

ANÁLISIS DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO GUACERIQUE, UBICADO EN TEGUCIGALPA, HONDURAS.

Abstract– *The analysis of the water quality index of the Guacerique River in Tegucigalpa, Honduras, aims to identify pollution sources and evaluate water quality through physicochemical and microbiological analyses. Key aspects include sampling procedures, differences between stations, and method validity. Statistical techniques, such as ANOVA, and tools like Microsoft Excel were used for data analysis. The methodology involved a pilot phase and expert triangulation to ensure result accuracy and validity. Sampling procedures were reviewed and validated for effectiveness. Ongoing results will focus on parameters such as pH, temperature, total coliforms, turbidity, nutrients, biochemical oxygen demand (BOD5), and total solids. This research will provide a more comprehensive understanding of the Guacerique River's water quality and valuable insights for environmental management and public health.*

[1]

Keywords: *Water Quality Index, physicochemical analysis, experimental procedure, analysis of variance (ANOVA), scientific validation.*

Resumen– *El análisis del índice de calidad del agua del Río Guacerique en Tegucigalpa, Honduras, busca identificar fuentes de contaminación y evaluar el estado del agua mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Se investigan aspectos clave como los procedimientos de muestreo, diferencias entre estaciones y validez de los métodos aplicados. Se emplearon técnicas estadísticas, como ANOVA, y herramientas como Microsoft Excel para el análisis de datos. La metodología incluyó una fase piloto y la triangulación de expertos para asegurar la precisión y validez de los resultados. Los procedimientos de muestreo fueron revisados y validados para su efectividad. Los resultados, aún en curso, se centran en parámetros como pH, temperatura, coliformes totales, turbidez, nutrientes, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y sólidos totales. Esta investigación aportará una comprensión más completa de la calidad del agua en el Río Guacerique y ofrecerá información valiosa para la gestión ambiental y la salud pública.*

Palabras clave-- *Índice de calidad del agua, análisis fisicoquímicos, procedimiento experimental, análisis de varianza, validación científica*

I. INTRODUCCIÓN

El problema central de este estudio radica en el análisis del deterioro de la calidad del agua del río Guacerique, una fuente importante para el abastecimiento de agua potable en Tegucigalpa, Honduras. La degradación de la calidad del agua es causada por la creciente actividad humana a lo largo de la cuenca, incluida la deforestación, la agricultura intensiva y la urbanización descontrolada. Esta situación es un impacto directo para miles de personas que dependen de este recurso y pone en peligro la salud pública

y la estabilidad del ecosistema local. La falta de un monitoreo riguroso y planes efectivos para reducir la contaminación agrava el problema y dificulta la gestión sostenible del recurso hídrico.

La calidad del agua es un aspecto fundamental para la salud pública y el equilibrio ambiental. En Tegucigalpa, la capital de Honduras, el Río Guacerique desempeña un papel crucial en el abastecimiento de agua potable [1]. Sin embargo, el aumento de la contaminación y la variabilidad en la calidad del agua ha generado preocupaciones sobre la seguridad y sostenibilidad de este recurso vital. Un estudio realizado en el embalse La Concepción encontró problemas similares a los observados en el río Guacerique [2], como altas concentraciones de coliformes fecales y sólidos totales, vinculados al vertido de aguas residuales y la deforestación en la cuenca. Dicho estudio destacó la relevancia de un monitoreo continuo y de metodologías rigurosas para evaluar la calidad del agua. Estas similitudes refuerzan la importancia del uso de herramientas como el análisis de varianza (ANOVA) y el Índice de Calidad del Agua en esta investigación, aportando un enfoque complementario para comprender y abordar la problemática de los recursos hídricos en Honduras.

La calidad del agua es un desafío crítico en Honduras, especialmente en comunidades que dependen de fuentes hídricas naturales, como ríos, para su abastecimiento. La contaminación de estos cuerpos de agua, a menudo provocada por el vertido de desechos industriales y agrícolas, afecta directamente la potabilidad del agua que consumen las poblaciones. Esto se traduce en un riesgo significativo para la salud pública, ya que el acceso a agua limpia y segura es fundamental para prevenir enfermedades transmitidas por el agua. La evaluación continua de la calidad del agua en ríos que abastecen un porcentaje considerable del suministro potable, como es el caso de aquellos que proveen hasta el 30% del agua consumida en ciertas regiones, es esencial para implementar medidas de mitigación y garantizar que las comunidades tengan acceso a un recurso hídrico seguro y sostenible [3].

La crisis medioambiental en Honduras se ve reflejada en la alarmante contaminación de sus cuerpos hídricos, como lo demuestra un estudio sobre la contaminación del Río Choluteca [4]. Este estudio reveló que la calidad del agua es marginal o pobre para el consumo humano, con concentraciones de contaminantes como aluminio, arsénico y coliformes, principalmente debido a fuentes de contaminación antrópica. Este deterioro del agua compromete tanto la vida acuática como la salud pública,

intensificando la necesidad de restauración y control en estas cuencas.

En un estudio anterior sobre el embalse Los Laureles, que forma parte de la subcuenca del río Guacerique, se resaltaba cómo la calidad del agua ha sido un problema persistente. Diversos parámetros como los coliformes totales, metales pesados (arsénico, cadmio), y la turbidez superan en múltiples ocasiones las normativas de calidad establecidas por Honduras, lo que evidencia una constante degradación del recurso hídrico. Estos problemas, asociados principalmente a fuentes de contaminación antrópicas, sugieren que el agua solo puede ser utilizada tras un tratamiento químico riguroso [5].

El estudio "Quality Evaluation of Honduran Bottled Water for Human Consumption through Experimental Design" destaca problemas similares relacionados con la calidad del agua embotellada en Tegucigalpa. Este análisis identificó variaciones significativas en parámetros como sólidos disueltos totales (TDS) y coliformes totales entre diferentes marcas, utilizando herramientas como ANOVA y análisis de correlación. Aunque algunas marcas cumplen con ciertos estándares, otras presentan niveles elevados de contaminantes, subrayando la importancia de investigaciones continuas y normativas estrictas para garantizar la seguridad del agua consumida [6]. Estos hallazgos resaltan la relevancia de aplicar metodologías similares para evaluar y garantizar la calidad del agua en cuerpos hídricos como el río Guacerique.

La contaminación de los cuerpos hídricos no es un problema aislado en Honduras, sino que se presenta como un fenómeno alarmante en toda la región de América Central. Un estudio realizado en la cuenca del río Choluteca [7] evidenció que diversas fuentes de contaminación, asociadas principalmente con prácticas agrícolas intensivas, afectaban la calidad del agua en ríos, pozos y lagunas. Los residuos detectados en estas fuentes hídricas indican una degradación significativa del recurso, que se ve exacerbada por la falta de tratamiento adecuado y la gestión ineficiente de los desechos. Este patrón de degradación reflejó una crisis más amplia en la gestión de los recursos hídricos en la región, donde incluso las áreas con prácticas agrícolas tradicionales presentaban niveles de contaminación que no podían ser ignorados. Es fundamental implementar un monitoreo continuo y desarrollar políticas efectivas para abordar esta problemática y proteger la salud ambiental y pública en toda la región.

En los cuerpos de agua, a nivel regional, la acumulación de contaminantes y las alteraciones en los parámetros físico-químicos del agua reflejaban el impacto de la descarga de aguas residuales sin tratar y los residuos provenientes de la agricultura y la industria. Estas prácticas contribuyen a la degradación de la calidad del agua, comprometiendo la seguridad del agua potable y, en consecuencia, la salud pública [8]. Para abordar esta problemática, es esencial implementar un monitoreo continuo de la calidad del agua del río y desarrollar políticas efectivas de gestión y conservación que mitiguen estos impactos negativos y

garanticen la sostenibilidad del recurso hídrico en la región.

La calidad del agua es un determinante crítico para la salud pública y la estabilidad ecológica de cualquier región, y estos factores se manifiestan en la acumulación de contaminantes, alteraciones en los parámetros físico-químicos del agua y la afectación de la biodiversidad acuática. La descarga de aguas residuales sin tratar y los residuos provenientes de la agricultura y la industria contribuyen a la degradación de la calidad del agua, comprometiendo la seguridad del agua potable y la salud pública [9]. En este contexto, la evaluación continua de la calidad del agua se torna esencial para asegurar el cumplimiento de los estándares de seguridad. Este proceso permite no solo identificar y cuantificar los contaminantes presentes, sino también implementar estrategias efectivas de gestión y conservación que mitiguen estos impactos negativos y garanticen la sostenibilidad del recurso hídrico.

La calidad del agua no solo influye en la salud pública, sino que también es un indicador esencial de la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos. Un estudio [10] sobre la calidad del agua en el río Bermejo evidencia cómo la identificación de focos de contaminación en áreas urbanas y desembocaduras puede facilitar la implementación de tratamientos adecuados para transformar el río en una fuente viable de agua potable para la región. Este tipo de investigación es crucial para la toma de decisiones informadas en la planificación y gestión de recursos hídricos, ya que permite evaluar la viabilidad de medidas específicas para garantizar la potabilidad del agua extraída. Además, el constante monitoreo de la calidad del agua es fundamental para prevenir la degradación de los recursos hídricos y proteger la salud pública, alineándose así con la necesidad de cumplir con los estándares de seguridad establecidos.

El objetivo de esta investigación fue emplear el Diseño de Experimentos para una evaluación exhaustiva del estado del agua en el río Guacerique. Se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para identificar patrones y diferencias significativas en los datos recopilados y el Índice de Calidad del Agua (ICA) se utilizó para proporcionar una visión integral de la calidad del agua. Adicionalmente, se implementó la triangulación para validar los resultados obtenidos, asegurando así la precisión y fiabilidad del estudio. Las pruebas fueron muestreadas en cuatro estaciones a lo largo del Río Guacerique, evaluando parámetros físicoquímicos como pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, sólidos disueltos y coliformes fecales, además de realizar análisis microbiológicos de coliformes totales y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5). Este enfoque analítico es similar al utilizado en estudios anteriores en Honduras, donde se investigó la calidad bacteriológica del agua embotellada, evidenciando la importancia de aplicar métodos rigurosos para garantizar la potabilidad del agua [11].

II. METODOLOGÍA

A. Enfoque y Alcance

La metodología cuantitativa utilizada en el análisis de la calidad del agua en la subcuenca del río Guacerique se basa en la recolección y medición de datos exactos sobre parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. A través de herramientas como el análisis de varianza (ANOVA) y pruebas T en Minitab, se evalúan parámetros como pH, oxígeno disuelto, turbidez, coliformes fecales, DBO5, fósforo total, entre otros. Esto permite determinar si los valores obtenidos exceden los límites normativos para agua potable y aguas residuales. [12]

El enfoque estadístico garantiza la precisión de los resultados y su validez científica. La toma de muestras, realizada en distintas estaciones y horarios, asegura que los datos recolectados reflejan fielmente las condiciones del río en diferentes momentos. De esta manera, la metodología cuantitativa facilita

conclusiones sólidas y recomendaciones basadas en evidencia sobre la calidad del agua y sus posibles fuentes de contaminación.

El alcance de la presente investigación se toma como experimental. En la investigación experimental, se identifican dos contextos principales en los que se puede aplicar un diseño experimental: el laboratorio y el campo. Estos diseños se fundamentan en hipótesis establecidas previamente y utilizan un enfoque cuantitativo para medir variables específicas.

B. Variables de investigación:

1) Variables Independientes:

- i. Potencial de hidrogeno (PH)
- ii. Solidos Disueltos
- iii. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)
- iv. Temperatura



- v. Coliformes Totales
- vi. Fosforo
- vii. Nitratos

2) Variables Dependientes

- i. Calidad del agua

C. Técnicas e Instrumentos

1) Técnicas:

- i. ANOVA: esta técnica estadística se utilizó para analizar diferencias encontradas entre los grupos de datos recogidos entre los cuatros puntos de muestreo a lo largo del Rio Guacerique.
- ii. Laboratorio Químico UNITEC: Se realizó un análisis de los parámetros fisicoquímicos tales como turbidez y solidos disueltos encontrado en las muestras recolectadas en las cuatro estaciones
- viii. Laboratorio Químico Industrial: son responsables realizar análisis detallados de las muestras de agua. Utilizan técnicas avanzadas de análisis químico y microbiológico para medir parámetros como; demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos y nutrientes. Los laboratorios están equipados con tecnología de última generación que garantiza la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos.
- iii. Microsoft Excel: esta herramienta se utilizó para la organización y análisis de datos ya que esta es efectiva para el cálculo de estadística descriptiva, y la visualización de resultados mediante tablas y graficas.

D. Población y muest

1) Población: La población se delimito a cuatro estaciones de muestreo seleccionadas a lo largo del Rio Guacerique, elegidas por su accesibilidad y proximidad a fuentes de contaminación, a continuación se presentan las coordenadas:

- i. Estación: 14.077789, -87.320568 Mateo, Francisco Morazán
- ii. Estación: 14.071906, -87.290373 Ciudad Mateo, Francisco Morazán
- iii. Estación: 14.070480670823681, -87.28039396981512 Villa Montecarlo, Francisco Morazán
- iv. Estación: 14.067882505892424, -87.26162488115567 blvd. Anillo Periférico, Tegucigalpa.

Figura 1 Estaciones de Muestreo

2) Muestreo:

Para esta investigación se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, dado que este tipo de muestreo permite una selección de eventos ya sea por la facilidad de acceso o proximidad de una estación a otra [13]. A lo largo del Rio Guacerique se eligieron cuatro estaciones cercanas a rutas convenientes por el acceso y

también por los contaminantes cercanos debido a las actividades humanas que se llevan a cabo alrededor del río.

3) *Muestra:*

La muestra para la investigación sobre el índice de calidad del agua del Río Guacerique fueron 4 estaciones como puntos principales y 16 muestras por cada estación esto se convierte en un total de 64 muestras a recolectar.

i. Muestra en relación al número de estaciones:

Las cuatro estaciones seleccionadas para la investigación, escogidas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, estas fueron escogidas para poder crear un análisis sobre la trayectoria hacia la ciudad comenzando con el punto menos poblado y finalizando con el punto ubicado cerca al anillo periférico, punto más cercano al ingreso de Tegucigalpa, Francisco Morazán.

Estación #1: 14°04'42.0"N 87°19'13.0"W, Mateo, Francisco Morazán

Estación #2: 14°04'21.3"N 87°17'26.5"W, Ciudad Mateo, Francisco Morazán

Estación #3: 14°04'13.8"N 87°16'52.6"W, Villa Montecarlo, Francisco Morazán

Estación #4: 14°04'04.6"N 87°15'41.9"W, Blvd. Anillo Periférico, Tegucigalpa

ii. Muestra en relación al número total tomas por estación

La cantidad de muestras totales a fueron de 64 muestras, en la tabla siguiente se muestra la manera en la que las 64 muestras fueron divididas:

Figura 2 Tipos de Muestras por Estación

Se recolectaron un total de 64 muestras de agua, cada una en envases de 1 litro. En cada estación de muestreo se obtuvieron 16 muestras. De estas, 8 se enviaron a un laboratorio externo de carácter municipal para evaluar los niveles de fósforo y nitratos; además, una de estas muestras se colocó en un envase estéril para el análisis de coliformes fecales. Otras 4 muestras fueron remitidas a un laboratorio privado para medir la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5). Las 4 muestras restantes se analizaron en el laboratorio de química de UNITEC.

Las muestras fueron transportadas en hieleras para mantener la integridad de estas durante el traslado al laboratorio. Este método de transporte garantizó que las condiciones de las muestras se conservaran para un análisis preciso y fiable de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de la calidad del agua en las diferentes estaciones del río Guacerique.

III RESULTADOS

A. *Resultado del primer objetivo: recolección de las*

muestras en cuatro estaciones

Antes de la recolección final, se realizó un pilotaje para optimizar las técnicas de muestreo y minimizar la posibilidad de contaminación. Este pilotaje incluyó un lavado triple de los recipientes para asegurar que las muestras reflejaran fielmente las condiciones del agua del río. Durante el pilotaje, se evaluaron las técnicas de medición in-situ para parámetros como pH y temperatura, utilizando un pH-metro y un oxímetro calibrado, respectivamente. Para evitar alteraciones en el oxígeno disuelto, se implementaron procedimientos precisos durante la recolección de muestras de DBO5, asegurando que las burbujas no afectaran los resultados.

En la recolección final, se aplicaron las técnicas optimizadas del pilotaje. Los recipientes fueron lavados a fondo antes de cada uso, exceptuando los envases esterilizados para coliformes totales. La recolección de muestras para DBO5 se llevó a cabo en áreas con corriente mínima, y los envases se llenaron bajo el agua para evitar burbujas. Para la medición de pH y temperatura in-situ, se utilizó un pH-metro y una sonda de temperatura, respectivamente, y las muestras fueron transportadas en hieleras para mantener sus condiciones originales.

NO. DE ESTACION	TIPO DE MUESTRA			
	1L Análisis en Laboratorio de UNITEC	1L Análisis en laboratorio externo de carácter municipal	1L Análisis en laboratorio externo de carácter municipal (frascos estériles)	1L Análisis de laboratorio externo privado
#1	4	4	4	4
#2	4	4	4	4
#3	4	4	4	4
#4	4	4	4	4

1. Toma de Muestras Ph

TABLA I RESULTADOS PH

PH			
ESTACION # 1	ESTACION # 2	ESTACION # 3	ESTACION # 4
7.1	7.75	7.34	7.88
7.05	7.6	7.35	7.92
7.05	7.75	7.3	7.8
7.15	7.75	7.35	7.85

Como se puede observar en la tabla 1 de arriba las estaciones #2 y #4 tienen los valores de pH más altos, estos valores se encuentran principalmente en el rango alcalino. Esto podría ser una indicación de la acción humana, como la presencia de materiales alcalinos cerca o incluso factores naturales que elevan el pH, como la presencia de ciertos tipos de rocas o suelos, silicatos, carbonatos y sales que liberan compuestos alcalinos al agua. La "Agencia de Protección ambiental" establece un rango ideal entre 6.5 y 8.5, y los valores de los resultados de laboratorio muestran que siguen estando dentro del rango permisible de pH. Esto para ayudar a mantener un entorno saludable para la vida acuática.

2. Toma de Muestras Temperatura

TABLA II TEMPERATURA

TEMPERATURA			
ESTACIÓN #1	ESTACIÓN #2	ESTACIÓN #3	ESTACIÓN #4
20.55	22.12	24.54	22.7
21.1	22.3	24.51	22.55
20.5	21.55	23.72	23.06
20.55	22.1	24.63	23.1

Como se observa en la Tabla II, las temperaturas obtenidas en las cuatro estaciones a lo largo del río Guacerique presentan variaciones relacionadas con su proximidad a zonas urbanas, la cobertura vegetal y las horas de muestreo. La primera estación, tomada a las 9:30 a.m., muestra las temperaturas más bajas, posiblemente debido a una mayor cobertura vegetal en sus alrededores. En contraste, la segunda estación, expuesta al sol y con menor cobertura vegetal, presenta las temperaturas más altas. Las estaciones #3 y #4, expuestas a mayor radiación solar y con tiempos de muestreo posteriores, también reflejan temperaturas más elevadas.

3. Toma de Muestras Oxígeno Disuelto

TABLA III OXÍGENO DISUELTO

OXIGENO DISUELTO			
ESTACION # 1	ESTACION # 2	ESTACION # 3	ESTACION # 4
1.65	1.58	2.03	2.47
1.68	1.54	2.03	2.49
1.62	1.55	2.1	2.43
1.61	1.55	2.06	2.46

Los hallazgos muestran que las estaciones número uno y dos tienen los niveles más bajos de oxígeno disuelto, lo que

podría indicar una alta carga de materia orgánica en descomposición o contaminación que consume oxígeno. Se pueden observar niveles más altos en los resultados de la estación número tres en comparación con los niveles anteriormente mencionados, pero esto no implica que sean los niveles ideales. En la última estación, conocida como "estación número cuatro", hay niveles

más altos de oxígeno disuelto, lo que podría indicar que, en comparación con las primeras tres estaciones, tiene una carga de materia orgánica menor.

4. Toma de Muestras Turbidez

TABLA IV TURBIDEZ

TURBIDEZ			
ESTACION #1	ESTACION #2	ESTACION #3	ESTACION #4
26	24	21	22
27	23	21	22
25	22	21	22
26	24	22	21

Como se muestra en la tabla anterior, la estación número uno tiene los niveles más altos de turbiedad. Esto se debe a la mayor presencia de partículas suspendidas en el agua en este momento, que podría estar relacionada con la intensa actividad humana que ocurrió allí. Después, los niveles en la estación dos son ligeramente menores a los de la primera, lo que indica que la presencia de sedimentos y contaminación no es tan intensa como en la primera. Las dos últimas estaciones tienen niveles más bajos que las anteriores, lo que se debe a su ubicación geográfica en áreas menos pobladas.

5. Toma de Muestras DBO5

TABLA V DBO5

DBO5			
Estación #1	Estación #2	Estación #3	Estación #4
10.1	1	1	2
8.1	1	2	2
1.6	2	1	2
10	1	2	4.5

En relación con los resultados mostrados en la tabla anterior de DBO5, algunos valores obtenidos fueron reportados como <1 como se muestra en los resultados de la estación 2, esto se debe al método de evaluación empleado "ME S210-D", este presenta un límite mínimo de detección de valor 1. Por lo tanto, no fue posible obtener valores específicos por debajo de este umbral. Para efectos de las gráficas que se realizarán y se presentarán a continuación, los valores detectados como " <1 " se ajustarán a 1, permitiendo así una evaluación y análisis adecuado.

6. Toma de Muestras Fosfatos Totales

TABLA I FOSFATOS TOTALES

FOSFATOS TOTALES			
ESTACIÓN #1	ESTACIÓN #2	ESTACIÓN #3	ESTACIÓN #4
0.27	0.84	0.02	0.03
2.2	0.03	0.02	0.06
0.16	0.04	0.02	0.02
0.08	0.02	0.02	0.06

El análisis de fósforo total en las muestras de agua del río Guacerique se llevó a cabo utilizando dos métodos específicos: PART 45-P B-5, que es un método de digestión con persulfato, y el método de cloruro de estaño. Estos procedimientos son ampliamente utilizados para la determinación de fósforo total en muestras de agua, ya que permiten la oxidación y conversión del fósforo en una forma detectable. El método de digestión con persulfato es especialmente eficaz en la descomposición de compuestos orgánicos, permitiendo una medición precisa del fósforo presente en la muestra.

7. Toma de Muestras Coliformes Fecales

TABLA VI
COLIFORMES FECALES

COLIFORMES FECALES			
ESTACION # 1	ESTACION # 2	ESTACION # 3	ESTACION # 4
1200	1800	5000	2050
1400	1550	4500	1400
1000	2050	4000	1850
1250	1550	3000	946

Para el análisis de coliformes termotolerantes en las muestras de agua del río Guacerique, se empleó el método 9222-D, el cual es reconocido por su precisión en la detección y cuantificación de bacterias coliformes fecales en cuerpos de agua. Este método implica la filtración de las muestras y su incubación en medios selectivos que favorecen el crecimiento de estas bacterias, permitiendo así una evaluación cuantitativa expresada en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por cada 100 mL de muestra.

B. Resultados del objetivo dos: Análisis de varianza entre estaciones

Se realizaron pruebas estadísticas en este proyecto para establecer si existían diferencias significativas entre los promedios observados en los parámetros seleccionados para el río Guacerique, como oxígeno disuelto, DBO5 y turbidez, y los estándares definidos por las regulaciones locales. Este método estadístico proporcionó una base sólida para evaluar si el agua cumplía con los criterios de calidad necesarios para su uso seguro y sostenible. Al comparar estas medias, se identificaron posibles desviaciones que señalaron la presencia de contaminantes

o alteraciones en el entorno natural. Los resultados obtenidos fueron fundamentales para orientar las acciones correctivas y respaldar las políticas de gestión del agua

1. Ph

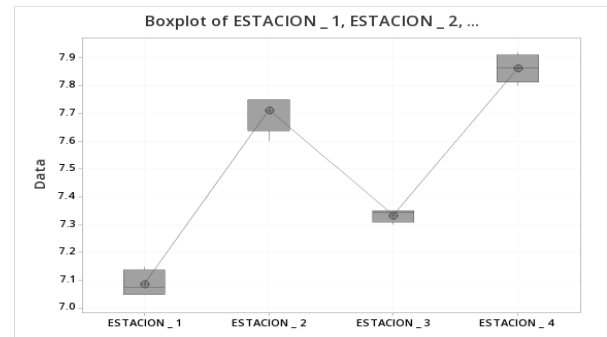


Figura 2 Gráfica de caja de pH entre Estaciones

El análisis realizado revela diferencias significativas en los niveles de pH entre las estaciones de muestreo del río Guacerique. Los resultados indican que las variaciones en el pH no son aleatorias, sino que reflejan diferencias reales entre las distintas ubicaciones. En particular, la Estación 4 exhibe los valores de pH más altos, mientras que la Estación 1 muestra los más bajos. Estas variaciones en el pH podrían deberse a diferentes fuentes de contaminación o condiciones ambientales específicas de cada estación.

2. Temperatura

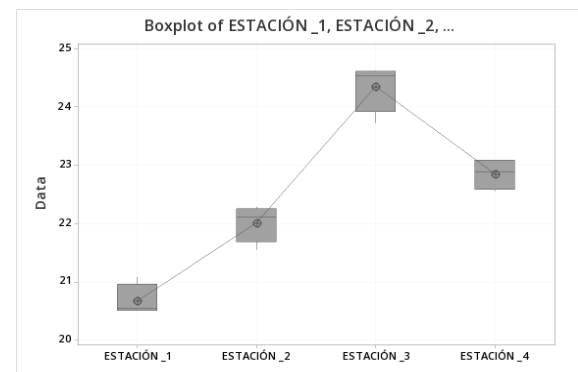


Figura 3 Gráfica de caja de Temperatura entre Estaciones

La gráfica de caja y bigote revela que todas las estaciones de muestreo tienen temperaturas del agua por debajo del límite normativo de 25°C. La Estación 1 y la Estación 2 presentan temperaturas consistentemente más bajas, con cajas situadas claramente debajo del umbral. La Estación 3 muestra temperaturas que se acercan al límite, pero aún dentro de los valores permitidos. La Estación 4 también mantiene temperaturas por debajo del límite, similares a las de las otras estaciones. En general, la gráfica confirma que todas las

estaciones cumplen con el estándar de temperatura sin superar el umbral establecido.

3. Oxígeno Disuelto

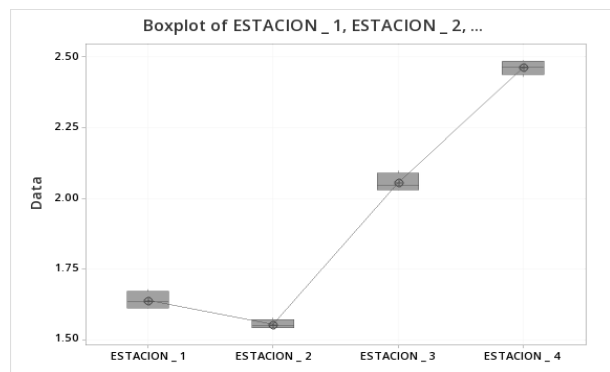


Figura 4 Gráfica de caja de Oxígeno Disuelto entre Estaciones

La figura para oxígeno disuelto muestra variaciones significativas entre las estaciones de muestreo. La Estación 4 destaca con los niveles más altos de oxígeno disuelto, evidenciando una caja superior en comparación con las demás estaciones. La Estación 3 también presenta niveles de oxígeno relativamente altos, pero aún por debajo de la Estación 4. Las Estaciones 1 y 2 tienen cajas que indican niveles de oxígeno disuelto considerablemente más bajos, con superposiciones menores en los intervalos intercuartílicos. Estas diferencias

videncian la influencia ambiental o local en los niveles de oxígeno disuelto, sugiriendo que cada estación tiene características particulares que afectan la concentración de este parámetro.

4. Turbidez

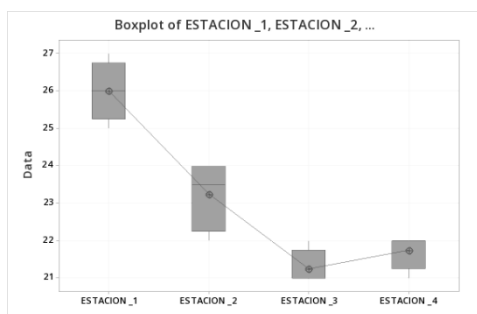


Figura 5 Gráfica de caja de Turbidez entre Estaciones

El gráfico de caja y bigotes para la turbidez muestra diferencias claras entre las estaciones de muestreo del río Guacerique. La Estación 1 destaca con un nivel de turbidez significativamente mayor en comparación con las otras estaciones, lo que sugiere que esta estación puede estar expuesta a una mayor cantidad de contaminantes o sedimentos. Por otro lado, las Estaciones 3 y 4 presentan niveles de turbidez más bajos y similares entre sí,

indicando que estas áreas podrían tener condiciones más limpias o menos afectadas por sedimentos.

5. DBO5

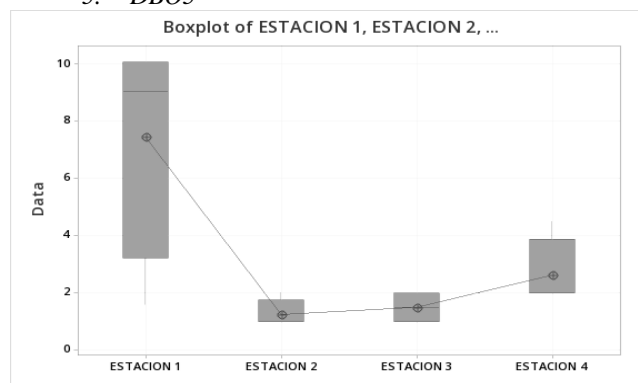


Figura 6 Gráfica de caja de DBO5 entre Estaciones

La figura para el DBO revela que la Estación 1 tiene significativamente más DBO5 en comparación con las otras estaciones. Su caja es más alta y se extiende más, lo que indica niveles de DBO5 más elevados y variables. En cambio, las Estaciones 2, 3 y 4 tienen cajas más bajas y similares entre sí, mostrando niveles de DBO5 mucho más bajos y menos variables. La diferencia entre la Estación 1 y las demás es clara, mientras que las Estaciones 2, 3 y 4 presentan niveles de DBO5 bastante semejantes, sugiriendo que la ubicación de muestreo afecta notablemente los niveles de DBO5.

6. Fosfatos Totales

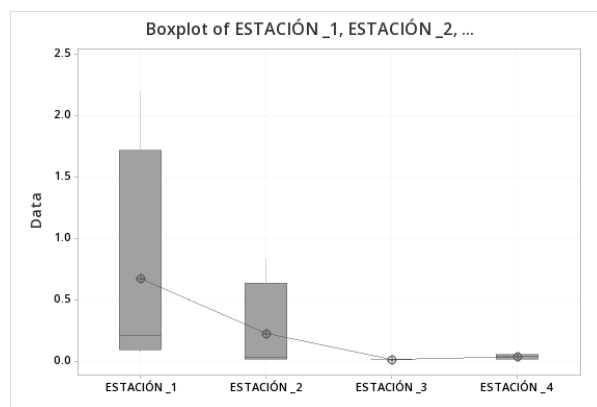


Figura 7 Gráfica de Fósforo Total entre Estaciones

En la gráfica de caja y bigote para los niveles de fósforo total, se observa que todas las estaciones muestran concentraciones que se mantienen bien por debajo del umbral crítico de 1 mg/L. La Estación 1 tiene una caja bastante baja, lo que indica que los niveles de fósforo son significativamente bajos y no se acercan al límite de 5 mg/L para aguas residuales. La Estación 2 también muestra valores bajos, con una caja que no se eleva por encima del umbral. La Estación 3 presenta concentraciones consistentemente bajas, con valores que no varían, indicando que el fósforo está muy por debajo de los límites establecidos. En resumen,

los niveles de fósforo total en todas las estaciones están muy por debajo de los límites de referencia, sugiriendo que no hay riesgo de eutrofización ni de exceder los límites permitidos para aguas residuales.

7. Coliformes Fecales

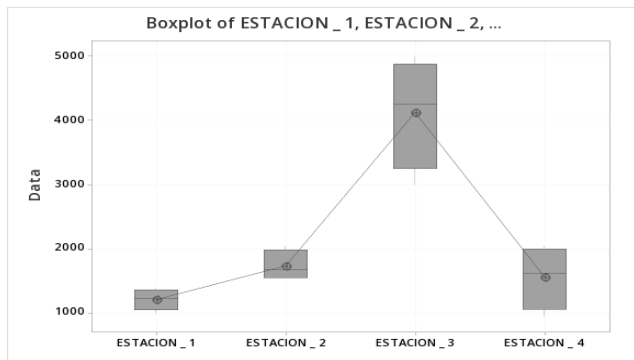


Figura 8 Gráfica de Coliformes Fecales entre Estaciones

La figura muestra una diferencia notable entre las estaciones de muestreo. La Estación 3 muestra una caja significativamente más alta, indicando niveles de coliformes fecales mucho mayor que en las otras estaciones. Esto sugiere que esta estación está expuesta a una mayor fuente de contaminación fecal. Por otro lado, las estaciones 1, 2 y 4 presentan cajas más bajas y similares, con niveles de coliformes fecales que son significativamente menores y no difieren entre sí. Esta variabilidad en los niveles podría estar asociada con diferentes grados de impacto ambiental o actividades humanas en cada estación.

8. Resultados del objetivo tres: Cálculo del ICA

Para evaluar la calidad del agua en el río Guacerique, se utilizó la calculadora WQI de ENVIRAJ, adecuada a los parámetros disponibles en el estudio. Esta herramienta clasifica la calidad del agua en cinco rangos, desde "Excelente" hasta "Muy pobre", y se ajusta a las limitaciones de datos, asegurando una evaluación precisa.

Estación 1: El valor de ICA fue 11.506, ubicando el agua en la categoría de "pobre" según la calculadora WQI. De acuerdo con la clasificación de la National Sanitation Foundation (NSF), este valor se alinea con la categoría "0-25: muy mala, Clase I", indicando que el agua es adecuada solo para especies acuáticas altamente tolerantes y no es apta para el consumo humano ni para ecosistemas menos resistentes.

Estación 2: El resultado fue 9.215, clasificado como "muy pobre" por la calculadora WQI. Según la NSF, también se encuentra en la categoría "0-25: muy mala, Clase I", lo que significa que el agua no es adecuada para la vida acuática, excepto para las especies más tolerantes, y no es adecuada para el consumo humano.

Estación 3: Con un ICA de 18.694, la calidad del agua se clasifica como "pobre" según WQI. La NSF también la clasifica como "0-25: muy mala, Clase I", indicando que, aunque hay una mejora ligera respecto a las estaciones anteriores, el agua sigue siendo inapropiada para usos sensibles como el consumo humano y el mantenimiento de ecosistemas delicados.

Estación 4: El valor de 24.154 muestra una mejora significativa, pero sigue en la categoría de "pobre" según WQI. Según la NSF, esto corresponde a "0-25: muy mala, Clase I", sugiriendo que el agua es adecuada solo para algunas especies tolerantes y no cumple con los estándares para el consumo humano ni para la mayoría de los usos ambientales.

C. Resultados del objetivo cuatro: Validación del estudio

Se realizó un pilotaje para asegurar que las condiciones de muestreo fueran adecuadas y que las técnicas empleadas fueran apropiadas. Primero, se evaluaron las estaciones de muestreo, considerando factores como la corriente del agua, la profundidad del río y la accesibilidad. Se realizaron ajustes para minimizar alteraciones en los parámetros medidos y garantizar la seguridad durante el muestreo.

Luego, en el pilotaje del proceso de muestreo, un técnico especializado supervisó el procedimiento. Se aplicaron técnicas avanzadas como el triple lavado de recipientes y se evitó la formación de burbujas de aire en las muestras. La selección de zonas con corriente controlada ayudó a obtener muestras precisas y representativas del río.

1. Triangulación por Expertos

Se consultaron seis especialistas en diferentes áreas para validar el estudio:

Ingeniera Ambiental y Doctor en Microbiología: Revisaron los fundamentos teóricos, los parámetros seleccionados y la metodología utilizada para asegurar que fueran adecuados para el estudio del río Guacerique.

Técnico Especializado y Doctor en Microbiología: Validaron las técnicas de muestreo, asegurando que las prácticas empleadas cumplieran con los estándares establecidos.

Ingenieros Químicos: Evaluaron los procedimientos analíticos de laboratorio, verificando la precisión de los equipos y la confiabilidad de las metodologías para medir los parámetros del agua.

Ingeniero en Tratamiento de Datos Ambientales: Revisó el análisis estadístico y la interpretación de los resultados para garantizar que las conclusiones fueran sólidas y representativas.

Estos enfoques de validación aseguraron que los resultados

del estudio fueran de alta calidad y confiables.

IV CONCLUSIONES

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Guacerique ha revelado una considerable variabilidad en las condiciones del agua a través de las diferentes estaciones de muestreo. Los niveles de pH oscilaron entre 7.05 y 7.92, con las estaciones #2 y #4 mostrando valores más alcalinos. La temperatura del agua varió de 20.50°C a 24.63°C, con un aumento hacia las estaciones más expuestas al sol. Las concentraciones de oxígeno disuelto variaron entre 1.58 mg/L y 2.49 mg/L, indicando un consumo de oxígeno asociado a la descomposición de materia orgánica. Los sólidos sedimentables se mantuvieron constantes, pero la turbidez fue mayor en la estación #1 (26 NTU), vinculada a una alta actividad humana.

Los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) alcanzaron hasta 10.1 mg/L en la estación #1, sugiriendo una alta carga orgánica, mientras que los coliformes fecales mostraron valores máximos de 5000 UFC/100 mL en la estación #3, evidenciando una fuerte contaminación fecal. En contraste, la estación #4 tuvo los niveles más bajos de coliformes fecales (946 UFC/100 mL).

Este análisis en el río Guacerique revela una notable variabilidad en la calidad del agua a lo largo de las estaciones de muestreo. Las diferencias en pH, temperatura, oxígeno disuelto y otros indicadores sugieren la influencia de factores ambientales y actividades humanas específicas en la calidad del agua. La elevada turbidez y DBO5 en algunas estaciones, junto con los altos niveles de coliformes fecales en otras, subraya el impacto de la contaminación en el ecosistema acuático y sugiere problemas graves de contaminación fecal y orgánica.

V RECOMENDACIONES

Para abordar los problemas identificados en la calidad del agua del río Guacerique, se recomienda implementar un conjunto integral de medidas de gestión. Esto incluye mejorar el tratamiento de aguas residuales y controlar las descargas industriales y agrícolas que contribuyen a la contaminación. Además, se deben fortalecer los programas de monitoreo para realizar evaluaciones periódicas de los parámetros clave, y fomentar la educación y participación comunitaria para reducir la contaminación en la fuente. La inversión en infraestructura para la gestión de residuos sólidos y líquidos, así como en tecnologías avanzadas de tratamiento de agua, también es crucial para mejorar la calidad del agua y proteger la salud pública y el ecosistema.

VI APLICABILIDAD

La aplicabilidad de este estudio radica en su capacidad para proporcionar una base científica sólida para la gestión y mejora de la calidad del agua en el río Guacerique. Los resultados detallados sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos permiten identificar las principales

fuentes de contaminación y evaluar su impacto en la calidad del agua. Esta información es esencial para diseñar e implementar estrategias efectivas de tratamiento y control de la contaminación, adaptadas a las condiciones específicas del río. Además, el estudio ofrece una metodología robusta para la evaluación de cuerpos de agua, que puede ser replicada en otros ríos o cuerpos de agua con problemas similares, contribuyendo así a la mejora de la gestión de recursos hídricos a nivel local y regional. La integración de técnicas avanzadas de análisis y validación garantiza la fiabilidad de los resultados, facilitando la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades y comunidades involucradas.

VII. REFERENCIAS

- [1] G. O. R. Cruz, "Escasez de agua en Tegucigalpa, Honduras: ¿Está siendo afectada la subcuenca Guacerique por la variabilidad climática y el arrastre de sedimentos?," *Revista de Ciencias Ambientales*, vol. 55, no. 1, 2021.
- [2] E. W. R. Zúniga, "Reducción de Escasez de Agua en Juntas de Agua del," *LACCEI*, 2024.
- [3] W. Hongxiang, H. Lintong, H. Jianwen, Y. Huan and G. Wenxian, "Effect of Urbanization on the River Network Structure in Zhengzhou City, China," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 2464, p. 19(4), 2022.
- [4] O. Urueña Márquez and A. Zamora Trejos, "Formulación participativa de estrategias locales de adaptación de la agricultura al cambio.," CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA, Turrialba, Costa Rica, 2013.
- [5] E. W. R. Zúniga, "Reducción de Escasez de Agua en Juntas de Agua del," *LACCEI*, 2024.
- [6] A. R. M. Sánchez, "Salud y medio ambiente," *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, vol. 65, no. 3, pp. 8-18, 2022.
- [7] G. O. R. Cruz, "Calidad del agua para consumo humano y protección de la vida acuática en el embalse Los Laureles de Tegucigalpa (2002-2016)," *Revista de Ciencias Ambientales*, vol. 56, no. 1, pp. 138-156, 2022.
- [8] B. P. d. Montoya, "Análisis de la contaminación del Río Choluteca y sus efectos sobre la población a su paso por Tegucigalpa," *Ciencia y Tecnología*, no. 2, pp. 19-37, 2015.
- [9] J. d. A. Sánchez, "Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México," *Sociedad y ambiente*, vol. 14, pp. 119-143, 2017.

- [10] J. Kammerbauer and J. Moncada, "Pesticide residue assessment in three selected agricultural production systems in the Choluteca River Basin of Honduras," *Environmental Pollution*, vol. 103, no. 2-3, pp. 171-181, 1998.
- [11] A. D. Reyes-Avila and R. A. Baxter, "Assessment of urbanization impacts in Tegucigalpa urban greenness via normalized difference vegetation index," *Trees, Forests and People*, vol. 18, 2024.
- [12] A. Murei, I. Kamika and M. N. Benteke Momba, "Selection of a diagnostic tool for microbial water quality monitoring and management of faecal
- [13] I. M. Caballero, A. F. Zavala and M. E. Perdomo, "DESARROLLO DE METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS RÍOS," *LACCEI*, 2024.