



# Water Quality Analysis of the San José River in Southern Zone Tegucigalpa, Honduras

Santiago Lara Sabas, Estudiante de Ingeniería Industrial y de Sistemas<sup>1</sup>, Camila Valladares, Estudiante de Ingeniería Industrial y de Sistemas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC-Honduras), Honduras, santiago.lara@unitec.edu,

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC-Honduras, Honduras, camivalladareslozano@unitec.edu

*Abstract– Evaluation of water quality in the San José River, specifically in Tegucigalpa’s southern zone has become vital due to health concerns arising from inadequate scientific data to back up its basic use for human activities. This investigation analyzes water quality at various points in a non-probabilistic sampling and the ICA-NSF parameters within a design of experiments framework. Laboratory results and an ANOVA reveal statistically significant differences in parameters like dissolved oxygen, fecal coliforms, biochemical oxygen demand, temperature, nitrates, phosphates, and turbidity throughout all different stations. Results indicate that not all parameters meet the quality standards set by the Proposed National Technical Standard for Water Uses. The calculated water quality index using the NSF method classifies the river’s quality as ranging from “Medium” to “Poor”, as it flows through urbanized areas. This degradation intensifies as the river crosses the southern zone of Tegucigalpa. Validation through expert triangulation validates the findings of the study, reinforcing the impact of the river’s diminishing water quality on public health and local communities.*

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

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Análisis de Calidad de Agua del Río San José en Zona Sur Tegucigalpa, Honduras

Santiago Lara Sabas, Estudiante de Ingeniería Industrial y de Sistemas<sup>1</sup>, Camila Valladares, Estudiante de Ingeniería Industrial y de Sistemas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC-Honduras), Honduras, santiago.lara@unitec.edu,

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC-Honduras, Honduras, camivalladareslozano@unitec.edu

**Resumen Ejecutivo**– 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.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua es una amenaza a la salud y sostenibilidad de los ecosistemas, por ello los estudios científicos de calidad del agua se son una tarea primordial. El eje central de este estudio es el análisis de la calidad del agua en el Río San José, en la zona sur de Tegucigalpa, Honduras ya que al extenderse más de 20 km y atravesar varias urbanizaciones como Loarque y La Peña su relevancia aumenta. Por lo anteriormente mencionado, el propósito de la investigación fue analizar la calidad del agua mediante pruebas fisicoquímicas, microbiológicas y el diseño de experimentos.

Dentro de Centro América, 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. [1]

En relación a lo anterior también se realizó un estudio de Telpaneca, Nicaragua, donde 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. [2]

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. [3]

El artículo científico está conformado por distintas secciones que incluyen la metodología aplicada durante la investigación, detallando subsecciones como el enfoque & alcance, variables analizadas, instrumentos y técnicas implementadas y la población y muestra. Otras secciones incluidas son los resultados de la investigación acompañados por las conclusiones y recomendaciones realizadas. Las secciones de aplicabilidad y trabajo futuro se incluyen al final del artículo científico, en aras de sentar las bases para estudios futuros basados en la investigación realizada.

## II. METODOLOGÍA

### A. Enfoque y Alcance

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que este tipo de investigaciones se basa en el establecimiento de conexiones y relacionamiento entre las variables de análisis para que, de esta manera, se pueda medir la correlación entre

ellas con el objetivo de realizar conclusiones que puedan generalizarse y realizarse de manera objetiva. [4].

Debido a lo anteriormente mencionado y gracias a la implementación de la rama de diseño de experimentos, el alcance de la investigación es experimental, ya que este alcance procura identificar variaciones en los resultados al emplearse distintos tratamientos durante un experimento, para luego poder entender las diferencias encontradas y realizar conclusiones en base a estas. [5].

### B. Variables Analizadas

Las variables independientes son también conocidas como variables explicativas ya que estas tienen la capacidad de explicar las variables dependientes. [6] Las variables independientes del presente estudio son: la contaminación de zonas urbanizadas y la entrada y flujo de aguas residuales. Mientras que las variables independientes les brindan explicación a las variables dependientes, estas últimas son variables que se desean explicar, ya sea a través de un estudio o una investigación. [6] La variable dependiente de la investigación es: El índice de la calidad del agua.

### C. Instrumentos y Técnicas

#### 1) Instrumentos

Los instrumentos principales utilizados durante la investigación fueron los siguientes:

- 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.

#### 2) Técnicas

Las técnicas principales utilizados durante la investigación fueron los siguientes:

- 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.

### D. Población y Muestra

#### 1) Población

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

- Estación 1: Ubicada a aproximadamente 11.72km del nacimiento del río 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 Tegucigalpa.
- Estación 2: 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.

- Estación 3: Ubicada a aproximadamente 2.08km de la estación anterior cuyas coordenadas son: 14°02'52.2"N 87°12'25.0"W. Se escogió debido a que en esta zona se encuentran varias colonias desechan sus aguas residuales en el cuerpo acuático a estudio.
- Estación 4: Ubicada a 3.75km aproximadamente de la tercera estación y se escogió debido a que es una estación cerca de la desembocadura del Río San José al Río Choluteca. Las coordenadas de esta estación son: 14°03'51.8"N 87°12'06.1"W.

### 2) Muestreo

El muestreo realizado en la investigación será no probabilístico por conveniencia debido a la naturaleza de la investigación ya que este tipo de muestreo, pese a no permitir la generalización de los resultados a toda la población, permite que el investigador escoja casos accesibles, brindándole así una facilidad incrementada al momento de tomar muestras. [7]

### 3) Muestra

La muestra con relación al número de estaciones será de un total de 4, siendo estas las siguientes:

- Estación 1: 14°01'27.7"N 87°12'31.2"W.
- Estación 2: 14°01'58.4"N 87°12'25.1"W.
- Estación 3: 14°02'52.2"N 87°12'25.0"W
- Estación 4: 14°03'52.5"N 87°12'06.8"W.

La muestra con respecto al número de tomas por estación será de 12 muestras por estación, sumando un total de 48 muestras sen total, donde, por estación, 8 se analizarán en el laboratorio de UNITEC y 4 serán enviadas para su análisis en un laboratorio externo.

## III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### A. Resultados de Pruebas de Laboratorio

Posterior a la recolección de muestras en las 4 estaciones del río, se llevaron a cabo las pruebas de laboratorio necesarias para obtener los resultados que luego serían utilizados para análisis estadístico y de calidad del agua del río. Cabe notar que, para los parámetros de pH y temperatura, las mediciones se llevaron a cabo in-situ. Los resultados fueron los siguientes para cada parámetro:

TABLA 1  
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

TABLA 2  
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

TABLA 3  
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

TABLA 4  
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

TABLA 5  
RESULTADOS DE LABORATORIO DE 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

TABLA 6  
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

TABLA 7  
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

TABLA 8  
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	1.57	77.9	38.5	83.6
4				

Fuente: Elaboración propia

TABLA 9  
RESULTADOS DE LABORATORIO DE TOTAL DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Parámetro	No. Muestra	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
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

### B. Comparación con valores permisibles

Se llevo a cabo un análisis estadístico básico de prueba t de una muestra con cada uno de los parámetros que coinciden en el ICA y los valores en la PNTNUA para el uso en preservación de flora y fauna, considerados como los parámetros referentes a la calidad básica del agua. Con un nivel de confianza del 95% [8], se plantearon las siguientes hipótesis:

Para la comparación entre estaciones:

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

Utilizando el software de análisis estadístico de Minitab, se llevaron a cabo las pruebas t [9] de una muestra para visualizar los resultados de las hipótesis de los parámetros.

En la figura 1 se observan los resultados de las hipótesis aceptadas o rechazadas para cada parámetro.

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"/>
Coliformes Fecales	<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"/>
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"/>
DBO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Nitratos Totales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fig. 1 Comparación con Valores Permisibles

Como se observa en la figura, la única en la que todos los parámetros analizados cumplen con el parámetro establecido

por la norma es la estación 1. Se observa que el DBO no cumple con el parámetro de la norma en ninguna de las otras 3 estaciones, por mientras parámetros como los coliformes fecales y el pH cumplen con el parámetro establecido por la norma en las 4 estaciones.

### C. Resultados de Análisis de Varianza

Se realizó un análisis de varianza de diseño de bloques para cada uno de los parámetros medidos debido a la agrupación de los datos en bloques, favoreciendo el tipo de estudio de ANOVA[10]. Se establecieron dos sets de hipótesis, uno para la comparación entre estaciones y otro para la comparación de muestras de una misma estación[11].

Para comparación entre estaciones:

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

Para comparación de muestras de una misma estación:

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

En las figuras 2 y 3 se observan los resultados de las hipótesis aceptadas o rechazadas para cada parámetro en cuanto al análisis de varianza:

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"/>

Fig. 2 Comparación entre estaciones

Con el análisis de varianza, se observa la constante diferencia significativa[12] entre la mayoría de los parámetros del estudio a lo largo de las estaciones.

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"/>

Fig. 3 Comparación de muestras de una misma estación

Se observa que las muestras en una misma estación no sostienen diferencias estadísticas significativas entre sí, aceptando todos los parámetros la hipótesis nula.

### D. Cálculo del Índice de Calidad del Agua

Para el cálculo del índice de la calidad del agua se requiere solamente de un valor para ingresar en la calculadora del ICA[13], por lo que se realizó un promedio normal entre los valores de muestra de cada parámetro en cada estación. La tabla 10 muestra los resultados de promedio obtenidos:

TABLA 10  
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

Con el uso de la calculadora del índice de calidad del agua elaborada en la Northern Iowa University[14], y los valores promedio calculados, en la tabla 11, se muestran los resultados en cuanto al ICA para cada estación:

TABLA 11  
RESULTADOS DE ICA PARA LAS ESTACIONES

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

Fuente: Elaboración propia

El criterio de uso establecido por el ICA-NSF demuestra que las estaciones se encuentran en un rango de calidad entre “Media” y “Mala”, denotando el deterioro significativo a lo largo que el río atraviesa la zona sur de Tegucigalpa.

#### IV. CONCLUSIONES

i. Referente al primer objetivo de la investigación, el OD, coliformes fecales pH, DBO y nitratos totales de las 4

estaciones se analizaron mediante la prueba t de una muestra indicando que la contaminación del agua incrementa, porque es zona de quema de desechos y recibe aguas grises y negras. El aumento de contaminación se observa al comparar los parámetros de las 4 estaciones contra los valores permisibles de 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.

ii. Mediante el análisis de varianzas y el método de Tukey, indicado en el segundo objetivo de investigación, se dictaminó que los parámetros analizados obtienen valores diferentes en cada una de las diferentes estaciones, a excepción del pH y total de sólidos sedimentables. 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. La alteración de estos parámetros, siendo la mayoría de los analizados, puede ser indicador de los cambios que sufre la calidad del agua del río San José al atravesar la zona sur de Tegucigalpa.

iii. Como se menciona en el tercer objetivo, mediante la calculadora del ICA de Northern Iowa University, se obtuvieron los índices de calidad para cada estación analizada. Se demostró que 75% de las estaciones obtuvieron un criterio de uso de “Mala” para el agua del río, observando una disminución de un puntaje de 50.3 en la estación con mejor calificación (Estación 1) a 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.

iv. El validar el proyecto de investigación, planteado como cuarto objetivo del estudio, 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.

De manera 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 la calidad del agua es mayormente mala pese a que algunos parámetros cumplen con estándares nacionales de la PNTNUA. Esta calidad del agua es alarmante para personas naturales y jurídicas ya que demuestra su decadencia tras pasar urbanizaciones del sur de Tegucigalpa, deterioro que puede causar daños a la salud humana y silvestre y afectar industrias cuyo insumo de agua sea el río.

#### V. RECOMENDACIONES

i. 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.

ii. 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 desembocadura.

iii. 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.

iv. 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.

## VI. 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.

## VII. TRABAJO FUTURO

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 DOE, pero con respecto a técnicas de saneamiento para mejorar la calidad del agua [15], 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.

## REFERENCIAS

- [1] J. A. Robledo-Hernandez, «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», *Rev. Tecnol. En Marcha*, dic. 2022, doi: 10.18845/tm.v36i1.6241.
- [2] C. López y D. Martínez, «Análisis básico de parámetros físico-químicos y bacteriológicos del agua potable de Telpaneca, Madriz, Nicaragua», *Encuentro*, n.º 76, pp. 57-66, mar. 2007, doi: 10.5377/encuentro.v0i76.3688.
- [3] J. C. Espinosa, «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.», dic. 2001, [En línea]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/643e886a-2f8d-418d-a53b-6e93b705918a/content>
- [4] R. Hernández Sampieri y C. F. Fernández-Collado, *Metodología de la investigación*, Sexta edición. México D.F.: McGraw-Hill Education, 2014.
- [5] S. Nicolás, «Diseños experimentales e investigación científica (Experimental designs and scientific research)».
- [6] D. Cauas, «Variables, enfoque y tipo de investigación».
- [7] T. Otzen y C. Manterola, «Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio», *Int. J. Morphol.*, vol. 35, n.º 1, pp. 227-232, mar. 2017, doi: 10.4067/S0717-95022017000100037.
- [8] «Confidence interval in reliability reports: a necessary analysis», *An. Sist. Sanit. Navar.*, vol. 39, n.º 1, abr. 2016, doi: 10.4321/S1137-6627/2016000100024.
- [9] M. Gómez-Gómez, C. Danglot-Banck, y L. Vega-Franco, «Cómo seleccionar una prueba estadística (Segunda parte)».
- [10] A. Monleon-Getino, «Diseño de experimentos, su análisis y diagnóstico». Unpublished, 2016. doi: 10.13140/RG.2.1.5029.3369.
- [11] F. A. A. Marquez, «ENFOQUES PARA LA FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA», 2019.
- [12] R. Boqué y A. Maroto, «EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) 1. Comparación de múltiples poblaciones».
- [13] S. Islam, T. Rasul, J. B. Alam, y M. A. Haque, «Evaluation of Water Quality of the Titas River Using NSF Water Quality Index», *J. Sci. Res.*, vol. 3, n.º 1, p. 151, dic. 2010, doi: 10.3329/jsr.v3i1.6170.
- [14] R. McCarthy, «DevAenloipnmfoernmt aotfiaveWtaittleer, QusuaaalitlylyInadfeuxllCsaenlctuelantcioeninTotowlous liinngesEoxcrel less, use Arial sized 96-120.».

- [15] S.-A. C. Gallo, L.-F. Barrios-Ziolo, L.-F. Gaviria-Restrepo, y E.-A. Agudelo, «ESTUDIO DE LA TOXICIDAD ASOCIADA AL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON PRESENCIA DE COLORANTES Y PIGMENTOS EN EL AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRA», *Rev. EIA*, vol. 13, n.º 26, pp. 61-74, mar. 2017, doi: 10.24050/reia.v13i26.742.