

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA-LEÓN**  
**(UNAN-León)**

**Dirección del Área del Conocimiento de Ciencias y Tecnología**  
**Dirección del Área Específica de Química**



**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA**

**“Estudio preliminar de nitritos mediante análisis de Imagen digital y algunos parámetros físicoquímicos en el Estero las Peñitas, León”**

**PRESENTADO POR:**

- Bra. María Francis Martínez Flores
- Bra. Loyleth Lovet Lam Douglas

**TUTOR:**

- MSc. Manuel Antonio Vanegas Carvajal.

**ASESOR:**

- MSc. Carolina del Socorro Ortega Vanegas

**12 de agosto 2024**

## RESUMEN

Para la determinación de nitritos en aguas se han utilizado comúnmente métodos espectrofotométricos. En la presente investigación, se llevó a cabo el desarrollo de un método basado en el análisis de imagen digital para la determinación de nitritos en aguas. El nitrito contenido en las muestras se hizo reaccionar con sulfanilamida y diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina (NED) para obtener un compuesto coloreado el cual fue fotografiado utilizando un teléfono móvil, para luego proceder a la obtención de los datos RGB de las imágenes digitales, los cuales permitieron la cuantificación del nitrito. Primeramente, se llevó a cabo la validación del método por medio de la evaluación de la linealidad, exactitud, precisión, límite de detección y límite de cuantificación del método basado en el análisis de imagen digital, comparando con el método de referencia, el cual utiliza un equipo espectrofotómetro convencional. Seguidamente, se determinó el límite de detección y el límite de cuantificación. Posteriormente, realizó el muestreo de los sitios seleccionados previamente. A continuación, se aplicó el método para realizar el estudio preliminar de nitritos en aguas del río chiquito y del estero las peñitas y se evaluaron algunos parámetros de calidad del agua, tales como el oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y salinidad.

## CERTIFICACIÓN, FINANCIAMIENTO Y AUTORIZACIÓN

**MANUEL ANTONIO VANEGAS CARVAJAL**, profesor Titular del Departamento de Química de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua y director de la Tesis titulada **“ESTUDIO PRELIMINAR DE NITRITOS MEDIANTE ANÁLISIS DE IMAGEN DIGITAL Y ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL ESTERO LAS PEÑITAS, LEÓN”**

### CERTIFICA QUE:

Las Bachilleras María Francis Martínez Flores y Loyleth Lovet Lam Douglas, han realizado el presente trabajo de investigación para optar al título de Licenciado en Química.

### FINANCIAMIENTO:

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelo de la UNAN-León y forma parte de los resultados del proyecto “Construcción de un espectrofotómetro de bajo costo y su aplicación para el estudio de la contaminación por nitritos del Estero las Peñitas por las aguas del río chiquito y su mitigación por la zona de amortiguamiento de la Isla Juan Venado, en el periodo de junio a octubre 2023”, de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, financiado con los fondos del Programa de Fortalecimiento Institucional a la Investigación, Innovación y Emprendimiento, de las carreras de pregrado, grado y posgrado, en UNAN-León, 2023.

### AUTORIZACIÓN:

Como responsable de la dirección y supervisión tanto de los distintos aspectos del trabajo, como de su redacción, se considera que el trabajo reúne los requisitos y la estructura académica requeridos, por lo cual se autoriza para que sea presentado y defendido ante un Tribunal examinador.

Y para que así conste, expido y firmo la presente en la ciudad de León a los doce días del mes de agosto del año dos mil veinticuatro.

**Fdo. Manuel Antonio Vanegas Carvajal**  
Profesor Titular  
Departamento de Química, UNAN-León.

## Dedicatoria

Dedico este trabajo, a Dios por darme la sabiduría, la paciencia y la perseverancia necesarias para alcanzar este logro. Sin Su apoyo, amor, bondad y gracia, nada de esto hubiera sido posible. También por a ver puesto en mi camino personas que han sido soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Con el corazón lleno de amor, dedico este trabajo también a mi papa Felipe Martinez, a mi mamá Gregoria Flores, quienes estuvieron apoyándome desde el día uno. Gracias, por su inmenso sacrificio, por ser mis guías y mi mayor apoyo. Mi madre que con tu amor y esfuerzo me has sacado adelante, y hoy, gracias a ti, he alcanzado esta gran meta. Este logro también es tuyo, porque sin tu apoyo y sabiduría no habría llegado hasta aquí.

## Agradecimientos

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios por ser mi fuente de fortaleza y sabiduría a lo largo de este proceso. Sin Su guía, este logro no habría sido posible.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al MSc. Manuel Antonio Vanegas Carvajal, mi tutor, por su constante apoyo, paciencia y orientación durante la realización de esta tesis. Sus conocimientos y consejos fueron fundamentales para el desarrollo exitoso de este trabajo.

Agradezco también a MSc. Carolina Ortega, por su valiosa asistencia y colaboración a lo largo de este proyecto. Su disposición para ayudar y su experiencia han sido de gran valor para llevar esta investigación a buen término.

Un agradecimiento especial a mi compañera de trabajo, Loyleth Lam Douglas, por su dedicación, esfuerzo y apoyo incondicional durante todo el proceso. Juntas enfrentamos los desafíos, y tu compromiso fue fundamental para alcanzar este objetivo.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi mamá, quien con su amor, esfuerzo y sacrificio ha sido mi mayor apoyo. Gracias, mamá, por estar siempre a mi lado y por guiarme con tu sabiduría. Este logro es tanto tuyo como mío.

Finalmente, agradezco a todos mis seres queridos, amigos y familiares que, de una u otra manera, me ofrecieron su apoyo y motivación para culminar este proyecto.

## Dedicatoria

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Jehová, mi guía y fortaleza en todo momento. Agradezco a Dios por darme la sabiduría, la paciencia y la perseverancia necesarias para alcanzar este logro. Sin Su apoyo, amor, bondad y gracia, nada de esto hubiera sido posible. También por a ver puesto en mi camino personas que han sido soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Con el corazón lleno de amor, dedico este trabajo también a mi papá Jaime Lam, quien partió cuando yo aún era pequeña. Aunque ya no está aquí físicamente, su recuerdo sigue siendo una fuente de inspiración y motivación en mi vida, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí. Este logro es para ti, papá, porque tus recuerdos y amor viven en mí.

Y, finalmente, quiero dedicar este trabajo a mi mamá Ana Joyce Douglas, quien, con una valentía y dedicación inquebrantables, tomó el rol de madre y padre. Gracias, mamá, por tu inmenso sacrificio, por ser mi guía y mi mayor apoyo. Con tu amor y esfuerzo me has sacado adelante, y hoy, gracias a ti, he alcanzado esta gran meta. Este logro también es tuyo, porque sin tu apoyo y sabiduría no habría llegado hasta aquí.

## Agradecimientos

En primer lugar, agradezco profundamente a Jehová, por ser mi fuente de fortaleza y sabiduría a lo largo de este proceso. Sin Su guía, este logro no habría sido posible.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al MSc. Manuel Antonio Vanegas Carvajal, mi tutor, por su constante apoyo, paciencia y orientación durante la realización de esta tesis. Sus conocimientos y consejos fueron fundamentales para el desarrollo exitoso de este trabajo.

Agradezco también a MSc. Carolina Ortega, por su valiosa asistencia y colaboración a lo largo de este proyecto. Su disposición para ayudar y su experiencia han sido de gran valor para llevar esta investigación a buen término.

Un agradecimiento especial a mi compañera de trabajo, María Francis Martínez Flores, por su dedicación, esfuerzo y apoyo incondicional durante todo el proceso. Juntas enfrentamos los desafíos, y tu compromiso fue fundamental para alcanzar este objetivo.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi mamá, quien con su amor, esfuerzo y sacrificio ha sido mi mayor apoyo. Gracias, mamá, por estar siempre a mi lado y por guiarme con tu sabiduría. Este logro es tanto tuyo como mío.

A mis hermanas, por su apoyo, cariño y palabras de aliento. Gracias por creer en mí y brindarme la fuerza necesaria para seguir adelante en los momentos difíciles. Su presencia ha sido esencial a lo largo de este camino.

Finalmente, agradezco a todos mis seres queridos, amigos y familiares que, de una u otra manera, me ofrecieron su apoyo y motivación para culminar este proyecto

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	2
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Imagen digital .....	1
1.2 Contaminación por nitritos en las aguas.....	2
1.3 Indicadores de contaminantes.....	3
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo General.....	4
2.2 Objetivos Específicos .....	4
3 MARCO TEÓRICO .....	5
3.1 Fuentes de contaminación de los recursos hídricos.....	5
3.2 Agricultura .....	5
3.3 Descargas industriales .....	5
3.4 Vertido de aguas residuales urbanas .....	5
3.5 Residuos sólidos .....	6
3.6 Contaminación atmosférica .....	6
3.7 Actividades de minería .....	6
3.8 Vertidos de embarcaciones .....	6
3.9 Tratamiento de la imagen digital.....	6
3.10 El cumplimiento de la ley de Lambert-Beer .....	7
3.11 La espectrofotometría ultravioleta-visible (UV-Vis).....	8
3.12 La linealidad .....	8
3.13 La exactitud .....	8

3.14 La precisión.....	9
4 PARTE EXPERIMENTAL.....	10
4.1 Equipo.....	10
4.2 Materiales.....	10
4.3 Reactivos.....	10
4.4 Preparación de soluciones.....	11
4.4.1 Solución madre de $\text{NO}_2^-$ 1000 $\text{mgL}^{-1}$ .....	11
4.4.2 Solución intermedia de $\text{NO}_2^-$ 100 $\text{mgL}^{-1}$ .....	11
4.4.3 Solución estándar de nitrito de 10 ppm (Solución hija).....	11
4.4.4 Reactivo para desarrollo del color.....	11
4.4.5 Procedimiento de recolección de datos.....	12
4.5 Procedimientos.....	12
4.5.1 Procesamiento de imagen por medio de ImageJ.....	12
4.5.2 Captura de imágenes.....	12
4.5.3 Preprocesamiento de imágenes.....	12
6.5.4 Segmentación.....	13
6.5.6 Análisis cuantitativo.....	13
6.5.7 Validación.....	13
6.5.8 Procedimiento para la determinación de nitrito.....	13
6.5.9 Selección de sitios de muestreos.....	14
6.5.10 Toma de muestras.....	14
6.5.11 Desarrollo del color en las muestras.....	14
5 RESULTADOS Y DISCUSION.....	15
5.1 Coordinadas y descripción del sitio de muestreos.....	15

5.2 Validación del método analítico desarrollado .....	16
5.2.1 Linealidad .....	16
5.2.2 Precisión .....	19
5.2.3 Exactitud para la determinación de nitrito .....	23
5.2.4 Límite de detección y límite de cuantificación .....	26
5.2.5 Resultados obtenidos de concentración de nitritos por medio del análisis de .....	27
Imagen digital .....	27
5.2.6 Resultados obtenidos de Oxígeno disuelto, pH, CE, Salinidad (indicadores de contaminación) .....	29
6 CONCLUSIONES .....	36
7 RECOMENDACIONES .....	38
8 BIBLIOGRAFIA .....	39
9 ANEXOS .....	42
9.1 Mapa de los sitios de toma de muestras .....	42
9.2 Muestras de laboratorio .....	43
9.3 Recolección de muestras .....	44

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Descripción de sitios de muestreos .....	15
Tabla 2 Curva de calibración del canal rojo .....	18
Tabla 3 0,05 mg/L, Canal Rojo .....	20
Tabla 4 0,15 mg/L, Canal Rojo .....	20
Tabla 5 Resultados del Test de Bartlett 0.05mg/L .....	21

Tabla 6 Resultados del Test de Bartlett 0.15mg/L .....	22
Tabla 7 ANÁLISIS DE VARIANZA .....	23
Tabla 8 Concentración 0,05 mg/L porcentaje de recuperación en ImageJ digital .....	24
Tabla 9 concentración 0,05 mg/L porcentaje de recuperación de Espectrofotómetro ...	24
Tabla 10 Concentración 0.15 mg/L Porcentaje de recuperación de ImageJ Digital .....	24
Tabla 11 Concentración 0.15 mg/L Porcentaje de recuperación de Espectrofotómetro	25
Tabla 12 Resultados de límite de detección .....	26
Tabla 13. Contenido de nitrito encontrado en las muestras analizadas .....	27
Tabla 14. Indicadores pH, Temperatura y O <sub>2</sub> disuelto (Muestreo 1) .....	29
Tabla 15. Indicadores pH, Temperatura y O <sub>2</sub> disuelto (Muestreo 2) .....	30
Tabla 16 Indicadores (Conductividad eléctrica y Salinidad) Muestreo 1 .....	32
Tabla 17 Indicadores (Conductividad eléctrica y Salinidad) Muestreo 2 .....	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sitios de muestreo seleccionados por conveniencia para la toma de muestras de agua .....	16
<i>Figura 2 Disoluciones estándar de Nitrito en el rango de 0.02 mg/L-0.2 mg/L. ....</i>	<i>17</i>
Figura 3 Concentración de nitrito (0.02 mg/L a 0.20 mg/L) contra Intensidad .....	18
Figura 4 Linealidad. Concentración de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 0.02 mg/L a 0.2 mg/L (Canal Rojo) .....	19
Figura 5. Resultados de nitrito obtenidos para cada muestra .....	27

# 1 INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua es un desafío ambiental crítico que enfrentamos en la actualidad, con repercusiones devastadoras en los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Entre los numerosos contaminantes, los nitritos han surgido como una preocupación significativa debido a su origen variado y sus efectos perjudiciales. Los nitritos son compuestos químicos derivados de diversas actividades humanas, como la agricultura intensiva, la industria química y el uso doméstico de productos químicos. Su presencia en el agua puede conducir a la eutrofización, la pérdida de biodiversidad y representar riesgos para la salud humana, especialmente en forma de metahemoglobinemia.

El estudio de imagen digital es el análisis y procesamiento de imágenes utilizando herramientas y técnicas digitales. Esto implica la manipulación de imágenes adquiridas a través de dispositivos como cámaras digitales, escáneres o satélites, entre otros. La capacidad de capturar y analizar imágenes de alta resolución permite una detección temprana y precisa de la presencia de nitritos.

Este estudio se centra en un estudio preliminar de la capacidad de mitigación de las zonas de amortiguamiento en el Estero Las Peñitas contra la contaminación por nitritos. Para ello, se utilizará el análisis de imágenes digitales como una herramienta innovadora para evaluar los cambios en la calidad del agua. Este enfoque proporcionará información de los procesos de mitigación natural que ocurren en la zona de amortiguamiento y su impacto en la reducción de los niveles de contaminación.

## 1.1 Imagen digital

La necesidad de herramientas avanzadas en el procesamiento de imágenes para la investigación científica ha sido un tema de interés desde hace décadas. En 1997, Wayne Rasband, del Instituto Nacional de Salud Mental en Estados Unidos, desarrolló ImageJ digital para abordar esta necesidad en el campo de la neurociencia, reconociendo la

demanda de una herramienta más potente y versátil capaz de realizar análisis sofisticados (Gonzales, 2018). Este avance tecnológico sentó las bases para investigaciones posteriores, como la llevada a cabo por Jorge Luís Oliveira Santos en 2014, que exploró estrategias analíticas alternativas, incluido el uso de análisis de imágenes digitales, para determinar nitrito y nitrato en muestras ambientales y alimentos (Santos, 2014). Continuando esta línea de investigación, en 2016, Santos et al. investigaron el uso de imágenes digitales para medir nitritos y nitratos en aguas naturales, desarrollando un método que ofrece una alternativa precisa y eficiente para medir contaminantes en muestras de agua (Santo, Leite, Vieira, Jesús & Kamogawad et al., 2016). Este progreso tecnológico inspiró investigaciones posteriores, como la realizada por Pérez Cisneros y colaboradores en 2018, que desarrollaron un método de colorimetría basado en fotografías digitales para medir azul de metileno en el tratamiento de aguas residuales, demostrando su potencial para una medición eficiente de contaminantes (Cisneros, Intriago & Ramos et al., 2018). Estos avances muestran la continua evolución de la tecnología en el campo del análisis de imágenes y su importancia en la investigación científica.

## **1.2 Contaminación por nitritos en las aguas.**

La presencia y efectos de los nitritos en los ecosistemas acuáticos han sido motivo de preocupación y estudio a lo largo del tiempo. En 1984, Siman et al. destacaron que estos compuestos químicos, resultado de actividades humanas y procesos naturales, ingresan a los ecosistemas acuáticos por la lixiviación del suelo, descargas industriales y aguas residuales, afectando negativamente ríos, lagos, acuíferos y aguas subterráneas. (Siman et al., 1984). Estudios posteriores, como el realizado por Amarra Carrasco y María Auxiliadora en 2003, analizaron la concentración de nitritos en el Río Pochote en León, Nicaragua, encontrando niveles superiores a los límites ambientales establecidos (Ramírez & Auxiliadora, 2003). Investigaciones adicionales, como la de Camargo y

Alonso en 2007, en un estudio llevado a cabo en el Laboratorio de Ecotoxicología de la Universidad de Alcalá, España, resaltaron la amenaza significativa de los nitritos para la salud y el equilibrio ambiental, proporcionando información sobre los problemas asociados y las implicaciones del cambio climático (Camargo & Alonso, 2007).

En 2014, Daniel T. y Rolando F. evaluaron los niveles de nitritos en agua potable, subrayando la importancia de mantener su calidad y potabilidad. Estos estudios proporcionan una base sólida para comprender y abordar los desafíos asociados con la presencia de nitritos en el agua, destacando la necesidad de continuar investigando y desarrollando (Juárez & Fuentes, 2014).

### **1.3 Indicadores de contaminantes**

En 2010, Wilson y Marcos realizaron un estudio de la Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica, cuyo objetivo fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas de las aguas superficiales en la cuenca del río Rincón, ubicada en la Península de Osa, Costa Rica. Este estudio es fundamental debido a la importancia ecológica y la biodiversidad única de la Península de Osa, así como a la necesidad de comprender el impacto humano en los recursos hídricos de la región. A través del análisis de parámetros como pH, temperatura, conductividad eléctrica, concentraciones de oxígeno disuelto, nutrientes y metales pesados, se busca obtener una comprensión más completa de la calidad del agua en esta área (Beita-Sandí & Barahona-Palomo, 2010)

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Realizar el estudio preliminar de los nitritos mediante análisis de Imagen digital y algunos parámetros fisicoquímicos en el Estero las Peñitas, León.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar los sitios de muestreo y realizar muestreo de las aguas
- Estudiar la exactitud de imagen digital comparando con el espectrofotómetro convencional.
- Determinar los límites de detección y cuantificación, rango de linealidad de nitrito por medio de análisis digital.
- Determinar e interpretar el contenido de nitritos por medio del análisis de imagen digital.
- Interpretar los resultados obtenidos de algunos parámetros fisicoquímicos sujetos de estudio (pH, CE, Salinidad Oxígeno disuelto).

## **3 MARCO TEÓRICO**

### **3.1 Fuentes de contaminación de los recursos hídricos**

Las fuentes de contaminación de los recursos hídricos pueden ser diversas y pueden clasificarse en varias categorías. Agricultura, Descargas industriales, Vertido de aguas residuales urbanas, Residuos sólidos, Contaminación atmosférica, Actividades de minería, Vertidos de embarcaciones (Gamarra Torres, 2018).

### **3.2 Agricultura.**

Los fertilizantes, pesticidas y herbicidas utilizados en la agricultura pueden lixiviar hacia los cuerpos de agua, contaminando el agua con nutrientes como nitrógeno y fósforo, así como con productos químicos tóxicos (Ongley, 1997).

### **3.3 Descargas industriales.**

Las industrias pueden descargar una variedad de contaminantes en los cuerpos de agua, incluyendo metales pesados, productos químicos orgánicos, solventes, aceites y grasas, entre otros (Jiménez Cisneros, 2001).

### **3.4 Vertido de aguas residuales urbanas.**

Las aguas residuales municipales pueden contener una amplia gama de contaminantes, incluyendo materia orgánica, nutrientes, patógenos, productos químicos domésticos y compuestos farmacéuticos. Si no se tratan adecuadamente, estas aguas residuales pueden contaminar los cuerpos de agua receptores (Ledó, 2002).

### **3.5 Residuos sólidos.**

La disposición inadecuada de residuos sólidos, como basura y desechos, puede resultar en la contaminación de las fuentes de agua subterráneas y superficiales debido a la lixiviación de contaminantes (Guzmán Jiménez & Ubajoa Osso, 2018).

### **3.6 Contaminación atmosférica.**

Los contaminantes atmosféricos, como óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, pueden depositarse en los cuerpos de agua a través de la lluvia ácida, afectando su calidad (Spedding & Spedding, 1981).

### **3.7 Actividades de minería.**

Las actividades mineras pueden generar drenaje ácido de minas, que contiene metales pesados y ácidos que pueden contaminar los cuerpos de agua cercanos (Menéndez & Muñoz, 2021).

### **3.8 Vertidos de embarcaciones.**

Las embarcaciones pueden liberar contaminantes, como aceites y combustibles, directamente en el agua durante su funcionamiento normal (Sánchez Esparza & Zevallos Torres, 2012).

### **3.9 Tratamiento de la imagen digital.**

Es un proceso que implica el procesamiento computarizado de imágenes capturadas por dispositivos electrónicos. Incluye varias tecnologías y algoritmos diseñados para mejorar la calidad de la imagen, obtener información relevante y realizar análisis

cuantitativos. Desde la corrección de color y la eliminación de ruido hasta la segmentación y la extracción de características, el procesamiento de imágenes digitales puede proporcionar datos de imágenes precisos y significativos, lo que lo hace esencial en medicina, investigación científica, ingeniería y muchos otros campos donde la visualización y el análisis de imágenes son esenciales (Peña, 2018).

### 3.10 El cumplimiento de la ley de Lambert-Beer.

Es un principio fundamental de la espectrofotometría que establece una relación directa entre la absorbancia de una solución y la concentración de sustancias presentes en esa solución. Según esta ley, la absorbancia (A) es igual a la concentración de la sustancia (C) y al camino óptico (l) cuando la luz queda atrapada en la solución. Matemáticamente, se expresa como

$$A = \varepsilon * l * C$$

**Ecuación 1**

Donde  $\varepsilon$  representa el coeficiente de extinción molar del material, y esta constante depende de la naturaleza del material y de la longitud de onda de comprensión. El cumplimiento de estas reglas es importante para la determinación cuantitativa de la concentración de una sustancia en solución y proporciona una base teórica sólida para la espectrofotometría y otros métodos de análisis químico (García Martínez, 2012)

### 3.11 La espectrofotometría ultravioleta-visible (UV-Vis)

Es una técnica analítica utilizada en química para medir la absorbancia de luz por una muestra en el rango de longitudes de onda ultravioleta (UV) y visible (Vis) del espectro electromagnético. (Biotecnia, 2020.) Esta técnica se basa en la ley de Beer-Lambert, que establece una relación lineal entre la absorbancia de la luz y la concentración de la especie química que la absorbe. El análisis de agua utilizando espectrofotometría UV-Vis es una técnica comúnmente utilizada en la industria del agua, así como en la investigación científica y el monitoreo ambiental. Esta técnica se emplea para determinar la concentración de diversos compuestos presentes en el agua, como contaminantes orgánicos e inorgánicos, nutrientes, metales pesados, productos químicos industriales, entre otros. (Alfaro-Alvarado, 2022)

### 3.12 La linealidad.

Proporciona la base para una cuantificación precisa de sustancias en solución, ya que la señal obtenida es proporcional a la cantidad de sustancia presente, lo que permite una interpretación confiable de los resultados analíticos. La linealidad se verifica mediante la construcción de curvas de calibración y es esencial para garantizar la corrección y precisión de los métodos analíticos en química (Méndez, 2015)

### 3.13 La exactitud.

Se centra en la evaluación de la concordancia entre los resultados de las medidas y los valores verdaderos de la magnitud a medir. Indica qué tan cerca están los resultados de las mediciones del valor verdadero. Esta medida es fundamental para determinar la calidad de los resultados obtenidos (Riesco, 2005).

### **3.14 La precisión.**

Es la concordancia entre múltiples mediciones bajo las mismas condiciones de prueba. La evaluación se basa en el uso de parámetros estadísticos como la desviación estándar, la varianza o el coeficiente de variación. La precisión se centra en la producción y la coherencia de los resultados (Pingarrón González, 2021).

### **3.15 Límite de detección y cuantificación.**

El límite de detección es la cantidad más pequeña de analito que se puede determinar con este método, pero no siempre se determina con precisión. En otras palabras, representa el punto en el que el analito puede identificarse, pero no cuantificarse. La prueba de límite de detección simplemente verifica si la cantidad de analito está por encima o por debajo de un nivel predeterminado. Por otro lado, el límite de cuantificación es la cantidad más pequeña de analito en una muestra que puede determinarse con precisión y exactitud aceptables bajo ciertas condiciones experimentales. Esto significa que es el punto en el que el analito puede detectarse y cuantificarse de forma fiable (Quino et al., 2007)

## 4 PARTE EXPERIMENTAL

### 4.1 Equipo

- Balanza analítica Sartorius GMBH gottingen (AC210S),  $d= 0.001g$ .
- Espectrofotómetro Thermo Scientific Genesys 10S UV-Vis

### 4.2 Materiales

- Celda de cuarzo
- Micro pipeta de 0.1 ml a 0.9 ml
- Micro pipeta de 0.02 ml a 0.1 ml
- Pipetas graduadas de 3ml, 5ml, y 10ml
- Pipetas aforadas de 1ml, 2ml, 3ml, y 5ml
- Balón de 25ml, 50ml, y 100ml
- Beaker pyrex de 100ml
- Probeta de 10 ml
- Dispensador para pipeta
- Embudo de vidrio, pequeño
- Botellas de polietileno de 250 mL
- Pizeta
- Espátula

### 4.3 Reactivos

- Sulfanilamida ( $C_6H_8N_2O_2S$ ) ACROS ORGANICS 98%
- Diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina ( $C_{12}H_{16}Cl_2N_2$ ) MERCK 97.0%
- Nitrito de sodio ( $NaNO_2$ ) FISHER SCIENTIFIC 99.6%
- Cloroformo ( $CHCl_3$ ) FISHER SCIENTIFIC 99.8%
- Ácido fosfórico
- Agua destilada

## **4.4 Preparación de soluciones**

### **4.4.1 Solución madre de $\text{NO}_2^-$ 1000 $\text{mgL}^{-1}$**

El reactivo de nitrito a usar debe ser al menos de un 99%, ya que el nitrito es fácilmente oxidado en presencia de humedad. Mantener el frasco de reactivo bien cerrado para evitar el acceso de aire cuando no está en uso. Disolver 0,375 g de nitrito de sodio en agua y diluir a 250 mL en un matraz volumétrico. Preservar con 0,25 mL de cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ). A una temperatura de 4°C, esta solución es estable por al menos durante 3 meses.

### **4.4.2 Solución intermedia de $\text{NO}_2^-$ 100 $\text{mgL}^{-1}$**

Tomar una alícuota de 25 mL de la solución madre de  $\text{NO}_2^-$  1000  $\text{mgL}^{-1}$ , colocarla en un matraz volumétrico de 250 mL, diluir con agua hasta la marca de aforo.

### **4.4.3 Solución estándar de nitrito de 10 ppm (Solución hija)**

Tomar 5 ml de la solución de nitrito de 100 ppm, colocarlos en un matraz aforado de 50 mL y diluir con agua destilada hasta la señal de aforo.

### **4.4.4 Reactivo para desarrollo del color**

Añádase a 800 ml de agua 100 ml de ácido fosfórico al 85% y 10 g de sulfanilamida, tras disolver la sulfanilamida, añádase 1 g de diclorhidrato de N-(1-naftil)etilendiamina. Mézclase para disolver y dilúyase hasta 1 L. la solución es estable hasta cerca de un mes en refrigeración en un frasco oscuro.

#### **4.4.5 Procedimiento de recolección de datos**

La recopilación de datos debe realizarse de manera simultánea a su generación, asegurando una claridad absoluta y evitando tachaduras o correcciones que puedan dificultar la lectura de los registros. En caso de ser necesario corregir algún dato, se trazará una línea sobre el error y se añadirá la corrección junto con la indicación del cambio, la fecha y la persona responsable de la corrección. Es importante evitar dejar espacios en blanco en los registros. Si se emplean formatos para recopilar datos, se registrará la fecha y hora de los ensayos, coincidiendo con la fecha de las anotaciones.

### **4.5 Procedimientos**

#### ***4.5.1 Procesamiento de imagen por medio de ImageJ***

- Capturar la imagen
- Procesamiento de imagen digital
- Segmentación
- Extracción de características
- Análisis cuantitativos
- Validación

#### ***4.5.2 Captura de imágenes***

- Utilizar cámaras digitales u otros dispositivos como teléfonos móviles para tomar fotografías.

#### ***4.5.3 Preprocesamiento de imágenes***

- Cargar las imágenes en el software ImageJ Digital.

#### **6.5.4 Segmentación**

- Utilizar herramientas de segmentación en ImageJ Digital para identificar áreas de interés en las imágenes.
- Seleccionar el método de segmentación adecuado según las características de las imágenes y los objetivos del estudio.

#### **6.5.5 Extracción de características**

- Utilizar herramientas de medición en ImageJ Digital para cuantificar estas características en las áreas identificadas durante la segmentación.

#### **6.5.6 Análisis cuantitativo**

- Cuantificar las características extraídas de las imágenes.
- Utilizar funciones de análisis estadístico en ImageJ Digital para calcular medidas como promedios, desviaciones estándar y correlaciones entre variables.

#### **6.5.7 Validación**

- Realizar pruebas de validación para asegurar la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos mediante el análisis de imagen digital.
- Comparar los resultados del análisis de imagen digital con el espectrofotómetro convencional.

#### **6.5.8 Procedimiento para la determinación de nitrito**

- Selección de los sitios de muestreo
- Toma de muestras
- Desarrollo del color en las muestras
- Validación del método analítico desarrollado

### **6.5.9 Selección de sitios de muestreos**

se llevará a cabo por medio de imágenes satelitales, empleando el software Google Earth. En total se seleccionarán 6 puntos de muestreo tomando en cuenta el propósito del estudio, así como en base a la experiencia de los investigadores.

### **6.5.10 Toma de muestras**

Se emplearán recipientes de polietileno de 250 ml, tomando 2 muestras por cada punto de muestreo, para un total de 12 muestras. Estas serán tomadas teniendo en cuenta las características del recurso hídrico. Serán colocadas en un recipiente térmico a 4°C y transportadas hasta el laboratorio. Éstas serán almacenadas en refrigeración a 4°C, sin ningún preservante y serán analizadas lo más pronto posible, en un periodo de tiempo máximo de 10 horas luego del muestreo.

### **6.5.11 Desarrollo del color en las muestras**

Si el pH de la muestra no estuviera comprendido entre 5 y 9, ajústese a ese valor con HCl 1N o NH<sub>4</sub>OH según convenga. Añádanse 2 ml de reactivo de color a 50,0 ml de muestra o a una porción diluida a 50,0 ml y mézclese.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1 Coordenadas y descripción del sitio de muestreos

Se seleccionaron en total 6 sitios de muestreo, tomando en cuenta los fines del estudio, se tomaron en puntos de interés, localizados antes de la zona de amortiguamiento de la reserva Isla Juan Venado, y después de esta zona, en dirección a la salida principal al Estero las Peñitas. Se tomaron dos réplicas por cada sitio, representadas en el código de las muestras como R1 y R2, las R1 se tomaron en la fecha 2024-01-18 y las R2 en la fecha 2024-02-02. El detalle se muestra a continuación en la **Tabla 1**.

**Tabla 1 Descripción de sitios de muestreos**

Código de las muestras	Coordenadas		Descripción
M1-R1	X: 509350	Y: 1372203	Aguas procedentes de pilas de sedimentación
M1-R2			(puente la gallina)
M2-R1	X: 502877	Y: 1369439	Aguas procedentes de la unión de los ríos
M2-R2			El Pochote, Aposento y Rio Chiquito
M3-R1	X: 504522	Y: 1364640	Aguas del cauce natural del rio chiquito
M3-R2			Aguas en el Estero Las Peñitas, en la cual converge el río Chiquito de forma difusa al atravesar la zona de amortiguamiento de la Isla
M4-R1	X: 504080	Y: 1362659	Juan Venado
M4-R2			
M5-R1	X: 501585	Y: 1364466	Aguas de brazo del estero las Peñitas
M5-R2			
M6-R1			Aguas de brazo del estero las Peñitas, salida hacia el estero principal
M6-R2	X: 4989917	Y: 1365585	

A continuación, se muestra la ubicación de los sitios de muestreo



Figura 1 Sitios de muestreo seleccionados por conveniencia para la toma de muestras de agua

## 5.2 Validación del método analítico desarrollado

La validación del método analítico desarrollado incluyó la evaluación de algunos parámetros cruciales que determinan su eficacia, como la linealidad, límite de detección, límite de cuantificación, precisión y exactitud. A continuación, se proporciona un análisis detallado de cada uno de estos aspectos.

### 5.2.1 Linealidad

Para evaluar la linealidad del método, se prepararon una serie de estándares de nitrito, cuyas disoluciones fueron fotografiadas para luego analizar los datos RGB de cada

imagen. La evaluación de la linealidad se realizó de manera independiente para cada canal de color: Rojo (R), Verde (G) y Azul (B). A continuación, se presenta la imagen digital de las disoluciones estándar en el rango de 0.02 mg/L a 0.20 mg/L, junto con el blanco analítico. Ver **Figura 2**.



*Figura 2 Disoluciones estándar de Nitrito en el rango de 0.02 mg/L-0.2 mg/L.*

Como se ha mencionado previamente, los datos RGB de cada imagen fueron obtenidos mediante el software ImageJ. Luego, la intensidad de cada canal del espacio RGB fue calculada utilizando las siguientes ecuaciones:

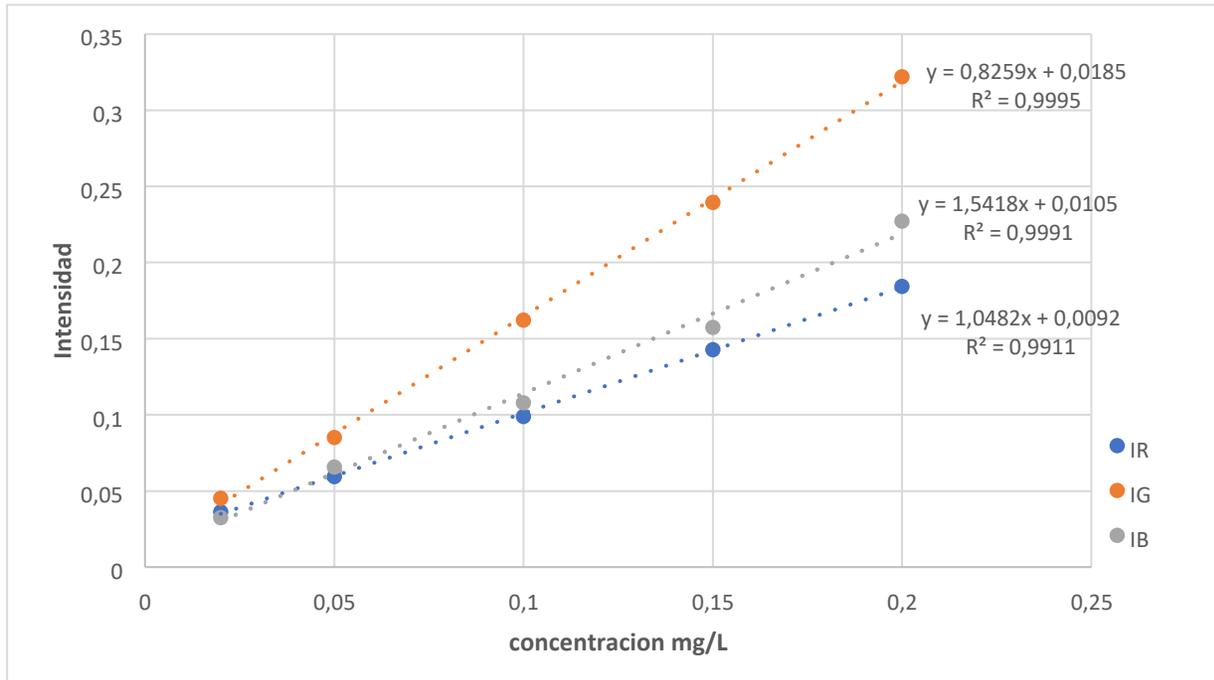
Intensidad del canal Rojo:  $IR = \log BR/R$

Intensidad del canal Verde:  $IG = \log BG/G$

Intensidad del canal Azul:  $IB = \log BB/B$

En donde: IR, IG, IB representan la intensidad efectiva para los canales rojo, verde, azul, respectivamente. BR, BG, y BB son los valores del blanco, mientras que R, G, y B son

los valores del rojo, verde, y azul de la muestra.



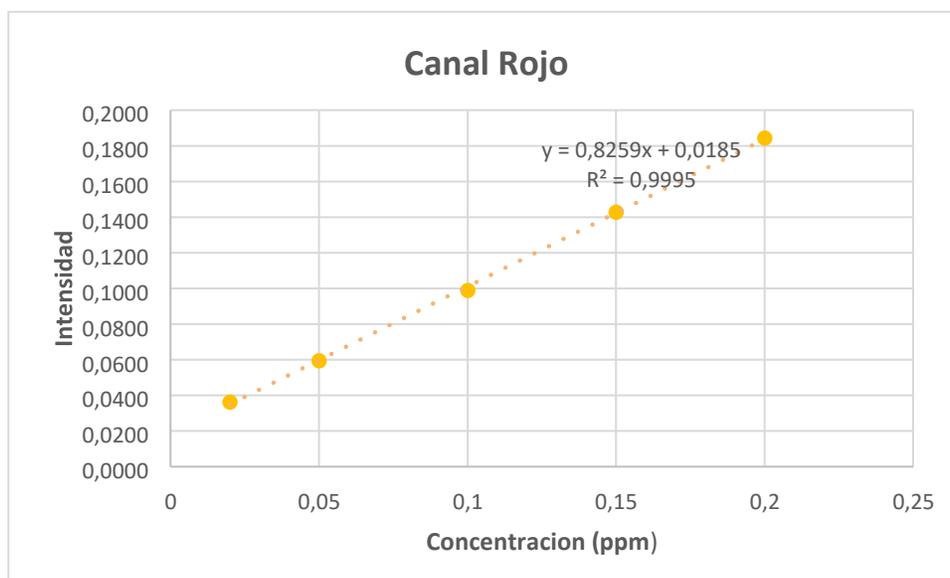
**Figura 3 Concentración de nitrato (0.02 mg/L a 0.20 mg/L) contra Intensidad**

Según lo evidenciado en la **Figura 3**, Se podrían utilizar cualquiera de los tres canales del color para realizar la determinación de nitratos, sin embargo, de acuerdo con el coeficiente de determinación obtenido, el orden de preferencia para ser aplicado sería canal Rojo (R) > canal verde (G) > canal azul (B), por lo cual, en la presente investigación utilizaremos el canal rojo (R), para la aplicación en la determinación de nitratos en las muestras de aguas estudiadas, dado que exhibe un coeficiente de determinación de  $R^2 = 0.9995$ .

**Tabla 2 Curva de calibración del canal rojo**

Concentración del canal rojo					
Concentración $\text{NO}_2$	0.02	0.05	0.10	0.15	0.20
Intensidad Rojo	0.0363	0.0595	0.0989	0.1429	0.1843

La **Tabla 2** muestra una relación lineal entre la concentración de nitrito y la intensidad del canal rojo. A medida que aumenta la concentración de nitrito, también lo hace la intensidad del canal rojo, por lo cual se puede afirmar que existe una fuerte correlación entre ambas variables.



**Figura 4 Linealidad. Concentración de  $\text{NO}_2^-$  0.02 mg/L a 0.2 mg/L (Canal Rojo)**

Los resultados presentados en la Figura 4, el canal Rojo (R) se identifica como el más adecuado para la determinación de nitritos en muestras de agua mediante análisis de imagen digital. Esto se confirma mediante coeficiente de determinación ( $R^2 > 0.9995$ ).

### 5.2.2 Precisión

La precisión fue evaluada mediante el estudio de la repetibilidad, para lo cual se empleó una solución patrón de  $\text{NO}_2^-$  con concentraciones de 0.05 mg/L y 0.15 mg/L. Este estudio se llevó a cabo durante cinco días consecutivos, realizando cinco réplicas diarias. Se tomó una fotografía de cada solución en condiciones de repetibilidad, y estos resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor para determinar si las medias de los cinco días eran estadísticamente iguales. En las **Tabla 3 y 4**, se observan los resultados.

**Tabla 3 0,05 mg/L, Canal Rojo**

<b>Réplicas</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>
1	178.052	176.883	177.311	176.778	177.886
2	177.096	178.114	177.153	176.586	178.332
3	176.242	176.096	177.658	176.229	178.166
4	177.069	177.132	177.444	175.668	176.789
5	176.191	178.095	177.111	176.19	175.789

**Tabla 4 0,15 mg/ ., Canal Rojo**

<b>Réplicas</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>
1	194.404	185.793	179.476	146.000	161.516
2	213.95	202.846	194.263	193.394	179.679
3	178.071	189.506	187.224	157.784	162.945
4	204.875	198.197	199.578	185.869	178.535
5	214.306	203.958	193.291	190.442	179.818

#### **5.2.2.1. Test de Bartlett**

El Test de Bartlett es una prueba estadística utilizada para evaluar la homogeneidad de las varianzas en diferentes muestras. En este análisis, se examinan dos conjuntos de datos correspondientes a concentraciones de 0.05 mg/L y 0.15 mg/L para determinar si las varianzas de los valores obtenidos en cinco días diferentes son homogéneas

Para evaluar la precisión, se realizó un test de Bartlett, el cual compara todas las varianzas de los conjuntos de datos obtenidos durante los cinco días consecutivos.

#### **Hipótesis a probar:**

- Ho: Las varianzas de las intensidades de concentraciones de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> son iguales.
- Ha: Las varianzas de las intensidades de concentraciones de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> son diferentes.

#### **Criterio de aceptación o rechazo:**

Si  $Mc < X^2(0.05, 4)$  se acepta la hipótesis nula (Ho)

Si  $M_c > X^2_{(0.05, 4)}$  se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ )  
 Para el cálculo parámetro de Bartlett, se emplearon las Ecuaciones 4, 5 y 6

$$M = \frac{1}{C} \left[ \left( \sum v_i \right) \ln S^2 - \sum v_i \ln \frac{S_i^2}{i} \right] \quad \text{Ecuación 4}$$

$$C = 1 + \frac{\sum \left( \frac{1}{v_i} \right) - \left( \frac{1}{\sum v_i} \right)}{3(k-1)} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$S^2 = \frac{\sum v_i S_i^2}{\sum v_i} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:  $v_i$ : Grados de libertad de cada serie de resultados  
 $S_i^2$ : es la desviación estándar de cada serie  
 $S^2$ : es la varianza promedio

**Tabla 5 Resultados del Test de Bartlett 0.05mg/L**

<b>Promedio</b>	176.93	177.264	177.3354	176.2902	177.3924
	9	0.8573025	0.2236544	0.4261352	1.07934346
<b>Desviación(S)</b>	0.762435				
<b>GL</b>	5				
<b><math>S_i^2</math></b>	0.5813065	0.7349675	0.0500213	0.1815912	1.1649823
<b>M</b>	8.67350987				
<b><math>X^2(\text{GL}, P= 0,05)</math></b>	11.07				
<b><math>M_c &lt; X^2</math></b>	8.67 < 11.07				

En la **Tabla 5** se observa que el valor del estadístico de Bartlett (M) es 8.67, mientras que el valor crítico de la distribución Chi cuadrado  $X^2_{(0.05, 5)}$  es 11.07. Como M es menor que este valor crítico de  $X^2_{(0.05, 5)}$ , se puede concluir con un 95% de confianza que las varianzas de los cinco días son homogéneas. Esto implica que no hay diferencias significativas entre las varianzas, lo que afirma que el método utilizado es preciso.

**Tabla 6 Resultados del Test de Bartlett 0.15mg/L**

<b>Promedio</b>	172.3212	171.26	172.5664	172.6978	173.4986
<b>Desviación(S)</b>	10.4662139	10.573336	10.6017418	10.8600349	11.0136521
<b>GL</b>	5				
<b>S<sub>i</sub><sup>2</sup></b>	136.927043	139.744294	140.49616	147.425448	151.625665
<b>M</b>	0.01317627				
<b>X<sup>2</sup>(GL, P=0,05)</b>	11.07				
<b>Mc&lt;X<sup>2</sup></b>	0.01<11.07				

En la **Tabla 6** se observa que el valor del estadístico de Bartlett (M) es 0.01, mientras que el valor crítico de la distribución Chi cuadrada  $X^2_{(0.05, 5)}$  es 11.07. Como M es menor que este valor crítico de  $X^2_{(0.05, 5)}$ , se puede concluir con un 95% de confianza que las varianzas de los cinco días son homogéneas. Esto implica que no hay diferencias significativas entre las varianzas, lo que afirma que el método utilizado es preciso.

Los resultados del Test de Bartlett para ambas concentraciones (0.05 mg/L y 0.15 mg/L) indican que las varianzas de los valores obtenidos en los cinco días son homogéneas. Esto sugiere que el método analítico empleado es preciso y consistente, sin variaciones significativas entre los diferentes días de medición. La homogeneidad de las varianzas valida la fiabilidad del método para medir las concentraciones de nitritos en la zona de amortiguamiento.

### 5.2.2.2. Análisis de Varianza (ANOVA de 1F)

Para llevar a cabo el análisis de varianza nos planteamos dos hipótesis

- Ho: Las medias de las intensidades de concentraciones son iguales.
- Ha: Las medias de las intensidades de concentraciones son diferentes.

Como criterio de aceptación tomamos que si  $F_{cal} < F(0.05; k; n-1)$ , se acepta  $H_0$ .

Los resultados del análisis de varianza realizado a los datos obtenidos, se muestran en la **Tabla 7**

**Tabla 7 ANÁLISIS DE VARIANZA**

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2.51575E-05	4	6.28938E-06	1.907485765	0.148545116	2.866081402
Dentro de los grupos	6.59442E-05	20	3.29721E-06			
Total	9.11017E-05	24				

El valor calculado de F (1.907485765) es menor que el valor crítico de F (2.866081402). Esto implica que no hay diferencias significativas entre las medias de las concentraciones. Se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) con un 95% de confianza, lo que sugiere que las medias de las intensidades de concentraciones de nitrito son iguales.

### 5.2.3 Exactitud para la determinación de nitrito

La exactitud se evaluó por medio de la recuperación, para lo cual se llevó a cabo la fortificación de una muestra de agua. La recuperación fue calculada por medio de la **Ecuación 7**.

$$\%R = \frac{C_{MA} - C_M}{C_A} \times 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$C_{MA}$ : es la concentración de la muestra fortificada con el estándar puro

C<sub>M</sub>: es la concentración de la muestra sin fortificar

C<sub>A</sub>: es la concentración del estándar puro adicionado

A continuación, en las **Tablas 8, 9, 10 y 11**, se muestran los resultados de los porcentajes de recuperación obtenidos, tanto por medio del método que utiliza el análisis de imagen digital, como por medio del método que utiliza el espectrofotómetro convencional.

**Tabla 8 Concentración 0,05 mg/L porcentaje de recuperación en ImageJ digital**

<b>Réplicas</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>
1	101	108	106	109	102
2	102	96	101	105	94
3	107	108	98	107	95
4	102	102	100	110	104
5	107	96	102	107	110

**Tabla 9 concentración 0,05 mg/L porcentaje de recuperación de Espectrofotómetro**

<b>Réplicas</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>
1	106	106	94	110	108
2	108	106	100	110	102
3	102	96	110	106	110
4	108	108	108	110	108
5	104	106	104	110	102

Los resultados obtenidos por medio del análisis de imagen utilizando el software ImageJ se muestra en la **Tabla 8**, en la cual se observa un rango de recuperación del 94% a 110%, de igual manera el los resultados obtenidos por el espectrofotómetro (**Tabla 9**) muestra un rango del 94% al 110%. Ambos métodos cumplen con el rango de aceptación del 90-110%, indicando una exactitud aceptable para esta concentración.

**Tabla 10 Concentración 0.15 mg/L Porcentaje de recuperación de ImageJ Digital**

<b>Réplicas</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>
1	103	97	99	100	99
2	100	97	98	101	102
3	101	99	101	100	99
4	103	100	102	106	102
5	102	100	99	98	97

**Tabla 11 Concentración 0.15 mg/L Porcentaje de recuperación de Espectrofotómetro**

<b>Réplicas</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>
1	101	103	101	101	103
2	100	103	102	100	102
3	100	98	97	102	102
4	100	104	103	102	98
5	101	102	101	103	103

Los resultados del ImageJ Digital en la **Tabla 10** muestran un rango de recuperación del 97% al 106%, mientras que el espectrofotómetro en la **Tabla 11** muestra un rango del 97% al 104%. Ambos métodos cumplen con el rango de aceptación del 90-110%, indicando una exactitud aceptable para esta concentración.

Ambos métodos, ImageJ digital y el espectrofotómetro, demuestran una alta precisión y exactitud en las concentraciones de 0.05 mg/L y 0.15 mg/L. El método ImageJ digital ofrece una alternativa viable y precisa al espectrofotómetro para la determinación de nitrito en aguas. Las evaluaciones de precisión y exactitud cumplen con los criterios establecidos, validando la aplicabilidad de ambos métodos para la determinación de nitrito en diferentes tipos de agua.

Utilizando la ecuación de recuperación indica que el método ImageJ digital es preciso y fiable. La consistencia entre los resultados de ambos métodos sugiere que el análisis de imagen digital puede complementar o reemplazar el uso de espectrofotómetros en ciertas aplicaciones, proporcionando una herramienta adicional para laboratorios ambientales y de investigación.

#### 5.2.4 Límite de detección y límite de cuantificación

El límite de detección del método desarrollado fue calculado a partir de la curva de calibración normal utilizando la **Ecuación 8**

$$LD = \frac{3.3 S\alpha}{b} \quad \text{Ecuación 8}$$

Para la determinación del límite de cuantificación se utilizó la **Ecuación 9**

$$LC = \frac{10 S\alpha}{b} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

LD: es el límite de detección

Sa: es la desviación del intercepto de la curva de calibración b:

es la pendiente de la curva de calibración

En la **Tabla 12**, se muestran los resultados obtenidos de intercepto (a), pendiente (b), y desviación estándar del intercepto (Sa) de la curva de calibración normal.

**Tabla 12 Resultados de límite de detección**

Datos	Resultados
a	0.0341
b	23.1071
Sa	0.0022

Sustituyendo los valores de la **Tabla 12** en las **Ecuaciones 8 y 9**, se obtuvieron los valores de **0.00031 mg/L** y **0.00094 mg/L** para el límite de detección y el límite de cuantificación respectivamente.

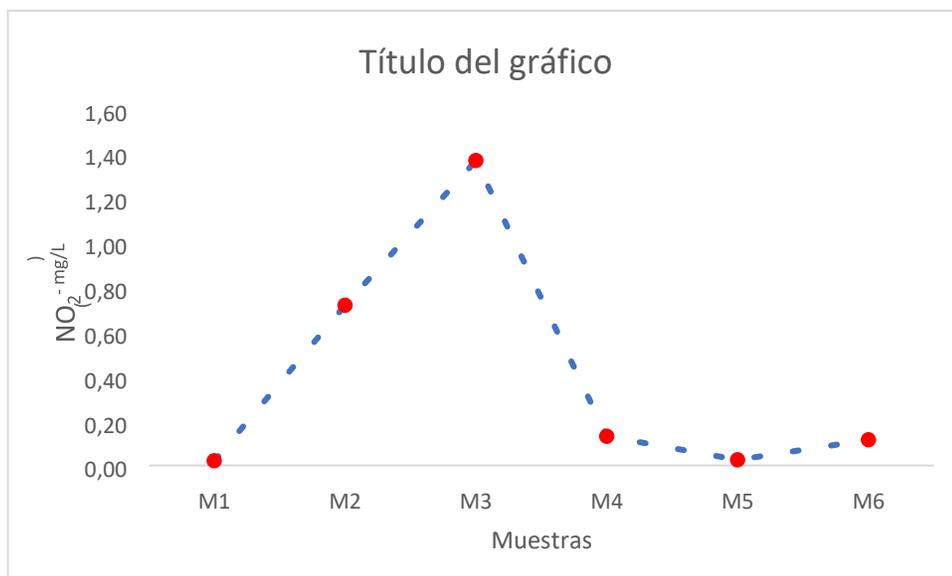
### **5.2.5 Resultados obtenidos de concentración de nitritos por medio del análisis de Imagen digital**

Como se indicó anteriormente, se tomaron 6 muestras en total, los resultados obtenidos se muestran a continuación en la **Tabla 13**.

**Tabla 13. Contenido de nitrito encontrado en las muestras analizadas**

<b>Códigos de las muestras</b>	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/L)</b>
<b>M1</b>	0.02 ± 0.00
<b>M2</b>	1.37 ± 0.33
<b>M3</b>	0.72 ± 0.63
<b>M4</b>	0.13 ± 0.10
<b>M5</b>	0.03 ± 0.04
<b>M6</b>	0.11 ± 0.05

En la **Figura 5** se pueden apreciar de manera gráfica, las concentraciones obtenidas para cada muestra analizada.



**Figura 5. Resultados de nitrito obtenidos para cada muestra**

Como se puede apreciar en la **Figura 5**, en la primera muestra (M1), la cual corresponde a aguas provenientes de pilas de sedimentación, el contenido de nitritos es bajo en comparación con las demás, luego a medida que vamos recorriendo el río en dirección de la zona de amortiguamiento, el contenido de nitritos presenta una tendencia a incrementar (muestras M2 y M3), en M3, se trata de cauce natural del río chiquito, en el cual ya han convergido aguas de los ríos de El Pochote y río Aposento, además, en esta zona existe mucha actividad ganadera (en un 87%), y los nitratos y nitritos están presentes en el excremento del ganado bovino, por otro lado, se constató durante las giras de campo, que está es una zona en la cual existe una inundación antropogénica, utilizada para irrigación de toda la zona de amortiguamiento, por lo cual, se esperaba que la concentración de nitritos fuera mayor en este punto. Durante su recorrido de las aguas a través de la zona de amortiguamiento, el contenido de las aguas es absorbido en las raíces de las plantas, actuando como un filtro natural, hasta llegar al Estero las Peñitas en forma difusa. Como se constató en los resultados obtenidos en las muestras M4, M5, y M6, las concentraciones de nitritos han disminuido producto de la interacción de las aguas del río Chiquito con la zona de amortiguamiento, quedando demostrado su capacidad natural para actuar como un recurso natural que juega un papel muy

importante para la mitigación de la contaminación del Estero las Peñitas, en este caso con respecto al nitrito, pero que sin embargo, se podría generalizar a la mitigación de los contaminantes.

### 5.2.6 Resultados obtenidos de Oxígeno disuelto, pH, CE, Salinidad (indicadores de contaminación).

#### 5.2.6.1 Indicadores realizados en campo (pH, Temperatura y Oxígeno disuelto O2)

Los resultados presentados en las **Tablas 14 y 15** fueron obtenidos durante dos días de muestreo en campo. En cada jornada, se realizaron viajes a seis puntos de muestreo específicos, donde se recolectaron las muestras y se midieron indicadores de pH, temperatura y oxígeno disuelto. Estas mediciones se llevaron a cabo directamente en el campo, asegurando que los datos reflejen las condiciones ambientales en el momento de la recolección.

**Tabla 14. Indicadores pH, Temperatura y O<sub>2</sub> disuelto (Muestreo 1)**

Muestra	pH	Temperatura	O <sub>2</sub> disuelto	
M1	7.5	27.5°C	5.18mg/L	65.00%
M2	7.3	27.5°C	2.91mg/L	35.90%
M3	7.3	28.7 °C	3.93mg/L	50%
M4	6.9	28.6 °C	1.23mg/L	15.80%
M5	6.9	28.5 °C	0.92mg/L	11.30%
M6	7.2	28.4°C	4.63mg/L	45.50%

**Tabla 15. Indicadores pH, Temperatura y O<sub>2</sub> disuelto (Muestreo 2)**

<b>Muestra</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>O<sub>2</sub> disuelto</b>	
M1	7.7	27.2°C	5.27mg/L	64.60%
M2	7.3	27.1°C	3.45 mg/L	42.90%
M3	7.4	28.5 °C	3.45 mg/L	44.60%
M4	7.6	31.0 °C	8.92 mg/L	117.90%
M5	7.2	28.8 °C	1.96 mg/L	25.50%
M6	7.1	29.5°C	4.9 mg/L	52.40%

#### **5.2.6.2 Valores de pH obtenidos en campo**

El pH del agua puede variar significativamente entre cuerpos de agua dulce y salada. En general, el pH del agua dulce puede oscilar entre 6.5 y 8.5, mientras que el agua salada tiene un pH más estable alrededor de 8.1 debido a la capacidad tamponadora del bicarbonato.

Muestreo 1: El pH varía entre 6.9 y 7.5

Muestreo 2: El pH varía entre 7.1 y 7.7

El segundo muestreo tiende a ser ligeramente más alto. Estos valores se encuentran dentro de un rango aceptable para la mayoría de los cuerpos de agua naturales, que generalmente fluctúan entre 6.5 y 8.5, según la **Environmental Protection Agency (EPA)**

### 5.2.6.3 Valores de Temperatura obtenidos en campo

La temperatura del agua afecta la solubilidad del oxígeno y la actividad biológica en el agua. Según la **EPA (Environmental Protection Agency)**, temperaturas entre 25°C y 30°C son comunes en cuerpos de agua superficial en climas cálidos.

**Muestreo 1:** Rango: 27.5°C - 28.7°C

Media: 28.37°C

**Muestreo 2:** Rango:

27.1°C - 31.0°C

Media: 28.52°C

La temperatura mostró un ligero aumento en el segundo muestreo, con una variabilidad mayor en el punto 4 (31.0°C). Esta variación puede deberse a factores climáticos o a diferencias en la hora del día en que se realizaron los muestreos.

Según la **World Health Organization (WHO)**, temperaturas elevadas pueden afectar negativamente la vida acuática, incrementando la tasa metabólica de los organismos.

### 5.2.6.4 Valores de Oxígeno Disuelto (O<sub>2</sub>) obtenidos en campo

El oxígeno disuelto es esencial para la respiración de los organismos acuáticos. Según el “**Handbook of Water and Wastewater Microbiology**” de **Mara y Horan**, niveles por debajo de 5 mg/L pueden ser estresantes para la vida acuática.

**Muestreo 1:** El oxígeno disuelto varía entre 0.92 mg/L y 5.18 mg/L, con saturaciones de 11.30% a 65.00%.

**Muestreo 2:** El oxígeno disuelto varía entre 1.96 mg/L y 8.92 mg/L, con saturaciones de 25.50% a 117.90%.

El segundo muestreo presenta un rango de oxígeno disuelto más amplio, con un valor excepcionalmente alto en la M4 (8.92 mg/L), lo que sugiere un evento de alta oxigenación posiblemente relacionado con un incremento en la actividad fotosintética de las algas o una menor actividad biológica que consuma oxígeno. Según la **American Public Health Association (APHA)**, niveles bajos de oxígeno disuelto (< 2 mg/L) pueden causar estrés en los organismos acuáticos y eventualmente llevar a condiciones anóxicas. No obstante, los valores bajos en algunas muestras del primer muestreo indican la necesidad de identificar fuentes de contaminación o de aguas estancadas.

#### 5.2.6.5 Indicadores realizados en el laboratorio (salinidad y conductividad eléctrica)

Se realizaron dos muestreos en días distintos, cada uno con 6 muestras recolectadas de diferentes ubicaciones. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio para determinar la conductividad eléctrica ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) y la salinidad (mg/L). ya que es fundamental para evaluar la calidad del agua y detectar posibles fuentes de contaminación. La conductividad eléctrica mide la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, la cual depende de la concentración de iones disueltos. La salinidad mide la cantidad de sales disueltas en el agua. Ambos parámetros están interrelacionados y son indicadores clave en estudios ambientales y de recursos hídricos. En la tabla se detalla los resultados de los dos muestreos.

**Tabla 16 Indicadores (Conductividad eléctrica y Salinidad) Muestreo 1**

N°M	Conductividad eléctrica	Unidades	Salinidad	Unidades
1	542	$\mu\text{s}/\text{cm}$	264.50	mg/L
2	399	$\mu\text{s}/\text{cm}$	189.30	mg/L
3	388	$\mu\text{s}/\text{cm}$	185.30	mg/L
4	54.500	$\mu\text{s}/\text{cm}$	34.800	mg/L
5	57.600	$\mu\text{s}/\text{cm}$	36.600	mg/L
6	55.400	$\mu\text{s}/\text{cm}$	35.00	mg/L

**Tabla 17 Indicadores (Conductividad eléctrica y Salinidad) Muestreo 2**

<b>N°M</b>	<b>Conductividad eléctrica</b>	<b>Unidades</b>	<b>Salinidad</b>	<b>Unidades</b>
1	174	µs/cm	357	mg/L
2	428	µs/cm	210.6	mg/L
3	418	µs/cm	205.6	mg/L
4	46.900	µs/cm	29.600	mg/L
5	56.300	µs/cm	36.600	mg/L
6	55.800	µs/cm	35.80	mg/L

**M1**

- Conductividad eléctrica: 542 µs/cm (Muestreo 1), 174 µs/cm (Muestreo 2) •  
Salinidad: 264.50 mg/L (Muestreo 1), 357 mg/L (Muestreo 2)

La diferencia notable en la conductividad eléctrica puede deberse a variaciones temporales en la entrada de iones en el agua. Según Smith et al. (2020), tales variaciones pueden estar relacionadas con cambios en las actividades humanas y las condiciones meteorológicas (Smith,2020). El aumento de la salinidad en el segundo muestreo podría indicar un proceso de concentración de sales posiblemente por evaporación o cambios en el flujo de agua.

**M2**

- Conductividad eléctrica: 399 µs/cm (Muestreo 1), 428 µs/cm (Muestreo 2) •  
Salinidad: 189.30 mg/L (Muestreo 1), 210.6 mg/L (Muestreo 2)

La conductividad y la salinidad en esta muestra son relativamente estables. García y Rodríguez (2019) indican que una estabilidad en estos parámetros sugiere una fuente constante de iones en el agua, posiblemente relacionada con la geología subyacente (García y Rodríguez, 2019)

**M3**

- Conductividad eléctrica: 388 µs/cm (Muestreo 1), 418 µs/cm (Muestreo 2)
- Salinidad: 185.30 mg/L (Muestreo 1), 205.6 mg/L (Muestreo 2)

La estabilidad en estos parámetros puede estar relacionada con la composición del suelo y la interacción con el agua subterránea. Jones et al. (2018) mencionan que la interacción entre el suelo y el agua subterránea puede mantener la estabilidad de estos valores (Jones, 2018)

#### **M4**

- Conductividad eléctrica: 54,500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (Muestreo 1), 46,900  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (Muestreo 2) •
- Salinidad: 34,800 mg/L (Muestreo 1), 29,600 mg/L (Muestreo 2)

En la muestra se ve valores extremadamente altos en ambos muestreos, lo cual podría indicar la presencia de fuentes significativas de contaminación salina, posiblemente de origen antropogénico. Martínez et al. (2021) sugieren que tales valores pueden estar asociados con actividades agrícolas intensivas y el uso de fertilizantes (Zheng et al., 2021)

#### **M5**

- Conductividad eléctrica: 57,600  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (Muestreo 1), 56,300  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (Muestreo 2) •
- Salinidad: 36,600 mg/L (Muestreo 1), 36,600 mg/L (Muestreo 2)

La consistencia en los valores elevados de conductividad y salinidad sugiere una fuente constante de sales disueltas. La proximidad al estero Las Peñitas y la influencia del agua salada del océano son factores determinantes en estos valores. Según Smith et al. (2020) y García y Rodríguez (2019), la salinidad elevada en regiones costeras puede estar fuertemente influenciada por la intrusión de agua salina y las prácticas agrícolas que aumentan la salinidad del suelo y el agua (Smith, 2020) (García Rodríguez, 2019)

#### **M6**

- Conductividad eléctrica: 55,400  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (Muestreo 1), 55,800  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (Muestreo 2) •
- Salinidad: 35.00 mg/L (Muestreo 1), 35.80 mg/L (Muestreo 2)

Los valores en las muestras son similares a los del M5, debido a la influencia del agua marina y las prácticas agrícolas locales. Estos resultados son consistentes con estudios que muestran la influencia de la intrusión salina en estuarios y zonas costeras, así como la evaporación que concentra las sales en el agua (Jones, 2018) (Martinez, 2018)

## 6 CONCLUSIONES

La metodología utilizada para la selección de los sitios de muestreo permitió realizar el muestreo representativo de la zona de interés.

El método de análisis de imagen digital, utilizando el canal rojo, presenta buena correlación lineal con un valor de  $r^2$  de 0.9995, en el rango de 0.02 mg/L a 0.20 mg/L.

El método basado en el análisis de imagen digital, demostró ser preciso, exacto y presenta límites de detección y cuantificación adecuados para la determinación de nitritos en aguas.

De acuerdo a los resultados obtenidos se ha demostrado que el método basado en el análisis de imagen digital, permite realizar la determinación de nitrito en aguas de forma económica, sencilla y rápida.

Las mediciones de campo realizadas reflejan las condiciones ambientales y la calidad del agua, resaltando la importancia de observar estos parámetros para una gestión adecuada de los recursos hídricos y la protección del ecosistema acuático, por medio de la observación continua y la implementación de estrategias de mitigación para proteger la salud del Estero las Peñitas.

La zona de amortiguamiento contribuye a la mitigación de la contaminación de las aguas del Estero las Peñitas, con respecto a los nitritos, dicha mitigación se puede generalizar a otros contaminantes, ya que la vegetación de la zona de amortiguamiento actúa como un filtro natural, purificando el agua durante su interacción.

A partir de los análisis realizados en las muestras de agua del Estero Las Peñitas, se concluye que los parámetros físico-químicos como el oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y salinidad reflejan la calidad del agua en las diferentes áreas estudiadas. Los niveles de oxígeno disuelto, que variaron entre 0.92 mg/L y 8.92 mg/L, muestran una fluctuación que podría estar influenciada por la actividad biológica y las condiciones

ambientales del estero. Niveles bajos de oxígeno disuelto pueden ser indicativos de condiciones anóxicas, lo cual afecta negativamente la biodiversidad acuática.

El pH, la conductividad eléctrica y la salinidad también proporcionan información valiosa sobre el impacto de los contaminantes presentes, especialmente los nitritos que junto a otros parámetros como la salinidad, pueden influir en la composición y estabilidad del ecosistema. Los resultados obtenidos indican la necesidad de monitorear estos parámetros con regularidad, ya que alteraciones significativas pueden derivar en un deterioro de la calidad del agua y un impacto negativo en la vida acuática del estero.

## 7 RECOMENDACIONES

- Evaluar la aplicabilidad del método en muestras de aguas residuales.
- Aplicar el método desarrollado para la determinación de nitrito en otras matrices.
- Aplicar el método desarrollado a la determinación indirecta de nitratos en aguas (reduciendo primeramente el nitrato a nitrito).
- Realizar un monitoreo de manera frecuente o regular de más parámetros de calidad en los diferentes puntos estudiados e incrementando el número de puntos de muestreos.

## 8 BIBLIOGRAFIA

- Alfaro-Alvarado, J. A. (2022). *Implementación de un método primario de medida para la calibración de un espectrofotómetro ultravioleta-visible (UV/Vis) de alta resolución para el establecimiento de un patrón nacional en la escala de longitud de onda en el Laboratorio Costarricense de Metrología*.  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14358>
- Beita-Sandí, W., & Barahona-Palomo, M. (2010). *Fisico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica*. 2(2), 157–179.
- Biotecnia*. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from  
<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/index>
- Camargo, J. A., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas*, 16(2).  
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/457>
- Cisneros-Pérez, P. A., Intriago-Mendoza, Á. S., & Ramos-Galarza, J. P. (2018). *Colorimetría mediante fotografía digital para la determinación de azul de metileno en experimentos de fotodegradación utilizando TiO2 como catalizador*.  
<https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/834/1329>
- Gamarra Torres, O. A. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 25(1), 179–194.  
<https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.251.25111>
- García Martínez, E. M. (2012). *Aplicación de la ley de Lambert-Beer en espectroscopía UV-visible*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/16360>
- Gonzales, A. M. (2018). *ImageJ: una herramienta indispensable para medir el mundo biológico*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/82733>
- Guzmán Jiménez, L. F., & Ubajoa Osso, J. D. (2018). El pago por servicios ambientales como un instrumento idóneo para gestionar las aguas y otros recursos naturales, así como para avanzar en materia socioeconómica. *Tratado de Derecho de Aguas*.

- Tomo I: Derecho de Aguas Colombiano Para El Siglo XXI*, 639–697.  
<https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/2547>
- Jiménez Cisneros, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México : causas, efectos y tecnología apropiada*. 925.  
[https://books.google.com/books/about/La\\_Contaminaci%C3%B3n\\_Ambiental\\_en\\_M%C3%A9xico.html?hl=es&id=8MVxlyJGokIC](https://books.google.com/books/about/La_Contaminaci%C3%B3n_Ambiental_en_M%C3%A9xico.html?hl=es&id=8MVxlyJGokIC)
- Jorge Luís O. Santos, M. V. D. S. J. and M. Y. K., Oldair D. Leite, & Anete M. Vieira. (n.d.). *Uso de una Imagen Digital en Análisis de Flujo: Determinación de Nitrito y Nitrato en Aguas Naturales*. Retrieved February 9, 2024, from <https://www.scielo.br/j/jbchs/a/rNVYxsFH7s8z5nzvtxmdtXb/?lang=en>
- Juárez T.D., & Fuentes R.J. (2014). *Descripción: Aplicación de métodos Analíticos Normalizados para determinar Hierro total (Fe), Cloruro (Cl) y Nitritos (NO<sub>2</sub>) en muestras de agua Potable del pozo de la UNAN-Managua y la abastecida por ENACAL, en el período Agosto-Diciembre 2013*.  
<https://repositorio.cnu.edu.ni/Record/RepoUNANM5286>
- Lledó, L. C. (2005). *CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS: TIPO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL*.
- Méndez, D. (2015). *El Patrimonio Cultural Inmaterial y su Relación con el Patrimonio Edificado. caso Barrio San Roque. Cuenca - Ecuador*. 145.
- Menéndez, J., & Muñoz, S. (2021). CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y SUELO POR LOS RELAVES MINEROS. *Paideia* XXI, 11(1), 141–154.  
<https://doi.org/10.31381/PAIDEIA.V11I1.3622>
- Ongley, E. D. (1997). *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje-55)*.
- Page not found* — *ScienceDirect*. (n.d.). Retrieved July 1, 2024, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074218316146>
- Page Unavailable* | *SpringerLink*. (n.d.-a). Retrieved 1, 2024, from July <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-020-08459-0>
- Page Unavailable* | *SpringerLink*. (n.d.-b). Retrieved July 1, 2024, from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-017-1855-9>

- Peña Martín. (2018). *Tratamiento Digital de la Imagen*.  
[http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/103587/secme-15528\\_1.pdf;jsessionid=9A6E832F860955CEC2E392DC2917B1B9?sequence=1](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/103587/secme-15528_1.pdf;jsessionid=9A6E832F860955CEC2E392DC2917B1B9?sequence=1)
- Pingarrón González, L. (2021). *Precisión y estabilidad numérica de la estimación estadística*.
- Quino, I., Ramos, O., & Guisbert, E. (2007). DETERMINACION DEL LIMITE DE DETECCION INSTRUMENTAL (LDI) Y LIMITE DE CUANTIFICACION INSTRUMENTAL (LCI) EN ELEMENTOS TRAZA DE AGUA SUBTERRANEA. *Revista Boliviana de Química*, 24(1), 53–57.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602007000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602007000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Ramírez Caballero, & María Auxiliadora. (2003). *Estudio (diagnóstico) sobre la calidad del agua del Río Pochote de la ciudad de León*. 1–94.
- Riesco, J. M. G. (2005). *CONCEPTOS BÁSICOS DE ESTADÍSTICA*.
- Sánchez Esparza, P. C., & Zevallos Torres, L. A. (2012). *Determinación de los niveles de contaminación por hidrocarburos en la bahía de salaverry - 2011*. Universidad Nacional de Trujillo. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/3379>
- Siman J., Lage, M. A., & Iglesias, L. (1984). Los nitritos y nitratos en las aguas: su origen, propiedades y toxicología. *Researchgate.Net*, 25–30.  
[https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Simal-Lozano/publication/235698223\\_Los\\_Nitritos\\_y\\_Nitratos\\_en\\_las\\_aguas\\_Su\\_origen\\_propiedades\\_y\\_toxicologia/links/0deec5187b01f0246a000000/Los-Nitritos-y-Nitratos-en-las-aguas-Su-origen-propiedades-y-toxicologia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Simal-Lozano/publication/235698223_Los_Nitritos_y_Nitratos_en_las_aguas_Su_origen_propiedades_y_toxicologia/links/0deec5187b01f0246a000000/Los-Nitritos-y-Nitratos-en-las-aguas-Su-origen-propiedades-y-toxicologia.pdf)
- Spedding, D. J., & Spedding, D. J. (1981). *Contaminación atmosférica*. 86.
- Zheng, J., Fan, J., Zhang, F., Wu, L., Zou, Y., & Zhuang, Q. (2021). Estimation of rainfed maize transpiration under various mulching methods using modified Jarvis-Stewart model and hybrid support vector machine model with whale optimization algorithm. *Agricultural Water Management*, 249, 106799.  
<https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2021.106799>
- R. Baird, A. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

## 9 ANEXOS

### 9.1 Mapa de los sitios de toma de muestras



## 9.2 Muestras de laboratorio



9.3 Recolección de muestras



