



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Determinación de metales pesados en sedimentos de las lagunas
Colta y Magtayán**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Autores:

Illapa Apugllón Joel Vinicio
Betún Guamán Cristian Alexander

Tutor:

PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo

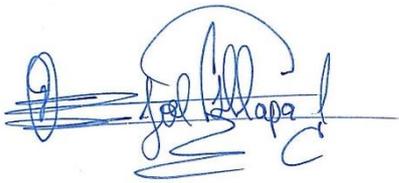
Riobamba, Ecuador. 2023

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, Joel Vinicio Illapa Apugllón, con cédula de ciudadanía 0605338383 y Cristian Alexander Betún Guaman, con cédula de ciudadanía 0604701839, autores del trabajo de investigación titulado: Determinación de metales pesados en sedimentos de las lagunas Colta y Magtayán, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida será de nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 01 días del mes de agosto del 2023



Joel Vinicio Illapa Apugllón

C.I: 0605338383



Cristian Alexander Betún Guaman

C.I: 0604701839

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Benito Guillermo Mendoza Trujillo catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: “Determinación de metales pesados en sedimentos de las lagunas Colta y Magtayán”, bajo la autoría de Joel Vinicio Illapa Apugllón y Cristian Alexander Betún Guaman; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los días 26 días del mes de Julio de 2023



Benito Guillermo Mendoza Trujillo

C.I: 0603013863

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación: Determinación de metales pesados en sedimentos de las lagunas Colta y Magtayán, presentado por Joel Vinicio Illapa Apugllón, con cédula de ciudadanía 0605338383 y Cristian Alexander Betún Guaman, con cédula de ciudadanía 06047018, bajo la tutoría de PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 01 días del mes de agosto.

Dra. Anita Ríos Rivera
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Carla Fernanda Silva
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. María Fernanda Rivera Castillo
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

CERTIFICADO ANTIPLAGIO



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, Illapa Apugllón Joel Vinicio con CC: 0605338383, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " Determinación de metales pesados en sedimentos de las lagunas Colta y Magtayán", cumple con el 4%, de acuerdo con el reporte del sistema Anti plagio OURIGINAL, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 26 de julio de 2023



Firmado electrónicamente por:
BENITO GUILLERMO
MENDOZA TRUJILLO

Benito Mendoza T., PhD.

TUTOR



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, Betún Guaman Cristian Alexander con CC: 0604701839, estudiante de la Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " Determinación de metales pesados en sedimentos de las lagunas Colta y Magtayán", cumple con el 4%, de acuerdo con el reporte del sistema Anti plagio OURIGINAL, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 26 de julio de 2023



El mismo electrónicamente por:
BENITO GUILLERMO
MENDOZA TRUJILLO

Benito Mendoza T., PhD.

TUTOR

DEDICATORIA

A mis padres Magno y Teresa y también a mi hermano Diego. Su presencia y apoyo incondicional han sido mi mayor motivación en este sendero académico. Gracias por todo. Este logro es también suyo.

-Joel

Esta tesis dedico a mis padres Ernesto y María, de igual forma a mis dos hermanos Amarilis y Dilan.

-Cristian

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mi amada familia y a los ingenieros Benito Mendoza y Patricio Lozano por su invaluable apoyo en mi proyecto de investigación. La confianza brindada hacia mi persona ha sido fundamental para mi éxito. ¡Gracias por creer en mí y por ser profesionales que inspiran!

-Joel

Agradezco a Dios por siempre iluminarme en los momentos más difíciles, también agradezco a mis padres por no desampararme en este largo camino universitario, por brindarme una buena ética y moral, por enseñarme a que ser una buena persona lleva a un único camino que es el éxito.

A los docentes de la carrera de ingeniería Ambiental y a los docentes del laboratorio por su ayuda prestada en este proyecto.

-Cristian

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.....	18
INTRODUCCIÓN.....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
JUSTIFICACIÓN.....	22
OBJETIVOS.....	23
Objetivo General.....	23
Objetivos Específicos.....	23
CAPÍTULO II.....	24
MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Lagunas Andinas.....	24
2.1.1 Origen.....	24
2.1.2 Clasificación.....	25
2.1.3 Diversidad.....	25
2.1.4 Servicios ecosistémicos.....	25
2.2 Actividades Antropogénicas.....	25
2.2.1 Conceptos.....	25
2.2.2 Caracterización.....	26
2.3 Sedimentos lacustres.....	27
2.3.1 Conceptos.....	27
2.3.2 Origen.....	28
2.3.3 Clasificación.....	29

2.3.4	Fases	29
2.3.5	Acumulación.....	30
2.3.6	Metales pesados en sedimentos	31
2.3.7	Caracterización de sedimentos	31
2.4	Generalidades de los metales pesados	35
2.4.1	Concepto y características	35
2.4.2	Propiedades.....	36
2.4.3	Transporte y acumulación	36
2.4.4	Metales pesados de interés ambiental.....	37
2.4.5	Origen	38
2.4.6	Análisis de metales en sedimentos	39
CAPÍTULO III		40
METODOLOGÍA.....		40
3.1	Tipo de Investigación.....	40
3.2	Diseño de investigación	40
3.3	Técnicas de recolección de datos	40
3.3.1	Observación.....	40
3.3.2	Muestras sedimentarias.....	40
3.4	Población de estudio y tamaño de muestra	40
3.4.1	Población	40
3.4.2	Muestra	40
3.5	Métodos de análisis.....	41
3.6	Procesamiento de datos.....	42
3.6.1	Área de estudio	43
3.6.2	Fase 1. Caracterización de actividades antropogénicas.....	46
3.6.3	Fase 2. Análisis fisicoquímico de sedimentos	46
3.6.4	Fase 3. Determinación de metales pesados	50
3.6.5	Fase 4. Comparación de la concentración (ppm) de metales pesados en sedimentos con normativa internacional	57
CAPÍTULO IV		59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		59
4.1	Caracterización de actividades antropogénicas	59
4.2	Análisis de sedimentos.....	61
4.2.1	Análisis fisicoquímico de sedimentos	61
4.2.2	Presencia de metales pesados y límite de detección.....	92

4.2.3	Concentración de metales pesados según la estacionalidad	93
4.3	Comparación con normativa internacional	98
CAPÍTULO V		106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		106
5.1	Conclusiones	106
5.2	Recomendaciones	106
BIBLIOGRAFÍA		108
ANEXOS		112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad de agua de lagunas.....	26
Tabla 2 Clasificación de tipos de estructura del suelo.....	32
Tabla 3 Valoración de actividades antropogénicas	46
Tabla 4 Metales pesados de interés ambiental de estudio	55
Tabla 5 Normativa internacional para metales pesados	57
Tabla 6 Identificación y valoración de actividades antropogénicas en la laguna Magtayán	59
Tabla 7 Identificación y valoración de actividades antropogénicas en la laguna de Colta	60
Tabla 8 Textura y tipo de sedimento en la laguna Magtayán	61
Tabla 9 Textura y tipo de sedimento en la laguna Colta	61
Tabla 10 Estructura del sedimento de la laguna Magtayán	62
Tabla 11 Estructura del sedimento de la laguna Colta	63
Tabla 12 Análisis de varianza para la humedad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna Magtayán	63
Tabla 13 Análisis de varianza para la humedad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna Magtayán	65
Tabla 14 Análisis de varianza para la humedad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta.....	66
Tabla 15 Análisis de varianza para la humedad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta.....	67
Tabla 16 Análisis de varianza para la densidad aparente presente en las muestras de sedimento en época seca de la laguna Magtayán	69
Tabla 17 Análisis de varianza para la densidad aparente presente en las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna Magtayán.....	70
Tabla 18 Análisis de varianza para la densidad aparente presente en las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta	71
Tabla 19 Análisis de varianza para la densidad aparente presente en las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta	73
Tabla 20 Análisis de varianza para la porosidad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna Magtayán	74
Tabla 21 Análisis de varianza para la porosidad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna Magtayán	75
Tabla 22 Análisis de varianza para la porosidad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta.....	77
Tabla 23 Análisis de varianza para la porosidad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta.....	78
Tabla 24 Análisis de varianza para la conductividad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Magtayán.....	79
Tabla 25 Análisis de varianza para la conductividad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Magtayán	80
Tabla 26 Análisis de varianza para la conductividad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta	81
Tabla 27 Análisis de varianza para la conductividad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta	82

Tabla 28 Análisis de varianza para el pH de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Magtayán.....	83
Tabla 29 Análisis de varianza para el pH de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Magtayán	84
Tabla 30 Análisis de varianza para el pH de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta	86
Tabla 31 Análisis de varianza para el pH de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta	87
Tabla 32 Análisis de varianza para materia orgánica de las muestras de sedimento en época seca de la laguna Magtayán.....	88
Tabla 33 Análisis de varianza para materia orgánica de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna Magtayán.....	89
Tabla 34 Análisis de varianza para materia orgánica de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta	90
Tabla 35 Análisis de varianza para materia orgánica de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta	91
Tabla 36 Concentración de metales en época seca.....	92
Tabla 37 Resultados de concentración de metales en época lluviosa.....	93
Tabla 38 Concentración de metales pesados en sedimentos	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Laguna Altoandina.....	24
Figura 2 Origen de los sedimentos	29
Figura 3 Orden textural del suelo	32
Figura 4 Grados de acidez de los suelos.....	34
Figura 5 Fases metodológicas	43
Figura 6 Mapa de ubicación de la laguna de Colta	44
Figura 7 Laguna Magtayán.....	45
Figura 8 Tipos básicos naturales de estructura.....	49
Figura 9 Secado de la muestra.....	50
Figura 10 Tamizado de las muestras	51
Figura 11 Muestras de sedimento tamizadas y etiquetadas.....	51
Figura 12 Digestión de las muestras de sedimento	53
Figura 13 Filtrado de la muestra digestada.....	54
Figura 14 Solución de HNO ₃ y sedimento envasada y etiquetada	55
Figura 15 Promedio de porcentaje por humedad en las muestras de la laguna Magtayán en época seca.....	64
Figura 16 Promedio de porcentaje por humedad en las muestras de la laguna Magtayán en época lluviosa	65
Figura 17 Promedio de porcentaje por humedad en las muestras de la laguna de Colta en época seca.....	67
Figura 18 Promedio de porcentaje por humedad en las muestras de la laguna de Colta en época lluviosa	68
Figura 19 Promedio de densidad aparente en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época seca	69
Figura 20 Promedio de densidad aparente en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época lluviosa	71
Figura 21 Promedio de densidad aparente en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época seca.....	72
Figura 22 Promedio de densidad aparente en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época lluviosa.....	73
Figura 23 Promedio de porcentaje de porosidad en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época seca	75
Figura 24 Promedio de porcentaje de porosidad en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época lluviosa	76
Figura 25 Promedio de porcentaje de porosidad en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época seca.....	77
Figura 26 Promedio de porcentaje de porosidad en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época lluviosa	78
Figura 27 Promedio de conductividad en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época seca	80
Figura 28 Promedio de conductividad en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época lluviosa	81
Figura 29 Promedio de conductividad en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época seca	82

Figura 30 Promedio de conductividad en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época lluviosa	83
Figura 31 Promedio de pH en las muestras de sedimento de la laguna de Magtayán en época seca.....	84
Figura 32 Promedio de pH en las muestras de sedimento de la laguna de Magtayán en época lluviosa	85
Figura 33 Promedio de pH en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época seca	86
Figura 34 Promedio de pH en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época lluviosa.....	87
Figura 35 Promedio de materia orgánica en las muestras de sedimento de la laguna de Magtayán en época seca	88
Figura 36 Promedio de materia orgánica en las muestras de sedimento de la laguna de Magtayán en época lluviosa	89
Figura 37 Promedio de materia orgánica en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época seca.....	90
Figura 38 Promedio de materia orgánica en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época lluviosa.....	91
Figura 39 Concentración de Hierro en muestras de sedimento laguna Magtayán	94
Figura 40 Concentración de Hierro en muestras de sedimento laguna Colta.....	95
Figura 41 Concentración de manganeso en muestras de sedimento laguna Magtayán.....	95
Figura 42 Concentración de manganeso en muestras de sedimento laguna Colta	96
Figura 43 Concentración de zinc en muestras de sedimento laguna Magtayán	97
Figura 44 Concentración de zinc en muestras de sedimento laguna Colta	97
Figura 45 Estándares Internacionales para hierro en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna Magtayán	99
Figura 46 Estándares Internacionales para hierro en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna de Colta.....	100
Figura 47 Estándares Internacionales para zinc en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna Magtayán	101
Figura 48 Estándares Internacionales para zinc en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna de Colta.....	102
Figura 49 Estándares Internacionales para manganeso en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna Magtayán	103
Figura 50 Estándares Internacionales para manganeso en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna de Colta.....	104

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad examinar la presencia de metales pesados en sedimentos de las lagunas Colta y Magtayán, durante la época seca y lluviosa. En primer lugar, se caracterizó las actividades antropogénicas que suceden alrededor de los tres sitios de las lagunas Colta (7B1, 7B2, 7B3) y Magtayán (7A1, 7A2, 7A3), utilizando observación directa. De manera que, se identificó 6 actividades humanas como agricultura, ganadería, pesca deportiva, turismo, maquinaria pesada, aguas residuales y desechos sólidos. También se analizaron los parámetros fisicoquímicos de las muestras de sedimentos recolectadas en los sitios ya antes mencionados como textura, estructura, humedad, densidad, porosidad, conductividad, pH y materia orgánica. Todos estos parámetros fueron sometidos a análisis de varianza, en vista de ello, se encontraron diferencias significativas en su mayoría. Además, se utilizó espectrofotometría de absorción atómica para cuantificar la cantidad de metales pesados en sedimentos, los resultados indicaron la presencia de hierro, manganeso y zinc, a diferencia de los elementos cadmio, níquel, plomo y cobre mismos que no fueron detectables debido a el límite mínimo de detección del espectrofotómetro. Los resultados de los 3 elementos encontrados reportaron que el zinc es el metal que se encuentra en menor proporción con concentraciones de 0,00 ppm a 22,39 ppm, el manganeso le sigue con concentraciones de 48,52 ppm a 683,231 ppm y por último el hierro es el metal que presento mayor concentración de 106,67 ppm a 9822,48 ppm, estas concentraciones se compararon con normativas y límites máximos permisibles establecidos por organizaciones internacionales y se determinó que la concentración de hierro en la laguna de Colta superó los límites de la normativa Mexicana y Chilena, mientras que en la normativa Argentina no los superó. En la laguna de Magtayán, las concentraciones de hierro no superaron los límites de la normativa Ambiental Mexicana y Chilena. Las concentraciones de zinc no excedieron los límites de las normativas utilizadas. En cuanto al manganeso, las concentraciones en la laguna de Colta no superaron los límites de las normativas mexicana, canadiense y estadounidense. En la laguna de Magtayán, las concentraciones de manganeso superaron los límites de la normativa canadiense y estadounidense, pero no los de la normativa mexicana.

Palabras claves: Análisis de varianza, lagunas Andinas, normativa, análisis fisicoquímico.

ABSTRACT

This work aimed to examine the presence of heavy metals in sediments from the Colta and Magtayán lagoons during the dry and rainy seasons. First, the anthropogenic activities around the three sites of the Colta (7B1, 7B2, 7B3) and Magtayán (7A1, 7A2, 7A3) lagoons were characterized using direct observation. So, six human activities were identified: agriculture, livestock, sport fishing, tourism, heavy machinery, wastewater, and solid waste. The physicochemical parameters of the sediment samples collected in the mentioned places, such as texture, structure, humidity, density, porosity, conductivity, pH, and organic matter, were also analyzed. These parameters underwent testing for the analysis of variance. As a result, there were notable discrepancies discovered. In addition, atomic absorption spectrophotometry was used to quantify the amount of heavy metals in sediments. The results indicated the presence of iron, manganese, and zinc, unlike the elements cadmium, nickel, lead, and copper themselves, which were not detectable due to the minimum detection limit of the spectrophotometer. The three elements' results reported that zinc is the metal found in the lowest proportion with concentrations from 0.00 ppm to 22.39 ppm. Manganese follows with concentrations from 48.52 ppm to 683.231 ppm. Finally, iron is the metal that presented the highest concentration, from 106.67 ppm to 9822.48 ppm, these concentrations were compared with regulations and maximum permissible limits established by international organizations, and it was determined that the attention of iron in the Colta lagoon exceeded the boundaries of the Mexican and Chilean regulations. In contrast, the Argentine regulations did not exceed them. In the Magtayán lagoon, iron concentrations did not exceed the limits of Mexican and Chilean environmental regulations. Zinc concentrations did not exceed the boundaries of the regulations used. Regarding manganese, concentrations in the Colta lagoon did not exceed the limits of Mexican, Canadian, and US regulations. In the Magtayán lagoon, manganese concentrations exceeded Canadian and US regulatory limits but not Mexican regulatory limitations.

Keywords: Analysis of variance, Andean lagoons, Regulations, physicochemical analysis



Reviewed by:
Mgs. Kerly Cabezas
ENGLISH PROFESSOR
C.C 0604042382

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son una clase de contaminantes ambientales que representan un riesgo para la salud humana y la biodiversidad, el alcance del daño que causa en los organismos llega a nivel celular manifestándose con padecimientos graves, por esto es un importante riesgo para la salud de las poblaciones la presencia de metales pesados en estos ecosistemas, en este sentido, los metales pesados pueden liberarse en el ambiente de manera natural y por actividades antropogénicas (Casanova, 2014).

Sin embargo, los metales pesados de los ecosistemas acuáticos no se eliminan de forma natural ya que no son biodegradables los metales pesados en sistemas acuáticos como ríos, estos elementos tienden a formar agrupaciones con sustancias minerales (sulfato, carbonato, etc.) y en mayor nivel con sustancias orgánicas mediante formación de combinaciones químicas, diferentes fenómenos de intercambio iónico, quelación, adsorción y principalmente acumulándose en los sedimentos (Molina, 2010).

La forma en que el ser humano aportó grandes cantidades de metales pesados al ambiente acuático fue por diversas fuentes como las actividades agrícolas (fungicidas, herbicidas e insecticidas), petroleras, industriales (metalúrgicas, metal mecánicas, papeleras, azucareras, de pinturas) e incluso urbanas y sanitarias (Casanova, 2014).

Por otra parte, las lagunas andinas en Ecuador son un patrimonio natural invaluable que se encuentra en los ecosistemas de alta montaña, estas son el hogar de una gran variedad de especies de flora y fauna que han evolucionado para adaptarse a las condiciones extremas de su entorno, y, son una fuente de agua dulce y un recurso esencial para las comunidades locales y la vida silvestre (Florez & Rios, 1998). Sin embargo, las lagunas altoandinas en Ecuador se enfrentan a amenazas significativas, como la deforestación, el cambio climático, la contaminación y la actividad humana no sostenible (Ordóñez, 2013). Estas lagunas tienen un valor ecológico muy significativo e importante para las comunidades locales, por su papel en la regulación del clima regional y global (Coello, 2009).

En el caso de las lagunas de Colta y Magtayán, son dos importantes áreas naturales ubicadas en Ecuador, cada una con características y problemáticas únicas, la laguna de Colta se encuentra en la parroquia Santiago de Quito. La zona es principalmente utilizada para la producción agrícola y protección de la vegetación herbácea de humedal. Además, el turismo es una actividad económica importante gracias a lugares como la iglesia de Balvanera y el sendero de la Sabiduría Andina, así como paseos en lancha por la laguna de Colta (GAD Colta, 2014). En contraste, la laguna Magtayán cuenta con gran superficie de ecosistemas conservados en áreas agropecuarias contiguas con el sistema de lagunas. Sin embargo, las actividades humanas como la deforestación, el avance de la frontera agrícola, el turismo, la construcción desordenada de infraestructura vial y el sobrepastoreo están afectando las dinámicas hídricas de las cuencas. Este problema es aún mayor en áreas cercanas a las

lagunas de Cubillín y Magtayán debido a la presencia de comunidades aledañas (Chafra, 2020).

Por lo que, este trabajo tiene por objetivo mostrar la presencia de metales pesados en los sedimentos de las lagunas durante las épocas lluviosa y seca en tres sitios de muestreo de las lagunas Magtayán y Colta, y hacer un análisis comparativo de estas concentraciones con normativas internacionales, ya que en Ecuador no existe norma legal.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mundo entero los metales pesados conforman un grupo determinado de elementos químicos inorgánicos contaminantes. Sus características principales son la persistencia y el transporte a grandes distancias, por lo que alcanzan con mucha facilidad los cuerpos de aguas superficiales representando un riesgo potencial para la biota (Flores et al., 2018). Además, estos elementos con elevada toxicidad se bioacumulan e introducen a la cadena trófica al biomagnificarse llegando a los organismos superiores, incluyendo el hombre.

América Latina no es ajena al problema, de hecho, en los últimos años se han dado a conocer estudios donde se consideran elevadas concentraciones de metales pesados en sedimentos de los lagunas y fuentes hídricas. En dichos los sedimentos suelen acumularse contaminantes orgánicos e inorgánicos cuya concentración en el agua no puede ser detectable a simple vista (Mayia, 2021).

Molina (2010) sostiene que “uno de los mayores impactos sobre el recurso hídrico en los sistemas fluviales ha sido la contaminación por metales pesados, las cuales han afectado las aguas y sedimentos”. Las actividades antrópicas como la industria, la ganadería y la minería están fuertemente relacionadas con la acumulación creciente de metales pesados y compuestos orgánicos, lo cual genera un deterioro en los recursos naturales.

En Ecuador la situación no es diferente, en su amplia investigación (J. R. Oquendo, 2016) afirma que “las actividades antrópicas sumando a las prácticas ambientales inadecuadas y a la falta de sensibilidad de la población, agravan sustancialmente la contaminación dentro de las lagunas”. Los problemas comunes que presentan las lagunas es la contaminación con metales pesados causados por el uso de pesticidas, derrames de lubricantes y combustibles.

De este modo, a medida que pasa el tiempo diversas actividades naturales y antropogénicas han ido modificando las características legítimas de las lagunas provocando un deterioro persistente en su ciclo natural, incidiendo en el proceso de sedimentación y la acumulación de sustancias tóxicas, característicos en la contaminación del ecosistema acuático en zonas pobladas, los sistemas lacustres están siendo vulnerables, debido a que soportan una alta intensidad de uso del medio, afectando directamente en su proceso de depuración natural (Sánchez, 2020).

Esta situación problemática también se ha detectado en las lagunas Colta y Magtayán que, a su vez, tiene múltiples causas de diferente índole, pero para este trabajo se ha elegido las actividades antropogénicas como agricultura, ganadería, actividades de recreación, etc. Mismas que, sumadas a las prácticas ambientales inadecuadas y a la falta de sensibilidad de la población empeoran sustancialmente la contaminación dentro de la misma además es importante mencionar que; uno de los cuerpos lacustres recolecta una serie de fuentes de aguas residuales, las cuales provienen de actividades humanas sin un tratamiento preliminar.

Si la situación no se controla a tiempo en un futuro la situación podría afectar no solo a los animales, plantas y seres bióticos que viven en estos ecosistemas ya que, este proceso aporta un aumento de carga orgánica y provoca eutrofización del lago produciendo una disminución del cuerpo de agua por lo que los perjudicados también seríamos los mismos humanos. De ello resulta necesario realizar un análisis de las concentraciones de los metales pesados de las muestras sedimentarias de las lagunas juntamente con el análisis fisicoquímico de las mismas para poder coadyuvar a la conservación de estos ecosistemas.

JUSTIFICACIÓN

Como se mencionó en la problemática las lagunas a nivel mundial tiene presión sobre sus márgenes ya sea por actividades antrópicas o por la misma naturaleza, esto genera que metales pesados se precipiten en sus sedimentos, llevando a la cadena trófica estos metales pesados y generando bioacumulación en algas, macroinvertebrados y peces que viven en este tipo de ecosistemas. En este sentido, es importante conocer que sustancias están presentes en los sedimentos de las lagunas para poder caracterizar estos y definir una política nacional, ya que, al momento, no se cuenta con legislación nacional que permita comparar límites permisibles de concentraciones para determinar contaminación en lagunas.

Además, este trabajo es un aporte al proyecto de investigación “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LA ZONA ALTA DEL PARQUE NACIONAL SANGAY APLICANDO MÚLTIPLES LÍNEAS DE EVIDENCIA (EEA-PNS)”, el que pretende determinar la calidad de las lagunas en diferentes lagunas intervenidas por el hombre como en parques nacionales.

Por lo tanto, es necesario conocer las características de los sedimentos de las lagunas Colta y Magtayán para dar una línea base de la presencia de metales pesados en estos ecosistemas acuáticos.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Examinar la presencia de metales pesados en sedimentos de las lagunas Colta y Magtayán.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las actividades antropogénicas entorno a las lagunas de Colta y Magtayán.
- Realizar el análisis de metales pesados en muestras sedimentarias de las lagunas en estudio considerando la estacionalidad.
- Realizar un análisis comparativo del estado ambiental de las lagunas Colta y Magtayán mediante análisis de sedimentos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Lagunas Andinas

Las lagunas se definen como un depósito que abastece y es abastecido de agua “figura 1”, estos poseen un hábitat donde el agua se encuentra retenida y que se caracteriza por poseer una riqueza en sustancias húmicas es decir rica en compuestos orgánicos (López, 2014).

Figura 1

Laguna Altoandina



Nota. La presencia de numerosas lagunas es una característica de la montaña andina, además de un elemento constitutivo de los diferentes paisajes que se han conformado en las mismas.

2.1.1 Origen

Coello (2009) afirma que la mayoría de las lagunas de alta montaña tienen un origen glaciar, es decir, se originaron como producto de una gran masa de nieve proveniente de algún nevado cercano o durante el período glacial, que quedó atrapada al desplazarse entre los valles profundizando y ensanchando su superficie en su avance y que más adelante se derritió formando una laguna.

Otro origen son las erupciones volcánicas que ocasionalmente dejan la concavidad del cráter sin grietas o conductos de desagüe y cuando se almacena el agua en el lugar solo puede alimentarse, pero no perderse (Coello, 2009).

De manera similar López (2014) afirma que “los lagos y lagunas pueden originarse de dos maneras”:

- **Origen tectónico**

Causadas por plegamientos de la corteza.

- **Origen glaciar**

Causadas por la formación de cavidades, además se puede formar por el desbordamiento de los ríos.

2.1.2 Clasificación

Coello (2009) clasifica a los lagos y lagunas es basándose en su productividad y calidad misma que, se establece mediante la determinación del estado trófico.

De esta forma se pueden distinguir algunos tipos generales:

- **Lagos oligotróficos**

Son sistemas acuáticos de bajo contenido de nutrientes y producción vegetal mínima.

- **Lagos eutróficos**

Son sistemas acuáticos de alto contenido de nutrientes y producción vegetal excesiva.

- **Lagos distróficos**

Son con depósito de humos en el fondo, pero con una mineralización pobre.

2.1.3 Diversidad

En la zona altoandina del Ecuador existen 48 humedales que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, de los cuales el 40% de los humedales se localizan cerca de comunidades y zonas urbanas y el 60% de los humedales se encuentran aislados y comprende una extensión de 661.309 hectáreas (Rueda, 2017).

2.1.4 Servicios ecosistémicos

De manera general las lagunas ofrecen varios servicios ecosistémicos como, por ejemplo:

- **Suministro de agua**

Para el abasto de las comunidades humanas residentes en su entorno y también para el riego de suelos agrícolas, la generación hidroeléctrica y el consumo humano aguas abajo (Grupo contacto, 2019).

- **Abastecimiento de agua**

Aportan fibras vegetales, alimentos, recursos genéticos, almacenan y regulan caudales, capturan carbono y representan un invaluable patrimonio cultural por su significado espiritual y religioso (Grupo contacto, 2019), es importante señalar que los servicios que aportan las lagunas altoandinas no son ilimitados y que la degradación de los ecosistemas acarrea la pérdida no sólo de fuentes esenciales de agua, sino de los otros múltiples beneficios que ofrecen estos ambientes, incluyendo su potencial para la recreación y el ecoturismo.

2.2 Actividades Antropogénicas

2.2.1 Conceptos

La actividad antropogénica no es más que la acción o participación que se da a cabo por las personas sobre la faz del planeta. Se denomina actividades antropogénicas a la

agricultura, pesca, destrucción de la superficie forestal y gran parte de las emisiones de gases a la atmósfera (Tolentino, 2020).

Estas fuentes contribuyen a la mayor fuente de contaminación de metales pesados en el ambiente, entre las principales actividades que destacan son la minería, efluentes domésticos y escorrentía urbana, descargas de residuos industriales y la escorrentía agrícola (Sánchez, 2020).

Las actividades antropogénicas provocan cambios en el ambiente provocando del deterioro de los servicios y bienes que se obtienen del entorno “Naturaleza”, afectando así al futuro de la humanidad que ya no podrán disfrutar de estos (Porrás & Marbetty, 2019).

2.2.2 Caracterización

Toda actividad que se realice genera un impacto al medio en el que se desarrolla, estos son más notorios en lugares que no cuentan con un control adecuado de los mismos, así tenemos que la producción agrícola, ganadera e industrial en zonas altas afecta de manera directa (puntual) e indirecta (difusa) al recurso hídrico “Tabla 1”.

Tabla 1

Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad de agua de lagunas

Contaminación y procesos	Descripción	Fuentes
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce una eutrofización. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentías de fertilizantes agrícolas	Fuentes domésticas, industriales, escorrentía agrícola.
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades militares.
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales.	Fuentes municipales.

Compuestos tóxicos	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos policíclicos generados de la combustible del petróleo.	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola.
---------------------------	--	--

Nota. En esta tabla se da una breve descripción de las actividades antropogénicas tanto para las actividades fijas y sus distintas fuentes de contaminación. Adaptado de “Evaluación de *thypa latifolia* en la absorción de plomo y propuesta de fitorremediación de aguas residuales con metales pesados en la laguna de Yahuarcocha” (p.19) por (J. Oquendo, 2016).

2.3 Sedimentos lacustres

2.3.1 Conceptos

En su investigación Sánchez (2020) se basa en los fundamentos de Stephenson (1994) y afirma que los sedimentos “son una parte importante del ecosistema acuático, resultado del arrastre de materiales de la corteza terrestre hacia las corrientes de agua que a su vez se van depositando en el fondo de los cuerpos de agua”, dicha parte está conformada por una mezcla de materiales heterogéneos de origen orgánico e inorgánico que van sufriendo cambios físicos, químicos y biológicos a lo largo del tiempo.

También Gómez (2005) afirma de manera similar que los sedimentos son partículas como arena, arcilla, limo, etc. Mismas que, se encuentran sueltas del suelo y se depositan en el fondo o superficie de un cuerpo de agua. Estas partículas sedimentarias pueden originarse a partir de la erosión del suelo o de la descomposición de plantas y animales así pues son transportadas por el viento, agua y el hielo hasta los ríos, lagos y arroyos.

Del mismo modo Gómez (2005) menciona que los sedimentos son tomados como un tipo de contaminantes debido a su proceso natural de erosión” por lo tanto, cuando existe un exceso de sedimentos producidos por una alteración, este proceso se consolida como en el más extenso agente contaminante en aguas superficiales.

Además, los sedimentos cumplen un rol importante en los ecosistemas acuáticos, debido a que estos proporcionan alimento para la mayoría de los peces y organismos bentónicos, lo cual pone en riesgo su hábitat.

De este modo, los organismos que se alimentan de sedimentos contaminados con estos elementos se pueden ver perjudicados de ahí que, estos elementos cuando ingresan dentro de un organismo no se biodegradan, sino que tienden a bioacumularse (Sánchez, 2020). Es importante señalar que, esta bioacumulación hace que estos metales se puedan transferir a niveles tróficos superiores a través de la cadena alimentaria.

En concreto, los sedimentos pueden ser sumideros de contaminantes de diferente procedencia como la agricultura, desechos urbanos e industriales que en muchos casos contienen altas cargas de nutrientes, metales pesados, pesticidas, compuestos aromáticos policíclicos los cuales se van acumulando a través de los años en ríos, lagos, humedales y estuarios (Sánchez, 2020).

Sin duda, los depósitos de sedimentos en los lagos y lagunas funcionan como fuente o como reserva de muchos de los nutrientes muy esenciales involucrados en el proceso de eutrofización. Este compartimiento ecosistémico actúa como una reserva-obstrucción de nutrientes para el de agua, pues por un lado amortigua el aumento de nutrientes en el ambiente provenientes de los aportes directos y de la descomposición de materia orgánica. No obstante, compensan el bajo nivel de nutrientes en periodos de alta demanda biológica donde se liberan parte de estas formas retenidas.

2.3.2 Origen

Los sedimentos están constituidos por; la fracción sedimentable, sólidos suspendidos orgánicos, minerales y por los desechos celulares de la actividad microbiana producidos en la oxidación de compuestos orgánicos biodegradables que ingresan al cuerpo de agua (Jurado, 2019).

De ahí que Gómez (2005) afirma que dicha constitución se produce por diversos factores como; actividades antropogénicas escorrentía superficial, aumento en el caudal, cambios en la dinámica fluvial de los cuerpos de agua superficial, distribución del sedimento, plantas y la fauna a lo largo del cuerpo de agua.

Según Gómez (2005) el origen de los sedimentos lacustres se clasifica de la siguiente manera:

- **Sedimentos de Origen Clástico o litogénicos.**

Son producto de la desintegración de rocas preexistentes y de las erupciones volcánicas. Son transportados por ríos, glaciares y viento. La nomenclatura se basa en el tamaño del grano (grava, arena, limo, arcilla).

- **Sedimentos de origen biológico o liogénicos.**

Son resultado de los restos de organismos, compuestos carbonatados. Estos sedimentos llegan al sitio de deposición mediante la precipitación o a través de columnas de agua.

- **Sedimentos de origen químico o hidrogénicos.**

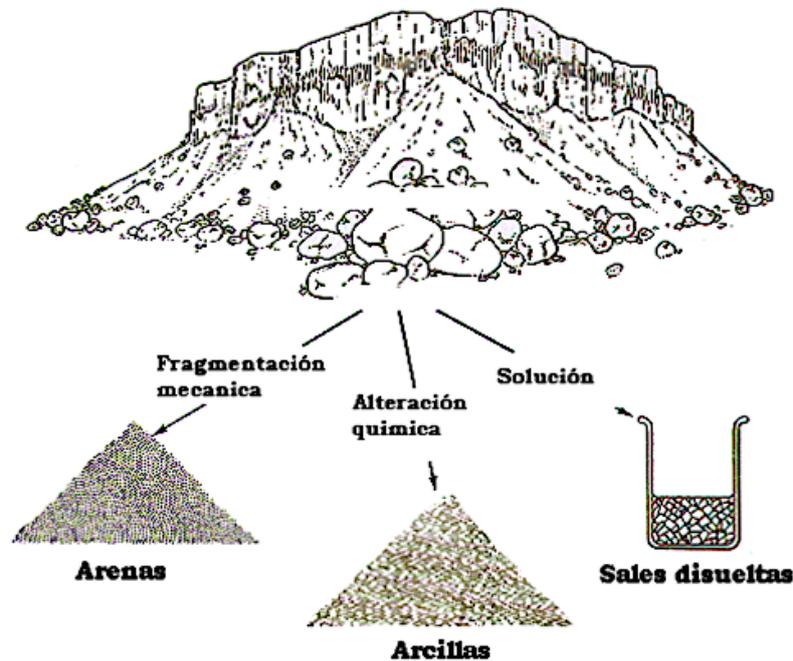
Generados a partir del agua de mar o lago, o del agua intersticial o por alteraciones producidas mediante reacciones químicas dentro de los depósitos de sedimentos.

También Flórez (2010) se basa en los fundamentos de Doménech (1997) donde afirma que “los sedimentos se han formado por acumulación de materiales de origen detrítico, químico u orgánico, resultantes de la erosión de rocas, precipitación de elementos disueltos en el agua, acumulación de materia orgánica; depositándose al disminuir la energía del fluido que los transporta (agua o viento)”.

Su composición depende de los materiales que lo originan por procesos de meteorización “Figura 2” u otros influenciados por el hombre.

Figura 2

Origen de los sedimentos



Nota. Cuando el sedimento se deposita, ya sea por una decantación física, por precipitación química o por crecimiento orgánico, ocurre el proceso de sedimentación dando como resultado fragmentos de roca (arenas, arcillas, sales disueltas, etc), minerales (cuarzo, feldspatos, etc.) y minerales arcillosos. Tomado de: “Tamaño de grano y textural clasificación de partículas sedimentarias gruesas”. Diario de investigación sedimentaria (p.19) por (Brair & McPherson, 1999).

2.3.3 Clasificación

Los sedimentos de los lagos y lagunas están formados por granos finos, materia orgánica, por lo tanto, se los puede clasificar como:

- **Alóctonos**

Son transportados al ambiente que los contiene como depósitos terrígenos (limos, arenas, conglomerados, arcillas) como también depósitos piroclásticos.

- **Autóctonos**

Se forman dentro del ambiente que los contiene como precipitados químicos (carbonatos, hierro, fosfatos), depósitos orgánicos (carbón, petróleo, gas) y depósitos residuales como lateritas, bauxitas.

2.3.4 Fases

Existen diferentes conceptos de las fases del sedimento como, por ejemplo:

Arocena (2016) afirma que “El sedimento de los ecosistemas acuáticos posee una fase sólida y otra líquida. Esta última representa entre 20 y 80% del peso del sedimento, dependiendo del tamaño y compactación de las partículas sedimentarias. Dentro de la fase sólida se puede distinguir una fracción orgánica de otra inorgánica”.

En la interfase agua-sedimento existe un intercambio de materia y energía, proceso que incurre en las propiedades físicas y químicas tanto de la columna de agua como del sedimento. En este sentido, en los sedimentos suelen acumularse contaminantes orgánicos como plaguicidas e inorgánicos como metales pesados, de lo cual su concentración en el agua suele ser indetectable (Sánchez, 2020).

Las propiedades en el sedimento varían horizontalmente según la morfometría del sistema, pero sobre todo varían verticalmente, dependiendo de la estructura, su biota, la energía y características del agua de fondo (Arocena, 2016).

Así pues Gunkel (2003), afirma que “los sedimentos de un lago como parte del ecosistema acuático; están expuestos a las interacciones junto con la columna de agua por ende tienen un alto significado”.

2.3.5 Acumulación

Los sedimentos son transportados por corrientes de agua de diferentes maneras. Las partículas granulares que son parte del sedimento se pueden trasladar por diversos medios como; saltos, deslizamiento, rodadura, sobre el fondo o cerca de él y también pueden ser arrastrados fuera de su lugar y quedar en suspensión (Flórez, 2010).

Las diferentes fases del transporte de sedimento ocurren simultáneamente en corrientes naturales y no hay separación pura entre ellas; consecuentemente, el tipo de movimiento experimentado por las partículas depende de dos factores:

- **Características físicas**

Tamaño, forma, peso específico y de la composición granular del sedimento

- **Condiciones de la corriente**

Velocidad, profundidad, pendiente de las superficies

Chalen et al (2017) afirman de manera similar que “los sedimentos pueden ser movilizados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos”.

La profundidad a la que se acumulan los sedimentos en las lagunas puede variar desde unos pocos centímetros hasta varios metros, dependiendo de algunos factores como; entorno, geomorfología, cauce de infiltración y la batimetría de la aglomeración de agua. Por consiguiente, durante los procesos de sedimentación, los residuos, incluidos los minerales, las secciones de roca, los microorganismos y la materia natural, contribuyen entre sí y con el segmento de agua (Gutierrez, 2018).

2.3.6 Metales pesados en sedimentos

Generalmente, en los sedimentos suelen acumularse contaminantes orgánicos (plaguicidas) e inorgánicos (metales pesados) cuya concentración en el agua puede ser indetectable o su vertido intermitente (Arocena, 2016).

Como se ha manifestado en el apartado anterior, los sedimentos pueden ser de material disuelto, depositado y suspendido lo cual, dependerá del tamaño de la partícula y en ocasiones de la turbulencia y corriente. Estas partículas pueden contener elementos tóxicos como metales pesados, o servir como nutrientes y ser de naturaleza orgánica (Flórez, 2010).

En este sentido Mayia (2021) toma en cuenta las premisas de Harmesa & Cordova (2020) y concuerda con lo siguiente. Los metales pesados son contaminantes nocivos puesto que no se pueden degradar naturalmente y se someten a procesos de bioacumulación y biomagnificación.

Cabe señalar que, una vez liberados al ambiente, los metales pesados son transportados hacia los ríos debido a la escorrentía superficial o subterránea integrándose en el ciclo biogeoquímico fluvial, quedando retenidos en los sedimentos suspendidos y de fondo (Jumbo, 2015).

Estos elementos se acumulan principalmente en sedimentos superficiales de ríos y cuerpos de agua como lagos, ciénagas y humedales, aunque pueden encontrarse concentraciones relativamente elevadas a una profundidad de 15 cm.

También Jumbo (2015) afirma simultáneamente que “las cantidades de metales pesados en sedimentos guardan una rigurosa relación con el tamaño de partículas que constituyen el sedimento (limo, arcilla y arena), debido a que estos tienden a adsorberse. Dichas partículas poseen una gran superficie específica con sitios similgares a ligandos que acomplejan iones en solución”.

En su estudio Mayia (2021) cita a (Hejna et al., 2018) donde afirma lo siguiente “en algunos metales como el cobalto, cobre, cromo, hierro, manganeso, molibdeno, selenio y zinc, en bajas cantidades son primordiales para mantener varias funciones bioquímicas y fisiológicas en animales, plantas y humanos, habitualmente estos oligoelementos se complementan como aditivos nutricionales en la alimentación; sin embargo, la exposición excesiva a altas concentraciones se ha relacionado con trastornos celulares o sistémicos por lo cual podrían representar una fuente de contaminación.

2.3.7 Caracterización de sedimentos

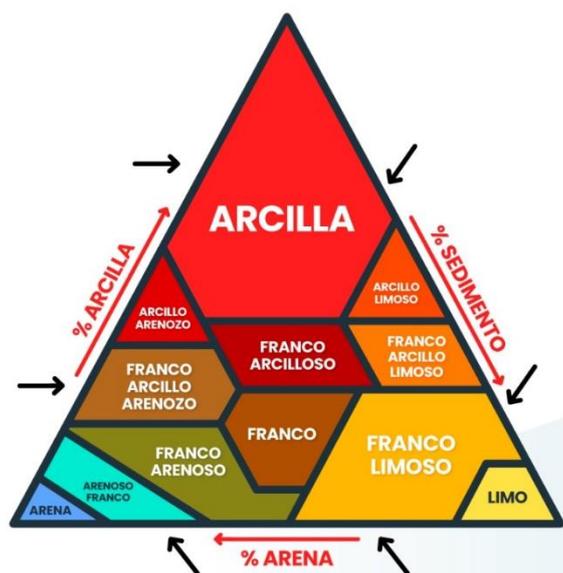
Generalmente el sedimento se puede caracterizar de la misma forma que el suelo debido a sus características fisicoquímicas.

2.3.7.1 Textura

Es la parte de cada elemento del suelo o, dicho de otra manera, la textura representa el porcentaje de los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla “Figura 3” (Rucks, 2004).

Figura 3

Orden textural del suelo



Nota. Tomado de “Triángulo de orden textural del suelo” (Rucks, 2004).

2.3.7.2 Estructura

La estructura del suelo se define de acuerdo con la forma, como agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla “Tabla 2”. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman la apariencia de partículas mayores denominándose agregados (FAO, 2014).

Tabla 2

Clasificación de tipos de estructura del suelo

Clasificación de tipos de estructura del suelo	
Blocosa	Bloques o poliedros, casi equidimensionales con superficies planas o ligeramente redondeadas que son moldes de caras de los agregados vecinos. Se recomienda la subdivisión en angular con caras interceptando ángulos relativamente agudos y bloques subangulares con las caras interceptando a ángulos redondeados
Granular	Esferoides o poliedros, que tienen superficies curvilíneas o irregulares que no son moldes de las caras de los agregados vecinos.

Laminar	Planos con dimensiones verticales limitadas; generalmente orientados sobre un plano horizontal y usualmente sobrepuestos.
Prismática	Las dimensiones están limitadas en el plano horizontal y extendido a lo largo del plano vertical; las caras verticales están bien definidas; tienen superficies planas o ligeramente redondeadas que son moldes de caras de los agregados circundantes. Las caras intersectan normalmente a los ángulos relativamente agudos. Las estructuras prismáticas que tienen una cubierta o casquete redondeado son distinguidas como columnar.
Estructura rocosa	Incluye la estratificación fina en sedimentos no consolidados y pseudo amorfos de minerales intemperie izados reteniendo sus posiciones relativas cada una y los minerales no intemperie usados en gaza política de rocas consolidadas
Forma de cuña	Lentes unidos, elípticos que terminan en ángulos afilados, confinados por las caras de fricción; no limitado a materiales vértigos
Migajas, conglomerados y terrones	Creado principalmente por alteración artificial, por ejemplo: la labranza

Nota. “La estructura del suelo se debe describir cuando esté en condición seca o ligeramente húmeda”. Tomado de (FAO, 2014) pg. (46).

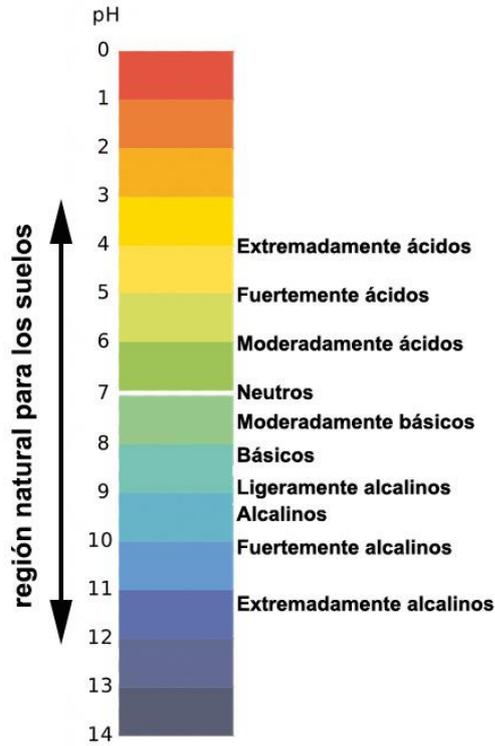
2.3.7.3 Porosidad

Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macroporos y microporos, las características del espacio poroso dependen de estructura del suelo y su textura además la porosidad se expresa como el porcentaje del volumen del suelo ocupado por poros. Dicho de otra manera, el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos (FAO, 2014).

2.3.7.4 pH

El pH es una medida que indica la acidez o la alcalinidad del suelo “Figura 4”. Se define como la concentración de iones de hidrógeno en el suelo. La escala del pH es logarítmica con valores estándar de 0 a 14.

Figura 4
Grados de acidez de los suelos



Nota. Los valores de $\text{pH}=7$ las concentraciones de H^+ y OH^- están equilibradas y se habla de suelos neutros (pH entre 7,5 y 6,5). Del mismo modo para valores inferiores a pH de 6,5 los suelos son ácidos (los H^+ predominan sobre los OH^-) y por encima de 7,5 tenemos los suelos básicos en los que predominan los OH^- . Por eso frecuentemente se reduce el término de suelos básicos para concentraciones de OH^- y para las concentraciones extremas se establece el término de suelos alcalinos, con valores de pH superiores a 8,5. Tomado de (Iglesias, 2014) folleto informativo pH (pg.4).

2.3.7.5 Conductividad eléctrica

Este parámetro ayuda a medir la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato. En tal sentido, es la medida de la capacidad de un material para conducir corriente eléctrica, cuanto más fácil se mueve la corriente a través de este, el valor será más alto. En otras palabras, a mayor conductividad eléctrica, mayor concentración de sales (Flórez, 2010).

2.3.7.6 Densidad Aparente

La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen, esta describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Rojas & Peña, 2012).

2.3.7.7 Humedad

El contenido de humedad del suelo determina la cantidad de agua en una cierta porción conocida de suelo, que puede expresarse como; porcentaje, agua por peso o volumen, y pulgadas de agua por pie de suelo. Dicho contenido muestra el grado en que el agua se aferra al suelo (Del Angel et al., 2018).

2.3.7.8 Contenido de materia orgánica

Se conoce como materia orgánica del suelo al conjunto de residuos orgánicos de origen vegetal y animal, que se encuentran en diferentes etapas de descomposición, además, se acumulan en la superficie y dentro del perfil del suelo (Rojas & Peña, 2012).

2.4 Generalidades de los metales pesados

2.4.1 Concepto y características

Existen diferentes conceptos de metales pesados como:

Sánchez (2020) afirma que “el término metal se refiere a un elemento que es un buen conductor de electricidad y tiene alta conductividad térmica, densidad, maleabilidad, y ductilidad”.

Asimismo Peñafiel (2019) define a los metales pesados como “aquellos elementos metálicos cuyo peso específico es mayor de 5 g.cm^{-3} o con un número atómico superior a 20. Desde otra perspectiva se puede clasificar como metales pesados, a aquellos que por sus efectos tóxicos y persistencia son considerados contaminantes ambientales”.

También Cruz et al (2013) asevera de manera similar que “los metales pesados constituyen un grupo definido de elementos químicos inorgánicos que pueden causar graves daños a los ecosistemas debido a su alta toxicidad y capacidad de acumulación en los tejidos de plantas y animales”.

Por esta razón Flores et al (2018) asegura que “los metales pesados son contaminantes que por su persistencia y transporte a grandes distancias alcanzan con cierta facilidad los cuerpos de aguas superficiales. Estos contaminantes provienen de varias fuentes como; actividades petroleras, agrícolas, metalúrgicas, azucareras, e incluso urbanas y sanitarias”.

Sin duda existen metales de forma natural en rocas, suelos, aguas y aire, pero en concentraciones mínimas que no causan efectos adversos y otros de forma forzada fuertemente relacionados con la actividad humana. En este sentido, todos los metales eventualmente pueden generar un problema de contaminación ambiental.

En definitiva, cuando existe contaminación por metales pesados es catalogado como uno de los problemas con más importancia debido a las afectaciones que produce en la salud humana, animales y plantas. En Ecuador se ha evidenciado contaminación por Cd y Pb en agua y sedimentos de lagunas, esteros e incluso ríos, lo cual, no es favorable para dichos ecosistemas (Mayia, 2021).

2.4.2 Propiedades

Cuando los metales ingresan a las aguas naturales se pueden unir al material particulado de las mismas, por ende, los procesos de su distribución están dados por una serie de procesos de equilibrios químicos (Sánchez, 2020).

Hay que tener en cuenta que los metales pesados poseen una elevada capacidad para adsorberse en material particulado, y son depositados en los sedimentos cuando disminuye la energía del medio que los transporta. Además, pueden precipitar o formar complejos sobre la superficie de las partículas y revestimientos. Esto afecta negativamente a las comunidades residentes, usualmente comunidades bénticas, relativamente sésiles, en contacto directo con sedimentos contaminados (Mayia, 2021).

También Sánchez (2020) se basa en los postulados de metales pesados Connell (2005) donde afirma que “las partículas pueden estar en forma suspendida, coloidal o soluble, por lo tanto, las partículas suspendidas pueden apoyarse en complejos orgánicos, compuestos precipitados o mezclas de metales en formas como; hidróxidos, óxidos, silicatos o sulfuros, sedimentos suspendidos o arcillas, sílice o materia orgánica donde los metales están unidos por complejos inorgánicos y orgánicos”.

2.4.3 Transporte y acumulación

Barba & Rosales (2022) afirman que “en sistemas acuáticos los metales pesados tienen tres vías de entrada principales”, las cuales las podemos dividir de la siguiente manera:

- Entrada atmosférica: se produce por la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera por procesos naturales o antropogénicos.
- Entrada terrestre: consecuencia de la escorrentía superficial de terrenos contaminados.
- Entrada directa: producida por vertidos directos, sin un previo tratamiento, de las aguas residuales industriales y domésticas hacia los cauces fluviales.

Es preciso insistir, que, además de las vías entradas existen otras características de los metales pesados presentes en los sistemas acuáticos.

2.4.3.1 Dinámica

En primer lugar, la dinámica de estos elementos en los cuerpos acuáticos depende de las características fisicoquímicas de cada ecosistema. El 90% de los metales pesados que se encuentren en un ambiente acuático está relacionada con el material en suspensión y principalmente con los sedimentos (Sánchez, 2020).

En segundo lugar, la presencia de elementos metálicos en sistemas acuáticos naturales es originada por una interacción entre el agua, sedimentos y la atmósfera que están en contacto con el agua (Alcívar & Armijo, 2011).

Ahora bien, los metales que entran en el medio acuático pueden tener origen natural o antropogénico. La lixiviación química de suelos juntamente con la roca y la erosión constituyen la aportación más importante por procesos de origen natural. Actualmente, la

cantidad de metales procedentes de la actividad industrial y minera iguala o excede a la liberada al medio acuático por procesos naturales (Ordoñez, 2013).

2.4.3.2 Acumulación

Sánchez (2020) asegura que “una de las afectaciones que pueden sufrir los ecosistemas acuáticos es la acumulación de contaminantes en sedimentos debido a que éstos pueden convertirse en sumideros”. Los metales pesados pueden ser depositados por procesos de adsorción, floculación o coagulación y precipitación sobre la superficie de los sedimentos, pudiendo quedar inmovilizados por la formación de complejos con óxidos de hierro y manganeso, sulfuros metálicos y materia orgánica.

De esta manera, se ha demostrado que el sedimento es uno de varios destinos finales de contaminación generada por los seres humanos y al mismo tiempo puede ser una fuente de contaminación secundaria hacia el agua (ríos y lagunas). Por tanto, el estudio de este compartimiento puede dar conocimiento de la influencia de los desechos humanos en los cuerpos acuáticos.

2.4.3.3 Concentración

Los metales pesados, presentan concentraciones relativamente elevadas en los sedimentos, en zonas alteradas por el hombre que guardan una relación de su concentración con el tamaño de las partículas y la cantidad de materia orgánica sedimentaria, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema (Quispe Yana et al., 2019).

2.4.4 Metales pesados de interés ambiental

Según (Galindo, 2008) “los elementos que pueden considerarse como metales pesados de interés ambiental son; cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni), cobre (Cu), plomo (Pb), hierro (Fe), cadmio (Cd), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobalto (Co), estaño (Sn), plata (Ag).

Algunos autores han afirmado que “estos elementos se encuentran naturalmente en el ambiente, como; suelos, depósitos sedimentarios y agua” (Galindo, 2008). Lo que conlleva a definir a los siguientes elementos:

2.4.4.1 Hierro (Fe)

El hierro es el segundo metal más abundante y el cuarto de todos los elementos, superado únicamente por el oxígeno, el silicio y el aluminio, es un metal extremadamente duro y denso, maleable, de color gris plateado, y presenta propiedades magnéticas, los estados de oxidación más comunes del hierro son el $+2$ y $+3$.

2.4.4.2 Manganeso (Mn)

El manganeso también es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre. Se hallan en la tierra, sedimentos, las rocas, el agua y los productos biológicos. Este elemento puede exponerse en ocho estados de oxidación diferentes, siendo los más importantes: $+2$, $+3$ y $+7$.

2.4.4.3 Zinc (Zn)

El Zn generalmente se encuentra en forma inorgánica, iónica o coloidal en aguas superficiales, siendo las especies más frecuentes Zn^{2+} , $Zn(OH)^+$ y $ZnCl_3^-$. Sus compuestos poco solubles (hidróxidos y carbonatos) tienen la capacidad de adsorberse fuertemente sobre los sedimentos que se encuentran en el fondo de los cauces hídricos.

2.4.4.4 Cobre (Cu)

De forma similar el cobre es un elemento abundante en la corteza terrestre. Generalmente se lo puede encontrar en forma de sulfatos, carbonatos, sulfuros de hierro y cobre.

2.4.4.5 Plomo (Pb)

Algo semejante ocurre con el Pb, es un metal poco móvil y tiende a adsorberse en las zonas no saturadas de los ríos en el material arcilloso y en la materia orgánica, este elemento tiende a adsorberse sobre las partículas arcillosas.

2.4.4.6 Níquel (Ni)

De igual importancia el níquel es un elemento químico sólido, brillante, de color blanco plateados. Contiene 28 electrones que se encuentran distribuidos en ocho niveles energéticos.

2.4.4.7 Cadmio (Cd)

Finalmente, el cadmio es un elemento químico poco abundante. Posee algunas características; es dúctil, de color blanco y en ocasiones con un ligero matiz azulado.

2.4.5 Origen

El origen de los metales pesados se clasifica en:

2.4.5.1 Origen natural

Puede ser producido por la meteorización de rocas ígneas y suelos, es la principal fuente natural de estos elementos en aguas superficiales y sedimentos, asimismo se considera a la deposición atmosférica debido al polvo de las actividades volcánicas, erosión eólica, humo de incendios forestales, aerosoles y partículas de la superficie de océanos (Sánchez, 2020).

2.4.5.2 Origen antropogénico

En muchas ocasiones los metales pesados provienen de una fuente antropogénica, varios autores sostienen que estos constituyen un peligro para la biota acuática y el ser humano y en vista de ello, se considera un factor de deterioro de la calidad hídrica y ambiental (Jiménez et al., 2021).

Por ejemplo, los ríos son receptores de residuos generados por las actividades humanas, a través de efluentes que aportan sustancias consideradas peligrosas para el

ambiente, especialmente metales como plomo, cadmio, cromo, mercurio y manganeso los cuales acostumbran a depositarse en el sedimento además de estar suspendidos o disueltos en la columna de agua (Del Angel et al., 2018). Estos ríos transportan los contaminantes a lo largo de su cauce y cuando se desbordan, se depositan en los cuerpos de agua, como lagunas y manantiales.

También (Ávila et al., 2014) menciona que “los sistemas acuáticos son el depósito final de la gran mayoría de sustancias desechadas por el hombre, donde con el pasar del tiempo la actividad biológica facilita la descomposición de los compuestos orgánicos que se transforman en dióxido de carbono y agua como producto final, mientras que las especies inorgánicas (metales), son acumulados en los sedimentos o en los organismos”.

2.4.6 Análisis de metales en sedimentos

El análisis de metales pesados en sedimentos permite detectar la contaminación que no puede ser detectada mediante el análisis de aguas, proporcionando información acerca de las zonas críticas del sistema acuático. Es así como, de la concentración total del metal sólo ciertas formas químicas son tóxicas para los organismos, incluyendo a iones libres y metales liposolubles (Flórez, 2010).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

El presente estudio se elaboró bajo el planteamiento descriptivo comparativo teniendo en cuenta a las variables de estudio, muestras, y comparación de estas.

3.2 Diseño de investigación

En un estudio descriptivo comparativo se debe tener dos o más muestras y sobre ella se observará el comportamiento de una variable, tratando de “controlar” estadísticamente otra variable que se considera puede afectar a la variable estudiada. En tal sentido, no tiene causa efecto (Martinez, 2020).

Este diseño demostró la efectividad de lo que se aplicó. Debido que, en este caso existieron 2 grupos de muestras de sedimento por laguna y dos estaciones o épocas del año, por lo tanto, la comparación fue mucho más notoria.

3.3 Técnicas de recolección de datos

3.3.1 Observación

Se utilizó observación directa para registrar la información necesaria en fichas detalladas donde se validó un orden preciso de los datos adquiridos (García Sánchez et al., 2010).

3.3.2 Muestras sedimentarias

En cualquier estudio es de vital importancia realizar la recaudación de información con confiabilidad y validez además de un mínimo de errores (Martinez, 2020).

Así pues, se realizó el análisis de sedimentos y la determinación de metales pesados en el laboratorio tal y como se describen en las fases metodológicas “Figura 5”.

3.4 Población de estudio y tamaño de muestra

3.4.1 Población

Se consideró como población de este estudio a las muestras de sedimento obtenidas durante el monitoreo de lagunas del proyecto “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LA ZONA ALTA DEL PARQUE NACIONAL SANGAY APLICANDO MÚLTIPLES LÍNEAS DE EVIDENCIA (EEA-PNS)” proyecto desarrollado entre la ESPOCH y la UNACH.

3.4.2 Muestra

De acuerdo con el proyecto (EEA-PNS) “En cada laguna se identificó 3 sitios de muestreo “Figuras 6 y 7”, tomando en cuenta las condiciones y el hábitat ubicados lo suficientemente alejados entre sí para justificar la independencia de la muestra”. En cada sitio se tomaron coordenadas geográficas (latitud, longitud y altitud) “Anexo 1 al 6” y se realizó un registro fotográfico (al frente, al posterior, al lado derecho, al lado izquierdo, en la parte posterior, y hacia el suelo del sitio).

Las muestras recolectadas se etiquetaron sistémicamente por sitio, para lo cual se utilizó un código alfanumérico ordenado de la siguiente manera:

“1A1”

Donde:

1: es el código de la laguna

A: es la categoría de la laguna “A”: laguna ubicada en un área protegida y “B” laguna en área no protegida”

1: es el sitio de muestreo

Además, en las etiquetas se incluyeron los siguientes datos: provincia, cantón, sector, laguna, fecha de muestreo, responsable, técnica de muestreo y cantidad de la muestra.

3.5 Métodos de análisis

Se utilizaron los siguientes métodos de análisis:

1. Selección de las lagunas y sitios de muestreo: Se seleccionaron dos lagunas; en un área urbana y rural respectivamente.

2. Caracterización de las actividades antropogénicas: Para caracterizar las actividades antropogénicas que suceden alrededor de los sitios de muestreo, se utilizaron fichas de observación directa. Estas fichas permitieron registrar la presencia de infraestructuras urbanas, industrias, agricultura, ganadería y otras actividades humanas.

3. Análisis de parámetros fisicoquímicos: Se midieron varios parámetros fisicoquímicos en las muestras de sedimento, incluyendo; el pH, la conductividad, materia orgánica, densidad, porosidad, textura, haciendo uso de los equipos existentes y calibrados del laboratorio.

4. Análisis estadístico: El ANOVA se utiliza para determinar si hay diferencias significativas entre las medias de tres o más grupos independientes y hacer inferencias sobre la población de donde se extrajeron los datos. Por lo tanto, el ANOVA es un método estadístico inferencial que permite sacar conclusiones sobre una población a partir de una muestra de datos.

Así pues, para los parámetros fisicoquímicos del sedimento se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la variabilidad del sedimento en tres sitios de muestreo por cada laguna y en las dos épocas del año (seca, lluviosa), mismas que fueron sometidas a tres mediciones en la fase de laboratorio. La columna "GL" indica los grados de libertad correspondientes a cada fuente de variación. En este caso, hay dos grados de libertad para el factor (debido a que hay tres sitios de muestreo) y seis grados de libertad para el error (debido a que hay tres mediciones de cada parámetro fisicoquímico en cada sitio de muestreo). La columna "Sc Ajust" indica la suma de cuadrados ajustada para cada fuente de variación. La suma de cuadrados ajustada es la suma de cuadrados dividida por los grados de libertad correspondientes. La columna "MC ajust" indica la media de cuadrados ajustada para cada

fuentes de variación. La media de cuadrados ajustada es la suma de cuadrados ajustada dividida por los grados de libertad correspondientes.

Además, se planteó la hipótesis nula H_0 : Todas las medias son iguales y H_a : Al menos una media es diferente, con un nivel de significancia $\alpha=0.05$. Estos resultados pueden proporcionar información importante sobre la presencia de metales pesados y otros contaminantes en los cuerpos de agua.

5. Análisis de metales pesados: Se recolectaron muestras de sedimentos donde analizaron los metales pesados presentes en ellas. Se utilizó espectrofotometría de absorción atómica para cuantificar la cantidad de metales pesados presentes en cada muestra. Se realizaron gráficos de medias y barras para visualizar los resultados de las concentraciones de metales y compararlos con normativas.

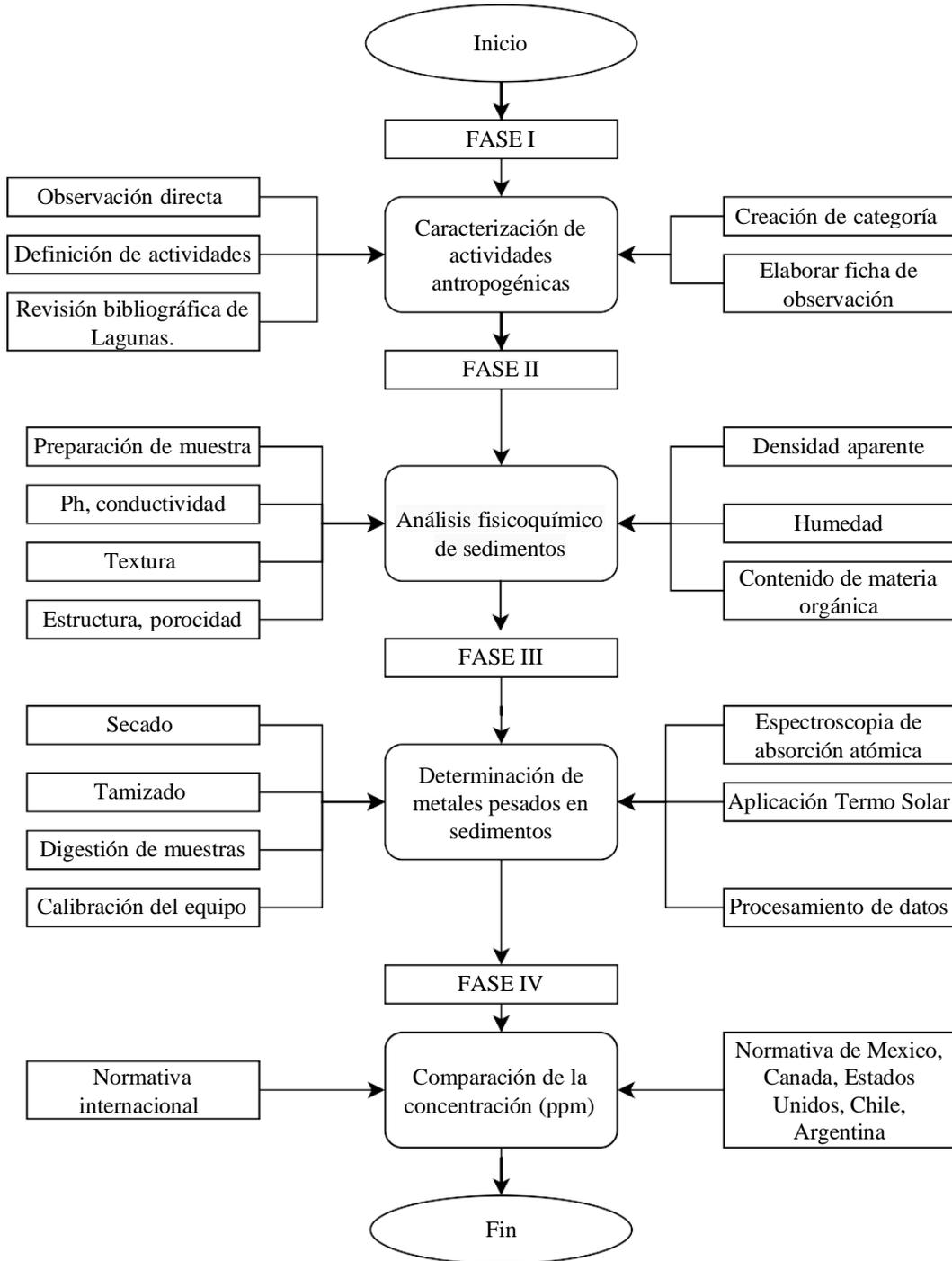
6. Comparación con normativas: Se compararon las concentraciones de metales pesados encontrados en los sedimentos con las normativas y límites establecidos por las organizaciones internacionales.

7. Realización de mapas en ArcMap: Se utilizó el software ArcMap para crear mapas que muestran la ubicación y sitios de muestreo de las lagunas.

3.6 Procesamiento de datos

Se dividió en cuatro fases metodológicas “Figura 5”.

Figura 5
Fases metodológicas



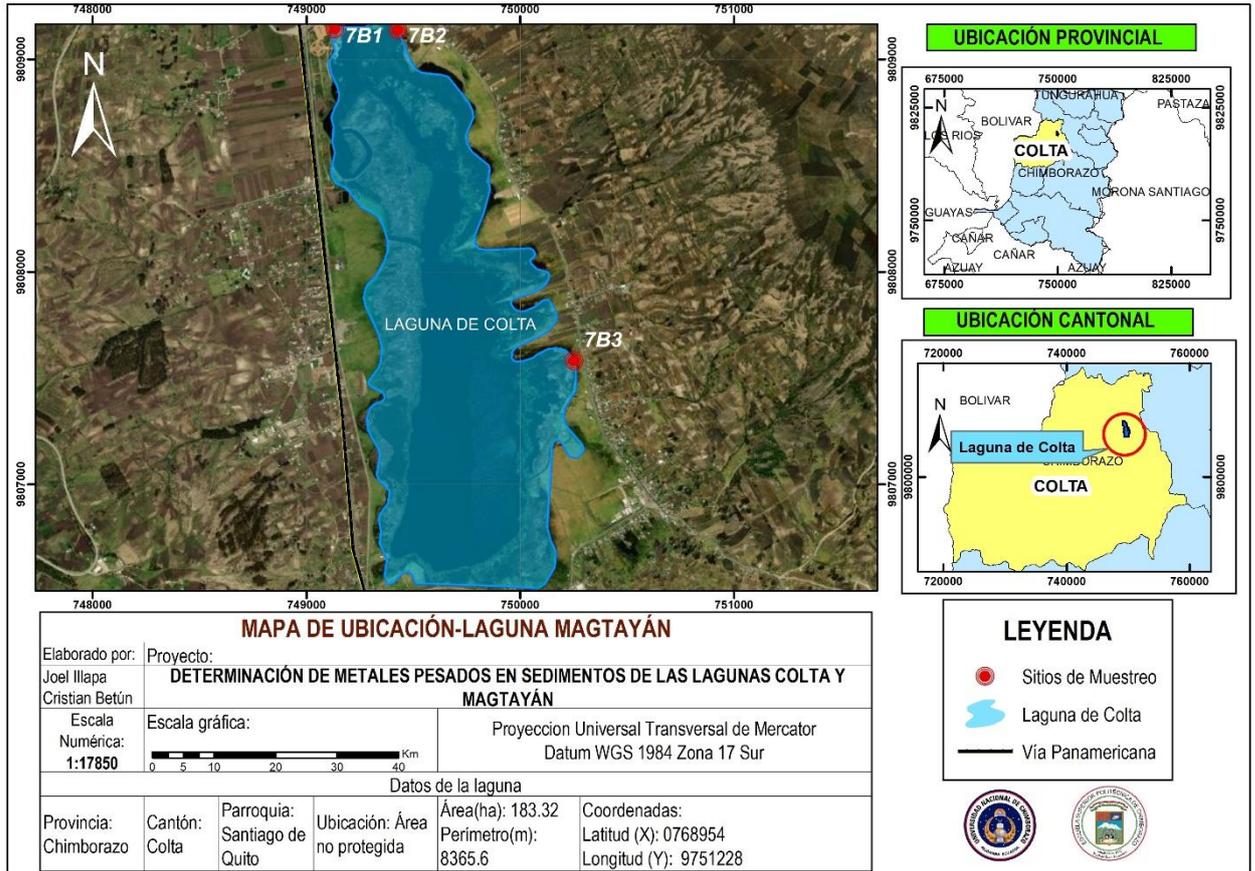
Nota. En esta figura se muestra el proceso que se llevó a cabo en el procesamiento de datos del proyecto de investigación.

3.6.1 Área de estudio *Laguna de Colta*

La laguna de Colta se encuentra ubicada en la provincia de Chimborazo cantón Colta parroquia Santiago de Quito.

Figura 6

Mapa de ubicación de la laguna de Colta



Nota. A los costados de esta laguna predomina la totora. También es conocida en lengua puruhá como “Kulta Kucha” que significa “Laguna de Pato”.

Actualmente, la población en la parroquia Santiago de Quito 5668 habitantes y es donde se encuentra ubicada la laguna de Colta. Asimismo, el uso de suelo en el cantón Colta, en su mayoría es la producción y protección, vegetación herbácea de humedal se ubica plenamente visible en la laguna de Colta, ocupando el 0,21% que reemplaza una superficie de 101,14 ha de la cobertura vegetal natural (GAD Colta, 2014).

Las actividades agrarias están representadas por los cultivos de: cebada, quinua, maíz, avena, papa, haba y brócoli. También, se puede identificar empresas molineras artesanales ubicadas en la parroquia Santiago de Quito. Finalmente, El turismo, la iglesia de Balvanera es la más antigua del Ecuador y es una de las actividades económicas más prosperas, así como el sendero de la Sabiduría Andina o también puede realizar paseos en lancha en la laguna de Colta (GAD Colta, 2014).

Laguna Magtayán

La laguna Magtayán se encuentra en el área protegida del Parque Nacional Sangay, en la provincia de Chimborazo, cantón Alausí en la comunidad Ozogoche.

Figura 7
Laguna Magtayán



Nota. A un costado del río que alimenta la laguna de magtayán existe un territorio donde predomina la totora, esta laguna también es conocida como “laguna encantada” debido a que año tras año, las aves conocidas como “Cuvivis” se suicidan misteriosamente.

Actualmente, en la zona interior de la microcuenca Ozogoche (Magtayán) existen aproximadamente 540 habitantes. También, el uso de suelo en las áreas agropecuarias contiguo con el sistema de lagunas contiene la mayor superficie de ecosistemas conservados. En esta zona oeste las actividades antropogénicas desplazaron la cobertura natural, y sólo se conservan áreas muy reducidas sin intervención, las comunidades aledañas como la de Ozogoche Alto, del cual las actividades se llevan a cabo cerca de las lagunas de Cubillín y Magtayán, debido a que se encuentra asentadas en terrenos cerca al sitio (Chafla, 2020).

Además, las principales actividades humanas que se realizan en la zona cercana a la laguna Magtayán es la deforestación, el avance de la frontera agrícola, el turismo, la construcción desordenada de infraestructura vial, el sobrepastoreo entre otras influye en las dinámicas hídricas de las cuencas (Chafla, 2020).

3.6.2 Fase 1. Caracterización de actividades antropogénicas

Se realizó una descripción de los sitios de muestreo donde se utilizó la observación directa “Anexo 1 al 6” de las lagunas Magtayán y Colta. Según Tolentino (2020) “se debe tener en cuenta el contexto real y el tiempo en el que sucede”. Posteriormente, se anotó en una ficha de observación “Anexo 7” donde se detalló cada una de las actividades y acciones antropogénicas existentes en los puntos mencionados anteriormente. Además, para verificar la existencia de estas actividades se elaboró una tabla de valoración cualitativa y cuantitativa “Tabla 3”

Tabla 3

Valoración de actividades antropogénicas

MAGNITUD	
0	No existe presencia
1	Poca presencia
2	Alta presencia

Nota. Para la valoración de los criterios de magnitud y presencia de actividades se utilizó una escala del 0 al 2, (0 donde no existe presencia; 1 donde existe poca presencia; y 2 donde existe alta presencia de actividades antropogénicas) de acuerdo con el caso y en cada sitio de muestreo tanto para época seca y lluviosa de cada laguna.

3.6.3 Fase 2. Análisis fisicoquímico de sedimentos

Análisis in situ

Se recolectaron tres muestras de sedimento directamente en el lecho de la laguna considerando la estacionalidad (época seca y lluviosa). Se utilizaron un nucleador de sedimentos de acero inoxidable para la recolección de estos además de cooler, fundas ziploc esterilizadas, y gel refrigerante para su posterior etiquetado con el código de cada sitio donde se realizó la muestra con la ayuda de un marcador permanente.

Análisis ex situ

Una vez obtenidas las muestras de sedimentos en los sitios descritos anteriormente, fueron transportadas al laboratorio de Servicios Ambientales en la Universidad Nacional de Chimborazo. Cabe recalcar que, en primera instancia se analizaron los parámetros; densidad y humedad aprovechando las condiciones naturales de las muestras. Posteriormente, se realizó el secado “Figura 8” y tamizado “Figura 9” de las muestras, para ello se pasó las muestras de suelo por un tamiz de 2 mm y posteriormente fueron ubicadas en bandejas de aluminio previamente etiquetadas “Figura 10”, con el código de cada sitio donde se realizó la muestra.

La presencia de metales pesados en los cuerpos de agua puede tener graves consecuencias en la calidad del agua y la salud del ecosistema acuático. Una forma de examinar esta presencia es a través del análisis de sedimentos, donde se pueden encontrar indicios de contaminación. En este trabajo, se realizaron análisis de humedad y otros parámetros en sedimentos recolectados en tres sitios de muestreo en dos lagunas.

Se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos de los sedimentos:

3.6.3.1 Densidad

Para este parámetro se ocupó el método del volumen del cilindro conocido, el cual sigue el siguiente procedimiento (FAO, 2014):

1. Ubicar la muestra de suelo en el cilindro
2. Pesar el vaso de precipitación
3. Ubicar la muestra del cilindro dentro del vaso de precipitación
4. Pesar el vaso con la muestra de suelo
5. Obtener el peso de la muestra húmeda
6. Poner a secar la muestra de suelo en una estufa a 105°C por 24 horas
7. Colocarlas en un desecador
8. Pasadas las 24 horas registrar el peso del suelo seco
9. Aplicar la ecuación de densidad para obtener el valor de análisis

La ecuación es la siguiente:

$$d = \frac{m}{v}$$

Donde:

d: es la densidad del sedimento

m: la masa del sedimento seco

v: volumen del cilindro

3.6.3.2 Humedad

Aquí se ocuparon algunos de los datos obtenidos a la hora de obtener la densidad aparente de cada muestra, los datos fueron el peso húmedo de la muestra y el peso seco de la misma, es así como, para obtener el porcentaje de humedad de las muestras, se debe aplicar la siguiente ecuación (Palma, 2021):

La ecuación es la siguiente:

$$\% H = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

Donde:

% H: es el porcentaje de humedad de la muestra de sedimento

P_h: es el peso húmedo de la muestra

P_s: es el peso seco de la muestra

3.6.3.3 Porosidad

Con los datos de análisis previamente obtenidos se determinó la porosidad, para ello se utilizaron los datos de la densidad aparente, como se explicó en la metodología anteriormente, también se ocupó la densidad real que es un valor promedio el cual es igual a 2,54. Es así como para calcular el porcentaje de porosidad se necesita de la siguiente ecuación (FAO, 2014):

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \right) * 100$$

Donde:

% P: es el porcentaje de porosidad de la muestra de sedimento

ρ_a : es la densidad aparente de la muestra de suelo

ρ_r : es la densidad real

3.6.3.4 Contenido de materia orgánica

Se aplicó el método; pérdida por ignición, para ello se realizaron los siguientes pasos:

1. Pesar el crisol donde se va a ubicar la muestra de suelo
2. Anotar el peso registrado
3. Encerar la balanza analítica
4. Colocar 5 gramos de la muestra de suelo a analizar
5. Repetir los pasos del 1 al 4 para todas las muestras de análisis
6. Ubicar las muestras en la mufla a 550 °C por dos horas
7. Enfriar las muestras por 30 minutos
8. Pesar la muestra seca
9. Aplicar la ecuación

La ecuación es la siguiente:

$$\% MO = \frac{P_{ai}P_{di}}{P_{ai}}$$

Donde:

% MO: es el porcentaje de materia orgánica en la muestra de sedimento

P_{ai} : es el peso de la muestra antes de la ignición

P_{di} : es el peso de la muestra después de la ignición

3.6.3.5 Textura

En este parámetro se utilizó el método del tacto, que consiste en agarrar un poco de sedimento y agregarle gotas de agua hasta realizar una masa y darle forma de bola, al haber realizado esto se lanza la bola hacia una superficie dura como es una pared y según el comportamiento de la bola al llegar a la pared se obtuvo la textura del suelo, este

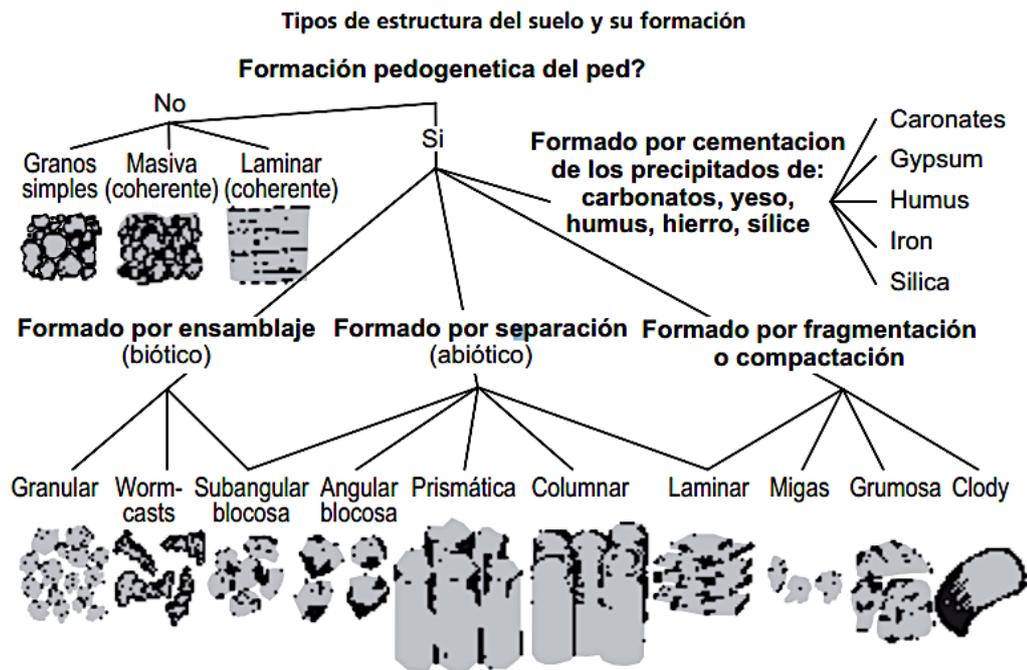
procedimiento se realizó para cada muestra de sedimento de los distintos puntos de estudio (FAO, 2014).

3.6.3.6 Estructura

Para este parámetro se utilizó un microscopio, para ello se ubicó 2 gramos de sedimento en una caja Petri para cada una de las muestras, luego de ello se comparó la estructura de la muestra con las distintas estructuras contenidas en el libro “Guía para la descripción de Suelos” de la FAO “Figura 8”.

Figura 8

Tipos básicos naturales de estructura



Nota. Aquí se definen los tipos de estructura del suelo. Tomado de (FAO, 2014) pg. (47).

3.6.3.7 pH

Para este parámetro se utilizó un vaso de precipitación de 40 ml para cada muestra de sedimento donde se agregó 10 gramos de este junto con 25 ml de agua destilada, del mismo modo, se colocó un agitador en cada vaso de precipitación y se lo ubicó en una plancha de agitación durante 30 minutos. Finalmente, se midió el pH de cada muestra usando un pH metro. Se midió tres veces cada una de las doce muestras de sedimento (invierno, verano), ubicada en el vaso (Pérez et al., 2021).

3.6.3.8 Conductividad eléctrica

Para este parámetro se utilizó un vaso de precipitación de 40 ml para cada muestra de sedimento donde se agregó 10 gramos de este junto con 25 ml de agua destilada, del mismo modo, se colocó un agitador en cada vaso de precipitación y se lo ubicó en una plancha de agitación durante 30 minutos. Finalmente, se midió la conductividad de cada

muestra usando un conductímetro. Se midió tres veces cada una de las doce muestras de sedimento (invierno, verano), ubicada en el vaso (Palma, 2021).

3.6.4 Fase 3. Determinación de metales pesados

La presencia de metales pesados en los sedimentos de lagunas puede tener graves consecuencias para el ambiente, por lo que es fundamental contar con un procedimiento riguroso y sistemático para su determinación. En esta metodología se describe el proceso que se utilizó para la determinación de metales pesados en sedimentos de lagunas mediante el uso de espectrofotometría de absorción atómica. El objetivo principal es identificar y cuantificar los metales pesados presentes en los sedimentos, lo cual permitirá evaluar el grado de contaminación de las lagunas.

Figura 9

Secado de la muestra



Nota. El secado de la muestra se realizó en primera instancia en el invernadero de la Universidad Nacional de Chimborazo ubicado en la planta alta del edificio de ingeniería.

Figura 10

Tamizado de las muestras



Nota. El proceso de tamizado favorece a las partículas más pequeñas del sedimento dejando retenidas a las más grandes que no son de gran relevancia para los análisis fisicoquímicos.

Figura 11

Muestras de sedimento tamizadas y etiquetadas



Nota. Cada muestra fue etiquetada y puesta en bandejas de aluminio para procesos posteriores.

En su amplia investigación Mayia (2021) cita a Ospina & Zapata (2012) y afirma que “la Espectrofotometría de Absorción Atómica se basa en la interacción entre materia y energía, específicamente en la absorción de átomos libres de un elemento a una longitud de onda específica para cada elemento, es una técnica muy sensible que permite la

identificación de elementos individuales presentes en una muestra con concentraciones de partes por millón (ppm)”.

Según Mayia (2021) se debe tener en cuenta que “cada metal tiene su longitud de onda característica a la cual absorbe”. En este trabajo se usaron lámparas compuestas para cada elemento que se está midiendo; esto hace el método relativamente libre de interferencias espectrales.

Así pues, se realizó el análisis de metales pesados siguiendo la metodología de (APHA, 1992) para espectrofotometría de absorción atómica por llama el cual “es el paso de un haz de luz a través de una llama a un monocromador y a un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama”, siguiendo cada uno de los pasos detallados a continuación:

a) Preparación de la muestra. Los metales extraíbles se adsorben ligeramente sobre material en partículas. Debido a que puede resultar inevitable la digestión de algunas muestras, habrá de operarse en condiciones estrictamente controladas, a fin de obtener resultados significativos y reproducibles.

Para la preparación de la muestra se requiere:

Equipos

- Campana de extracción
- Balanza analítica
- Estufa

Reactivo:

- Ácido nítrico concentrado (HNO_3) al 1%

Materiales:

- Matraz Erlenmeyer 250ml
- Espátula
- Balón aforado 100ml
- Balón aforado 2000ml
- Papel filtro
- Embudos
- Frascos estériles 150ml
- Pipetas 10ml
- Peras de succión

- Bandejas de aluminio
- Tamiz de 2mm
- Marcador permanente

b) Digestión por ácido nítrico (HNO₃).

1. Tomar 1 gramo de muestra de sedimento seco o 2g de sedimento húmedo y colocar en el matraz Erlenmeyer de 100 ml. A esta muestra colocar 10 ml de Ácido nítrico (HNO₃) concentrado y enviar a la estufa (cabina extractora de gases y agitador magnético), digerir a nivel 2 por dos horas hasta que se torne de un color transparente o amarillo claro “Figura 9”.

Figura 12

Digestión de las muestras de sedimento



Nota. La digestión de las muestras se debe llevar a cabo con total rigurosidad puesto que, hay algunas que requieren mucho más tiempo del establecido y por el contrario también hay otras que requieren de menos tiempo, todo dependerá de la coloración que estas tomen, cabe recalcar que la temperatura siempre debe estar regulada 105°C

2. Sacar de la estufa y dejar enfriar por una hora y media hasta que este a temperatura ambiente.

3. En un balón de 2000ml preparar una solución, para esto colocar 10 ml de Ácido nítrico (HNO₃) concentrado al 1% y colocar agua destilada hasta aforar.

4. Tomar la muestra digerida y a temperatura ambiente y filtrar en un balón de 100ml, para esto se coloca un embudo papel filtro donde se añade la muestra digerida y la solución de ácido nítrico al 1% hasta aforar el balón “Figura 9”.

Figura 13

Filtrado de la muestra digerida



Nota. Se puede observar detalladamente el proceso de filtrado de las muestras luego de pasar por el proceso de digestión.

5. Envasar la solución en los frascos estériles de 150ml y etiquetar con su respectivo código “Figura 10”

Figura 14

Solución de HNO₃ y sedimento envasada y etiquetada



Nota. Solución lista para el proceso de espectrofotometría de absorción atómica

c) Preparación de los estándares para metales pesados.

1. Preparar la muestra o solución madre a 10 ppm (partes por millón)
2. Observar en el espectrofotómetro de absorción atómica cual es el punto de optimización del elemento que se va a medir “Tabla 4”.

Tabla 4

Metales pesados de interés ambiental de estudio

Elemento	Punto de optimización
Zinc (Zn)	1,0
Manganeso (Mn)	2,0
Plomo (Pb)	7,0
Cobre (Cu)	3,5
Hierro (Fe)	5,0
Niquel (Ni)	5,0
Cadmio (Cd)	1,5

Nota.

3. A partir del punto de optimización de cada uno de los elementos tomar valores sobre y por debajo del mismo para calcular los estándares.
4. Aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración 1} * \text{Volumen 1} = \text{Concentración 2} * \text{Volumen 2}$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

Donde:

V_1 = Volumen a calcular

C_1 = 10 ppm

C_2 = concentración a la que está el reactivo

V_2 = 50 ml

5. Tomar la cantidad resultante de los cálculos de muestra madre de cada elemento (ejemplo Fe= 2.5 ml) colocar en un balón de 100ml y colocar Ácido nítrico (HNO_3) concentrado al 1% hasta aforar.

6. Colocar los estándares en frascos cerrados, estériles y en refrigeración.

d) Lectura de metales por espectrofotometría de absorción atómica.

1. Encender el computador y activar el software
2. Encender el equipo
3. Verificar las presiones en todos los gases (Acetileno 90 psi y aire)
4. Conectar el equipo (Sincronizar el equipo con el software)
5. Cargar el método previamente configurado
6. Configurar las lámparas

Observación: al momento de insertar o retirar la lampara de metales, procurar no tocar el vidrio de la lampara, solo tocar la etiqueta. Verificar en el programa si el equipo lee la lampara del elemento

7. Configuración óptica
8. Verificar la alineación del haz de luz.

Observación: En este paso para verificar la alineación del haz de luz se debe encender la lampara del metal que deseamos analizar, y automáticamente se modifica el equipo al haz de luz

9. Guardar fichero
10. Encender la llama

Observación: En la parte inferior izquierda del software aparece “flame” donde se le presiona un clip izquierdo para prender la llama

11. Configurar la llama “Gas Flow” es para la configuración de llama
12. Recomendación: siempre dejar por defecto las configuraciones

13. Verificar la absorbancia con el estándar de optimización (Verificar con el libro de cocina)

14. De ser necesario mejorar la absorbancia moviendo el bastón de impacto
15. Analizar
16. El equipo realiza un “auto-cero”

17. Seguir las instrucciones que muestra el equipo. El equipo intercala entre la solución estándar y agua(destilada) o aire.

18. El equipo pedirá los estándares para realizar la curva

Para leer los estándares procurar sacar de refrigeración mínimo una hora para que los estándares alcancen una temperatura ambiente y tener resultados más confiables.

19. El equipo pedirá las muestras

20. Exportar resultados en Excel

Recomendación: Tener precaución en verificar que el material está limpio o lavarlo con jabón neutro

21. Enjuagar con agua destilada

3.6.5 Fase 4. Comparación de la concentración (ppm) de metales pesados en sedimentos con normativa internacional

Se llevó a cabo una comparación de los niveles de metales pesados en las dos lagunas con los estándares internacionales “Tabla 5”.

Tabla 5

Normativa internacional para metales pesados

Normativa		Fe	Mn	Zn
NOM		5000	800	-
CEQG	ISQG	-	-	123
	PEL	-	-	315
	CCME	-	220	(7-38)
NOAA Y EPA		-	360	(7-38)
NOCH		2500	-	-
NOAR		35000	-	-

Nota. La comparación se llevó a cabo con los metales presentes en las muestras de sedimentos de las lagunas Colta y Magtayán (Hierro, Manganeso y Zinc).

Las siglas representan lo siguiente:

NOM: normativa oficial mexicana; 47-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar suelos contaminados por metales.

CEQG: guías de calidad ambiental canadiense (por sus siglas en inglés, Canadian Environmental Quality Guidelines) para sedimentos de cuerpos de agua continental.

ISQG: guía provisional de calidad del sedimento (por sus siglas en inglés, Interim Sediment Quality Guideline).

PEL: nivel de efecto probable (por sus siglas en inglés, Probable Effect Level)

CCME: guía de calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática en sedimentos de agua

NOAA: Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (por sus siglas en inglés, National Oceanic and Atmospheric Administration), niveles de fondo (background levels) de la tabla de referencia (Screening Quick Reference Table for Inorganics in Freshwater Sediment)

NOCH: Norma de Calidad Ambiental de Sedimentos del Ministerio de Medio Ambiente de Chile

NOAR: Norma de Calidad Ambiental de la Provincia de Buenos Aires de Argentina:

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se explica detalladamente los resultados obtenidos en el trabajo de investigación. Presentando un breve análisis dividido en datos recopilados de carácter descriptivo y la discusión de estos haciendo énfasis en cada objetivo planteado inicialmente.

4.1 Caracterización de actividades antropogénicas

A partir de los hallazgos encontrados en cada sitio de muestro y haciendo uso de fichas de observación, se distinguieron varias actividades humanas en cada sitio de muestreo de las lagunas, Magtayán y Colta “Tabla 5” y “Tabla 6”. A continuación, se detallan cada una de dichas actividades.

Tabla 6

Identificación y valoración de actividades antropogénicas en la laguna Magtayán

Identificación y valoración de actividades antropogénicas en sitios de muestreo de la laguna Magtayán				
ACTIVIDADES	7A1	7A2	7A3	
Agricultura	2	0	0	
Ganadería	1	1	0	
Pesca deportiva	2	1	2	
Turismo	2	2	1	
Maquinaria pesada	0	0	0	
Aguas Residuales	0	0	0	
Desechos Sólidos	1	1	0	

Nota. Del total de las 7 actividades planteadas previamente en la ficha de observación. Se valoró de acuerdo con la metodología, todas las actividades antropogénicas para cada sitio de muestreo (7A).

Primero, se presentan los datos adquiridos en el sitio 7A1, donde se observan 5 actividades humanas; ganadería y desechos sólidos con poca presencia, además, pesca deportiva, turismo y agricultura con alta presencia, mismas que fueron puestas en evidencia con la presencia de basura (botellas plásticas, residuos de papel aluminio, y plástico), quema de pajonal y residuos de fecas de ganado.

Posteriormente, en el sitio 7A2, se observa 3 actividades humanas; ganadería, pesca deportiva y desechos sólidos con poca presencia, pesca deportiva y turismo con alta presencia. Lo cual es evidenciado con la presencia de basura (botellas plásticas y residuos de papel aluminio) y residuos de fecas de ganado.

Finalmente, en el sitio 7A3, donde se observa 2 actividades humanas; pesca deportiva con alta presencia y turismo con baja presencia.

Tabla 7*Identificación y valoración de actividades antropogénicas en la laguna de Colta*

Identificación y valoración de actividades antropogénicas en sitios de muestreo de lagunas			
ACTIVIDADES	7B1	7B2	7B3
Agricultura	0	0	1
Ganadería	0	2	2
Pesca deportiva	0	0	0
Turismo	2	2	1
Maquinaria pesada	0	0	2
Aguas Residuales	1	1	2
Desechos Sólidos	2	1	2

Nota. Del total de las 7 actividades planteadas previamente en las fichas de observación. Se valoró de acuerdo con la metodología, todas las actividades antropogénicas para cada sitio de muestreo (7B).

En el sitio 7B1 se observan 3 actividades humanas; aguas residuales con poca presencia, turismo y desechos sólidos con alta presencia. Tomando en cuenta que, se observó presencia de basura, destrucción de la naturaleza, descarga de aguas residuales y fauna con variedad de aves y peces muertos.

En el sitio 7B2 se observan 4 actividades humanas; aguas residuales, desechos sólidos con poca presencia y ganadería, turismo con alta presencia. Lo cual, se justifica con la presencia de basura, suelos erosionados y descarga de aguas residuales, presencia de animales bovinos, aves muertas en el agua y pequeños flotes de basura.

En el sitio 7B3 se observan 6 actividades humanas; agricultura y ganadería con poca presencia, ganadería, maquinaria pesada, aguas residuales y desechos sólidos con alta presencia. Lo cual, se justifica con la presencia de basura, fecas de animales y humanos, descarga de aguas servidas y presencia de maquinaria pesada dentro del sitio de muestreo.

Teniendo en cuenta que, en cada sitio de muestreo de las lagunas existe presencia de actividades antropogénicas de alto y bajo impacto es preciso insistir que dichas actividades pueden estar afectando la composición fisicoquímica de los sedimentos y por ende la calidad ambiental de las lagunas.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen (Coello, 2009) y (Tolentino, 2020) en análisis de agua, (López, 2014) en análisis bacteriológico y fisicoquímico de agua y (Sackey, 2014) en sedimentos. Estos autores expresan que, existen actividades que tienen que ver con el uso y manejo inadecuado e incompatible de recursos agua y tierra y otros lo que ocasiona la destrucción del hábitat de varias especies endémicas. Además, consideran que la calidad del agua independientemente del sitio es afectada por las actividades antropogénicas. Asimismo, en los sedimentos se acumulan sustancias que pueden ser contaminantes, esto podría estar relacionado con el uso de agroquímicos por parte de los agricultores y vertido de residuos domésticos. En definitiva (Adjei et al., 2017) concuerda

que “los efluentes humanos representan una grave amenaza para la salud humana, la vida acuática y para el ambiente. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla”.

4.2 Análisis de sedimentos

4.2.1 Análisis fisicoquímico de sedimentos

4.2.1.1 Textura y tipo de sedimento

Tabla 8

Textura y tipo de sedimento en la laguna Magtayán

Muestra	Época seca		Época lluviosa	
	Textura	Tipo	Textura	Tipo
7A1	Gruesa	Arenoso	Gruesa	Arenoso
7A2	Gruesa	Franco Arenoso	Moderadamente gruesa	Franco Arenoso
7A3	Moderadamente gruesa	Arena Francosa	Moderadamente fina	Franco Arenoso

Nota. La tabla proporciona información sobre los parámetros físicos de la textura y el tipo de sedimento en tres muestras (7A1, 7A2 y 7A3) en dos épocas diferentes, la época seca y la época lluviosa. La textura se refiere al tamaño de las partículas de sedimento, mientras que el tipo se refiere a la composición del sedimento.

En general, las tres muestras presentan texturas gruesas y moderadamente gruesas en ambas épocas, con excepción del sitio 7A3 que presenta una textura moderadamente gruesa en época seca y una textura moderadamente fina en época lluviosa.

En cuanto al tipo de sedimento, todas las muestras presentan un sedimento principalmente arenoso, con excepción del sitio 7A3 que presenta un sedimento franco arenoso en ambas épocas.

Finalmente, estos resultados indican que los sedimentos las tres muestras son relativamente similares en términos de textura y tipo de sedimento durante ambas épocas, lo que podría indicar una similitud en las fuentes y procesos de sedimentación en la zona de estudio. Se mantiene relativamente constante en términos de tipo de sedimento (arenoso o franco arenoso).

Tabla 9

Textura y tipo de sedimento en la laguna Colta

Muestra	Época seca		Época lluviosa	
	Textura	Tipo	Textura	Tipo
7B1	Fina	Franco arenosa	Moderadamente fina	Franco Arenoso
7B2	Moderadamente fina	Franco arenosa	Moderadamente fina	Franco Arenoso
7B3	Fina	Franco arenosa	Gruesa	Arena Franca

Nota. La tabla proporciona información sobre los parámetros físicos de la textura y el tipo de sedimento en tres muestras (7B1, 7B2 y 7B3) en dos épocas diferentes, la época seca y la época lluviosa. La textura se refiere al tamaño de las partículas de sedimento, mientras que el tipo se refiere a la composición del sedimento.

En la época seca, la muestra 7B1 tenía sedimentos finos con una textura franco-arenosa, mientras que los sitios de muestreo 7B2 y 7B3 tenían sedimentos moderadamente finos con una textura franco-arenosa y finos con una textura franco-arenosa, respectivamente.

Durante la época lluviosa, la muestra 7B1 aún tenía sedimentos finos con una textura franco-arenosa, mientras que los sitios de muestreo 7B2 y 7B3 tenían sedimentos moderadamente finos con una textura franco-arenosa y gruesos con una textura de arena franca, respectivamente.

Estos resultados indican que, la composición de la textura del sedimento tiene un papel crítico en su capacidad para retener metales pesados y otras sustancias contaminantes, lo cual puede afectar negativamente tanto la calidad del agua como la salud del ecosistema acuático en su totalidad. Además, la textura del sedimento puede influir en la distribución de la vida acuática presente en las lagunas (Clotey, 2018).

4.2.1.2 Estructura del sedimento

Tabla 10

Estructura del sedimento de la laguna Magtayán

Muestra	Época seca	Época lluviosa
	Estructura	
7A1	Granular	Grumosa
7A2	Granular	Granular
7A3	Subangular blocosa	Subangular blocosa

Nota. La tabla muestra los resultados de la observación de la estructura de muestras de sedimentos tomadas en tres sitios de muestreo en dos épocas diferentes: seca y lluviosa.

En la muestra 7A1, la estructura en la época seca fue granular y en la época lluviosa grumosa. Asimismo, en la muestra 7A2, la estructura en ambas épocas fue granular. También en la muestra 7A3, la estructura en las dos épocas fue subangular blocosa.

En términos generales, los resultados muestran que la estructura de los sedimentos en los sitios de muestreo no sufrió cambios significativos entre las épocas seca y lluviosa. Sin embargo, se detectaron algunas diferencias en la estructura de los sedimentos entre los sitios de muestreo, lo que sugiere que puede haber variaciones en las condiciones ambientales y geológicas de cada uno de ellos.

Esto es acorde a lo que indica (Clotey, 2018) “la presencia de una estructura granular en algunos sitios puede indicar una mayor actividad biológica, mientras que la

presencia de una estructura subangular blocosa puede indicar una mayor actividad física, como la erosión del suelo”.

Tabla 11

Estructura del sedimento de la laguna Colta

Muestra	Época seca	Época lluviosa
	Estructura	
7B1	Subangular blocosa	Grumosa
7B2	Granular	Subangular blocosa
7B3	Granular	Granular

Nota. La tabla muestra los resultados de la observación de la estructura de muestras de sedimentos tomadas en tres sitios de muestreo en dos épocas diferentes: seca y lluviosa

En general, se observó una variación en la estructura entre los diferentes sitios de muestreo y entre las épocas seca y lluviosa.

En la muestra 7B1, la estructura de los sedimentos fue subangular blocosa durante la época seca y grumosa durante la época lluviosa. En el sitio 7B2, la estructura fue granular durante la época seca y subangular blocosa durante la época lluviosa. Finalmente, en el sitio 7B3, la estructura fue granular durante ambas épocas.

Estos resultados sugieren que los procesos ambientales y geológicos en los diferentes sitios de muestreo pueden estar afectando la estructura de los sedimentos (Ordoñez, 2013). Por ejemplo, la presencia de una estructura subangular blocosa en los sitios 7B1 y 7B2 durante la época lluviosa puede indicar una mayor actividad física, como la erosión del suelo debido al aumento del flujo de agua.

Además, la presencia de una estructura granular en algunos sitios puede indicar una mayor actividad biológica, que podría estar relacionado con la presencia de ciertos organismos en el ecosistema acuático.

4.2.1.3 Humedad (%)

Tabla 12

Análisis de varianza para la humedad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna Magtayán

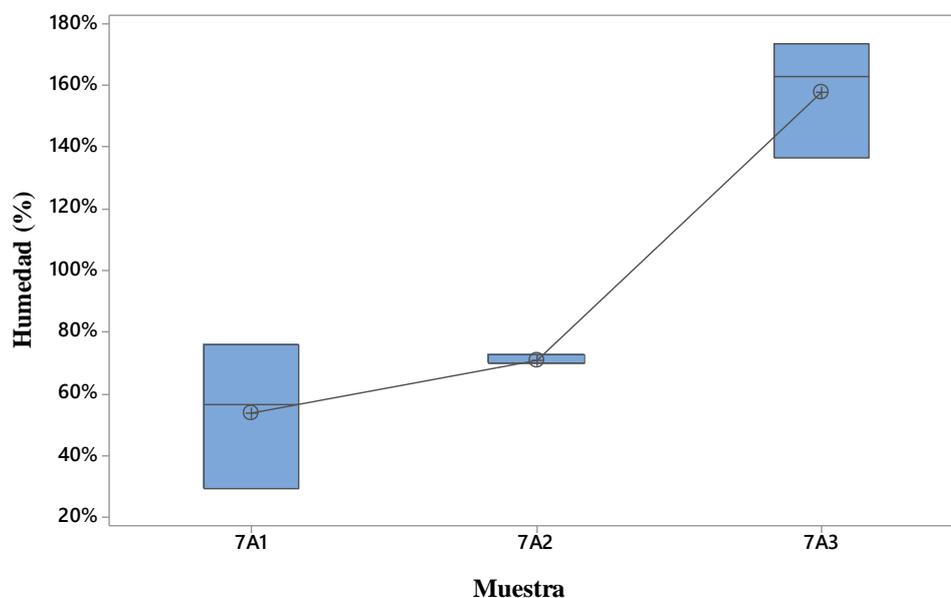
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC Ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	1,8658	0,93288	30,62	0,01	S
Error	6	0,1828	0,03047			
Total	8	2,0486				

Nota. La tabla muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de una vía y prueba tukey con un 95% de confianza para tres sitios de muestreo que tienen tres mediciones de humedad del sedimento cada uno. En la fuente se presenta la descomposición de la varianza entre el factor (los tres sitios de muestreo) y el error (variabilidad aleatoria).

El análisis de varianza (ANOVA) de una vía para la humedad del sedimento de los tres sitios de muestreo muestra un valor F de 30,62 y un valor P de 0,01, lo que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre al menos uno de los grupos. La fuente de variación entre los grupos (Factor) tiene dos grados de libertad (GL) y una suma de cuadrados ajustada (Sc Ajust) de 1,8658, lo que indica que la variación entre los grupos explica la mayor parte de la variabilidad total observada en la muestra. El valor MC Ajust es 0,93288, lo que indica la varianza media entre los grupos. El error residual tiene seis grados de libertad y una suma de cuadrados ajustada de 0,1828, lo que indica la variabilidad dentro de los grupos y la varianza media del error residual es 0,03047. En general, estos resultados indican que existe una diferencia significativa entre los tres sitios de muestreo en términos de humedad del sedimento.

Figura 15

Promedio de porcentaje por humedad en las muestras de la laguna Magtayán en época seca



Nota. Se puede observar los promedios de humedad en las muestras de sedimento en porcentaje.

Las concentraciones promedio de humedad en sedimentos en época seca nos indica que, la concentración máxima se definió en la muestra 7A3= 157% por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa. Conjuntamente se comprobó que entre este sitio y los sitios 7A1=70% Y 7A2 = 53%, se mostraron diferencias estadísticamente significativas ($F = 30,62$; $P = 0,1$) según ANOVA de una vía y prueba Tukey. Finalmente, el menor porcentaje de humedad se encontró en la muestra 7A2=53%.

En general, estos resultados indican que la humedad del sedimento puede variar significativamente entre diferentes sitios de muestreo, y la muestra 7A3 puede ser considerada como un sitio de mayor humedad en comparación con los otros dos sitios y que superar el 100% de humedad indica que existen sustancias que retienen el agua de manera muy eficiente.

Tabla 13

Análisis de varianza para la humedad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna Magtayán

ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,77533	0,387666	68,46	0	S
Error	6	0,03398	0,005663			
Total	8	0,80931				

Nota. La tabla muestra los resultados de un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y prueba de Tukey con un 95% de confianza para tres sitios de muestreo que tienen tres mediciones de humedad del sedimento cada uno. En la fuente se presenta la descomposición de la varianza entre el factor (los tres sitios de muestreo) y el error (variabilidad aleatoria).

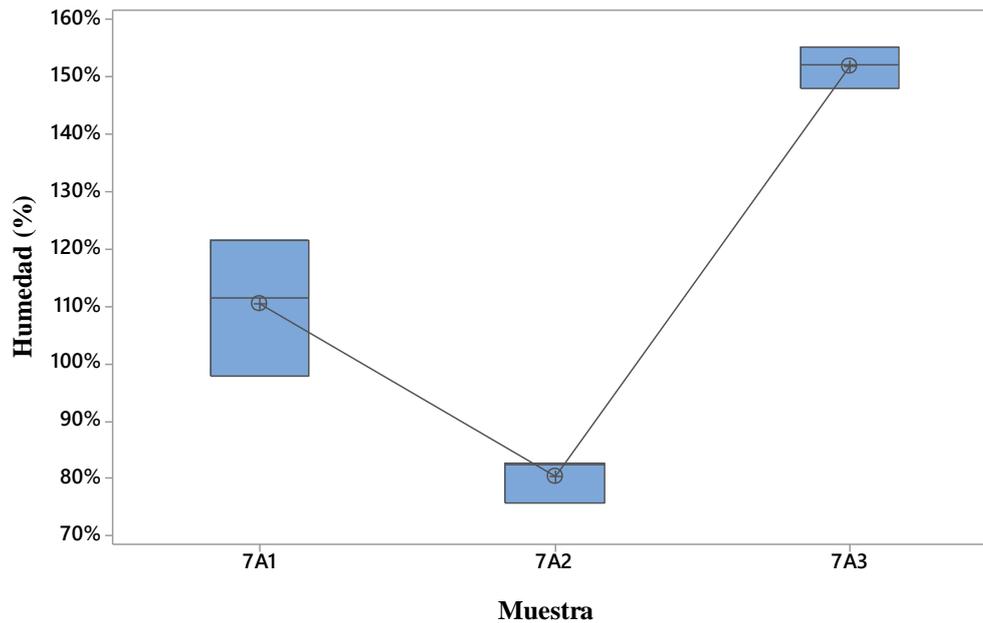
El valor f de la fuente "Factor" es de 68,46, con un valor P muy bajo de 0, lo que indica que hay una diferencia significativa en la humedad entre los tres sitios de muestreo. Además, la "Significancia" es afirmativa, lo que respalda la conclusión de que la humedad del sedimento difiere significativamente entre los sitios de muestreo.

Por otro lado, el valor f de la fuente "Error" es de 0, lo que sugiere que la variabilidad dentro de los grupos es muy baja. La suma de cuadrados ajustada de la fuente "Factor" es de 0,77533, mientras que la suma de cuadrados ajustada de la fuente "Error" es de 0,03398. El cociente de estas sumas de cuadrados, conocido como la "Media Cuadrática Ajustada" (MC ajust), indica que la variabilidad entre los grupos es mucho mayor que la variabilidad dentro de los grupos.

En resumen, el análisis de varianza muestra que hay una diferencia significativa en la humedad del sedimento entre los tres sitios de muestreo y que la mayor parte de la variabilidad se debe a las diferencias entre los sitios de muestreo.

Figura 16

Promedio de porcentaje por humedad en las muestras de la laguna Magtayán en época lluviosa



Nota. Se puede observar los promedios de humedad en las muestras de sedimento en porcentaje.

En cuanto al promedio de humedad en sedimentos en época lluviosa, la concentración máxima se definió en la muestra 7A3= 152%. Conjuntamente se comprobó que entre este sitio y los sitios 7A1=110% y 7A2 = 80%, se mostraron diferencias estadísticamente significativas ($F = 68,46$; $P = 0$). También, el menor porcentaje en la muestra 7A2=80%. Esto indica que los sitios de muestreo presentan diferentes niveles de humedad en sedimentos durante la época lluviosa y que la muestra 7A3 es el sitio de muestreo con el mayor nivel de humedad aceptando así, la hipótesis alternativa.

En conclusión, la humedad del sedimento en los sitios de muestreo varía significativamente, tanto en época seca como lluviosa. Además, se observa que en ambos casos la muestra 7A3 presenta el mayor nivel de humedad. Esto puede deberse a la presencia de sustancias que retienen el agua de manera muy eficiente en esta muestra. Además, se destaca que durante la época lluviosa las diferencias entre los sitios de muestreo son mucho más marcadas que durante la época seca.

Tabla 14

Análisis de varianza para la humedad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta.

ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,02693	0,013466	4,88	0,055	S
Error	6	0,01655	0,002758			
Total	8	0,04348				

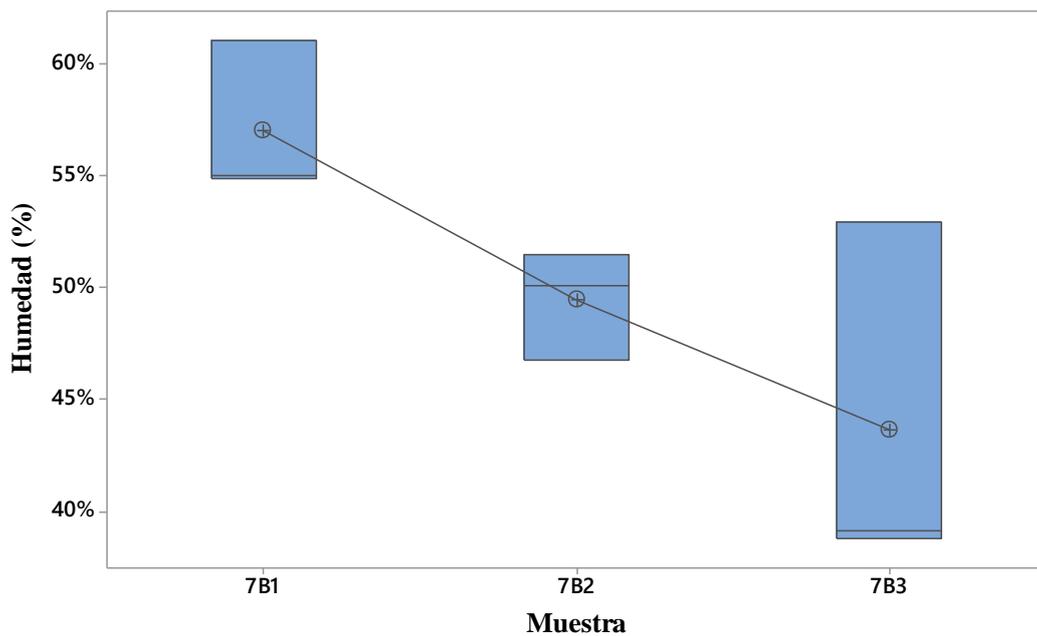
Nota. La tabla muestra los resultados de un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y prueba Tukey con un 95% de confianza para tres sitios de muestreo que tienen tres

mediciones de humedad del sedimento cada uno. En la fuente se presenta la descomposición de la varianza entre el factor (los tres sitios de muestreo) y el error (variabilidad aleatoria).

El valor F y el valor P son medidas de la significancia estadística del factor. En este caso, el valor F es 4,88 y el valor P es 0,055. Un valor P menor a 0,05 indica que hay evidencia significativa de que el factor influye en la humedad del sedimento. En este caso, el valor P es mayor que 0,05, lo que sugiere que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre los tres sitios de muestreo en términos de humedad del sedimento.

Figura 17

Promedio de porcentaje por humedad en las muestras de la laguna de Colta en época seca



Nota. Se puede observar los promedios de humedad en las muestras de sedimento en porcentaje.

Estos resultados indican que hay variabilidad en la humedad entre los sitios de muestreo y que el sitio 7B3=46% difiere significativamente de los sitios 7B1=57%, 7B2=49%. Es importante destacar que la diferencia entre los sitios de muestreo 7B1 y 7B2 no fue estadísticamente significativa, lo que sugiere que estos dos sitios pueden ser considerados similares en términos de humedad. En base a estos resultados se acepta la hipótesis alternativa y se concluye que la humedad en los sitios de muestreo o 7B1, 7B2 y 7B3 no es uniforme, y que se debe tomar en cuenta esta variabilidad en futuros estudios o intervenciones en la zona.

Tabla 15

Análisis de varianza para la humedad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta

ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia

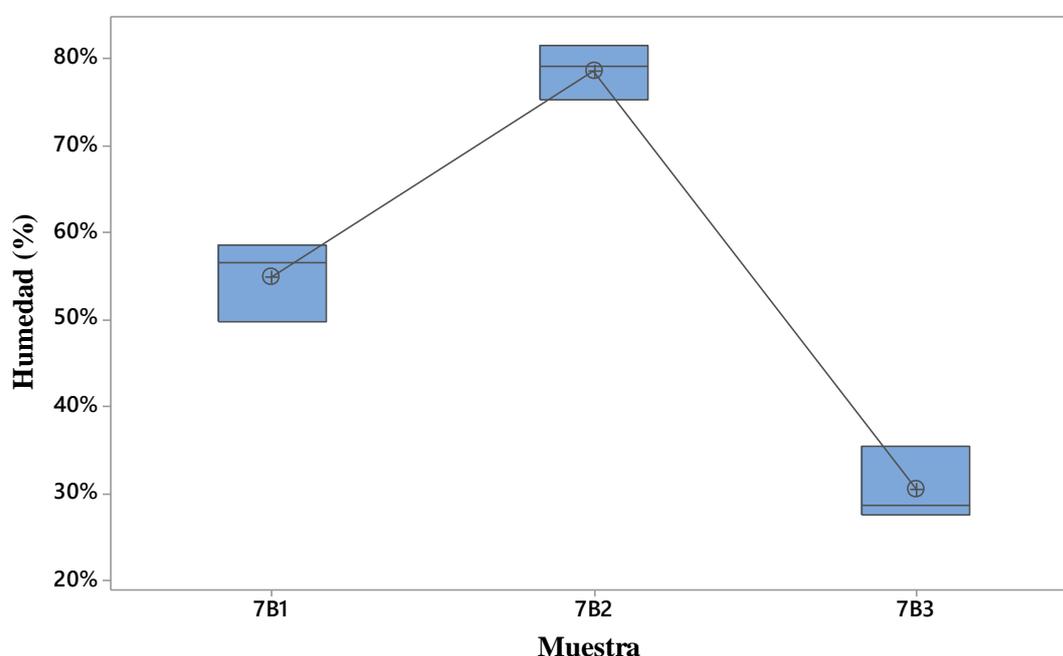
Factor	2	0,34712	0,17356	106,93	0	S
Error	6	0,01002	0,00167			
Total	8	0,35714				

Nota. La tabla muestra los resultados de un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y test de tukey con un 95% de confianza para tres sitios de muestreo que tienen tres mediciones de humedad del sedimento cada uno. En la fuente se presenta la descomposición de la varianza entre el factor (los tres sitios de muestreo) y el error (variabilidad aleatoria).

En este análisis de varianza de una vía, se examinó el efecto de los tres sitios de muestreo en la medición de humedad. Los resultados indican que hay un efecto significativo de los sitios de muestreo en la medición de humedad ($F(2,6) = 106,93$, $p < 0,001$). El factor (sitios de muestreo) explica el 97,18% de la variación en la medición de humedad, mientras que el error explica el 2,82% restante. En conclusión, se puede afirmar que los sitios de muestreo influyen significativamente en la medición de humedad.

Figura 18

Promedio de porcentaje por humedad en las muestras de la laguna de Colta en época lluviosa



Nota. Se puede observar los promedios de humedad en las muestras de sedimento en porcentaje.

Existe una diferencia significativa en la humedad entre los sitios de muestreo 7B1, 7B2 y 7B3. La muestra 7B2 tuvo el mayor promedio de humedad con un valor de 79%, mientras que la muestra 7B3 tuvo el menor promedio de humedad con un valor de 31%. La muestra 7B1 se encontró en un punto intermedio con un promedio de 55%. El sitio 7B2 presenta una humedad significativamente mayor en comparación con los sitios 7B1 y 7B3, mientras que los sitios 7B1 y 7B3 presentan valores de humedad similares entre sí. En base

a estos resultados, se puede concluir que la variabilidad en la humedad entre los sitios de muestreo.

4.2.1.4 Densidad aparente

Tabla 16

Análisis de varianza para la densidad aparente presente en las muestras de sedimento en época seca de la laguna Magtayán

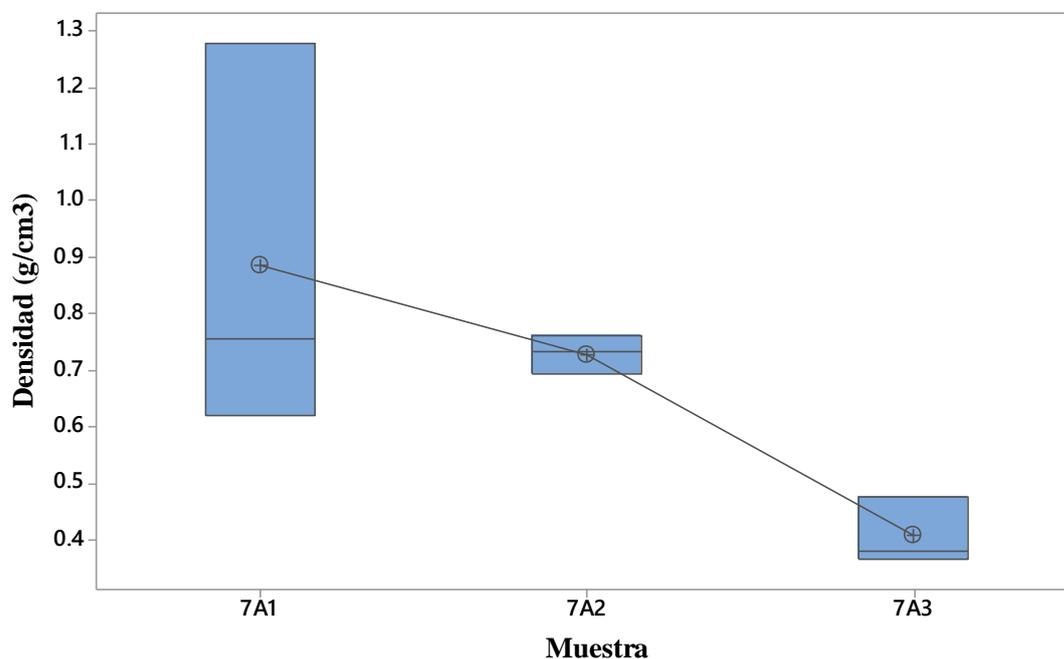
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,3553	0,17765	4,27	0,07	Ns
Error	6	0,2499	0,04165			
Total	8	0,6052				

Nota. La tabla muestra los resultados de un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y test de tukey con un 95% de confianza para tres sitios de muestreo que tienen tres mediciones de densidad del sedimento cada uno. En la fuente se presenta la descomposición de la varianza entre el factor (los tres sitios de muestreo) y el error (variabilidad aleatoria).

Los resultados de la tabla ANOVA indican que no hay una diferencia significativa en la densidad entre las tres muestras de sedimento (factor), con un valor P de 0,07, lo que significa que la diferencia observada en las medias podría ser debido al azar. El valor f de 4,27 indica que la variación entre las medias de las muestras es mayor que la variación dentro de las muestras (error). En general, se concluye que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas en la densidad entre las muestras

Figura 19

Promedio de densidad aparente en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época seca



Nota. Se puede observar los promedios de densidad en las muestras de sedimento.

En este gráfico, se puede observar que la muestra 7A1=0,885 presenta la mayor media de densidad (g/cm^3), seguida por la muestra 7A2 = 0,7280 y finalmente la muestra 7A3= 0,4074 con la menor media de densidad. Además, se puede observar que las medias de las tres muestras se superponen, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre ellas en términos de densidad.

Sin embargo, es importante destacar que el análisis de varianza indicó que no hay diferencias significativas entre las muestras, por lo que los agrupamientos que aparecen en la tabla son incorrectos. Por lo tanto, se podría concluir que, aunque no se encontraron diferencias significativas entre las medias, se debe tener en cuenta la variabilidad en la densidad entre las muestras en futuros estudios o intervenciones en la zona.

Tabla 17

Análisis de varianza para la densidad aparente presente en las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna Magtayán

ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,110392	0,055196	82,46	0	S
Error	6	0,004016	0,000669			
Total	8	0,114408				

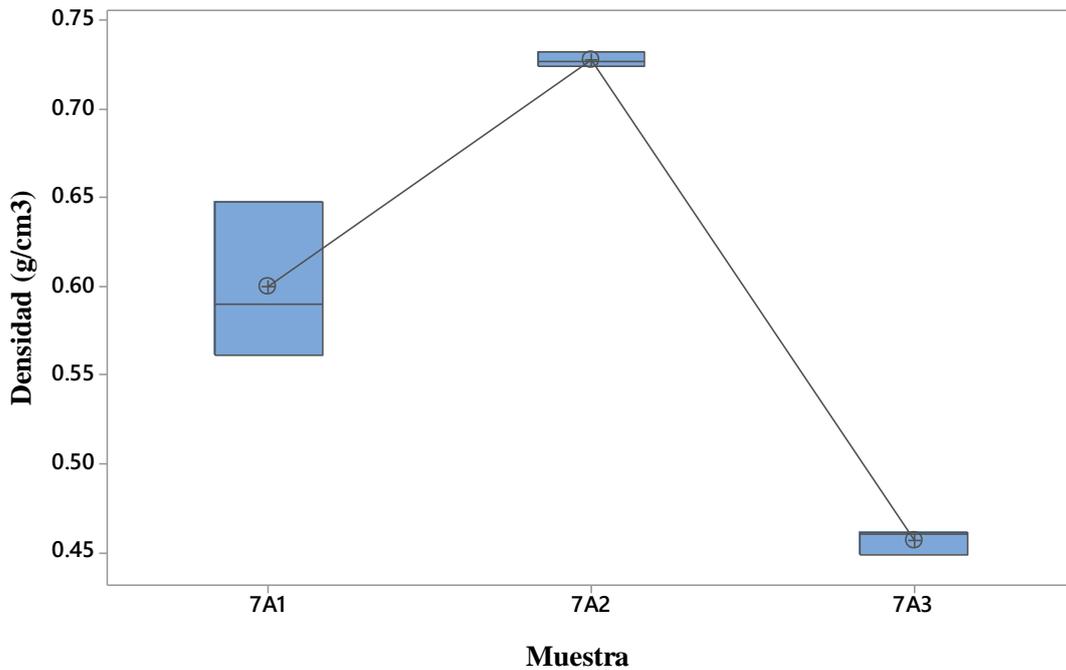
Nota. En la tabla ANOVA presentada, se muestra un análisis de una vía de tres muestras de sedimento en época lluviosa, en la que se evaluaron 3 valores de densidad.

Los resultados indican que la fuente "Factor" (correspondiente a los tres sitios de muestreo) es significativa, con un valor F de 82,46 y un valor P muy bajo (0), lo que sugiere que hay una diferencia significativa entre al menos dos de los tres grupos en términos de densidad del sedimento. El error también se presenta en la tabla, con un valor MSE de 0,000669, y se muestra que la suma de cuadrados ajustados (Sc Ajust) es de 0,110392, mientras que la suma total de cuadrados es de 0,114408. En general, estos resultados indican que hay una fuerte evidencia estadística para concluir que existe una diferencia significativa en la densidad del sedimento entre los tres sitios de muestreo evaluados en época lluviosa.

Aunque las medias de densidad de las tres muestras se superponen, esto no significa necesariamente que las muestras sean completamente iguales en términos de densidad. Podría haber diferencias sutiles entre ellas que no son detectables a simple vista. Además, la falta de significancia estadística en el análisis de varianza no necesariamente significa que no hay efectos de la época seca en la densidad del sedimento en general. Es importante considerar otros factores que podrían afectar la densidad del sedimento, como la humedad del suelo y la actividad humana en la zona.

Figura 20

Promedio de densidad aparente en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época lluviosa



Nota. Se puede observar los promedios de densidad en las muestras de sedimento.

En este gráfico podemos observar que la muestra 7A2 tuvo la mayor media de densidad con un valor de 0,72780, seguida de la muestra 7A1 con una media de 0,5997 y finalmente la muestra 7A3 con una media de 0,45666, lo que sugiere que la muestra 7A2 es la que presentó una mayor compactación del sedimento. Además, el agrupamiento realizado mediante la prueba de Tukey muestra que las muestras 7A2 y 7A1 son estadísticamente similares y presentan una densidad significativamente mayor que la muestra 7A3.

En conclusión, la muestra 7A2 presentó la mayor densidad, lo que indica que recibió la mayor cantidad de lluvia y por lo tanto la más compactada. Esto podría tener implicaciones en la capacidad de infiltración del suelo y la retención de agua en la zona (Sackey, 2014). Sería interesante analizar la relación entre la densidad del sedimento y la infiltración de agua en futuros estudios. Además, el agrupamiento realizado mediante la prueba de Tukey muestra que hay diferencias significativas entre las muestras en términos de densidad, lo que sugiere que la época lluviosa puede tener un efecto significativo en la densidad del sedimento.

Tabla 18

Análisis de varianza para la densidad aparente presente en las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta

ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,19823	0,099114	15,05	0,005	S

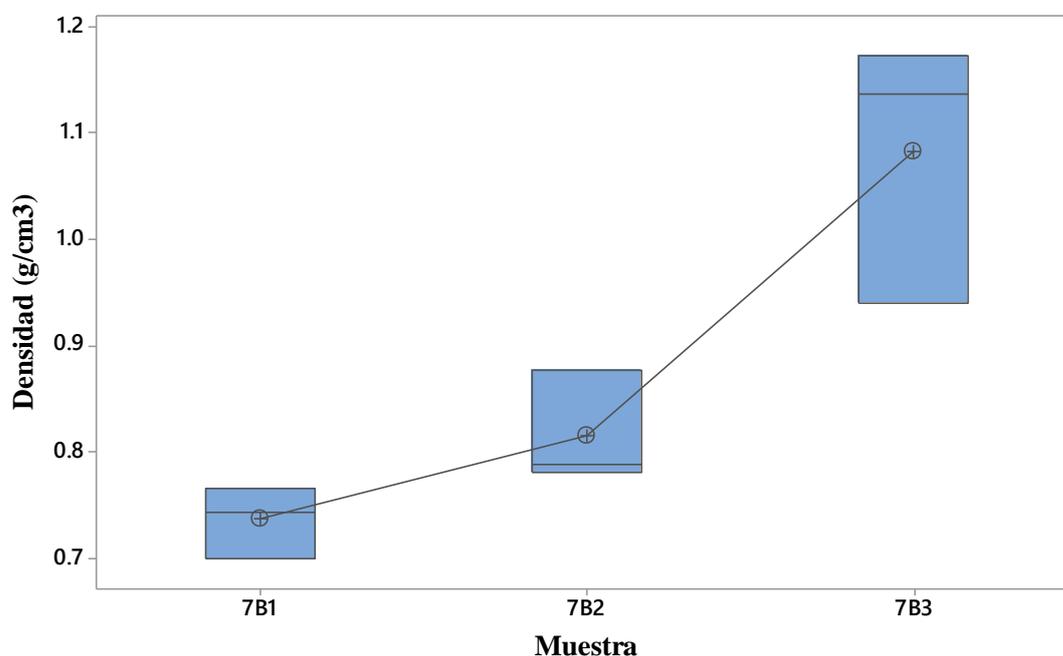
Error	6	0,03952	0,006587
Total	8	0,23775	

Nota. En la tabla ANOVA presentada, se muestra un análisis de una vía de tres muestras de sedimento en época lluviosa, en la que se evaluaron 3 valores de densidad.

El análisis de varianza (ANOVA) muestra que hay una diferencia significativa en la densidad aparente del sedimento entre las tres muestras analizadas en época seca de la laguna de Colta (valor $f = 15,05$, valor $P = 0,005$). El factor en este caso corresponde a las tres muestras de sedimento y el error representa la variabilidad dentro de cada muestra. La fuente de variación entre las muestras (factor) explica el 83,45% de la variabilidad total en la densidad aparente del sedimento en época seca de la laguna de Colta ($Sc\ Ajust = 0,19823$). El valor MC ajust corresponde a la media de la suma de cuadrados de cada muestra dividida por los grados de libertad del factor, lo que indica la cantidad de variabilidad debida al factor. Por otro lado, el error representa el 16,55% de la variabilidad total en la densidad aparente del sedimento (0,03952), lo que sugiere que hay una pequeña variabilidad dentro de cada muestra.

Figura 21

Promedio de densidad aparente en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época seca



Nota. Según el análisis de varianza realizado en la época seca de la laguna de Colta, se encontró que el factor (es decir, las diferentes muestras de sedimento) tuvo un efecto significativo en la densidad aparente del sedimento (valor $f=15,05$, valor $P=0,005$).

Al realizar un gráfico de medias, se observa que la muestra 7B3 tuvo la mayor media de densidad aparente (1,0839). Por otro lado, las muestras 7B2 y 7B1 tuvieron medias menores (0,8163 y 0,7371, respectivamente). Estos resultados indican que la muestra 7A3 puede tener una mayor compactación del sedimento en comparación con las muestras 7B2

y 7B1. Es posible que esto se deba a diferencias en la composición del sedimento o en la forma en que se depositó. Sin embargo, se necesitarían más estudios para confirmar estas hipótesis. En general, estos resultados son relevantes para comprender la dinámica del sedimento en la laguna de Colta durante la época seca.

Tabla 19

Análisis de varianza para la densidad aparente presente en las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta

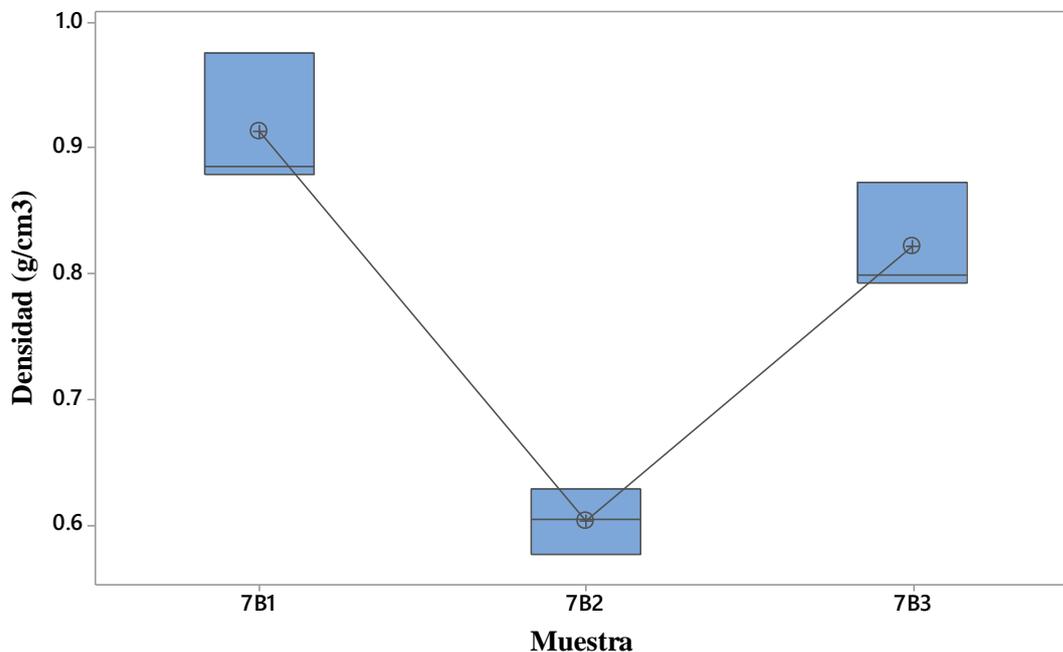
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,15288	0,076439	41,29	0	S
Error	6	0,01111	0,001851			
Total	8	0.16399				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de densidad aparente de sedimento de la laguna de Colta.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) indican que el factor de la época (lluviosa) tiene un efecto significativo en la densidad aparente del sedimento de la laguna de Colta. El valor F es muy alto (41,29) y el valor p es prácticamente cero (0), lo que indica que hay una gran diferencia entre las medias de las muestras y que es muy poco probable que esto sea debido al azar. La fuente de variación "Factor" (época) es significativa con un valor de MC ajustado de 0,076439. El error es relativamente bajo (0,001851), lo que indica que la variación dentro de cada muestra es pequeña en comparación con la variación entre las muestras.

Figura 22

Promedio de densidad aparente en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época lluviosa



Nota. Los resultados de la prueba de ANOVA muestran que hay una diferencia significativa entre las tres muestras de sedimento en términos de su densidad aparente en época lluviosa de la laguna de Colta (Valor $f = 41,29$, Valor $P = 0$).

El gráfico de medias indica que la muestra 7B1 tuvo la mayor densidad aparente (0,9140), seguida por la muestra 7B3 (0,8217), y la muestra 7B2 (0,6032) tuvo la menor densidad aparente. Además, las muestras 7B1 y 7B3 son similares y se separan de la muestra 7B2. Estos resultados sugieren que la época lluviosa puede tener un efecto significativo en la densidad aparente del sedimento de la laguna de Colta, y que las muestras de sedimento recolectadas en la época lluviosa tienen una mayor densidad aparente que las muestras recolectadas en la época seca. También se puede inferir que puede haber una variabilidad significativa en la densidad aparente del sedimento en diferentes partes de la laguna de Colta durante la época lluviosa. En resumen, estos resultados sugieren que la época (lluviosa) tiene un impacto significativo en la densidad aparente del sedimento de la laguna de Colta, lo que podría deberse a factores como la cantidad de precipitación, la turbulencia del agua, la erosión del suelo, entre otros.

4.2.1.5 Porosidad

Tabla 20

Análisis de varianza para la porosidad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna Magtayán

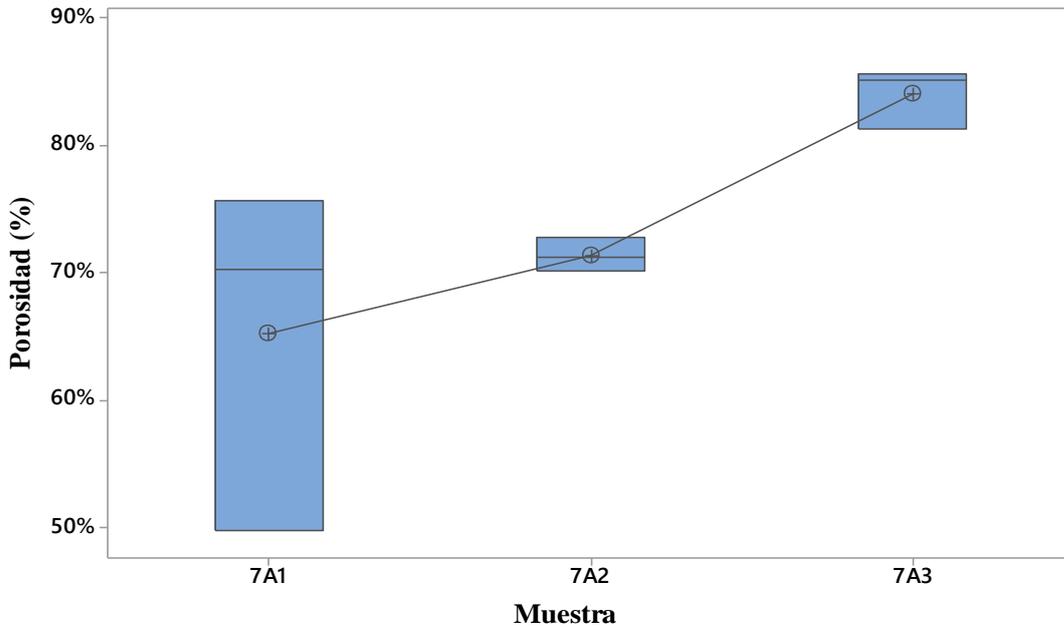
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,05507	0,027536	4,27	0,07	Ns
Error	6	0,03874	0,006456			
Total	8	0,09381				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de porosidad de sedimento de la laguna Magtayán.

La tabla ANOVA sugiere que no hay una diferencia significativa en los valores de porosidad entre las tres muestras. La variación total en los valores de porosidad es de 0,09381, de los cuales 0,05507 se deben al Factor y 0,03874 al Error.

Figura 23

Promedio de porcentaje de porosidad en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época seca



Nota. Se puede observar los promedios de porosidad en las muestras de sedimento en porcentaje.

La gráfica muestra que la media de la muestra 7A3 es la más alta con un valor del 84%, seguida por la muestra 7A2 con una media del 71%, y la muestra 7A1 con una media del 65%. Si comparamos estos resultados con la tabla ANOVA, podemos ver que la Fuente Factor, que se refiere a la variabilidad entre las muestras, no muestra una diferencia estadísticamente significativa. Sin embargo, podemos notar que la media de la muestra 7A3 es la más alta, lo que sugiere que podría haber una tendencia hacia una mayor porosidad en esa muestra.

Tabla 21

Análisis de varianza para la porosidad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna Magtayán

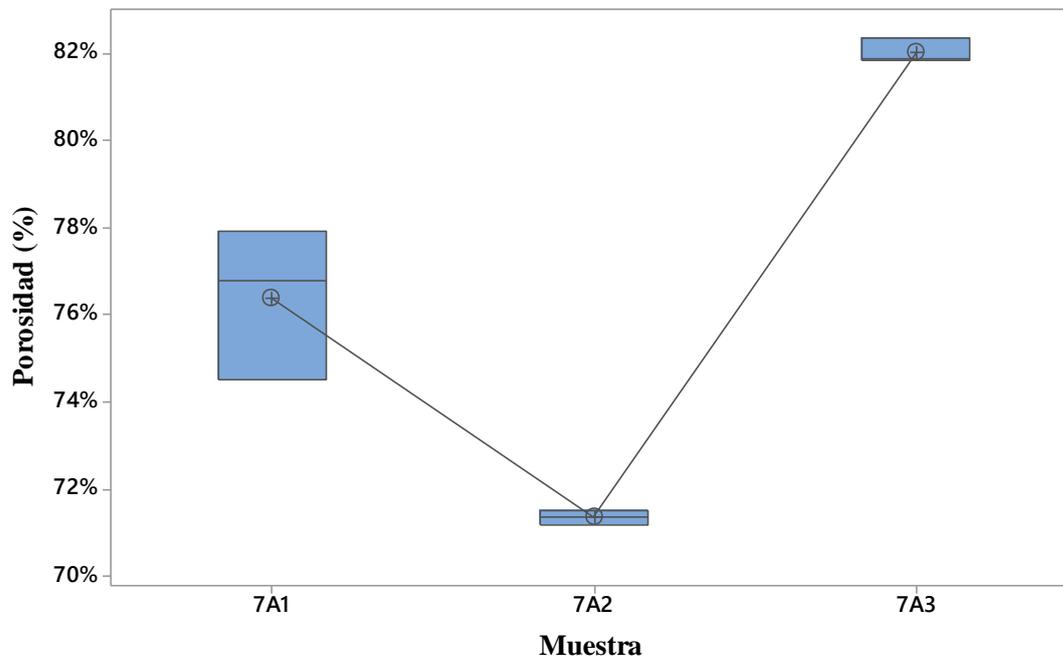
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,017777	0,008555	82,46	0	S
Error	6	0,000623	0,000104			
Total	8	0,017733				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de porosidad de sedimento de la laguna Magtayán.

La Significancia de la Fuente Factor es, por lo tanto, muy significativa ($p < 0,01$). La mayor parte de la variación en los datos se debe a las diferencias entre las muestras. Este resultado sugiere que podría haber diferencias significativas en la composición del sedimento entre las diferentes zonas de la laguna de Magtayán.

Figura 24

Promedio de porcentaje de porosidad en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época lluviosa



Nota. Se puede observar los promedios de porosidad en las muestras de sedimento en porcentaje.

Los promedios de tres muestras de sedimento de la laguna de Colta tienen valores de porosidad diferentes. La muestra 7A3 tiene la media más alta (82%), seguida por la muestra 7A1 (76%) y la muestra 7A2 (71%). La gráfica de medias y los resultados de la tabla ANOVA sugieren que hay una diferencia significativa en los valores de porosidad entre las tres muestras de sedimento de la laguna Magtayán y que la muestra 7A3 tiene una porosidad más alta que las otras dos muestras. Estos resultados podrían ser útiles para futuras investigaciones que busquen entender mejor la composición del sedimento en diferentes zonas de la laguna Magtayán.

Finalmente, Al comparar los resultados de la época seca con la época lluviosa, podemos notar que los valores de porosidad son ligeramente más altos en la época lluviosa. Esto podría deberse a una mayor cantidad de agua que fluye a través del sedimento durante la época lluviosa, lo que podría llevar a una mayor erosión y un aumento en la cantidad de poros en el sedimento. Es importante tener en cuenta que esta es solo una muestra limitada de datos y se necesitarían más mediciones para hacer inferencias más sólidas sobre la porosidad del sedimento en la región de estudio en diferentes épocas del año. En general, los resultados de ambas épocas sugieren que la muestra 7A3 tiene una porosidad más alta que las otras dos muestras, lo que podría tener implicaciones para el transporte de agua y nutrientes en el ecosistema de la laguna Magtayán.

Tabla 22

Análisis de varianza para la porosidad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta

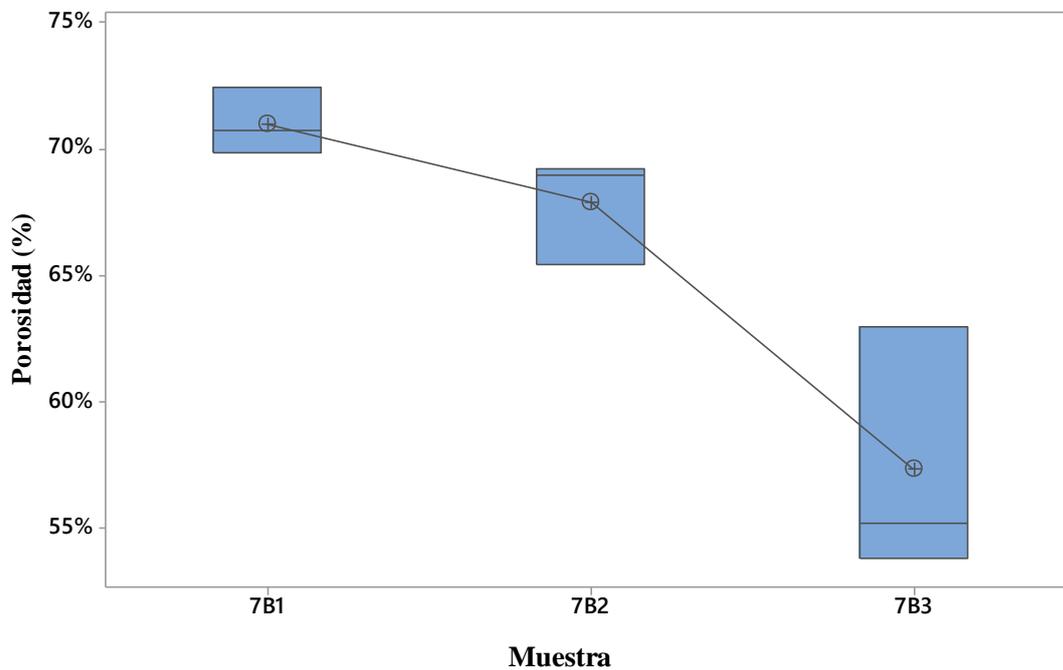
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,030725	0,015363	15,05	0,005	S
Error	6	0,006126	0,001021			
Total	8	0,036851				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de porosidad de sedimento de la laguna de Colta.

El análisis de varianza muestra que hay una fuente de variación significativa (factor) asociada con las diferencias entre los tres sitios de muestreo en términos de la porosidad del sedimento en época seca. Esto se indica por un valor f alto (15,05) y un valor p bajo (0,005). Esto significa que las diferencias entre los tres sitios de muestreo son estadísticamente significativas al nivel de significancia elegido (generalmente 0,05).

Figura 25

Promedio de porcentaje de porosidad en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época seca



Nota. Se puede observar los promedios de humedad en las muestras de sedimento en porcentaje.

Al representar estos datos en un gráfico de medias, podemos visualizar la diferencia en las medias entre los grupos. La porosidad en las muestras 7B1 (71%) y 7B2 (68%) tienen medias similares y, mientras que el grupo 7B3 (57%) tiene una media significativamente menor.

Estos resultados sugieren que hay una diferencia significativa entre los grupos en términos de la variable medida, con los grupos 7B1 y 7B2 siendo similares y el grupo 7B3 siendo diferente de los otros dos.

Tabla 23

Análisis de varianza para la porosidad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta

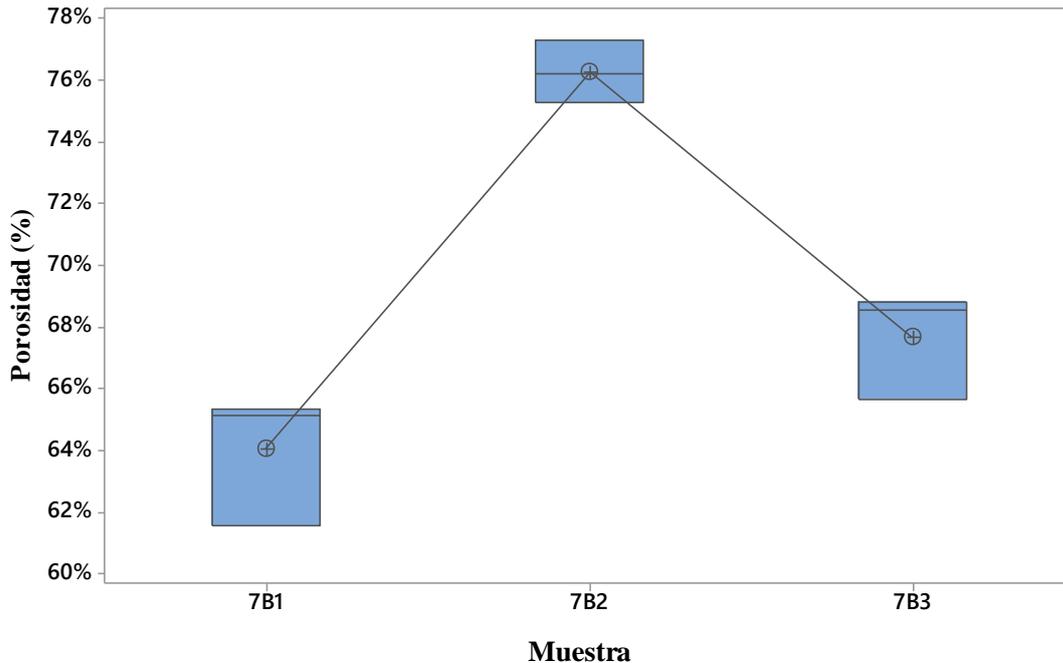
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,023696	0,011848	41,29	0	S
Error	6	0,001722	0,000287			
Total	8	0,025418				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de porosidad de sedimento de la laguna de Colta.

El análisis de varianza muestra que hay una fuente de variación significativa (factor) asociada con las diferencias entre los tres sitios de muestreo en términos de la porosidad del sedimento en época lluviosa. Esto se indica por un valor f alto (41,29) y un valor p bajo (0,005).

Figura 26

Promedio de porcentaje de porosidad en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época lluviosa



Nota. Se puede observar los promedios de porosidad en las muestras de sedimento en porcentaje.

Los datos muestran que la muestra 7B2 tiene la media más alta de porosidad de sedimento (76%), mientras que las muestras 7B3 y 7B1 tienen medias ligeramente más bajas (68% y 64%, respectivamente). Los resultados sugieren que la muestra 7B2 podría tener una

mayor cantidad de espacios vacíos o poros en el sedimento, lo que podría tener implicaciones para el transporte de agua y nutrientes en el ecosistema.

En resumen, podemos concluir que hay una diferencia significativa en la porosidad del sedimento entre los grupos en ambas épocas del año. En la época seca, los grupos 7A1 y 7A2 tienen medias similares y son diferentes del grupo 7A3, mientras que, en la época lluviosa, la muestra 7B2 tiene la media más alta y es diferente de las muestras 7B3 y 7B1. Estos resultados podrían indicar variaciones en la estructura del sedimento en los diferentes sitios de muestreo, lo que puede tener consecuencias importantes para el transporte de agua y nutrientes en el ecosistema. Es importante tener en cuenta que los resultados se basan en una muestra limitada de datos y sería necesario realizar más mediciones para confirmar estos hallazgos.

4.2.1.6 Conductividad

Tabla 24

Análisis de varianza para la conductividad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Magtayán

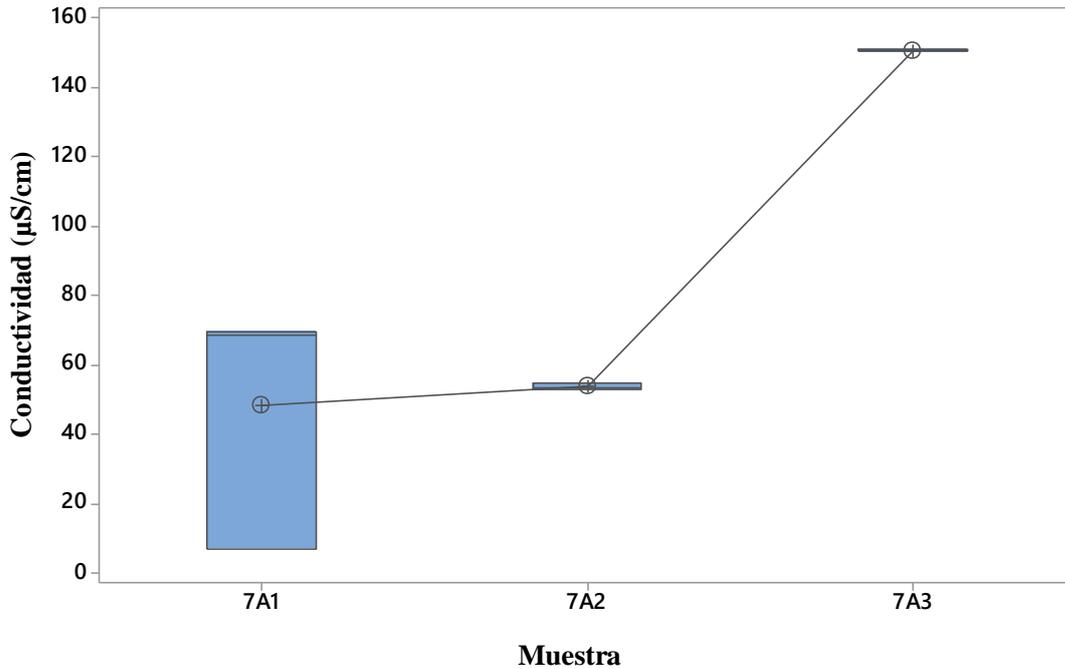
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	19906	9952,8	23,11	0,002	S
Error	6	2584	430,7			
Total	8	22490				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de conductividad de sedimento.

Se observa un factor con dos grados de libertad, el cual tiene una suma de cuadrados ajustada de 19906 y una media de cuadrados ajustada de 9952,8. El valor f obtenido fue de 23,11, con un valor P de 0,002, lo que indica que este factor es estadísticamente significativo. En resumen, el análisis indica que hay una diferencia significativa en la conductividad entre las tres muestras de sedimento, lo que sugiere que estas muestras pueden estar influenciadas por algún factor que está afectando la conductividad.

Figura 27

Promedio de conductividad en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época seca



Nota. Se puede observar los promedios de conductividad en las muestras de sedimento.

En la gráfica, se puede observar que el promedio de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de la muestra 7A3= 150,60 es claramente más alta que los promedios de las muestras 7A1= 48,3 y 7A2= 53,63, Esto sugiere que hay una diferencia significativa entre los grupos en términos de la variable medida, que es la conductividad del sedimento. El análisis determina que las muestras son diferentes y podrían deberse a diferentes factores, como la composición del sedimento o las condiciones climáticas.

Tabla 25

Análisis de varianza para la conductividad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Magtayán

ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	10446,8	5223,39	1141,03	0	S
Error	6	27,5	4,58			
Total	8	10474,2				

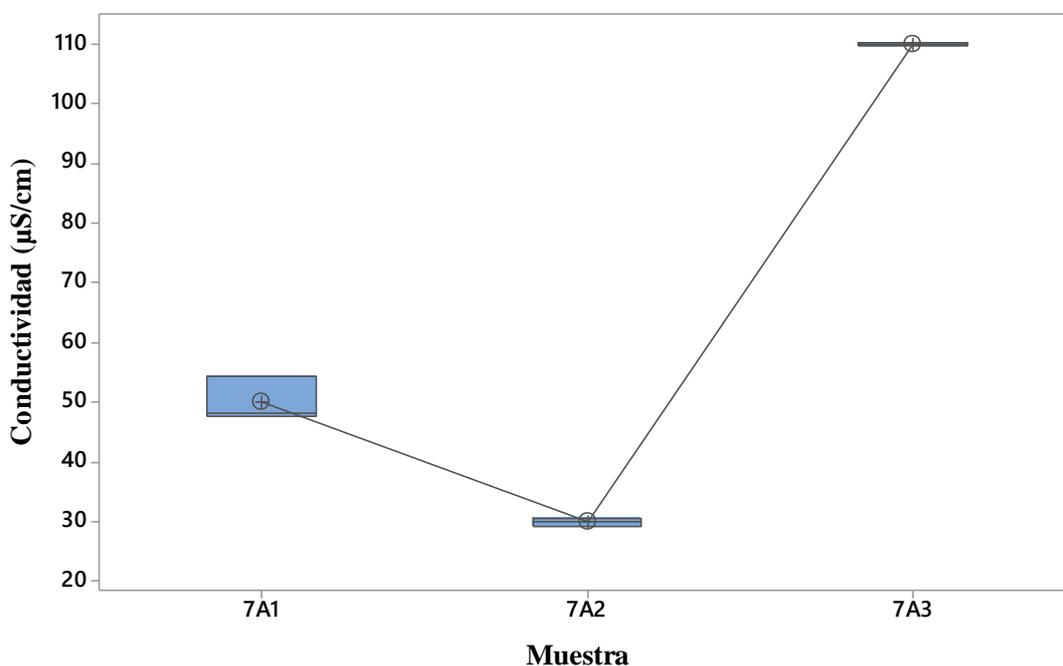
Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de conductividad de sedimento.

Los resultados de la tabla ANOVA muestran que existe una diferencia significativa en la conductividad eléctrica del sedimento entre las tres muestras en época seca de la laguna. El factor analizado explica el 99,74% de la variación total en la conductividad eléctrica, lo que indica que es un factor muy importante. El valor de p es menor que 0,05, lo que significa

que la diferencia observada es estadísticamente significativa. En resumen, los datos sugieren que la conductividad eléctrica del sedimento varía significativamente entre las tres muestras.

Figura 28

Promedio de conductividad en las muestras de sedimento de la laguna Magtayán en época lluviosa



Nota. Se puede observar los promedios de conductividad en las muestras de sedimento.

El gráfico de medias muestra que la muestra 7A3 tiene la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) más alta con un valor promedio de 110, seguida de la muestra 7A1 con un valor promedio de 50,00, y la muestra 7A2 tiene la conductividad eléctrica más baja con un valor promedio de 29,767. Además, se puede observar que la muestra 7A3 y la 7A1 son estadísticamente diferentes de la muestra 7A2. En conclusión, estos resultados sugieren que la conductividad eléctrica en época lluviosa en la laguna de Colta varía significativamente entre las muestras de sedimento analizadas.

Tabla 26

Análisis de varianza para la conductividad de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta

ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	48606,4	24303,2	86797,15	0,005	S
Error	6	1,7	0,3			
Total	8	48608,1				

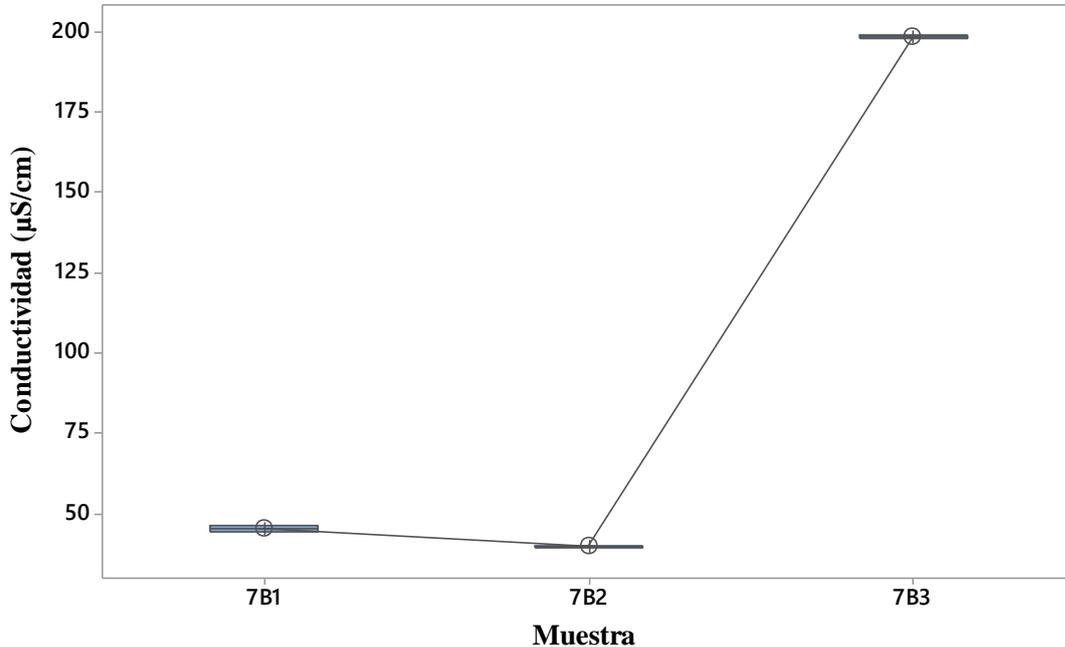
Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de conductividad de sedimento de la laguna de Colta.

Los resultados mostraron una diferencia significativa entre las medias de las muestras (valor $f = 86797,15$, valor $p = 0,005$). El análisis de agrupamiento posterior indicó que la

muestra con la conductividad eléctrica más alta presentó una diferencia significativa con las otras dos muestras.

Figura 29

Promedio de conductividad en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época seca



Nota. Se puede observar los promedios de conductividad en las muestras de sedimento.

El análisis de agrupamiento mostró que la muestra 7B3 presentó una conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) significativamente mayor (media = 198,433) en comparación con las muestras 7B1 (media = 45,467) y 7B2 (media = 39,7667), las cuales no presentaron diferencias significativas entre sí. Estos resultados sugieren que la muestra 7B3 podría tener una mayor concentración de sales disueltas en el sedimento en comparación con las otras muestras, lo cual podría tener implicaciones en la calidad del agua de la laguna.

Tabla 27

Análisis de varianza para la conductividad de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta

ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	240324	120162	268,75	0	S
Error	6	2683	447			
Total	8	243007				

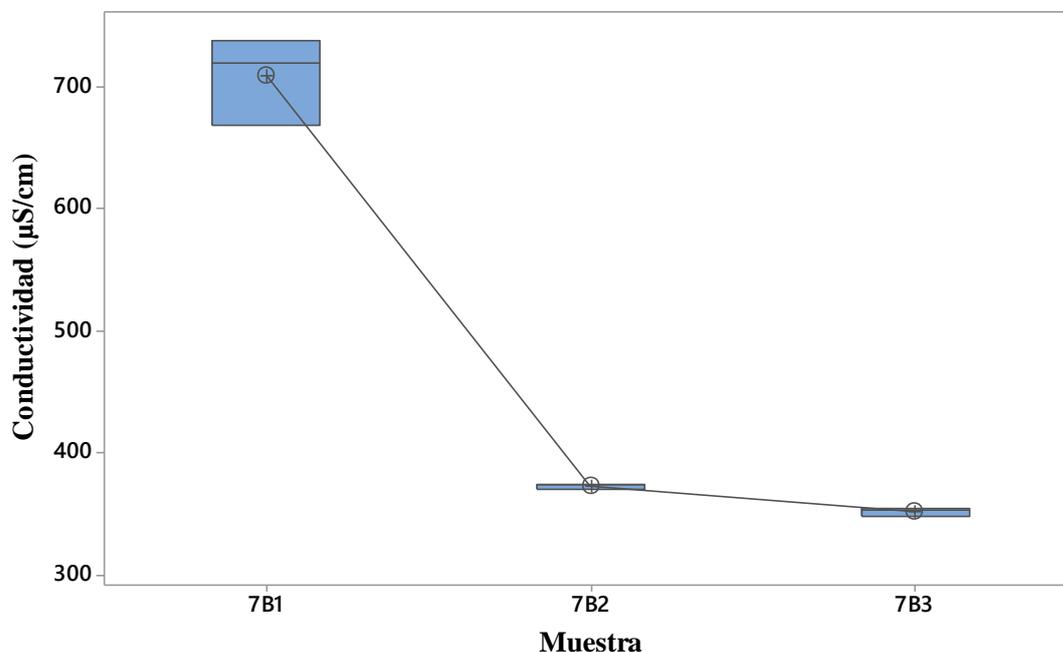
Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de conductividad de sedimento de la laguna de Colta.

Los resultados mostraron una diferencia significativa entre las medias de las muestras (valor $f = 268,75$, valor $p = 0$). Lo que indica que hay una diferencia significativa entre las

tres muestras de sedimento de la laguna de Colta en época lluviosa en términos de conductividad eléctrica.

Figura 30

Promedio de conductividad en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época lluviosa



Nota. Se puede observar los promedios de conductividad en las muestras de sedimento.

El análisis de agrupamiento mostró que la muestra 7B1 presentó una conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) significativamente mayor (media = 708,7) en comparación con las muestras 7B2 (media = 373,00) y 7B3 (media = 352,00), las cuales no presentaron diferencias significativas entre sí. Estos resultados sugieren que la muestra 7B3 podría tener una mayor concentración de sales disueltas en el sedimento en comparación con las otras muestras, lo cual podría tener implicaciones en la calidad del agua de la laguna.

4.2.1.7 pH

Tabla 28

Análisis de varianza para el pH de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Magtayán

ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,909622	0,454811	744,24	0	S
Error	6	0,003667	0,00611			
Total	8	0,913289				

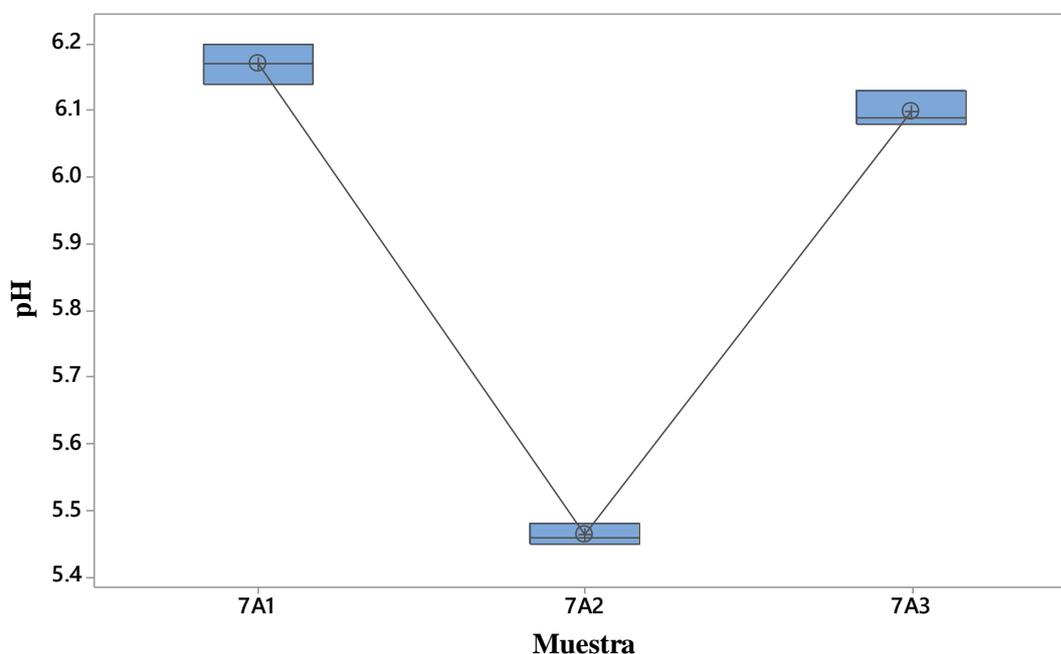
Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de pH.

La tabla ANOVA muestra una significancia altamente estadística ($p < 0,05$), lo que indica que existe una diferencia significativa entre los grupos de pH en la época seca de las muestras de sedimento analizadas. El factor ha contribuido significativamente a la varianza

total de los datos, ya que su valor F es muy alto (744,24), y la proporción de la varianza explicada por el factor es alta (0,909622). Por otro lado, el error residual es bajo (0,003667), lo que sugiere que la variación dentro de cada grupo es pequeña en comparación con la variación entre los grupos. En resumen, los resultados indican que los valores de pH son diferentes entre los grupos analizados en la época seca, lo que sugiere que podría haber diferencias en la composición de los sedimentos.

Figura 31

Promedio de pH en las muestras de sedimento de la laguna de Magtayán en época seca



Nota. Se puede observar los promedios de pH en las muestras de sedimento.

La prueba de agrupamiento de medias indicó que la muestra 7A1 presentó un valor de pH significativamente mayor con un valor de 6,17, respecto a las otras dos muestras (7A2=5,46, 7A3=6,10), que a su vez no presentaron diferencias significativas entre sí. Estos resultados sugieren que hay una influencia significativa de la muestra de sedimento en los valores de pH en época seca, siendo la muestra 7A1 la que presentó los valores más altos. Este hallazgo puede ser importante para comprender la calidad del agua en la laguna de Magtayán, ya que el pH es un parámetro clave para la salud de los ecosistemas acuáticos y puede afectar la supervivencia de los organismos acuáticos.

Tabla 29

Análisis de varianza para el pH de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Magtayán

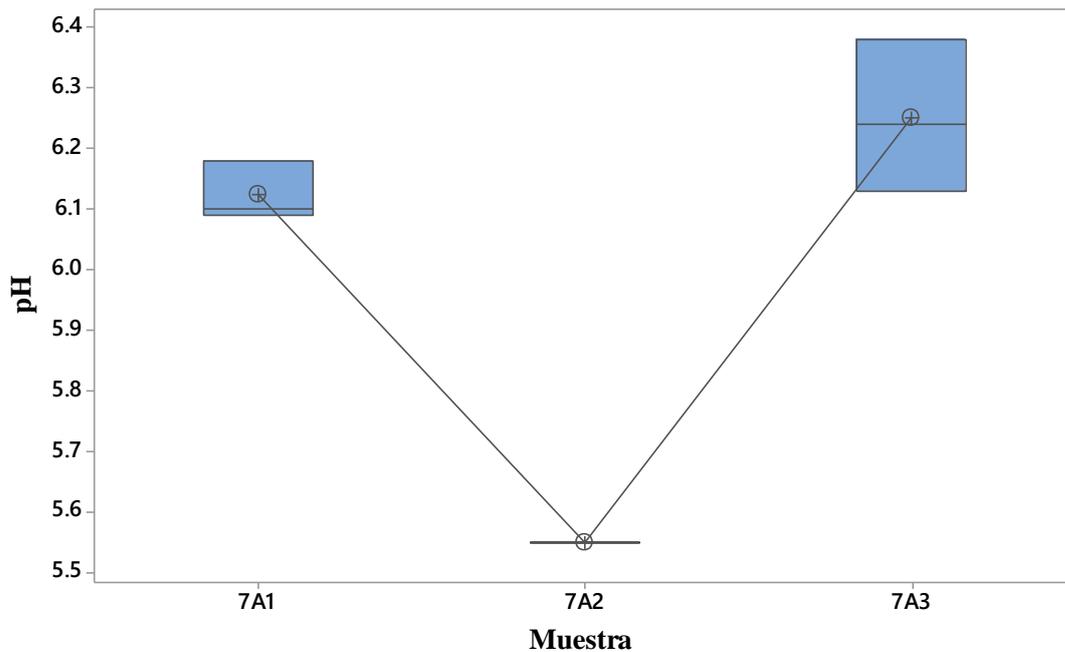
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,83476	0,417378	69,05	0	S
Error	6	0,03627	0,006044			
Total	8	0,87102				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de pH.

La tabla ANOVA muestra que la fuente de variación "Factor" (diferentes valores de pH) es significativa en la época lluviosa, ya que el valor p asociado es menor que el nivel de significancia comúnmente utilizado de 0,05. Esto indica que al menos uno de los valores de pH tiene un efecto significativo sobre la variable medida. Además, el valor f es alto, lo que sugiere que la varianza entre los grupos es mucho mayor que la varianza dentro de los grupos. Por otro lado, la fuente de variación "Error" (variación dentro de cada grupo) es relativamente pequeña en comparación con la fuente "Factor". En general, estos resultados sugieren que hay una relación significativa entre los diferentes valores de pH y la variable medida durante la época lluviosa.

Figura 32

Promedio de pH en las muestras de sedimento de la laguna de Magtayán en época lluviosa



Nota. Se puede observar los promedios de pH en las muestras de sedimento.

En el gráfico de medias se puede observar que las muestras 7A3= 6,25 y 7A1=6,12 tienen valores de pH similares, y ambos son mayores al valor de la muestra 7A2=5,50. Este patrón se refleja en el análisis de varianza (ANOVA), donde el factor de tratamiento (las tres muestras de sedimento) resultó significativo con un valor p de 0. En otras palabras, hay diferencias significativas entre al menos dos de las tres muestras de sedimento en cuanto al valor de pH. Los resultados sugieren que las muestras 7A3 y 7A1 son similares y ambas tienen un valor de pH mayor que la muestra 7A2.

Tabla 30

Análisis de varianza para el pH de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta

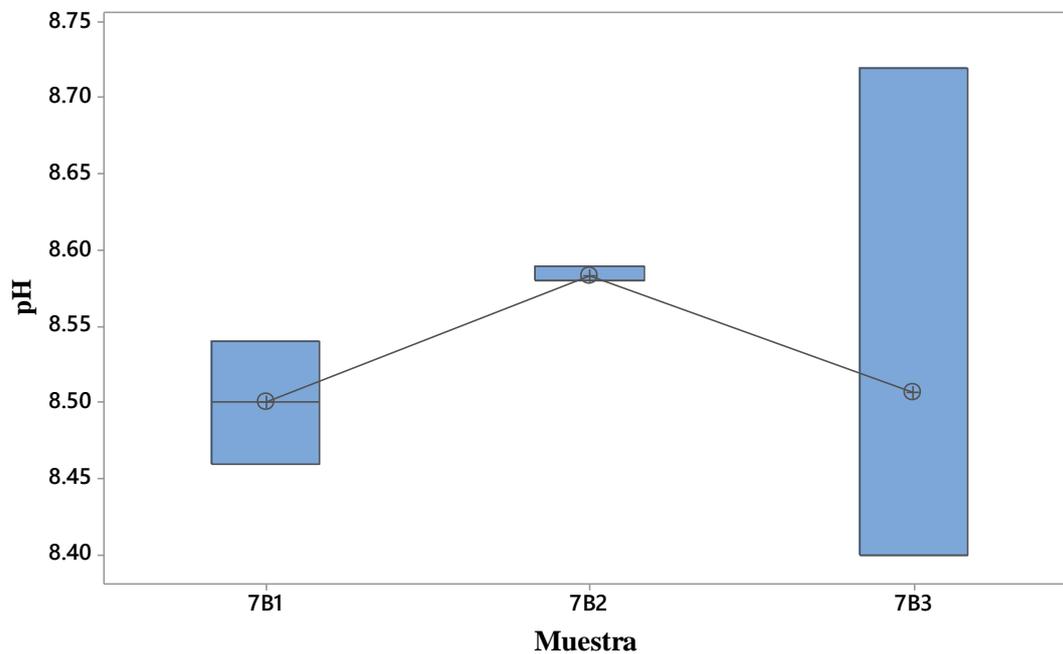
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,01287	0,006433	0,54	0,609	Ns
Error	6	0,07153	0,011922			
Total	8	0,0844				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de pH.

Los resultados de la tabla ANOVA muestran que el factor de los tres valores de pH no tuvo un efecto significativo en la época seca, ya que el valor F de 0,54 fue menor que el valor crítico y el valor P de 0,609 fue mayor que el nivel de significancia establecido. Por lo tanto, se concluye que no hay diferencias significativas entre las medias de los tres grupos de pH en época seca.

Figura 33

Promedio de pH en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época seca



Nota. Se puede observar los promedios de pH en las muestras de sedimento.

Los tres valores de pH analizados en las muestras de sedimento en época seca son muy similares. Esto sugiere que no hay diferencias significativas en los valores de pH entre las tres muestras analizadas en esta época del año. Es importante tener en cuenta que esta conclusión solo se refiere a las muestras analizadas en este estudio, y no se puede generalizar a otras muestras o épocas del año.

Tabla 31

Análisis de varianza para el pH de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta

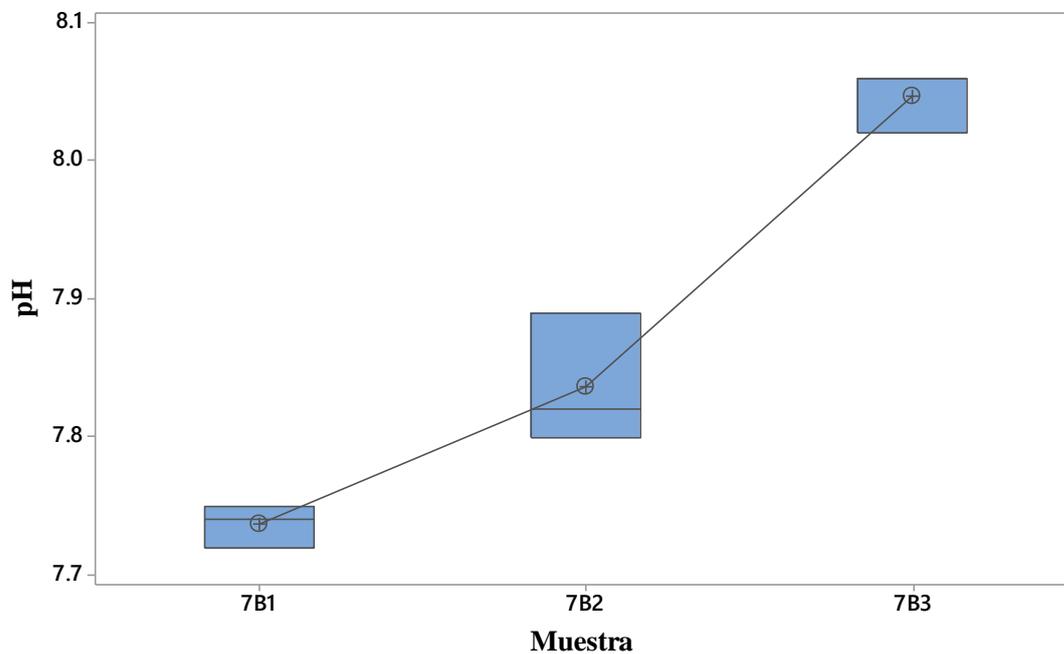
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,1502	0,0751	75,1	0	S
Error	6	0,006	0,001			
Total	8	0,01562				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de pH.

Los resultados de la ANOVA indican que la variable del factor fue significativa, con un valor f de 75,1 y un valor p de 0. El error fue bajo, con un MC ajustado de 0,001 y una suma de cuadrados ajustada de 0,006. En resumen, podemos concluir que la variable del factor tuvo un efecto significativo en los valores de pH en esta época.

Figura 34

Promedio de pH en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época lluviosa



Nota. Se puede observar los promedios de pH en las muestras de sedimento.

La muestra 7B3 tuvo la media más alta de pH (8,0467), seguida por la muestra 7B2 (7,8367), mientras que la muestra 7B1 tuvo la media más baja de pH (7,73667). Esto sugiere que las muestras 7B3 y 7B2 pueden tener un mayor nivel de alcalinidad que la muestra 7B1. En general, estos resultados indican que la época lluviosa puede tener un efecto significativo en el pH del sedimento.

4.2.1.8 Materia Orgánica

Magtayan

Tabla 32

Análisis de varianza para materia orgánica de las muestras de sedimento en época seca de la laguna Magtayán

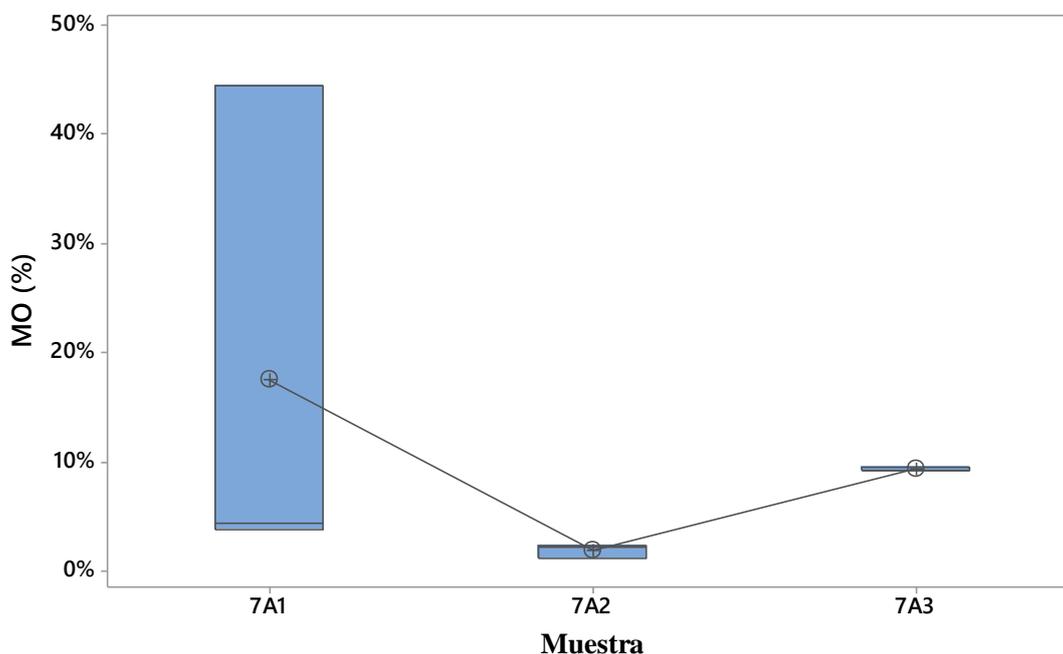
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,03674	0,01837	1,02	0,415	Ns
Error	6	0,10797	0,01799			
Total	8	0,14471				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de materia orgánica.

La tabla ANOVA muestra que el factor de los tres tratamientos no es significativo para explicar las diferencias en los porcentajes de materia orgánica del sedimento en época seca, ya que el valor p asociado al factor es de 0,415. Por lo tanto, se concluye que los porcentajes de materia orgánica en el sedimento en época seca no difieren significativamente entre los tres tratamientos analizados.

Figura 35

Promedio de materia orgánica en las muestras de sedimento de la laguna de Magtayán en época seca



Nota. Se puede observar los promedios de materia orgánica en las muestras de sedimento en porcentaje.

Según el análisis de medias de la tabla, se encontró que la muestra 7A1 presentó el mayor porcentaje de materia orgánica con un promedio de 18%. En contraste, las muestras 7A2 y 7A3 presentaron porcentajes significativamente menores con valores promedio de 2% y 1%. Este resultado sugiere una variabilidad significativa en el contenido de materia orgánica del sedimento en la zona de estudio durante la época lluviosa, siendo la muestra

7A1 la que presenta un mayor nivel de degradación de la materia orgánica, mientras que las muestras 7A2 y 7A3 presentan una menor degradación.

Tabla 33

Análisis de varianza para materia orgánica de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna Magtayán

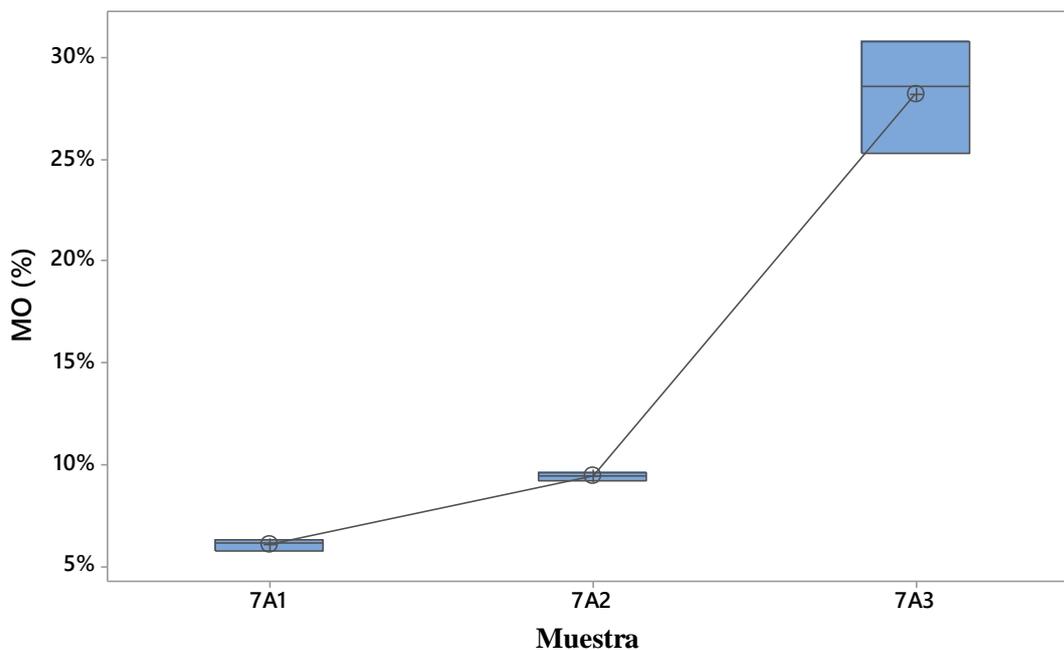
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,085853	0,042927	166,76	0	S
Error	6	0,001545	0,000257			
Total	8	0,087398				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de materia orgánica.

La tabla ANOVA muestra que la variable de porcentaje de materia orgánica en sedimentos en época lluviosa es significativamente afectada por el factor de agrupamiento, ya que el valor F es muy alto (166,76) y el valor p es muy bajo (0), lo que sugiere una fuerte asociación entre el factor y la variable. Por otro lado, el error y el total son relativamente bajos en comparación con la suma de cuadrados ajustada del factor, lo que indica que la mayor parte de la variabilidad en los datos se explica por las diferencias entre los grupos. En resumen, se puede concluir que el porcentaje de materia orgánica en sedimentos en época lluviosa varía significativamente entre los grupos.

Figura 36

Promedio de materia orgánica en las muestras de sedimento de la laguna de Magtayán en época lluviosa



Nota. Se puede observar los promedios de materia orgánica en las muestras de sedimento en porcentaje.

Según el análisis de medias de la tabla, se encontró que la muestra 7A3 presentó el mayor porcentaje de materia orgánica con un promedio de 28%. En contraste, las muestras 7A2 y 7A1 presentaron porcentajes significativamente menores con valores promedio de 9% y 6%.

Tabla 34

Análisis de varianza para materia orgánica de las muestras de sedimento en época seca de la laguna de Colta

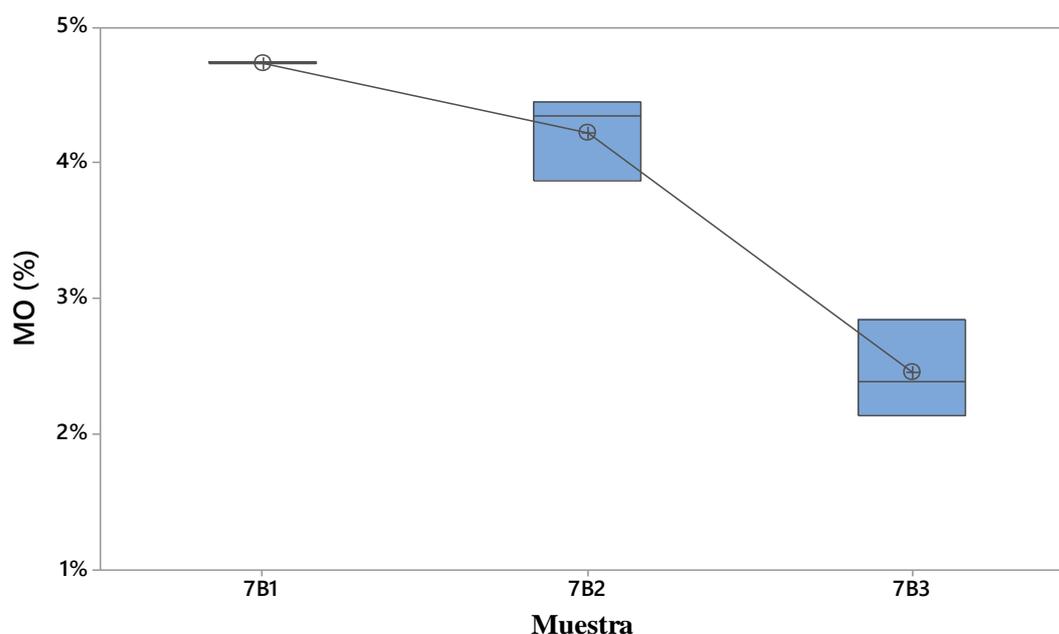
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,00861	0,00431	57,45	0,005	Ns
Error	6	0,00045	0,00007			
Total	8	0,000906				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de materia orgánica.

Se encontró que la fuente factor tuvo un efecto significativo en la variabilidad de los datos, con un valor f de 57,45 y un valor p de 0,005, indicando una diferencia estadísticamente significativa entre al menos dos de las tres muestras. El error residual obtenido fue bajo, lo que sugiere una buena precisión en la medida y un ajuste adecuado del modelo. En resumen, se puede concluir que existen diferencias significativas en los porcentajes de materia orgánica entre las muestras de sedimento en época seca analizadas.

Figura 37

Promedio de materia orgánica en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época seca



Nota. Se puede observar los promedios de materia orgánica en las muestras de sedimento en porcentaje.

Durante la época seca, se observa que las muestras 7B1(5%) y 7B2(4%) presentan valores similares de materia orgánica, mientras que la muestra 7B3(2%) muestra un valor significativamente menor. Estos hallazgos indican que, en general, la materia orgánica presente en el sedimento durante la época seca varía significativamente entre las diferentes muestras.

Tabla 35

Análisis de varianza para materia orgánica de las muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta

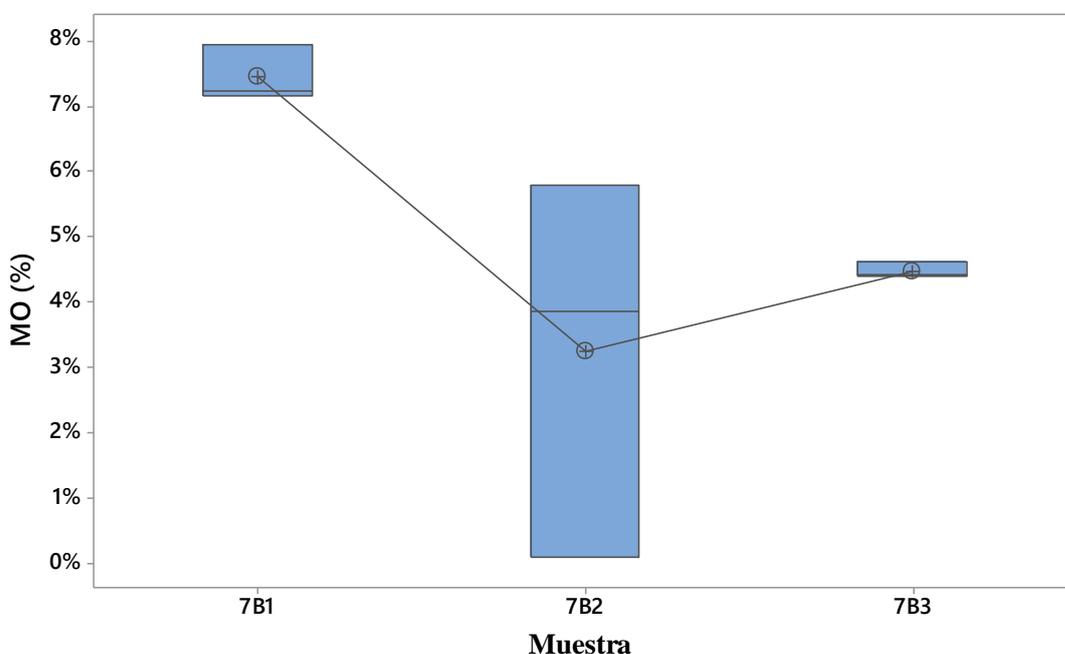
ANOVA						
Fuente	GL	Sc Ajust	MC ajust	Valor f	Valor P	Significancia
Factor	2	0,002786	0,001393	4,85	0,056	Ns
Error	6	0,001723	0,000287			
Total	8	0,004509				

Nota. Análisis de varianza de una vía para tres muestras que tienen 3 valores de materia orgánica.

El análisis de varianza (ANOVA) de las tres muestras de sedimento en época lluviosa de la laguna de Colta para la materia orgánica arrojó un valor F de 4,85 con un valor P de 0,056, lo que indica que no hay una diferencia significativa en los porcentajes de materia orgánica entre las tres muestras. Los resultados sugieren que los porcentajes de materia orgánica de las muestras de sedimento son similares y que la época lluviosa no tiene un efecto significativo en estos porcentajes.

Figura 38

Promedio de materia orgánica en las muestras de sedimento de la laguna de Colta en época lluviosa



Nota. Se puede observar los promedios de materia orgánica en las muestras de sedimento en porcentaje.

La muestra 7B1 presentó el valor más alto con 7%, seguida por la muestra 7B3 con un valor medio de 4%, mientras que la muestra 7B2 presentó el valor medio más bajo con 3%. Por lo tanto, aunque no se puede afirmar que haya una diferencia significativa entre las tres muestras, sí se puede observar una tendencia en la cual la muestra 7B1 presenta un mayor contenido de materia orgánica en comparación con las otras dos muestras.

4.2.2 Presencia de metales pesados y límite de detección

De los siete metales de interés, en algunos sitios no se detectó la presencia de cadmio, níquel, plomo, cobre, zinc en los sedimentos analizados tanto para época seca como lluviosa de cada laguna, por una parte, están las concentraciones que si superaron el nivel de detección del equipo (espectrofotómetro) y por otro las que no. “Tabla 36”, “Tabla 37”.

Tabla 36

Concentración de metales en época seca

Código de muestra	Concentración (ppm)						
	Cadmio (Cd) 0,002	Hierro (Fe) 0,02	Níquel (Ni) 0,02	Manganeso (Mn) 0,01	Plomo (Pb) 0,05	Cobre (Cu) 0,01	Zinc (Zn) 0,005
7A1	ND	1420,285	ND	427,114	ND	ND	22,389
7A2	ND	1005,297	ND	60,724	ND	ND	3,454
7A3	ND	1522,272	ND	496,214	ND	ND	6,703
7B1	ND	224,896	ND	270,214	ND	ND	6,873
7B2	ND	8479,740	ND	114,270	ND	ND	ND
7B3	ND	4454,894	ND	48,515	ND	ND	ND

Nota. Las siglas “ND” significa no detectables, la concentración ppm se expresa en $\frac{mg}{L}$

De modo que, la concentración de metales en época seca “Tabla 36” fueron; para el cadmio (Cd), menor que 0,002 ppm por lo que, no son detectables, hierro (Fe) que varía entre 220 y 8480 ppm en las muestras de cada laguna (7A-7B) siendo superior al límite de detección (0,02 ppm), el níquel (Ni) fue menor que el límite de detección (0,02 ppm) lo que no es detectable, el manganeso (Mn) que varía entre 60 y 497 ppm en las muestras, siendo superior al límite de detección (0,01 ppm) asimismo, para el plomo (Pb) la concentración fue menor que el límite de detección (0,05 ppm), también para el cobre (Cu) fueron menores al límite de detección (0,01 ppm) y no fue posible detectarlos, finalmente la concentración del zinc (Zn) en las muestras 7A1, 7A2, 7A3,7B1 fueron mayor que el límite de detección (0,005 ppm), concentraciones detectadas por el equipo, mientras que en las muestras 7B2 y 7B3 se obtuvieron datos menores que el límite de detección (0,005 ppm) lo cual no son detectables.

Tabla 37*Resultados de concentración de metales en época lluviosa*

Código de muestra	Concentración (ppm)						
	Cadmio (Cd)	Hierro (Fe)	Níquel (Ni)	Manganeso (Mn)	Plomo (Pb)	Cobre (Cu)	Zinc (Zn)
	0,002	0,02	0,02	0,01	0,05	0,01	0,005
7A1	ND	1679,559	ND	683,231	ND	ND	1,488
7A2	ND	106,669	ND	533,246	ND	ND	ND
7A3	ND	1051,686	ND	80,323	ND	ND	ND
7B1	ND	9822,477	ND	131,780	ND	ND	1,481
7B2	ND	1077,773	ND	199,215	ND	ND	2,383
7B3	ND	9612,181	ND	107,112	ND	ND	12,398

Nota. Las siglas “ND” significa no detectables, la concentración ppm se expresa en $\frac{mg}{L}$

La concentración de metales en época lluviosa “Tabla 37” fueron; para el cadmio (Cd), menor que 0,002 ppm por lo que, no son detectables, hierro (Fe) que varía entre 106 y 9820 ppm en las muestras de cada laguna (7A-7B) siendo superior al límite de detección (0,02 ppm), el níquel (Ni) fue menor que el límite de detección (0,02 ppm) lo que no es detectable, el manganeso (Mn) que varía entre 80 y 684 ppm en las muestras siendo superior al límite de detección (0,01 ppm) asimismo, para el plomo (Pb) la concentración fue menor que el límite de detección (0,05 ppm), también para el cobre (Cu) fueron menores al límite de detección (0,01 ppm) y no fue posible detectarlos, finalmente la concentración de zinc en las muestras 7A1,7B1,7B2 Y 7B3 fueron mayor que el límite de detección (0,005 ppm), concentraciones detectadas por el equipo, mientras que en las muestras 7A2 y 7A3 se obtuvieron datos menores que el límite de detección (0,005 ppm) lo cual no son detectables.

4.2.3 Concentración de metales pesados según la estacionalidad

A continuación, se presentan los resultados encontrados para cada metal:

Tabla 38*Concentración de metales pesados en sedimentos*

Laguna	Época	Código de muestra	Concentración (ppm)		
			Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Zinc (Zn)
Magtayán	Seca	7A1	1420,285	427,114	22,389
		7A2	1005,297	60,724	3,455
		7A3	1522,273	496,214	6,703
	Lluviosa	7A1	1679,56	683,231	1,488
		7A2	106,669	533,246	0
		7A3	1051,686	80,323	0

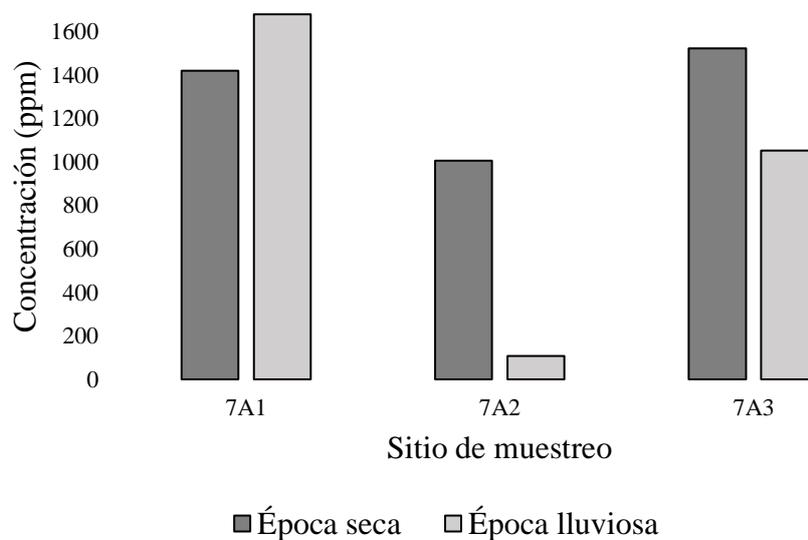
Colta	Seca	7B1	224,896	270,214	6,873
		7B2	8479,74	114,27	0
		7B3	4454,895	48,515	0
	Lluviosa	7B1	9822,477	131,78	1,481
		7B2	1077,773	199,215	2,383
		7B3	9612,182	107,112	12,398

Nota. La concentración de Zinc en las muestras 7A2, 7A3 de los sedimentos de la laguna Magtayán en época lluviosa y 7B2, 7B3 de la laguna Colta en época seca, no fueron detectables.

4.2.3.1 Hierro

Figura 39

Concentración de Hierro en muestras de sedimento laguna Magtayán



Nota. Se muestra la concentración de Hierro en cada sitio de muestro en relación con la época. Así pues, en el sitio 7A1 existe mayor concentración en la época lluviosa con un valor de 1679,56 (ppm), mientras que en la época seca el valor oscila en 1420,285 (ppm), de la misma manera en el sitio 7A2 se observa que existe mayor presencia del metal en época seca con un valor de 1005,297 (ppm) mientras que en época lluviosa presenta un valor de 106,669 (ppm). Finalmente, en el sitio 7A3 se determinó mayor concentración de hierro en la época seca con un valor de 1522,273(ppm) mientras que la época lluviosa tuvo una concentración de 1051,686(ppm).

Figura 40

Concentración de Hierro en muestras de sedimento laguna Colta

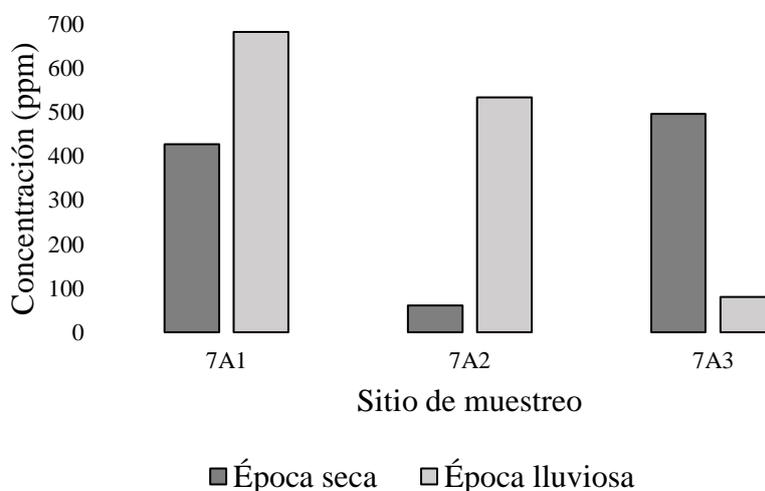


Nota. La concentración de Hierro en el sitio 7B1 para la época lluviosa tiene un valor de 9822,477 (ppm), mientras que en la época seca se encontró 224,896 (ppm). Asimismo, en el sitio 7B2 en época seca con un valor de 8479,74 (ppm) y en época lluviosa 1077,773 (ppm). Finalmente, en el sitio 7B3 se encontró mayor presencia de hierro en la época lluviosa con una concentración de 9612,182 (ppm) y en época seca una cantidad de 4454,895 (ppm).

4.2.3.2 Manganeso

Figura 41

Concentración de manganeso en muestras de sedimento laguna Magtayán

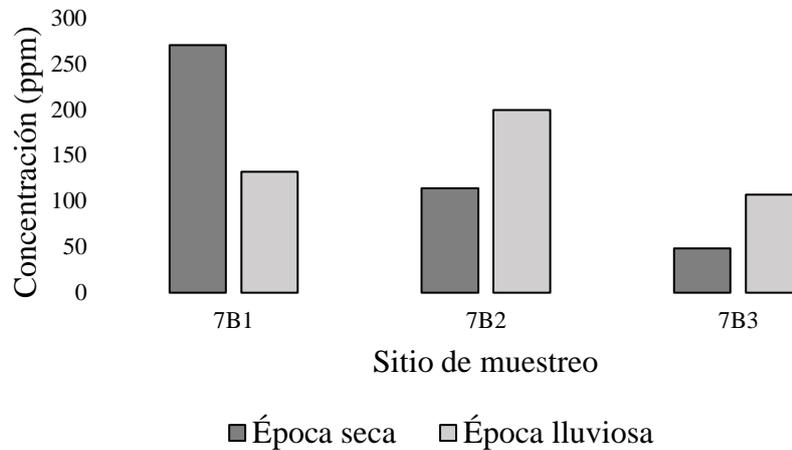


Nota. Se muestra la concentración de manganeso en cada sitio de muestro en relación con la época. Así pues, en el sitio 7A1 existe mayor concentración en la época lluviosa con un valor de 683,321 (ppm), mientras que en la época seca el valor oscila en 427,114 (ppm), de la misma manera en el sitio 7A2 se observa que existe mayor presencia del metal en época

lluviosa con un valor de 533,246 (ppm) mientras que en época seca presenta un valor de 60,724 (ppm). Finalmente, en el sitio 7A3 se determinó mayor concentración de hierro en la época seca con un valor de 496,214 (ppm) mientras que la época lluviosa tuvo una concentración de 80,323 (ppm).

Figura 42

Concentración de manganeso en muestras de sedimento laguna Colta



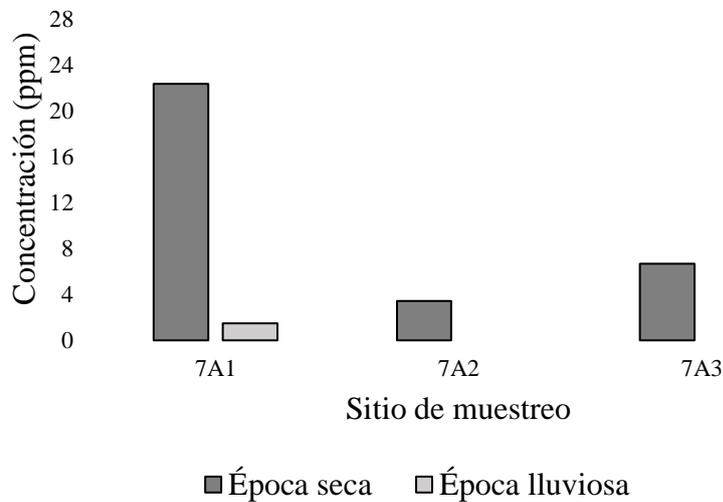
Nota. Se muestra la concentración de manganeso en cada sitio de muestro en relación con la época. Así pues, en el sitio 7B1 existe mayor concentración en la época seca con un valor de 270,214 (ppm), mientras que en la época lluviosa el valor oscila en 131,78 (ppm), de la misma manera en el sitio 7B2 se observa que existe mayor presencia del metal en época lluviosa con un valor de 199,215 (ppm) mientras que en época seca presenta un valor de 114,27 (ppm). Finalmente, en el sitio 7B3 se determinó mayor concentración de hierro en la

época lluviosa con un valor de 107,112 (ppm) mientras que la época lluviosa tuvo una concentración 48,515 (ppm).

4.2.3.3 Zinc

Figura 43

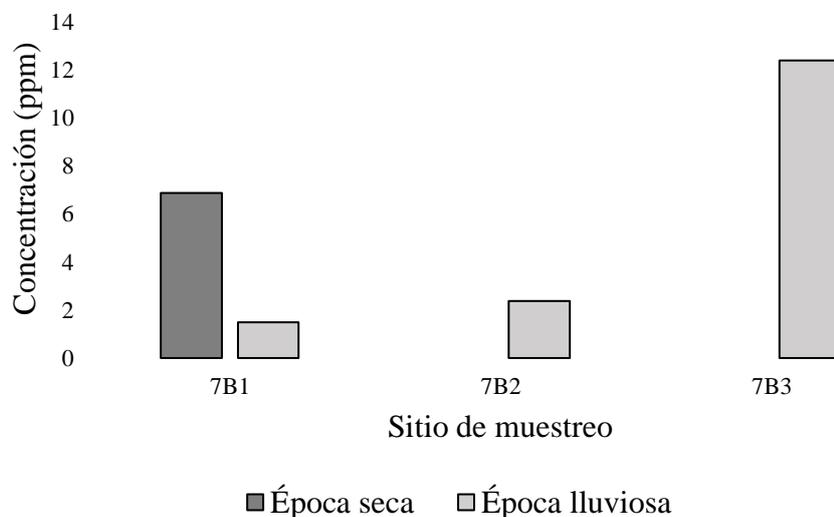
Concentración de zinc en muestras de sedimento laguna Magtayán



Nota. En el punto 7A1 se encontró la mayor concentración en época seca 22,389 (ppm) y una baja concentración para época lluviosa 1,488 (ppm), para el sitio 7A2 solo se encontró concentración de Zinc en época seca y fue de 3,455 (ppm), para el sitio 7A3 solo se encontró presencia de Zinc en época seca con una concentración de 6,703 (ppm)

Figura 44

Concentración de zinc en muestras de sedimento laguna Colta



Nota. En el sitio 7B1 se observa que hay mayor concentración de Zinc en época seca 6,873 (ppm), mientras que para época lluviosa una concentración baja de (1,48), en el sitio 7B2

solo existe presencia de Zinc en la época lluviosa de 2,383 (ppm) de igual manera para el sitio 7B3 una concentración de 12,398 (ppm) en época lluviosa.

Como objetivo específico se consideró realizar el análisis de metales pesados en muestras sedimentarias de las lagunas en estudio considerando la estacionalidad, en base a ello se tomó en cuenta los postulado de (Molina, 2010), quien plantea un análisis fisicoquímico de sedimentos además de un análisis de metales pesados biodisponibles en agua y sedimento que pueden afectar la calidad de lagos y lagunas.

Así mismo, los datos de cada metal varían según la estacionalidad de manera significativa “Figuras 16-21”. Aunque los autores señalados a continuación no toman en cuenta la estacionalidad de los sedimentos, los resultados coinciden con lo obtenido por (Gualli & Hidalgo, 2022) en lagunas, quienes encontraron presencia de Cadmio (Cd) en los sedimentos de la laguna de Colta , también, Plomo (Pb) Cadmio (Cd) y Manganeseo (Mn) en la laguna de Yambo respectivamente. También (Jumbo, 2015) coincide de manera similar, encontrando presencia de metales pesados en los sedimentos del río Puyango para los elementos Mercurio (Hg), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Zinc (Zn).

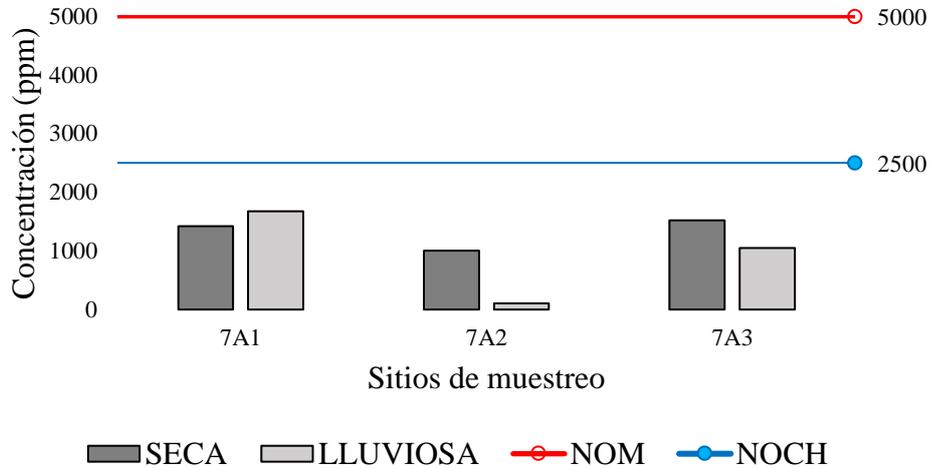
Algo similar ocurre con lo que sostiene (Mayia, 2021) en sedimentos de esteros salados y (Jurado, 2019) en sedimentos superficiales de lagunas quienes señalan que a partir de la determinación de metales pesados en sedimentos y de acuerdo con su concentración alta o baja se pueden establecer a futuro criterios sobre los posibles efectos adversos que éstos producen en la biota acuática e incluso en la salud humana. Así pues, los antecedentes y sus coincidencias con la presente investigación evidencian que los sedimentos casi siempre son portadores de contaminantes, no obstante, habría que determinar la fuente de estos, ya que, en algunos metales como el cobalto, cobre, cromo, hierro, manganeso, molibdeno, selenio y zinc, en bajas cantidades son primordiales para mantener varias funciones bioquímicas y fisiológicas en animales, plantas y humanos, habitualmente estos oligoelementos se complementan como aditivos nutricionales en la alimentación sin embargo, la exposición excesiva a altas concentraciones se ha relacionado con trastornos celulares o sistémicos.

4.3 Comparación con normativa internacional

Se llevó a cabo una comparación de los niveles de metales pesados en las dos lagunas con los estándares internacionales “Tabla 5”. Los resultados indican que en ambas lagunas el contenido de metales pesados en las muestras de sedimento existe una variabilidad respecto a la concentración de dichos metales tomando en cuenta la estacionalidad, sitio de muestreo y la normativa con la que se comparan. En algunos casos superan los límites permitidos por las agencias reguladoras mientras que en otros no. Estos resultados sugieren que las lagunas están expuestas a una fuente de contaminación de metales pesados que puede estar afectando la calidad del agua y la vida acuática.

Figura 45

Estándares Internacionales para hierro en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna Magtayan



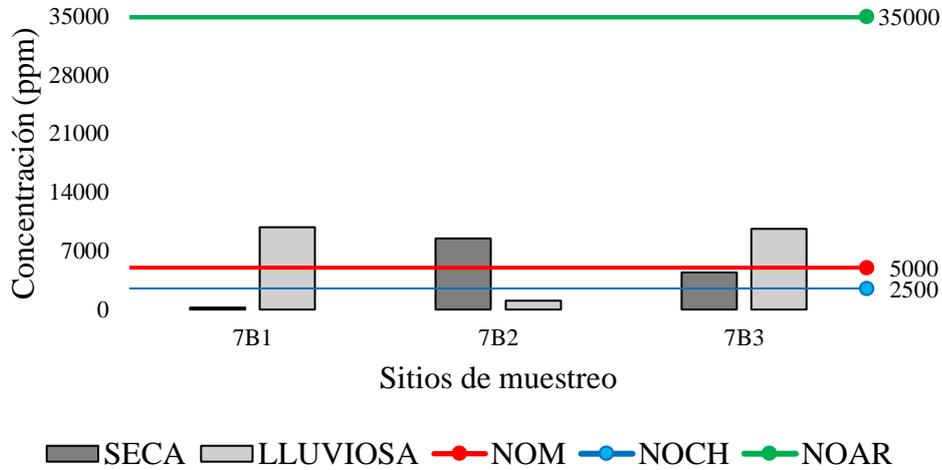
Nota. Las líneas horizontales representan; normativa oficial mexicana (NOM), Normativa de calidad ambiental de sedimentos del ministerio de medioambiente de Chile (NOCH)

En la gráfica se observa la concentración de hierro en los distintos sitios de muestreo y estacionalidad, también los límites máximos permisibles para el hierro según a NOM Y NOCH. Se puede observar en el sitio 7 A1 tanto para época seca como para época lluviosa no supera los límites máximos permisibles de la NOM 2500(ppm) y tampoco la normativa NOCH 5000(ppm)

De igual forma para los sitios 7 A2 y 7 A3 tampoco supera los límites de las normativas internacionales de NOM y NOCH, esto nos demuestra que las concentraciones de hierro que se encontraron en la laguna de Magtayan en los sedimentos no representan un riesgo significativo para la salud y el Ambiente. Sin embargo, las condiciones ambientales son diferentes a las que presentan el área de estudio, sin embargo, es una referencia significativa puesto que en nuestro país no existe legislación ambiental para concentración de metales pesados en sedimentos.

Figura 46

Estándares Internacionales para hierro en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna de Colta



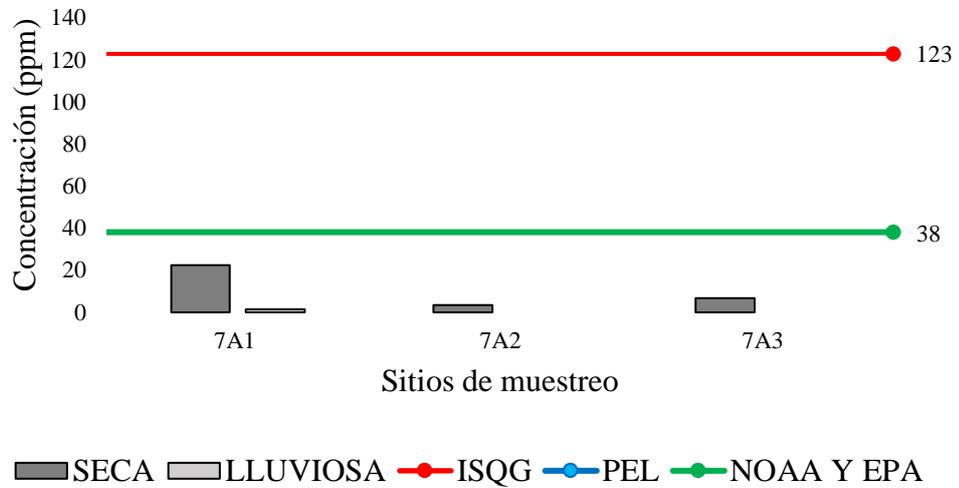
Nota. Las líneas horizontales representan; normativa oficial mexicana (NOM), Normativa de calidad ambiental de sedimentos del ministerio de medioambiente de Chile (NOCH), Norma de Calidad Ambiental de la Provincia de Buenos Aires de Argentina (NOAR).

En esta gráfica se observa la concentración de hierro en los distintos sitios de muestreo y estacionalidad, también los límites máximos permisibles para el hierro según a NOM, NOCH y NOAR. Se puede observar en el sitio 7B1 en época seca no supera los límites máximos permisibles de las normativas, mientras que para época lluviosa para la normativa NOM y NOCH supera los límites máximos, pero no supera a la normativa NOAR, en el sitio 7B2 se observa que en la época seca supera los límites máximos permisibles para la normativa de NOM y NOCH pero no supera la normativa de NOAR, finalmente para el sitio 7B3 EN época seca solo supera la normativa NOCH y en época lluviosa supera los límites máximos de la normativa NOM y NOCH, pero ninguna supera la normativa NOAR

Esto nos demuestra que las concentraciones de hierro que se encontraron en la laguna de Colta en los sedimentos en el sitio 7B1 época seca y 7B2 en época lluviosa no representan un riesgo significativo para la salud y el Ambiente, en los puntos 7B1 época lluviosa, 7B2 para época seca y 7B3 en las dos épocas si representan un riesgo significativo para la salud y el Ambiente, esto tomando encuentra a la normativa NOM y NOCH, si le tomamos encuentra a la normativa NOAR ningún punto de muestreo representa un riesgo. Sin embargo, las condiciones ambientales son diferentes a las que presentan el área de estudio, sin embargo, es una referencia significativa puesto que en nuestro país no existe legislación ambiental para concentración de metales pesados en sedimentos.

Figura 47

Estándares Internacionales para zinc en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna Magtayán

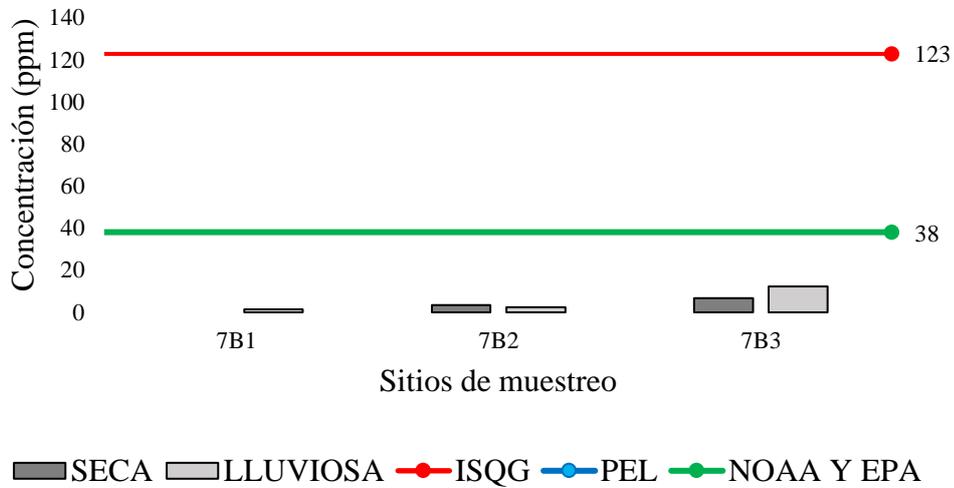


Nota. Las líneas horizontales representan; Guía Provisional de Calidad del Sedimento (ISQG), Guía Provisional de Calidad del Sedimento (PEL), Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (NOAA), la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

En la gráfica se ilustra la concentración de zinc en sedimentos en los diferentes puntos de muestreo de la laguna de Magtayan, de manera general se observa que en ninguno de los límites permisibles sobrepasa los sitios 7A1, 7A2, 7A3, tanto en época seca como en lluviosa, es decir las concentraciones de Zinc son bajas. Finalmente, se puede argumentar que no representan riesgo significativo para la salud y el Ambiente.

Figura 48

Estándares Internacionales para zinc en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna de Colta

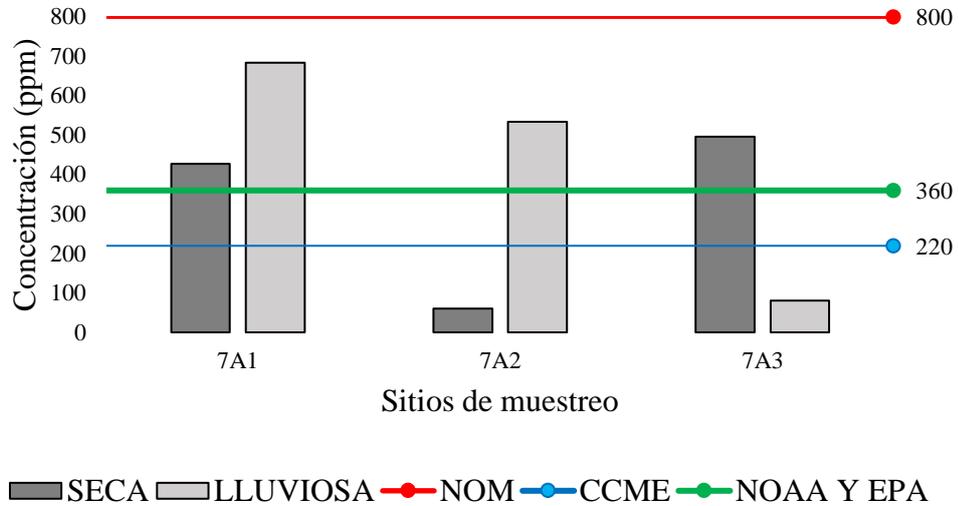


Nota. Las líneas horizontales representan; Guía Provisional de Calidad del Sedimento (ISQG), Guía Provisional de Calidad del Sedimento (PEL), Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (NOAA), la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

En la gráfica se ilustra la concentración de zinc en sedimentos en los diferentes puntos de muestreo de la laguna de Colta, de forma que se observa que en ninguno de los límites permisibles sobrepasa los sitios 7B1, 7B2, 7B3, tanto en época seca como lluviosa, es decir las concentraciones de Zinc son bajas. Para finalizar, se puede decir que no representan riesgo significativo para la salud y el Ambiente.

Figura 49

Estándares Internacionales para manganeso en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna Magtayan

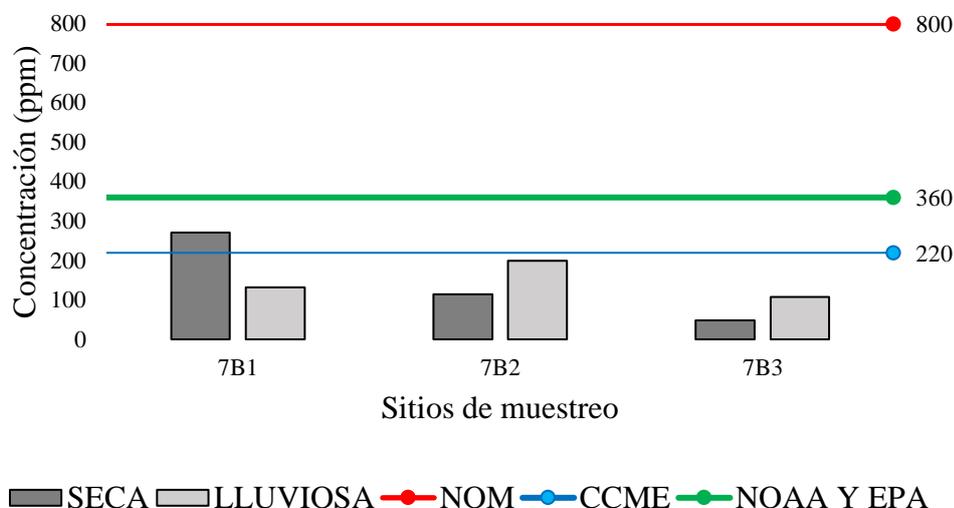


Nota. Las líneas horizontales representan; Normativa oficial mexicana (NOM), Guía de calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática en sedimentos de agua (CCME), Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (NOAA), la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

En la gráfica se observa, la concentración de Manganeso en sedimentos de la laguna de Magtayan, en el sitio 7A1 en época seca y lluviosa, en el 7A2 época lluviosa y en el 7A3 en época seca, sobrepasa los límites máximos de la normativa CCME y NOAA. En el sitio 7A2 época seca y 7A3 época lluviosa, no sobrepasan ninguno de los límites permisibles. Finalmente, si comparamos con la normativa NOM ninguno de los sitios de muestreo en la laguna de Colta no sobrepasa los límites permisibles. Se puede argumentar que representa riesgo significativo para la salud y el Ambiente.

Figura 50

Estándares Internacionales para manganeso en comparación con la concentración de metales pesados en sedimentos de la laguna de Colta



Nota. Las líneas horizontales representan; Normativa oficial mexicana (NOM), Guía de calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática en sedimentos de agua (CCME), Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (NOAA), la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

En la gráfica se observa, la concentración de Manganeso en sedimentos de la laguna de Colta, en el sitio 7B1 en época seca se puede observar que solo sobrepasa el límite permisible de CCME, en el sitio 7B1 en época lluviosa, 7B2, 7B3 no sobrepasa ninguno de los límites permisibles. Concluimos que no representan riesgos significativos para la salud y el ambiente.

En cuanto a la concentración de hierro en los distintos sitios de muestreo y estacionalidad, se observó que en la laguna de Magtayan, en los sedimentos, las concentraciones no representan un riesgo significativo para la salud y el ambiente, según la normativa NOM y NOCH. Mientras que, en la laguna de Colta, en los puntos 7B1 (época seca) y 7B2 (época lluviosa) no representan un riesgo significativo, pero en los puntos 7B1 (época lluviosa), 7B2 (época seca) y 7B3 (ambas épocas) sí lo representan, según la normativa NOM y NOCH. Si se toma en cuenta la normativa NOAR, ningún punto de muestreo representa un riesgo. En cuanto a la concentración de zinc en los diferentes puntos de muestreo de ambas lagunas, se observó que en ninguno de los límites permisibles se sobrepasó, es decir, las concentraciones de zinc son bajas y no representan un riesgo significativo para la salud y el ambiente.

Así pues los resultados de este apartado guardan una estrecha relación con los hallazgos encontrados por (Sánchez, 2020) en agua, quien detectó cadmio y plomo en el agua del estero Data de Posorja que superaron los límites máximos permisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en estuarios que establece por la normativa

ambiental de Ecuador. Esta parte final no es acorde a nuestra investigación puesto que en Ecuador no existe normativa ambiental que regule las concentraciones de metales pesados en sedimentos de lagunas. Así como también (Gonzales, 2018) donde evaluó: Cd, Ni, Pb, Cu, Fe, Mn, Zn, Cr, Ba y V en suelos residuales, donde los límites máximos permisibles, fueron similares a los criterios de calidad del TULSMA, excepto Cr, Cu, Ni, Pb y Ba. Ello es acorde a esta investigación.

Para concluir esta investigación, basándonos en los resultados, podemos concluir que se encontraron concentraciones de metales pesados en los sedimentos de las lagunas Colta y Magtayán. Además, se observó una clara influencia de las actividades antropogénicas como lo evidenciamos en las fichas de observación y en los sitios de muestreo, ya que se encontraron niveles más altos de metales pesados en las áreas cercanas a las fuentes de contaminación, como las zonas urbanas, ganaderas y agrícolas.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos de los sedimentos permitió comprender mejor las características de estos y su relación con la presencia de metales pesados. Asimismo, al comparar las concentraciones encontradas con la normativa internacional, se evidenció que algunas zonas de las lagunas presentan niveles en algunos sitios preocupantes, de metales pesados, lo que representa un riesgo potencial para el ambiente e incluso la vida humana.

Además, el análisis de metales pesados en sedimentos de las lagunas Magtayán y Colta, es importante no solo para evaluar la presencia de contaminación antropogénica, sino también para determinar las concentraciones naturales de metales pesados en estos ambientes acuáticos. La literatura científica ha señalado que ciertos metales pesados, como el hierro y el aluminio, son comunes en los sedimentos naturales, pero la actividad humana puede aumentar significativamente la concentración de otros metales pesados como el plomo, el cadmio y el mercurio. Por lo tanto, este estudio tiene implicaciones importantes para la gestión y conservación de las lagunas Magtayán y Colta, ya que nos permite entender mejor la presencia de metales pesados en estos cuerpos de agua y su posible impacto en los ecosistemas acuáticos.

También los resultados de este estudio también pueden servir como una línea de base para futuras investigaciones sobre la evolución de la contaminación y las concentraciones de metales pesados en estas lagunas en el tiempo. En conclusión, este estudio demuestra y describe la importancia de monitorear los niveles de metales pesados en los sedimentos de cuerpos de agua y tomar medidas para reducir la contaminación antropogénica en las áreas circundantes. Además, es necesario seguir investigando y generando información que permita tomar decisiones informadas para proteger la salud y el medio ambiente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La caracterización de las actividades antropogénicas en los sitios de muestreo de las lagunas Colta y Magtayán evidenció la presencia de diversas actividades humanas, como agricultura, ganadería, turismo, pesca, intervención de maquinaria pesada, agricultura y descarga de aguas residuales. Sin embargo, se encontró una mayor concentración de estas actividades en la laguna de Colta en comparación con la de Magtayán. Estos hallazgos son importantes para comprender los impactos humanos en los ecosistemas acuáticos y pueden ayudar a desarrollar estrategias de gestión y conservación más efectivas para proteger estos recursos naturales.

El análisis de metales pesados en las muestras de sedimento de las lagunas Colta y Magtayán reveló la presencia de algunos metales pesados de interés ambiental como Zinc, Hierro y Manganeso. Además, se encontraron diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos entre los sitios de muestreo, lo que indica una variabilidad espacial en la calidad del agua de estas lagunas. Estos resultados indican que las actividades antropogénicas, como la agricultura y la ganadería, podrían estar contribuyendo a la presencia de metales pesados en estos cuerpos de agua y afectando su calidad.

Finalmente, el análisis comparativo del estado ambiental de las lagunas Colta y Magtayán mediante análisis de sedimentos sugiere que existe una variabilidad en la concentración de metales pesados en las muestras de sedimento, dependiendo de la estacionalidad y el sitio de muestreo. Esto indica la necesidad de implementar Normativa y legislación Ambiental para concentración de metales pesados en sedimentos. Además de, control de la contaminación en las cuencas de estas lagunas, así como de monitorear continuamente la calidad del agua y la vida acuática para garantizar la protección ambiental.

5.2 Recomendaciones

Los hallazgos de este trabajo de investigación sugieren la necesidad de monitorear continuamente la calidad del agua y los sedimentos de estas lagunas, así como llevar a cabo medidas de gestión y control ambiental en las áreas de estudio. Además, estos resultados pueden servir como una herramienta para futuras investigaciones en el área de la contaminación por metales pesados en lagunas de la región andina y para la implementación de medidas de mitigación ambiental.

Se recomienda realizar un monitoreo continuo de las actividades antropogénicas y sus impactos en los ecosistemas acuáticos. Es necesario implementar medidas de control y gestión adecuadas para minimizar los efectos negativos de estas actividades en los ecosistemas acuáticos, tales como el establecimiento de zonas de protección, la

implementación de prácticas agrícolas sostenibles, y la mejora en el tratamiento de las aguas residuales.

En base a los resultados del análisis de metales pesados en las muestras de sedimento de las lagunas Colta y Magtayán, se recomienda realizar un monitoreo continuo de la calidad del agua y sedimentos en estas lagunas para evaluar los niveles de metales pesados y otros contaminantes. Además, se debe fomentar la educación y conciencia ambiental entre la población local para que se conviertan en agentes activos en la protección y conservación de estos valiosos recursos naturales.

En cuanto a la recomendación final, sería importante considerar la realización de estudios adicionales para identificar las fuentes específicas de contaminación y evaluar su impacto en la calidad del agua y la vida acuática de las lagunas.

BIBLIOGRAFÍA

- Adjei, G., Adokoh, C., Bentum, J., Hadzi, G., & Ameho, E. (2017). El impacto de las actividades antropogénicas en la laguna de Fosu en el distrito central de Cape Coas evaluacion integrada de la contaminación por metales pesados. *British Journal of Applied Science & Technology*, 21(4), 1–11. <https://doi.org/10.9734/bjast/2017/31275>
- Alcívar, M., & Armijo, J. (2011). Concentración de metales pesados (Cr total, Pb, Cd) en agua superficial y sedimentos en el estero salado (Guayaquil). In *Tesis* (Issue PROYECTO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y FINANCIERA DEL CULTIVO DE OSTRA DEL PACÍFICO EN LA PARROQUIA MANGLARALTO, CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA).
- APHA. (1992). Metodos normalizados para el analisis de aguas potables y residuales. In M. Franson (Ed.), *Dias de Santos* (Diaz de Sa, Vol. 4, Issue 1).
- Arocena, R. (2016). *Principios y métodos de limnología*.
- Ávila, H., Quintero, E., Angulo, N., Cárdenas, C., Araujo, M., Morales, N., & Prieto, M. (2014). Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales costeros del Sistema Lago de Maracaibo, Venezuela Ciencias Ambientales. *Multiciencias*, 14, 16–21.
- Barba, M., & Rosales, B. (2022). *Determinación de plomo, cadmio, arsénico y mercurio en sedimento de la zona de manglares junto a la ciudadela las garzas Guayaquil – Ecuador* (Issue 8.5.2017). <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>
- Brair, T., & McPherson, J. (1999). *Tamaño de grano y textural clasificación de partículas sedimentarias gruesas*. Diario de Investigación sedimentaria.
- Casanova, E. (2014). Efecto De La Contaminación Por Metales Pesados En Los Ecosistemas Costeros Del Sureste De México. *Kuxulkab'*, 19(37).
- Chafra, O. (2020). Universidad Agraria Del Ecuador | Medicina Veterinaria. In *Tesis*. http://www.uagraria.edu.ec/carrera_medicina_veterinaria.php
- Chalen, J., Vallejo, A., & Peñafiel, M. (2017). Evaluación de la calidad físico-químico en agua y sedimentos del estero salado en el noroeste de América Latina. *Polo Del Conocimiento*, 2(6), 641. <https://doi.org/10.23857/pc.v2i6.151>
- Clottey, C. A. (2018). *Evaluación de parámetros fisicoquímicos y pesados contaminación con metales en Korle y Kpeshie*.
- Coello, D. (2009). *Plan de conservación para las lagunas de cubillín y magtayán en el parque nacional sangay*. <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/706/1/33T0059.pdf>
- Cruz, N., Alderete, A., & Laffón L, S. (2013). Acumulación de metales pesados en

- sedimentos del ecosistema manglar en laguna de términos, campeche, méxico. *Foresta Veracruzana*, 15(1), 25–30. <http://www.redalyc.org/pdf/497/49728291003.pdf>
- Del Angel, E., Flores, C., & Frías, D. (2018). Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 9(2), 39–57. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-02>
- FAO. (2014). Guía para la descripción de suelos. In *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación* (Vol. 3, Issue 4). file:///C:/Users/Alina Belen Ortiz/Downloads/a0541s00 (1).pdf
- Flores, C. M., Del Angel, E., Frías, D. M., & Gómez, A. L. (2018). Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 9(2), 39–57. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-02>
- Florez, A., & Rios, K. (1998). Las lagunas de alta montaña. In *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* (Vol. 7, Issues 1–2).
- Flórez, M. (2010). *Análisis de la composición físico-química de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua: Vol. II* (p. 69). Centro Nacional del Medio Ambiente.
- GAD Colta. (2014). Gobierno Autonomo Descentralizado Municipal del Canton Colta. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*, 7(2), 107–115. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660000520001_P DOT_COLTA_2014_15-03-2015_19-11-32.pdf
- Galindo, D. (2008). Catastrofes ecológicas lentas : la contaminación por metales tóxicos. In U. de Cádiz (Ed.), *Universidad de Cádiz*.
- García Sánchez, J.-N., Pacheco Sanz, D.-I., Del Carmen Díez González, M., García-Martín, E., Psicología, D., & Sociología, F. Y. (2010). La metodología observacional como desarrollo de competencias en el aprendizaje. *International Journal of Developmental and Educational Psychology INFAD Revista de Psicología*.
- Gómez, G. (2005). Estudio de los sedimentos de la laguna de Limoncocha. In *Universidad Internacional Sek*.
- Gonzales, L. (2018). *Determinación de niveles fondo y referencia de metales pesados en suelos, parroquia san carlos, orellana*.
- Grupo contacto. (2019). *Los Humedales Altoandinos Ecosistemas estratégicos y frágiles que odrecen servicios ambientales para el bienestar de millones de personas* (p. 3). Humedales Altoandinos estrategia Regional.
- Gualli, M., & Hidalgo, S. (2022). *Determinación del enriquecimiento de metales pesados en las lagunas de colta y Yambo de la Zona 3 del Ecuador* [Escuela Superiores Politécnica de Chimborazo].

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17672/1/236T0649.pdf>

- Gunkel, G. (2003). Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Revista de Biología Tropical*, 51(2), 381–390.
- Gutierrez, M. J. (2018). *Análisis de la calidad del sedimento de Laguna Trupán Comuna de Tucapel, Región del Bío-Bío*. [Universidad Católica de la Santísima Concepción]. [http://repositoriodigital.ucsc.cl/bitstream/handle/25022009/1374/Gutierrez Sanchez%2C Maria Jose.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositoriodigital.ucsc.cl/bitstream/handle/25022009/1374/Gutierrez%20Maria%20Jose.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Iglesias, J. (2014). Folleto Informativo pH. *Folleto Informativo*, 3–7. https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf
- Jiménez, C. G. V., Manzano, N. P. B., Falcón, P. M. V., García, M. A. P., & Bernat-Rodríguez, J. (2021). Metales pesados en agua y sedimentos de dos lagunas costeras de Tabasco, México / Heavy metals in water and sediments of two coastal lagoons of Tabasco, Mexico. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 5993–6002. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-092>
- Jumbo, D. (2015). *Metales pesados en sedimentos riverinos de cuencas hidrográficas impactadas por minería en la región sur del Ecuador* [Universidad Nacional de Loja]. [https://www.google.com.ec/search?ei=npH7W97pM4Hb5gL1iqqoBg&q=“METALES PESADOS+EN+SEDIMENTOS+RIVERINOS+DE+CUENCAS+HIDROGRÁFICAS+IMPACTADAS+POR+MINERÍA+EN+LA+REGIÓN+SUR+DEL+ECUADOR”&oq=“METALES+PESADOS+EN+SEDIMENTOS+RI](https://www.google.com.ec/search?ei=npH7W97pM4Hb5gL1iqqoBg&q=“METALES+PESADOS+EN+SEDIMENTOS+RIVERINOS+DE+CUENCAS+HIDROGRÁFICAS+IMPACTADAS+POR+MINERÍA+EN+LA+REGIÓN+SUR+DEL+ECUADOR”&oq=“METALES+PESADOS+EN+SEDIMENTOS+RI)
- Jurado, C. (2019). Universidad Nacional De Huancavelica "Violencia. *Repositorio Institucional - UNH*, 80. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2755>
- López, M. (2014). Caracterización físicoquímica y bacteriológica de aguas de la laguna de Colta de la zona central del Ecuador. In *Repositorio UTA*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/19565?mode=full>
- Lopez , B., & Marbetty, G. (2019). *Efecto de actividades antropogénicas sobre la comunidad líquénica del distrito de Matuca*. Lima.
- Martinez, R. (2020). *El secreto detrás de una Tesis*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- Mayia, Y. (2021). *Determinación de cadmio y plomo en agua y sedimento en el estero data de posorja, provincia del Guayas-Ecuador*.
- Molina, X. (2010a). *Análisis de la composición físico-química de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua: Vol. II* (p. 69). Centro Nacional del Medio Ambiente.
- Oquendo, J. R. (2016). *Evaluación de Thypha latifolia en la absorción de plomo y propuesta de fitorremediación de metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha*. 97. [https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1606/1/Tesis Final Renato](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1606/1/Tesis%20Final%20Renato)

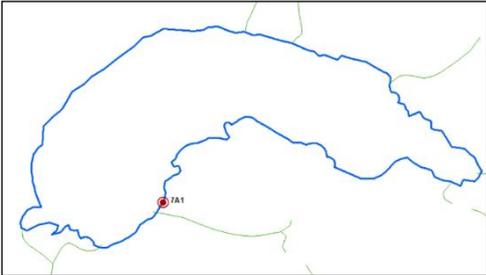
Oquendo.pdf

- Ordoñez, C. (2013). *Caracterización geoquímica de sedimentos de la laguna Limoncocha* (Vol. 57, Issue 003) [Universidad Internacional SEK]. [https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/610/1/CARLOS GILBERTO ORDOÑEZ CAMPAIN.pdf](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/610/1/CARLOS_GILBERTO_ORDOÑEZ_CAMPAIN.pdf)
- Ordóñez, L. (2013). *Biodiversidad de los Humedales Altoandinos de Los Andes Tropicales del Sur del Ecuador: Elemento Clave para Su Gestión y Conservación Futura*. 2013.
- Palma, J. (2021). *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo*.
- Pérez, A., Torres, R., Sobrino, A., & Loyola, G. (2021). Textura y contenido de materia orgánica de los sedimentos superficiales del Lago de Metztlán, México. *Hidrobiologica*, 31(2), 179–191. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2021v31n2/Sobrino>
- Porras, B., & Marbetty, G. (2019). Efecto de actividades antropogénicas sobre la comunidad líquénica del distrito de Matucana. In *Carbohydrate Polymers* (Vol. 6, Issue 1).
- Quispe Yana, R. F., Belizario Quispe, G., Chui Betancur, H. N., Huaquisto Cáceres, S., Calatayud Mendoza, A. P., & Yábar Miranda, P. S. (2019). Concentración De Metales Pesados: Cromo, Cadmio Y Plomo En Los Sedimentos Superficiales En El Río Coata, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 2(36.2), 83–90. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.2.3>
- Rojas, J., & Peña, S. (2012). Densidad aparente. *I*, 1(1), 3. www.inta.gov.ar/saenzpe
- Rucks, L. (2004). Propiedades Físicas del suelo. In *Transactions of the Faraday Society* (Vol. 64). <https://doi.org/10.1039/TF9686403358>
- Rueda, G. (2017). *Composición espacio-temporal de comunidades de aves acuáticas en seis lagunas altoandinas del Ecuador*.
- Sackey, J. (2014). *Impacto de las actividades antropogénicas en la calidad del agua de la laguna de Songor, Ada, Mayor región de acra*. Universidad de Ghana.
- Sánchez, A. (2020). *Evaluación de la toxicidad en sedimentos de los canales del Distrito de Riego de La Ramada mediante la utilización de dos bioensayos*.
- Tolentino, L. (2020). Evaluación de los efectos de las actividades antropogénicas en la calidad del agua del manantial Pirhuapuquio en el distrito de Chongos Bajo, en el año 2020. In *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8405>

ANEXOS

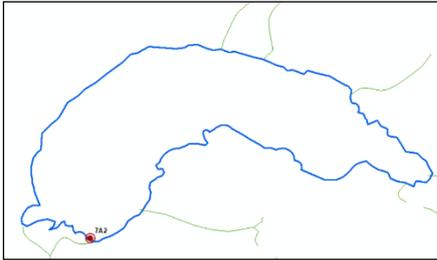
Anexo 1

Sitio de muestreo 7A1 de la laguna Magtayán

DATOS GENERALES DEL SITIO DE MUESTREO 7A1 MAGTAYÁN			
El punto 1 de muestreo refleja datos generales, la descripción física del sitio. A continuación, se detalla los principales resultados obtenidos: Datos generales: Los datos generales del primer sitio de muestreo detallan información, en relación con el tipo de muestra que fue tomado, la fecha de recolección, así como datos de localización y datos climáticos			
Tipo de muestra:		Sedimento	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época seca		08:45 / 13-08-2021	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época lluviosa		08:33 / 07-03-2022	
Coordenadas:	Latitud (X): 0768954	Longitud(Y): 9751228	Altitud (Z): 3778msnm
 			

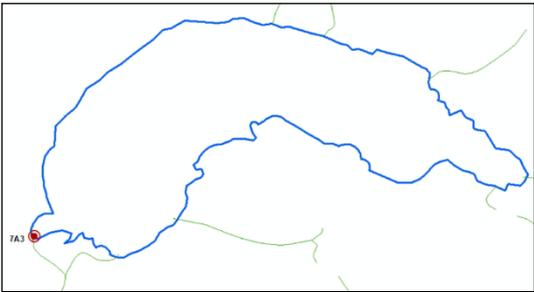
Anexo 2

Sitio de muestreo 7A2 de la laguna Magtayán

DATOS GENERALES DEL SITIO DE MUESTREO 7A2 MAGTAYÁN			
El punto 1 de muestreo refleja datos generales, la descripción física del sitio. A continuación, se detalla los principales resultados obtenidos:			
Datos generales:			
Los datos generales del primer sitio de muestreo detallan información, en relación con el tipo de muestra que fue tomado, la fecha de recolección, así como datos de localización y datos climáticos			
Tipo de muestra:		Sedimento	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época seca		09:20 / 13-08-2021	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época lluviosa		09:53 / 07-03-2022	
Coordenadas:	Latitud (X): 0768515	Longitud(Y): 9750924	Altitud (Z): 3769msnm
			
			

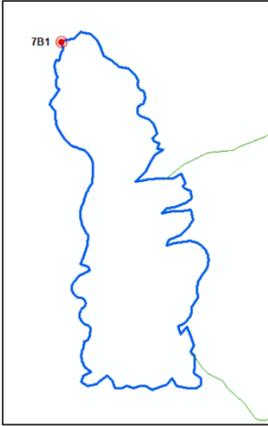
Anexo 3

Sitio de muestreo 7A3 de la laguna Magtayán

DATOS GENERALES DEL SITIO DE MUESTREO 7A3 MAGTAYÁN			
El punto 1 de muestreo refleja datos generales, la descripción física del sitio. A continuación, se detalla los principales resultados obtenidos:			
Datos generales:			
Los datos generales del primer sitio de muestreo detallan información, en relación con el tipo de muestra que fue tomado, la fecha de recolección, así como datos de localización y datos climáticos			
Tipo de muestra:		Sedimento	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época seca		09:53 / 13-08-2021	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época lluviosa		10:35 / 07-03-2022	
Coordenadas:	Latitud (X): 0768038	Longitud(Y): 9751030	Altitud (Z): 3774 msnm
			
			

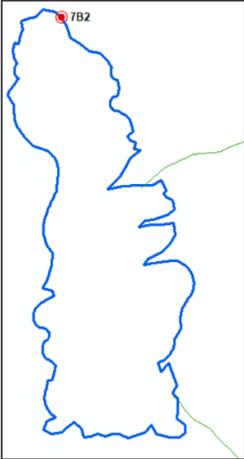
Anexo 4

Sitio de muestreo 7B1 de la laguna de Colta

DATOS GENERALES DEL SITIO DE MUESTREO 7B1 COLTA			
El punto 1 de muestreo refleja datos generales, la descripción física del sitio. A continuación, se detalla los principales resultados obtenidos: Datos generales: Los datos generales del primer sitio de muestreo detallan información, en relación con el tipo de muestra que fue tomado, la fecha de recolección, así como datos de localización y datos climáticos			
Tipo de muestra:		Sedimento	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época seca		15:55 / 13-08-2021	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época lluviosa		13:55 / 07-03-2022	
Coordenadas:	Latitud (X): 0749150	Longitud(Y): 9809156	Altitud (Z): 3315 msnm
			
			

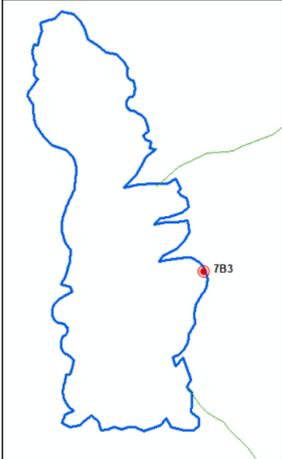
Anexo 5

Sitio de muestreo 7B2 de la laguna de Colta

DATOS GENERALES DEL SITIO DE MUESTREO 7B2 COLTA			
El punto 1 de muestreo refleja datos generales, la descripción física del sitio. A continuación, se detalla los principales resultados obtenidos: Datos generales: Los datos generales del primer sitio de muestreo detallan información, en relación con el tipo de muestra que fue tomado, la fecha de recolección, así como datos de localización y datos climáticos			
Tipo de muestra:		Sedimento	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época seca		16:15 / 13-08-2021	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época lluviosa		15:55 / 07-03-2022	
Coordenadas:	Latitud (X): 0749432	Longitud(Y): 9809173	Altitud (Z): 3315msnm
			
			

Anexo 6

Sitio de muestreo 7B3 de la laguna de Colta

DATOS GENERALES DEL SITIO DE MUESTREO 7B3 COLTA			
El punto 1 de muestreo refleja datos generales, la descripción física del sitio. A continuación, se detalla los principales resultados obtenidos: Datos generales: Los datos generales del primer sitio de muestreo detallan información, en relación con el tipo de muestra que fue tomado, la fecha de recolección, así como datos de localización y datos climáticos			
Tipo de muestra:		Sedimento	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época seca		16:48 / 13-08-2021	
Hora y fecha de recolección de la muestra de época lluviosa		16:58 / 07-03-2022	
Coordenadas:	Latitud (X): 0750233	Longitud(Y): 9807548	Altitud (Z): 3317 msnm
			
			

Anexo 7*Modelo de ficha de Observación de actividades antropogénicas en lagunas*

IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS EN PUNTOS DE MUESTREO DE LAGUNAS			
VALORACIÓN	Laguna X		
0: No existe presencia			
1: Poca Presencia			
2: Alta Presencia			
ACTIVIDADES	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3
Agricultura			
Ganadería			
Pesca deportiva			
Turismo			
Maquinaria pesada			
Aguas Residuales			
Desechos Sólidos			

Anexo 8

Análisis de densidad aparente y humedad de sedimento en época seca

Análisis de parámetros fisicoquímicos de muestras de sedimentos de lagunas en época seca												
Laguna	Muestra	Repetición	Peso Vaso (g)	Peso Vaso+suelo húmedo (g)	Peso Suelo Húmedo (g)	Peso Suelo seco+vaso (g)	Peso Suelo seco (g)	Volumen del cilindro (cm³)	Densidad Aparente (g/cm³)	Promedio (g/cm³)	Humedad %	Promedio
Magtayán (7A)	7A1	R1	104.81	222.63	117.82	171.81	67.00	107.90	0.62	0.88	76%	54%
		R2	100.28	227.92	127.64	181.86	81.58	107.90	0.76		56%	
		R3	104.39	282.55	178.16	242.23	137.84	107.90	1.28		29%	
	7A2	R1	107.94	242.31	134.37	186.93	78.99	107.90	0.73	0.73	70%	71%
		R2	104.74	233.58	128.84	179.45	74.71	107.90	0.69		72%	
		R3	109.16	248.33	139.17	191.12	81.96	107.90	0.76		70%	
	7A3	R1	51.21	159.34	108.13	90.70	39.49	107.90	0.37	0.41	174%	158%
		R2	49.58	171.26	121.68	100.99	51.41	107.90	0.48		137%	
		R3	54.65	162.37	107.72	95.63	40.98	107.90	0.38		163%	
Colta (7B)	7B1	R1	106.64	239.91	133.27	189.40	82.76	107.90	0.77	0.74	61%	57%
		R2	108.15	232.53	124.38	188.44	80.29	107.90	0.74		55%	
		R3	103.43	220.55	117.12	178.97	75.54	107.90	0.70		55%	
	7B2	R1	103.65	230.18	126.53	188.01	84.36	107.90	0.78	0.82	50%	49%
		R2	108.81	237.41	128.60	193.93	85.12	107.90	0.79		51%	
		R3	108.43	246.81	138.38	203.18	94.75	107.90	0.88		46%	
	7B3	R1	100.21	255.43	155.22	201.71	101.50	107.90	0.94	1.08	53%	44%
		R2	104.86	275.22	170.36	227.58	122.72	107.90	1.14		39%	
		R3	106.35	282.59	176.24	233.00	126.65	107.90	1.17		39%	

Anexo 9

Análisis de densidad aparente y humedad de sedimento en época lluviosa

Análisis de parámetros fisicoquímicos de muestras de sedimentos de lagunas en época lluviosa												
Laguna	Muestra	Repetición	Peso Vaso (g)	Peso Vaso+suelo húmedo (g)	Peso Suelo Húmedo (g)	Peso Suelo seco+vaso (g)	Peso Suelo seco (g)	Volumen del cilindro (cm³)	Densidad Aparente (g/cm³)	Promedio (g/cm³)	Humedad %	Promedio
Magtayán (7A)	7A1	R1	105.36	239.49	134.13	165.91	60.55	107.90	0.56	0.60	122%	110%
		R2	111.56	249.79	138.23	181.45	69.89	107.90	0.65		98%	
		R3	106.65	241.31	134.66	170.33	63.68	107.90	0.59		111%	
	7A2	R1	103.43	247.34	143.91	182.41	78.98	107.90	0.73	0.73	82%	80%
		R2	101.89	244.63	142.74	180.03	78.14	107.90	0.72		83%	
		R3	109.13	246.93	137.80	187.60	78.47	107.90	0.73		76%	
	7A3	R1	104.39	227.85	123.46	154.16	49.77	107.90	0.46	0.46	148%	152%
		R2	108.79	232.18	123.39	157.17	48.38	107.90	0.45		155%	
		R3	100.71	225.96	125.25	150.38	49.67	107.90	0.46		152%	
Colta (7B)	7B1	R1	108.15	265.94	157.79	213.47	105.32	107.90	0.98	0.91	50%	55%
		R2	102.67	254.17	151.50	198.25	95.58	107.90	0.89		59%	
		R3	108.82	257.58	148.76	203.78	94.96	107.90	0.88		57%	
	7B2	R1	105.14	216.60	111.46	167.34	62.20	107.90	0.58	0.60	79%	79%
		R2	111.55	225.89	114.34	176.80	65.25	107.90	0.60		75%	
		R3	104.73	227.86	123.13	172.53	67.80	107.90	0.63		82%	
	7B3	R1	103.65	223.76	120.11	197.84	94.19	107.90	0.87	0.82	28%	31%
		R2	103.51	214.50	110.99	189.77	86.26	107.90	0.80		29%	
		R3	104.79	220.73	115.94	190.33	85.54	107.90	0.79		36%	

Anexo 10*Porcentaje de porosidad en las muestras de sedimento de lagunas en época seca*

Análisis de parámetros fisicoquímicos de muestras de sedimentos de lagunas en época seca				
Laguna	Muestra	Densidad Aparente (g/cm³)	Densidad Real (g/cm³)	Porosidad (%)
Magtayán (7A)	7A1	0.62094532	2.54	76%
		0.756070436	2.54	70%
		1.277479147	2.54	50%
	7A2	0.732066728	2.54	71%
		0.692400371	2.54	73%
		0.759592215	2.54	70%
	7A3	0.365987025	2.54	86%
		0.476459685	2.54	81%
		0.379796108	2.54	85%
Colta (7B)	7B1	0.767006487	2.54	70%
		0.744114921	2.54	71%
		0.700092678	2.54	72%
	7B2	0.781835032	2.54	69%
		0.788878591	2.54	69%
		0.878127896	2.54	65%
	7B3	0.94068582	2.54	63%
		1.137349398	2.54	55%
		1.173772011	2.54	54%

Anexo 11*Porcentaje de porosidad en las muestras de sedimento de lagunas en época lluviosa*

Análisis de parámetros fisicoquímicos de muestras de sedimentos de lagunas en época lluviosa				
Laguna	Muestra	Densidad Aparente (g/cm³)	Densidad Real (g/cm³)	Porosidad (%)
Magtayán (7A)	7A1	0.561167748	2.54	78%
		0.647729379	2.54	74%
		0.590176089	2.54	77%
	7A2	0.73197405	2.54	71%
		0.724189064	2.54	71%
		0.727247451	2.54	71%
	7A3	0.461260426	2.54	82%
		0.448378128	2.54	82%
		0.460333642	2.54	82%
Colta (7B)	7B1	0.976088971	2.54	62%
		0.885820204	2.54	65%
		0.880074143	2.54	65%
	7B2	0.576459685	2.54	77%
		0.604726599	2.54	76%
		0.628359592	2.54	75%
	7B3	0.872937905	2.54	66%
		0.79944393	2.54	69%
		0.792771084	2.54	69%

Anexo 12

Contenido de materia orgánica en las muestras de sedimento de lagunas en época seca

Análisis de parámetros fisicoquímicos de muestras de sedimentos de lagunas en época seca								
Laguna	Muestra	Repetición	Peso Crisol (g)	Peso de la muestra Antes de la ignición (g)	Peso de la muestra+ crisol después de la ignición (g)	Peso de la muestra después de la ignición (g)	Materia Orgánica (%)	Promedio Materia Orgánica (%)
Magtayán (7A)	7A1	R1	36.41	5.01	41.20	4.79	4.43	17.59
		R2	40.66	5.01	43.45	2.79	44.41	
		R3	39.91	5.15	44.86	4.95	3.94	
	7A2	R1	40.73	5.15	45.76	5.03	2.25	1.95
		R2	42.74	5.03	47.71	4.97	1.21	
		R3	36.49	5.02	41.39	4.90	2.39	
	7A3	R1	40.59	5.01	45.12	4.53	9.52	9.35
		R2	41.09	5.02	45.64	4.55	9.28	
		R3	38.21	5.00	42.75	4.54	9.24	
Colta (7B)	7B1	R1	39.14	5.04	43.94	4.80	4.74	4.74
		R2	40.24	5.07	45.07	4.83	4.75	
		R3	46.99	5.05	51.80	4.81	4.73	
	7B2	R1	36.48	5.10	41.35	4.87	4.45	4.22
		R2	39.97	5.09	44.86	4.89	3.87	
		R3	39.60	5.04	44.42	4.82	4.35	
	7B3	R1	39.57	5.07	44.52	4.95	2.39	2.46
		R2	37.07	5.10	42.06	4.99	2.14	
		R3	36.41	5.06	41.33	4.92	2.85	

Anexo 13

Contenido de materia orgánica en las muestras de sedimento de lagunas en época lluviosa

Análisis de parámetros fisicoquímicos de muestras de sedimentos de lagunas en época lluviosa								
Laguna	Muestra	Repetición	Peso Crisol (g)	Peso de la muestra Antes de la ignición (g)	Peso de la muestra+ crisol después de la ignición (g)	Peso de la muestra después de la ignición (g)	Materia Orgánica (%)	Promedio Materia Orgánica (%)
Magtayán (7A)	7A1	R1	48.21	5.11	53.00	4.79	6.34	6.09
		R2	38.57	5.03	43.31	4.74	5.77	
		R3	46.47	5.09	51.25	4.78	6.15	
	7A2	R1	47.58	5.06	52.17	4.59	9.23	9.44
		R2	47.57	5.02	52.12	4.55	9.46	
		R3	43.96	5.00	48.48	4.52	9.64	
	7A3	R1	38.35	5.12	42.17	3.82	25.35	28.28
		R2	38.95	5.07	42.57	3.62	28.66	
		R3	45.55	5.10	49.08	3.53	30.82	
Colta (7B)	7B1	R1	38.05	5.06	42.74	4.69	7.23	7.45
		R2	37.81	5.05	42.46	4.65	7.94	
		R3	42.95	5.08	47.67	4.72	7.17	
	7B2	R1	47.99	5.02	53.01	5.02	0.10	3.26
		R2	43.57	5.15	48.42	4.85	5.81	
		R3	38.81	5.02	43.64	4.83	3.86	
	7B3	R1	39.12	5.04	43.94	4.82	4.40	4.48
		R2	46.78	5.05	51.60	4.82	4.61	
		R3	44.70	5.05	49.53	4.83	4.42	

Anexo 14*Análisis de pH y conductividad en las muestras de sedimento de lagunas en época lluviosa*

Análisis de parámetros fisicoquímicos de muestras de sedimentos de lagunas en época lluviosa						
Laguna	Muestra	Repetición	pH	Promedio pH	Conductividad (us/cm)	Promedio conductividad (us/cm)
Magtayán (7A)	7A1	R1	6.20	6.17	6.77	48.26
		R2	6.17		68.50	
		R3	6.14		69.50	
	7A2	R1	5.48	5.46	53.20	53.63
		R2	5.46		52.90	
		R3	5.45		54.80	
	7A3	R1	6.08	6.10	150.50	150.60
		R2	6.09		150.70	
		R3	6.13		150.60	
Colta (7B)	7B1	R1	8.46	8.50	46.30	45.47
		R2	8.50		44.70	
		R3	8.54		45.40	
	7B2	R1	8.59	8.58	39.60	39.77
		R2	8.58		39.80	
		R3	8.58		39.90	
	7B3	R1	8.40	8.51	198.30	198.43
		R2	8.40		198.10	
		R3	8.72		198.90	

Anexo 15

Análisis de pH y conductividad en las muestras de sedimento de lagunas en época lluviosa

Análisis de parámetros fisicoquímicos de muestras de sedimentos de lagunas en época lluviosa						
Laguna	Muestra	Repetición	pH	Promedio pH	Conductividad (us/cm)	Promedio conductividad (us/cm)
Magtayán (7A)	7A1	R1	6.10	6.12	54.20	50.00
		R2	6.18		48.10	
		R3	6.09		47.70	
	7A2	R1	5.55	5.55	30.40	29.77
		R2	5.55		29.80	
		R3	5.55		29.10	
	7A3	R1	6.38	6.25	110.20	110.00
		R2	6.13		110.00	
		R3	6.24		109.80	
Colta (7B)	7B1	R1	7.75	7.74	738.00	708.67
		R2	7.72		668.00	
		R3	7.74		720.00	
	7B2	R1	7.89	7.84	374.00	373.00
		R2	7.82		370.00	
		R3	7.80		375.00	
	7B3	R1	8.06	8.05	355.00	352.00
		R2	8.06		353.00	
		R3	8.02		348.00	

Anexo 16

Puntos de optimización de metales pesados para el espectrofotómetro

Zinc	Manganeso
$V1 = \frac{C2.V2}{C1} \quad V1 = \frac{0.2 \text{ ppm} \times 50 \text{ ml}}{10 \text{ ppm}}$ $V1 = 1$	$V1 = \frac{C2.V2}{C1} \quad V1 = \frac{0.2 \text{ ppm} \times 50 \text{ ml}}{10 \text{ ppm}}$ $V1 = 1$
0.2= 1 0.5 = 2.5 0.7= 3.5 1 = 5 (punto de optimización) 1.2 = 6 1.5= 7.5	0.2=1 0.4 =2 0.8 =4 1.5 =7.5 2 =10 (punto de optimización) 2.5 = 12.5
Niquel	Cadmio
$V1 = \frac{C2.V2}{C1} \quad V1 = \frac{0.5 \text{ ppm} \times 50 \text{ ml}}{10 \text{ ppm}}$ $V1 = 2.5$	$V1 = \frac{C2.V2}{C1} \quad V1 = \frac{0.2 \text{ ppm} \times 50 \text{ ml}}{10 \text{ ppm}}$ $V1 = 1$
0.5= 2.5 1 = 5 3 = 15 5 = 25 (punto de optimización) 7 = 35	0.2 = 1 0.4 = 2 0.8 =4 1.5 =7.5 (punto de optimización) 2 =10 2.5 = 12.5
Hierro	Plomo
$V1 = \frac{C2.V2}{C1} \quad V1 = \frac{0.5 \text{ ppm} \times 50 \text{ ml}}{10 \text{ ppm}}$ $V1 = 2.5$	$V1 = \frac{C2.V2}{C1} \quad V1 = \frac{0.2 \text{ ppm} \times 50 \text{ ml}}{10 \text{ ppm}}$ $V1 = 2.5$
0.5= 2.5 1 = 5 3 = 15 5 = 25 (punto de optimización) 7 = 35	0.5=2.5 1=5 3=15 5=25 7=35 (punto de optimización)
Cobre	
$V1 = \frac{C2.V2}{C1} \quad V1 = \frac{0.5 \text{ ppm} \times 50 \text{ ml}}{10 \text{ ppm}}$ $V1 = 2.5$	

0.5= 2.5

1 = 5

2 = 10

3.5= 17.5 (punto de optimización)

4= 20

Anexo 17

Toma de muestra in situ



Anexo 18

Transporte de muestras



Anexo 19

Análisis de muestras en laboratorio



Anexo 20
Muestras de sedimento



Anexo 21
Laguna Magtayán



Anexo 22
Laguna de Colta

