

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

Determinación de humedad, materia orgánica, porosidad, potencial de hidrógeno, nitrógeno total Kjeldahl y fósforo disponible, en núcleos de sedimentos de la Laguna Lachuá, municipio de Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.



RODRIGO JOSÉ WOLFORD RAMÍREZ

Químico

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

Determinación de humedad, materia orgánica, porosidad, potencial de hidrógeno, nitrógeno total Kjeldahl y fósforo disponible, en núcleos de sedimentos de la Laguna Lachuá, municipio de Cobán, Alta Verapaz, Guatemala.



Proyecto de Investigación

Presentado por

RODRIGO JOSÉ WOLFORD RAMÍREZ

Para optar al título de

Químico

Guatemala, octubre de 2018

JUNTA DIRECTIVA

| | |
|---|------------|
| Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda | Decano |
| M.A. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza | Secretaria |
| MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo | Vocal I |
| Dr. Juan Francisco Pérez Sabino | Vocal II |
| Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera | Vocal III |
| Br. Byron Enrique Pérez Díaz | Vocal IV |
| Br. Pamela Carolina Ortega Jiménez | Vocal V |

DEDICATORIA

A MIS ABUELOS

Lidia García (†), Jesús Ramírez (†), Samuel Wolford (†) y Marta Estrada (†). Quienes inculcaron en mis padres y en las nuevas generaciones el valor del trabajo, la responsabilidad y el deseo de superación personal.

A MIS PADRES

Sergio José Wolford Estrada y Lilian Elizabeth Ramírez García. Quienes han sido mi principal apoyo en mi desarrollo personal y académico.

A MIS HERMANOS

Diego (†), Camilo, Lucía y Sofía, mis amigos y compañeros de vida.

A MI CUÑADO

Carlos Enrique Archila Andrade (†). De quien aprendí que ser profesional no consiste únicamente en sustentar un título, pues es un estilo de vida basado en la disciplina, la responsabilidad, la academia y la excelencia.

AGRADECIMIENTOS

A MI PADRE, Sergio Wolford, por tus consejos, tu cariño y tu apoyo incondicional ante cada aventura que he emprendido a lo largo de mi vida, te lo debo todo a ti.

A MI MADRE, Lilian Ramírez, por tu amor incondicional, tus mimos y tus cariños, por velar por mi bienestar cada día, tu presencia en mi vida suaviza los momentos difíciles y endulza los buenos.

A MIS TÍOS y TÍAS, en especial a Manuel Ramírez, porque has sido mi confidente y un segundo padre para mí, nunca me ha faltado un consejo tuyo ante cada momento crítico de mi vida.

A TI, Mariel Archila, porque nunca me ha faltado tu apoyo y tu cariño, eres un motor en mi vida que me impulsa cada día a alcanzar el éxito.

AL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ORGÁNICA, en especial a la Licda. Diana Pinagel por su amistad, confianza y consejo en el transcurso de estos años.

A MIS AMIGOS DE LA UNIVERSIDAD, Isabel, Oscar, Jorge, Checha, Celeste, Chejo, Álvaro, Kitzé, Fermín, José León, Pancho, Alejandra Blanco, Alejandra Díaz, Rony; así como todas aquellas personas con las que compartí la vida en el transcurso de estos años universitarios, siempre recordaré con mucho cariño los momentos vividos con cada uno de ustedes.

A MIS AMIGOS, Roberto Velásquez, Jorge Valey, Julio Prado, Rodrigo González, Diego Comparini y Rodrigo Gómez, por tantos años de amistad y el acompañamiento en cada nueva etapa de la vida.

A MIS CATEDRÁTICOS, en especial al Lic. Manuel Muñoz por su apoyo en el desarrollo de este proyecto, así como a la Licda. Bessie Oliva, Lic. Oswaldo Martínez, Dr. Óscar Cobar, Dr. Francisco Pérez, Lic. Omar Velásquez, Lic. Mario Rodas, Licda. Patricia Navas, Licda. Idolly Carranza y todos los que aportaron sus conocimientos y esfuerzo para mi desarrollo profesional.

AL PUEBLO DE GUATEMALA, por pagar mi educación superior, me debo a ustedes.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, por nutrirme de conocimiento y permitirme formarme como Químico.

ÍNDICE

| Contenido | Página |
|--|--------|
| I. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN | 1 |
| II. RESUMEN..... | 2 |
| III. ANTECEDENTES..... | 3 |
| A. PARQUE NACIONAL LAGUNA LACHUÁ | 3 |
| B. NÚCLEOS DE SEDIMENTOS | 8 |
| C. NUTRIENTES Y PARAMETROS FISICOQUÍMICOS A EVALUAR..... | 9 |
| D. ESTUDIOS PREVIOS | 16 |
| IV. JUSTIFICACIÓN..... | 18 |
| V. OBJETIVOS | 19 |
| VI. HIPÓTESIS..... | 19 |
| VII. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 20 |
| A. MUESTREO Y ALMACENAJE DE SEDIMENTOS | 20 |
| B. HUMEDAD | 20 |
| C. MATERIA ORGÁNICA (INGNIFICIÓN/CALCINACIÓN) | 22 |
| D. POROSIDAD | 23 |
| E. POTENCIAL DE HIDRÓGENO | 24 |
| F. NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL..... | 25 |
| G. FÓSFORO DISPONIBLE (MEHLICH 3) MÉTODO DE ÁCIDO ASCÓRBICO..... | 29 |
| VIII. AVAL DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN AMBIENTAL..... | 33 |
| IX. RESULTADOS..... | 34 |
| X. DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 44 |
| XI. CONCLUSIONES | 48 |
| XII. RECOMENDACIONES | 49 |
| XIII. REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS | 50 |
| XIV. ANEXOS | 54 |

Índice de Figuras

| | |
|--|---|
| Figura 1: Ubicación del Parque Nacional laguna Lachuá | 3 |
| Figura 2: Fotografía satelital del Parque Nacional Laguna Lachuá | 4 |

| | |
|--|----|
| Figura 3: Dinámica del nitrógeno en el suelo relacionado al Ciclo Global del Nitrógeno y fuentes antropogénicas de contaminación | 10 |
| Figura 4 Ciclo natural del fósforo y su incorporación a un medio acuático | 12 |
| Figura 5: Disponibilidad de nutrientes respecto al pH del suelo | 15 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Ubicación, fecha y condiciones ambientales de los núcleos de sedimentos muestreados | 34 |
| Tabla 2: Contenido de humedad en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II | 34 |
| Tabla 3: Porcentaje de porosidad en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II | 36 |
| Tabla 4: Valor de pH en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II | 37 |
| Tabla 5: Porcentaje de materia orgánica en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II ... | 39 |
| Tabla 6: Porcentaje de NTK en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II | 40 |
| Tabla 7: Porcentaje de fósforo disponible en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II .. | 42 |
| Tabla 8: Seccionamiento y peso por sección de los núcleos de sedimentos de la laguna de Lachuá | 54 |
| Tabla 9: Fotografías | 55 |

Índice de Gráficas

| | |
|---|----|
| Gráfica 1: Contenido de humedad en los distintos segmentos del núcleo I | 35 |
| Gráfica 2: Contenido de humedad en los distintos segmentos del núcleo II | 35 |
| Gráfica 3: Porosidad en los distintos segmentos del núcleo I | 36 |
| Gráfica 4: Porosidad en los distintos segmentos del núcleo II | 37 |
| Gráfica 5: Valor de pH en los distintos segmentos del núcleo I | 38 |
| Gráfica 6: Valor de pH en los distintos segmentos del núcleo II | 38 |
| Gráfica 7: Porcentaje de materia orgánica en los distintos segmentos del núcleo I | 39 |
| Gráfica 8: Porcentaje de materia orgánica en los distintos segmentos del núcleo II | 40 |
| Gráfica 9: Porcentaje de nitrógeno total Kjeldahl en los distintos segmentos del núcleo I | 41 |
| Gráfica 10: Porcentaje de nitrógeno total Kjeldahl en los distintos segmentos del núcleo II | 41 |
| Gráfica 11: Porcentaje de fósforo disponible en los distintos segmentos del núcleo I | 42 |
| Gráfica 12: Porcentaje de fósforo disponible en los distintos segmentos del núcleo II | 43 |

I. ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación ha desarrollado forma parte del proyecto FINDECYT/FODECYT 08-2017 CONCYT denominado “Determinación de la línea base de la Calidad Fisicoquímica de la laguna de Lachuá”, se encuentra clasificado como un proyecto de investigación básica socioeconómicamente enfocado al control y protección del medio ambiente. La información obtenida se espera sea de utilidad como base para la toma de decisiones para la conservación de la calidad ambiental de la laguna de Lachuá (Hernández, 2014).

El objetivo principal del proyecto es determinar los principales parámetros fisicoquímicos, biológicos y radiactivos en el agua y suelo de la laguna de Lachuá. Se propone determinar, los niveles de nutrientes, correspondiente a nitrógeno, fósforo y metales eco tóxicos, así como temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto; utilizando para ello equipos directos de medición y técnicas espectrofotométricas. Se pretende determinar también la composición de la población de fitoplancton utilizando cámaras de recuento Sedgewick Rafter. Por último, determinar la línea base radiactiva, natural y artificial por medio de la técnica de fechamiento del Pb-210. Se considera realizar las mediciones tanto en muestras de agua como en muestras de sedimentos provenientes de la Laguna de Lachuá, así como sus principales afluentes y efluente.

En la presente investigación se abarcará el muestreo y la medición de algunos parámetros fisicoquímicos; potencial de hidrógeno, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo disponible, contenido de materia orgánica, porosidad y humedad, en dos núcleos de sedimentos provenientes de la laguna Lachuá, esperando obtener como resultado parte de la línea base de los nutrientes y de algunos de los parámetros fisicoquímicos de los sedimentos de la laguna.

II. RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar algunos parámetros fisicoquímicos de núcleos de sedimentos, para definir e interpretar parte de la línea base de la laguna Lachuá. Para ello se determinó el contenido de humedad, porosidad, pH, materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible en dos núcleos de sedimentos extraídos de la Laguna Lachuá. Para ambos núcleos se encontraron altos contenidos de humedad, hasta del 146% respecto al peso seco de los segmentos, asociados una alta porosidad, de hasta el 78% por lo que los núcleos presentaron una alta retención de agua. Los valores de pH en ambos núcleos presentaron valores cercanos a 9, debido a la naturaleza cársticas de la región. La materia orgánica se encontró en porcentajes por debajo del 5% mientras que el nitrógeno se presentó por debajo del 1% y el fósforo del 2%.

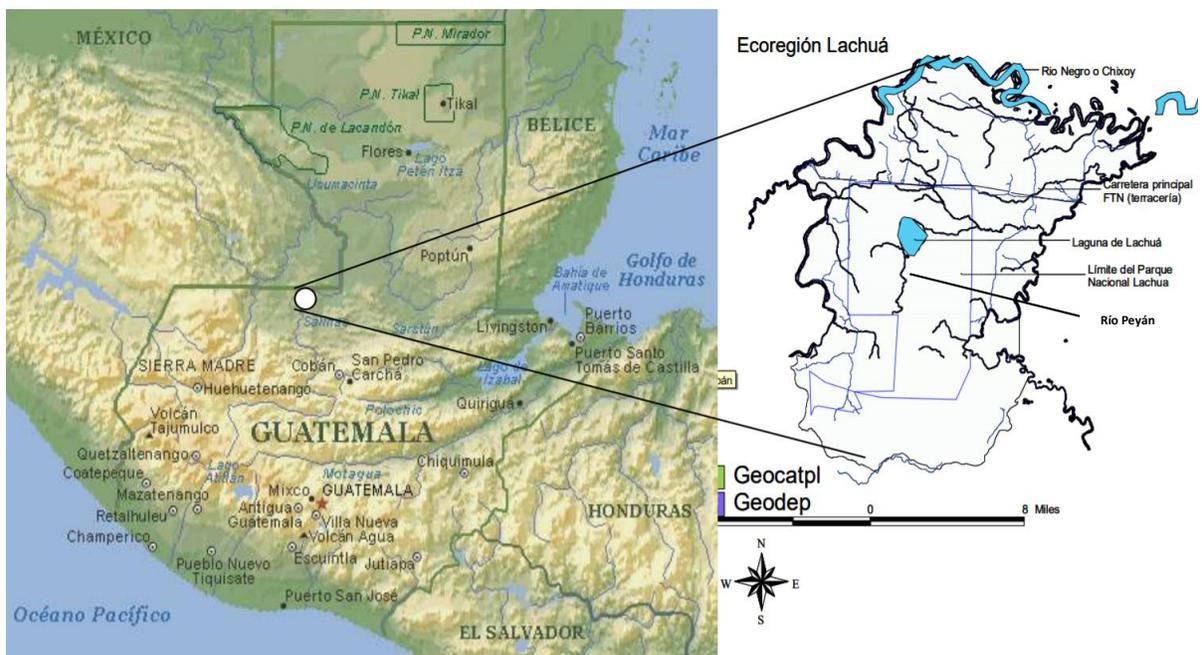
III. ANTECEDENTES

A. PARQUE NACIONAL LAGUNA LACHUÁ

Localización y Ubicación Geográfica

El Parque Nacional laguna Lachuá se encuentra localizado aproximadamente a 370 km de la ciudad de Guatemala, en la Región denominada Franja Transversal del Norte (Monzón, 1999). Se encuentra ubicado en el municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz, en las coordenadas 15° 46' Latitud Norte y 90° 45' Longitud oeste, entre los ríos Chixoy e Icbolay, en los límites norte, oeste y este, y las montañas de La Sultana en el límite sur. El área total protegida ocupa 13,851 hectáreas y 53,523 hectáreas incluyendo su zona de amortiguamiento, el perímetro del Parque Nacional laguna Lachuá es de aproximadamente 68 kilómetros lineales (Instituto Nacional de Bosques, 2003).

Figura 1: Ubicación del Parque Nacional laguna Lachuá.



Fuente: Instituto Nacional de Bosques (2017). Plan Maestro Parque Nacional Laguna Lachuá.

Recuperado de:

<http://168.234.196.99/Documentos/SIGAP/PMR/PM%20PN%20Laguna%20Lachu%C3%A1.pdf>

Figura 2: Fotografía satelital del Parque Nacional Laguna Lachuá con la ubicación de los sitios de muestreo.



Fuente: Alphabet Inc. (2018). Recuperado de <https://maps.google.com/>

Clima

El Parque Nacional Laguna Lachuá forma parte de un cinturón de selva lluviosa y precipitaciones superiores a los 2500 milímetros anuales. Al oeste se ubica el área más lluviosa, reportándose 5000 a 6000 milímetros de precipitación anual. Hacia el sur centro se estima una precipitación entre 2000 a 4000 milímetros anuales (Monzón, 1999). El clima predominante en el área está clasificado como cálido y húmedo, con una época lluviosa en los meses de junio a octubre, así

como una época relativamente seca entre febrero y abril (Instituto Nacional de Bosques, 2003). Respecto a los datos promedios anuales, la precipitación es de 3300 mm, la humedad relativa es del 91.2% y una temperatura de 25.3°C (Ramsar, 2004).

Hidrología

El área protegida contiene varios humedales, siendo su cuerpo principal de agua la laguna Lachuá. Dicha laguna presenta una extensión de 400 hectáreas y 8 kilómetros de perímetro, se estima que la profundidad máxima es de 222 metros, el espejo de agua de la laguna tiene una altitud de 17 msnm. (Ramsar, 2004). El lecho de la laguna es kárstico, con alto contenido de azufre y altas concentraciones de sales de calcio. El afluente superficial que abastece la laguna es el río Peyán. La laguna drena hacia el río Chixoy por el río Lachuá y el río Altar, ambos afluentes del río Icbolay (Instituto Nacional de Bosques, 2003). De acuerdo a Ariano y otros (2017) la laguna es oligotrófica cárstica, por lo que la productividad primaria es baja, las aguas muy claras y bajas en nutrientes.

Calidad del agua de la laguna Lachuá

Monzón (1999) realizó un monitoreo químico de la calidad del agua de la laguna Lachuá, así como del afluente que la abastece, el río Peyán. Obtuvo los siguientes resultados;

- Un rango de pH entre 7.1 - 7.6, manifestando débil alcalinidad por presencia de bicarbonatos evidenciando erosión química de piedra caliza.
- Concentración de calcio de 188 ppm a 292 ppm.
- Concentración de ion cloruro de 4 ppm a 9.75 ppm.
- Dureza total (CaCO₃) de 510 ppm a 750 ppm
- Concentración de magnesio de 4.85 ppm a 26.7 ppm.
- Concentración de iones sulfato de 450 a 925 ppm.
- Concentración de iones nitrato de 7.92 ppm a 20.24 ppm.
- Concentración de iones nitrito de 0.0099 ppm a 0.036 ppm.
- Conductividad eléctrica de 1.006 a 1.154 micro Siemens, considerándose apta para fines agrícolas, siempre y cuando exista un buen manejo de la tierra, así como eficiencia en el

sistema de drenaje, se debe considerar que el cultivo sea tolerante al contenido salino, sin embargo, no se recomienda para consumo humano pues el alto contenido de sales puede provocar un efecto laxante.

El agua de la laguna presenta altos valores de salinidad, niveles elevados de calcio, nitritos y dureza total, los afluentes y efluentes de la laguna por tener sus cuencas en zonas kársticas presentan aguas con altos contenidos de carbonatos (Ramsar, 2004).

Un análisis químico realizado al agua de la laguna, demostró un alto nivel de salinidad y bajo en sodicidad, estableciendo que son aguas adecuadas para riego con plantas tolerantes a sales, pero no aptas para consumo humano. Además, se demostró presencia de nitritos asociados a la presencia de aguas negras en muestras de agua del río Peyán que indican una toxicidad elevada. Resultados de análisis bacteriológico de muestras de agua de la laguna detectaron la presencia de la bacteria fecal *Escherichia coli*, los niveles más bajos de la bacteria se encontraron en el centro de la laguna, mientras que los más altos cerca de los ríos Peyan y Tzetoc (Instituto Nacional de Bosques, 2003).

Ariano y otros (2017) indica que la presencia de especies invasivas exóticas como el pez diablo (*Pterygoplichthys* sp), observado en la playa noreste de la laguna Lachuá, son capaces de elevar significativamente la concentración de nutrientes disueltos en el agua, por la excreción, aumentan la concentración de nitrógeno y fósforo, alterando potencialmente la dinámica de nutrientes en los sistemas acuáticos invadidos.

Geología y Topografía

El Parque Nacional laguna Lachuá se localiza en la provincia fisiográfica de tierras altas sedimentarias en donde se presentan dos tipos de relieve; en el centro-norte, tierras planas con altitud promedio de 180 msnm. Hacia el sur, colinas paralelas con altitudes entre 300 y 70 msnm. En la zona existen formaciones del período Terciario Superior Oligoceno-Plioceno, del Cretáceo Terciario y sedimentos del Cuaternario (Instituto Nacional de Bosques, 2003). Los suelos en la zona alta se generaron a partir de depósitos calcáreos del Cretácico. Los suelos de la topografía plana en su mayoría se formaron a partir de sedimentos de clásticos marinos calcáreos

depositados en el Cretácico-Terciario. En el área de la laguna los suelos se desarrollaron de los sedimentos del Terciario de origen continentales y de aluviones del Cuaternario (Ramsar, 2004).

Institucionalidad y Legislación

El parque fue creado en 1976 y declarado como área protegida por el Decreto Legislativo 110-96. Es administrada por el Instituto Nacional de Bosques (INAB), el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Durante el año 2006 se le declaró un sitio RAMSAR, un Humedal de Importancia Mundial. Se le reconoce también como Bosque Modelo de la Red Iberoamericana de Bosques Modelo (Instituto Nacional de Bosques, 2017).

El Parque Nacional Laguna Lachuá se encuentra legislado por las siguientes leyes;

- Ley de Áreas protegidas (Decreto 4-89) y sus reformas: Decretos números 18-89, 110-96 y 117-97, cuyo objetivo es el manejo de áreas protegidas y en el cual se encuentra el fundamento legal de la creación del Parque Nacional Laguna Lachuá.
- Ley de Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto 68-86), cuyo objetivo es la conservación y mejoramiento del medio ambiente.
- Ley General de Pesca y Acuicultura (Decreto 80-2002), cuyo objetivo es la conservación y mejoramiento del medio ambiente.

Se creó además un Plan Maestro (2004-2009) aprobado por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas en el cual se describen las metas, estrategias y líneas de acción fundamentales para orientar el buen manejo del Parque Nacional laguna Lachuá (Ramsar, 2004).

B. NÚCLEOS DE SEDIMENTOS

En los lagos y lagunas el proceso de sedimentación se correlaciona con procesos físicos, biológicos y químicos. De forma general la sedimentación está controlada por el aporte de material clástico y la química del agua, entre otros. Los sedimentos se pueden dividir en cuatro grupos principales (Díaz, 1978).;

- Sedimentos mecánicos/clásticos
- Sedimentos de origen químico (carbonatos y sales)
- Sedimentos de origen bioquímico (depósitos formados por actividad fisiológica de organismos)
- Sedimentos orgánicos (depósitos formados por partes minerales de organismos y materia orgánica)

Los sedimentos también pueden ser clasificados de acuerdo al espacio geográfico del que proceden; según Díaz (1978) *“Desde un punto de vista mineralógico, se diferencian según su procedencia, una fracción alógena (procedencia de áreas externas al lago), una fracción endógena (originada mediante procesos que tienen lugar en la columna de agua), y una fracción autógena (resultante de reacciones en el sedimento después de la deposición). Mientras las fracciones alógenas de los sedimentos lacustres reflejan en principio los factores físicos del sistema lacustre, las fracciones endógenas y autógenas son reflejo principalmente, de los factores químicos y biológicos”* (p. 99).

En el proceso de muestreo, un sedimento se obtiene como núcleo, el cual se entiende como una sección cilíndrica del sedimento. De acuerdo a Muñoz (2016), los núcleos son cortes tridimensionales verticales en donde la longitud puede ser desde algunos centímetros hasta varios metros, la cual dependerá de la capacidad del equipo de extracción que se utilice para la obtención de los mismos.

C. NUTRIENTES Y PARAMETROS FISICOQUÍMICOS A EVALUAR

Manahan (2006) menciona que algunos de los elementos que se reconocen como macronutrientes en el suelo o sedimentos son el carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y fósforo. Mientras que el carbono, hidrógeno y oxígeno se obtienen de la atmósfera; el resto de macronutrientes se suelen obtener de un sustrato, como lo es el suelo. En este último caso los más deficientes suelen ser el nitrógeno y el fósforo por lo que en las prácticas agrícolas se suelen añadir en forma de fertilizantes, por lo tanto, se pueden utilizar como indicadores de contaminación antropogénica en un ecosistema específico.

Nitrógeno

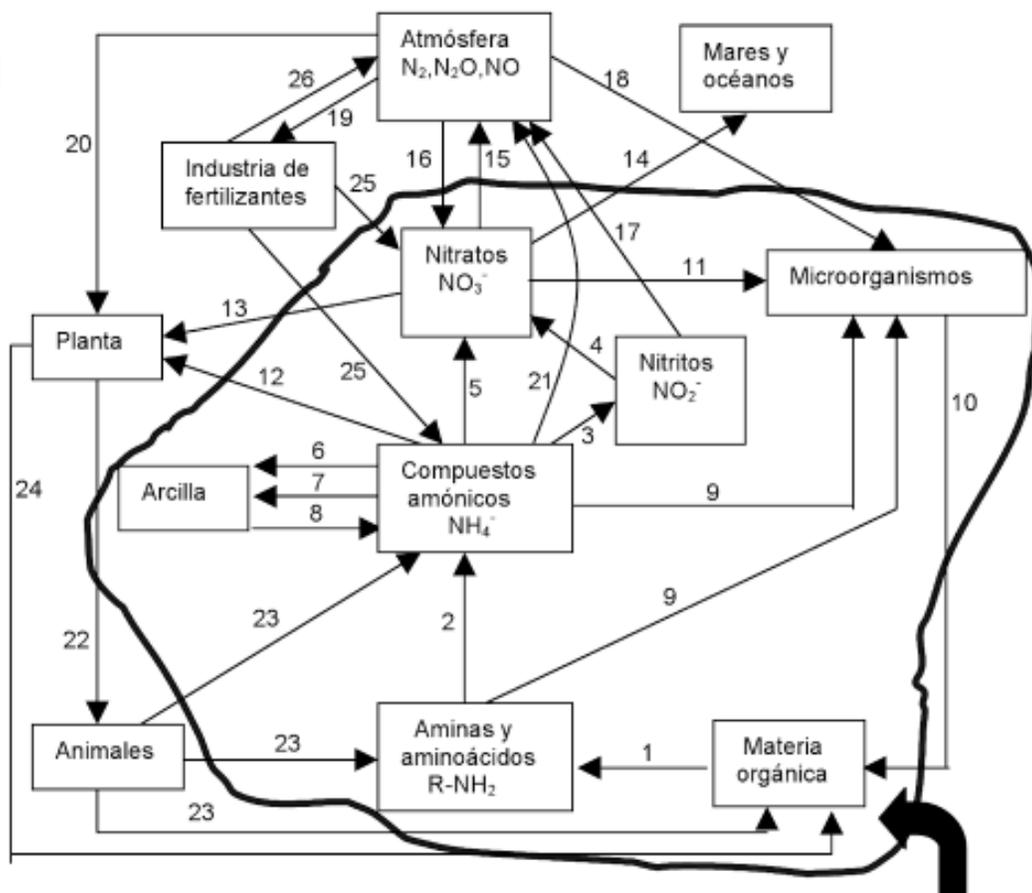
Es un nutriente esencial para las plantas, el cual es absorbido en formas aniónicas oxidadas (nitratos y nitritos), catiónicas reducidas (amonio), orgánicas (como la urea y compuestos con grupos amino e imino) así como en forma de nitrógeno molecular (N_2). Predomina en suelos cálidos, aireados y húmedos de regiones tropicales con bajos índices de acidez. En las plantas, se encuentra ligado en forma de aminoácidos y proteínas, actuando en procesos metabólicos específicos y estructurales (siendo un componente del protoplasma celular). Además, se puede encontrar también en forma de vitaminas, hormonas, pigmentos, purinas, pirimidinas y como un componente principal de las clorofilas. Las formas reactivas inorgánicas más comunes en ecosistemas acuáticos son el amonio (NH_4^+), el nitrato (NO_3^-) y el nitrito (NO_2^-); los cuales pueden estar presentes tanto de manera natural como consecuencia de (Kass, 1996);

- Deposición atmosférica
- Escorrentía superficial
- Escorrentía subterránea
- Disolución de depósitos geológicos
- Descomposición biológica de materia orgánica
- Fijación de nitrógeno por microorganismos procariontes

La actividad antropogénica ha alterado el ciclo global del nitrógeno (Ver Figura 3), incrementando la disponibilidad del mismo debida a factores como (McGilvery, 1977);

- Residuos y vertidos de granjas de animales, piscifactorías y centros de acuicultura
- Vertidos industriales y municipales
- Escorrentía e infiltración en basureros, campos de cultivo, praderas y bosques quemados
- Emisiones a la atmósfera provenientes del uso de combustibles fósiles, fertilizantes y posterior deposición atmosférica sobre las aguas superficiales.

Figura 3: Dinámica del nitrógeno en el suelo relacionado al Ciclo Global del Nitrógeno y fuentes antropogénicas de contaminación



- 1: Aminificación; 2: Amonificación; 3: Nitritación; 4: Nitratación; 5: Nitrificación;
 6: Adsorción; 7: Fijación; 8: Desorción; 9: Síntesis protéica; 10: Restos;
 11: Síntesis protéica; 12: Absorción NH_4^+ ; 13: Absorción NO_3^- ; 14: Lixiviación NO_3^- ;
 15: Desnitrificación; 16: Fijación electroquímica y lluvias; 17: Reacciones nitritos;
 18: Fijación asimbiótica; 19: Síntesis NH_3 ; 20: Fijación simbiótica (raíz);
 21: Volatilización NH_3 ; 22: Alimentación; 23: Restos y residuos; 24: Restos;
 25: Fertilizantes; 26: Emanaciones.

Fuente: (McGilvery, 1977).

Según Camargo y Alonso (2007), entre los principales problemas medio ambientales que se asocian al nitrógeno en los ecosistemas acuáticos se pueden mencionar:

- Acidificación de cuerpos de agua con baja o reducida alcalinidad
- Eutrofización de las aguas dulces y marinas
- Sobrepoblación de algas tóxicas
- Toxicidad directa de los compuestos nitrogenados para los animales acuáticos
- Efectos perjudiciales sobre la salud humana

En la laguna se ha identificado la presencia de nitritos asociados a la existencia de aguas negras provenientes del río Peyán (Instituto Nacional de Bosques, 2003). Además, la presencia de especies exóticas como el pez diablo (Ariano y otros, 2017) afecta la dinámica de nutrientes al aumentar el nitrógeno disuelto en el agua. Se puede mencionar también el uso de fertilizantes químicos debido a la creciente actividad agrícola en las comunidades aledañas al Parque Nacional laguna Lachuá donde se cultivan los principales granos básicos; frijol, maíz, arroz, en algunos sitios el cacao, y el cardamomo (Instituto Nacional de Bosques, 2003).

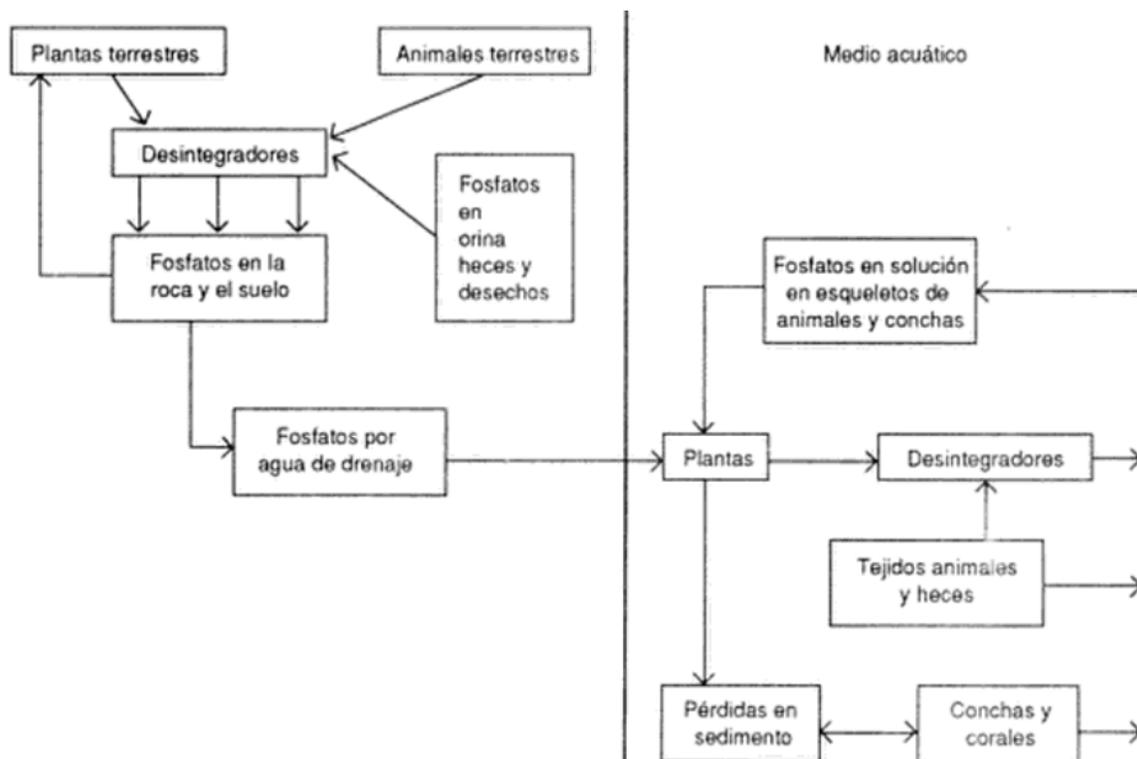
Fósforo

La corteza terrestre se compone aproximadamente de un 0.1% de fósforo, a su baja proporción se le debe considerar también una baja disponibilidad, ya que la gran mayoría de los compuestos fosforados presentan baja solubilidad, lo cual disminuye la concentración de fósforo disponible para la absorción por parte de las plantas. Por lo tanto, se le considera al fósforo uno de los nutrientes que limita el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En las zonas de erupciones volcánicas, los compuestos de fósforo son depositados por las cenizas. Por lo tanto, los suelos de origen volcánico son ricos en compuestos fosforados. En el suelo, el fósforo se libera gradualmente, debido a la intemperización de minerales como la apatita, en forma de H_2PO_4^- . Esta forma de fósforo es absorbida por las plantas y transformada en formas orgánicas. La disponibilidad del fosforo se ve negativamente afectada, debido a que sus formas disponibles reaccionan muy rápidamente con minerales como el calcio, hierro y el aluminio, cuyos productos son muy poco solubles (Juárez, 2009).

En el ciclo del fósforo (Ver Figura 4), se describe el movimiento del mismo en un ecosistema. Las distintas formas de vida toman el fósforo, en forma de fosfatos, a partir de las rocas fosfatadas los cuales se depositan en los suelos y son absorbidos por las plantas y consecuentemente por los animales, los excrementos de éstos son metabolizados por diversos microorganismos los cuales producen nuevamente fosfatos como producto final metabólico, cerrando de esta manera el ciclo (Hincapié, 2015).

Figura 4: Ciclo natural del fósforo y su incorporación a un medio acuático



Fuente: (Fournier, 1983).

El fósforo tiene implicaciones ambientales; el agua residual doméstica suele presentar cantidades relativamente altas de compuestos fosforados ya que los detergentes utilizados en el hogar

contienen polifosfatos en un porcentaje en peso hasta del 13%. El ortofosfato (PO_4^{3-}) se considera el nutriente limitante en aguas estancadas y corrientes pues un aumento en la concentración debido a una aportación de fósforo implica directamente una mayor carga de nutrientes, produciendo eutrofización del agua cuyo efecto es un mayor crecimiento de algas y consumo de oxígeno lo cual puede llegar a generar anoxia a altas profundidades de un cuerpo de agua (Hincapié, 2015).

Contenido de Materia Orgánica

La fuente originaria de la materia orgánica son los restos de animales y especialmente vegetales que se van depositando en los suelos o sedimentos. La materia orgánica en los suelos y sedimentos está ampliamente distribuida en la superficie de la tierra, la composición consiste en compuestos a partir de azúcares simples e hidratos de carbono hasta sustancias más complejas como proteínas, grasas, ceras y ácidos grasos por mencionar algunos. La materia orgánica se caracteriza por ser soluble en agua y formar complejos insolubles con los iones metálicos, así como óxidos hidratados. Es capaz también de interactuar con minerales de arcilla y partículas y de absorber y retener hasta un 90% de su peso en agua (Sommers, 1996).

La importancia de la materia orgánica se explica por la influencia que ésta tiene sobre muchas de las características del suelo, entre ellas se pueden mencionar (Barrientos, 2010):

- Aumenta el intercambio de aniones, como los sulfatos y fosfatos.
- Produce formas disponibles nitrógeno, fósforo y azufre, por medio del proceso de mineralización.
- Regula el pH del suelo o sedimento por medio de su aumento de capacidad tampón.

Calmo (2012) menciona que, con relación a la tierra, en el Parque Nacional laguna de Lachuá, los suelos están clasificados y distribuidos en las órdenes de Inceptisoles (39% del área total). Entisoles (17.99%) y Ultisoles (42.05%) asociados a ambientes de humedad y de isotemperatura. Además, los suelos en general son ácidos, arcillosos y de bajo saturación de bases, con alta capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de materia orgánica. Respecto a los sedimentos

no se encontró información reportada pero debida a la naturaleza oligotrófica de la laguna y la baja actividad primaria, se esperaría un bajo contenido de materia orgánica.

Porcentaje de Humedad

Los resultados finales de muchos análisis químicos en sedimentos, dependen de su expresión en base a su peso seco. Esto es de importancia debido a que en un sedimento el contenido de humedad puede variar ampliamente en función de tiempo mientras que el peso seco es constante a través del tiempo (Recinto Universitario de Mayaguez, s.f.). La humedad del suelo o de los sedimentos se puede expresar gravimétricamente y se entiende por ella como la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo o sedimento. La humedad del suelo o sedimento es muy dinámica y depende del clima, de las plantas, de la profundidad en la que se encuentra, así como de sus características y condiciones físicas de perfil (Forsythe, 1985). En el caso de la laguna de Lachuá no se encontró ningún estudio en el que hayan medido la humedad de los sedimentos, se puede inferir que tan húmedo puede ser un suelo o sedimento en base a su textura, en el caso del suelo de esta región al ser predominantemente arcilloso podría llegar a retener hasta un 40% de agua (Calmo, 2012).

Potencial de Hidrógeno

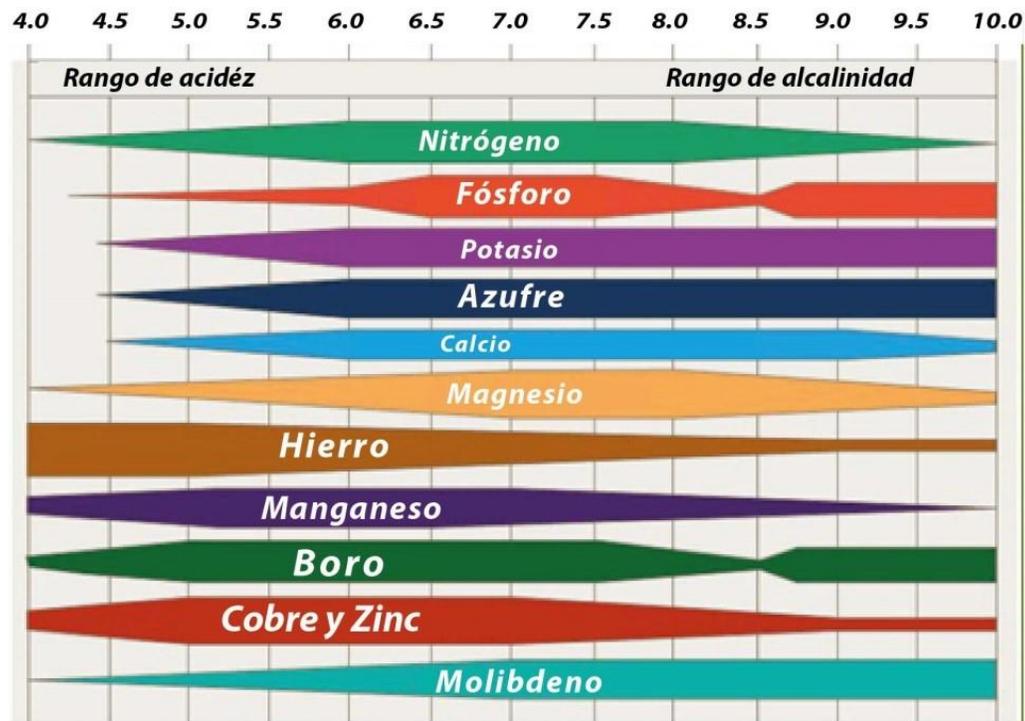
El pH en el suelo o en un sedimento, es uno de los parámetros que mejor refleja las propiedades químicas, determina la disponibilidad de muchos elementos que pueden tener implicaciones biológicas, de forma general se puede obtener información útil para un suelo o sedimento en tres rangos distintos de pH (McKean, 1993):

- Un pH < 4 indica la presencia de ácidos libres, generalmente resultantes de la oxidación de sulfuros.
- Un pH < 5.5 indica que puede existir presencia de aluminio intercambiable.
- Un pH entre 7.8 a 8.2 puede indicar la presencia de alto contenido de carbonatos.

En la Figura 5 se observa la dependencia del pH en un suelo o sedimento, respecto a la disponibilidad de algunos elementos que se puedan encontrar en los mismos. Se observa que

tanto el nitrógeno como fósforo, que son de particular interés en esta investigación, se encontrarán disponibles tanto en un pH neutro como ligeramente ácido o alcalino (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, 2017).

Figura 5 Disponibilidad de nutrientes respecto al pH del suelo.



Fuente: (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, 2017).

Porosidad

El espacio poroso de un suelo es la parte del mismo que en su estado natural está ocupado por aire y/o agua. El volumen de este espacio depende mucho de la disposición de las partículas sólidas. La importancia agrícola de la porosidad es significativa y sus características dependen tanto de la textura, estructura, cantidad de materia orgánica y otras propiedades del suelo o sedimento. La porosidad se puede medir en forma directa si se supone que es igual a la humedad de saturación. La reducción de la porosidad del suelo repercute en sus propiedades físicas desfavorables debidas a una menor aireación del suelo y menor capacidad de infiltración de agua

(Delgadillo, 2010). En el caso de los sedimentos lacustres, la porosidad determina la cantidad de agua subterránea que puede retener un sedimento, así como su permeabilidad (su capacidad de transmitir fluidos), los nutrientes se retienen en los sedimentos por medio del agua en el que se encuentran originalmente disueltos, en un sedimento poco poroso se esperaría que exista una menor retención de nutrientes (Monroe, 2008). No se encontraron estudios en la laguna de Lachuá en donde se evalúe este parámetro.

D. ESTUDIOS PREVIOS

Se realizó un estudio para generar información básica a escala general de las características socio económicas, así como la dinámica del uso de la tierra, su intensidad de uso y del sistema fluviolagunar en Lachuá a manera de elaborar un plan de manejo del parque y de las comunidades adyacentes para evaluar y ejecutar proyectos de desarrollo e investigación a futuro. Monzón (1999) estudió las características fisicoquímicas y microbiológicas en la laguna Lachuá, así como en los ríos Lachuá, Tzetoc y Peyán. Concluyó que las características físicas del agua satisfacen los requisitos para usos recreativos, pero no son aceptables para el consumo humano, debido a los elevados niveles de dureza y salinidad, detectándose también bajos niveles de *Escherichia coli*.

García en 2008 evaluó las características fisicoquímicas correlacionadas con la distribución de los macroinvertebrados acuáticos, así como cuáles explican su distribución en nivel de microhábitat en los ríos Lachuá, Peyán y Tzetoc. Determinó que existía diferencia en la composición taxonómica entre los distintos ríos debido a las distintas condiciones de concentración salina, temperatura, oxígeno disuelto, así como velocidad de corriente y distintos valores de pH. Posteriormente realizó otro estudio en el 2010 en donde evaluó si el cambio del uso de la tierra en la Ecorregión Lachuá ha tenido efecto en las características fisicoquímicas del agua de los 9 ríos de la Ecorregión, evaluó si ha afectado la diversidad de los ensambles de macroinvertebrados acuáticos y su uso como indicadores de la calidad del agua de los ríos. Se encontró que el agua de los ríos se caracteriza por presentar aguas duras con pH alcalino, temperaturas hasta 30°C y bajas concentraciones de nutrientes sin importar el uso del suelo.

Granados (2012) identificó 36 especies nativas de peces en la laguna de Lachuá, distribuidas en 26 géneros, 15 familias y 10 órdenes, estableciendo la línea base de peces de la laguna.

Se han realizado estudios en otros países en donde se determinaron algunos parámetros fisicoquímicos en sedimentos de distintos cuerpos de agua. Ramírez (2004) estudió la laguna del Parque Norte en Medellín, Colombia, presentó las características y contenido de materia orgánica, humedad, fósforo y calcio en sedimentos de la laguna del Parque Norte en Medellín, Colombia, un sistema eutrófico tropical raso cuya profundidad media es de 1.60 metros. Se concluyó que el sedimento se ajusta al tipo orgánico, es decir, con un contenido de materia orgánica del 16.5% con un alto contenido de agua (84%) y poca cantidad de fósforo. La dinámica del sedimento fue lenta y su resuspensión baja.

Donato (1991) estudió las propiedades fisicoquímicas de la laguna de Chingaza, en la Cordillera Oriental Colombiana. Realizó 30 muestreos entre octubre de 1988 a enero de 1990. Los valores que se obtuvieron para nitratos nunca sobrepasaron las 0.12 ppm. Los valores de nitrógeno amoniacal no superaron las 0.09 ppm. Los valores de nitritos fueron indetectables entre junio de 1989 a enero de 1990. La relación nitrógeno y fósforo presentó una baja relación y se concluyó que el nitrógeno es el nutriente limitante de la laguna y que la dinámica del fósforo depende del reciclamiento interno del contenido en sedimentos, así como de los aportes de la cuenca. Se concluyó que la laguna es oligotrófica. Siendo la laguna de Lachuá, un sistema oligotrófico, se esperarían también un bajo contenido de nutrientes.

IV. JUSTIFICACIÓN

El monitoreo químico ambiental es una herramienta que permite generar información de primera línea para la evaluación de los ecosistemas; con lo cual se pueden desarrollar políticas y prácticas que permiten el manejo integral de los recursos naturales del país. En Guatemala, se ha desarrollado investigación en los últimos años en el tema de calidad de agua lo cual ha permitido generar información relevante y útil para la preservación y monitoreo de nuestros cuerpos de agua. Sin embargo, se debe considerar que el tema de calidad del agua es amplio y actualmente no estamos en la capacidad de diagnosticar y tener un monitoreo constante y frecuente de todos nuestros cuerpos de agua, siendo necesaria más inversión en investigación y monitoreo ambiental

Si bien se ha invertido más en los estudios químicos del agua, no existe suficiente información en lo que respecta a calidad fisicoquímica de los sedimentos de lagos y lagunas de Guatemala, además, los pocos estudios que se han realizado han sido en los lagos y lagunas más icónicos y grandes del país por lo que la información de los cuerpos de agua menos relevantes es muy escasa, donde en general, no se han generado aún perfiles fisicoquímicos que permitan evaluar el estado de contaminación de los ecosistemas.

El Parque Nacional Laguna Lachuá es uno de los pocos ecosistemas en Guatemala que aún no ha sido impactado significativamente por el crecimiento de la actividad antropogénica en el país (Instituto Nacional de Bosques, 2003). Se han realizado pocos estudios en la laguna con el objetivo de evaluar su composición fisicoquímica y en el caso de los sedimentos, la información es aún más escasa por lo que la composición química es desconocida. Este estudio pretende definir parte de la línea base fisicoquímica de los núcleos de sedimentos de la laguna y así tener información base para futuras investigaciones que se realicen tanto en la laguna como el área del parque.

V. OBJETIVOS

General

Determinar la línea base de algunos parámetros fisicoquímicos en 2 núcleos de sedimentos de la Laguna de Lachuá.

Específicos

- Determinar los niveles de nitrógeno total en distintos perfiles de sedimentos de la Laguna de Lachuá.
- Determinar los niveles de fósforo disponible en distintos perfiles de sedimentos de la Laguna de Lachuá.
- Determinar el porcentaje de humedad en distintos perfiles de sedimentos de la Laguna de Lachuá.
- Determinar el pH en distintos perfiles de sedimentos de la Laguna de Lachuá.
- Determinar la porosidad en distintos perfiles de sedimentos de la Laguna de Lachuá.
- Determinar el contenido de materia orgánico en distintos perfiles de sedimentos de la Laguna de Lachuá.

VI. HIPÓTESIS

Los núcleos de sedimento presentarán un bajo contenido en nutrientes debido a la naturaleza oligotrófica de la laguna.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. MUESTREO Y ALMACENAJE DE SEDIMENTOS

La toma de núcleos de sedimentos se realiza con un nucleador de bola de 0.6 m de largo y de 3 pulgadas de diámetro, el cual se lanza desde el borde del bote ó muelle, el núcleo es recogido manualmente, este sistema puede coleccionar núcleos de 30 a 70 cm aproximadamente. Cada núcleo es dividido en secciones (fracciones) de 3 cm y/o cuando exista una marcada diferencia de color y/o textura (estrato diferenciado); cada sección se almacena en un recipiente plástico y hermético. Posterior a determinar la humedad, las muestras se pulverizan en un mortero, con el fin de homogeneizarlas y se almacenan en bolsas plásticas herméticas (Muñoz, 2016).

B. HUMEDAD

Principio del Método

Se determina el peso de agua eliminada, secando el sedimento húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110°C por un aproximado de 96 horas. El peso del sedimento que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua (Universidad Nacional de Ingeniería, 2006).

Equipo y materiales

- Horno de secado (Termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C).
- Balanza analítica (De capacidad conveniente y con aproximación de 0.1 mg).
- Cápsula de porcelana (Seca y almacenada en desecadora previo a su uso).
- Tenazas de metal.
- Espátula de metal
- Rotulador de grafito
- Guantes de nitrilo

Procedimiento (Universidad Nacional de Ingeniería, 2006):

1. En una cápsula de porcelana seca y limpia anotar el número de muestra utilizando grafito.
2. Determinar y registrar la masa de la cápsula de porcelana anterior (Utilizar guantes para manipular la cápsula a partir de este momento).
3. Colocar la muestra de sedimento en la cápsula de porcelana.
4. Determinar el peso de la cápsula de porcelana con el material húmedo utilizando una balanza analítica.
5. Colocar la cápsula de porcelana con la muestra en un horno de secado. Mantener el secado en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante un periodo de por lo menos 24 horas (Este tiempo puede variar dependiendo de la naturaleza de la muestra).
6. Remover la cápsula de porcelana con la muestra del horno y permitir el enfriamiento a temperatura ambiente.
7. Determinar el peso del contenedor y el material secado verificando una lectura constante, de lo contrario repetir el paso 5 utilizando el criterio en lo que respecta al tiempo y temperatura de secado hasta obtener una lectura constante de peso.

Cálculos

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde;

W = es el contenido de humedad, (%)

W_w = Peso del agua

W_s = Peso seco del material

W_1 = es el peso de tara más el sedimento húmedo, en gramos

W_2 = es el peso de tara más el sedimento secado en horno, en gramos

W_t = es el peso de tara, en gramos

C. MATERIA ORGÁNICA (IGNICIÓN/CALCINACIÓN)

Principio del Método

El método por ignición o calcinación para la determinación de la materia orgánica implica la destrucción climatizada de toda la materia orgánica en el suelo o sedimento. La temperatura debe mantenerse por debajo de los 440°C para evitar la destrucción de carbonatos inorgánicos que puedan estar presentes (Cevallos, 2013).

Equipo y Materiales

- Balanza analítica (De capacidad conveniente y con aproximación de 0.1 mg).
- Horno de secado (Termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 105 ± 5 °C).
- Mufla (Termostáticamente controlado, capaz de mantener la temperatura hasta 360°C)
- Desecadora
- Crisoles
- Espátula de metal
- Rotulador de grafito

Procedimiento (Barrientos, 2010):

1. Pesar 1 g (aproximadamente) de sedimento seco pulverizado que pase a través de un tamiz 10 mesh (< 2 mm) dentro de un crisol tarado y previamente rotulado con grafito.
2. Colocar en horno de secado por dos horas a 105° C. Colocar en un desecador por una hora.
3. Registrar el peso de crisol más el suelo como peso inicial.
4. Calentar en mufla hasta 360° C por dos horas (después de que la temperatura alcance los 360°C).
5. Colocar en un horno a 105°C por una hora y después en desecadora una hora.
6. Registrar el peso del crisol más el suelo como peso final de la muestra.

Cálculos:

Calcular el porcentaje de materia orgánica de acuerdo a la siguiente fórmula

$$MO\% = \frac{(\text{peso inicial antes de calcinar} - \text{peso final luego de calcinar a } 360^{\circ}\text{C}) \times 100}{(\text{peso inicial antes de calcinar} - \text{peso crisol})}$$

D. POROSIDAD**Principio del Método**

El método consiste en obtener el volumen de una muestra de sedimento en forma indirecta, determinando por pesada el volumen de agua existente en un recipiente, en este caso el picnómetro con y sin su muestra de sedimento (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, s.f.).

Equipos y Materiales

- Balanza analítica (De capacidad conveniente y con aproximación de 0.1 mg).
- Baño de ultrasonido (De una capacidad de por lo menos 2 litros y una frecuencia de 80 kHz)
- Probeta de 10 ml
- Picnómetro de 50 cm³

Reactivos

- Agua Desmineralizada

Procedimiento (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, s.f.):

Peso específico aparente (Por Triplicado)

1. Se llena hasta la marca de una probeta de 10 ml, graduada y previamente tarada, con sedimento pulverizado y desecado a 110°C.
2. Se divide el peso del sedimento en gramos, por 10, obteniéndose la densidad aparente/peso específico aparente.

Peso específico real

1. Se llena un picnómetro de 50 cm³ con agua destilada ajustando el tubo capilar de modo que el agua llegue hasta la marca de éste. Se seca por fuera y se pesa con una exactitud de 0.1 mg.
2. Se extrae, aproximadamente, la mitad del agua, secando por fuera y pesando.
3. Se agregan aproximadamente 5g de sedimento, desecado a 110°C, pesando nuevamente.
4. Se coloca el picnómetro, con el agua y el sedimento en baño de ultrasonido para expulsar partículas.
5. Llenar nuevamente con agua hasta la marca del picnómetro, secar por afuera y pesar nuevamente.
6. El peso de la muestra desecada, dividido por el peso del agua desplazada, es el peso específico real.

Cálculos

$$\text{Porosidad (\%)} = \frac{\text{Peso Específico real} - \text{Peso Específico aparente}}{\text{Peso Específico real}} \times 100$$

E. POTENCIAL DE HIDRÓGENO

Principio del Método

La determinación de pH está basada en la medida de la actividad de hidrógeno Ionizado (H') en la solución del sedimento. El pH es definido como el logaritmo negativo, en base 10, de la actividad del H⁺ o el logaritmo del recíproco de la actividad del H⁺ (Centro de Investigaciones Agronómicas, 2013):

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+] = \log_{10} 1/[\text{H}^+]$$

Puesto que el pH es logarítmico, es importante tener en mente que la concentración del H^+ aumenta diez veces cuando el pH disminuye en una unidad (Centro de Investigaciones Agronómicas, 2013).

Equipo y Materiales

- Electrodo con sonda de pH calibrado previamente con soluciones buffer de pH 4.00, 7.00 y 10.00
- Vaso de Precipitados de 50 ml.
- Espátula de metal.
- Balanza analítica (De capacidad conveniente y con aproximación de 0.1 mg).
- Probeta de 50 ml.

Reactivos

- Agua Desmineralizada

Procedimiento

1. Se mide 1 gramo de la muestra de sedimento seco y molido y se coloca la muestra en un vaso de precipitados de 50 ml
2. Se miden 25 ml de agua desmineralizada y se añaden al recipiente que contiene la muestra
3. Se agita durante 10 minutos
4. Se introduce el electrodo con sonda de pH en la muestra y se espera a obtener una lectura constante. Se anota el valor de pH reportado por el instrumento.

F. NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL

Principio del Método (4500-Norg)

El nitrógeno Kjeldahl es definido como la suma de amonio libre y compuestos orgánicos nitrogenados que son convertidos a una sal de amonio $(NH_4)_2SO_4$, después de la digestión de la muestra en medio ácido y en presencia de un catalizador. El amonio es destilado en medio

alcalino y recuperado nuevamente para su cuantificación. En principio la presencia de H_2SO_4 , sulfato de potasio (K_2SO_4), y sulfato de cobre (CuSO_4), como catalizador, convierten el nitrógeno amino de cualquier material orgánico a amonio. El amoniaco liberado también es convertido a amonio, después se adiciona base y el amoniaco es destilado del medio alcalino y absorbido en ácido bórico o sulfúrico. El amonio liberado puede ser determinado por titulación con una solución estándar de ácido (American Public Health Association, 2017).

Equipo y materiales

- Equipo de digestión (Con sistema de recolección de gases, y capaz de alcanzar un rango de temperatura entre 375°C a 385°C para una digestión efectiva)
- Equipo de destilación con flujo de vapor (Capacidad de destilación de aproximadamente 40ml/min y sensores de nivel para los Álcali/agua/desechos y recuperación mayor al 99.5%))
- Equipo titulador (Con un rango de medición de 0.1 a 200 mg de nitrógeno y un tiempo de análisis de entre 3.5 minutos a 6.5 minutos por muestra)
- Erlenmeyer de 250 ml
- Vaso de precipitados

Reactivos

Agua desmineralizada o destilada: Exenta de amonio (recién obtenida).

Reactivo de digestión: Disolver 134 g de K_2SO_4 y 7.3 g de CuSO_4 en cerca de 800 ml de agua. Cuidadosamente agregar 134 ml de H_2SO_4 concentrado. Cuando se haya enfriado hasta temperatura ambiente, diluir la solución a 1 litro con agua desmineralizada o destilada. Mezclar bien y mantener a una temperatura cercana a 20°C para prevenir la cristalización. (En el mercado se consiguen tabletas de digestión Kjeldahl, si se utilizan estas tabletas el reactivo de digestión es reemplazado y a la muestra se le agrega sólo 15-20 ml de H_2SO_4 concentrado y 1 ó 2 tabletas).

Hidróxido de sodio 6N: Diluir 240 g en agua desmineralizada o destilada y completar 1 litro.

Solución tampón de borato: Agregar 88 ml de solución de NaOH 0,1 N a 500 ml de solución de tetraborato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) aproximadamente 0,025 M (9.5 g de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ /litro) y diluir a 1 litro.

Solución de ácido bórico (H_3BO_3): Disolver 20 g de reactivo analítico en agua desmineralizada o destilada, y diluir a 1 litro.

Solución indicadora de ácido bórico: Disolver 20 g de H_3BO_3 en agua desmineralizada o destilada, agregar 10 ml de la solución indicadora mixta y diluir a 1 litro. Preparar mensualmente.

Solución indicadora mixta: Disolver 200 mg de indicador rojo de metilo en 100 ml de alcohol etílico del 95%. Disolver 100 mg de azul de metileno en 50 ml de alcohol etílico del 95%. Combinar las soluciones. Preparar mensualmente.

Solución titulante de ácido sulfúrico 0,02N: Preparar una solución de H_2SO_4 0.1N diluyendo 3 ml de H_2SO_4 concentrado a 1 litro con agua destilada libre de CO_2 . Diluir 200 ml de esta solución a 1 litro con agua destilada. Estandarizar el ácido 0,02N contra una solución de Na_2CO_3 0,0200 N (1,060 g de Na_2CO_3 anhidro secado a 140°C , diluido a 1000 ml con agua destilada)

Blanco: Durante todo el proceso se debe llevar un blanco de reactivos y un estándar de concentración conocida de fenilamina para determinar el rendimiento y porcentaje de recuperación del método.

Procedimiento

Digestión

1. Pesar 1 gramo de muestra seca de sedimento pulverizada y homogeneizada.
2. Transferir la muestra al tubo de digestión diluyendo y enjuagando el recipiente de pesaje varias veces con pequeñas cantidades de agua, hacer esta operación con la cantidad más pequeña posible de agua, sin exceder un volumen de 50 ml.
3. Cuidadosamente agregar 10 ml de reactivo de digestión al balón Kjeldahl que contiene la muestra
4. Agregar 4 perlas de ebullición para prevenir sacudidas durante la digestión. Ajustar cada unidad de calentamiento en el aparato de digestión Kjeldahl
5. Calentar bajo una campana de extracción o con equipo de remoción de gases
6. Continuar la ebullición vigorosa hasta que la solución se haga transparente o verde pálido y se observen copiosos vapores
7. Calentar a $380 \pm 5^\circ\text{C}$ y digerir por 30 minutos.

Destilación

1. Enfriar y transferir el tubo con la muestra digerida al equipo de destilación
2. Diluir la muestra digerida con agua destilada hasta aproximadamente 50 ml de volumen total
3. Adicionar solución de hidróxido de sodio para neutralizar la muestra digerida hasta obtener un viraje de color claro a oscuro (50 ml son suficientes)
4. En un Erlenmeyer medir entre 50 y 75 ml de solución de ácido bórico y si desea, adicionar 2 ó 3 gotas de indicador mixto. Colocar el Erlenmeyer en el destilador de nitrógeno por debajo del tubo de salida del destilado. Asegurar que la punta del condensador esté totalmente sumergida dentro del ácido bórico
5. Destilar la muestra hasta obtener un volumen de 150 a 200 ml aproximadamente. La presencia de amoníaco cambia el color de la solución de ácido bórico de azul a verde, cuando se ha empleado el indicador

Determinación del amoniaco (Método Titulométrico)

1. Ajustar el volumen del destilado a 250 ml
2. Titular el amoniaco en el destilado con el estándar de H₂SO₄ 0.02N hasta que el indicador cambie a un color lavanda pálido

Cálculos

La concentración de nitrógeno se obtiene de acuerdo a la siguiente fórmula;

$$mg \text{ N/kg} = \frac{(A - B) \times 280}{g \text{ muestra seca}}$$

En dónde;

A= Volumen de H₂SO₄ 0.02 N gastado en la titulación de la muestra (ml)

B= Volumen de H₂SO₄ 0.02 N gastado en la titulación del blanco (ml)

G. FÓSFORO DISPONIBLE (MEHLICH 3) MÉTODO DE ÁCIDO ASCÓRBICO.

Principio del Método (Hincapié, 2015):

El método de Mehlich 3 fue desarrollado por Adolf Mehlich en 1984, el cual consiste en utilizar una solución extractora multielemental para potasio, calcio, magnesio, fósforo, cobre, hierro, manganeso y zinc. Permite utilizarse tanto en suelos de naturaleza ácida, como neutra y alcalina, el ácido acético utilizado, en particular, es capaz de liberar el fósforo disponible para posteriormente analizarlo por algún método químico, por ejemplo; el método del ácido ascórbico (Bautista, 2006). El método del ácido ascórbico consiste en que el molibdato de amonio y el tartrato de antimonio y potasio reaccionan en medio ácido con los ortofosfatos para formar un complejo de fosfomolibdato de amonio. Este complejo es reducido por el ácido ascórbico a un complejo de color azul intenso, cuyo color es proporcional a la concentración de fósforo, de acuerdo a la siguiente reacción (Hincapié, 2015):



Equipo y Materiales para el proceso de extracción y análisis espectrofotométrico

- Agitadores de vidrio
- Tubos de ensayo de 25 ml
- Agitadores magnéticos
- Balón aforado de 10, 25, 50 100, 500 y 1000 ml.
- Vasos de Precipitados de 125 y 250 ml.
- Pipetas de 1, 10 y 25 ml.
- Bulbos para pipeta
- Probetas de 10,50 y 100 ml
- Erlenmeyers plásticos de 125 ml
- Embudos de Vidrio
- Soporte de Madera para Embudos de Vidrio
- Pliego de Papel filtro cuantitativo
- Plancha eléctrica con agitador magnético (Entre 60 a 1500 rpm)
- Balanza analítica (De capacidad conveniente y con aproximación de 0.1 mg).
- Horno de secado (Termostáticamente controlado, capaz de mantener una temperatura de 100 ± 5 °C).
- Espectrofotómetro (Con un rango de longitud de onda entre 190 nm y 1100 nm, y una precisión de longitud de onda de +/- 1,0 nm y celdas de cuarzo de 10 mm de ancho).

Reactivos

Agua desmineralizada o destilada: Libre de fosfatos.

Solución Stock EDTA-fluoruro de amonio: Disolver 138.9 g de NH_4F en 600 mL de agua destilada y añadir 73.06 g de EDTA disolver y diluir a 1000 mL

Solución Extractora Mehlich 3: Disolver 8.05 g NH_4NO_3 en 3000 mL de agua destilada. Añadir 16.0 mL de NH_4F 3.75 M - EDTA 0.25 M y mezclar. Añadir 46 ml de ácido acético glacial y 3.3 mL de HNO_3 concentrado y llevar a volumen final de 4000 mL. El pH final debe de ser 2.5.

Reactivo A Modificado: Disolver 12.0 g de molibdato de amonio tetrahidratado en 250 ml de agua destilada. Disolver 0.291 g de tartrato de antimonio y potasio en 100 mL de agua destilada.

Añadir ambos reactivos disueltos en 1000 mL de ácido sulfúrico 5.76 N (160 mL de ácido sulfúrico concentrado por litro), mezclar y llevarlo a 2000 mL. Puede almacenarse por cuatro meses en botella plástica opaca.

Reactivo B: Disolver 1.32 g de Ácido Ascórbico en 250 ml de Reactivo Modificado A y mezclar. Este reactivo debe prepararse cada vez que sea requerido.

Curva de calibración: Preparar 5 estándares en balones volumétricos de 50 ml, cuyas concentraciones estén entre 0.10 y 1 ppm, a partir de una solución patrón de KH_2PO_4 de 10 ppm.

Blanco control: Realizar todo el procedimiento de análisis colorimétrico para un blanco consistente en la solución extractora Mehlich 3.

Procedimiento (Barrientos, 2010):

Extracción

1. Pesar 2.5 ± 0.05 g de sedimento seco y pulverizado, que pase a través de un tamiz 10 mesh (< 2 mm) en un Erlenmeyer plástico.
2. Añadir 25.0 mL de solución extractora Mehlich 3.
3. Agitar constantemente durante 5 minutos.
4. Filtrar la suspensión inmediatamente.

Análisis espectrofotométrico.

1. Pipetear una alícuota de 1.0 mL de estándar o extracto de sedimento dentro de un tubo de ensayo de 25 mL.
2. Añadir 12.0 mL de agua destilada
3. Añadir 2.0 mL de Reactivo B
4. Ajustar el espectrofotómetro de acuerdo a las instrucciones del proveedor. Leer absorbancia a una longitud de onda de 880 nm después de 1 minuto de la adición del reactivo B. Determinar la absorbancia de blanco, estándares y muestras.

Cálculos

Concentración ppm Fósforo de Fosfato

1. Determinar la ecuación de correlación para los estándares (Para que la ecuación sea válida, el coeficiente de correlación de Pearson debe ser de por lo menos 0.999, en caso contrario, repetir la curva).
2. Por medio de la ecuación determinar las concentraciones de las muestras desconocidas en partes por millón de Fósforo de Fosfato.

VIII. AVAL DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN AMBIENTAL

En cumplimiento al INSTRUCTIVO PARA EVALUACIÓN TERMINAL DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA EN SU MODALIDAD DE “PROYECTO DE INVESTIGACIÓN”.

Se extiende el siguiente aval a RODRIGO JOSÉ WOLFORD RAMÍREZ, para la publicación de los resultados obtenidos en la investigación denominada “DETERMINACIÓN DE HUMEDAD, MATERIA ORGÁNICA, POROSIDAD, POTENCIAL DE HIDRÓGENO, NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL Y FÓSFORO DISPONIBLE, EN NÚCLEOS DE SEDIMENTOS DE LA LAGUNA LACHUÁ, MUNICIPIO DE COBÁN, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA”, los cuales constituyen resultados parciales del proyecto de Investigación Macro denominado “Determinación de la línea base de la Calidad Físicoquímica de la Laguna de Lachuá”, que realiza el Grupo de Investigación Ambiental –GIA-.

Dr. Juan Francisco Pérez Sabino
Coordinador, GIA

IX. RESULTADOS

Identificación de las muestras

Tabla 1. Ubicación, fecha y condiciones ambientales de los núcleos de sedimentos muestreados.

| Descripción | Fecha de colecta | Segmentos | Humedad (%) | Temperatura (°C) | Latitud Norte | Latitud Oeste |
|--------------------------|------------------|-----------|-------------|------------------|----------------|----------------|
| Núcleo I, Laguna Lachuá | 18/04/2018 | 12 | 38 | 28 | 15° 55' 50.4'' | 90° 40' 36.6'' |
| Núcleo II, Laguna Lachuá | 18/04/2018 | 11 | 33 | 28 | 15° 55' 28.7'' | 90° 39' 51.1'' |

Fuente: Datos experimentales, sistema de posicionamiento global marca GARMIN, modelo: GPSmap, serie: 60CSx

Parámetros fisicoquímicos en núcleos de sedimentos

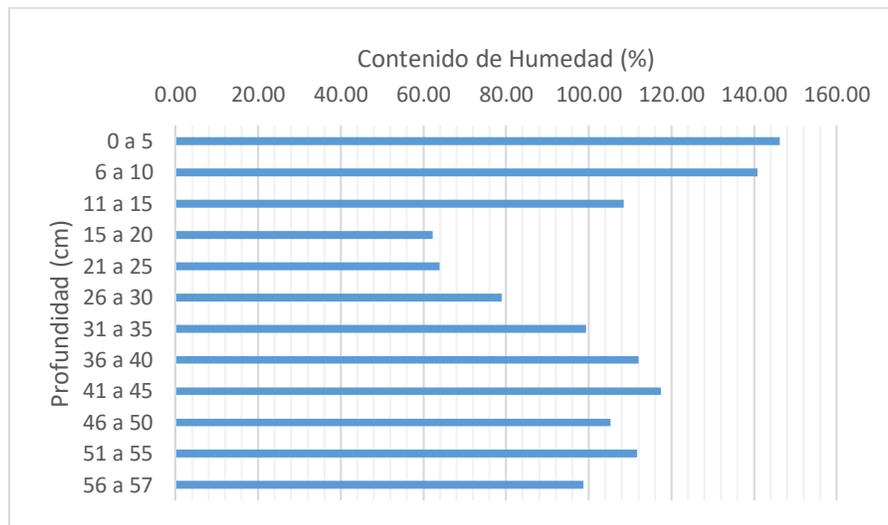
Tabla 2. Contenido de humedad en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II

| Muestra | Profundidad (cm) | Contenido de Humedad (%) |
|-------------------------|------------------|--------------------------|
| Núcleo I Laguna Lachuá | 0 a 5 | 146.16 ± 3.27 |
| | 6 a 10 | 140.78 ± 0.75 |
| | 11 a 15 | 108.50 ± 0.69 |
| | 15 a 20 | 62.29 ± 0.78 |
| | 21 a 25 | 63.94 ± 1.71 |
| | 26 a 30 | 78.88 ± 2.16 |
| | 31 a 35 | 99.33 ± 2.27 |
| | 36 a 40 | 112.07 ± 2.74 |
| | 41 a 45 | 117.48 ± 0.82 |
| | 46 a 50 | 105.19 ± 4.14 |
| | 51 a 55 | 111.65 ± 0.00 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 56 a 57 | 98.71 ± 0.00 |
| | 0 a 5 | 109.24 ± 6.25 |
| | 6 a 10 | 111.39 ± 1.95 |
| | 11 a 15 | 71.85 ± 2.68 |
| | 15 a 20 | 75.30 ± 2.24 |
| | 21 a 25 | 95.55 ± 3.86 |
| | 26 a 30 | 76.33 ± 0.91 |
| | 31 a 35 | 91.27 ± 2.74 |
| 36 a 40 | 84.79 ± 0.00 | |
| 41 a 45 | 77.94 ± 0.00 | |

| | | |
|--|---------|-------------------|
| | 46 a 50 | 99.82 ± 0.00 |
| | 51 a 55 | 109.72 ± 0.00 |

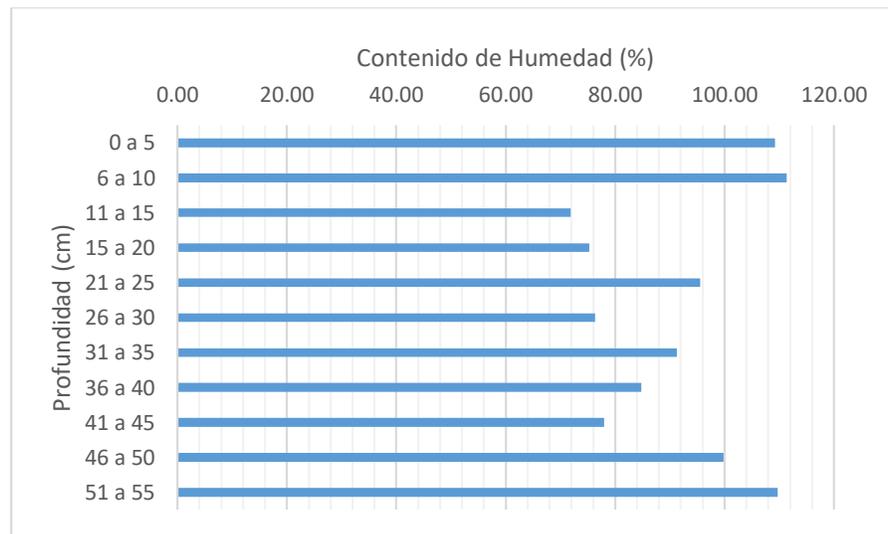
Fuente: Datos experimentales, Unidad de Análisis Instrumental; cm=centímetro; %=porcentaje

Gráfica 1. Contenido de humedad en los distintos segmentos del núcleo I



Fuente: Tabla 2, datos propios.

Gráfica 2. Contenido de humedad en los distintos segmentos del núcleo II



Fuente: Tabla 2, datos propios.

Tabla 3. Porcentaje de porosidad en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II

| Muestra | Profundidad (cm) | Porosidad (%) |
|-------------------------|------------------|---------------|
| Núcleo I Laguna Lachuá | 0 a 5 | 59.61 ± 0.52 |
| | 6 a 10 | 66.50 ± 4.95 |
| | 11 a 15 | 69.00 ± 2.12 |
| | 15 a 20 | 54.50 ± 3.54 |
| | 21 a 25 | 59.75 ± 1.77 |
| | 26 a 30 | 66.75 ± 1.06 |
| | 31 a 35 | 74.00 ± 2.83 |
| | 36 a 40 | 70.75 ± 2.47 |
| | 41 a 45 | 78.00 ± 4.24 |
| | 46 a 50 | 76.75 ± 6.72 |
| | 51 a 55 | 69.25 ± 1.77 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 0 a 5 | 70.00 ± 4.24 |
| | 6 a 10 | 69.00 ± 2.12 |
| | 11 a 15 | 67.25 ± 3.18 |
| | 15 a 20 | 63.75 ± 1.77 |
| | 21 a 25 | 65.00 ± 1.41 |
| | 26 a 30 | 60.75 ± 4.60 |
| | 31 a 35 | 65.25 ± 2.47 |
| | 36 a 40 | 62.50 ± 2.12 |
| | 41 a 45 | 66.00 ± 3.54 |
| | 46 a 50 | 60.25 ± 2.47 |
| | 51 a 55 | 57.50 ± 8.49 |

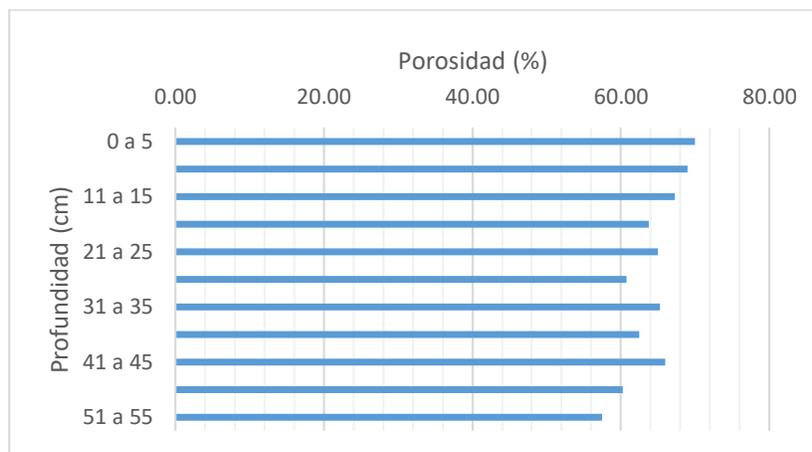
Fuente: Datos experimentales, Unidad de Análisis Instrumental; cm=centímetro; %=porcentaje

Gráfica 3. Porosidad en los distintos segmentos del núcleo I



Fuente: Tabla 3, datos propios.

Gráfica 4. Porosidad en los distintos segmentos del núcleo II



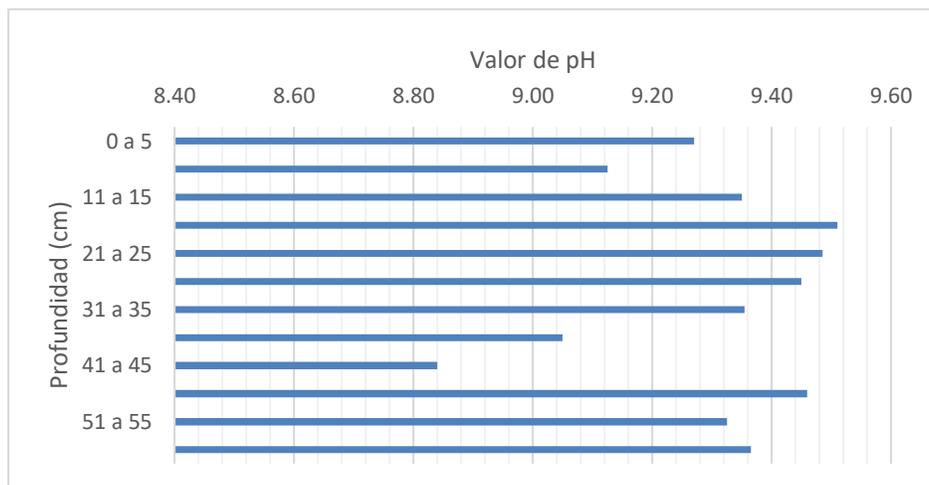
Fuente: Tabla 3, datos propios.

Tabla 4. Valor de pH en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II

| Muestra | Profundidad (cm) | pH |
|-------------------------|------------------|-------------|
| Núcleo I Laguna Lachuá | 0 a 5 | 9.27 ± 0.03 |
| | 6 a 10 | 9.13 ± 0.08 |
| | 11 a 15 | 9.35 ± 0.07 |
| | 15 a 20 | 9.51 ± 0.03 |
| | 21 a 25 | 9.49 ± 0.01 |
| | 26 a 30 | 9.45 ± 0.03 |
| | 31 a 35 | 9.36 ± 0.02 |
| | 36 a 40 | 9.05 ± 0.03 |
| | 41 a 45 | 8.84 ± 0.04 |
| | 46 a 50 | 9.46 ± 0.06 |
| | 51 a 55 | 9.33 ± 0.01 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 0 a 5 | 8.95 ± 0.14 |
| | 6 a 10 | 9.16 ± 0.07 |
| | 11 a 15 | 9.37 ± 0.01 |
| | 15 a 20 | 8.96 ± 0.02 |
| | 21 a 25 | 9.36 ± 0.08 |
| | 26 a 30 | 9.28 ± 0.01 |
| | 31 a 35 | 9.01 ± 0.13 |
| | 36 a 40 | 9.15 ± 0.01 |
| | 41 a 45 | 9.48 ± 0.12 |
| | 46 a 50 | 9.50 ± 0.01 |
| 51 a 55 | 9.31 ± 0.01 | |

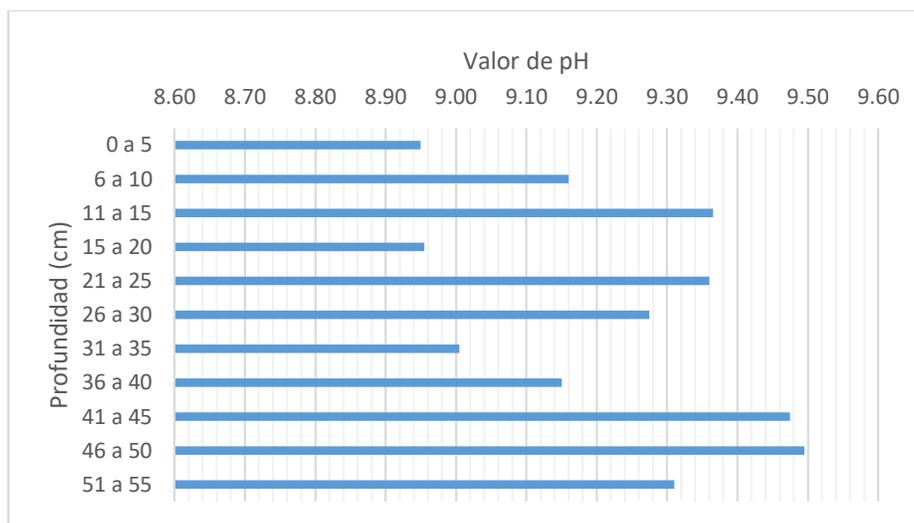
Fuente: Datos experimentales, Unidad de Análisis Instrumental; cm=centímetro

Gráfica 5. Valor de pH en los distintos segmentos del núcleo I



Fuente: Tabla 4, datos propios.

Gráfica 6. Valor de pH en los distintos segmentos del Núcleo II



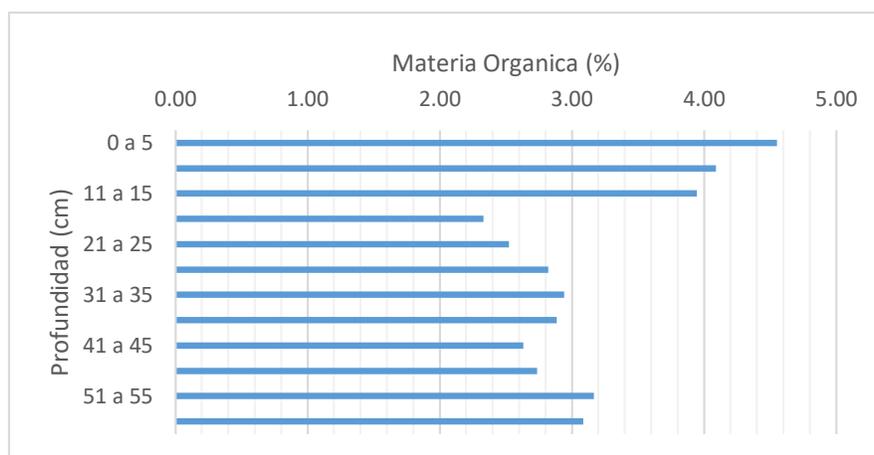
Fuente: Tabla 4, datos propios.

Tabla 5. Porcentaje de materia orgánica en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II

| Muestra | Profundidad (cm) | Materia Orgánica (%) |
|-------------------------|------------------|----------------------|
| Núcleo I Laguna Lachuá | 0 a 5 | 4.55 ± 0.19 |
| | 6 a 10 | 4.09 ± 0.04 |
| | 11 a 15 | 3.95 ± 0.19 |
| | 15 a 20 | 2.33 ± 0.07 |
| | 21 a 25 | 2.52 ± 0.13 |
| | 26 a 30 | 2.82 ± 0.02 |
| | 31 a 35 | 2.94 ± 2.08 |
| | 36 a 40 | 2.89 ± 0.96 |
| | 41 a 45 | 2.63 ± 0.02 |
| | 46 a 50 | 2.74 ± 0.21 |
| | 51 a 55 | 3.16 ± 0.32 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 0 a 5 | 2.56 ± 0.04 |
| | 6 a 10 | 2.70 ± 0.13 |
| | 11 a 15 | 2.03 ± 0.03 |
| | 15 a 20 | 1.92 ± 0.10 |
| | 21 a 25 | 1.85 ± 0.11 |
| | 26 a 30 | 2.04 ± 0.09 |
| | 31 a 35 | 2.06 ± 0.06 |
| | 36 a 40 | 1.73 ± 0.13 |
| | 41 a 45 | 1.83 ± 0.02 |
| | 46 a 50 | 1.91 ± 0.04 |
| | 51 a 55 | 2.01 ± 0.02 |

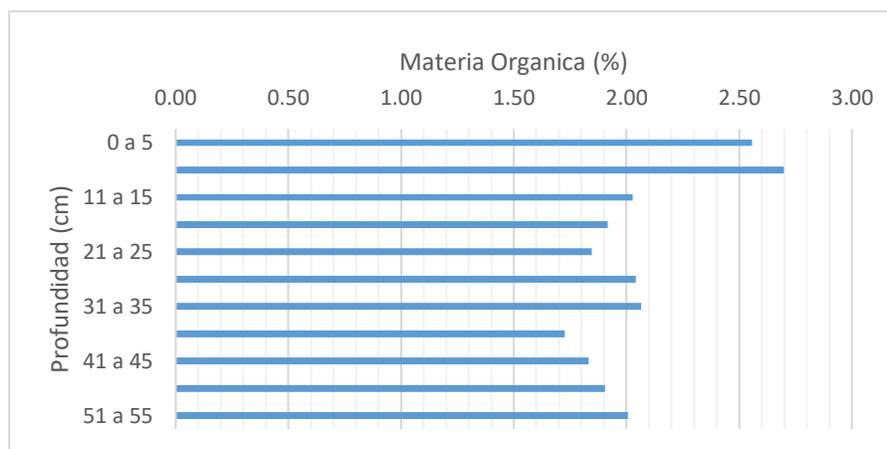
Fuente: Datos experimentales, Unidad de Análisis Instrumental; cm=centímetro; %=porcentaje

Gráfica 7. Porcentaje de materia orgánica en los distintos segmentos del núcleo I



Fuente: Tabla 5, datos propios.

Gráfica 8. Porcentaje de materia orgánica en los distintos segmentos del núcleo II



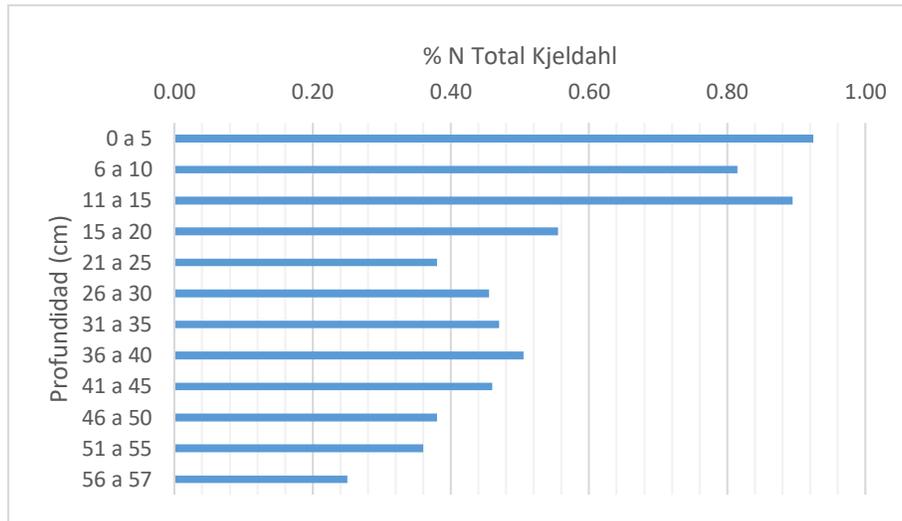
Fuente: Tabla 5, datos propios.

Tabla 6. Porcentaje de NTK en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II

| Muestra | Profundidad (cm) | Nitrógeno (%) |
|-------------------------|------------------|---------------|
| Núcleo I Laguna Lachuá | 0 a 5 | 0.93 ± 0.02 |
| | 6 a 10 | 0.82 ± 0.02 |
| | 11 a 15 | 0.90 ± 0.01 |
| | 15 a 20 | 0.56 ± 0.02 |
| | 21 a 25 | 0.38 ± 0.01 |
| | 26 a 30 | 0.46 ± 0.04 |
| | 31 a 35 | 0.47 ± 0.03 |
| | 36 a 40 | 0.51 ± 0.04 |
| | 41 a 45 | 0.46 ± 0.01 |
| | 46 a 50 | 0.38 ± 0.01 |
| | 51 a 55 | 0.36 ± 0.01 |
| | 56 a 57 | 0.25 ± 0.01 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 0 a 5 | 0.56 ± 0.03 |
| | 6 a 10 | 0.51 ± 0.01 |
| | 11 a 15 | 0.36 ± 0.03 |
| | 15 a 20 | 0.29 ± 0.01 |
| | 21 a 25 | 0.33 ± 0.00 |
| | 26 a 30 | 0.38 ± 0.01 |
| | 31 a 35 | 0.43 ± 0.02 |
| | 36 a 40 | 0.46 ± 0.04 |
| | 41 a 45 | 0.25 ± 0.02 |
| | 46 a 50 | 0.27 ± 0.02 |
| 51 a 55 | 0.37 ± 0.01 | |

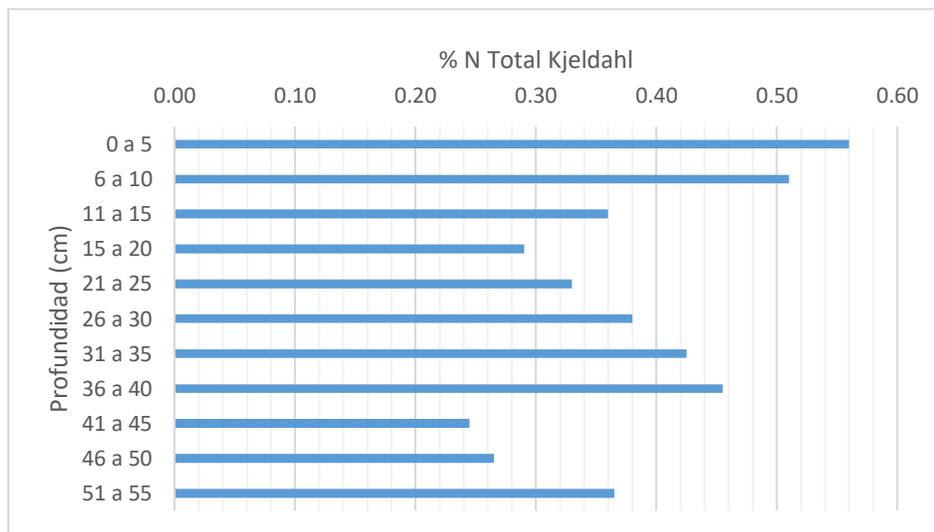
Fuente: Datos experimentales, Unidad de Análisis Instrumental; cm=centímetro; %=porcentaje

Gráfica 9. Porcentaje de nitrógeno total Kjeldahl en los distintos segmentos del núcleo I



Fuente: Tabla 6, datos propios.

Gráfica 10. Porcentaje de nitrógeno Kjeldahl en los distintos segmentos del núcleo II



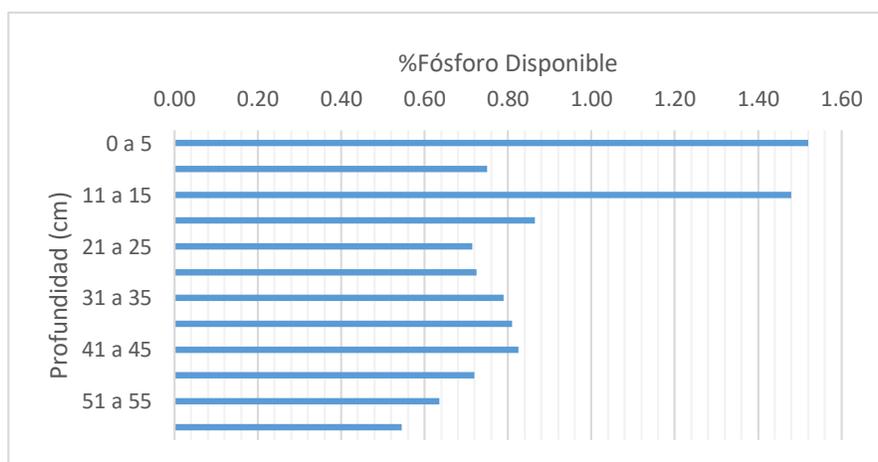
Fuente: Tabla 6, datos propios.

Tabla 7. Porcentaje de fósforo disponible en los distintos segmentos del núcleo I y núcleo II

| Muestra | Profundidad (cm) | Fósforo (%) |
|-------------------------|------------------|-------------|
| Núcleo I Laguna Lachuá | 0 a 5 | 1.52 ± 0.04 |
| | 6 a 10 | 0.75 ± 0.04 |
| | 11 a 15 | 1.48 ± 0.03 |
| | 15 a 20 | 0.87 ± 0.02 |
| | 21 a 25 | 0.72 ± 0.02 |
| | 26 a 30 | 0.73 ± 0.05 |
| | 31 a 35 | 0.79 ± 0.01 |
| | 36 a 40 | 0.81 ± 0.03 |
| | 41 a 45 | 0.83 ± 0.04 |
| | 46 a 50 | 0.72 ± 0.04 |
| | 51 a 55 | 0.64 ± 0.04 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 0 a 5 | 0.58 ± 0.04 |
| | 6 a 10 | 0.53 ± 0.03 |
| | 11 a 15 | 0.44 ± 0.03 |
| | 15 a 20 | 0.43 ± 0.02 |
| | 21 a 25 | 0.43 ± 0.02 |
| | 26 a 30 | 0.45 ± 0.04 |
| | 31 a 35 | 0.48 ± 0.01 |
| | 36 a 40 | 0.45 ± 0.03 |
| | 41 a 45 | 0.47 ± 0.03 |
| | 46 a 50 | 0.53 ± 0.04 |
| | 51 a 55 | 0.50 ± 0.01 |

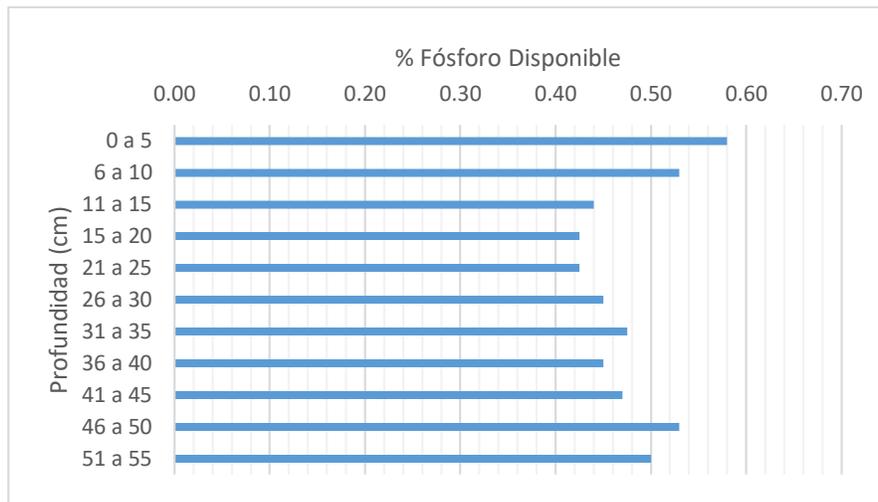
Fuente: Datos experimentales, Unidad de Análisis Instrumental; cm=centímetro; %=porcentaje

Gráfica 11. Porcentaje de fósforo disponible en los distintos segmentos del núcleo I



Fuente: Tabla 7, datos propios.

Gráfica 12. Porcentaje de fósforo disponible en los distintos segmentos del núcleo II



Fuente: Tabla 7, datos propios.

X. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El Núcleo I se extrajo del primer muelle, ubicado aproximadamente en el kilómetro 2 (Ver Tabla 1) del sendero del parque, en este muelle está prohibido que los turistas se bañen debido a la presencia de cocodrilos, observándose que dicha área se encontraba menos perturbada que el segundo sitio de muestreo, en donde se extrajo el Núcleo II, ubicado en el segundo muelle del sendero, en el área de campamento para los visitantes, donde está permitido el ingreso a la laguna con fines recreativos y muy próximo a uno de los efluentes de la laguna, el río Lachuá. Ambos núcleos se seccionaron cada 5 cm sin distinción de estratos. Respecto a la temperatura, se observó una temperatura de 28°C en ambos sitios de muestreo y un porcentaje de humedad ambiental del 38% en el primer sitio de muestreo y de 33% en el segundo sitio de muestreo, se consideran valores bajos debido a que el muestreo se realizó en abril, época seca del año, ya que la humedad relativa anual se ha reportado con valores superiores al 90% (Ramsar, 2004).

En el Núcleo I se observa que los primeros 10 centímetros de profundidad manifestaron contenidos de humedad mayores al 140% (Ver Tabla 2), ya que, al ser las fracciones más superficiales, se encuentran en la interfase agua-sedimento. En el Núcleo I; 7 de los 12 segmentos evidenciaron contenidos de humedad mayores al 100%. El segmento de 15 a 20 cm de profundidad presentó el menor contenido de humedad del núcleo, 62.29%. En el caso del Núcleo II, se observa también un alto contenido de humedad, pero menor al manifestado en el Núcleo I ya que únicamente 3 de los 11 segmentos evidenciaron contenidos de humedad mayores al 100%. El segmento de 11 a 15 centímetros de profundidad presentó el menor contenido de humedad de 71.85% y al igual que en el Núcleo I, los valores más altos en humedad se observan en los primeros 10 centímetros de profundidad con valores superiores al 109%.

La porosidad en el Núcleo I manifestó valores entre 59 y 78% mientras que en el Núcleo II fueron entre el 57% y 70% (Ver Tabla 3). Los valores de porosidad presentan una relación directa con los valores de humedad obtenidos ya que la capacidad de absorción de agua y el espacio poroso presentan una correlación directamente proporcional, Opreanu (2004) analizó sedimentos del Mar Negro, con altos contenidos de carbonato de calcio, encontrando valores de porosidad de hasta el 86% con contenidos de humedad de hasta del 243%. En el Núcleo I, el segmento de 15 a 20 centímetros de profundidad presentó el menor porcentaje de porosidad

(54.50%), así como lo manifestó el contenido de humedad (62.29%). El segmento de 41 a 45 centímetros de profundidad mostró el mayor porcentaje de espacio poroso (78%) el cual corresponde también con el mayor contenido de humedad (117%) de los segmentos que no se encuentran en la interfase agua-sedimento. En el caso del Núcleo II el segmento superior presentó el mayor porcentaje de porosidad; se observa de igual manera correlación entre los valores de humedad y la porosidad, en el caso del segmento de 21 a 25 cm de profundidad y en el de 31 a 35 cm de profundidad se presentaron valores del 65% de porosidad mientras que el porcentaje de humedad fue de 95% y 91% respectivamente, a pesar de ello la tendencia no se encuentra tan definida como en el caso del Núcleo I, ello se puede deber a que el sitio de muestreo de donde se extrajo el Núcleo II se encuentra más perturbado debido a las actividades recreativas que realizan los turistas en el sitio.

Todos los segmentos del Núcleo I y del Núcleo II evidenciaron valores de pH alcalinos (Ver Tabla 4), normales para las condiciones de la laguna ya que Monzón (1999) menciona alcalinidad por presencia de bicarbonatos lo cual evidencia la erosión química de la piedra caliza, común en el lugar, así como alta concentración de calcio en el agua (188 a 292 ppm). El rango de pH para los segmentos del Núcleo I comprende los valores de 8.84 a 9.51 siendo el segmento de 41 a 45 cm de profundidad el único en manifestar un valor de pH por debajo de 9. En el caso del Núcleo II, el rango de pH comprende los valores de 8.95 a 9.50 en donde 2 de los 11 segmentos presentaron valores por debajo de 9. Considerando que la región se encuentra en una zona cárstica (Instituto Nacional de Bosques, 2003), se esperaría que los sedimentos estén compuestos significativamente de carbonatos, considerando también la alta porosidad encontrada.

En el Núcleo I el contenido de materia orgánica se encuentra por debajo del 5% siendo el segmento de 0 a 5 cm de profundidad el que evidencia un mayor porcentaje mientras que en el segmento de 15 a 20 cm se observó el menor porcentaje (Ver Tabla 5). En la Gráfica 7 se puede observar que de 0 a 15 cm profundidad existe un decrecimiento leve del contenido de materia orgánica seguido de un decrecimiento brusco a 20 cm de profundidad posterior a lo cual ocurre un oscilamiento leve cuya tendencia es hacia el aumento del contenido de materia orgánica en el núcleo. En el Núcleo II el contenido de materia orgánica se encuentra por debajo del 3%, la baja deposición de materia orgánica respecto al núcleo I, se puede deber a la perturbación del

sitio de muestreo debido a la actividad humana en el área. El segmento de 6 a 10 cm de profundidad mostró el mayor contenido de materia orgánica de 2.70% mientras que el segmento de 36 a 40 cm de profundidad presentó el valor más bajo de materia orgánica de 1.73%. En la Gráfica 8 se puede observar, para el Núcleo II, el mismo comportamiento de decrecimiento brusco del contenido de materia orgánica posterior a los 10 cm de profundidad, así como se observó en el Núcleo I. Para ambos núcleos este fenómeno se puede deber a que, a dichas profundidades, parte de la materia orgánica ha sufrido ya un proceso en donde los microorganismos han degradado la materia orgánica a un estado inorgánico o bien a dióxido de carbono o metano dependiendo de la disponibilidad de oxígeno presente (Horne, 1994). Los bajos contenidos de materia orgánica observados en ambos sitios de muestreo responden a la naturaleza oligotrófica de la laguna pues al existir una baja productividad primaria, son pocos los microorganismos u organismos que pueden aportar materia orgánica sedimentable al ecosistema (Lake Access, 2006). De acuerdo a Ramírez (2004), los sedimentos lacustres se pueden clasificar en dos categorías de acuerdo al porcentaje de materia orgánica presente; aquellos cuyo contenido de materia orgánica se encuentra por debajo del 10% son designados como sedimentos minerales, mientras que a un porcentaje mayor al 10% se clasifican como sedimentos orgánicos, los sedimentos de la laguna Lachuá se ajustan al primer tipo de clasificación, acorde a su alto contenido de carbonatos.

En el Núcleo I, se obtuvieron valores entre 0.25% y 0.93% de Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) (Ver Tabla 6), los cuales se consideran muy bajos. En la Gráfica 9 se observa que la concentración de nitrógeno total decrece a mayor profundidad en el núcleo, pues el porcentaje más alto de nitrógeno se obtuvo a una profundidad de 0 a 5 cm mientras que el porcentaje más bajo se obtuvo en la parte más profunda del núcleo, de 56 a 57 cm. Una posible fuente de carga de nutrientes podría ser el río Peyán, el cual desemboca en la laguna; Monzón (1999) reportó la presencia de nitritos en el río la cual asoció a contaminación antropogénica. En el Núcleo II, se manifestó el mismo comportamiento como se describe en la Gráfica 10, se obtuvieron valores entre 0.56% y 0.25% siendo significativamente menores a los observados en el Núcleo I. El segmento de 0 a 5 cm de profundidad manifestó el mayor porcentaje de nitrógeno mientras que el segmento de 41 a 45 cm de profundidad presentó el menor porcentaje.

El fósforo disponible se encuentra en mayor proporción tanto en el Núcleo I como el Núcleo II respecto al NTK (Ver Tabla 7). Las sales de fosfato tienden a solubilizarse más en un pH ácido mientras que en un pH alcalino prevalecen las formas insolubles (Oliva, 2010), las cuales se retienen en los sedimentos. En el Núcleo I se evidenció un comportamiento decreciente del fósforo a mayor profundidad como se puede observar en la Gráfica 11. El segmento de 0 a 5 cm de profundidad evidenció el mayor porcentaje de fósforo (1.52%) mientras que el valor más bajo se observó en el segmento más profundo, de 56 a 57 cm (0.55 %). En el Núcleo II se presentó un menor porcentaje de fósforo respecto al Núcleo I. El segmento de 0 a 5 cm de profundidad evidenció el mayor contenido fósforo (0.58%) mientras que el segmento de 15 a 25 cm de profundidad presentó la menor cantidad (0.43%). El aumento en la concentración de fósforo puede deberse a descargas provenientes del Río Peyán las cuales podrían contener residuos de fertilizantes o plaguicidas.

XI. CONCLUSIONES

1. El contenido de humedad fue significativo observándose valores superiores al 60% de humedad en todos los segmentos del Núcleo I y mayores al 70% en el Núcleo II. La mayor acumulación de agua se observó en los segmentos superiores de ambos núcleos, concluyendo que los sedimentos de la laguna Lachuá presentan alta acumulación de agua.
2. Los núcleos de sedimento de la laguna Lachuá presentaron alta porosidad; de hasta el 78% en el Núcleo I y del 70% en el Núcleo II, característico de rocas sedimentarias calizas en zonas kársticas. Se observó una correlación directa entre la porosidad y el contenido de humedad, concluyendo que la alta acumulación de agua de los núcleos se debe al significativo espacio poroso que ambos presentan.
3. Todos los segmentos del Núcleo I y del Núcleo II presentaron valores de pH cercanos a 9, debido a la naturaleza kárstica de la región, alta en carbonatos.
4. El contenido de materia orgánica fue menor al 5% en todos los segmentos del Núcleo I y del Núcleo II, clasificándose como sedimentos minerales. Se observó una disminución pronunciada de la materia orgánica por debajo de los 15 centímetros de profundidad en el Núcleo I y por debajo de los 10 centímetros en el Núcleo II.
5. Se observó un bajo contenido de Nitrógeno Total Kjeldahl en el Núcleo I y el Núcleo II, en ambos casos la tendencia es al aumento de la concentración con el paso del tiempo posiblemente debido a fuentes de contaminación como descargas de origen antropogénico en el Río Peyán, el cual abastece a la laguna Lachuá.
6. Se observó un bajo contenido de Fósforo Disponible en el Núcleo I y el Núcleo II y en ambos casos el fósforo se encuentra en mayor proporción que el nitrógeno, ello se puede deber a la precipitación y sedimentación de fosfatos debido a la alcalinidad de la laguna.
7. El bajo contenido de nutrientes y de materia orgánica en los sedimentos indican que la laguna aún presenta un estado oligotrófico.

XII. RECOMENDACIONES

1. Colectar y analizar núcleos de sedimento provenientes de la desembocadura del Río Peyán en la laguna Lachuá para evaluar si existe una mayor carga de nutrientes y si representa una principal fuente de carga de nutrientes en la laguna Lachuá.
2. Determinar el contenido de carbonatos en los núcleos de sedimentos y evaluar si representan el mayor componente de los sedimentos de la laguna Lachuá.
3. Realizar una datación de los distintos segmentos de los núcleos muestreados y relacionar los resultados obtenidos con la época en el que se formó cada segmento.
4. Realizar muestreos estacionales para evaluar si hay condiciones medio ambientales específicas que afectan las propiedades fisicoquímicas y la concentración de nutrientes en los sedimentos de la laguna Lachuá.
5. Considerar un mayor número de sitios de muestreo, abarcando toda la periferia de la laguna con el objetivo de que sean mucho más representativos los resultados obtenidos en cuanto a la calidad fisicoquímica de los sedimentos de la laguna Lachuá.
6. Colectar y analizar núcleos de sedimentos en el área central de la laguna ya que, debido a su profundidad y las dificultades técnicas en el proceso de muestreo, aún se desconoce la información fisicoquímica de los sedimentos de dicha sección de la laguna.

XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alphabet Inc. (2018). Laguna Lachuá. Recuperado de <https://maps.google.com/>
2. American Public Health Association (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA/AWWA/WOCF.
3. Ariano, D., Gelera, R., Rivera, C., Bolaños, A. y Juárez, D. (2017). Primera Documentación del pez diablo (Loricariidae, *Pterygoplichthys* sp.) en la Laguna Lachuá, Parque Nacional Laguna Lachuá, Guatemala. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*, 34, 88-90.
4. Barrientos, C. (2010). Determinación de fosfatos en antrosoles como indicadores de actividad humana en el sitio arqueológico El Naranjo Ciudad de Guatemala (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
5. Bautista, I. y Llorca, R. (2006). Prácticas de atmósfera, suelo y agua. España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
6. Calmo, R. (2012). Trabajo de graduación realizado en el Parque Nacional Laguna Lachuá, Cobán, Alta Verapaz, con énfasis en la evaluación de cinco sustratos alternativos al peat-moss (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
7. Camargo, J. A. y 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), 98-110.
8. Centro de Investigación Agronómica (2013). Determinación de pH en suelos. Recuperado de <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/LSF/20130520/Info%20pH.pdf>
9. Cevallos, R. (2013). Determinación del contenido de materia orgánica. Recuperado de <https://es.slideshare.net/tato762/determinacin-de-materia-orgnica-mtodo-por-calcinacin>
10. Delgadillo, L. y Martínez, J. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos, Laboratorio de Física de Suelos. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
11. Díaz, M. (1984). Sedimentación Fluvial. España: Instituto Geológico y Minero de España.

12. Donato, J. (1991). Fitoplancton y aspectos físicos y químicos de la laguna de Chingaza en Cundinamarca, Colombia. *Caldasia* 16 (79): 489-500
13. Forsythe, W. (1985). *Manual de Laboratorio Física de Suelos*. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
14. Fournier, L. (1983). *Recursos Naturales*. Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
15. García, P. E. (2008). *Análisis de la distribución de macroinvertebrados acuáticos a escala detallada en la ecorregión Lachuá, Cobán, Alta Verapaz (Tesis de Licenciatura)*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
16. García, P. E. (2010). *Evaluación de los Efectos del Cambio del Uso de la Tierra Sobre la Calidad del Agua y los Patrones de Diversidad de Macroinvertebrados Acuáticos en la Eco-Región Lachuá, Cobán, Alta Verapaz*. Proyecto de la línea FODECYT No. 72-2007. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
17. Granados-Dieseldorff, P. Christense, M. And Khin-Pineda, H. (2012) Fishes from Lachuá Lake, Upper Usumancinta Basin, Guatemala. *Check List* 8(1): 095-101
18. Hernández, E. (2014). *Proyecto de la Línea FODECYT No. 08-2017. Determinación de la línea base de la Calidad Fisicoquímica de la laguna de Lachuá*. Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
19. Hincapié, M. y Chaverra, G. (2015). *Diagnóstico de Aguas. Manual de Laboratorio*. Colombia: Sello Editorial Universidad de Medellín.
20. Horne, A. y Goldman, C. (1994). *Lake Ecology Overview*. New York: McGraw-Hill.
21. Instituto Nacional de Bosques (2003). *Plan Maestro Parque Nacional Laguna Lachuá, Cobán, Alta Verapaz*. Recuperado de <http://168.234.196.99/Documentos/SIGAP/PMR/PM%20PN%20Laguna%20Lachu%C3%A1.pdf>
22. Instituto Nacional de Bosques (2017). *INAB Invita a conocer el Parque Nacional Laguna Lachuá*. Recuperado de http://186.151.231.170/inab/images/boletines2017/agosto/Boletin_laguna_lachua.pdf

23. Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (2017). Manejo y Corrección de la Acidez de los suelos. Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo>
24. Juárez, M., Hernández, M., Contreras, T. y Ascencio, V. (2009). Manual de Prácticas de Laboratorio de Química Ambiental II. México: Instituto Politécnico Nacional.
25. Kass, D. (1996). Fertilidad del Suelo. Costa Rica: Editorial UNED. 272 p.
26. Lake Access (2006). Understanding Lakes, Biological Differences. Recuperado de: <http://www.lakeaccess.org/ecology/lakeecologyprim18.html>
27. McGilvery, R. (1977). Conceptos Bioquímicos. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
28. McKean, S. (1993). Manual de Análisis de Suelos y Tejido Vegetal; una guía teórica y práctica de metodologías. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
29. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (s.f.). Determinaciones Relacionadas con la Estructura. Porosidad. Recuperado de: http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/fondo/pdf/46691_20.pdf
30. Monroe, J., Wincander, R. y Rodríguez, M. (2008). Geología. Dinámica y Evolución de la Tierra. Madrid: Cengage Learning, S.A.
31. Monzón, R. M. (1999). Estudio general de los recursos agua, suelo y del uso de la tierra del Parque Nacional Laguna Lachuá y su Zona de Influencia, Cobán, Alta Verapaz (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 97 p.
32. Muñoz, M. (2016). Cuantificación de metales (Cobre, Cadmio, Plomo, Zinc, Cromo y Níquel), en núcleos de sedimentos del lago de Atitlán (Tesis de Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
33. Oliva, B. (2010). Evaluación de la Contaminación Físico-Química y Bacteriológica en el Agua del Río Dulce y Lago Izabal. Proyecto FODECYT No. 025-2006.
34. Opreanu, G. (2004). Porosity density and other physical properties of deep-sea sediments from the Black Sea. Romania: National Institute of Marine Geology and Geo-ecology.
35. Ramírez, J., Noreña, J. (2004). Caracterización del Sedimento de una Laguna Tropical Rasa. *Caldasia* 26(1), 173-184. doi: 10.15446/caldasia

36. Ramsar (2004). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar, Eco-región Lachuá. Recuperado de: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/GT1623RIS.pdf>
37. Recinto Universitario de Mayaguez (s.f.). Determinación del contenido de humedad en suelos. Recuperado de: <https://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-humedad.pdf>
38. Sommers, L. y Nelson, D. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. Madison: Am. Soc. of Agron., Inc.
39. Universidad Nacional de Ingeniería (2006). Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. Recuperado de: <http://www.lms.uni.edu.pe/Determinacion%20del%20contenido%20de%20Humedad.pdf>

XIV. ANEXOS

Tabla 8. Seccionamiento y peso por sección de los núcleos de sedimentos de la laguna de Lachuá

| Descripción | Profundidad (cm) | Codificación | Peso Seco (g) |
|-------------------------|------------------|--------------|---------------|
| Núcleo I Laguna Lachuá | 0 a 5 | N1S1 | 97.6 |
| Núcleo I Laguna Lachuá | 6 a 10 | N1S2 | 124.4 |
| Núcleo I Laguna Lachuá | 11 a 15 | N1S3 | 141.3 |
| Núcleo I Laguna Lachuá | 15 a 20 | N1S4 | 218.4 |
| Núcleo I Laguna Lachuá | 21 a 25 | N1S5 | 238.4 |
| Núcleo I Laguna Lachuá | 26 a 30 | N1S6 | 209.0 |
| Núcleo I Laguna Lachuá | 31 a 35 | N1S7 | 192.1 |
| Núcleo I Laguna Lachuá | 36 a 40 | N1S8 | 176.1 |
| Núcleo I Laguna Lachuá | 41 a 45 | N1S9 | 170.0 |
| Núcleo I Laguna Lachuá | 46 a 50 | N1S10 | 170.8 |
| Núcleo I Laguna Lachuá | 51 a 55 | N1S11 | 181.5 |
| Núcleo I Laguna Lachuá | 56 a 57 | N1S12 | 84.0 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 0 a 5 | N2S1 | 146.7 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 6 a 10 | N2S2 | 171.5 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 11 a 15 | N2S3 | 221.2 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 15 a 20 | N2S4 | 212.0 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 21 a 25 | N2S5 | 189.5 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 26 a 30 | N2S6 | 185.1 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 31 a 35 | N2S7 | 176.1 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 36 a 40 | N2S8 | 185.5 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 41 a 45 | N2S9 | 194.8 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 46 a 50 | N2S10 | 198.2 |
| Núcleo II Laguna Lachuá | 51 a 55 | N2S11 | 156.7 |

Fuente: Datos Experimentales

Tabla 9. Fotografías

| | |
|--|--|
| <p>Fotografía 1. Extracción del núcleo de sedimento I, en el primer muelle del sendero.</p> |  |
| <p>Fotografía 2. Seccionamiento del Núcleo de sedimento I, en el primer muelle del sendero.</p> |  |
| <p>Fotografía 3. Almacenamiento en hielera de los núcleos seccionados para su transporte al laboratorio.</p> |  |
| <p>Fotografía 4. Segmentos de sedimentos en bolsas con cierre hermético previo a su pesaje y secado.</p> |  |
| <p>Fotografía 5. Horno de secado con los segmentos de sedimentos en proceso de secado.</p> |  |

| | |
|--|--|
| <p>Fotografía 6. Segmentos de sedimentos secos.</p> |  |
| <p>Fotografía 7. Muestra de sedimento pulverizada en mortero para su posterior uso en los distintos análisis fisicoquímicos.</p> |  |
| <p>Fotografía 8. Lavado de cristalería en baño ácido para el análisis de fósforo disponible.</p> |  |
| <p>Fotografía 9. Proceso de extracción para el análisis de fósforo disponible.</p> |  |
| <p>Fotografía 10. Muestras filtradas de los distintos sedimentos para el análisis de fósforo disponible.</p> |  |
| <p>Fotografía 11. Mufla empleada para la determinación de materia orgánica en los sedimentos.</p> |  |
| <p>Fotografía 12. Muestras de sedimento en desecadora posterior al calentamiento en mufla para la determinación de materia orgánica.</p> |  |

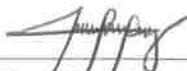
Fuente: Propia, fotografías tomadas por Rodrigo José Wolford Ramírez y Manuel Alejandro Muñoz Wug.



Rodrigo José Wolford Ramírez
Autor



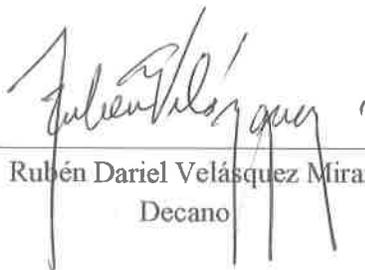
Lic. Manuel Muñoz Wug
Asesor



Lic. Manuel Muñoz Wug
Coordinador



M.A. Irma Nohemí Orozco Godínez
Directora de la Escuela de Química



Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda
Decano