



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE I

ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA DEL RÍO SAN JOSÉ EN ZONA SUR
TEGUCIGALPA, HONDURAS

PRESENTADO POR:

12041012 SANTIAGO LARA SABAS
12041333 CAMILA NAZARET VALLADARES LOZANO

ASESOR: ING. PAOLA PASCUA

CAMPUS TEGUCIGALPA; JUNIO, 2024

RESUMEN EJECUTIVO (ESPAÑOL)

El uso humano del agua y flujo por comunidades del Río San José surge como una preocupación ante la salud debido a la falta de respaldos científicos sobre la calidad de agua. La presente investigación se enfoca en la evaluación de la calidad del agua del Río San José en distintos puntos de la zona sur de Tegucigalpa escogidas por medio de muestreo no probabilístico, valiéndose de los parámetros establecidos por el ICA – NSF utilizando diseño de experimentos. La metodología del estudio involucra una variedad de análisis de laboratorio de los parámetros, así como la validación y comparación de los datos obtenidos mediante análisis de varianzas.

Los resultados de laboratorio y análisis de varianzas expusieron que la gran mayoría de los parámetros como el oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, temperatura, nitratos, fosfatos y turbiedad, tienen diferencias significativas dependiendo de las estaciones, y que al analizar los resultados de las estaciones conjuntamente, no se cumple con los parámetros establecidos por la Propuesta de Norma Técnica Nacional para Usos de Agua.

El cálculo del índice de calidad del agua demostró que las estaciones analizadas en el río se encuentran en criterios de uso entre "Media" y "Mala", lo cual refleja la baja calidad del río San José según los estándares establecidos por la NSF. Las calificaciones de calidad demostraron disminuir a lo largo del flujo del río por urbanizaciones, demostrando su degradación al entrar en la zona sur de Tegucigalpa. La validación por triangulación de expertos en las diferentes áreas relacionadas a la investigación refuerza la fiabilidad del estudio, resaltando la preocupación por la afectación que tiene la calidad del agua del río San José en el uso humano y las comunidades cercanas.

Palabras clave: respaldos científicos, análisis de laboratorio, análisis de varianzas, índice de calidad del agua, parámetros de la norma.

RESUMEN EJECUTIVO (INGLÉS)

Human water uses and flow by communities in the San José River is a health concern due to the lack of scientific support on water quality. The present investigation focuses on the evaluation of the water quality of the San José River in different points of the southern zone of Tegucigalpa chosen through non-probabilistic sampling, using the parameters established by the ICA - NSF using a design of experiments. The methodology of the study involves a variety of laboratory analyses of the parameters, as well as validation and comparison of the data obtained through analysis of variance.

The laboratory results and analysis of variance showed that the great majority of the parameters such as dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, temperature, nitrates, phosphates and turbidity, have significant differences depending on the stations, and that when analyzing the results of the stations together, the parameters established by the Proposed National Technical Standard for Water Uses are not met.

The calculation of the water quality index showed that the stations analyzed in the river are in use criteria between "Medium" and "Poor", reflecting the low quality of the San José River according to the standards established by NSF. The quality ratings were shown to decrease along the river's flow through urbanizations, demonstrating its degradation as it enters the southern zone of Tegucigalpa. The validation by triangulation of experts in the different areas related to the research reinforces the reliability of the study, highlighting the concern for the affectation that the water quality of the San José River has on human use and nearby communities.

Key words: scientific support, laboratory analysis, analysis of variance, water quality index, parameters of the standard.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen Ejecutivo (español)	IV
Resumen Ejecutivo (inglés)	V
I. Introducción.....	1
II. Planteamiento del Problema	2
2.1 Precedentes del problema.....	2
2.2 Definición del problema	3
2.3 Justificación	3
2.4 Preguntas de Investigación	4
2.5 Objetivos	5
2.5.1 Objetivo General.....	5
2.5.2 Objetivos Específicos	5
III. Marco Teórico	6
3.1 La Calidad del Agua	6
3.1.1 La Contaminación del agua	7
3.1.2 Contaminación en Ríos	7
3.2 Diseño de Experimentos.....	8
3.2.1 ANOVA: Análisis de Varianzas	9
3.2.2 Método de Tukey	10
3.3 Índice de la Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation	10
3.3.1 Herramienta de MS Excel para el Cálculo del Índice de la Calidad del Agua	12

3.3.2	Parámetros del Índice de Calidad del Agua.....	13
3.3.3	Propuesta de Norma Técnica Nacional de Usos de Agua	19
3.4	Triangulación por expertos.....	22
4	IV. Metodología.....	23
4.1	Enfoque.....	23
4.1.1	Alcance	23
4.2	Variables de Investigación	23
4.2.1	Variables Independientes	23
4.2.2	Variables Dependientes.....	24
4.3	Técnicas e Instrumentos	24
4.3.1	Instrumentos utilizados.....	24
4.3.2	Técnicas aplicadas	25
4.4	Materiales	26
4.5	Población y muestra.....	27
4.5.1	Población.....	27
4.5.2	Muestreo	28
4.5.2	Muestra	29
4.6	Metodología de Estudio.....	30
4.7	Metodología de Validación	31
4.8	Cronograma de Actividades	32
V.	Resultados y Análisis.....	33
5.1	Resultados de los Parámetros	33
5.1.1	Resultados de pruebas de laboratorio	33

5.1.2	Comparación de resultados con Valores Permisibles.....	40
5.2	Análisis de Varianza.....	54
5.2.1	ANOVA de diseño de bloques y método de Tukey.....	54
5.3	Índice de la Calidad del Agua.....	64
5.3.1	Promedios de los resultados del parámetro por estación	64
5.3.2	Resultados Cálculo del Índice de Calidad del Agua en las Estaciones..	66
5.4	Validación del Estudio	67
5.4.1	Pilotaje.....	67
5.4.2	Triangulación por Expertos	71
VI.	Conclusiones	72
6.1	Conclusiones Específicas	72
6.2	Conclusión General	73
VII.	Recomendaciones	74
7.1	Recomendaciones de Investigación.....	74
7.2	Recomendaciones para el Rubro	74
VIII.	Aplicabilidad / Implementación	76
IX.	Evolución de trabajo actual / Trabajo futuro	76
	Bibliografía.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Mapa de las 4 estaciones para toma de muestras del Río San José	28
Ilustración 2 Valor p para Oxígeno Disuelto de la primera estación	41
Ilustración 3 Valor p para Oxígeno Disuelto de la segunda estación	42
Ilustración 4 Valor p para Oxígeno Disuelto de la tercera estación.....	43
Ilustración 5 Valor p para Oxígeno Disuelto de la cuarta estación	43
Ilustración 6 Valor p para pH de la primera estación.....	45
Ilustración 7 Valor p para pH de la segunda estación	46
Ilustración 8 Valor p para pH de la tercera estación	47
Ilustración 9 Valor p para pH de la cuarta estación.....	47
Ilustración 10 Valor p para Demanda Bioquímica de Oxígeno de la primera estación.....	48
Ilustración 11 Valor p para Demanda Bioquímica de Oxígeno de la segunda estación.....	49
Ilustración 12 Valor p para Demanda Bioquímica de Oxígeno de la tercera estación	50
Ilustración 13 Valor p para Demanda Bioquímica de Oxígeno de la cuarta estación	51
Ilustración 14 Valor p para Nitratos Totales de la primera estación	52
Ilustración 15 Valor p para Nitratos Totales de la segunda estación	52
Ilustración 16 Valor p para Nitratos Totales de la tercera estación.....	53
Ilustración 17 Valor p para Nitratos Totales de la cuarta estación	54
Ilustración 18 ANOVA para Oxígeno Disuelto	55

Ilustración 19 Método de Tuckey para Oxígeno Disuelto.....	56
Ilustración 20 ANOVA para pH.....	57
Ilustración 21 Método de Tuckey para pH.....	57
Ilustración 22 ANOVA para Temperatura.....	58
Ilustración 23 Método de Tukey para Temperatura	58
Ilustración 24 ANOVA para Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	59
Ilustración 25 Método de Tuckey para Demanda Bioquímica de Oxígeno	59
Ilustración 26 ANOVA para Fosfatos Totales.....	60
Ilustración 27 Método de Tuckey para Fosfatos Totales.....	60
Ilustración 28 ANOVA para Nitratos Totales.....	61
Ilustración 29 Método de Tukey para Nitratos Totales	61
Ilustración 30 ANOVA para Turbiedad	62
Ilustración 31 Método de Tukey para Turbiedad	62
Ilustración 32 ANOVA para Total de Sólidos Sedimentables	63
Ilustración 33 Método de Tukey para Total de Sólidos Sedimentables	63
Ilustración 34 Pilotaje respecto a la toma de muestras	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Rangos de calidad del agua para interpretar el ICA - NSF.....	11
Tabla 2 - Rangos de Oxígeno Disuelto	14
Tabla 3 - Temperaturas máximas recomendadas para la sobrevivencia de especies en agua dulce	16
Tabla 4 – Rangos para clasificación de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	16
Tabla 5 – Rangos para clasificación de Sólidos Suspendidos Totales	19
Tabla 6- Parámetros de la Propuesta de Norma Técnica Nacional para agua de uso en Preservación de Flora y Fauna (calidad básica del agua)	21
Tabla 7 – Cantidad de tomas de muestras según la estación y lugar de análisis	30
Tabla 8 - Resultados de laboratorio de Oxígeno Disuelto	33
Tabla 9 - Resultados de laboratorio de Coliformes Fecales.....	34
Tabla 10- Resultados in-situ de pH.....	35
Tabla 11 - Resultados in-situ de temperatura.....	36
Tabla 12 - Resultados de laboratorio Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	37
Tabla 13 - Resultados de laboratorio de Fosfatos Totales.....	38
Tabla 14 - Resultados de laboratorio de Nitratos Totales	39
Tabla 15 - Resultados de laboratorio de turbiedad	39
Tabla 16 - Resultados de laboratorio de Total de Sólidos Suspendidos	40
Tabla 17 – Comparación de resultados de laboratorio de coliformes fecales contra los de la PNTNUA.....	44
Tabla 18– Cálculo de promedios de parámetros por estación	65
Tabla 19 – Resultados del ICA para cada estación en la calculadora de Northern Iowa University.....	66

Tabla 20 - Resumen de Resultados de ICA para las estaciones del Río San José	66
Tabla 21 - Pilotaje respecto a las estaciones	68
Tabla 22 - Pilotaje respecto a las pruebas de laboratorio	70
Tabla 23 - Triangulación por expertos	71

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 - Promedio Aritmético Ponderado.....	11
Ecuación 2 – Promedio Multiplicativo Ponderado	11

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Cotización de pruebas en laboratorio externo	84
Anexo 2 Resultados de pruebas de DQO & DBO	85
Anexo 3 Utilización de pH-metro de campo	87
Anexo 4 Imágenes como evidencia de eutrofización	88
Anexo 5 Evidencia de gama excedida de nitratos en el espectrofotómetro.....	91
Anexo 6 Evidencia de turbidímetro utilizado.....	92
Anexo 7 Evidencia de Conos de Imhoff utilizados.....	92
Anexo 8 Resumen de Comparación de Resultados con valores permisibles....	93
Anexo 9 Resumen de Comparación de Estaciones.....	93
Anexo 10 Resumen de Comparación de Muestras de una Misma Estación	93
Anexo 11 Placas prefabricadas de coliformes fecales luego de incubación	94
Anexo 12 Prueba de sólidos sedimentables	95

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

Contaminación del agua: se entiende como la acción de introducir algún material en el agua alterando su calidad y su composición química. (Guadamarra et al., 2016)

Eutrofización: es un proceso que participa en la disminución de la calidad del agua ocasionado por el exceso de ciertos nutrientes ocasionando cambios ambientales no deseados. (Miranda & Rosales, s. f.)

Nefelométrica: adjetivo referente a nefelómetro, también conocido como turbidímetro. Medio para medir la turbidez (nubosidad) de una muestra utilizando un nefelómetro. (Merriam-Webster Medical, s. f.)

Hipoxia: cantidad insuficiente de oxígeno. (Clínica Universidad de Navarra, s. f.)

Anoxia: ausencia de oxígeno. (Clínica Universidad de Navarra, s. f.)

ICA	Índice de Calidad del Agua
NSF	National Sanitation Foundation (Fundación Nacional de Saneamiento)
DOE	Design of Experiments (Diseño de Experimentos)
ANOVA	Analysis of Variance (Análisis de Varianza)
pH	Potencial de Hidrógeno
JICA	Japan International Cooperation Agency
MS	Microsoft
CESSCO	Centro de Estudios y Control de Contaminantes
UNI	University of Northern Iowa (Universidad de Iowa del Norte)
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno luego de 5 días de incubación
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ICA – NSF	Índice de la Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation
WQI	Water Quality Index
DO	Dissolved Oxygen
Temp	Temperature

BOD	Biochemical Oxygen Demand
Turb	Turbiedad del agua
TSS	Total Suspended Solids
NO ₃	Molecula de Nitrato
PO ₄	Molecula de Phosphato
UNITEC	Universidad Tecnológica Centroamericana
L	Litro
mg	Miligramos
ppm	Partes por millón
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección del Medio Ambiente)
OD	Oxígeno Disuelto
CAPRE	Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana
Bq	Bequerel
pH	Potencial Hidrógeno
unt	Unidad Nefelométrica de Turbidez
E. coli	Escherichia Coli
ufc	Unidad Formadora de Colonias
NMP	Número Más Probable (unidad equivalente a ufc)
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (de México)
PNTNUA	Propuesta de Norma Técnica Nacional de Usos de Agua

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua figura como una amenaza a la salud y sostenibilidad de los ecosistemas locales, afectando de manera directa e indirecta a quienes se encuentran en zonas cercanas a lo que es el agua contaminada. En este ámbito, los estudios científicos de la calidad del agua se presentan como una tarea primordial, más aún en regiones donde el contacto con el agua suele ser más común.

En este contexto, el informe de investigación presente tiene como enfoque el análisis de la calidad del agua en el río San José, situado en la zona sur de Tegucigalpa, Honduras. Este se encuentra entrando por la carretera hacia el sur del país, cruzando urbanizaciones como colonia Loarque y San José de la Peña, hasta desembocar en el río Jacaleapa. Contando con una longitud de más de 20km, el cruce del río San José por la zona sur de Tegucigalpa amerita el análisis de su calidad de agua.

Los objetivos definidos para la investigación están alineados con la necesidad de medir y evaluar una variedad de aspectos relacionados a la calidad del agua. Principalmente, se pretende a través de las pruebas de laboratorio obtener resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a través de diferentes puntos de cruce del río en la zona sur de Tegucigalpa. Adicional a esto, se pretende aplicar el uso de pruebas estadísticas con la finalidad de determinar posibles diferencias existentes entre las muestras que serán recolectadas.

Para concluir, el informe se estructura en una serie de segmentos, comenzando con el planteamiento del problema y la definición de este, continuando con la justificación y las preguntas de investigación junto a sus objetivos. Por consiguiente, se presenta un marco teórico conteniendo un trasfondo de la investigación, para luego pasar con el segmento de metodología, el cual comprende el enfoque y alcance, las variables de investigación, técnicas empleadas, metodología de estudio y validación, así como el cronograma de actividades. Por último, se presentan los resultados obtenidos en la investigación y las conclusiones y recomendaciones formuladas a partir de estos.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

En Colombia se analizaron el Río Cali y del Río Meléndez mediante el ICA-NSF para determinar la calidad del agua en los puntos donde se obtuvieron las muestras. Estos se escogieron estratégicamente, ya que comienzan donde el río nace y se tomaron subsecuentemente hasta donde desemboca. Al obtener los resultados de las pruebas se encontró que la calidad del agua empeora a medida el río avanza, o sea, la calidad del agua donde nacen los ríos es mejor que la calidad del agua donde desembocan, ya que la calidad se degrada gradualmente a medida avanza. (Behar et al., 1997)

El estudio realizado en los ríos Ozogoché, Pochahuiña y Pomacocho en Ecuador también se utilizó el análisis ICA – NSF con el objetivo de determinar la calidad del agua, en esta investigación se obtuvieron resultados que indican que los ríos tienen una calidad ‘buena’ del agua, ya que los puntajes son 71, 83 y 83 respectivamente; es de notar que en este estudio los ríos más elevados, los ríos Pichahuiña y Pomacocho, tienen mejor calidad del agua que los ríos con elevaciones más bajas, como el Río Ozogoché. Sin embargo, se menciona que factores como la poca precipitación en ciertos meses puede afectar la cantidad de coliformes fecales en el caudal del río. (Coello et al., 2013)

En Guatemala, se investigó el índice de calidad del agua a través del estudio ICA - NSF, aplicándose en las microcuencas del Parque Nacional Río Dulce. Aunque el área es protegida por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), se vio afectada por factores como el desarrollo inmobiliario, el incremento poblacional en la zona y el vertido de aguas residuales. Para el análisis, se georreferenciaron doce estaciones de muestreo en las desembocaduras del río. Con los resultados de las pruebas de laboratorio, el ICA - NSF varió entre 71 y 90, por lo cual el agua se calificó como no apta para uso humano de forma directa, necesitando un proceso de potabilización. (Robledo-Hernandez, 2022)

En un estudio de Telpaneca, Nicaragua, se definieron los parámetros críticos de la calidad del agua a través de un análisis básico de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua potable. Estos se definieron como los E. coli, y el cloro residual. Adicionalmente, se plantearon los parámetros físicos del agua como la turbiedad, el sabor, el color y el

olor. Se concluyó que los parámetros se pueden medir in situ con un equipo de ensayo sencillo, el cual es imprescindible para el análisis de turbiedad y cloro residual, debido a que fluctúan rápidamente en la transportación y almacenamiento del agua. (López & Martínez, 2007)

Específicamente en Honduras, se investigó la calidad del agua de la cuenca del Río Humuya en cuatro áreas municipales de Comayagua, que consumían agua impura por presencia de coliformes. Se deseaba confirmar que uno de los efectos que el Huracán Mitch de 1998 ocasionó fue una afectación a la calidad del agua, por lo que mediante ciertas pruebas científicas realizadas en laboratorios especializados e in situ con el equipo técnico necesario, se determinó la calidad del agua del Río Humuya. Basado en los resultados obtenidos, se concluyó que el agua no debería ser consumida debido a la alta concentración de coliformes encontrados en las muestras. (Espinosa, 2001)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

A partir del Huracán Mitch en 1998, el interés en estudios de la calidad del agua en Honduras aumentó para avalar científicamente el incremento de contaminantes en cuerpos acuáticos. Específicamente en Tegucigalpa, el interés surge en el Río San José, al ser uno de los afluentes principales del Río Choluteca, uno de los ríos más contaminados de Honduras, y al atravesar comunidades como Loarque, San José de la Vega y La Vega, así como ciertas comunidades marginales aledañas al río como Las Faldas del Pedregal, que hacen uso del agua sin respaldos científicos de si esta agua es apta para uso humano o no, poniendo su salud en posible riesgo.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Los cuerpos acuáticos son pilares de gran importancia para un país según su ubicación y los usos que se les puedan atribuir; por ejemplo, ciertas extensiones de agua pueden proveer agua potable a comunidades aledañas, tanto para la población como para agricultura y ganadería, servir como fuentes de turismo o generadores de energía sostenible. Particularmente, los ríos en zonas urbanas tienen diversos beneficios, ya que pueden generar protección a la sociedad en contra de ciertos peligros naturales y consecuencias ocasionadas por la crisis climática actual. (Gastezzi-Arias et al., 2016)

En Honduras, el realizar análisis de calidad de agua para cuerpos acuáticos con respaldos científicos brinda información de la situación actual en las que se encuentran estas aguas, dando así visibilidad tanto a las autoridades pertinentes como a la sociedad de estas condiciones. Tener una noción de la calidad del agua de estos cuerpos importa según el uso que se les desee dar, debido a que la posible contaminación puede representar una gran amenaza para la salud pública y la sociedad, ya que funciona como concentración de enfermedades transmisibles entre personas y especies animales, lo que deteriora la condición general del país.(Gastezzi-Arias et al., 2016)

Específicamente, se desea obtener información del Río San José que esté estadística y científicamente avalada mediante herramientas como el Diseño de Experimentos (DOE) y pruebas de laboratorio siguiendo las especificaciones técnicas necesarias con el fin de poder dar una base investigativa para la realización de futuras investigaciones. Analizar la calidad del agua del Río San José procura trabajar a favor del cumplimiento de objetivos de desarrollo sostenible, como ser el poder obtener 'Agua limpia y saneamiento', así como 'Salud y bienestar'; asimismo, se desea beneficiar a las comunidades aledañas al río al brindar datos de las condiciones actuales del río para solicitar apoyo de las autoridades.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. De los parámetros comparables contra la PNTNUA entre las estaciones: ¿Cuáles cumplen con los valores propuestos por la PNTNUA?
2. Descubrir a través de la estadística y técnicas de DOE: ¿Se encuentran diferencias significativas en las muestras de los diferentes puntos del río en cuánto a los resultados del laboratorio?
3. ¿Cuál es el nivel de calidad del agua del río San José según el índice de la calidad del agua establecido por la NSF?
4. ¿Los procedimientos de muestreo, pruebas de laboratorio y aplicación de DOE se llevaron a cabo de la manera correcta?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad del agua en distintos puntos del río San José en la zona sur de Tegucigalpa, Honduras a través de los parámetros indicados por el ICA-NSF mediante Diseño de Experimentos.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Comparar, de ser posible, el oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, temperatura, nitratos, fosfatos, turbiedad y total de sólidos de las muestras de agua adecuadamente recolectadas provenientes del Río San José de Tegucigalpa a través de técnicas correctas, instrumentos apropiados y pruebas de laboratorio supervisadas contra los valores establecidos por la Propuesta de Norma Técnica Nacional para Usos de Agua (utilizada por CESCOO y Plantas de Tratamiento de Agua Nacionales) mediante la prueba t de una muestra.
2. Analizar los resultados obtenidos de los parámetros analizados (oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, temperatura, nitratos, fosfatos, turbiedad y total de sólidos) mediante un análisis estadístico de varianza ANOVA.
3. Calcular el Índice de la Calidad del Agua de las muestras recolectadas con los datos obtenidos de las pruebas de oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno, temperatura, nitratos, fosfatos, turbiedad y total de sólidos utilizando el criterio establecido por la National Sanitation Foundation y la herramienta de Cálculo del Índice de la Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation mediante Excel.
4. Validar continuamente la metodología implementada en la presente investigación a través de pilotaje supervisado y triangulación de expertos.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 LA CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua depende principalmente del uso que se le desee dar, sin embargo, se suele determinar la calidad del agua a través de parámetros químicos, biológicos y físicos presentes en el agua, entre otras características. Los análisis que brindan resultados respecto a la calidad del agua son de suma importancia porque brindan información actual para saber si se está dentro de la conformidad de la normativa legal vigente, así como brindar diagnósticos de tratamientos industriales y del estado general del ambiente que se encuentra en contacto con el agua estudiada. (Ritabrata, 2019)

Una investigación de la calidad del agua realizada en Costa Rica le permitió saber a los investigadores que su comunidad de estudio, San Vicente, cuenta con un acueducto cuyo aprovisionamiento proviene de aguas del subsuelo. El estudio relacionó el riesgo de padecer una enfermedad, principalmente gastrointestinal, con el consumo del agua proveniente del acueducto, cuya conclusión fue que hay una relación proporcional entre lo anteriormente mencionado, incrementando así riesgos a su salud e integridad física. Gracias al estudio de la calidad del agua se puede concluir, con respaldo científico, que el agua estudiada está contaminada y es dañina para las personas. (Vásquez et al., 2011)

Estudios previos respecto a la calidad del agua en territorio regional demuestra la creciente importancia que estos tienen, así como las consecuencias dañinas que pueden causar, tanto a la salud e integridad de los habitantes como al medio ambiente, cuyo daño siempre termina reflejado en los seres vivos que rodean los cuerpos de agua. Gracias a esta investigación se obtiene un precedente de los resultados que se pueden obtener al realizar estudios de análisis del agua, así como las relaciones que se pueden concluir mediante el uso de distintas herramientas de ingeniería, tal como la estadística. La investigación anteriormente mencionada será una guía beneficiosa para la presente investigación.

3.1.1 LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación acuática es cualquier transformación química, física o biológica que afecte la calidad del agua de manera negativa, así como cualquier ser que la consuma. (Guadamarra et al., 2016). Este problema afecta a todos los países, tanto países desarrollados como países en vías de desarrollo, lo que convierte la contaminación del agua en un problema a nivel mundial.

La importancia del agua radica en que la cantidad total de agua dulce estimada para usarse es de apenas un 0.6%, donde el 70% de este total está destinado para actividades agrícolas, 20% para las industrias y apenas un 10% para uso doméstico, cantidad que con el tiempo va disminuyendo debido a su contaminación, reduciendo así la disponibilidad de agua para los seres vivos aún más. (Gómez-Gómez et al., 2010)

El párrafo anterior contiene una investigación sumamente relevante para el proyecto de investigación a realizarse debido a que comunica la importancia del agua dulce para las personas, así como su limitada disponibilidad, disponibilidad que directamente relaciona la contaminación del agua con la calidad de la misma, ya que la contaminación del agua es inversamente proporcional a la calidad, entre más contaminada se encuentre un cuerpo de agua, menor calidad tendrá, por lo que la información aquí presentada es valiosa como base investigativa del proyecto de investigación.

3.1.2 CONTAMINACIÓN EN RÍOS

La contaminación presente específicamente en los ríos es una amenaza debido a que aproximadamente 90% de la contaminación encontrada en los mares llega ahí mediante los ríos. (Escobar, 2002). De igual manera, la contaminación de los ríos es un tema de gran importancia ya que esta puede causar alteraciones climáticas y afectar negativamente la preservación de ecosistemas, creando así distintos problemas y consecuencias para el planeta. (Díaz & Torres, 2000)

En Honduras, específicamente en la capital de Tegucigalpa, mediante investigaciones se logra saber que los ríos son de suma importancia debido a que los problemas por la carencia crónica de agua van en aumento, generando así exigencias críticas de agua para

la población que va rápidamente en aumento. (JICA, 2021.) En urbanizaciones, los ríos tienen funciones aparte de ofrecer agua y alimentos, tales como servir de reguladores contra catástrofes climáticas como sequías, inundaciones y deslaves, convirtiendo así la presencia de ríos en zonas urbanas en una ventaja. (Gastezzi-Arias et al., 2016)

Gracias a las investigaciones realizadas anteriormente en cuerpos de agua hondureños se puede comprender la relevancia de la investigación a realizar, ya que estas investigaciones brindan visibilidad del estatus real de las aguas hondureñas y brindan una base investigativa para impulsar investigaciones referentes a calidad de agua y contaminación, como la de este proyecto.

3.2 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El Diseño de Experimentos, abreviado DOE por sus siglas en inglés Design Of Experiments, tiene su base en la estadística, ya que es una herramienta que permite distinguir y calcular las causas de un resultado dentro de un experimento. (*Diseño Experimentales.pdf*, s. f.) De igual manera, el diseño experimental es una herramienta basada en la lógica que puede ser aplicada con habilidades básicas en áreas como matemáticas y estadística, que permite generar conclusiones a través de la realización de experimentos en distintos rubros, lo cual es beneficioso para aquellos que lo aplican. (Barrentine, 2001)

En el Río Chibunga de Ecuador se realizó una investigación, mediante Diseño de Experimentos, para poder definir si hay similitud estadística entre los lugares estratégicos donde se realizó el muestreo para parámetros como ser el pH y el nivel de concentración. Al implementarse distintas herramientas de DOE como ser ANOVA, análisis estadístico entre las medias, experimentos factoriales, entre otros, la investigación logró determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las ubicaciones del muestreo, y con esta información los investigadores realizaron conclusiones acerca de la calidad del agua en el Río Chibunga de Ecuador utilizando esta herramienta de ingeniería. (Carrera-Oña et al., 2020)

La investigación realizada por Carrera-Oña et al. en Ecuador brinda bases sólidas de cómo se puede utilizar el DOE en investigaciones para análisis de ciertos parámetros de la calidad del agua siendo este el propósito principal de la investigación a realizar, ya

que al implementar herramientas de ingeniería, como el DOE, y sub-herramientas características de la rama, se obtiene una orientación con enfoque cuantitativo para brindarle dirección a la investigación a realizar, por lo que se tomará en cuenta lo realizado en la investigación discutida en el párrafo anterior y se adaptará la misma a la situación de la investigación presente para aplicar esta herramienta de ingeniería adecuadamente, solamente que con distintos parámetros.

3.2.1 ANOVA: ANÁLISIS DE VARIANZAS

El Análisis de Varianzas, también conocido como ANOVA, es una sub-herramienta del Diseño de Experimentos; consiste en métodos realizados mediante la estadística que son beneficiosos cuando se necesitan comparar dos o más grupos, cuando se repiten mediciones más de dos veces, entre otras aplicaciones, aplicaciones que dependen del diseño de experimentos que, mediante ciertas hipótesis, permiten realizar inferencias que al aceptarse o rechazarse, pueden colaborar para ya sea inferir o concluir información pertinente al estudio en el cual se aplique esta herramienta.(Dagnino, 2014)

Se utilizó ANOVA para una investigación en Valencia, España para el análisis de la lixiviación y retención de nitrógeno en ciertos experimentos mediante la aplicación de DOE no balanceado. Luego de la aplicación de procedimientos necesarios se les permitió a los investigadores concluir que, mediante la aplicación de ANOVA, el amonio conservado en la tierra se ve significativamente afectado por los lixiviados, sus factores y mezclas, conclusión que les permitirá tener bases estadísticas para actuar frente a la problemática sustentada por estas pruebas matemáticas. (Montoya & Marín, 2005)

El uso del ANOVA para investigaciones realizadas le brinda un cimiento a la investigación ya que, al aprender de lo realizado otros anteriormente, se adaptarán los métodos y conocimientos de la investigación mencionada para así aplicar estas herramientas de ingeniería a la investigación actual con el objetivo de poder realizar conclusiones significativas en distintos puntos de muestreo, así como las demostradas por investigadores anteriores; estas herramientas brindan peso a las conclusiones de la investigación, ya que proveen un respaldo de que lo realizado está estadística y científicamente comprobado, que es el objetivo de toda investigación.

3.2.2 MÉTODO DE TUKEY

El método de Tukey es utilizado al hacer análisis de varianzas (ANOVA) con el objetivo de poder obtener intervalos de confianza para cada posible pareja existente entre medias de los niveles de factores, siempre manteniendo bajo control la tasa de error por familia especificada. (Minitab, s. f.). Este es del análisis más aplicado ya que controla el error alfa como la beta de forma más eficiente. (Wong-González, 2010)

En Ecuador se realizó una investigación para evaluar distintas mezclas de cáscara de arroz con barro, para saber cuál de distintas combinaciones funciona mejor como medio de filtración de sólidos suspendidos en ríos. Al contar con 2 factores en el estudio, una parte fundamental fue la realización del método de Tukey con 5% de significancia, logrando así definir la clasificación de datos y las diferencias significativas entre ellos. Gracias al método de Tukey, se determinó que hubo menos remoción de sólidos suspendidos con la mezcla 1 y se agruparon las mezclas que comparten la misma letra, teniendo estas medias significativamente similares. (Guzmán & Vélez, 2018)

La investigación previamente mencionada habla acerca de la aplicabilidad del método de Tukey con una significancia de 5%, porque esta prueba estadística permite realizar tanto conclusiones con base estadística como agrupamientos entre diferentes factores y tratamientos, lo que permite a los investigadores visualizar si hay diferencias significativas entre los distintos grupos de estudio o no, y permite delimitar cuáles si y cuáles no.

3.3 ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA NATIONAL SANITATION FOUNDATION

El Índice de la Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation, ICA-NSF, es un instrumento utilizado para definir la calidad de agua de un cuerpo de agua basado en parámetros físicos-químicos y biológicos; a través de las matemáticas los factores se ponderan y se convierten en uno solo dentro de un rango de 0 a 100.(Chidiac et al., 2023). El ICA-NSF ha evolucionado a través del tiempo; en 1970 se definieron 9 elementos para poder definir el índice de la calidad del agua siendo estos los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos totales, nitratos totales, turbiedad y total de sólidos. (Chidiac et al., 2023)

Tabla 1 – Rangos de calidad del agua para interpretar el ICA - NSF

Criterio de uso	Rango de Calidad
Excelente	90 - 100
Buena	70 – 89
Media	50 – 69
Mala	25- 49
Muy Mala	0 – 24

Fuente: (Solís, 2020)

Tradicionalmente, hay dos formas para la transformación de los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio a la escala básica que se suelen utilizar en el cálculo del ICA-NSF, ambas son mediante uno de dos promedios, el promedio aritmético ponderado (Ecuación 1), planteado por Brown en 1970, o el multiplicativo ponderado presentado en 1976 por Landwehr y Deininger. Se considera que el promedio multiplicativo ponderado (Ecuación 2) brinda una mayor exactitud a comparación del aritmético ponderado, ya que la fórmula se afecta más según resultados de los valores paramétricos, reflejando así la calidad del agua estudiada con mayor rigurosidad. (Solís, 2020)

$$I.C.A = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * W_i)$$

Ecuación 1 - Promedio Aritmético Ponderado

Fuente (Solís, 2020)

$$I.C.A = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{W_i})$$

Ecuación 2 – Promedio Multiplicativo Ponderado

Fuente (Solís, 2020)

El cálculo del Índice de la Calidad del Agua de manera tradicional brinda perspectiva respecto a los diferentes elementos que componen el índice, así como el funcionamiento del mismo, por lo que la investigación planteada en el párrafo anterior provee fundamentos para la investigación a realizarse así como un punto de vista más profundo para la aplicación del Índice de la Calidad del Agua brindando una comprensión profunda para saber de dónde provienen los valores y fórmulas utilizados para el cálculo del índice, brindándole así al investigador comprensión de la herramienta que será aplicada en la presente investigación.

3.3.1 HERRAMIENTA DE MS EXCEL PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA

La Herramienta de MS Excel para el cálculo del Índice de la Calidad del Agua realizada por Rowan McCarthy, estudiante de UNI. Bajo supervisión de su mentor, el Dr. Iqbal, profesor de UNI, McCarthy desarrolló una herramienta que automatizó el cálculo del Índice de la Calidad del Agua al evitar el cálculo del valor Q a mano, logrando calcularlo automáticamente cuando el usuario ingresa los resultados de las pruebas de laboratorio, convirtiendo dichos valores a los necesarios en la escala común utilizada, para luego brindar el resultado numérico del ICA-NSF, convirtiendo así algo que tomaba horas de trabajo a una actividad que apenas toma unos minutos.(McCarthy, 2022)

El uso de la Herramienta para el cálculo del Índice de la Calidad del Agua colaboró en la optimización del tiempo para los cálculos del ICA-NSF, de igual manera, al difundir la herramienta y permitir que esté al alcance de quién la necesite brinda la posibilidad de que usuarios ocasionales se vean más involucrados en el proceso de análisis del agua. Esta herramienta facilita el cálculo del índice al no solo reducir el tiempo que toma calcular el índice, si no que, al tener un alto porcentaje de confianza, reduce el porcentaje de error presente en los cálculos realizados, incrementando así la confiabilidad de los resultados del cálculo del ICA-NSF. (McCarthy, 2022)

Esta herramienta es una novedad que se implementará en el presente proyecto para simplificar el cálculo del Índice de la Calidad del Agua, optimizando así el tiempo invertido al realizar los cálculos y mejorando el porcentaje de confiabilidad del estudio, ya que al ser investigadores pocos experimentados el margen de error sería mayor si no

se contase con una herramienta que realice los cálculos pertinentes para poder definir la calidad del agua mediante el ICA-NSF. Evitar el procedimiento extenuante del cálculo de los subíndices mediante las curvas preestablecidas hace que el estudio sea más fidedigno al utilizar herramientas comprobadas.

3.3.2 PARÁMETROS DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

Gracias al uso del Índice de la Calidad del Agua en el Río Dulce de Guatemala se pudo concluir que la mayor parte de dicho río tiene una buena calidad, sin embargo, no es apta para ser consumida por los humanos debido a que los parámetros de aguas residuales no se respetan totalmente, ocasionando así un decremento en la calidad del agua del Río Dulce.(Robledo-Hernandez, 2022). Debido a lo observado de los parámetros y las conclusiones en la investigación mencionada anteriormente, que gracias al ICA-NSF se logró determinar que el agua apenas tiene buena calidad; Se definirán los parámetros que forman parte del ICA – NSF con el objetivo de utilizarlos en la presente investigación.

3.3.2.1 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es cuánto oxígeno, en estado gaseoso, se encuentra diluido en agua. Este es un parámetro de importancia cuya medición se requiere ya que, debido a que las especies acuáticas requieren oxígeno para sobrevivir, la falta de oxígeno puede ocasionar muertes, disminución en el desarrollo, malformaciones de crías, todo lo previamente mencionado generando cambios en los cuerpos acuáticos. Debido a lo anterior, es importante tener una medida de la cantidad de oxígeno disuelto que hay en el cuerpo de agua a estudiar. El oxígeno disuelto se mide en ppm o mg/L (miligramos por litro). (*Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (OD)*, s. f.)

El OD es de los más significativos al medir la calidad del agua, ya que permite dar un diagnóstico general al brindar información de cuánto oxígeno disuelto hay disponible para que los organismos dentro del agua sobrevivan; la cantidad de oxígeno disuelto presente en un cuerpo acuático es directamente proporcional a la cantidad y tipo de organismos presentes, siendo estos, de igual manera, proporcionales a la calidad del agua del cuerpo de agua. (EPA, 2021a)

Tabla 2 - Rangos de Oxígeno Disuelto

Nivel de Oxígeno Disuelto (mg/L)	Condición de supervivencia de peces	Significado
OD > 5	Favorece la supervivencia	Favorece la reproducción, desarrollo y movimiento de los peces
OD <5	Supervivencia estresante	Dificulta la reproducción, desarrollo y movimiento de los peces
OD <3	Demasiado baja para sobrevivir	Insuficiente para mantener la vida
OD <1	Hipoxia	Carente de vida

Fuente: (EPA, 2021a)

3.3.2.2 Coliformes Fecales

Los coliformes fecales, también denominados coliformes termotolerantes, son parte del grupo de coliformes totales, la presencia de este indicador microbiológico cuya existencia se asocia con la presencia de contaminaciones de heces fecales, ya sea provenientes de personas, animales o como consecuencias de procesos agrícolas. (DEFINICIONES_ACRONIMOS.pdf, s. f.)

Los coliformes termo tolerantes están compuestos por E. coli, principalmente, así como por Citrobacter freundii y Klebsiella pneumonia menos frecuentemente. La existencia de coliformes termotolerantes en agua significa que hay contaminación fecal, donde E. coli es la más importante, ya que representa de 90% a 100%. (Larrea-Murrell et al., 2012). En el criterio de calidad de agua de uso recreacional realizado por la EPA, de E. coli, se recomienda una media geométrica no mayor de de 126 ufc por cada 100 mL. (EPA, 2021b)

3.3.2.3 pH

El pH es un indicador de distintas sustancias, que define en una escala logarítmica entre valores de 0 a 14 si el agua es ácida, alcalina o neutra. El decremento del pH es proporcional a la acidez e inversamente proporcional a la alcalinidad del agua. Tener conocimiento del pH del agua es de importancia ya que este brinda información acerca del estatus del agua y de posibles consecuencias de haber valores extremos, tales como fallos en procesos químicos, lesiones corporales, toxicidad presente, entre otros, por lo cual conocer el pH en los cuerpos de agua a estudiarse brinda un panorama más completo de la calidad del agua. (*Folleto Informativo pH*, s. f.)

Se recomienda que el criterio de agua de pH esté dentro del rango de un mínimo de 6.5 a un máximo de 9.0 unidades de pH, determinado por la EPA. Se debe tomar en cuenta que el pH dependerá de su vida acuática, así como del sistema de agua particular al que pertenezca, por ejemplo, si el sistema es agua dulce o agua salada existirá una variación. (EPA, 2021c)

3.3.2.4 Temperatura

La temperatura afecta las moléculas acuáticas, por lo que es un parámetro importante para medir cuando se desea analizar la calidad del agua. Este parámetro es de gran importancia ya que afecta varios otros parámetros, como ser el oxígeno disuelto y qué tan rápido se generan procesos biológicos como la fotosíntesis o el metabolismo de ciertos seres acuáticos; el afectar estos parámetros genera un efecto en cadena, ya que estos afectan la calidad del agua donde están presentes. (*Folleto Informativo Temperatura*, s. f.)

El tener un rango como criterio para determinar la temperatura en agua fresca es complicado, ya que no existe un valor constante, si no que el criterio depende grandemente en los organismos acuáticos presentes en el ambiente. Existen dos tipos limitantes de temperatura para el agua dulce, el primero es la temperatura máxima para exposición de corta duración y el segundo es la temperatura media semanal máxima. Los limitantes de temperaturas máximas recomendadas se hicieron tomando 4 especies delicadas que habitan en aguas dulces de Estados Unidos e introduciéndolos a una tabla, los máximos de esta están en la tabla 3. (EPA, 2021d)

Tabla 3 - Temperaturas máximas recomendadas para la sobrevivencia de especies en agua dulce

Temperatura media semanal máxima	Temperatura máxima para exposición de corta duración	Temperatura media semanal máxima para desove	Temperatura máxima para exposición de corta duración para desove de embriones
32 °C (90 °F)	35 °C (95 °F)	27 °C (81 °F)	33 °C (81 °F)

Fuente: (EPA, 2021d)

3.3.2.5 *Demanda Bioquímica de Oxígeno*

Respecto en análisis de agua, la prueba de demanda bioquímica de oxígeno consiste en medir cuánto oxígeno consumen organismos microscópicos por 5 días a una temperatura de 20 grados Celsius sin la presencia de oxígeno. (DEFINICIONES_ACRONIMOS.pdf, s. f.)

La DBO es proporcional a la contaminación, entre más DBO hay más contaminación. Asimismo, la DBO afecta directamente la cantidad de OD presente en cuerpos acuáticos, ya que entre mayor sea la DBO, más rápido se agotará el oxígeno en un cuerpo de agua, es decir, la DBO es inversamente proporcional al OD en el agua. Los resultados de tener una DBO elevada son las mismas que el tener OD bajo, la vida acuática no es fomentada, por lo que se generan problemas para los animales y plantas acuáticas, así como su hábitat. (EPA, 2012)

Las concentraciones de la prueba de DBO₅ pueden variar de menos de 5mg/L a más de 20,000mg/L dependiendo la industria. Una DBO de menos de 5mg/L se puede encontrar en cuerpos de agua naturales no contaminados, mientras que se considera que la DBO de un alcantarillado doméstico tiene entre 100 a 300 mg/L. (Boyd, 2014)

SEMARNAT, en el Compendio de Estadísticas Ambientales de 2012, utiliza la siguiente escala de clasificación para varios de los criterios requeridos para obtener el ICA. La tabla debajo contiene la clasificación para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). (SEMARNAT, 2012)

Tabla 4 – Rangos para clasificación de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Demanda Bioquímica de Oxígeno		
Criterio (mg/L)	Calidad	Significado
DBO \leq 3	Excelente	No hay contaminación.
3<DBO \leq 6	Buena Calidad	Bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
6<DBO \leq 30	Aceptable	Señal de contaminación, aguas que pueden auto depurarse o que reciben descargas de aguas residuales tratadas.
30< DBO \leq 120	Contaminada	Mala calidad con descargas de aguas residuales sin tratamiento.
DBO> 120	Fuertemente contaminada	Mala calidad con alto impacto de descargas de aguas residuales tanto municipales como no municipales.

Fuente: (SEMARNAT, 2012)

3.3.2.6 Fosfatos Totales

Se mide la concentración de fósforo a través de los fosfatos totales dentro de cuerpos de agua debido a que este es un factor que aporta a la eutrofización de los cuerpos acuáticos, convirtiéndose así en un factor restrictivo de nutrientes para los organismos que los necesitan. (*Fosforos_totales_13.pdf*, s. f.)

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, SEMARNAT, menciona que los fósforos, o fosfatos, totales ideales para que no se desarrolle vida silvestre indeseada en el hábitat, así como para poder tener un control sobre la eutrofización en los cuerpos de agua, los niveles deseados de fosfatos totales en aguas superficiales, específicamente en ríos y arroyos, debería ser de máximo 0.1 mg/L, en condiciones ideales. (SEMARNAT, 2009)

3.3.2.7 Nitratos Totales

Los nitratos totales están compuestos por distintos tipos, como ser, nitrito, amoníaco tanto ionizado como no ionizado, entre otros; este parámetro es medido como para calcular el ICA-NSF debido a que es un componente sencillamente utilizado por ciertos organismos acuáticas como fuente de nutrientes. Así como los fosfatos totales, una concentración irregular de nitratos totales puede aportar a la eutrofización de cuerpos acuáticos, por lo que es importante monitorear estos niveles al analizar la calidad de cuerpos de agua como ser ríos, lagos, entre otros. (*Nitrogenos_totales_13.pdf*, s. f.)

En La Rioja, España, realizaron una investigación espacio – temporal acerca de la cantidad de nitratos, tanto en aguas superficiales como en aguas terrestres, en la cuenca del Rio Oja. En dicha investigación se menciona que cualquier agua con nitratos superiores a 50 mg/L se consideran contaminadas. (Arauzo et al., 2006)

3.3.2.8 Turbiedad

La turbiedad es una propiedad determinada de manera visible, esta dictamina, según la cantidad de la presencia de suspensión, cuánta luz será redireccionada en vez de pasar a través de las suspensiones presentes que bloquean el paso. Es importante recordar que es importante que la luz del sol logre llegar a los cuerpos acuáticos, ya que es necesaria para la producción de algunos procesos biológicos de ciertos seres acuáticos. (*DEFINICIONES_ACRONIMOS.pdf*, s. f.)

La turbiedad es proporcional a la nubosidad del agua que se estudia, entre más turbiedad hay presente, hay mayor nubosidad en el agua. El criterio recomendado para la turbiedad, según la EPA, es que ni los sedimentos ni los sólidos suspendidos reduzcan el punto de compensación de actividad fotosintética a más del 10% de lo establecido para la vida acuática, ya que entre más turbiedad haya, las plantas recibirán la luz del sol de manera menos directa, reduciendo así su capacidad fotosintética. (EPA, 2021e)

3.3.2.9 Total de Sólidos Suspendidos

La prueba de sólidos totales suspendidos, o total de sólidos, se realiza al evaporar y secar el agua a 103 grados Celsius y el resultado, la cantidad total de sólidos, son los elementos residuales que quedaron. Esta prueba se realiza debido a que es importante

saber la cantidad de sólidos hay presentes en los cuerpos de agua, ya que esto puede ayudar a determinar si hay cambios hidrológicos en los cuerpos acuáticos o sus corrientes. (Universidad Tecnológica de Panamá, 2006)

SEMARNAT, en el Compendio de Estadísticas Ambientales de 2012, utiliza la siguiente escala de clasificación para varios de los criterios requeridos para obtener el ICA. La tabla debajo contiene la clasificación para los sólidos suspendidos totales (SST). (SEMARNAT, 2012)

Tabla 5 – Rangos para clasificación de Sólidos Suspendidos Totales

Sólidos Suspendidos Totales (SST)		
Criterio (mg/L)	Calidad	Significado
SST ≤ 25	Excelente	Muy buena calidad
25 < SST ≤ 75	Buena Calidad	Bajo contenido de SST, índole natural. Favorece el mantenimiento de la vida silvestre acuática.
75 < SST ≤ 150	Aceptable	Señal de contaminación, descargas de aguas residuales tratadas, condición para peces, peligro para agricultura.
150 < SST ≤ 400	Contaminada	Mala calidad con descargas de aguas residuales sin tratamiento.
SST > 400	Fuertemente contaminada	Mala calidad con alto impacto de descargas de aguas residuales tanto municipales como no municipales, alta contaminación, malas condiciones para vida silvestre.

Fuente: (SEMARNAT, 2012)

3.3.3 PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA NACIONAL DE USOS DE AGUA

La República de Honduras, junto con la Secretaría de Salud y CAPRE, realizó la propuesta de la Norma Técnica Nacional para Agua que abarca los siguientes usos: para

cultivos y ganadería, para entretenimiento, preservación del ambiente de vegetación y animales (calidad básica del agua), acuicultura y provisión de comunidades. (República de Honduras, 2001)

El artículo 23 de la Propuesta de la Norma Técnica Nacional se enfoca en la utilización del agua específicamente para el mantenimiento de la flora y la fauna que habita en el cuerpo de agua que se desea analizar. Esta norma denomina que los usos de agua para mantener la vida silvestre son los mismos utilizados para definir la calidad básica del agua, encontrados en la tabla 6. (República de Honduras, 2001)

Tabla 6- Parámetros de la Propuesta de Norma Técnica Nacional para agua de uso en Preservación de Flora y Fauna (calidad básica del agua)

Parámetro	Valor Máximo Permisible
Potencial Hidrogeno (pH)	4.5 - 9.5
Materia flotante	Ausente
Oxígeno Disuelto	3.00 mg/l
DBO	15.00 mg/l
DQO	50.00 mg/l
Nitrógeno Amoniacal	2.00 m
Nitratos	50.00 mg/l
Nitritos	3.00 mg/l
Sulfatos	400.00 mg/l
Manganeso	0.50 mg/l
Zinc	3.00 mg/l
Cobre	0.20 mg/l
Níquel	0.20 mg/l
Plomo	0.10 mg/l
Mercurio	0.001 mg/l
Cadmio	0.005 mg/l
Cromo Total	0.05 mg/l
Arsénico	0.05 mg/l
Cianuro	0.07 mg/l
Fluoruros	0.70 mg/l
Selenio	0.02 mg/l
Hidrocarburos	0.20 mg/l
Coliforme total (NMP)	25000 (100 ml)
Coliforme Termo tolerante (NMP)	5000 100 ml
Actividad Alfa	0.1 Bq/l
Actividad Beta	1.0 Bq/l
Plaguicidas Organoclorados	0.2 mg/l
Plaguicidas Organofosforados	0.1 mg/l

Fuente: (República de Honduras, 2001)

La Propuesta de la Norma Técnica Nacional para Usos del Agua brinda lineamientos establecidos por entes gubernamentales acerca de los parámetros y criterios, así como los valores permisibles, requeridos para que el agua sea realmente apta según el uso al que esta se quiera destinar. La existencia de esta norma propuesta es importante para tener un estándar nacional contra el cuál comparar resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, obteniendo así datos que permiten la comprensión de si los resultados obtenidos cumplen o no con los parámetros y valores indicados por la Propuesta de Norma Técnica Nacional, así como qué tan alejado está el resultado del valor ideal.

3.4 TRIANGULACIÓN POR EXPERTOS

La triangulación por expertos es una metodología implementada en investigaciones con el objetivo de incrementar la calidad en investigaciones, así como para respaldar los resultados obtenidos luego de la realización de la investigación; para que estos resultados sean considerados aceptables los expertos deben de brindar su guía y aprobación, no solamente al momento de presentar los resultados si no que a través de la duración de toda la investigación.(Aguilar Gavira & Barroso Osuna, 2015)

Se utilizó la triangulación de investigadores para una investigación de bienestar cognitivo en prisiones, dentro del mismo se menciona que lo ideal es que el grupo escogido, de mínimo 3 personas, sea un grupo multidisciplinario, para poder reducir inclinaciones o prejuicios presentes en investigaciones donde se sigue el criterio de solamente una persona. Los resultados, así como el proceso de obtención de datos, será analizado por cada experto, para que, posteriormente, se pueda comparar la retroalimentación brindada luego del consenso entre investigadores. (Benavides & Gómez-Restrepo, 2005)

La triangulación, o validación, por expertos brinda un elevado de nivel de calidad a las investigaciones en las que se aplica, ya que significa que dicha investigación se realizó con el acompañamiento de, mínimo, 3 profesionales, así como se menciona en la investigación planteada en el párrafo anterior. Debido a los amplios temas que componen una investigación, y a lo expuesto previamente, se denota la gran importancia de un equipo multidisciplinario que genere opiniones no sesgadas respecto al trabajo

realizado en todo momento crucial de la investigación, proveyendo retroalimentación para la mejora de la investigación tanto al final como durante el transcurso de esta.

IV. METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE

Esta investigación se realizó con un enfoque cuantitativo. La investigación cuantitativa indaga en establecer conexiones y relaciones entre variables analizadas para así medir la correlación entre ellas, obteniendo conclusiones que puedan objetivarse y generalizarse. (Hernández Sampieri & Fernandez-Collado, 2014). Para esta investigación, se seleccionó el enfoque cuantitativo debido a que los objetivos se cumplieron mediante el uso de herramientas de ingeniería involucrando la recolección y análisis de datos para brindar resultados medibles, los cuales se utilizarán para obtener conclusiones precisas y concretas.

4.1.1 ALCANCE

La presente investigación cuenta con un alcance experimental. Un diseño experimental tiene como objetivo identificar la existencia de variaciones en los resultados de diversos tratamientos empleados en un experimento, para luego comprender las diferencias encontradas (Nicolás, s. f.). En esta investigación, se aplicarán principios de diseño de experimentos, con resultados provenientes de varias muestras, implicando el alcance experimental.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

4.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes en un estudio de investigación son conocidas como las variables explicativas, refiriéndose a que son los elementos que cuentan con la capacidad de explicar las variables dependientes (Cauas, s. f.). Para la realización del presente estudio, se determinaron como variables independientes la contaminación de los ríos a causa de las zonas urbanizadas y la entrada y flujo de aguas residuales en el río.

- Contaminación de zonas urbanizadas: contaminantes afectando el río proveniente de las zonas urbanizadas cercanas y de la actividad humana diaria.
- Entrada y flujo de aguas residuales: caída directa de aguas residuales en el río.

4.2.2 VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables dependientes son aquellas que se desean explicar a través de un estudio o investigación, por ende, son el objeto que se trata de interpretar en una investigación (Cauas, s. f.). Dicho esto, se definió la variable dependiente como la siguiente:

- Índice de calidad del agua: resultado del análisis de calidad del agua, indicando el nivel dentro del índice del ICA – NSF.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

4.3.1 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

- Cámara: con el uso de una cámara de celular para tomar las imágenes necesarias en los puntos de muestreo del río.
- Frascos plásticos de 1.1 litros: frascos estériles de 1.1 litro adecuados para la toma de muestras correcta del agua.
- pH-metro: mide el pH de una solución para determinar si esta es alcalina o ácida.
- Cono de Imhoff: instrumento utilizado para la separación de sólidos y líquidos efectivamente.
- Tubos de ensayo: recipiente de cristal cerrado de un extremo, utilizado para llevar a cabo experimentos y análisis de laboratorio.
- Frasco Winkler: recipiente calibrado de laboratorio, diseñado para determinar valores de la cantidad de oxígeno en una disolución.
- Turbidímetro: aparato de laboratorio utilizado para medir la turbidez de un líquido.
- Probeta graduada: instrumento necesario para medir la cantidad exacta de agua, proveniente de las muestras, para determinadas pruebas de laboratorio.
- Beakers de 50mL: contenedor utilizado para mantener el agua ya medida previa a realización de pruebas de laboratorio, así como para mezclar soluciones de agua destilada y agua proveniente de las muestras de ser necesario.

- Frasco transparente 10mL tapa rosca: frasco de 10mL que corresponde a la máquina designada para su análisis, como ser turbidímetro o espectrofotómetro.
- Embudo: utilizado como apoyo para trasladar el agua del frasco de muestra a la probeta graduada
- Micropipeta: utilizada para medir las muestras de agua en cantidades muy pequeñas.
- Puntas estériles para micropipeta: utilizada para que la recolección de cada muestra sea lo más estéril posible, evitando así contaminación cruzada.
- Mechero: utilizado para mantener un campo estéril al momento de analizar muestras.
- Erlen Meyer: Frasco estéril donde se realizan las diluciones de muestra con agua estéril.

4.3.2 TÉCNICAS APLICADAS

- Pruebas de laboratorio y métodos estandarizados en un laboratorio especializado.
- Pruebas in – situ: pruebas realizadas al momento de la toma de muestras con equipo de campo.
- Minitab: software de estadística que permite el análisis de datos complejos presentando resultados en gráficas y tablas visuales.
- Análisis de varianza (ANOVA): técnica de estadística empleada para la comparación de medias de tres o más grupos con el propósito de determinar la existencia de diferencias significativas entre ellas.
- Herramienta de MS Excel para el cálculo del Índice de la Calidad del Agua
- Método de refluo para determinar el DQO: técnica de laboratorio por la cual, bajo ciertas condiciones y reactivos como el dicromato de potasio, se puede concluir cuánto oxígeno se requiere para la oxidación de sustancias orgánicas en muestras de agua de agua.
- Digestor de DQO: máquina donde se insertan los viales de DQO para ser procesados.
- Incubadora: dispositivo utilizado para mantener e impulsar el crecimiento de cultivos celulares o microbiológicos.

- Espectrofotómetro: dispositivo portátil empleado para la medición de nitratos y fosfatos tanto en agua como en líquidos.
- Medidor de oxígeno disuelto: dispositivo utilizado para la medición de oxígeno y temperatura disuelto.

4.4 MATERIALES

- Guantes de látex: tipo de guante de material de elastómeros, utilizados principalmente en trabajos que involucren elementos químicos o limpieza.
- Dicromato de potasio: reactivo químico, empleado en estudios como agente oxidante.
- Filtros de membrana: tecnología que se utiliza en la filtración de partículas líquidas o retención de moléculas.
- Viales de DQO: Viales de DQO: frascos utilizados en las pruebas de DQO, diseñados para evitar derrames del reactivo.
- Frascos de muestras previamente esterilizados: frascos que han pasado por el proceso de esterilización permitiendo su uso en pruebas de laboratorio.
- Placas Petri: recipiente de plástico o vidrio de forma redonda, utilizado en el estudio de microorganismos.
- Placas prefabricadas de E. Coli: placas utilizadas para realizar la prueba de E. Coli con mayor rapidez.
- Reactivos de fosfatos: reactivos utilizados en las pruebas de fosfatos.
- Reactivos de nitratos: reactivos utilizados en las pruebas de nitratos.
- Filtros de pH: pedazo de papel tornasol, empleado en la medición de valores de pH de un líquido.
- Agua destilada: agua utilizada para la limpieza de instrumentos, así como para la creación de soluciones que permite la lectura de ciertas muestras.
- Papel lente: necesario para la limpieza de los frascos transparentes de 10mL tapa rosca previo a ingresarlos a la maquinaria correspondiente.
- Agua estéril: Agua esterilizada dónde se diluyen las muestras para su estudio.
- Fósforos: utilizados para encender el mechero.
- Gas: combustible cuyas tuberías están instaladas en el laboratorio de química de UNITEC a dónde se conectan los mecheros.

4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

4.5.1 POBLACIÓN

Para este estudio se delimitó la población en las 4 estaciones del río siguientes:

Estación 1: La estación 1 está ubicada a aproximadamente 11.72km del nacimiento del Río San José con las siguientes coordenadas: 14°01'27.7"N 87°12'31.2"W. Esta estación se escogió para poder tener mediciones del agua previo a su ingreso a la ciudad a través de la zona Sur de Tegucigalpa.

Estación 2: La estación 2 está ubicada a aproximadamente 1.81km de la primera estación ubicada en las siguientes coordenadas: 14°01'58.4"N 87°12'25.1"W. Se seleccionó esta estación debido a que se sospecha que cierta empresa avícola desecha sus residuos en esta parte del río, por lo que vale la pena estudiar la calidad que el agua del Río San José tiene en este punto.

Estación 3: La tercera estación de estudio es en el puente principal que dirige hacia la Colonia Río Grande Sur cuyas coordenadas son: 14°02'52.2"N 87°12'25.0"W y se encuentra a aproximadamente 2.08km de la estación anterior. Se escogió debido a que en esta zona se encuentran varias colonias, como la Col. Río Grande Sur, que desechan sus aguas residuales en el cuerpo acuático a estudiar, ya sea porque sus colectores de aguas residuales se encuentran en mal estado o porque no han sido construidos todavía.

Estación 4: La cuarta estación está separada de la tercera estación por 3.75km aproximadamente y se escogió debido a que es una estación cerca de la desembocadura del Río San José al Río Choluteca, a menos de 400 metros de dicho punto. Las coordenadas de esta estación son: 14°03'51.8"N 87°12'06.1"W.

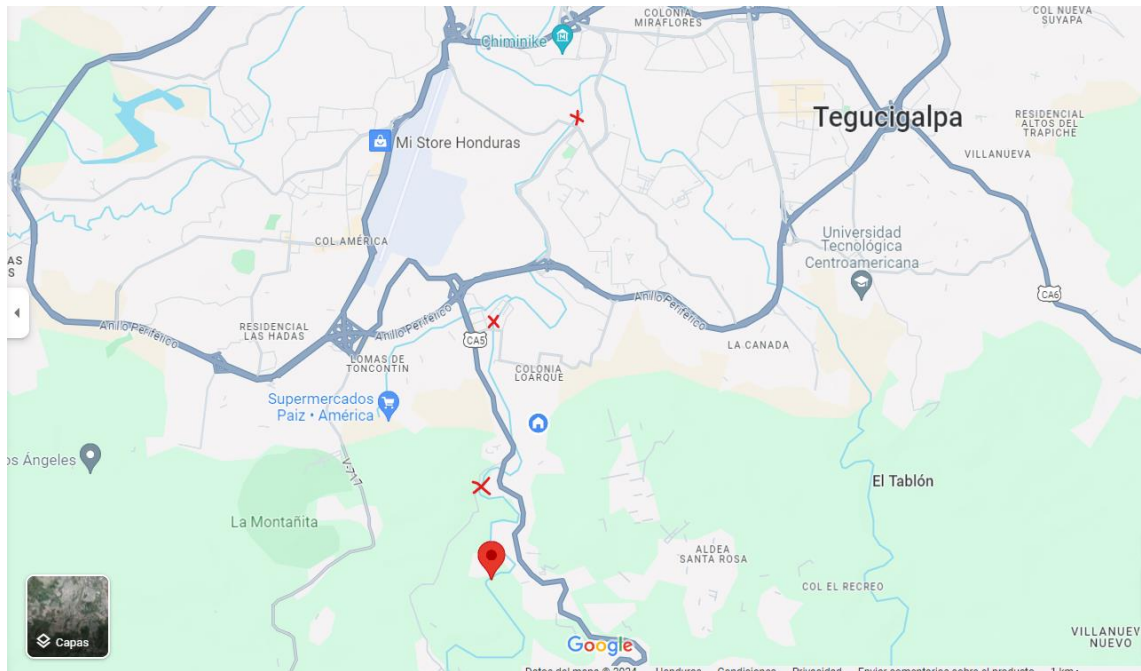


Ilustración 1 - Mapa de las 4 estaciones para toma de muestras del Río San José

Fuente: Elaboración propia. Información obtenida de Google Maps.

Los criterios tomados en cuanto para la decisión de utilizar 4 estaciones fueron la constante asesoría por parte de expertos en el rubro y CESSCO, la validación estadística mediante el análisis de varianzas y el principio de toma de muestras antes de la entrada del río a urbanizaciones, durante el trayecto de urbanización y el punto antes de la desembocadura.

4.5.2 MUESTREO

Para la investigación se realizará un muestro no probabilístico por conveniencia. El muestreo por conveniencia, pese a que no permite la generalización de los resultados para toda la población, permite la selección de casos accesibles para el investigador, proveyendo así la facilidad para la toma de muestras, ya que, por situaciones externas, tales como geográficas, físicas y socioculturales, ciertas áreas del objeto de estudio, el Río San José, se encuentran fuera de límites. (Otzen & Manterola, 2017)

Algunos de los principales motivos para realizar muestreo por conveniencia para escoger la cantidad de estaciones es que, de no ser así, puede que llegasen a existir estaciones que se crucen con otros cuerpos acuáticos donde no se pueda confirmar que el agua a analizar pertenece al río estudiado, asimismo, la toma de muestras es directamente

proporcional al costo de la investigación, por lo que incrementar demasiado las muestras puede llegar a sobrepasar el presupuesto destinado a la investigación.

Igualmente, respecto a la toma de muestras, ya que la mayoría de las pruebas se realizarán de manera personal en el laboratorio de UNITEC campus Tegucigalpa, el hacer dichas pruebas está sujeta a la disponibilidad del laboratorio e instructores, los cuales son recursos de uso común para la población universitaria. Además, se considera la capacidad de análisis del laboratorio externo y la situación de seguridad ambiental a la que se enfrenta Honduras a nivel país.

4.5.2 MUESTRA

La muestra de la investigación serán 4 estaciones, donde se tomarán 12 muestras por cada estación, siendo un total de 48 muestras a recolectar.

4.5.3.1 Muestra con relación al Número de Estaciones

Las 4 estaciones de la investigación, escogidas mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, según criterios científicos de partes del río antes del ingreso a la urbanización, en el trayecto de la ciudad y antes de desembocar de la misma, son las siguientes:

Estación 1: 14°01'27.7"N 87°12'31.2"W.

Estación escogida para tener conocimiento de la calidad con la que el agua del Río San José entra a Tegucigalpa.

Estación 2: 14°01'58.4"N 87°12'25.1"W.

La segunda estación se escogió para ver cómo cambia la calidad del agua luego de atravesar una parte de la zona industrial del sur.

Estación 3: 14°02'52.2"N 87°12'25.0"W

Estación escogida para analizar cuál la calidad del agua luego de pasar por distintas colonias de numerosos habitantes, colonias cuyos colectores de aguas residuales todavía no han sido construidos, están en mal estado o completamente rotos.

Estación 4: 14°03'52.5"N 87°12'06.8"W.

Estación seleccionada para obtener datos de cómo entra el agua del Río San José al Río Choluteca, ya que está a menos de 400 metros de dicha desembocadura.

4.5.3.2 Muestra con relación al Número de Tomas por Estación

La cantidad total de tomas de muestras a realizarse serán 48 muestras, divididas de la siguiente manera:

Tabla 7 – Cantidad de tomas de muestras según la estación y lugar de análisis

Tipo de toma Estación	1.1L para análisis en UNITEC	1.1L para análisis externo	Muestra en frasco estéril para análisis en UNITEC
1	4	4	4
2	4	4	4
3	4	4	4
4	4	4	4

Fuente: Elaboración propia

Muestras de 1.1L serán 32 las tomadas, ya que en las 4 estaciones se realizarán 8 tomas de muestras por estación. 4 muestras de cada estación se dirigirán al laboratorio de análisis externo, para poder hacer la prueba especializada de DBO₅, mientras que las 4 muestras restantes de cada estación serán analizadas en el laboratorio de química de UNITEC.

Aparte de las 32 muestras anteriormente mencionadas, se tomarán 4 muestras en frascos estériles para realizar la prueba de coliformes fecales. Por ende, el total de muestras recolectadas será de 48 muestras, siendo 32 muestras en frascos de 1.1L y 16 muestras en frascos estériles para mayor confianza en los análisis realizados.

4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

El desarrollo de la investigación comenzó con la definición de puntos estratégicos para la toma de muestras para el llevado a cabo de las pruebas de laboratorio y estudio

estadístico. Los puntos fueron escogidos según su flujo de afuera de la ciudad hasta llegar a zonas más urbanizadas, tomando en cuenta la posible contaminación en las distintas estaciones de muestra y la distancia entre estas.

Con el uso de instrumentos de laboratorio validados para la toma de muestras, estas fueron recogidas y llevadas dentro de las normas adecuadas hacia los laboratorios. Con la ayuda de expertos, se realizaron las debidas pruebas de las muestras del río, hasta obtener todos los resultados necesarios. Tras obtener los resultados de laboratorio, se llevó a cabo el análisis estadístico para determinar las similitudes entre las muestras, obteniendo valores globales para utilizar en el cálculo del índice de calidad del agua.

Con el uso de la herramienta de MS Excel de cálculo para el índice de calidad del agua, se obtuvo un resultado, permitiendo interpretarlo según las normas establecidas por el NSF, concluyendo en un índice de calidad de agua para el río San José. Por último, se empleó la validación por triangulación por expertos para validar que los procedimientos realizados se emplearon de la manera correcta.

4.7 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Con el fin de garantizar la confiabilidad y veracidad científica del estudio, se empleó la técnica de validación por la triangulación de expertos. Este método se aplicó a lo largo de la investigación, comenzando por la validación del uso de los instrumentos utilizados para la recolecta de datos necesarios. Posteriormente, con este método se logró emplear de manera correcta las técnicas utilizadas en el estudio, y se afinaron detalles de la investigación con expertos en el campo de estadística, química y laboratorio.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS

5.1.1 RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO

5.1.1.1 Resultados de Oxígeno Disuelto

Debido a la limitación temporal y disponibilidad de laboratorio, se decidió tercerizar la prueba de Oxígeno Disuelto en un laboratorio externo de carácter municipal, con apoyo de personal de laboratorio calificado para la realización de dicha prueba. Los resultados brindados por el laboratorio municipal se pueden observar en el Anexo 2, sin embargo, los resultados específicos para el Oxígeno Disuelto se encuentran en la tabla 8:

Tabla 8 - Resultados de laboratorio de Oxígeno Disuelto

Parámetro	No. Muestra	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Muestra 1	4.84	7.91	4.76	0.52
	Muestra 2	5.17	7.84	4.87	0.18
	Muestra 3	5.38	7.84	4.51	0.17
	Muestra 4	5.24	7.86	4.93	0.15

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se observa que el OD la estación 2 es el más alto, como se menciona en el estado del arte, puede ser porque al tener muchas rocas y caídas del agua, se permite una mayor aireación. Al comparar los resultados de OD con los rangos de la tabla 2, las estaciones 1 y 2, al tener la mayoría de los resultados de OD mayores a 5 mg/L, favorecen la supervivencia de la vida acuática. Como la estación 3 tiene valores entre 3 y 5 mg/L, las especies en esta estación tienen una supervivencia estresante. Como la estación 4 indica hipoxia, posiblemente carezca de vida acuática. Según lo planteado en el estado del arte, los niveles de las estaciones 3 y 4 son perjudiciales para la vida acuática.

5.1.1.2 Resultados de Coliformes Fecales

Las pruebas de coliformes fecales se realizaron en el laboratorio de química de UNITEC, bajo supervisión y dirección de la ingeniera encargada del laboratorio de química. Primeramente, se esterilizó el área de trabajo lo más posible, se apagó el aire acondicionado para evitar contaminación cruzada, asimismo, se utilizaron 2 mecheros en medio del área de trabajo para evitar contaminación externa. Luego del pilotaje de las pruebas iniciales dónde las muestras no se diluyeron, lo que no permitió la contabilización de las colonias, para obtener los resultados finales las muestras se diluyeron con agua estéril de la siguiente manera:

1. Estación 1 – Germania – 1/50 (1mL de muestra y 50mL de agua estéril)
2. Estación 2 – El Cortijo – 1/75 (1mL de muestra y 75mL de agua estéril)
3. Estación 3 – Loarque – 1/75 (1mL de muestra y 75mL de agua estéril)
4. Estación 4 – San José de la Vega – 1/75 (1mL de muestra y 75mL de agua estéril)

Tabla 9 - Resultados de laboratorio de Coliformes Fecales

Parámetro	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Coliformes Fecales (ufc)	1500	1200	3150	1875

Fuente: Elaboración propia

La tabla 9 contiene los resultados obtenidos de laboratorio de las pruebas de coliformes fecales. Todos los valores de los resultados de coliformes fecales están fuera del valor ideal establecido por el criterio de la EPA respecto al agua que se utiliza con fines recreativos, ya que se recomienda una media no mayor a 126 ufc por cada 100mL, como se indica en el estado del arte. Como se observa en el anexo 11, las colonias en las placas son abundantes, y los valores de todas las estaciones están más de 15 veces sobre el recomendado; estos valores tan elevados contribuyen al olor fétido del río y pueden ser causantes de enfermedades animales y humanas, poniendo en riesgo su integridad física.

5.1.1.3 Resultados de pH

El pH de las muestras recolectadas se midió in-situ, es decir, el momento de la toma de la muestra, para evitar discordancias entre el valor obtenido y el real, porque a medida que pasa el tiempo, el pH podría verse afectado por la temperatura de almacenamiento de las muestras. Para medir el pH in-situ se utilizó un pH-metro de campo del laboratorio de química de UNITEC, como se observa en el anexo 3. El pH-metro se limpiaba con agua destilada y se secaba con papel toalla, después de cada muestra, para evitar contaminación cruzada en los resultados.

Tabla 10- Resultados in-situ de pH

Parámetro	No. Muestra	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
pH	Muestra 1	6.5	6.96	5.88	6.48
	Muestra 2	6.92	6.45	5.87	6.36
	Muestra 3	5.63	6.36	7.04	6.25
	Muestra 4	6.76	6.32	5.9	6.38

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se observa que el valor mínimo de cada estación es de 5.63, 6.32, 5.87 y 6.25, respectivamente; los valores mínimos entre las muestras de cada estación son menores al valor recomendado, como indicado en el estado del arte, ya que el mínimo recomendado es de 6.5 unidades. Los máximos de cada estación son los siguientes: 6.92, 6.96, 7.04 y 6.48, respectivamente; Las estaciones 1, 2 y 3 están dentro del rango establecido en el estado del arte, que es de 6.5 a 9.0 unidades, resultados mayormente inclinados al límite inferior, sin embargo, el máximo de la estación 4 al ser 6.48 no entra al rango ideal, lo que puede afectar gravemente la vida silvestre de la estación.

5.1.1.4 Resultados de Temperatura

La temperatura de las muestras recolectadas se midió in-situ, es decir, el momento de la toma de la muestra, para evitar discordancias entre el valor obtenido y el real, porque debido que el almacenamiento de las muestras es en hielo, la temperatura real se vería afectada. Para medir la temperatura in-situ se utilizó un pH-metro de campo del laboratorio de química de UNITEC, como se observa en el anexo 3. El pH-metro se

limpiaba con agua destilada y papel toalla, después de cada muestra, para evitar contaminación cruzada en los resultados.

Tabla 11 - Resultados in-situ de temperatura

Parámetro	No. Muestra	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Temperatura (Grados Celsius)	Muestra 1	23.6	24.5	24.6	25.5
	Muestra 2	24.1	24.1	25.1	25.4
	Muestra 3	23.5	23.9	25.2	24.9
	Muestra 4	23.9	24.7	24.7	25.6

Fuente: Elaboración propia

Realmente no existe un criterio para determinar cómo se encuentra la temperatura en agua fresca, ya que esta se ve afectada por factores externos variables, como la luz solar, la precipitación y la hora del día, mencionado en el estado del arte. La temperatura se toma en cuenta ya que este factor afecta a otros, tales como el OD y la DBO, y dependiendo de la combinación con los otros parámetros la vida acuática puede verse afectada. En la tabla 3 pueden observarse las temperaturas máximas en las que especies delicadas de agua dulce podrían sobrevivir; las mostradas en la tabla 11 se encuentran dentro de todos los límites brindados en el estado del arte.

5.1.1.5 *Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno*

Debido a la limitación de temporal y tanto de equipo como disponibilidad de laboratorio, se decidió tercerizar la prueba de Demanda Bioquímica de Oxígeno en un laboratorio externo de carácter municipal, con apoyo de personal de laboratorio calificado para realizar dicha prueba. Los resultados compartidos por el laboratorio municipal se pueden observar en el Anexo 2, sin embargo, los resultados específicos para la Demanda Bioquímica de Oxígeno se encuentran en la tabla 12:

Tabla 12 - Resultados de laboratorio Demanda Bioquímica de Oxígeno

Parámetro	No. Muestra	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	Muestra 1	13.08	218.07	130.5	134.25
	Muestra 2	17.45	60.54	126.42	218.07
	Muestra 3	17.45	60.54	134.25	218.07
	Muestra 4	13.08	81.16	130.5	256.3

Fuente: Elaboración propia

La DBO proporcional a la contaminación, lo deseado son valores bajos, idealmente menores de 3 como se describe en el estado del arte. La estación 1 es la que mejores valores tiene, ya que son menores que el resto de las estaciones. Según la tabla 12, la estación 1 se encuentra en el tercer rango de clasificación de DBO, un rango aceptable, donde el agua tiene capacidad de autodepuración. La estación 2, en su mayoría, al encontrarse en el rango 3 se considera una estación contaminada, y a las estaciones 3 y 4 fuertemente contaminadas. Estos resultados son proporcionales al grado de urbanización presente por estación, ya que la primera está fuera de la ciudad, y la cuarta al final de esta, luego de pasar por colectores fecales rotos o inexistentes.

5.1.1.6 Resultados de Fosfatos Totales

Las pruebas de fosfatos totales se realizaron en el laboratorio de química de UNITEC, bajo supervisión de estudiantes con los conocimientos necesarios para la realización de dicha prueba. Al introducir las muestras iniciales de 10mL en el espectrofotómetro se indicaban valores fuera de los permitidos por el dispositivo, por lo que las muestras se diluyeron a 1/4 para obtener valores legibles. Al realizar las diluciones, se introducían al frasco transparente de 10mL designado del espectrofotómetro, se limpiaban con papel lente y se ingresaban de manera adecuada, el rombo de la tapa del frasco coincidente con la máquina. Los resultados bajo la configuración correcta son los siguientes:

Tabla 13 - Resultados de laboratorio de Fosfatos Totales

Parámetro	No. Muestra	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Fosfatos (mg/L)	Muestra 1	3.52	1.56	2.48	5
	Muestra 2	3.64	1.24	1.52	9.2
	Muestra 3	3.32	0.88	2.16	5.04
	Muestra 4	1.76	1.28	2.08	4.36

Fuente: Elaboración propia

Todos los valores de los resultados de fosfatos totales de las cuatro estaciones están fuera del valor ideal que la SEMARNAT indica para ríos y arroyos, ya que el indicado es de un máximo de 0.1mg/L, como se menciona en el estado del arte. Debido a que estos valores son tan elevados se puede ver el aporte del fosfato a la eutrofización de las estaciones, como se puede observar en el Anexo 4, ya que tanto el agua como sus alrededores está lleno de plantas y algas debido al exceso de nutrientes, lo que resulta contraproducente porque esta flora limita el paso de luz solar al agua, genera falta de oxígeno, altera el proceso de descomposición de organismos, lo que ocasiona que liberen toxinas, creando un desbalance ambiental para los organismos.

5.1.1.7 Resultados de Nitratos Totales

Las pruebas de nitratos totales se realizaron en el laboratorio de química de UNITEC, bajo supervisión de estudiantes con los conocimientos necesarios para la realización de dicha prueba. La mayoría de las muestras analizaron con el espectrofotómetro sin necesidad de dilución, sin embargo, ciertas fueron diluidas a $\frac{1}{4}$, debido a que excedían el valor permitido por el espectrofotómetro, como se observa en el Anexo 5. Cada muestra, previo a su ingreso al espectrofotómetro, se introdujo al frasco transparente de 10mL con tapa rosca designado del espectrofotómetro, se limpió con papel lente y se introdujo apropiadamente a la máquina. Los resultados bajo la configuración correcto son estos:

Tabla 14 - Resultados de laboratorio de Nitratos Totales

Parámetro	No. Muestra	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Nitratos (mg/L)	Muestra 1	4.1	25.6	18.9	9.6
	Muestra 2	5.9	13.2	15.3	29.2
	Muestra 3	2.4	29.9	23.1	15.2
	Muestra 4	5.1	24.2	21.5	13.2

Fuente: Elaboración propia

Todos los valores de los resultados de nitratos totales de las cuatro estaciones están dentro del valor ideal indicado por el estado del arte, siendo este de 50mg/L. Ya que estos valores están dentro del límite recomendado, los nitratos totales no suponen un gran problema en las cuatro estaciones analizadas, ya que debido a que están dentro del rango ideal, su aporte a la eutrofización de dichas zonas del río no es preocupante, por ende, no afectan de una manera tan negativa la vida acuática del río.

5.1.1.8 Resultados de Turbiedad

Las pruebas de turbiedad se realizaron en el laboratorio de química de UNITEC, bajo supervisión de estudiantes con los conocimientos necesarios para la realización de dicha prueba. Las muestras se analizaron con el turbidímetro, también conocido como nefelómetro, observado en el anexo 6. Cada muestra, previo a su ingreso al turbidímetro, se introdujo al frasco transparente de 10mL con tapa rosca designado del turbidímetro, se limpió con papel lente y se introdujo apropiadamente a la máquina. Los resultados son los siguientes:

Tabla 15 - Resultados de laboratorio de turbiedad

Parámetro	No. Muestra	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Turbiedad (unt)	Muestra 1	1.67	88.7	33.9	77.4
	Muestra 2	1.51	86.2	34.4	81.6
	Muestra 3	1.38	76.8	31.6	83.7
	Muestra 4	1.57	77.9	38.5	83.6

Fuente: Elaboración propia

Debido a que la turbiedad depende grandemente de la ubicación geográfica del cuerpo de agua, no hay un criterio establecido que determine un valor constante o un rango dentro del cual se deba estar. Sin embargo, como la turbiedad afecta la cantidad

de luz solar que puede acceder al agua, es decir, la actividad fotosintética del cuerpo acuático, lo recomendado que se establece en el estado del arte es que no reduzca el punto de compensación de actividad fotosintética a más del 10% de lo establecido para la vida acuática que habita en determinada parte del cuerpo de agua, en este caso, un río.

5.1.1.9 Resultados de Total de Sólidos Suspendidos

Las pruebas de total de sólidos suspendidos se realizaron en el laboratorio de química de UNITEC, bajo supervisión de estudiantes con los conocimientos necesarios para la realización de dicha prueba. Se utilizó el Cono de Imhoff apoyado en los soportes designados del mismo, como se puede apreciar en el anexo 7, donde se introdujeron 1,000mL de las muestras y se esperó aproximadamente 1h antes de contabilizar los resultados.

Tabla 16 - Resultados de laboratorio de Total de Sólidos Suspendidos

Parámetro	No. Muestra	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Total de Sólidos Suspendidos (mg/L)	Muestra 1	<0.05	6	4	1
	Muestra 2	<0.05	6	5	3
	Muestra 3	<0.05	7	6.5	0.8
	Muestra 4	<0.05	4.5	3.5	0.5

Fuente: Elaboración propia

Según se puede apreciar en el estado del arte, se considera que los sólidos suspendidos totales menores a 25 indican que el agua tiene una excelente calidad, por lo que, analizando el agua solamente mediante el total de sólidos suspendidos se consideraría que todas las estaciones cuentan con excelente calidad, donde la estación 1 es la que mejor calidad en este ámbito al tener SST menores de 0.05 mg/L.

5.1.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON VALORES PERMISIBLES

En la investigación, se realizó un análisis estadístico básico de prueba t de una muestra para cada parámetro que coindice en el Índice de Calidad del Agua y en la tabla 6 de la PNTNUA para el uso en preservación de flora y fauna, que también se consideran los parámetros que definen la calidad básica del agua. Se estableció un nivel de confianza del 95% y se plantearon las siguientes hipótesis:

Para la comparación entre estaciones:

- Hipótesis nula (H_0) = Los valores de resultado de laboratorio cumplen con el parámetro establecido por la norma.
- Hipótesis alternativa (H_a) = Los valores de resultado de laboratorio no cumplen con el parámetro establecido por la norma

Para visualizar tabla resumen de la comparación de resultados con valores permisibles, abocarse al anexo 8.

5.1.2.1 Resultados de Oxígeno Disuelto

Utilizando el software para análisis estadístico de Minitab, en la pestaña de estadísticas, luego para estadísticas básicas, se escogió la prueba t de una muestra para visualizar qué hipótesis se acepta para el oxígeno disuelto por cada estación, si la hipótesis nula (H_0) o la alternativa (H_a). Los resultados obtenidos a través de la prueba t de una muestra se encuentran a continuación:

5.1.2.1.1 Resultados de Oxígeno Disuelto para Estación 1

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de oxígeno disuelto para la estación 1 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 3$

Hipótesis alterna $H_1: \mu < 3$

Valor T Valor p

294.34 1.000

Ilustración 2 - Valor p para Oxígeno Disuelto de la primera estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 1, y 1 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la estación 1

cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto al OD, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.1.2.1.2 Resultados de Oxígeno Disuelto para Estación 2

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de oxígeno disuelto para la estación 2 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 3$

Hipótesis alterna $H_1: \mu < 3$

Valor T Valor p

294.34 1.000

Ilustración 3 - Valor p para Oxígeno Disuelto de la segunda estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 1, y 1 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la estación 2 cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto al OD, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.1.2.1.3 Resultados de Oxígeno Disuelto para Estación 3

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de oxígeno disuelto para la estación 3 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 3$

Hipótesis alterna $H_1: \mu < 3$

Valor T Valor p

19.05 1.000

Ilustración 4 - Valor p para Oxígeno Disuelto de la tercera estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 1, y 1 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la estación 3 cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto al OD, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.1.2.1.4 Resultados de Oxígeno Disuelto para Estación 4

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de oxígeno disuelto para la estación 4 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 3$

Hipótesis alterna $H_1: \mu < 3$

Valor T Valor p

-31.00 0.000

Ilustración 5 - Valor p para Oxígeno Disuelto de la cuarta estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 0, y 0 es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a), esta indica que los valores de

resultado de laboratorio de la estación 4 no cumplen con el parámetro establecido por la norma. El no cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto al OD, no cumple con la calidad básica que el agua debería tener. Esto puede ser perjudicial para los organismos, tanto flora y fauna como microorganismos presentes, del cuerpo de agua, generando resultados no deseados para el medio ambiente.

5.1.2.2 Resultados de Coliformes Fecales

Debido a limitaciones temporales, monetarias y logísticas no se realizó una prueba de coliformes fecales por cada muestra recolectada, si no que se realizó una muestra representativa por estación, obteniendo 4 resultados. Dichos resultados, mediante comparación estadística simple, se contrastarán contra el valor máximo permitido, valor que se encuentra en la Tabla 6 – Parámetros de la Propuesta de Norma Técnica Nacional para agua de uso en Preservación de Flora y Fauna (calidad básica del agua). En la tabla 17 se encuentra la tabla comparativa.

Tabla 17 – Comparación de resultados de laboratorio de coliformes fecales contra los de la PNTNUA

Estación	Valor (ufc)	Factor de dilución utilizado (mL)	Cumple con la PNTNUA	No cumple con la PNTNUA
1	1500	1 en 50	X	
2	1200	1 en 75	X	
3	3150	1 en 75	X	
4	1875	1 en 75	X	

Fuente: Elaboración Propia

Las cuatro estaciones, pese a tener unidades formadoras de colonias (ufc) elevadas, están debajo del valor máximo permisible en la PNTNUA, que es de 5000 NMP, equivalente a 5000 ufc. El menor valor es el de la segunda estación, previo al ingreso del Río San José a Tegucigalpa. Posiblemente este tenga el menor valor ya que recibe aguas residuales de empresas que tratan sus aguas, por lo que no contienen tanta materia fecal. El mayor

valor es el de la tercera estación, ubicada en una entrada disponible en el área de Loarque, es probable que este sea el valor más elevado ya que las muestras se tomaron luego del ingreso del río a Tegucigalpa, justo después de varias urbanizaciones donde, según expertos, los colectores fecales no funcionan o no existen en el área.

5.1.2.3 Resultados de pH

Utilizando el software para análisis estadístico de Minitab, en la pestaña de estadísticas, luego para estadísticas básicas, se escogió la prueba t de una muestra para visualizar qué hipótesis se acepta para el pH por cada estación, si la hipótesis nula (H_0) o la alternativa (H_a). Los resultados obtenidos a través de la prueba t de una muestra se encuentran a continuación:

5.1.2.3.1 Resultados de pH para Estación 1

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados del pH de la estación 1 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 4.5$

Hipótesis alterna $H_1: \mu < 4.5$

Valor T Valor p

6.79 0.997

Ilustración 6 - Valor p para pH de la primera estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 0.997, y 0.997 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la estación 1 cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto al pH, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.1.2.3.2 Resultados de pH para Estación 2

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados del pH de la estación 2 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 4.5$

Hipótesis alterna $H_1: \mu < 4.5$

Valor T Valor p

13.63 1.000

Ilustración 7 - Valor p para pH de la segunda estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 1.000, y 1.000 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la estación 2 cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto al pH, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.1.2.3.3 Resultados de pH para Estación 3

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados del pH de la estación 3 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 4.5$

Hipótesis alterna $H_1: \mu < 4.5$

Valor T Valor p

5.78 0.995

Ilustración 8 - Valor p para pH de la tercera estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 0.995, y 0.995 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la estación 3 cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto al pH, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.1.2.3.4 Resultados de pH para Estación 4

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados del pH de la estación 4 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 4.5$

Hipótesis alterna $H_1: \mu < 4.5$

Valor T Valor p

39.61 1.000

Ilustración 9 - Valor p para pH de la cuarta estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 1, y 1 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la estación 4

cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto al pH, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.1.2.4 Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Utilizando el software para análisis estadístico de Minitab, en la pestaña de estadísticas, luego para estadísticas básicas, se escogió la prueba t de una muestra para visualizar qué hipótesis se acepta para la demanda bioquímica de oxígeno por cada estación, si la hipótesis nula (H_0) o la alternativa (H_a). Los resultados obtenidos a través de la prueba t de una muestra se encuentran a continuación:

5.1.2.4.1 Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno para Estación 1

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de demanda bioquímica de oxígeno de la estación 1 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 15$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 15$

Valor T Valor p

0.21 0.424

Ilustración 10 - Valor p para Demanda Bioquímica de Oxígeno de la primera estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 0.424, y 0.424 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la estación 1 cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto a la DBO, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.1.2.4.2 Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno para Estación 2

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de demanda bioquímica de oxígeno de la estación 2 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 15$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 15$

<u>Valor T</u>	<u>Valor p</u>
2.37	0.049

Ilustración 11 - Valor p para Demanda Bioquímica de Oxígeno de la segunda estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 0.049, y 0.049 es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a), esta indica que los valores de resultado de laboratorio de la estación 2 no cumplen con el parámetro establecido por la norma. El no cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto al DBO, no cumple con la calidad básica que el agua debería tener. Esto puede ser perjudicial para los organismos, tanto flora y fauna como microorganismos presentes, del cuerpo de agua, generando resultados no deseados para el medio ambiente.

5.1.2.4.3 Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno para Estación 3

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de demanda bioquímica de oxígeno de la estación 3 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 15$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 15$

Valor T Valor p

72.18 0.000

Ilustración 12 -Valor p para Demanda Bioquímica de Oxígeno de la tercera estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 0.000, y 0.000 es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a), esta indica que los valores de resultado de laboratorio de la estación 3 no cumplen con el parámetro establecido por la norma. El no cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto al DBO, no cumple con la calidad básica que el agua debería tener. Esto puede ser perjudicial para los organismos, tanto flora y fauna como microorganismos presentes, del cuerpo de agua, generando resultados no deseados para el medio ambiente.

5.1.2.4.4 Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno para Estación 4

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de demanda bioquímica de oxígeno de la estación 4 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 15$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 15$

Valor T Valor p

7.44 0.003

Ilustración 13 -Valor p para Demanda Bioquímica de Oxígeno de la cuarta estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 0.003, y 0.003 es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a), esta indica que los valores de resultado de laboratorio de la estación 4 no cumplen con el parámetro establecido por la norma. El no cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto al DBO, no cumple con la calidad básica que el agua debería tener. Esto puede ser perjudicial para los organismos, tanto flora y fauna como microorganismos presentes, del cuerpo de agua, generando resultados no deseados para el medio ambiente.

5.1.2.4 Resultados de Nitratos Totales

5.1.2.4.1 Resultados de Nitratos Totales para Estación 1

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de nitratos totales de la estación 1 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 50$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 50$

Valor T Valor p

-60.49 1.000

Ilustración 14 - Valor p para Nitratos Totales de la primera estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 1, y 1 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la estación 1 cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto a Nitratos Totales, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.1.2.4.2 Resultados de Nitratos Totales para Estación 2

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de nitratos totales de la estación 2 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 50$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 50$

Valor T Valor p

-7.53 0.998

Ilustración 15 - Valor p para Nitratos Totales de la segunda estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 0.998, y 0.998 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la

estación 2 cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto a Nitratos Totales, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.1.2.4.3 Resultados de Nitratos Totales para Estación 3

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de nitratos totales de la estación 3 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 50$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 50$

Valor T Valor p

-17.79 1.000

Ilustración 16 - Valor p para Nitratos Totales de la tercera estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 1, y 1 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la estación 3 cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto a Nitratos Totales, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.1.2.4.4 Resultados de Nitratos Totales para Estación 4

Los resultados obtenidos mediante la prueba t de una muestra de los resultados de nitratos totales de la estación 4 son los siguientes:

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu = 50$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 50$

Valor T Valor p

-7.73 0.998

Ilustración 17 - Valor p para Nitratos Totales de la cuarta estación

Fuente: Elaborada por Minitab

Debido a que el valor p obtenido es igual a 0.998, y 0.998 es mayor que 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que los valores de resultado de laboratorio de la estación 4 cumplen con el parámetro establecido por la norma. El cumplir con el parámetro establecido por la norma indica que esta estación, respecto a Nitratos Totales, sí cumple con la calidad básica que el agua debería tener.

5.2 ANÁLISIS DE VARIANZA

5.2.1 ANOVA DE DISEÑO DE BLOQUES Y MÉTODO DE TUKEY

En la investigación, se realizó un análisis de varianza de diseño de bloques para cada uno de los parámetros medidos en las estaciones, y se aplicó el método de Tukey para definir entre cuales de las estaciones se encontraban diferencias significativas en cuanto a los resultados de cada parámetro. Se estableció un nivel de confianza del 95% y se plantearon las siguientes hipótesis:

Para la comparación entre estaciones:

- Hipótesis nula (H_0) = no hay diferencia significativa entre los valores del *parámetro A* en cuanto a las diferentes estaciones.
- Hipótesis alternativa (H_a) = si existe una diferencia significativa en los valores del *parámetro A* en al menos una de las estaciones.

Para la comparación de muestras de una misma estación:

- Hipótesis nula (H_0) = no hay diferencia significativa entre las muestras en cuanto a los valores del *parámetro A* en la estación A.
- Hipótesis alternativa (H_a) = si existe una diferencia significativa entre las muestras en cuanto a los valores del *parámetro A* en la estación A.

Establecido el intervalo de confianza de 95% y las hipótesis necesarias, se realizaron los análisis de varianza de diseño de bloques, donde se obtuvieron dos Valor p para cada uno de los parámetros, uno referente a la comparación entre las estaciones y otro referente a la comparación de muestras de una sola estación. Utilizando el software para análisis estadístico de Minitab, en la pestaña de estadísticas, se realizaron los análisis de varianza y aplicación del método de Tukey para responder las hipótesis establecidas anteriormente.

Para visualizar tabla resumen de los resultados de comprobación de hipótesis mediante ANOVA, avocarse a los anexos 9 y 10.

5.2.1.1 Resultados de Oxígeno Disuelto

Los resultados obtenidos a través del análisis de varianza y el método de Tukey para el parámetro "Oxígeno Disuelto" se encuentran en la siguiente ilustración:

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	3	119.319	39.7731	1028.60	0.000
Muestra	3	0.010	0.0033	0.09	0.966
Error	9	0.348	0.0387		
Total	15	119.677			

Ilustración 18 - ANOVA para Oxígeno Disuelto

Fuente: Elaborada por Minitab

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

<u>Estación</u>	<u>N</u>	<u>Media</u>	<u>Agrupación</u>
Estación 2	4	7.8625	A
Estación 1	4	5.1575	B
Estación 3	4	4.7675	B
Estación 4	4	0.2550	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Ilustración 19 - Método de Tukey para Oxígeno Disuelto

Fuente: Elaborada por Minitab

Siendo el nivel de confianza establecido de 95%, el valor p debía ser menor a 0.05, por lo que para la comparación entre estaciones se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta que existe una diferencia significativa entre los valores del oxígeno disuelto en al menos una de las estaciones. Para la comparación de muestras de una misma estación se acepta la hipótesis nula (H_0) y se dice que no existe una diferencia significativa entre las muestras en cuanto a los valores del oxígeno disuelto. En el método de Tukey, se define que las estaciones 2 y 3 las únicas que comparten similitudes estadísticas en sus resultados de oxígeno disuelto, por ello comparten la misma letra.

5.2.1.3 Resultados de Coliformes Fecales

Debido a limitaciones temporales, monetarias y logísticas no se realizó una prueba de coliformes fecales por cada muestra recolectada, si no que se realizó una muestra representativa por estación, obteniendo 4 resultados, mismos que fueron presentados anteriormente. Debido a los pocos datos obtenidos de este parámetro, no se pudo realizar un análisis de varianza ni prueba de Tukey para el mismo, por lo que no se rechazaron ni aceptaron las hipótesis planteadas.

5.2.1.3 Resultados de pH

Los resultados obtenidos a través del análisis de varianza y el método de Tukey para el parámetro "pH" se encuentran en la siguiente ilustración:

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	3	0.28737	0.09579	0.34	0.794
Muestra	4	0.06050	0.01513	0.05	0.993
Error	8	2.22600	0.27825		
Total	15	2.56158			

Ilustración 20 - ANOVA para pH

Fuente: Elaborada por Minitab

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Estación	N	Media	Agrupación
Estación 2	4	6.54133	A
Estación 1	4	6.42967	A
Estación 4	4	6.34467	A
Estación 3	4	6.14967	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Ilustración 21 - Método de Tukey para pH

Fuente: Elaborada por Minitab

Para la comparación entre estaciones se acepta la hipótesis nula (H_0) y se dice que no existe una diferencia significativa entre los valores del pH en al menos una de las diferentes estaciones. De igual manera, se acepta la hipótesis nula (H_0) para la comparación de muestras y se dice que no existe una diferencia significativa entre las muestras en cuanto al pH. Esto se comprueba con el método de Tukey, donde se presenta a las 4 estaciones compartiendo la misma letra, confirmando la similitud estadística de los datos entre ellas.

5.2.1.4 Resultados de Temperatura

Los resultados obtenidos a través del análisis de varianza y el método de Tukey para el parámetro "Temperatura" se encuentran en la siguiente ilustración:

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	3	5.6250	1.87500	21.36	0.000
Muestra	3	0.3350	0.11167	1.27	0.341
Error	9	0.7900	0.08778		
Total	15	6.7500			

Ilustración 22 - ANOVA para Temperatura

Fuente: Elaborada por Minitab

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Estación	N	Media	Agrupación
Estación 4	4	25.350	A
Estación 3	4	24.875	A B
Estación 2	4	24.300	B C
Estación 1	4	23.775	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Ilustración 23 - Método de Tukey para Temperatura

Fuente: Elaborada por Minitab

En la comparación entre las diferentes estaciones, el valor para el parámetro de temperatura obtuvo un valor menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se dice que si existe una diferencia significativa entre los valores de la temperatura en al menos una de las diferentes estaciones. Al contrario, para las muestras, se acepta la hipótesis nula (H_0), por lo que no hay una diferencia significativa entre las muestras en cuanto a los valores de la temperatura. El método de Tukey muestra que las similitudes estadísticas se encuentran entre las estaciones 4 y 3, 3 y 2, y finalmente entre la 2 y 1.

5.2.1.5 Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Los resultados obtenidos a través del análisis de varianza y el método de Tukey para el parámetro "Demanda Bioquímica de Oxígeno" se encuentran en la siguiente ilustración:

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	3	74742	24913.9	9.22	0.004
Muestra	3	999	332.9	0.12	0.944
Error	9	24325	2702.8		
Total	15	100066			

Ilustración 24 - ANOVA para Demanda Bioquímica de Oxígeno

Fuente: Elaborada por Minitab

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Estación	N	Media	Agrupación
Estación 4	4	206.673	A
Estación 3	4	130.417	A
Estación 2	4	105.077	A B
Estación 1	4	15.265	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Ilustración 25 - Método de Tukey para Demanda Bioquímica de Oxígeno

Fuente: Elaborada por Minitab

Para la comparación entre las estaciones, se obtuvo un valor menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se dice que si existe una diferencia significativa entre los valores de la demanda bioquímica de oxígeno en al menos una de las diferentes estaciones. Entre las muestras, con un valor p de 0.944, se acepta la hipótesis nula y se dice que no existe una diferencia significativa entre las muestras en cuanto a los valores de la demanda bioquímica de oxígeno. El método de Tukey ilustra la similitud entre las estaciones 4 y 3, y las similitudes entre las estaciones 2 y 1.

5.2.1.6 Resultados de Fosfatos Totales

. Los resultados obtenidos a través del análisis de varianza y el método de Tukey para el parámetro "Fosfatos Totales" se encuentran en la siguiente ilustración:

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	3	48.894	16.298	11.09	0.002
Muestra	3	4.834	1.611	1.10	0.400
Error	9	13.231	1.470		
Total	15	66.960			

Ilustración 26 - ANOVA para Fosfatos Totales

Fuente: Elaborada por Minitab

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Estación	N	Media	Agrupación
Estación 4	4	5.900	A
Estación 1	4	3.035	B
Estación 3	4	2.140	B
Estación 2	4	1.240	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Ilustración 27 - Método de Tukey para Fosfatos Totales

Fuente: Elaborada por Minitab

Como se observa en la ilustración 26, el valor de p para la comparación entre estaciones es menor a 0.05, por ende, se rechaza la hipótesis nula (H_0), confirmando que si existe una diferencia significativa en al menos una de las estaciones en cuanto al parámetro de Fosfatos totales. Según el valor p de las muestras, siendo mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) afirmando que no hay diferencia significativa entre las muestras en cuanto al parámetro de Fosfatos totales. Al ver el método de Tukey, se hace notar que solamente una estación (estación 4) contiene una letra diferente, razón por la cual el valor de p es tan cercano, pero aún menor a 0.05.

5.2.1.7 Resultados de Nitratos Totales

Los resultados obtenidos a través del análisis de varianza y el método de Tukey para el parámetro "Nitratos Totales" se encuentran en la siguiente ilustración:

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	3	806.67	268.892	6.13	0.015
Muestra	3	19.33	6.443	0.15	0.929
Error	9	395.07	43.896		
Total	15	1221.07			

Ilustración 28 - ANOVA para Nitratos Totales

Fuente: Elaborada por Minitab

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Estación	N	Media	Agrupación
Estación 2	4	23.225	A
Estación 3	4	19.700	A
Estación 4	4	16.800	A B
Estación 1	4	4.375	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Ilustración 29 - Método de Tukey para Nitratos Totales

Fuente: Elaborada por Minitab

Según el ANOVA realizado para los nitratos totales, obteniendo un valor p menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0), y se dice que si hay una diferencia significativa en los valores de nitratos totales en al menos una de las estaciones. Para las muestras, se obtuvo un valor p mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0), afirmando que no hay una diferencia significativa entre las muestras en cuanto a los valores de nitratos totales. Con el método de Tukey, se observa que las estaciones 2 y 3 comparten similitudes estadísticas en sus valores de nitratos totales, al igual que la 4 y la 1, comprobando el rechazo de la hipótesis nula (H_0) en cuanto a las estaciones.

5.2.1.8 Resultados de Turbiedad

Los resultados obtenidos a través del análisis de varianza y el método de Tukey para el parámetro "Parámetro" se encuentran en la siguiente ilustración:

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	3	18532.0	6177.33	393.74	0.000
Muestra	3	15.4	5.12	0.33	0.806
Error	9	141.2	15.69		
Total	15	18688.6			

Ilustración 30 - ANOVA para Turbiedad

Fuente: Elaborada por Minitab

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Estación	N	Media	Agrupación
Estación 2	4	82.4000	A
Estación 4	4	81.5750	A
Estación 3	4	34.6000	B
Estación 1	4	1.5325	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Ilustración 31 - Método de Tukey para Turbiedad

Fuente: Elaborada por Minitab

Similar a los resultados anteriores, en el caso de la turbiedad se rechaza la hipótesis nula (H_0) en cuanto a la estaciones, por lo cual se dice que existe una diferencia significativa en los valores de turbiedad en al menos una de las estaciones. En el caso de las muestras, con un valor p mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0), afirmando que no se encuentran diferencias significativas entre las muestras en cuanto a los valores de turbiedad. El método de Tukey presenta similitudes solamente entre las estaciones 2 y 4, así como entre la 1 y la 3. Esto respalda las diferencias estadísticas entre las estaciones presentadas por el análisis de varianza para turbiedad.

5.2.1.9 Resultados de Total de Sólidos Sedimentables

Los resultados obtenidos a través del análisis de varianza y el método de Tukey para el parámetro "Total de Sólidos Sedimentables" se encuentran en la siguiente ilustración:

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Estación	3	3535	1178.2	1.19	0.366
Muestra	3	2946	982.0	1.00	0.438
Error	9	8878	986.5		
Total	15	15359			

Ilustración 32 - ANOVA para Total de Sólidos Sedimentables

Fuente: Elaborada por Minitab

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Estación	N	Media	Agrupación
Estación 3	4	36.375	A
Estación 2	4	5.875	A
Estación 4	4	1.325	A
Estación 1	4	0.050	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Ilustración 33 - Método de Tukey para Total de Sólidos Sedimentables

Fuente: Elaborada por Minitab

Contrario a la mayoría de los resultados presentados anteriormente, en ambos de los valores p del análisis de varianza del total de sólidos sedimentables se obtuvo un valor mayor al 0.05, por lo cual se aceptan ambas hipótesis nulas (H_0). Dicho esto, se deduce que no existe una diferencia significativa entre los valores del total de sólidos sedimentables en cuanto a las diferentes estaciones y entre las muestras. Esto se ve reforzado por el método de Tukey, donde se muestra a la 4 diferentes estaciones compartiendo una misma letra, simbolizando su similitud estadística.

5.3 ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA

5.3.1 PROMEDIOS DE LOS RESULTADOS DEL PARÁMETRO POR ESTACIÓN

El cálculo del índice de la calidad del agua requiere de solamente un valor para ingresar en la calculadora del índice de calidad, por lo que se decidió realizar un cálculo de promedio normal entre los valores de muestra de cada parámetro en cada estación. Esto permitiría el cálculo del índice de calidad del agua en cada una de las estaciones, resultando en un panorama más amplio de la calidad del agua del río y sus alteraciones al entrar a la zona sur de la ciudad de Tegucigalpa. Debajo se muestra una tabla con los resultados del cálculo de promedios:

Tabla 18– Cálculo de promedios de parámetros por estación

Parámetro	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5.1575	7.8625	4.7675	0.255
Coliformes Fecales (ufc.)	1500	1200	3150	1875
pH	6.45	6.5225	6.1725	6.3675
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	15.27	105.0775	130.4175	206.6725
Temperatura (Grados Celsius)	23.775	24.3	24.9	25.35
Nitratos (mg/L)	4.375	23.225	19.7	16.8
Fosfatos (mg/L)	3.06	1.24	2.06	5.9
Turbiedad (unt.)	1.5325	82.4	34.6	81.575
Total de Sólidos (mg/L)	0.05	5.875	4.75	1.325

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2 RESULTADOS CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA EN LAS ESTACIONES

Utilizando la calculadora del Índice de Calidad del Agua elaborada en Northern Iowa University, y los valores de promedio calculados anteriormente, se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto al índice de calidad del agua para cada estación.

Tabla 19 – Resultados del ICA para cada estación en la calculadora de Northern Iowa University

Estación	Temp	DO	BOD	pH	TSS	Turb	NO3	Ecoli	PO4	Final WQI
	(°C)	(mg/L)	(mg/L)		(mg/L)	(ntu)	(mg/L)	(col/100mL)	(mg/L)	
1	23.78	5.16	15.265	6.453	0.05	1.533	4.375	1500	3.06	50.3
2	24.3	7.863	105.08	6.523	5.875	82.4	23.23	1200	1.24	47.8
3	24.9	4.768	130.42	6.173	4.75	34.6	19.7	3150	2.06	38.5
4	25.35	0.255	206.67	6.368	1.325	81.58	16.8	1875	5.9	26.7

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20 - Resumen de Resultados de ICA para las estaciones del Río San José

Estaciones	ICA Final (Rango de Calidad)	Criterio de Uso
Estación 1	50.3	Media
Estación 2	47.8	Mala
Estación 3	38.5	Mala
Estación 4	26.7	Mala

Fuente: Elaboración Propia

Se observa en los resultados del cálculo del índice de calidad del agua niveles bajos en las 4 estaciones analizadas, siendo la número 1 la que obtuvo una calificación más alta con un ICA final de 50.3, lo cual indica un criterio de uso "Media" para el agua en la estación, siendo esta la más alejada de las zonas urbanizadas. Las tres estaciones restantes obtuvieron un criterio de uso "Mala", denotando una degradación significativa a lo largo que el río atraviesa zonas más urbanizadas en la zona sur de Tegucigalpa.

5.4 VALIDACIÓN DEL ESTUDIO

5.4.1 PILOTAJE

5.4.1.1 Pilotaje respecto a las estaciones

Para el pilotaje respecto a las estaciones se realizó una verificación de los puntos de acceso al río, revisando accesibilidad geográfica al río y accesibilidad tanto peatonal como vehicular, asimismo, se evaluó el riesgo contra la integridad física de los investigadores ante los distintos ambientes socioculturales presentes en las estaciones escogidas. La siguiente tabla funciona a manera de resumen para determinar la viabilidad de los puntos de acceso de las estaciones escogidas.

Tabla 21 - Pilotaje respecto a las estaciones

Pilotaje respecto a las estaciones			
Estación 1			
Parámetro	Deseado	Aceptable	Opción no viable
Accesibilidad al río	✓		
Accesibilidad peatonal	✓		
Accesibilidad vehicular	✓		
Ambiente sociocultural	✓		
Estación 2			
Parámetro	Deseado	Aceptable	Opción no viable
Accesibilidad al río		✓	
Accesibilidad peatonal		✓	
Accesibilidad vehicular		✓	
Ambiente sociocultural	✓		
Pilotaje respecto a las estaciones			
Estación 3			
Parámetro	Deseado	Aceptable	Opción no viable
Accesibilidad al río	✓		
Accesibilidad peatonal	✓		
Accesibilidad vehicular		✓	
Ambiente sociocultural		✓	
Estación 4			
Parámetro	Deseado	Aceptable	Opción no viable
Accesibilidad al río	✓		
Accesibilidad peatonal		✓	
Accesibilidad vehicular		✓	
Ambiente sociocultural		✓	

Fuente: Elaboración propia

A través del pilotaje se determinaron los puntos de acceso vehiculares y peatonales, de igual manera, se escogió un punto dónde acceder al río que tuviese las características deseadas, siendo estas: (1) que esté lo menor rodeado de plantas altas y frondosas que no permiten la visibilidad hacia el río y/o el suelo, porque la visión limitada

del suelo puede ocasionar daños a la integridad física del investigador o albergar animales no visibles, (2) que tenga piedras para poder pararse dentro del río con la mayor estabilidad posible, (3) que se pueda cruzar al extremo opuesto fácilmente. Los puntos también se evaluaron tomando en cuenta el posible riesgo a la integridad física de los investigadores.

5.4.1.2 Pilotaje respecto a la toma de muestras

El pilotaje respecto a la toma de muestras consistió en tomar muestras con un video como evidencia, este video fue visualizado por un experto en la recolección de muestras, brindando distintos tipos de retroalimentación respecto a cómo apropiadamente tomar una muestra en el campo, de manera práctica, para así poder obtener muestras correctamente, optimizar el tiempo y no contaminar la muestra accidentalmente. La retroalimentación brindada es la siguiente:

Pilotaje respecto a la toma de muestras

1. Ambientar el recipiente tres veces con agua distinta.
2. Hacer lavados rápidos en el recipiente de recolección para ambientar, no deben tomar mucho tiempo.
3. No es necesario tapar el frasco para ambientarlo.
4. No llenar el bote para ambientarlo, un poco de agua es suficiente.
5. No echar el agua utilizada para ambientar el recipiente en el mismo lugar de la recolección de agua, para evitar el levantamiento de sólidos.
6. Llenar el recipiente contracorriente para que se llene más rápido.
7. No mover el recipiente para evitar que le salpique al investigador.

Ilustración 34 - Pilotaje respecto a la toma de muestras

Fuente: Elaboración propia

La retroalimentación brindada gracias al pilotaje respecto a la toma de muestras permitió que los investigadores evitaran posibles riesgos de salud al saber que el recipiente debe estar rígido al momento de tomar la muestra, para evitar que salpique sobre la piel; recibir consejos respecto a la ambientación garantizó que las muestras tomadas y llevadas al laboratorio estén en óptimas condiciones, minimizando así el margen de error en los resultados.

5.4.1.3 Pilotaje respecto a las pruebas de laboratorio

Se realizó un pilotaje para las pruebas de laboratorio con el objetivo de que los investigadores se familiarizaran tanto con la prueba a realizar como con los instrumentos, técnicas y equipo implementados en realizar dicha prueba. La asistencia al laboratorio permitió tener conocimiento más profundo no solo de la prueba a realizarse si no que también de la terminología necesaria, métodos de dilución, uso de reactivos, uso de equipo de laboratorio, entre otros. La siguiente tabla permite comparar el conocimiento del investigador pre y post - pilotaje referente al equipo necesario y cómo hacer las pruebas:

Tabla 22 - Pilotaje respecto a las pruebas de laboratorio

Pilotaje respecto a pruebas de laboratorio					
Prueba	Instrumento	Conocimiento de uso previo al pilotaje		Conocimiento de uso luego del pilotaje	
		Dominado	Desconocido	Dominado	Desconocido
Sólidos Sedimentales	Cono de Imhoff	✓		✓	
Nitratos Totales	Espectrofotómetro		✓	✓	
Fosfatos Totales	Espectrofotómetro		✓	✓	
pH	pH-metro	✓		✓	
Temperatura	pH-metro	✓		✓	
Turbiedad	turbidímetro		✓	✓	
Coliformes fecales	Placas prefabricadas de E. Coli		✓	✓	

Fuente: Elaboración propia

El pilotaje llevado a cabo en el laboratorio de química de la facultad de ingeniería de UNITEC permitió no solo que el investigador adquiriera conocimientos teóricos y prácticos de las pruebas de laboratorio llevadas a cabo, si no que, adicionalmente, el realizar el pilotaje permite disminuir el desperdicio de recursos, tanto de tiempo de los investigadores como materiales y tiempo de preparación y ocupación del equipo, ocasionados por ignorancia respecto a la realización de las pruebas. La realización del pilotaje fue provechosa para la investigación, ya que generó agilidad física en los investigadores al realizar dichas pruebas.

5.4.2 TRIANGULACIÓN POR EXPERTOS

La presente investigación fue validada por cuatro expertos de distintas áreas, cada uno especializado en mínimo un área fundamental para el desarrollo apropiado de la investigación. Las áreas del proyecto son la toma de muestras en el campo, donde se utilizó el apoyo y la validación de dos expertos, el análisis de las muestras en el laboratorio y el análisis estadístico en base de los resultados del laboratorio, ambas áreas validadas por docentes de UNITEC en la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas. La siguiente tabla incluye los asesores y el área de validación de la investigación:

Tabla 23 - Triangulación por expertos

Profesión del asesor	Antecedentes	Área de validación
Licenciada en química y farmacia	Ex-empleada de CESCO	Recolección de muestras
Licenciada en microbiología	Analista de pruebas de agua en planta de tratamiento	Recolección de muestras y pruebas de laboratorio
Ingeniera químico-industrial	Docente de UNITEC TGU	Pruebas de laboratorio
Ingeniero industrial	Docente de UNITEC TGU	Pruebas estadísticas

Fuente: Elaboración propia

Las indicaciones, orientaciones y correcciones brindadas por los expertos antes, durante y después de la investigación permitieron afinar la metodología implementada, así como avalar la calidad y veracidad de los resultados. Gracias a la triangulación por expertos, la confiabilidad del proyecto de investigación incrementó al tener una base más fuerte y robusta.

VI. CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

6.1.1 El OD, coliformes fecales pH, DBO y nitratos totales de las 4 estaciones se analizaron mediante la prueba t de una muestra indicando que, a medida el río pasa por Tegucigalpa, la contaminación del agua incrementa, porque es zona de quema de desechos y recibe basura y heces fecales, aguas grises, aguas negras, entre otros. El aumento de contaminación se observa al comparar los parámetros de las 4 estaciones contra los valores permisibles definidos por la PNTNUA, ya que, aunque el 100% de las estaciones cumplan con pH, coliformes fecales y nitratos totales, solo las primeras 3, un 75%, cumplen con OD y apenas un 25%, siendo la primera estación, cumple con DBO.

6.1.2 Mediante el análisis de varianzas y el método de Tukey, se dictaminó que los parámetros analizados obtienen valores diferentes en cada una de las diferentes estaciones evaluadas, a excepción de los valores de pH y total de sólidos sedimentables. Contestadas las hipótesis, se afirma que en 6 de los 9 parámetros (alrededor de 66% de los datos medidos) siendo estos el oxígeno disuelto, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos totales, nitratos totales y turbiedad, obtienen una media diferente entre sí. Estos resultados pueden ser indicadores de las alteraciones que sufre la calidad del agua al atravesar áreas urbanizadas.

6.1.3 Por medio del uso de la calculadora del índice de calidad del agua desarrollada en Northern Iowa University, se obtuvieron los índices de calidad para cada una de las estaciones analizadas. Se demostró que 3 de ellas (75% de las estaciones) obtuvieron un criterio de uso de "Mala" para el agua del río, y se demostró un decaimiento de un puntaje de 50.3 en la estación con mejor calificación (Estación 1), hasta un puntaje de 26.7 en la estación con peor calificación (Estación 4) según el ICA. Estos resultados indican una degradación continua del río San José en la zona sur de Tegucigalpa desde su ingreso a la ciudad hasta su punto de desemboque.

6.1.4 El validar el proyecto de investigación con 15 asesorías a lo largo de aproximadamente 4 semanas respecto al pilotaje y triangulación por expertos enfocados principalmente en Diseño de Experimentos (DOE), rama asociada a la ingeniería industrial

y de sistemas, así como otras áreas afines de la investigación permitió que el curso de la investigación se desarrollara adecuadamente y que los resultados de esta, al ser validados, tengan la rigurosidad, credibilidad y confiabilidad deseada en una investigación de este tipo.

6.2 CONCLUSIÓN GENERAL

Se demostró que la calidad del agua del Río San José disminuye en aproximadamente 47% a medida atraviesa, de inicio a fin, la zona sur de Tegucigalpa. Según el criterio de uso del ICA-NSF en su mayoría la calidad del agua es mala pese a que algunos parámetros cumplen con estándares nacionales de la Propuesta de Norma Técnica Nacional de Usos de Agua (calidad básica del agua). Esta calidad del agua es alarmante para personas naturales y jurídicas ya que demuestra su decadencia tras el paso por regiones urbanizadas del sur de Tegucigalpa, deterioro que puede ocasionar daños a la salud humana y silvestre, así como afectar industrias cuyo insumo de agua sea el río.

VII. RECOMENDACIONES

7.1 RECOMENDACIONES DE INVESTIGACIÓN

7.1.1 Para realizar una investigación de mayor calidad, se propone a futuros investigadores el uso de tecnología de punta y materiales de alta calidad en el laboratorio, para evitar la obtención de datos inciertos, retrabajo en análisis de muestras y complicaciones que disminuyan la calidad del proceso de análisis de muestras de la investigación, así como los resultados de esta.

7.1.2 En propósito de fortalecer el análisis estadístico, se sugiere a futuros investigadores recopilar una cantidad de datos estadísticos, como ser las muestras en este caso, mayor a la aplicada en la investigación presente. Aunque la cantidad utilizada en la investigación es suficiente para validar estadísticamente los resultados obtenidos, una mayor cantidad de datos incrementaría la precisión de las respuestas, mejorando así el área estadística de la investigación.

7.1.3 Con la finalidad de obtener resultados aún más precisos en cuanto a la calificación del río San José en general, se invita a futuros investigadores realizar el cálculo del índice de calidad del agua en una cantidad mayor de estaciones dentro del río, divididas estratégicamente para analizar la variación de la calificación obtenida en un panorama más grande, teniendo así la capacidad de dar una calificación general con más respaldos científicos.

7.1.4 Obtener mínimo un asesor por área de investigación permite que cada área de esta esté respaldada por un experto; el tener reuniones constantes y estratégicas con los asesores permite validar cada etapa del proyecto antes, durante y después de que esta se lleve a cabo, facilitando así el trabajo de los investigadores al disminuir el grado de incertidumbre y el margen de errores a cometer.

7.2 RECOMENDACIONES PARA EL RUBRO

7.2.1 Es crítico que los entes responsables realicen revisiones y análisis constantes del agua del Río San José para verificar si dichos valores están dentro del cumplimiento de las normas establecidas a nivel nacional para el cuidado del río, así como revisión de las

aguas que afectan el mismo, como las aguas residuales descartadas en el río por distintas empresas situadas en la zona.

7.2.2 Considerando los cambios entre los resultados de parámetros obtenidos a lo largo de las estaciones, se recomienda tanto a la población general como a los entes responsables de la sanación y preservación del río aplicar las medidas necesarias para evitar la contaminación y mayor degradación de la calidad del agua del Río San José a lo largo de su flujo, desde áreas fuera de la ciudad hasta las regiones más urbanizadas previo a su desemboque.

7.2.3 En aras de mantener la salud pública y la preservación de los ríos de Tegucigalpa, se insta a las autoridades correspondientes realizar un estudio de ICA en los ríos más importantes del país, obteniendo así una calificación de calidad del agua para cada uno de ellos y tomar decisiones con información de respaldo, priorizando las zonas con el criterio de uso más dañino a la salud pública.

7.2.4 Para poder obtener investigaciones del rubro similares con alta calidad se recomienda no solo contar con asesores expertos en los temas de investigación, sino que también formar parte de capacitaciones, talleres, cursos, etc. referentes a la investigación, para que así el investigador tenga un conocimiento más profundo respecto al tema a investigar y que así logre crear un criterio propio desarrollado que le permita tomar decisiones informadas.

VIII. APLICABILIDAD / IMPLEMENTACIÓN

El trabajo de la presente investigación fue realizado en el rubro de análisis de calidad de agua con la implementación de herramientas y técnicas de diseño de experimentos y del ICA NSF. Los resultados y conclusiones obtenidas en la investigación pueden funcionar como respaldos para la toma de decisiones de mejora en la calidad de agua del río San José y la utilización de esta agua para los pobladores de la región.

Las herramientas y técnicas de diseño de experimentos y análisis de calidad de agua pueden ser replicadas por otros investigadores para el análisis de otros cuerpos de agua importantes en la ciudad de Tegucigalpa y otras zonas de Honduras. Esto con el propósito de fomentar el respaldo científico de la calidad de agua de los ríos antes de tomar acciones de mejora.

IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL / TRABAJO FUTURO

Considerando las vastas áreas de ingeniería, el presente trabajo se podría enriquecer mediante la realización de una fase evolutiva del trabajo ya plasmado en este informe. Por ejemplo, brindarle un enfoque basado en Diseño de Experimentos, pero con respecto a técnicas de saneamiento para mejorar la calidad del agua, realizando un estudio estadístico basado en diseño de bloques, para poder definirlos por factores y así controlar la variabilidad y obtener mejoras en la precisión del experimento. Con esta fase evolutiva, utilizando de base el trabajo actual, se podría determinar qué métodos y técnicas de saneamiento funcionan y en qué grado se disminuye la contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Gavira, S., & Barroso Osuna, J. (2015). La triangulación de datos como estrategia en investigación educativa. *Píxel-Bit, Revista de Medios y Educación*, 47, 73-88. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2015.i47.05>
- Arauzo, M., Valladolid, M., Martínez-Bastida, J. J., & Gutiérrez, C. (2006). Dinámica espaciotemporal del contenido en nitrato de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Oja (La Rioja, España): Vulnerabilidad del acuífero aluvial. *Limnetica*, 25(2), 753-762. <https://doi.org/10.23818/limn.25.52>
- Barrentine, L. B. (2001). *An Introduction to Design of Experiments*. Quality Press.
- Behar, R., Zúñiga Cardozo, M. del C. Z. del C., & Rojas, O. (1997). Análisis y Valoración del Índice de Calidad de Agua (ICA) de la NSF: Casos Ríos Cali y Meléndez. *Ingeniería y Competitividad*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.25100/iyc.v1i1.2361>
- Benavides, M. O., & Gómez-Restrepo, C. (2005). Métodos en investigación cualitativa: Triangulación. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34(1), 118-124.
- Boyd, C. E. (2014). *Water Quality: An Introduction*. <https://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/75235/1/Water%20Quality-%20An%20Introduction.pdf>
- Carrera-Oña, G. E., Santiana-Espín, C. G., Gonzáles-Palacios, M. A., & Valdiviezo-Abarca, T. C. (2020). Diseño de experimentos en el análisis de concentración de nitratos y niveles de pH en muestras de agua de la Microcuenca del Río Chibunga – Ecuador. *Edición núm. 45*, 5(05), 439-452. <https://doi.org/10.238587/pc.v5i5.1432>
- Cauas, D. (s. f.). *Variables, enfoque y tipo de investigación*.

Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., El Rayess, Y., & El Azzi, D. (2023). A comprehensive review of water quality indices (WQIs): History, models, attempts and perspectives. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 22(2), 349-395. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09650-7>

Clínica Universidad de Navarra. (s. f.). *Anoxia*. *Diccionario médico*. Clínica Universidad de Navarra. <https://www.cun.es>. Recuperado 30 de mayo de 2024, de <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/anoxia>

Coello, J., Ormaza, R., Déley, Á., Recalde, C., & Rios, A. (2013). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 16(31), Article 31. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v16i31.11281>

Dagnino, J. (2014). *ANÁLISIS DE VARIANZA*. 306-310.

DEFINICIONES_ACRONIMOS.pdf. (s. f.). Recuperado 3 de mayo de 2024, de https://corponor.gov.co/calidad_agua/2021/PAMPLONITA/fisicoquimico/4.DEFINICIONES_ACRONIMOS.pdf

Díaz, H. C., & Torres, J. G. (2000). Importancia de los ríos en el entorno ambiental. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 3(5), Article 5. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v3i5.2539>

Diseño Experimentales.pdf. (s. f.). Recuperado 3 de mayo de 2024, de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2064/1/Dise%C3%B1o%20Experimentales.pdf>

EPA. (2012). *5.2 Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand | Monitoring & Assessment* | *US EPA*.

<https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms52.html>

EPA. (2021a). *Dissolved Oxygen*.

EPA. (2021b). *FACTSHEET ON WATER QUALITY PARAMETERS E. coli (Escherichia coli)*.

https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-07/parameter-factsheet_e.-coli.pdf

EPA. (2021c). *FACTSHEET ON WATER QUALITY PARAMETERS pH*.

https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-07/parameter-factsheet_ph.pdf

EPA. (2021d). *FACTSHEET ON WATER QUALITY PARAMETERS Temperature*.

https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-07/parameter-factsheet_temperature.pdf

EPA. (2021e, julio). *FACTSHEET ON WATER QUALITY PARAMETERS Turbidity*.

https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-07/parameter-factsheet_turbidity.pdf

Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*.

CEPAL. <https://hdl.handle.net/11362/6411>

Espinosa, J. C. (2001). *El autor a Zamorano permiso Para reproducir copias de este Trabajo para fines educativos. Para otras personas Físicas o jurídicas se reservan los derechos del autor*.

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/643e886a-2f8d-418d-a53b-6e93b705918a/content>

ESTUDIO DE RECOLECCIÓN DE DATOS SOBRE EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN TEGUCIGALPA EN LA REPÚBLICA DE HONDURAS. (s. f.). Recuperado 2 de mayo de 2024, de https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12367074_01.pdf

Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (OD). (s. f.). Recuperado 3 de mayo de 2024, de https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf

Folleto Informativo pH. (s. f.). Recuperado 3 de mayo de 2024, de https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf

Folleto Informativo Temperatura. (s. f.). Recuperado 3 de mayo de 2024, de https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3120sp.pdf

Fosforos_totales_13.pdf. (s. f.). Recuperado 3 de mayo de 2024, de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Fosforos_totales_13.pdf

Gastezzi-Arias, P., Alvarado-García, V., & Pérez-Gómez, G. (2016). La importancia de los ríos como corredores interurbanos. *Biocenosis*, 31(1-2), Article 1-2. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1725>

Gómez-Gómez, M., Danglot-Banck, C., & Vega-Franco, L. (2010). *Disponibilidad de agua para la salud y la vida. Lo que todos debemos saber.* 77(6), 260-270.

- Guadamarra, R., Kido, J., Roldan, G., & Salas, M. (2016). *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*.
https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf
- Guzmán, W. A., & Vélez, S. N. (2018). *EVALUACIÓN DE MEZCLA DE CASCARILLA DE ARROZ Y BARRO COMO MEDIO FILTRANTE PARA REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN AGUA DE RÍO*.
<https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/796/1/TMA170.pdf>
- Hernández Sampieri, R., & Fernandez-Collado, C. F. (2014). *Metodología de la investigación* (P. Baptista Lucio, Ed.; Sexta edición). McGraw-Hill Education.
- Larrea-Murrell, J. A., Rojas-Badía, M. M., & Romeu-Álvarez, B. (2012). *Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: Revisión de la literatura*. 44(3). <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181229302004.pdf>
- López, C., & Martínez, D. (2007). Análisis básico de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua potable de Telpaneca, Madriz, Nicaragua. *Encuentro*, 76, 57-66. <https://doi.org/10.5377/encuentro.v0i76.3688>
- McCarthy, R. (2022). *Development of a Water Quality Index Calculation Tool using Excel*.
- Merriam-Webster Medical. (s. f.). *Nephelometry Definition & Meaning | Merriam-Webster Medical*. Recuperado 29 de mayo de 2024, de <https://www.merriam-webster.com/medical/nephelometry>

Minitab. (s. f.). *¿Qué es el método de Tukey para comparaciones múltiples?* [Mtbconcept].

Recuperado 29 de mayo de 2024, de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>

Miranda, F. G. G., & Rosales, V. M. (s. f.). *EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO.*

Montoya, M. I., & Marín, M. (2005). *ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) EN ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN DE N-PURÍN EN COLUMNAS EXPERIMENTALES.*

Nicolás, S. (s. f.). *Diseños experimentales e investigación científica (Experimental designs and scientific research).*

Nitrogenos_totales_13.pdf. (s. f.). Recuperado 3 de mayo de 2024, de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/Nitrogenos_totales_13.pdf

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

República de Honduras. (2001). *PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA NACIONAL PARA AGUA DE: USO AGRÍCOLA Y PECUARIO, USO RECREATIVO, USO EN PRESERVACION DE LA FLORA Y LA FAUNA (CALIDAD BÁSICA DEL AGUA), USO EN ABASTECIMIENTO DE POBLACIONES, USO EN ACUACULTURA.*

Ritabrata, R. (2019). *An Introduction to Water Quality Analysis.* 6, 201-205. <https://doi.org/10.31786/09756272.18.9.2.214>

- Robledo-Hernandez, J. A. (2022). Evaluación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF en las microcuencas del Parque Nacional Río Dulce como herramienta en la gestión integral del manejo sustentable, Livingston, Izabal, Guatemala, Centroamérica. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.6241>
- SEMARNAT. (2009). *Fosfato total en aguas superficiales*. <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/indicadores/dambiental/Agua/Calidad/fosfato%20en%20aguas%20superficiales%20met.pdf>
- SEMARNAT. (2012). *Indicadores de calidad del agua*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12eng/compendio/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html
- Solís, J. A. R. (2020). ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA ECUACIÓN ADITIVA Y MULTIPLICATIVA, UTILIZADAS PARA COMPROBAR EL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA: CASO DEL HIDROTOPO DEL RÍO MENSABÉ. *Revista Colegiada de Ciencia*, 2(1), 26-42.
- Universidad Tecnológica de Panamá, C. de I. H. e H. (2006). *Procedimiento para la Medición de Sólidos Totales*.
- Vásquez, L. H., Garcia, H. C., & Alvarado, D. M. (2011). *Quality of the water for human consumption and health: Two studies of case in Costa Rica*. 20.
- Wong-González, E. (2010). ¿Después de un análisis de variancia?qué? Ejemplos en ciencia de alimentos. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2), 349. <https://doi.org/10.15517/am.v21i2.4899>

ANEXOS

ANEXO 1 - COTIZACIÓN DE PRUEBAS EN LABORATORIO EXTERNO



UNIDAD MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO
SUBGERENCIA DE ALCANTARILLADO SANITARIO
Planta de Tratamiento Aguas Residuales
Teléfono 2246-2280

UNIDAD MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO
SUBGERENCIA DE ALCANTARILLADO SANITARIO
Planta de Tratamiento Aguas Residuales
Teléfono 2246-2280

COTIZACION

08 MAYO 2024

DNI: 0801200404110

Camila Nazaret Valladares Lozano

A continuación, se detallas los Análisis de aguas residuales, realizados en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de aguas residuales / colonia la vega,

#	Análisis Realizados	Numero de Muestras	Valor por Muestra	Valor total
3	Sólidos Sedimentables	16	100.00	1,600.00
5	DBO	16	520.00	8,320.00
6	DQO	16	470.00	7520.00
7	E. Coli	16	400.00	6.400.00
	TOTAL			L. 23,840.00

En espera de su atención a la presente, nos suscribimos de usted.

Atentamente,



MC, Marcela Barregas
Laboratorio Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

ANEXO 2 - RESULTADOS DE PRUEBAS DE DQO & DBO



Subgerencia de Alcantarillado Sanitario y Drenaje Pluvial.

ESTACION NUMERO 1 GERMANIA

NUMERO MUESTRA	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Oxigeno Disuelto laboratorio (mg/L)
5	13.08	31.23	4.84
6	*	62.46	5.17
7	17.45	62.46	5.38
8	*	31.23	5.24

ESTACION NUMERO 2 CORTIJO

NUMERO MUESTRA	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Oxigeno Disuelto laboratorio (mg/L)
5	218.07	390.4	7.91
6	60.54	156.16	7.84
7	*	156.16	7.84
8	81.16	195.2	7.86



ESTACION NUMERO 3 LOARQUE

NUMERO MUESTRA	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Oxígeno Disuelto laboratorio (mg/L)
5	130.5	249.86	4.76
6	*	242.05	4.87
7	134.25	265.47	4.51
8	*	249.86	4.93

ESTACION NUMERO 4 SAN JOSE DE LA VEGA

NUMERO MUESTRA	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Oxígeno Disuelto laboratorio (mg/L)
5	*	265.47	0.52
6	*	390.4	0.18
7	*	390.4	0.17
8	256.3	468.48	0.15

Martha Barrios
LIC. Martha Barrios
UMAPS
UNIDAD MUNICIPAL DE AGUA
ENCARGADA LABORATORIO PTAR SAN JOSE DE LA VEGA
CORPORACION DEL DISTRITO CENTRAL

ANEXO 3 -UTILIZACIÓN DE PH-METRO DE CAMPO



ANEXO 4 - IMÁGENES COMO EVIDENCIA DE EUTROFIZACIÓN







ANEXO 5 - EVIDENCIA DE GAMA EXCEDIDA DE NITRATOS EN EL ESPECTROFOTÓMETRO



ANEXO 6 - EVIDENCIA DE TURBIDÍMETRO UTILIZADO



ANEXO 7 - EVIDENCIA DE CONOS DE IMHOFF UTILIZADOS



ANEXO 8 - RESUMEN DE COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON VALORES PERMISIBLES

Comparación de Resultados con Valores Permisibles								
Estación	Estación 1		Estación 2		Estación 3		Estación 4	
Parámetro	Ho	Ha	Ho	Ha	Ho	Ha	Ho	Ha
Oxígeno Disuelto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
pH	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Demanda Bioquímica de Oxígeno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nitratos Totales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ANEXO 9 - RESUMEN DE COMPARACIÓN DE ESTACIONES

Comparación entre Estaciones		
Parámetro	Ho	Ha
Oxígeno Disuelto	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
pH	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperatura	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Demanda Bioquímica de Oxígeno	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Fosfatos Totales	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nitratos Totales	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Turbiedad	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Total de Sólidos Sedimentables	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ANEXO 10 - RESUMEN DE COMPARACIÓN DE MUESTRAS DE UNA MISMA ESTACIÓN

Comparación de Muestras de una Misma Estación		
Parámetro	Ho	Ha
Oxígeno Disuelto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
pH	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Temperatura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Demanda Bioquímica de Oxígeno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fosfatos Totales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nitratos Totales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Turbiedad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Total de Sólidos Sedimentables	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ANEXO 11 - PLACAS PREFABRICADAS DE COLIFORMES FECALES LUEGO DE INCUBACIÓN



ANEXO 12 - PRUEBA DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES

