

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, UNAN-León

Área de Conocimiento Ciencias y Tecnología
Área Conocimiento Específica de Química



MONOGRAFIA

PARA OPTAR AL TITULO DE LICENCIATURA EN QUIMICA.

**ESTUDIO DE LAS CONCENTRACIONES DE FOSFATOS EN AGUAS
SUPERFICIALES MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA UV-*vis***

PRESENTADO POR:

- **Br. Diana Massiel Pulido Gómez**
- **Br. José Antonio Cortez López**

Tutor:

MSc. Vernon Uriel Sandoval Ramos

León, Nicaragua, 4 de septiembre 2025

2025: 46/19 Siempre más allá! Avanzamos en la Revolución!

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, UNAN-León

Área de Conocimiento Ciencias y Tecnología
Área Conocimiento Específica de Química



MONOGRAFIA

PARA OPTAR AL TITULO DE LICENCIATURA DE QUIMICA

**ESTUDIO DE LAS CONCENTRACIONES DE FOSFATOS EN AGUAS
SUPERFICIALES MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA UV-vis**

PRESENTADO POR:

- **Br. Diana Massiel Pulido Gómez.**
- **Br. José Antonio Cortez López**

TUTOR:

MSc. Vernon Uriel Sandoval Ramos.

León, Nicaragua, 4 de septiembre 2025

2025: 46/19 Siempre más allá! Avanzamos en la Revolución!

RESUMEN

Esta investigación tuvo como finalidad cuantificar las concentraciones de fosfatos presentes en las aguas superficiales del río La Zopiloterá, situado en Chichigalpa, Nicaragua, utilizando espectrofotometría UV-Visible a 420 nm mediante el método colorimétrico con reactivo de vanadato-molibdato de amonio. La motivación principal radica en la necesidad de diagnosticar el efecto que ejercen las actividades humanas tales como la agricultura, las descargas domésticas y la actividad industrial sobre la calidad del agua, considerando que el exceso de este nutriente es un factor clave en la aparición de eutrofización. Dicho fenómeno favorece la proliferación excesiva de algas, reduce el oxígeno disuelto y deteriora los ecosistemas acuáticos.

El trabajo experimental consistió en la recolección de muestras de agua en cinco puntos estratégicos distribuidos a lo largo del río La Zopiloterá, abarcando las zonas norte, central y sur. Para el análisis, se implementaron diversos procedimientos basados en el método analítico seleccionado, siguiendo protocolos estandarizados para garantizar la reproducibilidad y precisión de los resultados. Se realizaron curvas de calibración utilizando estándares con concentraciones de 1, 3, 5, 10 y 15 mg/L. La construcción de estas curvas permitió evaluar la respuesta del método en el rango de interés.

El coeficiente de determinación (R^2) obtenido fue de 0.9998, valor que indica una excelente relación lineal entre la concentración y la señal analítica, validando la idoneidad del método para este tipo de análisis ambientales. Esto asegura que las mediciones obtenidas sean confiables y reproducibles dentro del rango estudiado.

Además, se determinaron el límite de detección (0.234 mg/L) y el límite de cuantificación (0.712 mg/L). El límite de detección corresponde a la menor concentración que puede ser detectada pero no necesariamente cuantificada con precisión, mientras que el límite de cuantificación es la mínima concentración que puede ser cuantificada con un nivel aceptable de confianza y precisión.

Estos parámetros confirman que el método empleado es adecuado para la cuantificación de contaminantes o parámetros específicos en las muestras recolectadas, permitiendo un análisis riguroso del estado ambiental del río La Zopiloterá.

Los análisis revelaron que las concentraciones de fosfatos oscilaron entre 27.68 y 36.94 mg/L, valores que superan ampliamente los límites establecidos por normas ambientales vigentes. Esta situación confirma la existencia de un proceso avanzado de eutrofización en el ecosistema acuático del río La Zopilotería.

La alta solubilidad de los fosfatos, junto con la falta de un manejo adecuado de efluentes líquidos, ha facilitado su acumulación y persistencia en el cuerpo de agua. Esta acumulación representa una amenaza para la biodiversidad y pone en riesgo el equilibrio natural del ecosistema, ya que el exceso de nutrientes favorece el crecimiento descontrolado de organismos, lo que puede resultar en la disminución del oxígeno disuelto y afectaciones a la fauna y flora acuáticas.

El estudio ratifica que el río La Zopilotería enfrenta una presión ambiental significativa de origen antrópico y subraya la urgencia de implementar acciones de restauración y control. Entre las medidas recomendadas se incluyen la reforestación de las riberas, la optimización de los procesos de tratamiento de aguas residuales y el desarrollo de programas de sensibilización ciudadana enfocados en la protección y conservación del ecosistema.

DEDICATORIA

Palabras de Bra: Diana Massiel Pulido Gómez.

A Dios por darme la sabiduría en cada momento de este proceso, a mi madre por su amor incondicional y su ejemplo de perseverancia, por su apoyo y palabras de aliento que me impulsaron a seguir adelante.

A mi familia, por su apoyo constante, su guía y motivación a lo largo de mi formación académica. A quienes, con sus enseñanzas y ejemplo, me inspiraron a perseverar ante las dificultades.

A mi pareja por su paciencia y apoyo inestimable, por creer en mí.

A las personas que aportaron su tiempo, conocimiento y esfuerzo para la culminación de este proyecto, reconociendo en cada una de ellas un pilar fundamental en mi desarrollo profesional.

A mi Tutor Vernon Sandoval por compartir sus conocimientos, orientarme con sabiduría y por la paciencia que nos tuvo estos meses de preparación y desarrollo de la tesis.

DEDICATORIA

Palabras del Br: José Antonio Cortez López.

Dedico este logro primeramente a Dios y a mi **Madre Xiomara López**, por su amor incondicional su incansable entrega y por ser el pilar fundamental que me ha sostenido durante todo este proceso formativo.

A la memoria de mi **Tía Reynalda Cortez**, Cuyo ejemplo de vida y cariño permanecen como inspiración constante en mi vida trayectoria personal y profesional.

A mi **Pastor Albín Osorio** quien es mi mentor Espiritual y mentor en el ámbito azucarero gracias por su orientación, sus valioso consejos y aliento, inspirándome a perseverar con fe y compromiso en todos estos años que curse mis estudios profesionales.

A mi **Tutor Vernon Sandoval** por compartir sus conocimientos, orientarme con sabiduría y por la paciencia que nos tuvo estos meses de preparación y desarrollo de la tesis y motivarme siempre dar lo mejor de mí.

A todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron con su tiempo, conocimientos, recursos monetarios, palabras de aliento y apoyo para que la finalización de este ciclo académico fuera posible

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
JUSTIFICACIÓN.....	5
HIPOTESIS.....	6
OBJETIVOS	7
Objetivo General.	7
Objetivos Específicos.	7
MARCO TEORICO	8
Generalidades del fosforo	8
Ciclo del fosforo	8
El fosfato en la naturaleza	9
Aguas superficiales	9
Aguas superficiales en Nicaragua	10
Contribución del fosforo a los cuerpos de aguas	11
Solubilidad del fosfato	11
Eutrofización	12
Contaminación por eutrofización	13
Proceso de eutrofización	14
FUNDAMENTOS DE LA ESPECTROCOPIA UV-vis	17
Principio de la espectrofotometría	17
Ley de Beer	19
La ecuación de la ley de Beer	19
Espectrofotómetro	20
Componente de un espectrofotómetro	22
Calibración de un espectrofotómetro	23
Verificación de un espectrofotómetro	23
METODO DE ANALISIS DE FOSFORO EN AGUAS SUPERFICIALES	24
Método de amarillo de Vanadato – Molibdato	24

Determinación de fosfatos por colorimetría (método amarillo del ácido vanado molibdo fosfórico).	24
Interferencias del método	25
VALIDACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS	25
Parámetros de validación	25
DISEÑO METODOLÓGICO	27
PARTE EXPERIMENTAL	29
Equipos	29
Materiales	29
Reactivos	29
Preparación de soluciones	30
RESULTADOS Y DISCUSION	32
Linealidad de la curva de calibración	32
Límite de detección y Límite de cuantificación	40
Estadísticas de regresión lineal	41
Análisis de varianza	42
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	46
FLUJOGRAMA PARA LA DERMINACION DE FOSFATO	49
ANEXO	50
Imágenes de la toma de muestras de agua en rio La Zopiloter	50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Niveles de los estados tróficos	16
Tabla 2	Resultados de prueba de linealidad para la solución de fosfato.	32
Tabla 3	Niveles de absorbancia en la curva de calibración	33
Tabla 4	Resultados de las muestras en el río La Zopiloter	37
Tabla 5	Limite de detección y cuantificación	41
Tabla 6	Estadística de regresión lineal	41
Tabla 7	Resultados de ANOVA, comparación de medias	42
Tabla 8	Análisis de varianza	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Esquema de un Espectrofotómetro	18
Figura 2	Espectros Electromagnéticos	18
Figura 3	Diagrama esquemático de un experimento espectrofotométrico de haz simple.	20
Figura 4	Diagrama esquemático de un espectrofotómetro de barrido de doble haz	21
Figura 5	Espectrofotómetro UV-VIS Varian cary 3b	22
Figura 6	Curva de calibración semana 1	35
Figura 7	Curva de calibración semana 2	35
Figura 8	Curva de calibración semana 3	36
Figura 9	Mapa del río La Zopiloter	37
Figura 10	Concentración de fosfato en el río La Zopiloter	38

INTRODUCCIÓN.

El fósforo constituye un nutriente vital para todos los seres vivos, siendo fundamental en el desarrollo de las plantas y de los organismos acuáticos. No obstante, cuando se encuentra en exceso en cuerpos de agua, puede ocasionar serios problemas ambientales, entre los cuales destaca la eutrofización. Este proceso se manifiesta por una proliferación descontrolada de algas y vegetación acuática, lo que provoca una disminución del oxígeno disuelto y un deterioro en la calidad del agua, afectando negativamente la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos. Las principales fuentes de esta problemática son de origen antropogénico, como la aplicación intensiva de fertilizantes, el vertido de aguas residuales sin tratamiento adecuado, y el desecho de residuos tanto domésticos como industriales.

Ante esta situación, realizar un estudio en los niveles de fosfato en cuerpos de agua superficiales utilizando la técnica de espectrofotometría UV-Visible se presenta como una opción precisa, sensible y rápida para cuantificar ortofosfatos en muestras acuáticas.

Este método se basa en una reacción colorimétrica específica con el reactivo vanadato-molibdato de amonio, formando un complejo amarillo cuya absorbancia se mide espectrofotométricamente. La intensidad del color es proporcional a la concentración de fosfatos presentes en la muestra, lo que permite su determinación exacta.

Este estudio tiene como objetivo analizar las concentraciones de fosfato en distintos puntos del río La Zopilotería, localizado en Chichigalpa, Nicaragua. Esta región se caracteriza por su alta actividad agrícola e industrial, lo que la convierte en un área prioritaria para la vigilancia ambiental. Los datos obtenidos permitirán valorar el nivel de impacto ambiental y servirán como base para recomendar acciones de control y mitigación.

Los resultados de esta investigación no solo aportarán al conocimiento científico sobre la calidad del agua en esta zona específica, sino que también contribuirán al desarrollo de futuras investigaciones y al diseño de estrategias de manejo sostenible de los recursos hídricos en Nicaragua.

ANTECEDENTES

El método colorimétrico del ácido vanado-molibdato de amonio ha sido ampliamente utilizado desde finales del siglo pasado y durante principios del siglo actual para la determinación de fosfatos en agua. Este método se basa en la reacción del fosfato, generalmente en su forma ortofosfato, con molibdato de amonio en medio ácido y metavanadato de amonio para formar un complejo coloreado de ácido vanadomolibdofosfórico de color amarillo.

Dávila, J. y Zúñiga, F. (2018) validó el método para la determinación de fosfato en muestras de aguas, aplicando técnicas analíticas como la espectrofotometría con reactivos específicos para fosfatos.

Dueñas, M. y Saicos, M. (2022) evaluaron el contenido de fósforo total en más de 30 muestras de aguas superficiales de distintas lagunas en la provincia de Imbabura, Ecuador, incluyendo Yahuarcocha, Cuicocha y San Pablo. Para determinar la concentración de fosfato, emplearon la técnica de espectrofotometría UV/visible junto con el método de vanado-molibdato de amonio.

Los resultados obtenidos permitieron clasificar el estado trófico de las lagunas utilizando la metodología de la OCDE de 1982, que categoriza los cuerpos de agua según la concentración de fósforo total presente.

Mekonnen M. y Schyns J. (2018) realizaron un estudio que demostró que la contaminación por fósforo debido a actividades humanas ha alcanzado niveles problemáticos a nivel mundial. Según su investigación, en los años 2002 y 2010 se liberaron aproximadamente 1.7 millones de toneladas de fósforo al año en cuerpos de aguas superficiales, superando la capacidad de estos sistemas para diluir y asimilar dichas concentraciones de fosfato.

Elena M. Bennett et al. (1998) investigaron en un río de Nueva York. El estudio se enfocó en el ciclo del fósforo y sus implicaciones ambientales. Su investigación analizó las concentraciones de fosfato tanto en muestras de agua como en sedimentos. Los

resultados revelaron que las actividades humanas, particularmente la agricultura y la descarga de aguas residuales, fueron las causantes principales de la alteración del ciclo natural del fósforo en ese río.

Los reportes finales del estudio reflejaron niveles elevados de fosfato que estaban ligados a la proliferación de algas y al declive de la calidad del agua, este estudio refleja lo importante que es la gestión ambiental para restablecer el equilibrio del ciclo del fosforo y mantener sano los cuerpos de aguas.

Dávila Vargas, J. y Zúñiga Espinoza, F. (2018) en sus estudios, identificaron las principales fuentes de fosfato en aguas superficiales, señalando que provienen principalmente de fertilizantes y aguas residuales, así como de actividades industriales, agrícolas y del sector urbano. Estas actividades han incrementado significativamente la presencia de fosfatos, alterando el flujo natural de este nutriente en los cuerpos de agua.

La mayor parte de los fertilizantes contiene fosfatos y se utilizan para mejorar la producción agrícola. Sin embargo, estos fosfatos, junto con otros provenientes de aguas residuales, la industria y actividades urbanas, terminan llegando a ríos, lagos y, en muchos casos, hasta los océanos. Este incremento en la concentración de fosfatos en cuerpos de agua provoca un fenómeno conocido como eutrofización.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La determinación de fósforo en aguas superficiales es un aspecto crucial en la evaluación de la calidad del agua, debido a su impacto directo en la eutrofización, un proceso que acelera el crecimiento desmedido de ciertas algas y plantas acuáticas.

Este fenómeno puede alterar significativamente los ecosistemas acuáticos, reduciendo la disponibilidad de oxígeno y afectando la biodiversidad. El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, pero cuando se encuentra en exceso, ya sea por actividades antropogénicas como la agricultura, el vertido de aguas residuales o la deforestación, puede llevar a una sobrecarga de nutrientes en cuerpos de agua superficiales.

Para la detección y cuantificación del fósforo en aguas superficiales, existen diversas técnicas analíticas, entre ellas: Espectrofotometría UV-Vis, Cromatografía HPLC, Potenciometría con electrodos selectivos de fosfato y la Cromatografía iónica.

Cada técnica tiene sus ventajas y limitaciones dependiendo del rango de concentración, sensibilidad, complejidad y costo. La espectrofotometría UV-Vis es una técnica analítica que mide la cantidad de luz absorbida por una muestra en las regiones ultravioleta UV-visible del espectro electromagnético.

En el contexto del análisis de fosfatos en el agua, esta técnica se utiliza para identificar y cuantificar la concentración de fósforo en su forma ortofosfato, basada en la formación de complejos coloreados. El método del molibdato vanadato de amonio implica que el fosfato reacciona en medio ácido con el reactivo de molibdato amónico para formar un complejo amarillo de fosfomolibdato.

Este complejo coloreado absorbe luz en una longitud de onda específica, y la intensidad de la absorbancia medida espectrofotométricamente es proporcional a la cantidad de fosfato presente en la muestra.

JUSTIFICACIÓN

Dueñas, M. y Saicos, M. (2022) comentan que el estado químico de la composición del agua natural, sin tratamiento de purificación, es un factor crítico para los cuerpos de agua.

La alteración del ciclo del fósforo es una preocupación ambiental significativa, ya que los fosfatos en concentraciones altas pueden causar eutrofización. Este fenómeno consiste en el enriquecimiento excesivo de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno, en los cuerpos de agua, lo que provoca un crecimiento acelerado de algas nocivas. Este crecimiento desmedido conduce a una reducción del oxígeno disuelto en el agua, afectando severamente la vida acuática y provocando la pérdida de biodiversidad.

En el área de Chichigalpa, diversas actividades provocan cambios significativos en los parámetros físico-químicos y ambientales de los ríos. Entre las principales fuentes de contaminación se pueden mencionar: vertidos de aguas residuales domésticas, vertido de desechos sólidos y líquidos contaminantes al agua por actividades industriales, uso excesivo de agroquímicos y pesticidas que llegan a los cuerpos de agua mediante escurrimiento, etc. También se identifican problemas como erosión del suelo, deforestación y el depósito de residuos sólidos en cauces, que contribuyen a la degradación ambiental.

Realizar una evaluación de la concentración de fosfato en el río es fundamental para comprender el impacto de este nutriente en el ecosistema acuático. Ante lo expuesto, es evidente la necesidad de realizar un estudio para evaluar la concentración de fosfato en el río La Zopilotería en la ciudad de Chichigalpa.

Este estudio permitiría comprender los niveles de fosfato presentes en el río y su posible impacto en la calidad del agua y el ecosistema acuático.

HIPOTESIS

La concentración de fosfato en aguas superficiales está estrechamente vinculada a actividades humanas, tales como la agricultura, la ganadería, la descarga de aguas residuales y el uso de fertilizantes. Este aumento de fosfatos es un factor clave que promueve la eutrofización en cuerpos de agua.

El incremento de fosfatos debido a actividades antropogénicas es un factor desencadenante de la eutrofización, con consecuencias negativas importantes para la biodiversidad y la calidad de los ecosistemas acuáticos.

En la ciudad de Chichigalpa, las cadenas bióticas de la cuenca del Río La Zopilotería que bordean e incluso cruzan el área urbana en algunos puntos, se encuentran expuestas a diversas fuentes de contaminación que impactan sus fuentes hídricas.

Medir la concentración de fosfatos permite identificar el nivel de contaminación y eutrofización, sirviendo como indicador para evaluar el estado ambiental y la salud del cuerpo de agua. Esto es crucial para tomar medidas a tiempo y evitar daños más graves en la biodiversidad y el equilibrio ecológico.

Se espera que los resultados y análisis de la investigación en muestras de agua de los ríos de la ciudad de Chichigalpa sirvan como referencia importante para futuros estudios, ya que estas investigaciones permiten evaluar la calidad del agua y el estado ambiental de los cuerpos de agua en la región.

OBJETIVOS

Objetivo General.

- Determinación de la concentración de fosfato por medio de espectrofotometría UV/vis en río en la ciudad de Chichigalpa - Nicaragua.

Objetivos Específicos.

- Analizar la concentración de fosfato en diferentes puntos del río La Zopiloteira.
- Aplicar el método colorimétrico desarrollado del vanado-molibdato de amonio.
- Determinar algunos parámetros de validación del método.

MARCO TEORICO

Generalidades del fosforo

El fósforo es un elemento esencial para los organismos vegetales y animales. La pequeña cantidad de fósforo en las aguas naturales, no favorece el crecimiento de las plantas. Sin embargo, las concentraciones elevadas de fósforo pueden provocar la proliferación de algas, lo que lleva a la eutrofización de los cuerpos de aguas. A mitad del siglo XX, los fosfatos artificiales contaminaron las masas de agua, provocando una eutrofización generalizada causada por fertilizantes, aguas residuales y detergentes. Se han tomado medidas para reducir la concentración, Incluyendo la eliminación de fosfatos en productos de limpieza y la precipitación de fosfatos en plantas de tratamiento de aguas residuales, lo que reduce la carga de fosfatos en el medio ambiente en aproximadamente un 75%. Ackefors, H., y Enell, M. (1992).

Ciclo del fosforo

El fósforo sigue un ciclo biogeoquímico, conocido como el ciclo del fósforo, en el que se mueve entre el suelo, el agua, las plantas, los animales y los microorganismos. De esta forma se puede observar que el fosforo está presente en todos los ciclos bióticos rotando u alternando su presencia, esto gracias a que tiene facilidad para circular en estos ambientes siendo perfectamente factible que la misma partícula este presente en más de 3 elementos orgánicos vivos en un corto periodo de tiempo, en el cual se desintegra y puede llegar a presentarse en diversos compuestos. Alvarado delgadillo, C. E. (2010)

A diferencia del ciclo del carbono o del nitrógeno, el fósforo no tiene una fase gaseosa significativa en su ciclo, ya que no se encuentra en la atmósfera en cantidades importantes. Esto reafirma lo anteriormente mencionado demostrando que este elemento no es aerotransportarle ni aeroabsorbible, al contrario, depende de otras cadenas para su movilidad y transformación. Alvarado delgadillo, C. E. (2010)

El fosfato en la naturaleza

En la naturaleza, el fósforo se encuentra principalmente en forma de fosfatos (PO_4^{3-}), que son compuestos de fósforo y oxígeno. Los fosfatos están presentes en las rocas fosfatadas, en el suelo, y en organismos vivos, siendo un nutriente esencial para plantas y animales, aunque el fósforo es abundante en la corteza terrestre, las fuentes explotables de fósforo, como las rocas fosfatadas, son limitadas y están distribuidas de manera desigual a nivel mundial. Aunque parezca paradójico esto tiene su raíz en el hecho que la mayor parte del fosforo presente en la superficie se encuentra regado en las cadenas biológicas, adherido de forma irregular al suelo o mezclado en los cuerpos de agua, como consecuencia su explotación no es algo viable ya que no se puede aseverar que se concentrara de forma artificial en cantidades y costos factibles. Stephen R. Carpenter, (2008)

El fósforo es un elemento vital para los seres vivos, pero su mal manejo puede tener graves consecuencias ambientales. Muchos animales pueden ser expuestos a algas y microorganismos nocivos para la salud que se derivan de altas concentraciones de fósforo, así como atrofiar de forma severa y más allá de una recuperación viable cadenas ambientales llevando a extinciones focalizadas que dañan de forma indirecta las macrorregiones en las cuales se pueden llegar a presentar. Stephen R. Carpenter, (2008)

Aguas superficiales

Los cuerpos de agua superficiales se encuentran constituidos por ríos, lagos, lagunas, riachuelos y demás concentraciones de agua que florecen o se constituyen en la superficie, estos pueden ser estancados o fluyentes, usualmente constituyen sistemas híbridos o mezclados donde muchos riachuelos o ríos nacen de ojos de agua y a su vez desembocan en lagos o lagunas. Castillo Hernández, (2006)

Al estar expuestos a la superficie estos cuerpos no cuentan con un sistema complejo de filtrado que les permita eliminar de forma eficiente los contaminantes o residuos antes de que estos desemboquen en ellos, por el contrario, estos reciben de forma directa los

desperdicios que arrojan tanto la producción agropecuaria, industrial, química y doméstica siendo receptores directos de todo lo que puedan arrastrar los desechos. Castillo Hernández, (2006)

Aguas superficiales en Nicaragua

En Nicaragua los cuerpos de agua superficiales se dividen en cuencas independientes esto debido a diferentes factores; podemos destacar sus dos lagos de origen tectónicos los cuales ocupan una considerable cantidad del territorio, Xolotlán de 1.040 km² y Cocibolca de 8.200 km²; el país también cuenta con 21 cuencas hidrográficas con un potencial de 152.596 millones de m³. Del total de estas cuencas en la vertiente del pacífico en Inter lacustre solo se ubican 8 siendo esto un 38% del total de cuerpos de agua fluyentes en el país (se tiene que hacer énfasis en que el potencial hídrico de la región lo constituyen los sistemas de corrientes subterráneos) estos ríos y riachuelos difieren de sus contrapartes de la vertiente atlánticas por razones principalmente geológicas. Castillo Hernández (2006)

Entre las razones de la diferenciación encontramos la cordillera Maribios que corta en dos la región reduciendo o cortando la ruta que pueden recorrer los ríos además los estratos del suelo suelen ser más sólidos y menos proclives a la erosión en comparación con los estratos presentes en las tierras emergidas del atlántico nicaragüense, estos cursos cortos y riberas más sólidas así como tierras con una gran capacidad de absorción de agua da como resultado que estos cuerpos de agua constituyan sistemas bióticos extremadamente frágiles y propensos a sufrir cambios los cuales pueden derivar fácilmente en amenazas críticas. También debemos sumar el factor antrópico esto debido a que la distribución poblacional en la región del Pacífico es del 55,86%; por lo cual la exigencia de recursos hídricos así como las explotaciones urbanas y rurales generan un estrés ambiental considerable lo cual amenaza la existencia y la sustentabilidad biológica de estas fuentes hídricas, por ejemplo de ello encontramos el colapso de sectores de los ríos Zopilote y Telica-Remedios, los cuales han dejado de fluir en grandes segmentos de sus cursos originales debido la influencia del ser humano,

rompiendo los ecosistemas que dependían de estos cursos de agua dejando significativamente frágil los ecosistemas locales. Castillo Hernández (2006)

Contribución del fósforo a los cuerpos de aguas

Un elemento que constituye parte del estado natural de estos cuerpos acuáticos es el fósforo, el cual forma parte de las cadenas bióticas de los sistemas biológicos que habitan y constituyen su hogar en estos cuerpos hídricos, este elemento es el principal sustento de las algas que habitan en estos cuerpos incidiendo directamente en la cantidad presente de estas, así como su floración. Este se presenta en cuerpos de agua naturales como ortofosfatos, fosfatos condensados y compuestos organofosforados, estos se clasifican según su origen si son producto de los procesos naturales estos son considerados inocuos e inofensivos creando el grupo de los fosfatos naturales, por otra parte, si su origen es antrópico (influencia directa o indirecta del humano) son tomados como invasivos, contaminantes, los cuales perjudican las cadenas bióticas. Ackefors, H., y Enell, M. (1992).

Solubilidad del fosfato

La presencia y disolución del fosfato en aguas superficiales es un factor clave para la calidad del agua y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos. El fósforo, que se encuentra principalmente como ortofosfato, polifosfatos o compuestos orgánicos, es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos y vegetación acuática. No obstante, su concentración elevada puede provocar problemas ambientales, especialmente la eutrofización (Correll, 1998).

La solubilidad del fosfato en cuerpos de agua está condicionada por factores como el pH, la temperatura, la presencia de metales y la materia orgánica disuelta. En valores de pH cercanos a la neutralidad o ligeramente alcalinos, el ortofosfato suele unirse a calcio, hierro o aluminio, reduciendo su fracción disuelta (House, 2003). Por el contrario, en

ambientes ácidos o con escasez de oxígeno, estos compuestos pueden liberarse de los sedimentos, lo que incrementa su disponibilidad (Boström et al., 1988).

Las actividades humanas modifican de forma significativa el comportamiento natural del fosfato. La descarga de aguas residuales, la escorrentía de zonas agrícolas y el uso de detergentes con fósforo contribuyen a que sus concentraciones superen los límites permitidos.

Eutrofización

Este fenómeno forma parte de un proceso natural de envejecimiento de los lagos, que sucede de manera gradual e independiente de la intervención humana. No obstante, numerosos lagos han experimentado daños severos debido a las actividades cotidianas de la sociedad, que impactan su belleza, el turismo y la economía en su conjunto. El fosforo directamente no constituye una amenaza directa a los animales, personas o especies vegetales, sin embargo, algunas de las algas que florecen a raíz de las concentraciones de este elemento son perjudiciales para la salud en exposiciones constantes ya que estas al alcanzar una masa biótica crítica a raíz de la eutrofización, aumentan la presencia de endotoxinas que generan graves problemas de salud al ser consumidas de forma directa e incluso indirectas. Ackefors, H., y Enell, M. (1992).

La concentración natural del fosforo no presenta ningún peligro ya que el suelo absorbe y retiene de manera excepcional los fosfatos desprendiendo cantidades ínfimas, lo que, si constituye una alteración exponencial, son los usos industriales y domésticos de fosfatos que son desechados de forma líquida, los cuales a través de causas, canales y desagües ilegales llegan a los cuerpos de agua superficiales fluyentes o estancados.

Jabones, detergentes, aditivos entre otros constituyen un nutrido grupo de fuentes de fosfatos contaminantes los cuales por su misma condición son desechados en forma líquida, además se encuentra que en muchas ocasiones barrios o industrias marginales no cuentan con un sistema de drenaje estándar o incluso destaca la no existencia de

sistemas de desagüe por lo cual la solución más practica que encuentran estas comunidades no es otra más que arrojar el exceso de desperdicios líquidos a la fuente hídrica más cercana.

Esto al mismo tiempo que genera un aumento de las concentraciones de fosforo disminuye la presencia de oxígeno y otros componentes generando un significativo estrés ambiental a los sistemas hídricos, así como estirar las cadenas bióticas a su límite amenazando con extinguirlas mediante la proliferación de algas nocivas. Si bien el fosforo constituye una parte activa de las fuentes de agua superficiales su presencia ha pasado de ser inofensiva a constituir un problema a ser tomado en consideración esto debido a las altas concentraciones del mismo en los cuerpos hídricos de la región latinoamericana. Ackefors, H., y Enell, M. (1992)

Contaminación por eutrofización

La situación no es mejor en el resto de países de la región, encontrando en Costa Rica el rio Tárcoles considerado el rio más contaminado de la región con niveles de eutrofización llegados al punto crítico, como aliciente se puede destacar que algunas zonas de Guatemala y Belice cuentan con cuencas que pueden considerarse cerca de la virginidad de sus aguas debido a la poca densidad poblacional y a las características propias de las mismas comunidades aledañas. Escobar, J. (2002).

En Nicaragua se mantiene la tendencia regional, mayormente en las cuencas del pacifico donde estas suelen encontrarse bordeando o atravesando la ciudad durante todo su recorrido siendo expuestos a los efectos antrópicos en todo su curso, durante la temporada seca sus cadenas ambientales se ven extremadamente fatigadas debido a que sus aguas reciben menos fuentes naturales predominando las aguas de origen antrópico en sus distintas presentaciones ya sea proviniendo de hogares, industria local, explotaciones pecuarias o mineras creando de esta forma un estado crítico para la sustentabilidad ambiental.

Proceso de eutrofización

Cuando el agua de una masa oligotrófica se enriquece de nutrientes, se inician muchos cambios. Primero, este enriquecimiento favorece el crecimiento y la multiplicación del plancton, lo que aumenta la turbidez del agua. Con la desaparición de la vegetación acuática sumergida, es evidente que se pierden alimentos, hábitats y el oxígeno disuelto (OD) de la fotosíntesis. Pero la pérdida de OD se agrava por la siguiente razón: el fitoplancton está compuesto de organismos fotosintéticos que también producen oxígeno, como todas las plantas verdes.

Como ocupan la superficie, esta se satura del gas y el exceso se escapa a la atmósfera. En un día tranquilo y soleado, se pueden apreciar las burbujas de oxígeno que después de quedar atrapadas en las algas filamentosas, son liberadas a la superficie. De esta manera, la fotosíntesis del fitoplancton no abastece de oxígeno a las aguas más profundas, excepto durante ciertos momentos en la primavera y otoño.

Además, el fitoplancton tiene índices de crecimiento y reproducción muy elevados. En condiciones óptimas, su masa puede duplicarse en un día. Así, el fitoplancton alcanza su máxima densidad poblacional y este crecimiento alcanza su estado estable para finalmente entrar en decaimiento siguiendo el comportamiento logístico. El fitoplancton muerto se asienta y produce en el fondo depósitos espesos de detritos. Nebel, B. J. y Wright, R. T. (1999).

A su vez, la profusión de detritos genera una abundancia de descomponedores, la mayoría bacterias, cuyo crecimiento explosivo crea una demanda nueva de OD, que se consume en la respiración. El resultado es el agotamiento del recurso con la consiguiente sofocación de peces y crustáceos. Sin embargo, las bacterias aerobias estrictas prosperan y aprovechan el oxígeno cada vez que está disponible, por lo que mantienen al agua sin OD, en tanto que haya detritos que las alimenten. Mientras que las bacterias anaerobias aparecen en el fondo produciendo gases como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno. Además, hay alguna oxidación de materia orgánica y de otros compuestos, lo que demanda más OD.

Las principales causas antropogénicas de procesos de eutrofización pueden ser:

- Una de las más antiguas causas es la descarga de aguas residuales, las cuales son ricas en nutrientes, contribuyendo al cambio trófico del cuerpo de agua receptor.
- El uso excesivo de fertilizantes, que genera una contaminación del agua fundamentalmente mediante el aporte de nitrógeno (en forma de sales de nitrato y amonio) y fósforo (como fosfato).
- La deforestación y la erosión en suelos agrícolas influyen en la carga de nutrientes, ya que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección, “lavan” la capa fértil, llevándose consigo los nutrientes de la misma.
- La presencia de gases ambientales tales como óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x), al entrar en contacto con el agua atmosférica forman ion nitrato (NO_3^-) e ion sulfato (SO_4^{-2}), que forman sales solubles al alcanzar el suelo con los cationes del mismo, generando un empobrecimiento de dichos iones. Dichas sales son volcadas fácilmente en los cuerpos de agua, dando lugar a un proceso de eutrofización.

El criterio para definir los cuatro estados tróficos según Moreno-Franco DP, et al (2010), se basa en parámetros clave como la concentración de clorofila "a", fósforo total, nitrógeno total y la claridad del agua (medida con profundidad Secchi).

Estos estados tróficos son:

- **Oligotrófico:** Bajo nivel de productividad biológica. Agua clara, pocas plantas acuáticas, baja concentración de clorofila “a” (menos de 3 µg/l), fósforo total menor a 15 µg/l, nitrógeno total menor a 400 µg/l y alta claridad del agua (más de 4 m).
- **Mesotrófico:** Nivel moderado de productividad. Concentración de clorofila “a” entre 3 y 7 µg/l, fósforo total entre 15 y 25 µg/l, nitrógeno total entre 400 y 600 µg/l, y claridad del agua entre 2.5 y 4 m.
- **Eutrófico:** Alta productividad biológica con abundantes plantas acuáticas. Clorofila “a” mayor a 7 µg/l, fósforo total y nitrógeno total elevados, y menor claridad del agua.
- **Hipertrófico:** Nivel excesivo de nutrientes y producción biológica muy alta que puede causar problemas como proliferación algal y disminución del oxígeno disuelto.

Tabla 1. Niveles de los estados tróficos

Estado trófico	Clorofila a (µg/l)	Fósforo Total (µg/l)	Nitrógeno Total (µg/l)	Claridad del agua (m)
Oligotrófico	< 3	< 15	< 400	> 4
Mesotrófico	3 – 7	15 - 25	400 - 600	2.5 – 4
Eutrófico	> 7	> 25	> 600	< 2.5
Hipertófico	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy baja

Profundidad de Secchi = sistema que permite medir la turbidez de la columna de agua en un lago.

FUNDAMENTOS DE LA ESPECTROCOPIA UV-vis

Alvarado, Delgadillo. C.E. (2010) La espectrofotometría es el método de análisis óptico más usado en las investigaciones químicas y biológicas. El espectrofotómetro es un instrumento que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto, y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia.

Principio de la espectrofotometría

La absorción de las radiaciones ultravioletas, visibles e infrarrojas depende de la estructura de las moléculas, y es característica para cada sustancia química, Cuando la luz atraviesa una sustancia, parte de la energía es absorbida; la energía radiante no puede producir ningún efecto sin ser absorbida. Alvarado Delgadillo, C. E (2010)

El color de las sustancias se debe a que éstas absorben ciertas longitudes de onda de la luz blanca que incide sobre ellas y solo dejan pasar a nuestros ojos aquellas longitudes de onda no absorbidas. Alvarado Delgadillo, C. E (2010)

La espectrofotometría ultravioleta-visible usa haces de radiación del espectro electromagnético, en el rango UV de 80 a 400 nm, principalmente de 200 a 400 nm y en el de la luz visible de 400 a 800 nm, por lo que es de gran utilidad para caracterizar los materiales en la región ultravioleta y visible del espectro. Alvarado Delgadillo, C. E (2010)

Se conoce también como rango de luz UV cercano al campo de luz U-vis de 200 nm a 400 nm, mientras que la espectrofotometría visible solo utiliza el rango del campo electromagnético de la luz visible, de 400 a 800 nm. Además, es importante destacar que la absorción y transmitancia de la luz están tanto determinadas por la concentración como por la distancia cubierta.

Figura 1. Esquema de un Espectrofotómetro

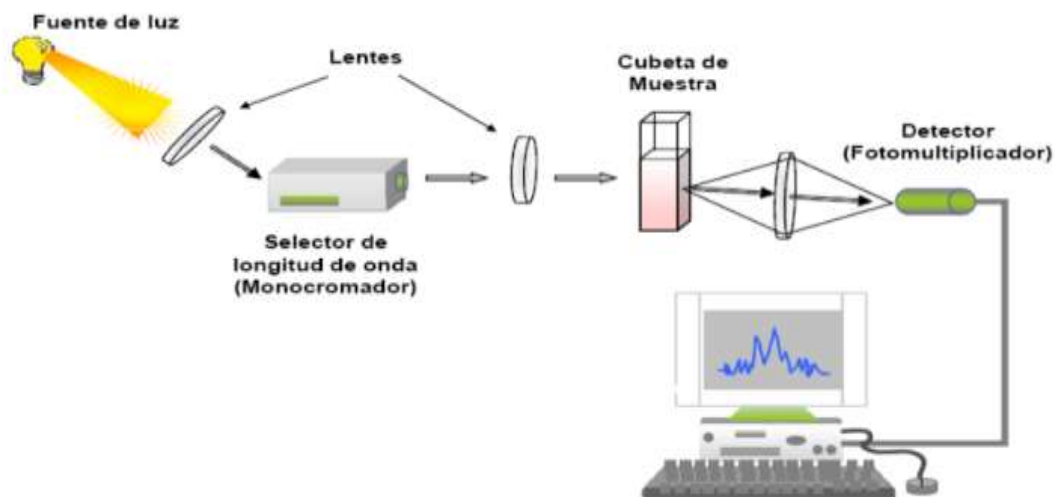
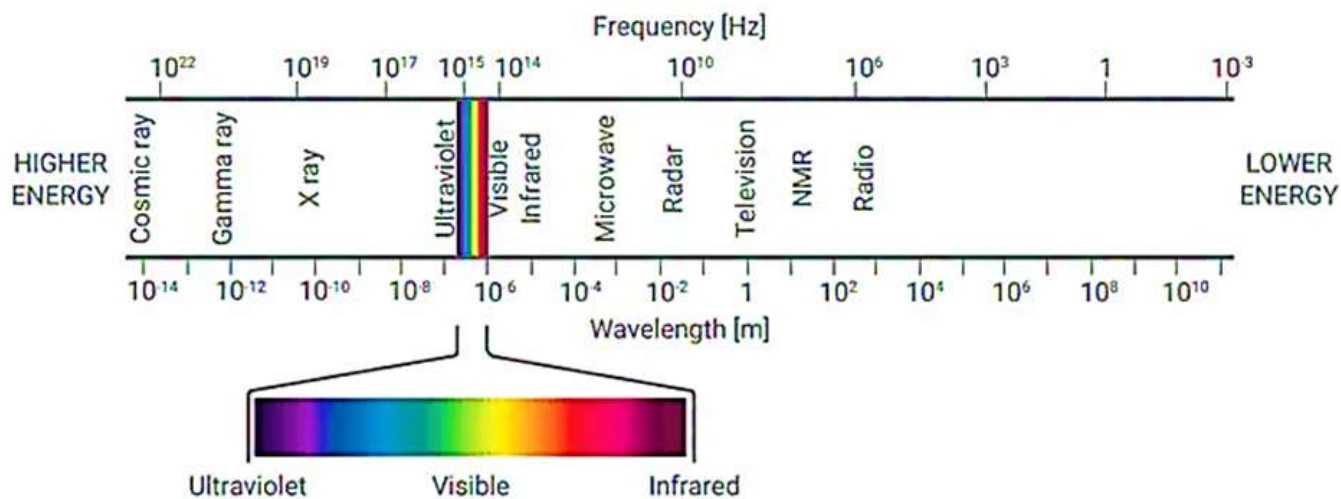


Figura 2. Espectros Electromagnéticos



Ley de Beer

La ley de Beer establece que la cantidad absorbida por un cuerpo depende de la concentración en la solución. La Ley de Lambert sostiene que la cantidad de luz que absorbe un objeto se determina por la distancia que atraviesa la luz, Al pasar una cantidad de fotones o radiaciones mediante las leyes previamente citadas, se produce una pérdida que se manifiesta mediante la ecuación:

$$A = \epsilon bC$$

La ecuación de la ley de Beer

Se refiere a la ecuación básica que vincula la concentración (c), la absorbancia de la muestra (A), la profundidad percibida por la radiación (d) y el factor de calibración (ϵ). La relación entre el factor de calibración y la absorbancia de los estándares está vinculada. La absorción (o absorbancia) es igual a A, la es el logaritmo del recíproco de la transmitancia:

$$A = \log 1 / T$$

Lo que es igual a:

$$A = -\log T$$

Las ecuaciones mencionadas de las leyes son válidas solo y solo sí.

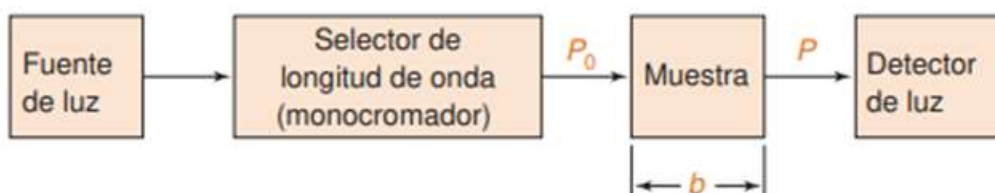
- La radiación incidente es monocromática.
- Las especies actúan independientemente unas de otras durante la absorción.
- La absorción ocurre en un volumen de sección transversal uniforme.

La espectrometría UV-Vis, también conocida como espectrofotometría UV-Vis, se refiere a la espectroscopia de fotones en la zona de radiación UV-visible. Emplea la luz en los espectros visibles y próximos (el ultravioleta (UV) próximo y el infrarrojo (IR) próximo). En esta zona del espectro electromagnético, las moléculas experimentan transiciones de carácter electrónico.

Espectrofotómetro

La función un espectrofotómetro de haz simple. De la luz que procede de una fuente se aísla una banda estrecha de longitudes de onda con un monocromador, la cual pasa a través de una muestra, y se mide mediante un detector. Primero se mide la irradiancia (P_0 . W/m²) que llega al detector después de pasar por una cubeta de referencia (un blanco de disolvente o de reactivo), colocada en el compartimiento de muestras. Cuando la referencia se sustituye por una muestra de interés, algo de la radiación se absorbe, y la irradiancia que incide en el detector (P) es menor que P_0 . El cociente P/P_0 , que es un número entre 0 y 1, es la transmitancia (T). La absorbancia, que es proporcional a la concentración, es $A = \log P_0/P = -\log T$.

Figura 3. Diagrama esquemático de un experimento espectrofotométrico de haz simple.



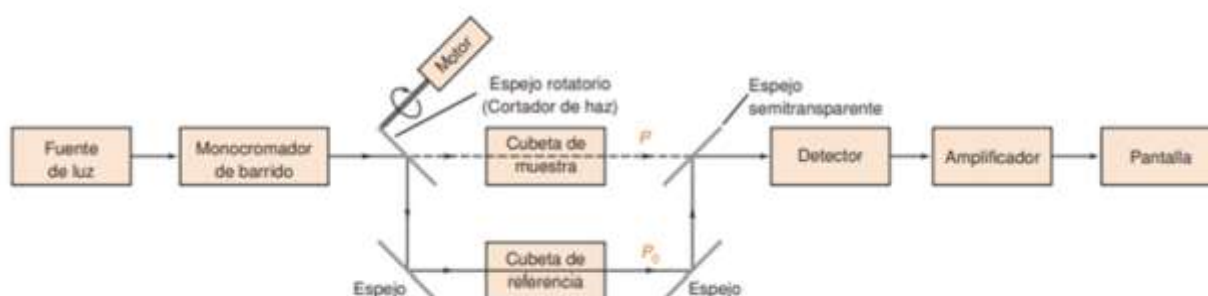
Un espectrofotómetro de haz simple tiene inconvenientes, porque la muestra y la referencia se deben colocar alternadamente en el camino del haz. Para medidas a distintas longitudes de onda se debe medir a cada longitud de onda. Un instrumento de haz simple es poco indicado para medir absorbancias en función del tiempo, como en trabajos de cinética, porque tanto la intensidad de la fuente como la respuesta del detector van variando lentamente.

La muestra un espectrofotómetro de doble haz, donde la luz pasa alternadamente a través de la muestra y la referencia (el blanco) mediante un espejo rotatorio (cortador de haz), que dirige el haz de luz. Cuando la luz pasa a través de la muestra, el detector mide la irradiancia P . Cuando el cortador dirige el haz a la cubeta de la referencia, el detector

mide P_0 . El haz se corta varias veces por segundo, y el circuito compara automáticamente P y P_0 para obtener la transmitancia y la absorbancia.

Este procedimiento posibilita una corrección automática de los cambios de intensidad de la fuente y de la respuesta del detector, con el tiempo y la longitud de onda, porque la potencia que emerge de las dos muestras se compara con mucha frecuencia. La mayoría de los espectrofotómetros de calidad destinados para investigación permiten un barrido automático de longitudes de onda y un registro continuo de absorbancias frente a longitudes de onda.

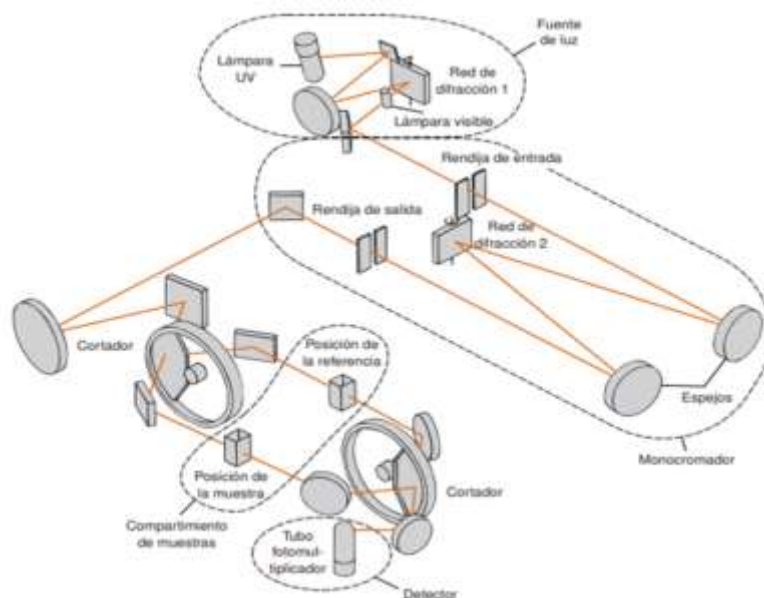
Figura 4. Diagrama esquemático de un espectrofotómetro de barrido de doble haz



El procedimiento de rutina consiste primero en registrar el espectro de la línea base con la disolución de referencia en ambas cubetas. La absorbancia de la línea base a cada longitud de onda se resta de la absorbancia medida de la muestra para obtener la verdadera absorbancia de la muestra a cada longitud de onda. Un espectrofotómetro de doble haz UV-visible se muestra en la figura 4. La luz visible procede de una lámpara de halógeno-cuarzo (como la de los faros de un coche) y la fuente de UV es una lámpara de arco de deuterio que emite en el intervalo de 200 a 400 nm.

Se usa una única lámpara cada vez. La red de difracción 1 selecciona una banda estrecha de longitudes de onda, que entran en el monocromador, el cual selecciona una banda aún más estrecha, que es la que atraviesa la muestra. Después del corte de haces y la transmisión a través de muestra y referencia, la señal se detecta en un tubo fotomultiplicador, que genera una corriente eléctrica proporcional a la irradiancia.

Figura 5. Espectrofotómetro UV-VIS Varian Cary 3B



Componente de un espectrofotómetro

Los principales componentes de un espectrofotómetro son:

- ❖ **Fuentes de luz:** Los espectrofotómetros utilizan como fuentes de luz lámparas de bajo voltaje de tungsteno, lámparas halógenas de tungsteno o lámparas de xenón de pulso o arco.
- ❖ **Selección de longitud de onda:** Es el procedimiento mediante el cual se selecciona una longitud de onda determinada de la luz para llevar a cabo un experimento o análisis, particularmente en métodos como la espectroscopía.
- ❖ **Recipiente de la muestra:** Los contenedores utilizados para las muestras tienen longitudes que varían entre 0.5 y 5 cm, y pueden tener forma rectangular o cilíndrica. El material con el que están fabricados depende de la parte del espectro electromagnético en la que se vayan a emplear. Por ejemplo, para mediciones en la región ultravioleta se usan recipientes de cuarzo o sílice fundida; en el espectro visible, se pueden usar cuarzo, sílice fundida o plástico; y para la región del infrarrojo, se utilizan cristales de sales como KCl o KBr.

- ❖ **Detector:** son transductores que transforman la energía radiante en una señal eléctrica. Su característica principal es que generan una respuesta eléctrica al recibir el impacto de fotones.
 - ❖ **Amplificadores de señal:** Se utiliza para convertir el haz de luz en un pequeño flujo a través de un fotosensor como un fotodiodo de silicio o un fotomultiplicador.
- Harris, D. C. (2016)**

Calibración de un espectrofotómetro

Guía ISO 30 (1992) hace referencia a la calibración y la define como un Conjunto de procedimientos que determinan, bajo condiciones definidas, la correspondencia entre los valores que indica un instrumento o sistema de medición o los representados por un material de referencia o una medida materializada y los valores verdaderos de esa magnitud establecidos mediante patrones de referencia.

Verificación de un espectrofotómetro

La verificación de un espectrofotómetro tiene como objetivo evaluar la competencia de medida de los equipos para garantizar los resultados que sean comparables con los obtenidos en distintos laboratorios. La verificación de un espectrofotómetro UV-Vis implica confirmar que el equipo opera correctamente y se encuentra dentro de los límites establecidos por los criterios técnicos. Esta tarea es esencial para cumplir con estándares de calidad, tales como los definidos por farmacopeas, normativas ISO y las Buenas Prácticas de Laboratorio, y para asegurar que los datos obtenidos sean precisos, repetibles y confiables.

Si no se realiza una verificación adecuada, pueden surgir errores sistemáticos como desviaciones en la calibración de la longitud de onda, lecturas incorrectas de absorbancia o niveles elevados de ruido en la línea base. Estas fallas pueden distorsionar los resultados, influir negativamente en la toma de decisiones y provocar incumplimientos durante auditorías técnicas.

METODO DE ANALISIS DE FOSFORO EN AGUAS SUPERFICIALES

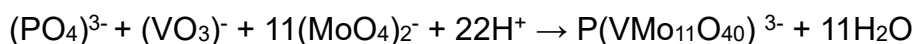
Método de amarillo de Vanadato – Molibdato

Los vanadatos, molibdatos y ortofosfatos interactúan para generar un complejo de color amarillo en soluciones ácidas. En soluciones de ácido nítrico, el color no se intensifica si la acidez es inferior a 0.2N, y evoluciona de manera gradual si supera 1.6 N. El color aparece en varios minutos y se mantiene estable durante dos meses con altas concentraciones de fósforo; sin embargo, en las concentraciones de fósforo de 5 ppm, solo se mantiene estable durante dos semanas. Alvarado Delgadillo, C. E (2010)

Determinación de fosfatos por colorimetría (método amarillo del ácido vanado molibdo fosfórico).

En una solución diluida de ortofosfato, el molibdato amónico reacciona en condiciones ácidas para formar un heteropoliácido, ácido molibdofosfórico. En presencia de vanadio forma ácido vanadomolibdofosfórico amarillo. La intensidad del color amarillo es proporcional a la concentración de fosfatos (AOAC. 18th ed. 2005).

Según López (2019), con este método se busca determinar el contenido de fosfatos solubles en una muestra de agua por medio de espectrofotometría ultravioleta-visible. Este procedimiento se basa en la reacción del ortofosfato con el reactivo vanadomolíbico formando un heteropoliácido de color amarillo cuya absorción de luz se mide a 420 nm. La intensidad del color amarillo es proporcional a la concentración de fosfatos. La formación de este heteropoliácido tiene lugar según la reacción:



Interferencias del método

En este procedimiento interfieren concentraciones de sílice y arseniatos, pero solo causan interferencias positivas si la muestra se calienta, por lo que es necesario al momento de realizar el análisis, que la muestra se encuentre a temperatura ambiente. En cuanto a la presencia de iones fluoruros, sulfuros, tiosulfatos o exceso de molibdato, todos estos producen interferencias negativas. Por otra parte, el hierro da lugar a un color azul pero no interfiere en los resultados si su concentración es menor de 100 mg/L. (Sanchez, 2011)

VALIDACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS

Parámetros de validación

❖ Precisión

Es una medida de que tan cerca están los resultados entre sí y usualmente se expresa por medio del valor de la desviación estándar, que describe la dispersión, o sea que, describe la magnitud de los errores aleatorios. Alvarado Delgadillo, C. E (2010)

❖ Exactitud

Según la IUPAC (1998), la exactitud se refiere al nivel de coincidencia entre el resultado obtenido de una medición y el valor verdadero de la magnitud que se desea medir. Este término se considera de carácter cualitativo, ya que describe el grado de error presente en un resultado. Por ello, comúnmente se califica un valor como más o menos exacto. No obstante, para expresar esta exactitud de manera cuantitativa, es necesario emplear un parámetro: el error. Este se define como la diferencia existente entre el valor medido y el valor real del mensurando.

❖ **Límite de detección**

Que mide la cantidad mínima que puede diferenciarse de la señal de ruido de fondo. Es la concentración del analito que produce una señal que es tres desviaciones estándar mayor que la del blanco. Alvarado Delgadillo, C. E (2010)

❖ **Límite de cuantificación**

Alvarado Delgadillo, C. E (2010) La más baja concentración del analito que puede ser cuantificada con suficiente precisión y exactitud. También es definido, convencionalmente, como la concentración de analito que corresponde al blanco de la muestra, más 5, 6 ó 10 desvíos estándar de la media (del blanco), también se le conoce como “límite de determinación”.

❖ **Linealidad**

La linealidad evalúa qué tan bien se ajusta la respuesta del método analítico a una relación lineal en función de la concentración (o cantidad) del analito. Para determinar la concentración de dicho analito, se analiza la linealidad de la curva de calibración utilizando cinco soluciones estándar, junto con un blanco, que cubren un rango comprendido entre el 0.5 a 1.5 veces de la concentración esperada. Harris, **D. C.** (2016)

❖ **Rango**

Indica el rango (niveles bajo y alto del analito) donde la relación lineal o cualquier otro modelo de calibración empleado es precisa.

❖ **Selectividad**

Este parámetro asegura que la señal medida no es influenciada por otras sustancias presentes en la muestra y en caso contrario, garantiza la remoción de las mismas, otro aspecto importante de la selectividad es si el analito puede existir en la muestra de una forma, tal como enlazado o libre, inorgánico u órgano - metálico, o en diferentes estados de oxidación. Alvarado Delgadillo, C. E (2010)

❖ **Sensibilidad**

Es el indicador que evalúa la cantidad de variación en la función de respuesta (o señal) en relación con la concentración y se alinea con la pendiente de la curva.

❖ **ANOVA de un factor**

La prueba analítica de varianza (ANOVA) se refiere a una herramienta estadística robusta, ampliamente utilizada tanto en entornos industriales para el control de procesos, como en laboratorios analíticos para la evaluación de métodos. Sus aplicaciones son diversas, aunque en general pueden clasificarse en dos grandes categorías según su finalidad: la comparación de varios grupos de datos y la determinación de los distintos factores que contribuyen a la variabilidad dentro de un proceso.

DISEÑO METODOLÓGICO

❖ **Tipo de estudio**

La investigación se fundamenta en un estudio experimental que implica el desarrollo de un método analítico y análisis de muestras en una determinada área para la obtención de fosfatos en aguas superficiales.

❖ **Área de estudio**

Nuestra Área de estudio se sitúa en el río La Zopilotería que recorre todo un extremo de la ciudad de Chichigalpa. Este río está ubicado al Este de la ciudad de Chichigalpa.

❖ **Población de estudio**

Aguas superficiales del río Zopilotería de la ciudad de Chichigalpa.

❖ **Muestra**

Se tomaron muestras de agua en las orillas del río, se recolectaron 5 muestras en diferentes puntos del río. A continuación, el detalle:

Muestra 1: Parte norte del rio La Zopiloter
Muestra 2: Parte central del rio La Zopiloter
Muestra 3: Parte central #2 del rio La Zopiloter
Muestra 4: Parte sur del rio La Zopiloter
Muestra 5: Parte sur #2 del rio La Zopiloter

❖ **Fuente de información**

En la parte documental de esta investigación se consultaron como fuentes de información el sistema de biblioteca virtual de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua UNAN-León publicadas en varias plataformas digitales públicas.

❖ **Recolección de Muestra**

- Se utilizó envases de polietileno.
- Se asignaron 5 puntos diferentes de muestro en los ríos.
- Muestras fueron llevadas a laboratorio y puesta en refrigeración a 4°C.

❖ **Especificaciones de la muestra**

Las muestras fueron debidamente rotuladas, para mantener un orden al momento de analizar la muestra.

- Numero de muestra.
- Procedencia
- Lugar de recolección

❖ **Material de muestreo**

- Termo Mediano
- Envase de plástico
- Hielo
- Guantes de látex

PARTE EXPERIMENTAL

Equipos

1. Balanza analítica (Sartorius, MCI AC 210 S)
2. Espectrofotómetro (Genesys 10 UV-Vis)
3. Cocina con agitador magnético (Fisher Scientific)
4. Horno (Thelco)

Materiales

1. Celda espectrofotométrica de vidrio
2. Pipeta graduada 10ml $\pm$ 0.015 ml Brand™
3. Balón aforado volumétrico Eisco 25 ml
4. Pizeta 250 ml Thermo Scientific™
5. Probeta 50ml Thermo Scientific™
6. Espátula Fisher
7. Beaker 50 ml, 100ml
8. Varilla agitadora
9. Gotero
10. Termómetro
11. Vidrio reloj
12. Pera succionadora

Reactivos

1. Fosfato de Potasio monobásico, KH_2PO_4
2. Meta vanadato de amonio (NH_4VO_3), marca Fisher Scientific, 99.3% de pureza
Código A1-713-500, CAS 7803-55-6
3. Molibdato de amonio tetra hidratado $(NH_4)_2Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$, marca Fisher Scientific,
Certified A.C. S, 82.9% de pureza, Código A 674-500,
4. Ácido Nítrico (HNO_3), marca Fisher Scientific, Certified A.C, 69.6% de pureza,
código A200c-212, gravedad específica 1.42, N= 15.8

Preparación de soluciones

➤ Solución patrón de fosfato de Potasio monobásico KH_2PO_4 50 ppm

Se pesan 0.2195 g de fosfato de potasio monobásico previamente secado en horno durante 30 minutos, se disolvió en 1L con agua destilada.

➤ Solución de molibdato de amonio con vanadato de amonio en ácido nítrico.

Disolver 2.25 g de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 40 ml de agua. Disuélvase 0.125 g de vanadato de amonio en 30 ml de agua hirviendo. Agregue la solución de vanadato al molibdato de amonio y deje enfriar a temperatura ambiente. Luego añada 25 ml de ácido nítrico concentrado y afora a 100 ml.

➤ Preparación del blanco

Para el blanco del método amarillo se realiza de la siguiente manera: 10 ml de reactivo molibdato/vanadato de amonio y afora a 25 ml con agua destilada.

Masa de KH_2PO_4

Teórica:

$$1L * \frac{50mg\ P}{L} * \frac{1mmol\ P}{30.97\ mg\ P} * \frac{1mmol\ KH_2PO_4}{1mmol\ P} * \frac{136.07\ mg\ KH_2PO_4}{1mmol\ KH_2PO_4} * \frac{1g}{1000mg} \\ = \mathbf{0.2197\ g\ KH_2PO_4}$$

Cálculos

Concentración experimental KH_2PO_4 :

$$0.2197\ g\ KH_2PO_4 * \frac{1mmol\ KH_2PO_4}{136.07\ mg\ KH_2PO_4} * \frac{1mmol\ P}{1mmol\ KH_2PO_4} * \frac{30.97\ mg\ P}{1mmol\ P} * \frac{1}{1\ L} * \frac{1000mg}{1g} \\ = \mathbf{50.00\ mg/L}$$

Diluciones:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$V_1(50\ ppm) = (1\ ppm)(25\ ml)$$

$$V_1 = \frac{1 * 25}{50} = 0.5\ ml$$

$$\mathbf{V_1 = 0.5\ mL}$$

$$V_1(50\ ppm) = (3\ ppm)(25\ ml)$$

$$V_1 = \frac{3 * 25}{50} = 1.5\ ml$$

$$\mathbf{V_1 = 1.5\ mL}$$

$$V_1(50\ ppm) = (5\ ppm)(25\ ml)$$

$$V_1 = \frac{5 * 25}{10} = 2.5\ ml$$

$$\mathbf{V_1 = 2.5\ mL}$$

$$V_1(50\ ppm) = (10\ ppm)(25\ ml)$$

$$V_1 = \frac{10 * 25}{50} = 5\ ml$$

$$\mathbf{V_1 = 5\ mL}$$

$$V_1(50\ ppm) = (15\ ppm)(25\ ml)$$

$$V_1 = \frac{15 * 25}{50} = 7.5\ ml$$

$$\mathbf{V_1 = 7.5\ mL}$$

RESULTADOS Y DISCUSION

Linealidad de la curva de calibración

En la tabla número 2 se muestran los resultados estadísticos de las curvas de calibración normal para la determinación de fosfato. Los resultados muestran que existe una baja dispersión en los datos, lo cual indica que existe una buena repetitividad, ya que la desviación estándar relativa (DER) es menor al 5%, estos resultados son aceptables en el desarrollo de un método analítico.

Tabla 2. Resultados de prueba de linealidad para la solución de fosfato.

Concentración	Lectura en absorbancia del Fosfato a 420 nm			Parámetro de Linealidad		
mg/L	Semana 1	Semana 2	Semana 3	$\bar{X}$	S	%RSD (DER)
1	0.060	0.057	0.055	0.057	2.52E-03	4.39
3	0.144	0.147	0.139	0.143	4.00E-03	2.79
5	0.248	0.233	0.226	0.235	1.10E-02	4.67
10	0.461	0.435	0.429	0.441	1.70E-02	3.85
15	0.686	0.677	0.649	0.670	1.19E-02	1.77

- El promedio de absorbancia para cada concentración muestra una consistencia notable semana a semana.
- La desviación estándar y el porcentaje de RSD (%RSD o DER) son bajos (menores a 5%), indicando buena precisión y reproducibilidad en las mediciones a lo largo del tiempo.
- El porcentaje de RSD es un buen indicador de la variabilidad relativa y en todas las concentraciones es aceptable para análisis espectrofotométricos normales.

Estos resultados confirman que el método es lineal y consistente en el tiempo para la cuantificación de fosfato usando absorbancia a 420 nm, reforzando la validez del método colorimétrico en las condiciones y rango estudiado.

En la **Figura 8** se muestra la curva de calibración normal utilizada para la determinación de fosfato, analizadas a una longitud de onda de 420 nm, la cual se representan en concentración de fosfato (mg/L). En la curva de calibración mostrada en la **Figura 8** se indica que existe muy buena linealidad, representada en un coeficiente lineal de 0.9998. Con la ecuación de la recta se determinó la cantidad de fosfato presentes en las muestras problemas.

Tabla 3. Niveles de absorbancia en la curva de calibración

Fosfato	
concentración mg/l	Absorbancia
1	0.055
3	0.139
5	0.226
10	0.429
15	0.649
B1	0.0422
S_{bo}	0.239720254

La curva de calibración nos que permite establecer la relación entre una medición instrumental como la absorbancia, intensidad de la señal y la concentración conocida de una sustancia esto nos permite determinar la concentración de la muestra, la curva de calibración fue realizada a partir de estándares de fosfato de 1,3,5,10 y 15 ppm donde obtuvimos una relación lineal entre la absorbancia y la concentración.

Esta relación la podemos describir mediante una formula llamada ecuación de la recta.

$$y = mx + b$$

Donde:

y: es la señal medida.

x: es la concentración.

m: es la pendiente.

b: es la intersección

El coeficiente de determinación, conocido como r^2 , mide cuán bien los datos experimentales se ajustan a una línea recta, es decir, a una relación lineal. Cuando el r^2 es cercano a 1, por ejemplo, 0.9995 o superior, indica que la mayor parte de la variabilidad de los datos se explica por el modelo lineal, lo que implica una muy buena tendencia lineal.

En el contexto del método colorimétrico de vanado-molibdato de amonio, utilizando espectrofotometría UV-Vis a 420nm, un coeficiente de determinación tan alto confirma que los datos de absorción siguen perfectamente la ley de Lambert-Beer, que establece que la absorbancia de una solución es directamente proporcional a la concentración del analito. Esto valida la precisión y la fiabilidad del método espectrofotométrico para el intervalo de trabajo considerado y permite afirmar que el método es adecuado para cuantificar el analito en ese rango.

Se realizó el grafico de la curva de calibración lineal para la solución de fosfato en la semana 1,2 y 3

Figura 6. Curva de calibración semana 1

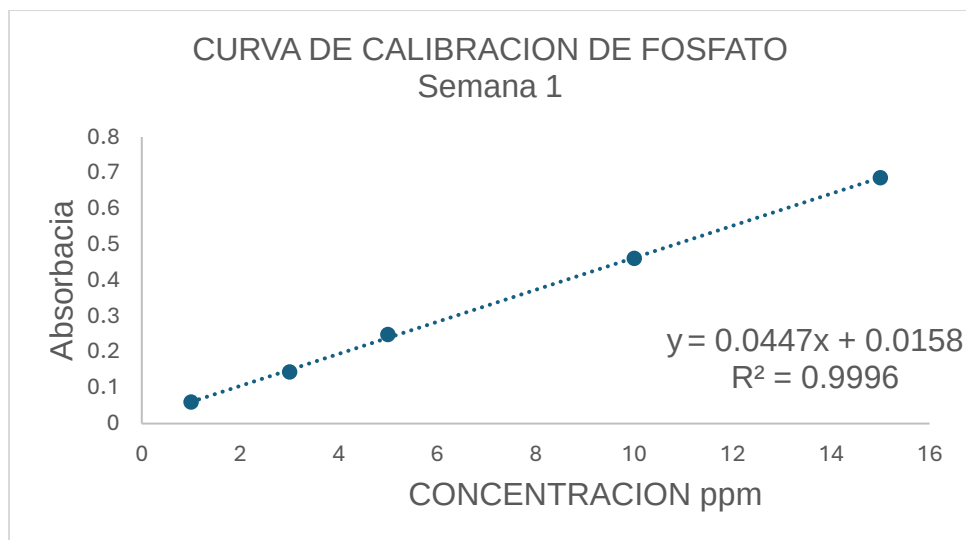


Figura 7. Curva de calibración semana 2

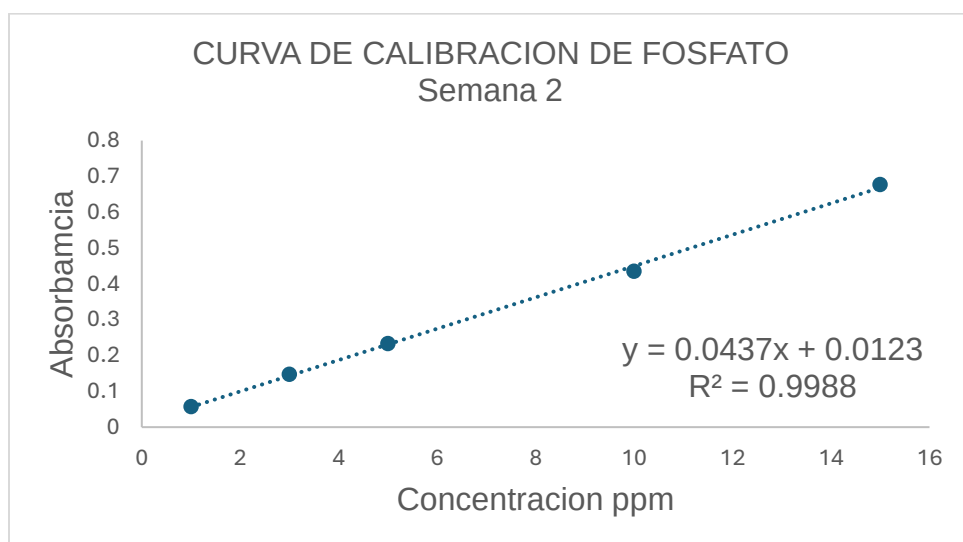
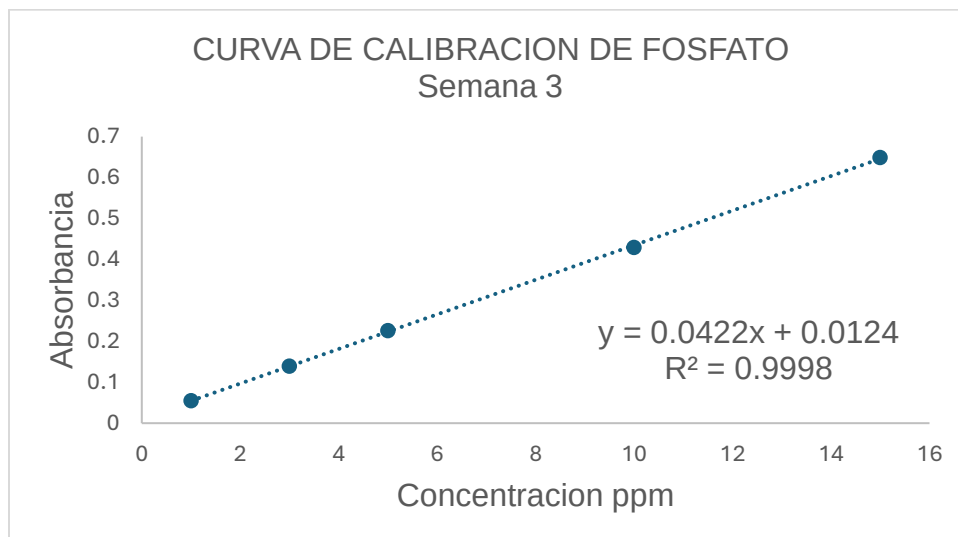


Figura 8. Curva de calibración semana 3



Podemos observar que hay una relación lineal entre las absorbancias y la concentración de los estándares de fosfato, sin embargo, se analizó que los valores de r^2 coeficiente de determinación son cercanos a 1. Lo que representa que existe una aceptable linealidad entre la respuesta del equipo y la concentración.

Una vez obtenidas las curvas de calibración y comprobada la viabilidad del método colorimétrico de vanadato-molibdato para realizar la determinación, se procedió al análisis de distintas muestras con el fin de cuantificar el contenido de fosfato en ellas.

Resultados de las muestras en el río La Zopiloter

El área de estudio corresponde al río La Zopiloter, ubicado en la ciudad de Chichigalpa, departamento de Chinandega, Nicaragua. Este río recorre áreas urbanas y rurales, lo que lo convierte en un cuerpo de agua propenso a recibir diversos tipos de descargas, especialmente de origen doméstico, agrícola e industrial.

Figura 9. Mapa del río La Zopiloter



Tabla 4. Resultados de las muestras en el río La Zopiloter

Muestras	Lugar	Concentración fosfato
Muestra 1	Norte	27.91 mg/L
Muestra 2	Central	27.68 mg/L
Muestra 3	Central	27.79 mg/L
Muestra 4	Sur	33.72 mg/L
Muestra 5	Sur	36.94 mg/L

Las muestras tomadas en diversos puntos del río La Zopiloter, ubicado en Chichigalpa, revelan una preocupante situación respecto a la calidad del agua superficial. Utilizando el método colorimétrico basado en vanadato-molibdato, seguido de análisis mediante espectrofotometría UV-Vis a una longitud de onda de 420 nm, se identificaron concentraciones de fosfato que varían entre 27.68 mg/L y 36.94 mg/L.

Estos niveles son significativamente altos y evidencian un impacto ambiental considerable, posiblemente vinculado a actividades agrícolas e industriales en la región, junto con la falta de un manejo adecuado de efluentes líquidos, lo que compromete la salud del ecosistema acuático y la biodiversidad local.

Cantidades superiores de estos nutrientes favorecen el crecimiento de algas que consumen el oxígeno del medio acuático y provocan la desaparición de especies vegetales y animales.

Figura 10. *Concentración de fosfato en el río La Zopiloter*



Esto nos indica claramente una contaminación severa por agroquímicos y desechos residuales por fosfato donde hay muchas implicaciones ambientales ya que la presencia

de fosfato excesivamente puede provocar Eutrofización esto provoca una proliferación de algas descontrolada, pérdida de oxígeno disuelto, deterioro del ecosistema y aparición de malos olores y coloración verde en el agua.

Los datos obtenidos reflejan una grave contaminación por fosfatos, lo que apunta a un proceso activo de eutrofización en el ecosistema acuático del río. La presencia de estas concentraciones elevadas puede deberse a múltiples fuentes de origen humano, entre ellas, el vertido de aguas residuales sin tratamiento previo, el arrastre de fertilizantes agrícolas ricos en fósforo y los desechos industriales.

La elevada solubilidad del mismo, hace que sean arrastrados fácilmente por las aguas de riego y lluvias, hacia el río. Este aporte excesivo de nutrientes favorece una proliferación desmedida de algas, reduce los niveles de oxígeno disuelto y repercute negativamente en la biodiversidad, provocando alteraciones en la dinámica trófica del ecosistema.

Desde una perspectiva técnica, el método empleado evidenció una notable confiabilidad. La curva de calibración alcanzó un coeficiente de determinación (R^2) mayor a 0.9998, lo que refleja una excelente linealidad entre la concentración de fosfato y la absorbancia medida.

Asimismo, los resultados obtenidos en las pruebas de repetibilidad y validación incluyendo un Límite de Detección (LOD) de 0.23 mg/L y un Límite de Cuantificación (LOQ) de 0.71 mg/L confirman que el método posee la sensibilidad adecuada para identificar y cuantificar fosfatos con alta precisión en muestras de origen ambiental.

Límite de detección y Límite de cuantificación

El límite de detección (LOD, por sus siglas en inglés) es el parámetro estadístico que define la concentración más baja de un analito que se puede detectar con cierta confiabilidad, aunque no necesariamente cuantificar con precisión. Se calcula normalmente como tres veces la desviación estándar de la señal de un blanco o muestra sin analito, representando el nivel en que la señal puede diferenciarse del ruido de fondo con aproximadamente un 90% de confianza.

El límite de cuantificación (LOQ) es la concentración mínima a partir de la cual se puede cuantificar el analito con precisión y exactitud aceptables, normalmente se establece en un valor mayor al LOD, como diez veces la desviación estándar del blanco o también como 3.3 veces el LOD. El LOQ garantiza la fiabilidad cuantitativa y es usado como límite para reportar resultados numéricos confiables.

Estos parámetros son fundamentales para detectar concentraciones bajas, por debajo de los rangos accesibles con métodos clásicos, y para determinar si la presencia de un analito es solo detectable (LOD) o también cuantificable con confianza (LOQ). Es importante considerar que valores por debajo del LOD sugieren ausencia o presencia no comprobada, y que el reporte adecuado debe distinguir entre detección y cuantificación, especialmente en análisis ambientales.

Se calcularon el límite de detección (LOD) y el límite de cuantificación (LOQ) en base en la desviación estándar del blanco y la pendiente de la curva.

LOD: Limite de detección. $LD = 3.3 \times \frac{\sigma}{s}$

LOQ: Limite de cuantificación. $LQ = 10 \times \frac{\sigma}{s}$

Tabla 5. Limite de detección y cuantificación

Parámetros	Concentración
Límite de detección (LD)	0.23495
Límite de cuantificación (LQ)	0.711969

Los límites de detección (LD) y cuantificación (LQ) determinados en tu estudio fueron de 0.235 mg/L y 0.712 mg/L, respectivamente. Estos valores reflejan la sensibilidad del método analítico empleado para la determinación de fosfatos en agua.

Estos límites son adecuados para el análisis ambiental de fosfatos, aunque en la literatura se encuentran métodos con límites de detección más bajos dependiendo de la técnica utilizada y la muestra analizada. Sin embargo, los valores obtenidos en este estudio son válidos y cumplen con los criterios para monitoreo ambiental en aguas superficiales y residuales.

Estadísticas de regresión lineal

Se realizó un modelo de regresión lineal, a partir de los datos utilizado para la determinación de Limite de detección y Limite de cuantificación.

Tabla 6. Estadística de regresión lineal

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.999894412
Coeficiente de determinación R^2	0.999788836056073
R^2 ajustado	0.999718448
Error típico	0.004022388
Observaciones	5

El coeficiente de correlación múltiple y el coeficiente de determinación indican una relación adecuada entre las variables independientes y dependientes. Esto nos indica que los datos utilizados una tendencia lineal y el modelo es confiable para los valores intermedios o interpolaciones en el rango evaluado.

El modelo de regresión lineal presentado tiene una excelente capacidad predictiva y demuestra que la relación entre las variables es muy lineal y precisa. Esto valida su uso para estimaciones dentro del rango examinado.

Análisis de varianza

Tabla 7. Resultados de ANOVA, comparación de medias

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.229814661	0.229815	14203.97	1.3E-06
Residuos	3	4.85388 E-05	1.62E-05		
Total	4	0.2298632			

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que el modelo de regresión lineal utilizado es estadísticamente significativo, con un valor de $F = 14,203.97$ y un valor p crítico de 1.3×10^{-6} , el cual es mucho menor que el nivel de significancia típico de 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula.

Este resultado indica que existe una relación significativa entre las variables independientes y dependientes, lo cual valida el modelo para determinar la concentración de fosfato en las muestras de agua.

El análisis de varianza (ANOVA) confirma la validez estadística del modelo de regresión lineal entre las variables estudiadas. Por lo tanto, el modelo es estadísticamente confiable para describir la relación existente y puede ser utilizado con confianza para interpretar y predecir la concentración de fosfatos en las muestras de agua.

Tabla 8. Análisis de varianza

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	0.012363354	0.0030008	4.110967	0.026066	0.002792	0.021934	0.00279244	0.021934
Variable X 1	0.042240683	0.000354426	119.1804	1.3E-06	0.041113	0.0433686	0.04111274	0.043369

El modelo de regresión lineal fue evaluado mediante un análisis estadístico que incluye los coeficientes estimados, sus errores típicos, los valores t y las probabilidades asociadas, además de los intervalos de confianza al 95% para cada parámetro.

- Intercepción: El coeficiente de la intersección es 0.0124, con un error típico de 0.0030. El valor estadístico t es 4.11, con una probabilidad (p-value) de 0.026, lo que indica que la intersección es significativamente diferente de cero al nivel del 5%. El intervalo de confianza al 95% para este coeficiente va de aproximadamente 0.0028 a 0.0219, confirmando la significancia estadística.
- Variable X1: El coeficiente para la variable independiente X1 es 0.0422, con un error típico muy bajo de 0.00035. El estadístico t es 119.18, con un valor p extremadamente pequeño (1.3×10^{-6}), lo que indica una relación altamente significativa entre X1 y la variable dependiente (concentración de fosfato). El intervalo de confianza del 95% para este coeficiente está entre 0.0411 y 0.0434, lo que muestra precisión en la estimación del coeficiente.

Estos resultados apoyan que la variable X1 tiene un efecto estadísticamente significativo y positivo sobre la concentración de fosfatos en las muestras de agua, validando la calidad y confiabilidad del modelo de regresión utilizado.

CONCLUSIONES

Este estudio permitió determinar las concentraciones de fosfato presentes en el río La Zopiloter, ubicado en Chichigalpa, mediante la técnica de espectrofotometría UV-Visible y el método colorimétrico basado en el reactivo vanadato-molibdato de amonio.

Los resultados revelaron niveles de fosfato considerablemente elevados, que superan ampliamente los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental nicaragüense y estándares internacionales para aguas superficiales, evidenciando un proceso avanzado de eutrofización.

La fuerte influencia de actividades humanas, principalmente agrícolas, domésticas e industriales, se confirma como la principal causa de la alta carga de nutrientes en el río, generando impactos negativos sobre la calidad del agua y la biodiversidad acuática.

El método analítico empleado demostró ser confiable, cumpliendo con los criterios de precisión, exactitud y reproducibilidad requeridos para análisis ambientales, respaldado por una curva de calibración con un coeficiente de determinación (R^2) superior a 0.9998. Asimismo, los límites de detección y cuantificación garantizan la sensibilidad adecuada para el monitoreo efectivo de fosfatos.

En conclusión, esta investigación contribuye significativamente al conocimiento sobre la calidad del agua en el río La Zopiloter y proporciona una base sólida para futuros estudios y la implementación de estrategias de gestión sostenible de los recursos hídricos en Nicaragua, orientadas a mitigar la contaminación y preservar la salud ecológica del ecosistema acuático.

RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda ampliar el estudio con más parámetros fisicoquímicos y biológicos para poder determinar su influencia en la calidad del agua del río.
- ✚ Realizar jornadas de limpieza en las cercanías del río y promover campañas de concientización dirigidas a la población, con el fin de fomentar el cuidado del medio ambiente y prevenir la contaminación de los recursos hídricos.
- ✚ Mejorar el sistema de drenaje domestico de la ciudad aledaña a la vertiente de forma que los residuos tanto de uso doméstico como sanitarios no caigan directamente al río, sino que se encamine a la planta séptica.
- ✚ Evaluar fuentes especifica de contaminación y proponer métodos de remediación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alvarado Delgadillo, C. E. (2010). validación de un método espectrofotométrico para la cuantificación de fósforo disponible en muestras de suelo. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua Unan-León.

Ackefors, H., y Enell, M. (1992). Cargas de contaminación derivadas de la acuicultura: sistemas terrestres y acuáticos. Publicado por el Department of Fishery Biology, Institute for Marine Science, Christian-Albrechts University of Kiel, Alemania.

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. Association of Official of Analytical Chemist. Washington, DC. 2005.

Boström, B., Andersen, J. M., Fleischer, S., & Jansson, M. (1988). Exchange of phosphorus across the sediment-water interface. *Hydrobiologia*, 170(1), 229–244.

Castillo Hernández 2006. Situación de los recursos hídricos en Nicaragua. Boletín Geológico y Minero

Correll, D. L. (1998). The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *Journal of Environmental Quality*, 27(2), 261–266.

Dueñas Muñoz, B. A., & Saico Ortega, M. A. (2002). Determinación de fosfatos mediante espectrofotometría UV/visible y método estándar de adición en aguas de las lagunas: Yahuarcocha, Cuicocha y San Pablo; relación con su estado trófico. Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Universidad Central del Ecuador.

Dávila Vargas, J., & Zúñiga Espinoza, F. (2018). Determinación de fosfatos y nitratos en el río Ichu, parte urbana del distrito de Huancavelica [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica.

Elena M. Bennett, Stephen R. Carpenter, Nina F. Caraco, (2001). Human Impact on Erodable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective: Increasing accumulation of phosphorus in soil threatens rivers, lakes, and coastal oceans with eutrophication, BioScience, Volume 51, page 227-234.

Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. CEPAL. CEPAL División de Recursos Naturales e Infraestructura.

Fátima Zobeida Berrios Hernández- María Milagros Cervantes Hernández. (2002). *Determinación del grado de contaminación del río Aposento en la ciudad de León.*

House, W. A. (2003). Geochemical cycling of phosphorus in rivers. Applied Geochemistry, 18(5), 739–748.

López, M. (2019). Determinación de fosfato mediante análisis por inyección en flujo. Trabajo para obtener el grado en Ingeniería Química. Universidad Politécnica de Madrid, España. pp 25.

Mekonnen, Mesfin and Hoekstra, Arjen Y., (2018). "Global Anthropogenic Phosphorus Loads to Freshwater and Associated Grey Water Footprints and Water Pollution Levels: A High-Resolution Global Study".

Moreno-Franco DP, Quintero-Manzano J, López-Cuevas A (2010) Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. ContactoS 78: 25-33.

Nebel, B. J. y Wright, R. T. (1999). Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible. 6th ed. México: Pearson-Prentice Hall. 698 pp.

Sánchez, A. (2011). Validación de las técnicas hierro total y fosfatos en agua en el laboratorio ALISCCA LTDA. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. pp 21.

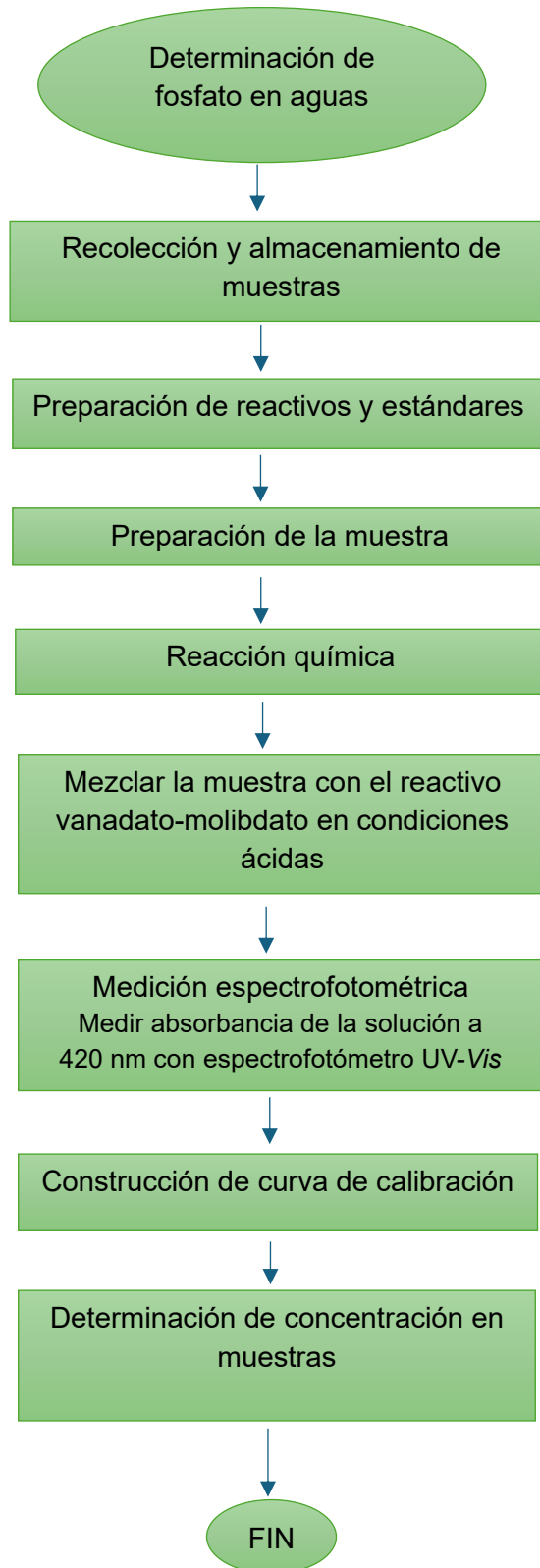
Stephen R. Carpenter, (2008) "Phosphorous Control Is Critical to Mitigating Eutrophication"

Skoog A., H. F. (2001). Análisis Instrumental, Quinta edición. España: Graw Hill.

Harris, D. C. (2016). Análisis Químico Cuantitativo Tercera edición . Barcelona, España: REVERTÉ.

Guía ISO 30 (1992) "Términos y definiciones relacionadas con los materiales de referencia"

FLUJOGRAMA PARA LA DETERMINACION DE FOSFATO



ANEXO

Imágenes de la toma de muestras de agua en río La Zopiloter



Rio La Zopiloter



Equipos

Balanza analítica (Sartorius, MCI AC 210 S)



Espectrofotómetro (Genesys 10 UV-Vis)



Reactivos

