.11	0.08	0.03581	0.03892
5	< 0.06	0.08	0.04539	0.01896
6	< 0.06	0.33	0.00653	0.11135
7	0.23	0.46	0.02959	0.13358
8	0.20	0.31	0.02572	0.06891
9	0.06	0.13	0.03624	0.03824
9.B	-	0.17	-	0.01443
10	0.20	0.07	0.02707	0.02837

Nota. El punto 9B, corresponde al muestreo en el mes de junio, debido a un interés en dicho punto, por la presencia de basura, restos orgánicos y animales domésticos cercano al punto principal 9.

Anexo C

Valores obtenidos de parámetros fisicoquímicos en el mes de marzo

	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)	O ₂ mg/L	Turbidez (NTU)	Temp (°C)
A: Planta R						
1	7.80	130.00	96.30	6.46	0.60	29.1
2	7.39	130.60	95.40	6.65	0.67	29.6
3	7.21	129.00	91.60	6.45	1.28	29.4
4	6.68	131.19	94.80	7.30	0.77	29.3
5	7.48	130.50	85.20	6.87	1.00	29.2
6	7.38	128.00	84.50	7.22	1.00	29.3
B: Río Raíces						
1	7.80	305.80	341.00	7.04	1.69	23.3
2	7.59	181.50	122.00	7.46	1.58	27.0
3	8.36	152.00	115.00	8.69	1.59	27.4
4	8.22	149.50	103.00	8.87	1.65	27.4
5	8.36	148.80	106.00	8.98	1.22	28.5
6	8.25	148.30	101.00	8.85	1.15	27.6
C: Ganadería						
1	7.37	131.70	102.00	6.58	0.89	27.9
2	8.02	136.40	103.00	9.17	1.10	28.8
3	8.44	138.30	96.00	9.64	1.39	28.6
4	8.19	138.90	94.00	8.59	1.01	28.5
D: Restaurantes						
1	7.07	144.90	120.00	4.86	0.92	29.4
2	7.04	148.70	101.00	4.82	1.43	29.3
3	7.19	147.70	102.00	6.17	0.82	29.7
4	7.51	141.20	101.00	7.02	0.89	29.6
5	7.89	141.00	98.30	8.77	0.83	29.4
6	7.41	147.50	104.00	6.54	0.74	29.1
7	7.31	160.40	113.00	6.33	0.72	29.2
8	7.54	146.70	104.00	7.82	0.79	29.2
9	7.34	148.60	107.00	6.6	0.80	29.1
10	7.21	142.80	103.00	6.37	1.22	29.2

Nota. Conductividad Eléctrica (CE); Sólidos Disueltos Totales (TDS); Oxígeno libre (O₂); Turbidez (NTU); Temperatura (Temp).

Anexo D

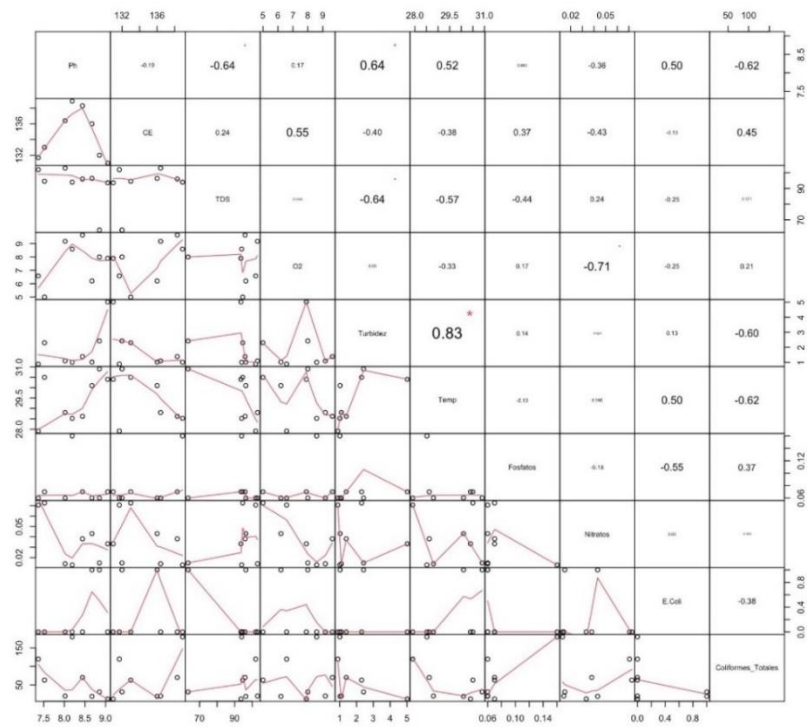
Valores obtenidos de parámetros fisicoquímicos en el mes de junio

	pH	CE (μS/cm)	TDS (mg/L)	O ₂ mg/L	Turbidez (NTU)	Temp (°C)
A: Planta R						
1	9.64	135.00	64.70	11.30	1.65	30.5
2	9.55	107.00	52.40	12.00	1.77	31.5
3	9.36	122.00	59.10	10.00	2.10	31.2
4	9.08	139.00	67.00	7.90	0.62	31.0
5	9.08	133.00	64.60	8.20	1.45	30.5
6	9.06	135.00	65.00	8.00	0.65	30.6
B: Río Raíces						
1	8.18	345.00	244.00	5.20	3.21	30.1
3	9.11	137.00	96.80	7.10	2.15	30.7
4	8.95	150.00	107.00	7.30	2.72	30.1
5	9.05	129.00	92.50	7.60	1.07	31.5
6	9.18	145.00	104.00	6.50	1.74	28.9
C: Ganadería						
1	7.52	133.00	94.60	5.00	2.30	30.5
2	8.67	136.00	96.40	6.20	1.02	30.1
3	8.85	132.00	63.50	8.00	2.42	30.9
4	9.05	131.00	93.60	7.90	5.01	30.4
D: Restaurantes						
1	9.62	113.00	52.60	14.50	1.11	31.2
2	10.17	99.00	48.00	14.80	2.81	32.5
3	10.33	101.00	48.60	18.30	3.00	33.3
4	10.56	114.00	53.10	17.20	2.63	33.3
5	10.71	130.00	61.70	15.30	2.35	33.0
6	10.25	101.00	51.70	15.40	5.75	33.0
7	10.08	76.60	45.60	15.20	1.13	34.1
8	9.84	97.20	69.10	12.20	5.29	32.8
9	7.15	208.00	150.00	2.60	5.56	33.8
9.B	9.02	136.00	96.60	10.00	1.72	31.8
10	9.11	107.00	78.60	8.70	1.56	33.0

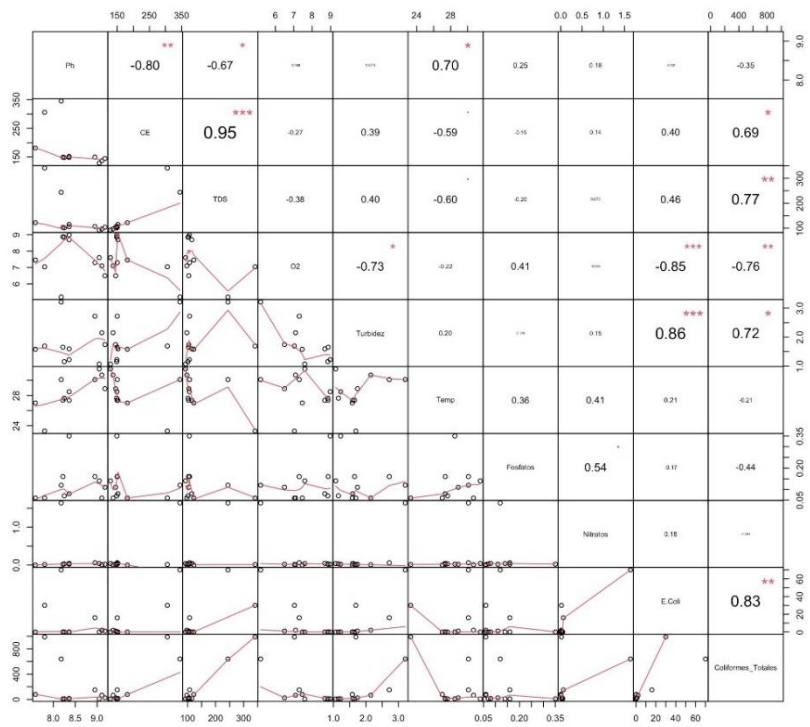
Nota. Conductividad Eléctrica (CE); Sólidos Disueltos Totales (TDS); Oxígeno libre (O₂); Turbidez (NTU); Temperatura (Temp). El punto 9B, corresponde al muestreo en el mes de junio, debido a un interés en dicho punto, por la presencia de basura, restos orgánicos y animales domésticos cercano al punto principal 9.

Anexo E

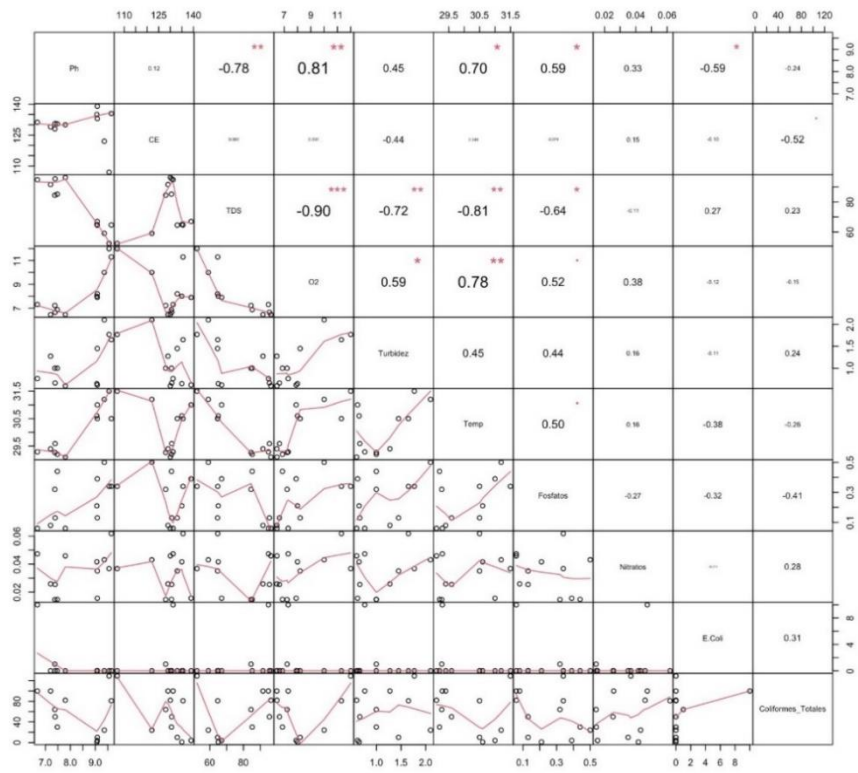
Tablas de correlación de Spearman



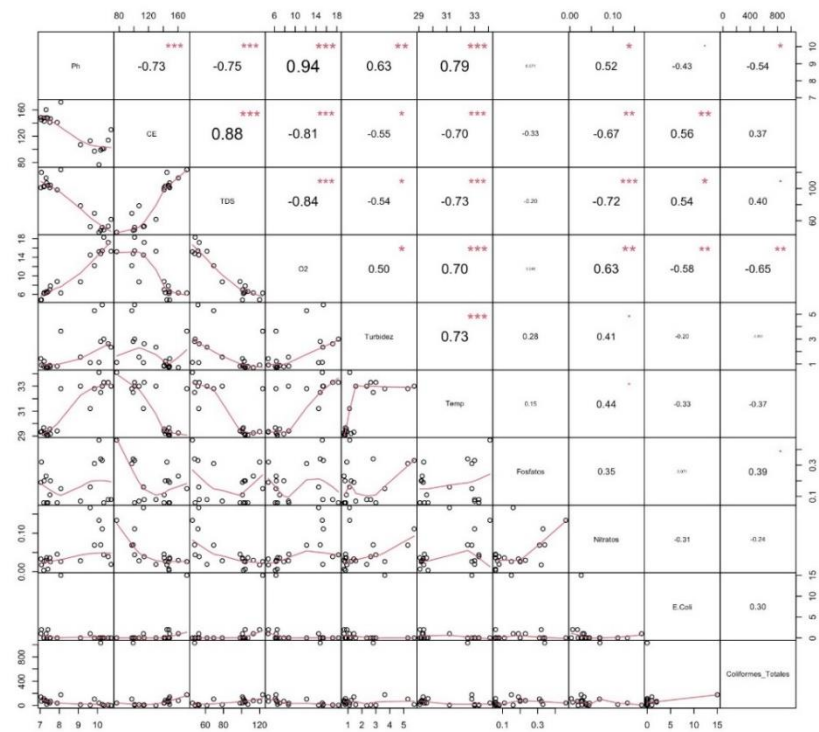
Nota. Planta de Tratamientos



Nota. río Raíces



Nota. Ganadería Restaurantes



Nota. Ganadería Restaurantes