



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**DETERMINACIÓN DEL ENRIQUECIMIENTO DE METALES
PESADOS EN LA LAGUNA ATILLO, PARROQUIA CEBADAS,
CANTÓN GUAMOTE DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA/O AMBIENTAL

AUTORES: KEVIN ALEXANDER CABEZAS ESPINOZA

DAYANA MARISOL CRUZ CARGUA

DIRECTOR: ING. FREDDY MARCO ARMIJOS ARCOS MSC.

Riobamba – Ecuador

2023

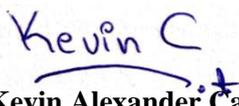
© 2023, Kevin Alexander Cabezas Espinoza & Dayana Marisol Cruz Cargua

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Kevin Alexander Cabezas Espinoza y Dayana Marisol Cruz Cargua, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 02 de Febrero de 2023


Kevin Alexander Cabezas Espinoza
0603750597


Dayana Marisol Cruz Cargua
1751548676

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

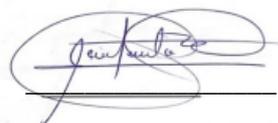
El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DEL ENRIQUECIMIENTO DE METALES PESADOS EN LA LAGUNA ATILLO, PARROQUIA CEBADAS, CANTÓN GUAMOTE DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por el señor **KEVIN ALEXANDER CABEZAS ESPINOZA** y la señorita: **DAYANA MARISOL CRUZ CARGUA** y ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

|

Ing. María Fernanda Rivera Velásquez, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2023-02-02

Ing. Freddy Marco Armijos Arcos Msc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-02-02

Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos Msc.
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-02-02

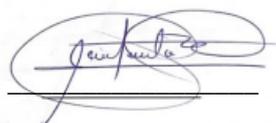
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DEL ENRIQUECIMIENTO DE METALES PESADOS EN LA LAGUNA ATILLO, PARROQUIA CEBADAS, CANTÓN GUAMOTE DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por el señor **KEVIN ALEXANDER CABEZAS ESPINOZA** y la señorita: **DAYANA MARISOL CRUZ CARGUA** y ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. María Fernanda Rivera Velásquez, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2023-05-05

Ing. Freddy Marco Armijos Arcos Msc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-05-05

Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos Msc.
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-05-05

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo investigativo principalmente a Dios, por darme la fuerza necesaria de culminar una de mis metas propuestas en mi vida. Especialmente a mi madre Patricia Espinoza Rodríguez que, gracias a su apoyo fundamental, estoy culminando mi carrera como Ingeniero Ambiental y a mi Padre Raúl Cabezas. A la misma vez a mis hermanos Jhonnatan que me ha logrado colmar de buenos consejos y apoyo, Paulina que de una u otra manera me ha otorgado motivación para poder seguir con mis metas. A mi sobrina Paola Abigail que cada día me motivaba para poder ser un ejemplo a seguir. De igual forma a mi compañera de investigación Dayana Cruz que formo parte de mi vida y carrera estudiantil la que me ha apoyado en buenos y malos momentos.

Kevin

El presente trabajo va dedicado a Dios por ser quien me dio la sabiduría y fortaleza para no rendirme ante los obstáculos presentados durante la carrera. A mi madre María del Carmen Cargua y a mi padre Fabián Cruz quienes son pilares fundamentales en mi vida, ya que, con sus consejos y confianza depositada en mí, me dieron el impulso para cumplir uno de mis sueños más anhelados. A mis hermanas Verónica la cual fue mi amiga, hermana y mamá en los peores y mejores momentos de mi vida, Adriana y Glenda de quienes tuve el apoyo y el amor incondicional, cada una de ellas son una parte importante y fundamental en mi diario vivir. A mis sobrinos David, Darlyn, Melissa, Juan Diego, Lía y Damián los cuales los amo con mi alma por ser el regalo más bonito que Dios me pudo haber dado, y también por ser mi fuente de inspiración para seguir adelante. A mi mejor amiga Lucero Naranjo quien fue esa persona que a lo largo de mi vida académica estuvo conmigo en todo momento. Finalmente, a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental por haberme impartido sus conocimientos e incentivar me hacer una mejor persona tanto profesional como personal.

Dayana

AGRADECIMIENTO

Primeramente, queremos agradecer a Dios por habernos dado la valentía y sabiduría en lo largo de nuestra carrera universitaria. Agradecemos a nuestros padres por ser ese apoyo fundamental en todo momento para poder cumplir nuestras metas, y a nuestros hermanos por su amor y confianza depositada en cada uno de nosotros. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo juntamente con sus docentes de la Facultad de Ciencias, quienes nos impartieron sus mejores conocimientos en base a la carrera. Extendemos un fuerte agradecimiento quien fue parte fundamental del desarrollo de la investigación al Ing. Andrés Beltrán como también al Ing. Freddy Armijos y al Dr. Mauricio Álvarez quienes nos supieron guiar en este proceso arduo de investigación, compartiéndonos sus experiencias y a la vez aconsejándonos para que se dé un trabajo de excelencia. Finalmente agradecemos al grupo de investigación GIDAC por habernos abierto sus puertas y a los técnicos docentes que forman parte del grupo.

Kevin & Dayana

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Limitaciones y delimitaciones.....	2
1.3 Problema general de investigación.....	3
1.4 Problemas específicos de investigación.....	3
1.5 Objetivos.....	3
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.6 Justificación.....	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes de investigación.....	5
2.2 Referencias teóricas.....	5
2.2.1 <i>Sistema lacustre</i>	5
2.2.2 <i>Sistemas lacustres alto andinos</i>	6
2.2.3 <i>Tipos de lacustres</i>	6
2.2.4 <i>Las macrófitas como bioindicadores de eutrofización</i>	6
2.2.5 <i>Especies invasoras acuáticas</i>	7
2.2.6 <i>Composición florística de los sistemas lacustres</i>	8
2.2.7 <i>Eutrofización en sistemas lacustres</i>	8
2.2.8 <i>Concentración de nutrientes en el lago y humedales</i>	9
2.2.9 <i>Recurso suelo</i>	9

2.2.10	<i>Sedimento</i>	10
2.2.11	<i>Transporte de los sedimentos</i>	10
2.2.12	<i>Caracterización del sedimento</i>	10
2.2.13	<i>Metales pesados</i>	11
2.2.14	<i>Metales pesados en sistemas lacustres</i>	11
2.2.15	<i>Metales pesados en los sedimentos marinos</i>	12
2.2.16	<i>Metales pesados en sedimentos</i>	12
2.2.17	<i>Contaminación por cadmio en sedimentos</i>	13
2.2.18	<i>Contaminación por níquel en sedimentos</i>	13
2.2.19	<i>Contaminación por plomo en sedimentos</i>	13
2.2.20	<i>Contaminación por mercurio en sedimentos</i>	14
2.2.21	<i>Contaminación por aluminio en sedimentos</i>	14
2.2.22	<i>Nutrientes</i>	15
2.2.22.1	<i>El nitrógeno en los sedimentos</i>	15
2.2.22.2	<i>Ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea</i>	16
2.2.22.3	<i>El nitrógeno agrícola en sistemas acuáticos</i>	17
2.2.22.4	<i>Ciclo del carbono en los sistemas lacustres</i>	17
2.2.23	<i>Geo acumulación de los metales pesados</i>	18
2.2.24	<i>Disponibilidad de los metales pesados en sedimentos</i>	18
2.2.25	<i>Normativa ambiental</i>	18
2.2.25.1	<i>Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente</i>	18
2.2.25.2	<i>Acuerdo Ministerial 097.- Anexo 2: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados</i>	19

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLOGICO	20
3.1	Enfoque de investigación	20
3.2	Nivel de investigación	20
3.3	Diseño de investigación	20
3.3.1	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	20
3.3.2	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	20
3.4	Tipo de investigación	20
3.5	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	21
3.5.1	<i>Población</i>	21
3.5.2	<i>Planificación</i>	22

3.5.3	<i>Selección y cálculo del tamaño de la muestra</i>	22
3.5.3.1	<i>Determinación de los puntos de muestreo</i>	22
3.5.3.2	<i>Muestreo de sedimentos</i>	23
3.5.4	<i>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</i>	23
3.5.4.1	<i>Metodología para el análisis fisicoquímico del sedimento</i>	23
3.5.4.2	<i>Método de tamizado</i>	23
3.5.4.3	<i>Color</i>	24
3.5.4.4	<i>Análisis de la textura del sedimento</i>	26
3.5.4.5	<i>Método de textura por tacto</i>	27
3.5.4.6	<i>Método de calcinación</i>	28
3.5.4.7	<i>Calcinación</i>	29
3.5.4.8	<i>Ensayo de pH</i>	29
3.5.4.9	<i>Ensayo de conductividad eléctrica</i>	30
3.5.4.10	<i>Capacidad de intercambio catiónico</i>	31
3.5.4.11	<i>Nitrógeno por el método de Dumas</i>	32
3.5.4.12	<i>Determinación de aluminio intercambiable</i>	32
3.5.4.13	<i>Extracción de metales pesados método 3050B (EPA SW 846)</i>	33
3.5.4.14	<i>Concentración de metales pesados por el método 7000B, FLAA</i>	34
3.5.4.15	<i>Valores de fondo para la determinación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica</i>	36
3.5.4.16	<i>Variabilidad espacial por el método de IDW</i>	36
3.5.4.17	<i>Incidencia de los nutrientes en los metales pesados con estadístico (Coeficiente de Pearson)</i>	36
3.5.4.18	<i>Determinación del factor de enriquecimiento</i>	37
3.5.4.19	<i>Determinación de índice de geo-acumulación</i>	38

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	40
4.1	Parámetros fisicoquímicos	40
4.1.1	Color	40
4.1.1.1	<i>Color en seco</i>	40
4.1.1.2	<i>Color en húmedo</i>	41
4.1.2	Textura	41
4.1.3	pH	42
4.1.4	Conductividad eléctrica	43

4.1.5	<i>Materia orgánica</i>	44
4.1.6	<i>Carbono</i>	45
4.1.7	<i>Nitrógeno</i>	45
4.1.8	<i>Aluminio</i>	46
4.1.9	<i>Análisis descriptivo de nutrientes en la Laguna Atillo</i>	47
4.1.10	<i>Análisis descriptivo de metales en la Laguna Atillo</i>	48
4.1.11	<i>Incidencia de los nutrientes en los metales pesados con estadístico</i>	48
4.1.12	<i>Determinación de Índices de geo-acumulación</i>	50
4.1.12.1	<i>Índice de geo acumulación en mercurio (Hg)</i>	50
4.1.12.2	<i>Índice de geo acumulación en cadmio (Cd)</i>	50
4.1.12.3	<i>Índice de geo acumulación en níquel (Ni)</i>	51
4.1.12.4	<i>Índice de geo acumulación en plomo (Pb)</i>	51
4.1.12.5	<i>Índice de geo acumulación en aluminio (Al)</i>	51
4.1.13	<i>Variabilidad espacial de metales en la Laguna Atillo</i>	52
4.1.13.1	<i>Variabilidad espacial de mercurio</i>	52
4.1.13.2	<i>Variabilidad espacial de plomo</i>	53
4.1.13.3	<i>Variabilidad espacial de níquel</i>	54
4.1.14	<i>Determinación de factores de enriquecimiento</i>	56
4.1.14.1	<i>Factor de enriquecimiento por mercurio (Hg)</i>	56
4.1.14.2	<i>Factor de enriquecimiento por cadmio (Cd)</i>	56
4.1.14.3	<i>Factor de enriquecimiento por níquel (Ni)</i>	56
4.1.14.4	<i>Factor de enriquecimiento por plomo (Pb)</i>	57
4.1.14.5	<i>Factor de enriquecimiento por aluminio (Al)</i>	57

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1	Conclusiones	58
5.2	Recomendaciones	59

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Criterios de la Calidad del suelo.....	19
Tabla 3-1: Rangos de interpretación para el pH.....	30
Tabla 3-2: Rangos de interpretación para conductividad eléctrica	30
Tabla 3-3: Rangos de interpretación de nitrógeno	32
Tabla 3-4: Valores de fondo para Hg, Cd, Ni, Pb y Al	36
Tabla 3-5: Interpretación del coeficiente de relación de Pearson	37
Tabla 3-6: Clases de factores de enriquecimiento de un metal pesado.....	38
Tabla 3-7: Grado de contaminación de acuerdo con el Índice de Geo acumulación	38
Tabla 4-1: <i>Análisis</i> descriptivo de <i>CE</i> en (<i>dS/m</i>)	43
Tabla 4-2: Análisis descriptivo y comparativo de MO y COS en (%).....	44
Tabla 4-3: Análisis descriptivo de los nutrientes de la zona de estudio.....	47
Tabla 4-4: Análisis descriptivo de los nutrientes de la zona de estudio.....	48
Tabla 4-5: Correlación entre parámetros físico químico y concentración de nutrientes.....	48
Tabla 4-6: Correlación entre parámetros físico químico y concentración de metales	49
Tabla 4-7: Correlación entre concentración de nutrientes y concentración de metales	49
Tabla 4-8: Índices de Geo acumulación de metales de la Laguna Atillo.....	50
Tabla 4-9: Factores de enriquecimiento de sedimentos en la Laguna Atillo	56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2- 1: Ciclo del nitrógeno.....	16
Ilustración 3- 1: Laguna de Atillo	21
Ilustración 3- 2: Punto de muestreo de la Laguna Atillo.....	22
Ilustración 3-3: Tabla de Munsell	25
Ilustración 3-4: Clases de Texturas del Suelo	27
Ilustración 4-1: Porcentaje de color promedio de sedimento en seco de la Laguna Atillo	40
Ilustración 4-2: Porcentaje de color promedio de sedimento en húmedo de la Laguna Atillo..	41
Ilustración 4-3: Porcentaje de promedio de textura de la Laguna Atillo.....	41
Ilustración 4-4: Valores de pH promedio en sedimentos de la Laguna Atillo	42
Ilustración 4-5: Valores de Conductividad Eléctrica promedio en sedimentos de la Laguna Atillo.	43
Ilustración 4-6: Porcentaje de Materia Orgánica promedio en los sedimentos de la Laguna Atillo.	44
Ilustración 4-7: Porcentaje de Carbono promedio en los sedimentos de la Laguna Atillo.....	45
Ilustración 4-8: Porcentaje de Nitrógeno promedio en la zona de estudio Laguna Atillo.....	45
Ilustración 4-9: Concentración de Aluminio en la zona de estudio Laguna Atillo.	46
Ilustración 4-10: Variabilidad espacial del Mercurio	52
Ilustración 4-11: Variabilidad espacial del Plomo	53
Ilustración 4-12: Variabilidad espacial de Níquel	54
Ilustración 4-13: Variabilidad espacial del Aluminio	55

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO
ANEXO B:	MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO
ANEXO C:	PREPARACIÓN DEL BOTE
ANEXO D:	ZONA DE ESTUDIO – LAGUNA ATILLO
ANEXO E:	RECOLECCIÓN DE MUESTRA DE SEDIMENTO
ANEXO F:	ETIQUEDADO DE MUESTRAS DE LOS SEDIMENTOS
ANEXO G:	SECADO DE MUESTRA
ANEXO H:	DETERMINACION DE pH Y CONDUCTIVIDAD
ANEXO I:	DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA
ANEXO J:	DETERMINACIÓN DE CATIONES INTERCAMBIABLES (CIC)
ANEXO K:	CONCENTRACIONES DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO
ANEXO L:	DETERMINACIÓN DE ALUMINIO MEDIANTE EL FOTÓMETRO
ANEXO M:	PREPARACION DE MUESTRAS PARA LA DIGESTIÓN ÁCIDA DE SEDIMENTOS
ANEXO N:	DIGESTIÓN ÁCIDA DE LAS MUESTRAS
ANEXO O:	MUESTRAS AFORADAS PARA EL ÁNALISIS DE SEDIMENTOS
ANEXO P:	ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

RESUMEN

Los sistemas lacustres del Ecuador son zonas vulnerables ante las actividades antropogénicas, y una gran afectación a los cuerpos hídricos es la contaminación de metales pesados en los sedimentos, por lo cual la presente investigación tuvo como objetivo principal la determinación del enriquecimiento de los metales pesados de la Laguna Atillo del Canto Guamote, Provincia de Chimborazo, para la cual se definieron 21 puntos de muestreo, dividiéndolos en tres transectos de manera longitudinal. El muestreo se lo realizó en el mes de mayo del 2022, con ayuda de un bote, y una draga Van Ven. Se recogieron aproximadamente 500 gramos las cuales fueron sometidas a análisis de parámetros físico químicos en donde se obtuvo que el pH fue neutro, la conductividad eléctrica nos reflejó que sus sedimentos no presentan salinidad, la determinación de nutrientes como el nitrógeno, el porcentaje de materia orgánica, aluminio mantuvieron una relación directa debido a su origen y para finalizar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) los datos se expusieron mediante un mapa de variabilidad por lo que presento que la dispersión de sus nutrientes mantienen un grado alto y la determinación de metales pesados que se realizó mediante el método 3050B para la digestión acida y el método 7000B para la espectrofotometría de absorción atómica de Pb, Cd, Hg y Ni. En conclusión, según los resultados obtenidos a través del factor de enriquecimiento se pudo deducir que la Laguna de Atillo no presenta contaminación por fuentes diferentes a la natural que este caso es la roca madre, para lo cual también se utilizó el índice de geo acumulación con los metales pesados, sin embargo, se observó que a nivel general del cuerpo hídrico estudiado no presenta una contaminación en sus sedimentos por metales pesados.

Palabras clave: <METALES PESADOS>, <SISTEMAS LACUSTRES >, <SEDIMENTOS>, <LAGUNA ATILLO>, <GEOACUMULACION>.

1196-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

The lake systems of Ecuador are vulnerable areas before anthropogenic activities, and a great affectation on the water bodies is the contamination of heavy metals in the sediments. This research aimed to determine the enrichment of heavy metals in the Atillo Lagoon of Canto Guamote, Chimborazo Province, for which 21 sampling points were defined, dividing them into three longitudinal transects. The sampling was carried out in May 2022 with the help of a boat and a Van Ven dredge. Approximately 500 grams were collected, which were subjected to analysis of physical-chemical parameters where it was obtained that the pH was neutral, the electrical conductivity reflected that their sediments do not present salinity, the determination of nutrients such as nitrogen, the percentage of organic matter, aluminium maintained a direct relationship due to its origin and to finalize the cation exchange capacity (CEC) the data was exposed using a variability map, so I present that the dispersion of its nutrients maintains a high degree and the determination of heavy metals which was carried out using the 3050B method for acid digestion and the 7000B method for the atomic absorption spectrophotometry of Pb, Cd, Hg and Ni. It is concluded that the Atillo Lagoon does not present contamination from sources other than the natural one, which in this case is the mother rock, for which the geo accumulation index with heavy metals was also used; however, it was observed that at the general level of the studied water, the body does not present contamination in its sediments by heavy metals.

Keywords: <HEAVY METALS>, <LAKE SYSTEMS>, <SEDIMENTS>, <LAGUNA ATILLO>, <GEO ACCUMULATION>.



Ing. Paul Obregón. Mgs

0601927122

INTRODUCCIÓN

Los sedimentos de los sistemas lacustres forman parte de ciertos procesos ambientales, la materia orgánica se le puede dividir entre autóctona como las plantas terrestres del lugar y las alóctonas como el fitoplancton acuático. Las actividades industriales son una fuente de alteración a la materia orgánica sedimentaria (Poerschmann, Koschorreck, Górecki 2017).

Los metales pesados son los constituyentes básicos de las fuentes artificiales de desechos domésticos, agrícolas e industriales, que son peligrosos para la vida marina, los seres humanos y la degradación ambiental en general. El sedimento, uno de los principales reservorios de estos elementos, actúa como contaminante secundario en un sistema lacustre (Acosta et al. 2002).

Los manantiales que se forman en la parte alta de los páramos de Guamote se encuentran cercados con postes de cemento y alambre de púas, por lo que están expuestos al uso excesivo de agroquímicos y descargas de aguas servidas. Uno de los grandes problemas para controlar y conservar los recursos hídricos es: sembrar en bordes agrícolas; quema de pastos para forraje; pastoreo a lo largo del sistema lacustre y la acumulación de basura en áreas aledañas a fuentes de agua (GAD GUAMOTE 2019).

El sistema lacustre Atillo se conforma de 18 lagunas sin embargo en este estudio se enfocó en laguna de Atillo la misma que está cubierta por vegetación nativa como el polylepis, (GAD GUAMOTE 2019), al estar en un lugar donde se ve la presencia de ganados y sembríos las cuales son factores directos de contaminación se busca analizar el enriquecimiento de los metales pesados existentes en la Laguna Atillo para lo cual se establecieron métodos de análisis y muestreos, dividiendo así a la laguna por tres transectos de los cuales se obtuvieron siete puntos en los mismos, obteniendo 21 muestras de sedimentos en total.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, el recurso hídrico del municipio de Guamote ha disminuido claramente tanto en calidad como en cantidad, debido al mal manejo de los ecosistemas del municipio, frente a las fronteras agrícolas y ganaderas y al uso excesivo de agroquímicos y descarga de aguas residuales de las pequeñas empresas de lácteos lo que afecta de manera negativa a los sistemas lacustres del cantón, por lo cual se observó la escasa investigación sobre el tema en cuanto a la acumulación o enriquecimiento de metales pesados en las lagunas de Atillo.

La Laguna Atillo, al ser un área protegida de acceso limitado, no ha sido estudiada, lo que la convierte en un medio vulnerable, ya que sus actividades de dragado de sedimentos no cuentan con criterios orientadores y analíticos específicos, lo que provoca importantes impactos ambientales consecuentes en áreas relacionadas con la biodiversidad, así como el aumento de las concentraciones de metales pesados en los sedimentos depositados en las orillas de las lagunas debido a las precipitaciones.

Al no contar con un Plan de Manejo el sistema lacustre de Atillo este estudio se enfocó en determinar el enriquecimiento de los metales pesados en la laguna Atillo por lo cual será un indicador de si existe o no elevadas concentraciones de metales pesados que puedan afectar provocando una bioacumulación y eutrofización en la laguna.

1.2 Limitaciones y delimitaciones

Limitaciones: En la realización del trabajo de investigación no se encontró estudios previos, en el lugar de monitoreo el acceso fue ilimitado ya que no existe una ruta accesible para poder entrar con todo el equipo de muestreo.

Delimitaciones: El presente trabajo de investigación se realizó en la Laguna Atillo, que se encuentra a 3460.5 msnm en la Parroquia de Cebadas, Cantón Guamote – Riobamba.

1.3 Problema general de investigación

El complejo lacustre de Atillo se encuentra ubicado en las cimas de las montañas con topografía de onduladas quebradas, donde los asentamientos y las actividades antropogénicas se han dado en una gran cantidad por lo que se asumió una posible presencia de metales pesados ya que existe una gran cantidad de ganado y de sembríos por lo que el uso de agroquímicos y los desechos del ganado contienen cierta cantidad de metales pesados y con la presencia de precipitaciones esto hace que vaya arrastrando por el suelo hasta llegar a las lagunas de Atillo generando un porcentaje de concentración en las orillas de las lagunas, es por ello que mediante los sedimentos del lacustre se determinara el enriquecimiento de metales pesados y su variabilidad espacial.

1.4 Problemas específicos de investigación

Al no encontrarse estudios sobre la concentración de metales pesados en la Laguna de Atillo a causa de las actividades ganaderas y agrícolas generadas por la comunidad que se encuentra asentada en los alrededores y excesivo de agroquímicos y en cierta parte quema de pastizales y excreciones les ganado las cuales son motivo de acumulación de ciertos metales para lo cual se propuso realizar el estudio sobre la determinación de los metales pesados como : Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Aluminio (Al).

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Determinar el enriquecimiento de metales pesados en sedimentos de la laguna Atillo cantón Guamote Provincia de Chimborazo.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar la variabilidad espacial de la concentración de los metales en los sedimentos de la laguna Atillo.
- Evaluar la incidencia de nutrientes en la concentración de metales pesados de los sedimentos en la laguna de Atillo.
- Valorar el índice de enriquecimiento de metales pesados en las lagunas de Atillo.

1.6 Justificación

El estudio realizado para la determinación de metales pesados y su variabilidad espacial en la Laguna Atillo se analizó mediante la digestión acida la cual se lleva a cabo con ácido nítrico y peróxido de hidrogeno para una oxidación completa en base a las recomendaciones del Standard Methods 19ed. 1995, para lo cual también se analizó los parámetros físicos de la muestra de sedimento los cuales fueron pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, color (Munshell), textura, mediante estos valores se pudieron observar ciertas características como indicadores de existencia de metales pesados debido a las actividades antropogénicas.

Al no contar con estudios en el área de investigación sector Atillo se procedió a realizar el proceso correspondiente, basándonos en una guía de referencia y de laboratorios del GIDAC como también de artículos científicos basados en metales pesados, por lo que cada metodología fue basada y revisada con ayuda de los técnicos de laboratorio para su debido análisis.

Para lograr con los objetivos planteados en el trabajo de investigación, se acude a la técnica de monitoreo de sedimentos de la Laguna de Atillo, ya que con ello se pretende determinar la concentración de los metales pesados existentes en el lugar mediante el laboratorio de la Facultad de Ciencias- ESPOCH. Así los resultados de la investigación se apoyan en técnicas de investigación validas en el medio. Los resultados obtenidos ayudaran a analizar la variabilidad espacial de las concentraciones de los metales pesados y su posible origen en la Laguna de Atillo, por lo tanto, se realizará una investigación que aporte al beneficio y conservación del complejo lacustre.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

La comunidad de Atillo es conocida por sus actividades agrícolas, por lo que sus cultivos suelen desarrollarse en las tierras altas rodeadas de altas montañas y fuertes pendientes, aunque cuenta con varias lagunas, entre ellas la Laguna Atillo. Tiene su origen en el río Atillo, afluente del río Chambo, la cuenca del río Atillo es el principal cuerpo de agua para el riego de cultivos a través de los canales de riego de tierras bajas de Guano y Pantus, pero su agua se utiliza para alimentar el Agoyan. Debido al contacto de los cultivos en la cuenca, algunos metales pesados se encontrarán en la orilla de la laguna, lo que representa una amenaza para el suministro de agua en las zonas bajas (Bastidas 2002).

Los ecosistemas actualmente están expuestos a contaminantes metálicos provenientes de las actividades de desarrollo humano, y sus áreas protegidas no están ajenas a este problema. El suelo puede actuar como un captador, facilitando la liberación de metales por parte de los organismos que entran en contacto con él, lo que podría causar problemas de biomagnificación en la cadena alimentaria (J.C. Muyulema-Allaica 2019).

Los metales pesados se encuentran entre los contaminantes ambientales más importantes debido a su toxicidad, persistencia y tendencia a acumularse en los organismos acuáticos, y su estudio se justifica por el riesgo ambiental que representan. La mayoría de los metales pesados que ingresan al medio ambiente se concentran en los sistemas de agua a través de emisiones directas, precipitaciones húmedas, secas y erosión. Los sedimentos pueden absorber y acumular metales que ingresan al ambiente marino, y los cambios en sus condiciones fisicoquímicas pueden fluir hacia atrás y liberar metales a la columna de agua (Rizzo, Daga, Arcagni 2010).

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 *Sistema lacustre*

Solo 0,7 µl del agua de la Tierra es agua dulce y se encuentra en lagos, ríos, acuíferos. Las cuencas lacustres pueden formarse por procesos geológicos tales como deformación o fractura de rocas, y por la formación de un muelle natural en el río debido a la vegetación, deslizamientos,

acumulación de hielo o depósitos de limo o lava volcánica, lagos de barrera. El agua del lago proviene, por un lado, de la precipitación atmosférica, que lo abastece directamente, y, por otro lado, de manantiales, arroyos y ríos (Sistemas lacustres - Enciclopedia Medioambiental 2019).

2.2.2 *Sistemas lacustres alto andinos*

Los sistemas lacustres alto andinos son cuerpos hídricos que requieren de cuidado tanto ambiental como social por lo cual se debe generar una óptima gestión para su existencia a largo plazo. En Ecuador existen una variedad de sistemas lacustres alto andinos ubicados en la región andina sur como el Manu, Oña Saraguro, Lagunas del Compadre y Yacuri para lo cual tales sistemas lacustres han sido promovidos para su conservación y priorizarles (Ordóñez Delgado 2013).

2.2.3 *Tipos de lacustres*

- Tectónicos: lagos los cuales se originan mediante fallas según los movimientos del suelo los cuales obstaculizan la esorrentía de un río (Barona 2012).
- De barrera: su origen se da mediante algún desprendimiento o taponamiento en la parte de los valles dando así la acumulación de las aguas (Barona 2012).
- Glaciares: es cuando las aguas ocupan un lugar erosionado dando el origen de un lago.
- De cráter: es un formación después de una erupción del cráter del volcán en el cual se da origen a un hundimiento circular donde las aguas se depositarán (Barona 2012).
- Endorreicos: son lagos que contienen agua salada ya que estos se dan en depresiones en la corteza terrestre cerca del mar (Barona 2012).

2.2.4 *Las macrófitas como bioindicadores de eutrofización*

Las macrófitas son especies de gran importancia en un sistema lacustre ya que se encargan de realizar su producción primaria, ofreciendo nichos a distintos niveles tróficos. Sin embargo, las actividades antropogénicas (ganadería, cultivos) cercanas a las lagunas dan origen a una desestabilización en su estructura por lo cual van perdiendo nutrientes y las especies acuáticas tienden a perderse. Las macrofitas son plantas que ayudan a los sedimentos a mantenerse estables debido a la acumulación de nutrientes que pueden depositarse en ella, la profundidad máxima oscila entre 4.7 a 7.7m para su óptimo crecimiento de la misma (Kiersch, Mühleck, Gunkel 2004).

La presencia de las plantas macrofitas en los lagos o lagunas se deben a ciertos parámetros de posición como:

- La transparencia del agua ya que este es un indicador de la profundidad en la que se encuentran las macrofitas (Kiersch, Mühleck, Gunkel 2004).
- La calidad del agua es de gran importancia ya que de esta depende la producción primaria para realización su ciclo de vida y también se relacionan con la concentración de los nutrientes y a su vez a la disminución de CO₂, pH los cuales pueden ser efectos de una eutrofización (Kiersch, Mühleck, Gunkel 2004).

La *P. striatus* en base a estudios es una indicadora de condiciones eutróficas en las cuales encontraron en estudios realizados a los lagos de San Pablo y La Mica una población grande de esta especie la cual indica una alta contaminación de nutrientes esto se debe a que estos lagos se encuentran en exposición de ganadería y por ende de actividades domésticas en las cuales hacen el uso de agroquímicos (Kiersch, Mühleck, Gunkel 2004).

Una de las especies más características de la mayoría de los lagos del Ecuador es la Totora *Scirpus californicus* la cual ha sido útil para las comunidades aledañas y la fabricación de esteras, estas plantas crecen hasta los siete metros. Si bien los estudios realizados han logrado determinar que por la falta de cuidado y el aumento de contaminación el nivel del agua de los sistemas lacustres está disminuyendo como un indicador tenemos a las totoras ya que gracias a su altura se va observando como la polución va afectado a su entorno acuático (Terneus 2014).

2.2.5 *Especies invasoras acuáticas*

Las especies invasoras en áreas naturales protegidas es uno de los más grandes problemas a nivel mundial ya que estas pueden llegar a ser una amenaza para su diversidad biológica lo que conlleva a realizar una adecuada gestión, gracias al Programa Global de Especies Invasoras (GISP) pudieron realizar un estudio contabilizado de cada especie invasora de cada continente. Según los resultados de GISP en Sudamérica tenemos a la planta invasora como *Eichhornia crassipes* “Jacinto de agua o lirio acuático” (Mifsut 2014).

La expansión de las especies invasoras se da a través de las especies nativas lo cual esto desfavorece a su hábitat por lo que entran en una competencia por espacio, luz y nutrientes, debilitando la adaptación de las condiciones locales lo que provoca cambios irreversibles como la pérdida de hábitat y su extinción. Por lo cual cada una de las introducciones genera una expansión de gran magnitud de las especies invasoras generando un empobrecimiento en el ecosistema (Cedeño 2018).

Estudios han determinado que existen varios retos para el manejo adecuado de las especies invasoras acuáticas para que esto asegure su conservación y protección, lo que han propuesto como un reto es llegar a concientizar en la parte social y cultural en cuanto al uso indiscriminado de ciertos fertilizantes y agroquímicos que pueden ser los factores principales que alteren su estructura hidrológica y haga que especies invasora se adapten a esas nuevas condiciones que la contaminación acuática modifica (Mifsut 2014).

2.2.6 *Composición florística de los sistemas lacustres*

En el Ecuador el 90% de agua que utilizan las ciudades son provenientes de las lagunas de los páramos es por ello por lo que las plantas acuáticas cumplen una función importante la cual es optimizar la calidad del agua, de manera que desprenden oxígeno y van acumulando nutrientes. Por lo cual tener información sobre su distribución y la relación con los factores ambientes ayuda al conocimiento de la funcionalidad de los sistemas lacustres (Terneus 2002).

La composición florística de los lagos del Ecuador se encuentra con la mayoría de angiospermas, también las especies relevantes son los helechos, y por ultimo las algas. En las nueve lagunas de El Ángel según estudios realizados encontraron áreas extensas de frailejón muy abundante en los páramos andinos, los sistemas lacustres de El Ángel suelen tener una buena retención de agua con un pH ácido, y en cuanto a textura suelen ser francos arenosos, su mayor riqueza florística está en las monocotiledóneas (Terneus 2002).

Los factores ambientales intervienen en la composición florística ya que de estos dependen para que cada perfil de vegetación vaya creciendo a grandes profundidades, ejerciendo una resistencia en cada cambio que se vaya dando dentro del cuerpo hídrico (Terneus 2002).

2.2.7 *Eutrofización en sistemas lacustres*

La eutrofización se conoce como un proceso natural en el cual se da una excesiva acumulación de nutrientes lo que conlleva a una contaminación del cuerpo hídrico provocando que a un largo o corto plazo el lago desaparezca, sin embargo las actividades antropogénicas a las cuales se encuentre expuesto el sistema lacustre puede hacer que ocurra un aceleramiento de este proceso, mediante las descargas directas de las aguas residuales las cuales contienen ciertos nutrientes que causan una contaminación por exceso de estos mismos (Gómez 2017)

El proceso de eutrofización afecta a todo su entorno acuático, por tanto toda su estructura va cambiando a medida de que el proceso vaya desarrollando es decir su color se va a tornar oscuro, presentado una turbidez en donde impida el paso necesario de la luz afectando a la biodiversidad acuática y disminuyendo el oxígeno en el lago, la presencia de cianobacterias en un sistema lacustre representa la mala calidad del agua, provocando así la muerte de especies vegetales y animales desequilibrando su sistema funcional (Gómez 2017).

2.2.8 Concentración de nutrientes en el lago y humedales

En el estudio realizado del Lago Rodó muestran que la concentración del N y P total en lagos y estanques están fuertemente relacionadas en la concentración de nutrientes, pero en humedales esta relación puede afectar. Sin embargo, con ayuda del crecimiento de *E. crassipes* se notó una disminución en cuanto a la concentración de los nutrientes (Rodríguez 2002).

- **Estrategias para el control de carga de nutrientes en un lago**

En la relación del control de la carga de nutrientes utilizan un programa de tipo experimental con una biomanipulación en la comunidad de peces, lo cual se procede a realizarse una remoción de especies de peces tanto omnívoros en dos tipos de estación (primavera – invierno) con el fin de disminuir la depredación y competencia con el zooplancton y de esta manera ejercer de manera significativa un aumento en el fitoplancton (Rodríguez 2002).

2.2.9 Recurso suelo

Al suelo se le conoce como la parte superficial de la corteza terrestre, el cual contiene varias propiedades y usos, el suelo es considerado como un recurso finito natural y es el componente fundamental del ambiente, y dentro de ello se encuentra constituido por aire, agua materia orgánica, minerales, organismos macro y micro y cada uno cumple con una función dentro del suelo logrando así un recurso vital para la sociedad. El suelo brinda servicios ambientales como son: la generación de alimentos y producción de biomasa como también el almacenaje de minerales, materia orgánica, la filtración del agua y la transformación es decir cumple con un ciclo para su funcionalidad.

2.2.10 Sedimento

Se lo conoce como sedimento al sólido acumulado sobre la superficie terrestre a causa de la presencia de los fenómenos naturales como son las precipitaciones, erosiones, vientos, los cuales pueden estar estables en periodos largos hasta luego asociarse a las rocas (Urgilez 2016).

El origen de la mayoría de los sedimentos en los cuerpos hídricos es debido a la erosión superficial el cual está compuesto por un mineral de la roca madre y un componente orgánico que se da en la formación del suelo, este también puede ser dado por la actividad biológica del lago (Urgilez 2016).

En los suelos arenosos a comparación de las arcillas la infiltración es más rápida por lo cual tienden a secarse de manera rápida, provocando la disminución de la humedad, en cuanto a los suelos arcillosos cuando tienen un aumento de humedad suelen inflarse lo cual impide el paso de la escorrentía, por lo cual las partículas permanecen suspendidas (Urgilez 2016).

2.2.11 Transporte de los sedimentos

Los sedimentos cumplen un rol importante en la función del ciclo del medio acuático ya que los sedimentos son los que transportan nutrientes y también contaminantes (Urgilez 2016).

En cuanto al transporte del sedimento se realiza gracias a la acción mecánica que ejerce la corriente de agua en un lago por lo que se da una transferencia de energía cinética tanto en la masa del agua como en el sedimento provocando así un movimiento de las partículas sólidas (Vásquez 2012).

En una corriente fluvial el sedimento que va a llegar será originado por ciertos procesos de erosión en laderas, el río transportara todos los sedimentos que sean posibles esto es gracias a la energía potencial que ejerce al desplazarse en todo el sitio hasta llegar a las desembocaduras del río. La eficiencia energética depende mucho de la rapidez del transporte del sedimento (Vásquez 2012).

2.2.12 Caracterización del sedimento

Una fuente de acumulación de sedimentos son los lagos ya que funcionan como reserva de varios de los nutrientes importantes para el proceso de eutrofización, el intercambio de los nutrientes entre los sedimentos está totalmente relacionado con las condiciones del agua y del sedimento,

ya que este proceso funciona como una fuente de acumulación de nutrientes que favorecen a la columna de agua provocando un amortiguamiento en la acumulación excesiva de los nutrientes y que ocurra una descomposición de materia orgánica (Ramírez 2004).

Los sedimentos de los sistemas lacustres no han sido muy utilizados para estudios de caracterización, es por ello por lo que Naumann (1930) quien fue el primero en realizar una caracterización de sedimentos expuso que son ricos en fosforo, nitrógeno, materia orgánica y que además en los lagos eutróficos son de origen autóctono, y por otro lado los sedimentos con escasa concentración de fosforo y nitrógeno son lagos oligotróficos dado así su primer análisis (Ramírez 2004).

El estudio de la composición granulométrica del sedimento en lacustres nos ayuda a poder identificar los patrones de distribución de ciertos organismos como pueden ser las comunidades de macroinvertebrados es por ello que la cantidad en porcentaje de arena, limo y arcilla es muy importante que las características físicas químicas, las partículas de menos tamaño son las que tiene velocidades bajas y son fácilmente llevadas por las aguas turbulentas y transportadas al lago según la dirección de la corriente (Ramírez 2004).

2.2.13 Metales pesados

Los metales pesados son llamados así por su alta potencialidad en contaminación y toxicidad, existen grupo de elementos como metales, no metales y semi metales (Rizzo, Daga, Arcagni 2010).

Los elementos trazas son llamados así ya que son aquellos elementos que se necesitan de manera esencial, pero en bajas concentraciones ya sea para suelo, plantas y agua, se los hace referencia con los oligoelementos los cuales son nutrientes esenciales para la funcionalidad del ciclo de vida ya sea de las plantas, animales, personas y en los metales pesados, sin embargo, si estos sobrepasan su concentración umbral se vuelven tóxicos (Rizzo, Daga, Arcagni 2010).

2.2.14 Metales pesados en sistemas lacustres

Los metales pesados son liberados al ambiente lo cual se distribuye en los sistemas lacustres a través de las descargas directas de las aguas residuales que generan las comunidades aledañas, tomando en cuenta que también influye la precipitación para el transporte de los metales pesados, los sedimentos son una reserva adecuada para la acumulación de los metales pesados que llegan

al ambiente lacustre lo cual provoca cambios en sus condiciones física como químicas que pueden dispersarse en toda la columna de agua (Rizzo, Daga, Arcagni 2010).

Los elementos trazan tienen principales fuentes naturales de la meteorización y también el lixiviado de rocas, las actividades antropogénicas generan contaminación a gran escala que afecta al cuerpo de agua de las áreas protegidas, sin embargo, se han encontrado en líquenes que tienen un porcentaje de enriquecimiento de metales pesados las cuales tenían cromo y plomo (Rizzo, Daga, Arcagni 2010).

2.2.15 Metales pesados en los sedimentos marinos

Los metales pesados en el ambiente son indicadores de efectos tóxicos que se están originando. En los sedimentos marinos es más fácil obtener las concentraciones ya que estas se encuentran disueltas en la columna de agua. Los sedimentos tienen relación con los metales trazas ya que estos les ayudan como vertedero final para que se acumulen y así sean absorbidos por el material particulado y en otras ocasiones estos pueden ser expulsados o liberados a la columna de agua (Echeverría 2014).

2.2.16 Metales pesados en sedimentos

La composición de los sedimentos está dada por una parte sedimentable, orgánica y de sólidos suspendibles debido a los residuos celulares de las acciones bacterianas, producidas en el momento que se da la oxidación, ya que estos ingresan al cuerpo hídrico mediante las aguas servidas o ya sea por la escorrentía superficial. También sirven como fuente de reserva para la acumulación de metales pesados siendo un aporte para la contaminación ya que estos suelen ser liberados a la columna de agua a causa de la alteración que existe en las condiciones ambientales (Ortega 2015).

Los sedimentos bajo análisis de metales pesados nos ayudan a investigar sobre la cantidad de contaminación que provoca en zonas como sistemas acuáticos ya que estos ayudan a la acumulación de metales pesados a concentraciones elevadas aproximadamente en una profundidad de 15 cm y por ende son directamente proporcionales al diámetro de las partículas de los sedimentos (Ortega 2015).

2.2.17 Contaminación por cadmio en sedimentos

El metal pesado Cadmio (Cd) es considerado un tóxico el cual es liberado en el ambiente ya sea por actividades antrópicas y por fuentes naturales las cuales pueden ser ciertas actividades volcánicas, incendios forestales como también por el transporte de partículas del suelo mediante el factor viento. En cuanto a las actividades antrópicas, estas se dan mediante el uso de fertilizantes fosfatados, quema de combustibles fósiles, cemento o a su vez la fabricación de baterías. El cadmio al ser liberado en el entorno tiende a acumularse en los suelos llegando a ser disponible en las plantas, y por ende en la cadena alimenticia, en ciertas especies pueden acumular grandes cantidades de cadmio (Mero 2018).

El cadmio en ecosistemas acuáticos se deposita en los sedimentos y estos a su vez son absorbidos por plantas y especies, una alta concentración de cadmio en un cuerpo acuático puede desestabilizar toda su cadena trófica, por otro lado, el metal también provoca una inhibición de crecimiento, clorosis y estrés oxidativo en las plantas (Mero 2018).

2.2.18 Contaminación por níquel en sedimentos

El metal de Níquel se encuentra en el ambiente mediante dos fuentes la primera mediante la meteorización de minerales y la otra por actividades antropogénicas como pueden ser debido a las industrias que usan aleaciones o queman petróleo las cuales generan partículas y estas se depositan en el suelo siendo transportadas mediante las lluvias durante un tiempo largo, estas partículas por lo general se adhieren de manera rápida en partículas que contengan hierro o manganeso. En el ciclo global y bioacumulación la materia orgánica en los sedimentos en ciertas ocasiones puede inmovilizar Níquel. En suelos arenosos las altas concentraciones de Níquel provocan un daño a las plantas y aguas superficiales, menorando el rango de crecimiento de algas y microorganismos, sin embargo, algunos suelen desarrollar un grado de resistencia (Doria 2005).

2.2.19 Contaminación por plomo en sedimentos

El metal pesado como el Plomo es usado por varias décadas en diferentes aplicaciones de productos metálicos, el plomo se puede originar mediante las actividades de recuperación de minerales como es en la obtención del oro, para el cual es liberado a la atmósfera, para luego ser retenido por los sedimentos de los cuerpos hídricos, este metal es un mineral muy volátil, provocando daños graves sobre la salud de las personas al ser este expuesto en altas

concentraciones, por medio del cuerpo en un 65% se presenta mediante la comida, en el agua en un 20% y en el aire lo encontramos en un 15% (Ortega 2015).

Las fuentes principales de contaminación del Plomo suelen ser por lo general las actividades derivadas de la combustión de gasolina, pinturas de las instalaciones ganaderas, además las actividades en el fitoplancton pueden ser alteradas por intervención del plomo, ya que el fitoplancton sirve de fuente de producción de oxígeno en mares y muchos grandes animales y lo comen. En la actualidad está disminuyendo el uso progresivo de naftas con plomo como también de las tuberías modernas ya que estas son de plástico o de otros materiales con similitud, las actividades realizadas en el suelo son alteradas por la presencia del plomo principalmente las que están cerca de las autopistas es por ello por lo que sufren un envenenamiento por este metal tóxico (Ortega 2015).

2.2.20 Contaminación por mercurio en sedimentos

El Mercurio es uno de los metales pesados considerado como el más tóxico debido a su origen ya que lo podemos encontrar de diversas formas ya sea en el uso de pesticidas o en las amalgamaciones de oro, también se lo encuentra de forma gaseosa como fuente natural de los volcanes que es la lava, en el caso de los océanos encontramos en sus sedimentos, el metilmercurio es muy utilizado en las vacunas (Ortega 2015).

El mercurio metálico puede estar en estado gaseoso durante un largo periodo de tiempo por lo que se considera un principal contaminante peligroso ya que este metal es muy utilizado en la etapa industrial, como también en la vida cotidiana se utiliza las conocidas baterías o pilas las cuales contienen mercurio los cuales tardan años en su degradación repercutiendo al sitio donde los arrojan, en cuanto a las fuentes naturales de mercurio su emisión depende de ciertos factores importantes así como la roca y su edad, la alteración hidrotérmica y si existe actividad geotérmica, también influye el paso de la luz, las precipitaciones como también la temperatura (Ortega 2015).

2.2.21 Contaminación por aluminio en sedimentos

El aluminio al ser el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre, al estar en concentraciones altas suele provocar alteraciones en el ecosistema, sin embargo, este es un metal plateado ligero electropositivo y por ende altamente reactivo. El aluminio es utilizado para la elaboración de pinturas, y pigmentos a base de óxido de aluminio, cerámicas, aislantes eléctricos, y combustibles para cohetes.

La solubilidad del aluminio en el agua es muy baja, pero en presencia de lluvia ácida su transporte incrementa lo que hace que estén presentes en los sedimentos de los cuerpos hídricos, por ende, provoca una desestabilidad en su funcionamiento del sistema acuático (Torrellas 2013)

El aluminio se encuentra presente en elevadas cantidades especialmente en las aguas naturales que no han recibido ningún tipo de tratamiento, esto se origina debido a la meteorización de las rocas y minerales como también a la acidificación de los suelos. La exposición al aluminio representa un grave problema en la parte industrial exactamente en sus empleados ya que puede provocar daños internos ya sea en sus vías respiratorias o alguna obstrucción crónica, la biodisponibilidad del aluminio en el ambiente está dándose en gran aumento debido a las actividades antropogénicas por lo que aumenta la absorción de este metal en plantas y animales (Torrellas 2013).

La presencia de aluminio en suelos ácidos provoca una disminución de la producción agrícola ya que produce daños en la estructura de las raíces de tal manera que no puedan absorber agua y nutrientes esenciales como el calcio y el magnesio. La cantidad de aluminio en el suelo depende de la gran cantidad de acidificación del ambiente. Sin embargo, no es un elemento esencial para los organismos vivos más bien han registrado que es un agente tóxico es por ello por lo que un 40% de los suelos fértiles del planeta son de tipo ácido por lo que cada actividad antropogénica aumenta su acidez dándole una gran importancia ambiental y a la vez económica en nuestro ecosistema (Torrellas 2013).

2.2.22 Nutrientes

2.2.22.1 El nitrógeno en los sedimentos

El nitrógeno es uno de los elementos más esenciales para la funcionalidad del fitoplancton de los lagos, si se encuentra en una baja concentración pueden inhibir el crecimiento de las algas, sin embargo, a elevadas concentraciones esta genera un impacto negativo en su productividad del lago ya que produce un aumento de densidad y biomasa fitoplanctónica lo que altera a la cadena trófica y en ciertas ocasiones se puede dar una presencia de eutrofización. Los lagos reciben este nutriente de una manera natural desde su cuenca de drenaje es decir a través de sus ríos afluentes ya que estos son los que poseen mayor concentración de nitrógeno y lo distribuyen a las subcuencas según la geoquímica de los suelos (Campos 1999).

2.2.22.2 Ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea

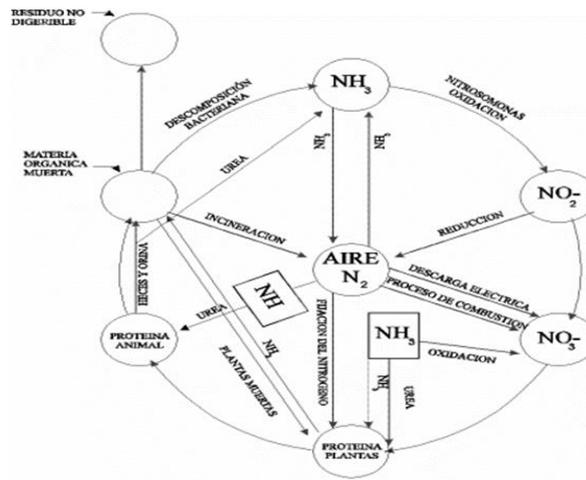


Ilustración 2- 1: Ciclo del nitrógeno

Fuente: Pacheco, 2002.

En la Ilustración 2-1 se puede observar como la atmosfera sirve de reservorio en donde el Nitrógeno es direccionado por la acción de las descargas eléctricas y también por la fijación del nitrógeno a causa de las algas y bacterias. En el proceso que se dan las tormentas eléctricas elevadas cantidades de nitrógeno son oxidadas y al unirse con el agua provoca el origen del ácido nítrico el cual es arrastrado por las escorrentías. Lo que contenga nitrógeno puede quedar como una materia no digerible siendo parte del humus, en cuanto al amonio que es liberado, es usado para la producción de proteínas, pero en el caso de que se encuentre en exceso ocurre una oxidación por medio de las bacterias nitrificantes autótrofas del grupo Nitrosomas para ser convertido en nitrito (Pacheco 2002).

Los nitritos son oxidados a nitratos a través del grupo Nitrobacter, estos nitratos son usados comúnmente para fertilizantes y lo que están en exceso son arrastrados por el agua produciendo una percolación en los suelos, en condiciones anaeróbicas los nitritos y nitratos se reducen por medio del proceso de la desnitrificación. El contaminante más común para las aguas subterráneas en el nitrógeno, pero en forma de nitrato ya que este suele ser más estable, y su concentración alta suele ser una amenaza para los cuerpos hídricos. El nitrógeno en el agua lo podemos encontrar en tres formas: en gas disuelto, combinaciones inorgánicas y orgánicas (Pacheco 2002).

2.2.22.3 El nitrógeno agrícola en sistemas acuáticos

La lixiviación del nitrógeno de los cultivos es el principal contaminante de las aguas subterráneas ya que los fertilizantes contienen nitratos y estos son directamente aplicados en las parcelas, dependiendo de la cantidad de cultivo se aplica la concentración de cualquier fertilizante. Debido a las actividades agrícolas y la salida del mismo va directamente descargado a una red hídrica llegando ya sea a un arroyo o un lago por lo que estos cuerpos hídricos representan almacenamientos temporales de nitratos, el nitrógeno transportado hacia los lagos representa al menos un 15% de entradas totales de nitrógeno, sin embargo existe un proceso el cual se considera como una vía principal de eliminación del nitrógeno ya sea en lago, ríos y humedales la cual es la desnitrificación pero esto ocurre en un tiempo corto por lo cual es un factor desfavorable para poder eliminar en su totalidad al nitrógeno (Pacheco 2002).

La contaminación por nitrógeno en fuentes hídricas ocurre por dos fuentes las cuales pueden ser de tipo puntual y también de tipo difusa, es decir en el tipo puntual estaríamos hablando de una contaminación producida en un área localizada y restringida por lo cual esto puede darse de vertidos residuales o efluentes. En el caso del tipo difusa se da una lixiviación de nitrógeno desde las superficies hasta los sistemas acuáticos subterráneos y superficiales, por lo que su área de contaminación es más extensa e intervienen un gran número de factores que causan el mismo daño. Por ende, no solo alteran el funcionamiento del cuerpo hídrico sino, provocan un impacto a nivel mundial ya que puede darse unos escasos de agua, inundaciones, pérdida de biodiversidad y también la pérdida de fertilidad en los suelos (Pacheco 2002).

2.2.22.4 Ciclo del carbono en los sistemas lacustres

El carbono orgánico que se encuentra debajo de la termoclina tiende acumularse en los sedimentos del cuerpo hídrico esto se debe a dos fuentes principales, la una se debe a la productividad primaria y el carbono orgánico originario de la cuenca de los drenajes de los ríos. Los procesos tanto físico, químicos como biológicos sirven de agentes para que el carbono sea secuestrado en el fondo de los cuerpos hídricos. Un porcentaje del carbono orgánico (CO) está dado por el fitoplacton mediante la columna de agua a partir de CO_2 , en donde pasa por un proceso de oxidación en la zona eufótica para luego ser enviado de regreso a la atmósfera por medio de la respiración, cuando el CO ingresa este va debajo de la termoclina y es transportado a los sedimentos a través de organismos muertos, heces fecales o ciertos microorganismos macroscópicos compuestos de detrito orgánico e inorgánico (Cuevas-Lara et al. 2016).

2.2.23 Geo acumulación de los metales pesados

La evaluación del grado de contaminación por metales pesados está dada por el índice de geo acumulación propuesto por Müller (1969) el cual tiene como fin realizar una comparación entre los valores actuales y valores de referencia, todos estos datos de una misma región. El índice se ha tomado como una herramienta para la evaluación de la contaminación a nivel urbano por medio de los sedimentos viales que se presentan (Trujillo 2015)

El índice de geo acumulación permite conocer el grado de contaminación de sus áreas o puntos de muestreo, esto se da a través de unos cálculos como es el factor de enriquecimiento y los índices, estas técnicas son aplicables ya sea para sustancias orgánica e inorgánicas de metales pesados en suelos. La técnica se basa en una comparación de las concentraciones en ciertos casos se utiliza al hierro como elemento conservativo (Quevedo, Meneses 2014).

2.2.24 Disponibilidad de los metales pesados en sedimentos

Los metales pesados se encuentran presentes en el suelo de diferentes maneras ya sea como parte fundamental natural o como resultado de la actividad antropogénica. En los suelos a los metales como el aluminio (Al), hierro (Fe), calcio (Ca), sodio (Na), y magnesio (Mg) se los puede encontrar como minerales propios, como también el mercurio (Hg) es de gran importancia ya que es esencial para las células, siempre y cuando se encuentren en baja concentración ya que estos suelen ser tóxicos. Los principales factores que influyen en la disponibilidad de los metales pesados son: características del suelo, es decir su pH, la capacidad de intercambio catiónico, la textura ya que estos son parámetros que influyen sobre la velocidad en cuanto a la transformación de los metales pesados del suelo. Sin embargo, otro factor es la naturaleza de los metales y su forma en la que se encuentra como también las condiciones medio ambientales ya sea la variación de temperatura, la humedad o las alteraciones que se dan en las condiciones redox.

2.2.25 Normativa ambiental

2.2.25.1 Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente

En la normativa ambiental el Tulsma es un libro donde se encuentra estipulado cada uno de los permisos, requisitos legales mediante ello logran el control y la regularización de todas las actividades que generen impactos ambientales tanto negativos como positivos, en el caso de los negativos se enfocan en la remediación y en dar su respectiva sanción aquellas empresas que no

cumplen con el reglamento ambiental, en cuanto a los aspectos positivos todos ellos deben ser tomados como favorables al desarrollo sostenible en el que nos encontramos.

2.2.25.2 *Acuerdo Ministerial 097.- Anexo 2: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados*

La norma establecida para la calidad ambiental del recurso suelo está enfocada en cuidar cada una de las características físicas, químicas y biológicas que contengan el suelo, como también establecer límites permisibles y criterios de calidad para los diferentes usos que se pueden generar en el suelo ya sea de forma comercial, agrícola e industrial con el fin de controlar las actividades desarrolladas (TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE 2017).

Tabla 2- 1: Criterios de la Calidad del suelo

Parámetro	Unidades	Valor
Cadmio	mg/kg	0.5
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Mercurio	mg/kg	0.1

Fuente: .Acuerdo Ministerial 097, 2017

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLOGICO

3.1 Enfoque de investigación

El presente estudio tuvo como finalidad presentar el grado de concentración de metales pesados que tiene la laguna Atillo del cantón Guamote, debido a su cercanía con las actividades antropogénicas generadas en las laderas del sistema lacustre.

3.2 Nivel de investigación

La determinación del enriquecimiento de metales pesados en la Laguna Atillo cantón Guamote se basa en una investigación de nivel exploratorio ya que se busca conocer sobre la existencia de metales pesados en el sistema lacustre.

3.3 Diseño de investigación

3.3.1 *Según la manipulación o no de la variable independiente*

Los sedimentos de la laguna Atillo fueron guardados en fundas ziploc después de haberlas secado y tamizado en el invernadero de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, luego se procedió a pesar cada muestra para cada análisis que se realizó en este caso fue pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y también color y textura.

3.3.2 *Según las intervenciones en el trabajo de campo*

La laguna Atillo al ser un lugar de acceso difícil y de una extensión considerable se optó por realizar un muestreo en tres transectos los cuales fueron alto, medio y bajo, los puntos de muestreo fueron realizador mediante ArcGIS y para su ubicación exacta el uso del GPS, después de haberlas recolectado las 21 muestras.

3.4 Tipo de investigación

El estudio es de tipo experimental ya que se busca el efecto de la variable independiente el cual se sustenta con la investigación de campo y revisión bibliográfica.

3.5 Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.1 Población

El cantón Guamote el cual forma parte de uno de los callejones andinos centrales, se encuentra a 50km de la ciudad de Riobamba, su clima es frío al estar ubicado en un páramo, su temperatura oscila entre los 9-10 °C, en cuanto a su topografía al estar en la cordillera de los Andes es bastante irregular, en el canton Guamote existe 151 comunidades aledañas al sistema lacustre de Atillo las cuales su actividad productiva es tanto la agricultura como la ganaderia (GAD GUAMOTE 2019).

El sistema lacustre se encuentra ubicada en la comunidad San José de Atillo encima de los 3600 msnm, el cual se encuentra compuesto por aproximadamente 18 lagunas, sin embargo, las más relevantes del complejo lacustre son: Atillo, Magdalena y laguna Negra. Sus temperaturas van de 6 a 12 °C, su vegetación de su alrededor es bosques húmedo. Cada laguna tiene una historia por la cual le ha hecho importante y de un acceso ilimitado por las comunidades (GAD GUAMOTE 2019).

Atillo se encuentra en la parte alta del paramo, donde limita en la parte norte el río Atillo y Ozogoche, en la parte sur la laguna negra , al este con la comunidad Topanacún, y al oeste con el río Oogoche. La Laguna Atillo cuenta con un area aproximadamente de 1.17 km² (Bastidas 2002).



Ilustración 3- 1: Laguna de Atillo

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022

3.5.2 Planificación

La laguna Atillo al no contar un acceso viable se procedió a ingresar por la parte de la vía Macas, llegando a la parte central inferior de la laguna, para este estudio se procedió a dividirla a la laguna mediante tres transectos de forma longitudinal, en lo cual cada transecto alto, medio y bajo se propuso darle 7 puntos de muestreo.

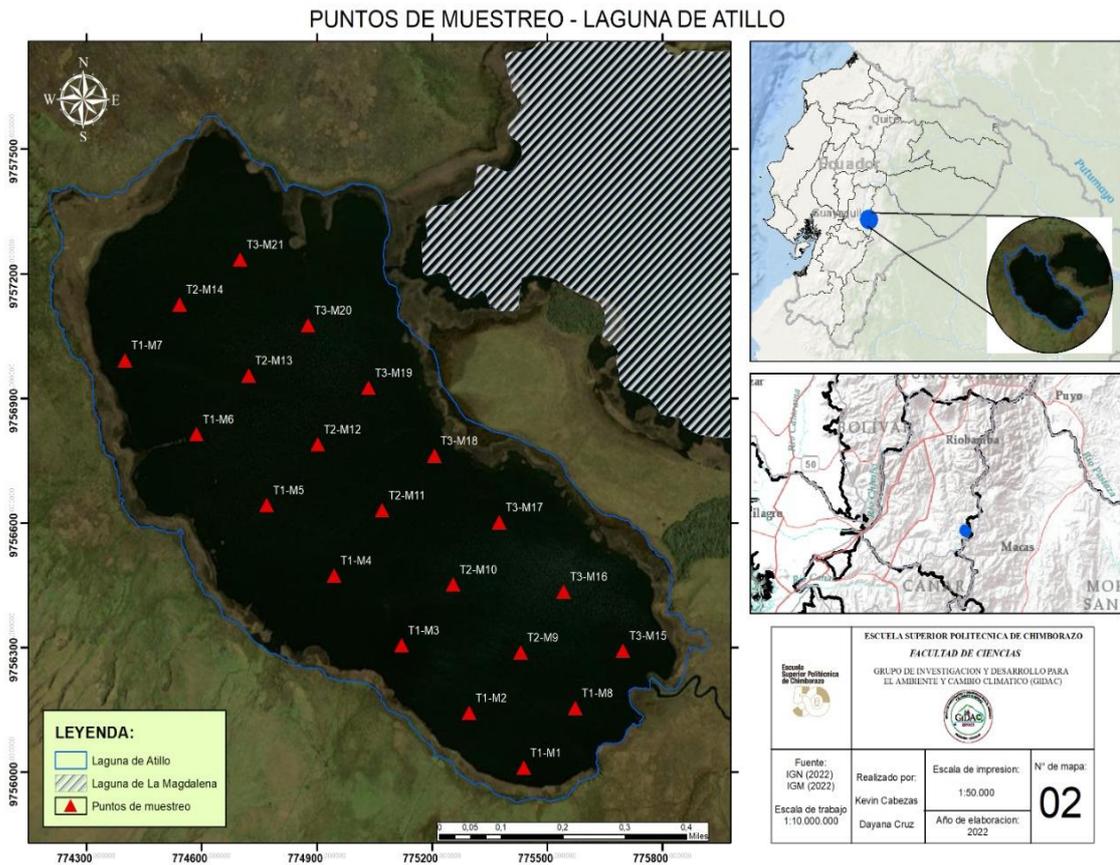


Ilustración 3- 2: Punto de muestreo de la Laguna Atillo

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022

3.5.3 Selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.3.1 Determinación de los puntos de muestreo

Primero se realizó una visita al lugar de estudio con el fin de tener una idea sobre el tamaño de la zona, cuáles son los factores climáticos que influyen ahí, como también cual sería el acceso más viable para poder entrar con todo el equipo de monitoreo y el tiempo que nos tomaría realizar todo el montaje, finalmente se realizó una planificación.

Para la selección de la muestra se realizó en ArcGIS un mapa donde le zonificamos a la laguna tomando como referencia un punto medio para lo cual se pueda distribuir de manera homogénea los demás puntos de muestreo ya que se lo hizo mediante tres transectos los cuales contenían 7 puntos, lo cual obtendríamos un total de 21 muestras. Como se muestra en la siguiente tabla los puntos de muestreo y coordenadas.

3.5.3.2 Muestreo de sedimentos

El monitoreo realizado en la laguna Atillo se lo hizo con la ayuda de un bote, y mediante un GPS se logró localizar los puntos exactos propuestos para el previo muestreo, se utilizó una draga van veen pequeña para la recolección de los sedimentos, los cuales se los guardo en fundas ziploc con su previo etiquetado como fue T1-M1, T1-M2.... T3-21. Cada funda ziploc almacenaba 500 gramos por lo cual se los lleno totalmente para obtener una muestra considerable, el muestreo se lo realizo durante 8 horas las cuales fueron dentro de la laguna, una vez culminado el monitoreo se procedió a llevarlas a la institución ESPOCH, en donde se procedió a secar las muestras en un invernadero durante 3 días.

3.5.4 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.5.4.1 Metodología para el análisis fisicoquímico del sedimento

La metodología en la cual se basó para el análisis del sedimento y el cumplimiento de cada objetivo propuesto fue mediante el Manual de Metodologías para el Análisis del Suelo dada por el GIDAC de la ESPOCH.

3.5.4.2 Método de tamizado

Una vez que se haya dejado que el sedimento se seque durante 3 días en el invernadero procedemos a tamizar con ayuda de unos tamices con diferentes tamaños los cuales van de forma decreciente. El primer tamiz de arriba hacia abajo tiene una malla con agujeros de un tamaño grande y mientras va bajando tenemos un tamiz de 180 micrómetros, la medida ideal para poder realizar los análisis con el sedimento ya pulverizado y de partícula muy fina.

Procedimiento

- Se realizó este tamizado en el laboratorio del GIDAC- ESPOCH siguiendo las indicaciones estandarizados por el mismo laboratorio.
- Las muestras secas colocar sobre un papel Kraft para proceder a moler con ayuda de un mortero hasta que desaparezcan ciertas masas grandes de muestra.
- Colocar la muestra pulverizada en el tamiz se le tapa y se procede a mover con el fin de que las partículas vayan pasando por los diferentes tamices.
- Una vez realizado el proceso, destapamos el tamiz verificamos si tal vez existe muestra en la parte de arriba y de forma manual retiramos cualquier tipo de raíz o ramas que obstruyan el paso del sedimento por la malla.
- Luego de a ver pasado toda la muestra por los tamices se procede a etiquetar los frascos para luego almacenar ahí las 21 muestras.

3.5.4.3 Color

El color del suelo es una de las características más importantes para un estudio ya que esta tiene una relación con la materia orgánica y la textura (Domínguez Soto et al. 2012).

El color del suelo puede presentar cuando un suelo tiene las condiciones pasadas del óxido-reducción, la materia orgánica humificado se torna de color oscuro, cuando tiene una cantidad elevada de óxidos de fierro se tienden a tornar de color amarillo, anaranjado y rojo, cuando hay presencia de óxidos de manganesos tornan un color negro y en otras ocasiones el color se debe a la roca parental con los que estén relacionados (FAO 2009).

Para determinar el color en este caso se lo debe realizar tanto húmedo como en seco utilizando las indicaciones de la matiz, el valor y la croma según está dando en la Tabla de Colores de Suelo de Munsell, en cuanto al matiz se refiero al color espectral que domina ya sea rojo, amarillo, verde o azul, en el valor observamos si es claro (1) o es oscuro (8) y por último la croma es la fuerza del color de la muestra desde un rango de 1 siendo el más pálido hasta el 8 que es el brillante. (FAO 2009).

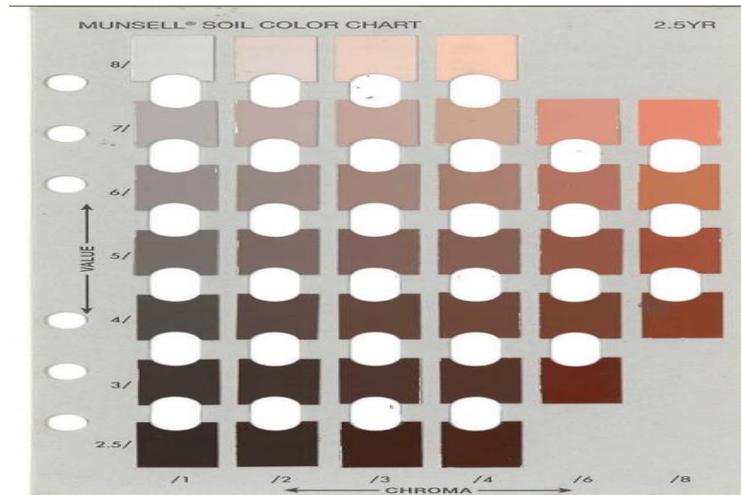


Ilustración 3-3: Tabla de Munsell

Fuente: Munsell, 1975

Según (Gómez 2013) la interpretación de sus colores tenemos que:

- **Color negro:** corresponde a las óptimas condiciones para un suelo fértil, rica en actividad biológica y lo que demuestra que contiene alta cantidad de materia orgánica que llega a descomponerse en humus.
- **Color amarillo o marrón:** este es un indicativo de que fue expuesto a un proceso de meteorización en condiciones aeróbicas produciendo una oxidación.
- **Color rojo:** se presenta cuando existe una alteración en los materiales de la roca parental debido a que las temperaturas fueron altas, y también a la baja actividad del agua por lo que produce un aumento de liberación de Fe de las rocas
- **Color blanco:** ocurre una ausencia de color por lo que estuvo expuesto a una gran acumulación de minerales como la calcita, dolomita o yeso por lo que se relación con las tierras alcalinas.
- **Color gris:** cuando está en presencia de condiciones anaeróbicas y el suelo tienda a saturarse disminuyendo el oxígeno de los espacios entre los poros.
- **Color verde:** se da cuando están en pésimas condiciones de un mal drenaje por lo que tienda a tornarse de color verde.
- **Color azul:** por lo general este color se presencia más en los suelos costeros, pantanosos en donde existe el anión sulfato y se da en condiciones de reducción.

Procedimiento

- De cada muestra etiquetada ocupamos aproximadamente 1 centímetro cúbico.
- Colocamos en una hoja blanca y luego se procede a poner los círculos de la Tabla de Munsell encima de la hoja.
- Se compara el color que se aproxime al de la tabla.

Se anota el matiz, el valor y la croma los mismos que encontramos en la parte izquierda vertical y en la parte inferior.

3.5.4.4 Análisis de la textura del sedimento

La textura del suelo se refiere a las proporciones cuantitativas de cada fracción granulométrica, es decir a las clases de tamaño de la partícula que posee cada suelo en un cierto volumen dado. Los nombres de las clases de textura son de forma general (FAO 2009).

Existen varios tipos de textura del suelo como:

- **Arcilla:** este tipo de textura suele ser moldeable, tiene una superficie brillante (FAO 2009).
- **Limo:** no es pegajoso, es ligeramente moldeable con una sensación harinosa, áspera (FAO 2009).
- **Arena:** no se adhiere a los dedos y tampoco se puede moldear, su granulometría es más grande (FAO 2009).

Relación de los constituyentes de tierra fina por tamaño, definiendo las clases texturales y subclases de arena

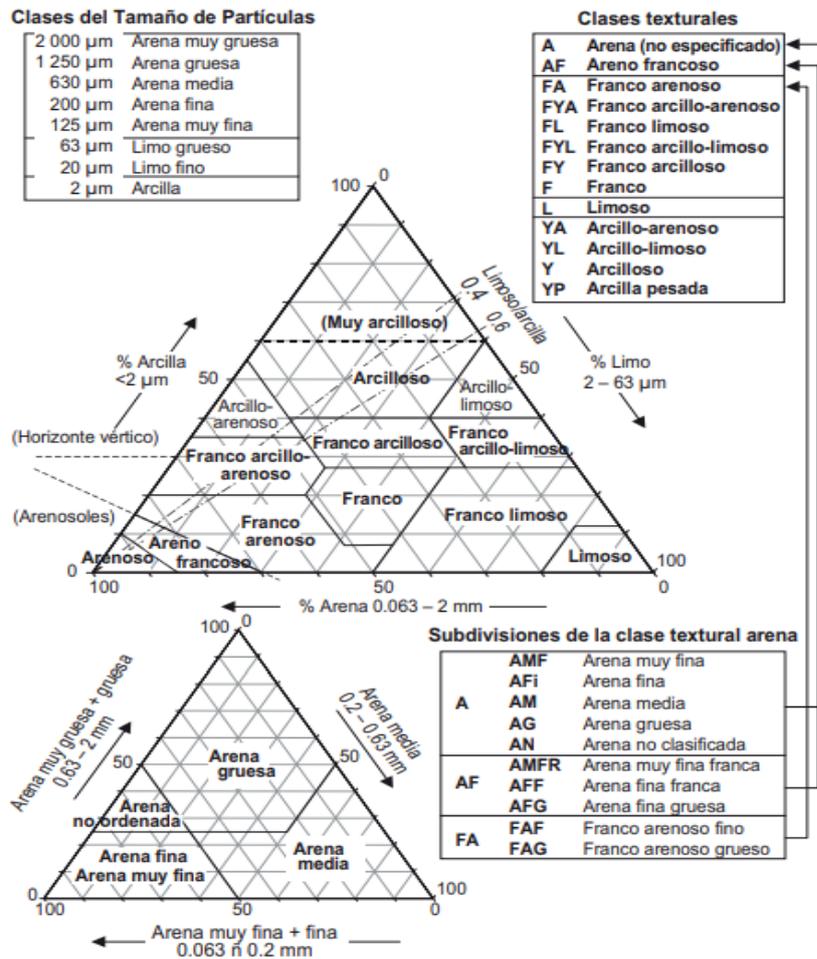


Ilustración 3-4: Clases de Texturas del Suelo

Fuente: FAO, 2009

3.5.4.5 Método de textura por tacto

Procedimiento

Tomar una muestra de suelo fresco que no sobrepase los 50 gramos de muestra

- Luego de seleccionar la muestra se procede a humedecerla hasta obtener una consistencia de macilla.
- Se le coloca a la muestra en nuestro dedo pulgar para continuar a ejercer una presión con el dedo índice de hacia abajo hasta conseguir una tira.
- Luego según tabla dado se procede a verificar el tipo de textura que se presencia
- Finalmente, con la ayuda del triángulo textural se procede a definir los contenidos de arena, limo y arcilla.

3.5.4.6 Método de calcinación

El método de calcinación (LOI) ayuda a la obtención de la materia orgánica que existe que el suelo a partir de un porcentaje de muestra. Este método es el más usado debido a su accesibilidad y su bajo costo la cual puede ayudar a determinar el carbono orgánico total. (Dabadie et al. 2018)

Procedimiento

Tarar crisoles

- Proceder a lavar los crisoles, secarlos sin dejar alguna partícula de contaminantes.
- Se recomienda dejarles en la estufa media hora a una temperatura de 105°C.
- Los crisoles ya limpios se proceden a introducirlos en una mufla a una temperatura entre los 300 – 400° programando hasta que llegue los 800°C, dado que se mantendrá esta temperatura por 2 horas.
- Luego de las 2 horas se debe dejar enfriar las muestras hasta que alcance una temperatura de 650°C o menos, se recomienda destrabar la puerta de la mufla para que tenga una mayor rapidez en enfriarse.
- Posteriormente se deja los crisoles en el desecador y esperar unos minutos hasta que se enfríen y tener el peso adecuado.
- Se recomienda precalentar la estufa a 105°C para los siguientes pasos.

Eliminación de humedad

- Etiquetar con lápiz los crisoles para luego pesarlos con ayuda de una balanza analítica.
- Encerar la balanza con el crisol ya pesado para luego agregar los 5g de muestra de suelo.
- Introducir los crisoles con muestra a la estufa a 105°C durante 2 horas.
- Precalentar la mufla a 360°C aproximadamente 10 minutos antes de las 2 horas.
- Finalmente acabadas las 2 horas en la estufa, se procede a colocar en el desecador y una vez frío pesar y registrar.

3.5.4.7 *Calcinación*

- Programar la mufla a 360°C por 2 horas y colocar los crisoles.
- Después de haber terminado las 2 horas, introducir los crisoles en el desecador y proceder a pesar y registrar.

Cálculo

$$\%MO = \frac{(\text{Peso en seco} - \text{Peso de calcinación})}{\text{Peso en seco}} \times 100$$

Donde:

MO: materia orgánica

Peso en seco (g): el peso del suelo seco sin contar con el peso del crisol tarado.

Peso de calcinación (g): el peso del suelo calcinado luego de ser secado sin contar con el peso del crisol tarado.

3.5.4.8 *Ensayo de pH*

El pH en el suelo nos indica sobre la actividad de los iones de hidrogeno, los cuales pueden afectar en el desarrollo de plantas limitando sus nutrientes disponibles en su entorno. (FAO 2009)

La concentración de los iones de hidrogeno es esencial para cualquier proceso ya sea físico, químico o biológico en el suelo, este cuenta con un rango de 0 a 7 acido de 8 a 14 básico, el grado de acidez se lo puede determinar mediante un electrodo de vidrio en un medio húmedo es decir agua-suelo, el valor reflejado será expresado en términos de la escala de pH (Fernández 2006).

Cuando el pH es medido en un medio acuoso es importante controlar la medida del agua que se le adicionara ya que esto puede que afecte a su pH causando un incremento por lo que es recomendable mantener una relación constante. En el caso de los suelos que contienen un alto porcentaje de materia orgánica tienden a formar una capa gruesa por lo que puede menor su relación con el agua, pero esto es aceptable (Fernández 2006).

Tabla 3- 1: Rangos de interpretación para el pH

pH	Rango
Muy fuertemente ácido	Menor a 4.5
Fuertemente ácido	4.6 a 5.5
Medianamente ácido	5.6 a 6
Ligeramente ácido	6.1 a 6.5
Neutro	6.6 a 7.3
Ligeramente alcalino	7.4 a 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 a 8.4
Fuertemente alcalino	8.5 a 9
Muy fuertemente alcalino	Mayor a 9.1

Fuente: Acuerdo N°97 A (Anexo 2, Libro VI)

Realizado por: Cabezas, K; Cruz, D, 2022

Procedimiento

- Se pesó 20gr de muestra ya tamizada.
- Se utilizó la relación de 20:80 con agua destilada.
- Se dejó la muestra hasta que se sedimente.
- Una vez ya sedimentada la muestra se procedió a medir el pH.
- Se insertó el electrodo hasta la mitad del agua y se esperó unos segundos hasta que se encuentre estable el valor que se reflejaba en el pH metro.

3.5.4.9 Ensayo de conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la que nos ayuda a medir la capacidad para transportar corriente eléctrica a una materia, esto podemos encontrar en las soluciones acuosas ya que depende de la concentración total de los iones que se encuentren en el agua, así como también la movilidad, su valencia y temperatura que contiene cada ion disuelto para poder llegar a su determinación (García Gutierrez et al. 2014).

Tabla 3- 2: Rangos de interpretación para conductividad eléctrica

Conductividad eléctrica (dS/cm)	Rango
No salino	Menor a 2
Ligeramente salino	2 a 3
Salino	3.1 a 4
Muy salino	4.1 a 8

Fuente: Acuerdo N°97 A (Anexo 2, Libro VI)

Realizado por: Cabezas, K; Cruz, D, 2022

Procedimiento

- Se pesó 50 gr de muestra tamizada.
- Se realizó la relación 50:50 con agua destilada.
- Una vez realizada se homogeniza y se deja sedimentarse la solución.
- Se colocó la sonda del conductímetro dentro de la solución, evitando tocar la capa de sedimento.
- Se esperó unos segundos hasta que el equipo nos refleje el resultado.

3.5.4.10 Capacidad de intercambio catiónico

La CIC nos ayuda a medir la cantidad de cargas negativas que se encuentran en las superficies del suelo y a su vez indica la cantidad de cationes que puede ser retenidos en este caso tenemos a Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ , cada catión será intercambiado por otro catión o por iones de hidrógenos presentes en la solución acuosa, el resultado nos ayuda a deducir la disponibilidad de nutrientes que tienen las plantas del entorno, se dice que si el suelo presenta una CIC bajo es porque su capacidad de retención no está siendo optima por lo que estaría en un bajo porcentaje de materia orgánica (FAO 2022).

$$CIC (meq) = \frac{ppm Ca}{200} + \frac{ppm Mg}{120} + \frac{ppm K}{390} + \frac{ppm Na}{230}$$

Procedimiento

- Se preparó la solución con 500ml de agua ultrapura con 77.08 gr de acetato de amonio.
- Una vez homogenizada se aforo hasta 1000ml utilizando el agua ultrapura.
- Luego se procedió a pesar 5 gr de muestra tamizada a 1 mm en frascos de 50ml.
- Seguido del pesaje se procede a añadir 25 ml de la solución preparada en cada frasco con muestra.
- Se dejó durante 24 horas.
- Se filtró al vacío y seguidamente se aforo hasta 100 ml.
- Se realizó una disolución tomando 2 ml a partir de los 100 ml, una vez finalizado se afora hasta 50 ml con agua ultrapura.
- Se obtiene la disolución para poder analizar con el espectro de absorción atómica.

3.5.4.11 Nitrógeno por el método de Dumas

El método de Dumas se utiliza para determinar el nitrógeno total, mediante un proceso de combustión seca siendo una modalidad analítica más difundida y accesible en los laboratorios. Para el método Dumas se utiliza el CuO someténdole a cierta temperatura con el fin de que se liberen gases y se realice una reducción de óxidos de nitrógeno a N₂, para seguido de ello ocurra el proceso de conversión de CO a CO₂ (del Aguila Juárez 2005).

Tabla 3-3: Rangos de interpretación de nitrógeno

Nitrógeno (%)	Rango
Bajo	Menor a 0.15
Medio	0.15 a 0.30
Alto	Mayor a 0.30

Fuente: INIAP. EESC.2002

Realizado por: Cabezas, K; Cruz, D, 2022

Procedimiento

- Se introdujo a la estufa la muestra tamizada a una temperatura de 110° C.
- Se pesó 1 gr de muestra y se procedió a colocarlo en el equipo de análisis.
- Se realizó el análisis del porcentaje para N, C y H.

3.5.4.12 Determinación de aluminio intercambiable

El aluminio en el suelo puede representar ciertos criterios, sin embargo, el exceso de este en las raíces tiene una gran afectación en la movilidad de los fosfatos que van hacia el tallo y hojas, por lo que existe una descompensación de fosfatos en la planta. En la prueba Palintest Aluminio la muestra del suelo debe ser extraído con 1M de KCl para hacer reaccionar con Eriochrome Cyanine dando un color rojo debido a sus condiciones ácidas, se debe tomar en cuenta que para determinar el Aluminio del suelo las muestras deben ser frescas para un óptimo análisis (del Aguila Juárez 2005).

Equipo

- Fotómetro PTB7510 Solitest 10

Materiales

- Recipiente de muestra
- Tubo de dilución x2
- Paquete Deion
- Embudo de filtración, 7cm de diámetro
- Papel filtro
- Jeringa de 1ml
- Extracto de tabletas
- Tabletas de aluminio S

Procedimiento

- Llenar 50 ml de agua desionizada en el contenedor de muestra.
- Adicionar 5 tabletas de Extracto A, tapar y agitar hasta que se disuelva la tableta.
- Agregar 10 ml de muestra de suelo en la solución de agua desionizada con el extracto A, tapar y agitar durante 2 minutos.
- Colocar el papel filtro en el embudo y verter la solución anterior.
- Tomar 1 ml del filtrado.
- Colocar en la cubeta del fotómetro, este debe estar limpio y seco.
- Realizar el volumen de la cubeta del fotómetro hasta los 10 ml con agua desionizada.
- Seleccionar Phot001 Aluminio para poner en blanco el fotómetro.
- Después adicionar la tableta de Aluminium S N°1 triturada, disolver.
- Luego agregar la tableta de Aluminium S N°2 triturada y con cuidado invertir la cubeta con el fin de eliminar las burbujas.
- Esperar 5 minutos para que se vaya desarrollando el color.
- Insertar la cubeta en fotómetro y tomar la lectura.

3.5.4.13 Extracción de metales pesados método 3050B (EPA SW 846)

El método 3050B está dado por dos procedimientos uno que se realiza una digestión acida el cual consiste en preparar a los sedimentos para luego realizar su análisis por espectrometría de absorción atómica de llama (FLAA) o espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES). Las extracciones de estos dos procedimientos no son intercambiables ya que estos se deben utilizar únicamente con las determinaciones analíticas ya mencionadas, a menos de que exista una alternativa científicamente comprobada que sean óptimas para cumplir

con los criterios de control de calidad del método. Se realiza una digestión acida fuerte ya que en este proceso se disolverán la mayoría de los elementos que pueden ser “ambientalmente disponibles” (EPA 1996).

Procedimiento

- Se pesó 1 gr de muestra de sedimento en un Erlenmeyer.
- Se añadió 10 ml de solución 1:1 HNO₃, se mezcló hasta homogenizar la solución y se tapó el Erlenmeyer con un vidrio reloj.
- Se colocaron los enermeyers con la solución en la plancha a 95°C duramente 15 minutos.
- Luego se agregó 5 ml de HNO₃ concentrado y se dejó refluir durante 30 minutos.
- Pasados los 30 minutos se añaden 5 ml de HNO₃ y dejar refluir hasta que desaparezcan los humos marrones.
- Se dejó enfriar las muestras para luego adicionar 2 ml de agua desionizada y 3 ml de H₂O₂ al 30%, se dejó refluir nuevamente durante 30 minutos.
- Luego se añadió alícuotas de 1 ml de H₂O₂ al 30% en cada Erlenmeyer hasta que vaya desapareciendo la efervescencia, en cada Erlenmeyer se esperó aproximadamente 2 min para luego adicionar la alícuota.
- Luego de ya no haber observado efervescencia se dejó evaporar hasta 5 ml de solución en un tiempo de aproximadamente de 2 horas.
- Se añadieron 10 ml de HCl concentrado a la muestra, se tapó con un vidrio reloj a 95°C durante 15 minutos
- Se esperó que se digeste toda la materia orgánica, una vez que se observó la desaparición de los humos marrones se procedió a filtrar cada muestra.
- Se recogió 10 ml de filtrado y se aforo con agua desionizada hasta 50 ml.

3.5.4.14 Concentración de metales pesados por el método 7000B, FLAA

El método de espectrofotometría de absorción atómica de llama nos ayuda para determinar con facilidad los metales que se encuentran en solución, es un método simple que sirve para la aplicación a una gran cantidad de muestras de sedimentos. Sin embargo, no todos los metales se encuentran estables en su digestato en el caso de que solo haya sido acidificada con ácido nítrico y ácido clorhídrico, en el caso de Sn, Sb, Mo, Ba y Ag el HCl ayuda a su estabilización (EPA 2007).

Procedimiento

Se determinó la concentración del metal mediante la curva de calibración. En donde se obtuvo una dilución de la muestra.

$$\frac{\mu g}{L} \text{ de metal en la muestra} = \frac{A(C\%B)}{C}$$

Donde:

A= $\frac{\mu g}{L}$ de metal en alícuota diluida de la curva de calibración

B= Volumen de la muestra inicial, ml

C= Volumen final de muestra, ml (EPA 2007).

Las concentraciones en unidades consistentes según el peso, para el caso de muestras sólidas.

$$Mg \text{ de metal}/kg \text{ de muestra} = \frac{A * W}{W}$$

Donde:

A= mg/L de metal en la muestra procesada de la curva de calibración

V= Volumen final de la muestra procesada, L

W= Peso de la muestra Kg (EPA 2007).

La muestra se debe diluir y también se debe usar una integración tanto para la muestra como para los estándares. Se pretendió la dilución de la muestra:

$$\frac{\mu g}{L} \text{ de metal en la muestra} = \frac{Z(C\%B)}{C}$$

Donde:

Z= $\mu g/L$ de metal leído de la curva de calibración

B= Volumen de muestra inicial, ml

C= Volumen final de muestra, ml (EPA 2007)

3.5.4.15 Valores de fondo para la determinación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica

El método de validación para la determinación de metales pesados por espectrofotometría por absorción atómica fue obtenido mediante revisión bibliográfica donde reflejan los siguientes valores (Sanmiguel, Guerrero 2017).

Tabla 3-4: Valores de fondo para Hg, Cd, Ni, Pb y Al

Elemento	Valores de fondo (ppm)
Hg	0.5
Cd	0.33
Ni	12.5
Pb	20
Al	7.5

Fuente: Sanmiguel, Guerrero 2017

Realizado por: Cabezas, K; Cruz, D, 2022

3.5.4.16 Variabilidad espacial por el método de IDW

El método de interpolación se aplicó con la herramienta IDW del software ArcGIS 10.3, con el fin de obtener una predicción de correlación espacial mediante la distancia y dirección de los puntos, según la metodología utilizada se pudo observar la variación que existe entre las concentraciones de los nutrientes y de los metales pesados en la superficie de la laguna Atillo, por lo que se realizó mapas representativos para su demostración.

3.5.4.17 Incidencia de los nutrientes en los metales pesados con estadístico (coeficiente de Pearson)

El coeficiente de correlación de Pearson es considerado una herramienta estadística usada en diferentes áreas del aspecto científico ya sea para investigaciones ingenieriles hasta ciencias sociales, como también en el área de la salud, la cual nos ayuda a determinar el nivel de asociación y relación lineal que puede existir en dos variables, este coeficiente presenta un rango definido de -1 y 1, donde la correlación igual a 0 da a conocer que existe una ausencia de relación, si la relación es positiva quiere decir que es directamente proporcional, lo que sí existe una relación negativa pues esta será inversamente proporcional (Lalinde et al. 2018).

Tabla 3-5: Interpretación del coeficiente de relación de Pearson

Rangos de valores de R	Interpretación
$0 \leq r < 0.10$	Correlación nula
$0.10 \leq r < 0.30$	Correlación débil
$0.30 \leq r < 0.50$	Correlación moderada
$0.50 \leq r < 1$	Correlación fuerte

Fuente: Lalinde et al. 2018

Realizado por: Cabezas, K; Cruz, D, 2022

Procedimiento

Se utilizó el programa estadístico Statgraphics view, en donde se colocaron los datos de la concentración de nutrientes, los datos de la concentración de los metales pesados existentes y los datos de los parámetros fisicoquímicos con el fin de realizar el análisis estadístico entre las variables cuantitativas que se obtuvieron.

Para la interpretación de los datos obtenidos se basó en los criterios del coeficiente de relación de Pearson.

3.5.4.18 Determinación del factor de enriquecimiento

El factor de enriquecimiento (FE) es utilizado en estudios tanto de ecotoxicología como química ambiental, en donde se consideran los elementos que se encuentran en su mayoría disponibles en la corteza terrestre como son Al, Si y Fe. El modelo está establecido mediante una ecuación la cual hace referencia al metal X con respecto al Fe ya que este es proveniente de la lluvia y por ende se encuentre presente en la corteza terrestre. Para la determinación de su origen se encuentra establecido una escala la cual presenta características en cada intervalo (Lawson, Winchester 1979).

El factor de enriquecimiento está representado por:

$$FE = \frac{\left(\frac{X}{Fe}\right)_{muestra}}{\left(\frac{X}{Fe}\right)_{corteza}}$$

Donde

FE= Factor de enriquecimiento

(X/Fe) muestra= Razón entre el metal X y el Fe presente en la muestra

(X/Fe) corteza = Razón entre el metal X y el Fe presente en la corteza terrestre (Lawson, Winchester 1979).

Tabla 3-6: Clases de factores de enriquecimiento de un metal pesado

Clase de factor de enriquecimiento	Origen del elemento X (metal pesado)
1-10	De la roca madre
10-500	Moderadamente enriquecido, e indica otra fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre
>500	Indica un alto enriquecimiento y muestra que existe una grave contaminación de origen antropogénico.

Fuente: Lawson, Winchesteer 1979

Realizado por: Cabezas, K; Cruz, D, 2022

Procedimiento

- Se determinó la concentración de los metales pesados a través del método 7000B.
- Para el valor del Fe de la corteza terrestre se tomó en cuenta el valor de fondo.
- Se realizó el cálculo del FE mediante la ecuación propuesta.

3.5.4.19 Determinación de índice de geo-acumulación

El índice de geo-acumulación nos refleja el valor numérico que existe en un intervalo, en donde se puede decir que el suelo se considera contaminado por sustancias orgánicas e inorgánicas (del Aguila Juárez 2005).

Tabla 3-7: Grado de contaminación de acuerdo con el Índice de Geo acumulación

Valor de I_{geo}	Clases de I_{geo}	Grado de contaminación
0	$I_{geo} < 0$	No contaminado
1	$0 < I_{geo} < 1$	No contaminado a moderadamente contaminado
2	$1 < I_{geo} < 2$	Moderadamente contaminado
3	$2 < I_{geo} < 3$	De moderado a fuertemente contaminado
4	$3 < I_{geo} < 4$	Fuertemente contaminado
5	$4 < I_{geo} < 5$	De fuertemente contaminado a extremadamente contaminado
6	$5 < I_{geo}$	Extremadamente contaminado

Fuente: del Águila Juárez 2005

Realizado por: Cabezas, K; Cruz, D, 2022

El índice de geo acumulación se calcula según la ecuación propuesta por (Muller,1986)

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1,5 * B_n}$$

Donde:

Cn: Corresponde a la concentración medida del metal n ($\mu\text{g/g p.s.}$) en el sedimento.

Bn: Corresponde al valor background (concentración geoquímica) para el metal n.

El factor 1.5 es de la correlación de la matriz de fondo, esta se utiliza para las ciertas variaciones que se presenten en los datos de fondo a causa de su efecto litogénicos

Procedimiento

- Los valores obtenidos mediante la espectroscopia de absorción atómica se calculó el índice de geo acumulación
- Se consideró el valor de fondo para cada mental según la bibliografía mencionada

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Parámetros fisicoquímicos

4.1.1 Color

4.1.1.1 Color en seco

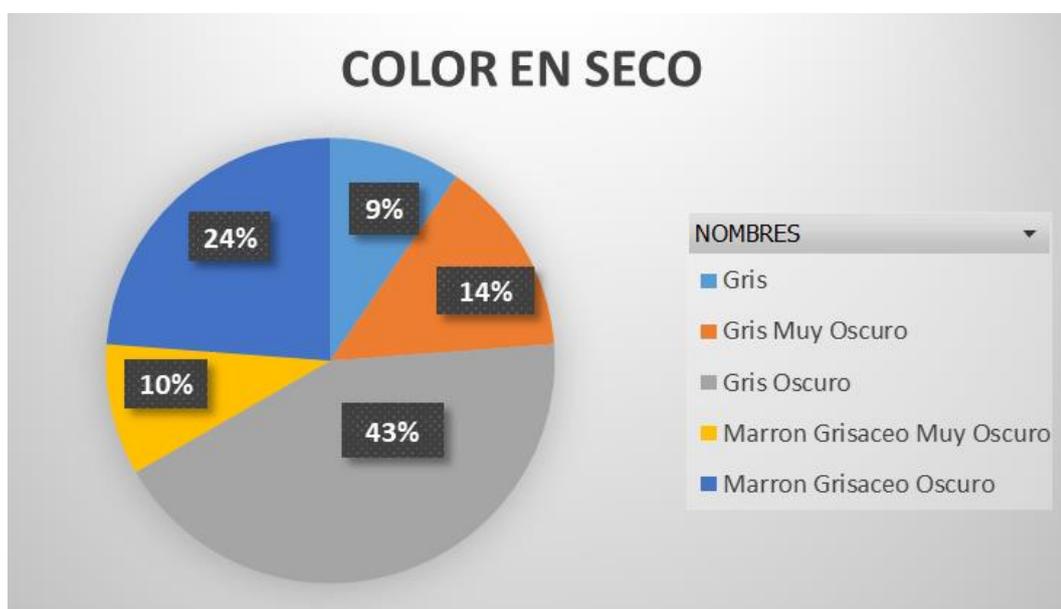


Ilustración 4-1: Porcentaje de color promedio de sedimento en seco de la Laguna Atillo

Realizado por: Cabezas, K., Cruz, D., 2022.

En la Ilustración 4-1 se obtiene los porcentajes promedios de color en seco de la zona de estudio, se consiguió mediante la metodología de (Munsell 1975). Estableciendo en la laguna Atillo el sedimento en seco es de color “Gris Oscuro”. Por lo tanto, no presentan igualdad en los sedimentos, debido por la profundidad de los sedimentos.

4.1.1.2 Color en húmedo

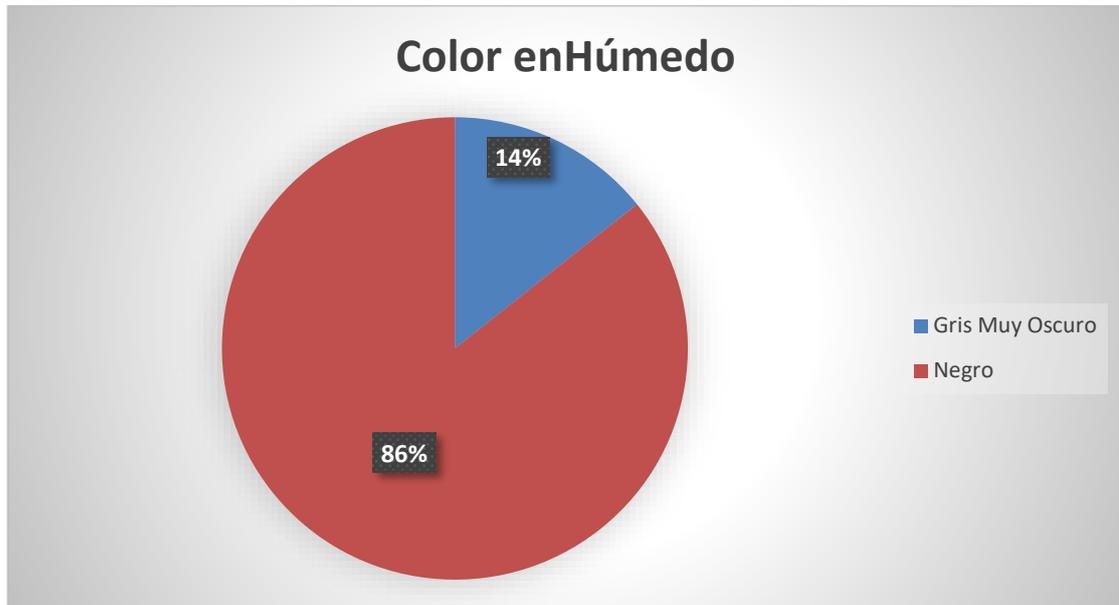


Ilustración 4-2: Porcentaje de color promedio de sedimento en húmedo de la Laguna Atillo

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Ilustración 4-2 se observa los porcentajes promedios de color en húmedo de la zona de estudio, se consiguió mediante la metodología de (Munsell 1975). Determinando de los tres transectos el color más representativo es "Negro". Por lo tanto, presenta homogeneidad en los sedimentos.

4.1.2 Textura

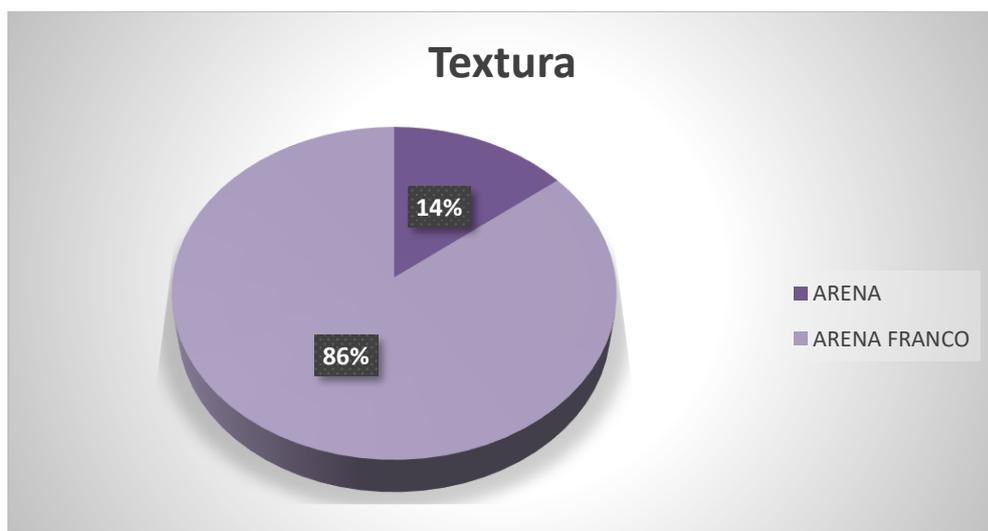


Ilustración 4-3: Porcentaje de promedio de textura de la Laguna Atillo.

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Ilustración 4-3 se determinó el porcentaje promedio de textura en la zona de estudio, aplicando la metodología (FAO 2009). Representando en los sedimentos con mayor influencia es “Arena Franco”, debido a ello sus condiciones físicas y químicas son óptimas.

4.1.3 pH

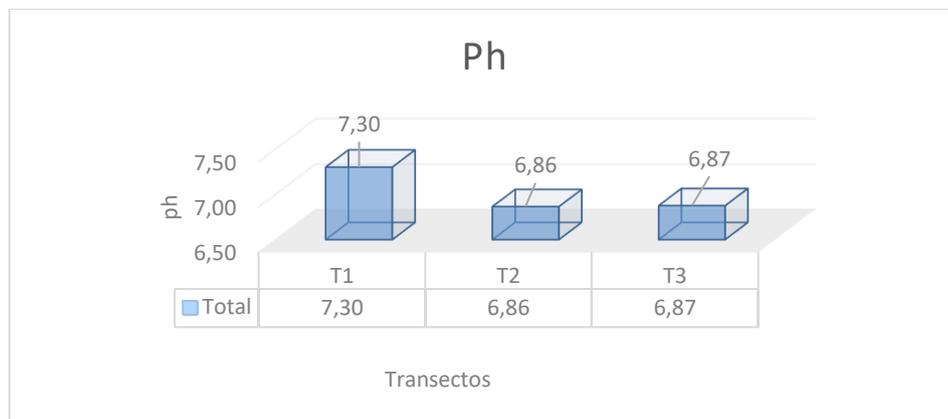


Ilustración 4-4: Valores de pH promedio en sedimentos de la Laguna Atillo

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Ilustración 4-4 presentamos los valores promedio de pH de cada transecto de la Laguna Atillo, para tal efecto se pudo evidenciar el valor bajo en pH se obtiene en el transecto 2 (T2) con 6,86, mientras que el valor promedio presente en el transecto tres (T3) con 6,87, por lo tanto el valor con mayor pH se encuentra en el transecto uno (T1) con 7,30. Según la Tabla 3-1 propuesta por (Acuerdo N°97/A (Anexo 2 - Libro VI) 2015), por lo tanto determinamos mediante los sedimentos que la zona de estudio tiene un pH “Neutro” en la Laguna Atillo.

4.1.4 Conductividad eléctrica

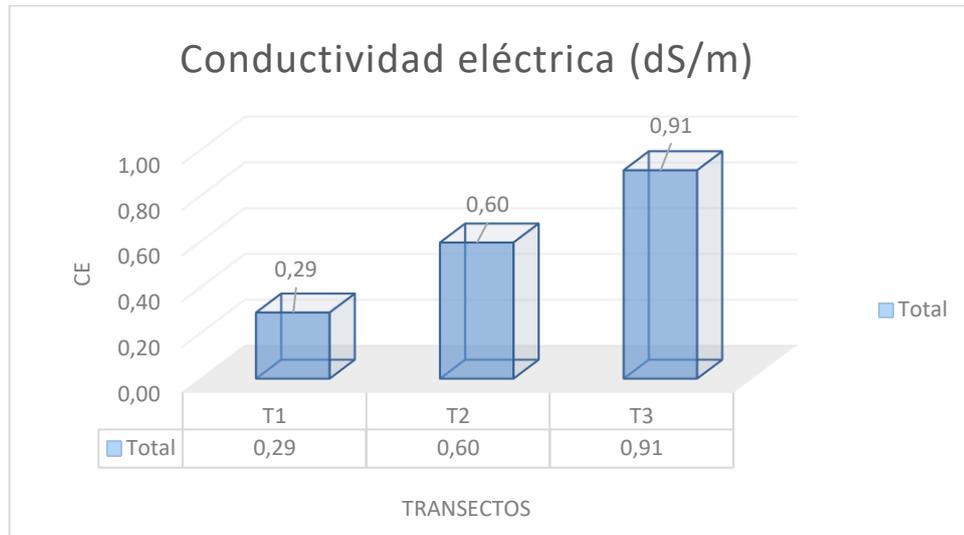


Ilustración 4-5: Valores de Conductividad Eléctrica promedio en sedimentos de la Laguna Atillo.

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Ilustración 4-5 se representa los valores promedios de conductividad eléctrica en la zona de estudio, los sedimentos en conductividad eléctrica hacen referencia al contenido de sales solubles y sodio intercambiables estos parámetros permiten determinar la fertilidad de los suelos. Según la Tabla 3-2 (Acuerdo N°97/A (Anexo 2 - Libro VI) 2015), se obtuvo valores mediante análisis de laboratorio en el transecto uno (T1) con 0,29 obteniendo el valor más bajo, mientras que en el transecto dos (T2) con 0,60, por lo tanto, el valor más alto se da en el transecto tres (T3) con 0,91. Determinando que los sedimentos no presentan salinidad debido a los valores obtenidos (<2 dS/m) en la zona de estudio.

Tabla 4-1: Análisis descriptivo de CE en (dS/m)

PARÁMETRO	CE (dS/cm)
Muestras	21
Promedio	0,59
Desviación Estándar	0,48
Coefficiente de Variación	81,65%
Mínimo	0,110
Máximo	1,72

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Tabla 4-1 nos permite conocer el promedio del sistema lacustre Atillo es 0,59 respectivamente, lo que permite señalar el valor mínimo que es 0,1104 como el máximo 1,72. Determinando una relación entre el valor más atípico de la zona de estudio.

4.1.5 Materia orgánica

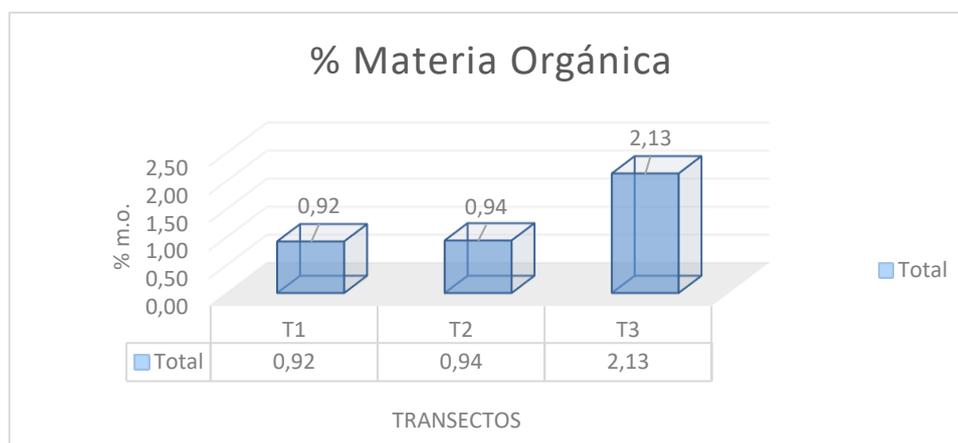


Ilustración 4-6: Porcentaje de Materia Orgánica promedio en los sedimentos de la Laguna Atillo.

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Ilustración 4-6 se observa los porcentajes promedios de materia orgánica en la zona de estudio, mediante análisis de laboratorio utilizando la metodología de Calcinación de acuerdo (FAO 2009), presentando valores en el transecto uno (T1) con 0,92 el valor más bajo, mientras que en el transecto dos (T2) con 0,94 y el valor más alto se da en el transecto tres (T3) con 2,13.

Tabla 4-2: Análisis descriptivo y comparativo de MO y COS en (%)

	% M.O.	%COS
Muestras	21	21
Promedio	1,33	0,77
Desviación Estándar	1,22	0,70
Coefficiente de Variación	91,83%	91,83%
Mínimo	0,23	0,13
Máximo	3,72	2,16
Rango	3,49	2,02

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Tabla 4-2 se observa el valor promedio para MO es 1,33 y para COS es 0,77 respectivamente lo que indica una diferencia de porcentajes, mientras que el coeficiente de variación entre MO y COS es 91,838%, lo que se deduce que existe homogeneidad de valores.

4.1.6 Carbono

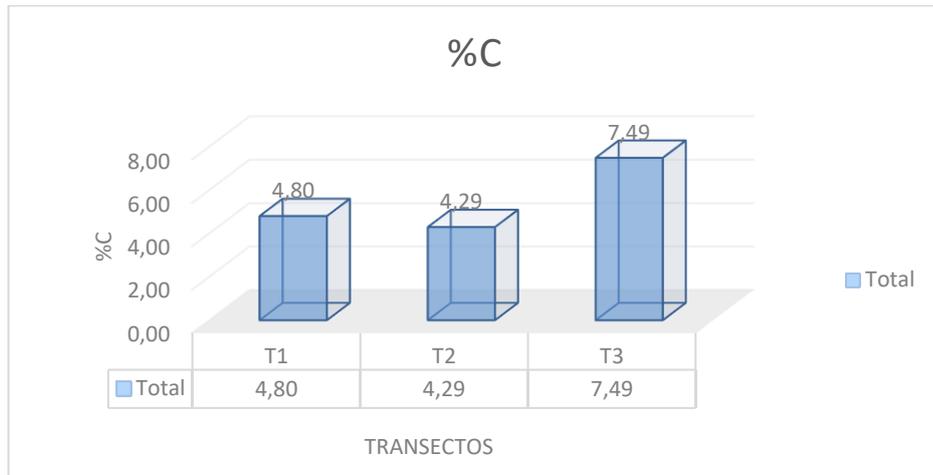


Ilustración 4-7: Porcentaje de Carbono promedio en los sedimentos de la Laguna Atillo.

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Ilustración 4-7 se obtiene el porcentaje de Carbono en el Sistema Lacustre Atillo, se presentó el valor más bajo en el transecto dos (T2) con 4,29, mientras que el transecto uno (T1) con 4,8 y el valor más alto de carbono se mostró en el transecto tres (T3) con 7,49.

4.1.7 Nitrógeno

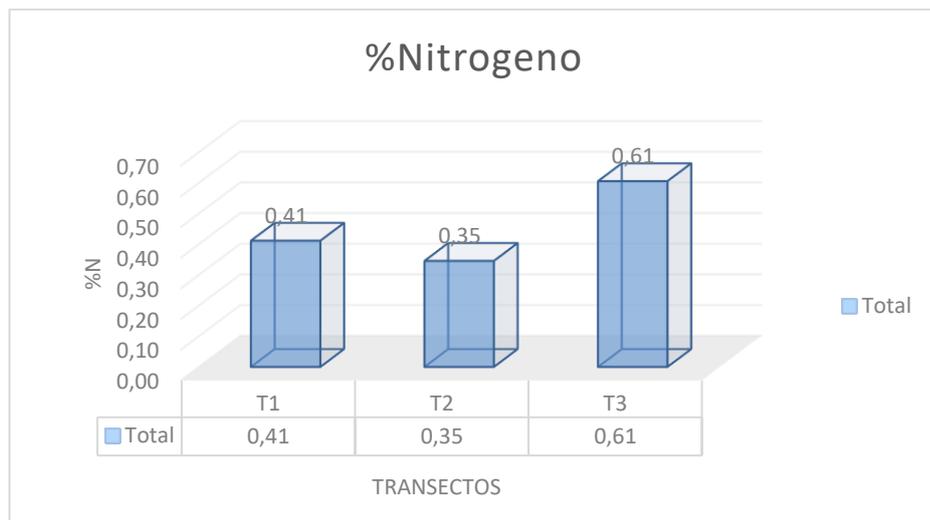


Ilustración 4-8: Porcentaje de Nitrógeno promedio en la zona de estudio Laguna Atillo.

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Ilustración 4-8 se observa el porcentaje promedio de nitrógeno en la zona de estudio, la metodología utilizada es “Por Dumas”. Según la tabla 3-3, Presentamos el valor más bajo en el transecto dos (T2) con 0,35, mientras que en el transecto uno (T1) con 0,41 y, por lo tanto, el valor que predomina es en el transecto tres (T3) con 0,61. Estableciendo un alto porcentaje de nitrógeno (>0,30), en el sistema lacustre Atillo.

4.1.8 Aluminio

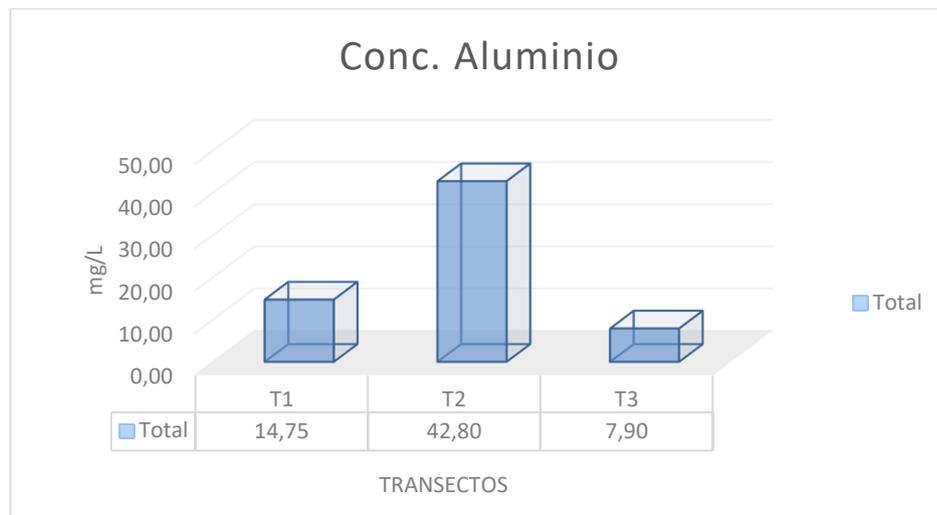


Ilustración 4-9: Concentración de Aluminio en la zona de estudio Laguna Atillo.

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Ilustración 4-9 se obtiene la concentración de aluminio en los sedimentos del Sistema Lacustre Atillo, mediante la metodología de (Palintest 2019). Indicando los valores de concentración en el transecto tres (T3) con 7,90 presentando el valor más bajo, mientras que en el transecto uno (T1) con 14,75 y el valor con mayor concentración es en el transecto dos (T2) con 42,80.

4.1.9 Análisis descriptivo de nutrientes en la Laguna Atillo

Tabla 4-3: Análisis descriptivo de los nutrientes de la zona de estudio

Nutrientes	<i>CIC-Na</i> (mEq/100gr Suelo)	<i>CIC-Ca</i> (mEq/100gr Suelo)	<i>CIC-Mg</i> (mEq/100gr Suelo)	<i>CIC-k</i> (mEq/100gr Suelo)
Muestras	21	21	21	21
Promedio	2,93	10,57	7,15	0,38
Desviación Estándar	3,38	5,37	4,55	0,19
Coefficiente de Variación	115,55%	50,81%	63,54%	50,51%
Mínimo	0,52	5,01	2,75	0,14
Máximo	13,14	26,28	22,01	0,93
Rango	12,62	21,27	19,26	0,79
Sesgo Estandarizado	3,76	2,71	3,63	2,44
Curtosis	3,13	2,15	4,44	1,98

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Tabla 4-3 se identifica mediante el análisis descriptivo los nutrientes del sistema lacustre Atillo, los valores fueron analizados en las 21 muestras de sedimento, por lo tanto, para sodio el valor promedio que refleja es 2,9281 ppm con un valor mínimo de 0,5224 ppm y un valor máximo de 13,1393 ppm, con un rango de 12,61. El calcio presenta un valor promedio de 10,5736 ppm, con un valor máximo de 26,2791 ppm y un valor mínimo de 5,0131 ppm, mientras que el rango es de 21,266. El magnesio tiene un valor promedio de 7,1536 ppm, con un valor máximo de 22,0092 ppm y un valor mínimo de 2,7482 ppm y con rango de 19,261. El potasio de igual forma consta de un valor promedio de 0,3809 ppm, presentando un valor máximo de 0,9283 ppm y un valor mínimo de 0,1394 ppm, por lo cual el rango es de 0,7889. Determinando los valores de sesgo y curtosis estandarizados que presenta los nutrientes en la zona de estudio los valores no son normales por ende existe alto grado de dispersión.

4.1.10 Análisis descriptivo de metales en la Laguna Atillo

Tabla 4-4: Análisis descriptivo de los nutrientes de la zona de estudio

Metales	Me-Hg (mg/kg)	Me-Cd (mg/kg)	Me-Pb (mg/kg)	Me-Ni (mg/kg)	Me-Al (mg/kg)
Muestras	21	21	21	21	21
Promedio	1,17	0,22	4,66	5,88	85,24
Desviación Estándar	3,50	-	2,97	5,22	22,50
Coefficiente de Variación	298,73	-	63,80	88,84	26,40
Mínimo	0,00	0,22	0,50	1,01	50,00
Máximo	13,37	0,22	10,15	20,68	150,00

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Tabla 4-4 se identifica mediante el análisis descriptivo de los metales pesados, los valores fueron analizados en las muestras de sedimento, por lo tanto, el valor promedio más bajo fue en elemento de Cadmio con un valor de 0,22 y el valor más alto se presenta en el Aluminio con 5,88. Mediante el estadístico se puede evidenciar que en la desviación estándar presenta un valor alto de 5,22 en Aluminio por ende presenta una distribución dispersa de datos en la zona de estudio. Sin embargo, el coeficiente de variación con un porcentaje alto es en el Mercurio con 298,73, se deduce que los datos están extremadamente dispersos.

4.1.11 Incidencia de los nutrientes en los metales pesados con estadístico

Tabla 4-5: Correlación entre parámetros físico químico y concentración de nutrientes

	CIC-Na (mEq/100gr Suelo)	CIC-Ca (mEq/100gr Suelo)	CIC-Mg (mEq/100gr Suelo)	CIC-K (mEq/100gr Suelo)
%MO	0,79	0,81	0,66	0,34
%C	0,73	0,69	0,59	0,15
%N	0,73	0,71	0,53	0,12
CE (dS/m)	0,92	0,69	0,48	-0,25

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Tabla 4-5 presentan la correlación de Pearson los valores obtenidos de las variables físico químico vs concentración de nutrientes, son valores que representan un nivel de significancia menores a 0.05 lo que indica una relación entre las variables. En la materia orgánica existe una relación con los nutrientes de calcio y sodio por ende existe la significancia de los datos obtenidos. Por lo tanto, en Carbono la relación que existe es con sodio y calcio, debido a composición

geofísica del suelo. El nitrógeno a lo mismo que el carbono tiene la relación con los nutrientes dichos, en consecuencia, por su origen. En efecto la relación de conductividad eléctrica con el nutriente de potasio no existe ninguna relación, la que existe mayor relación es con el nutriente de sodio.

Tabla 4-6: Correlación entre parámetros físico químico y concentración de metales

	Me- Hg(mg/kg)	Me- Cd(mg/kg)	Me- Ni(mg/kg)	Me- Pb(mg/kg)	Me- Al(mg/kg)
%MO	-0,095	0,094	-0,34	0,36	-0,091
%C	-0,098	0,12	-0,22	0,42	0,25
%N	-0,14	0,087	-0,23	0,38	0,60
CE	-0,089	-0,10	-0,29	0,36	0,11
pH	0,17	0,18	0,36	0,097	-0,47

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Tabla 4-6 se obtiene la relación entre parámetros físico químico vs concentración de metales, en Materia Orgánica no se interviene relación con los elementos de Hg, Cd, Ni y Al; debido a que los valores que presentan en dichos elementos no son significantes, mientras que existe un valor de 0,36 de relación, pero no existe ninguna correlación. El Carbono con los metales no existe relación por lo que sus valores son menores de 0,5, en plomo es una baja relación con un valor de 0,42. Mientras que en el nitrógeno presenta una gran relación con la concentración de Aluminio con un valor de 0,6 debido a sus procesos fisiológicos dentro de la zona de estudio. Por lo tanto, el pH no tiene relación con la concentración de metales debido a que el pH en el área de estudio presento un pH neutro, en efecto los valores son inferiores al valor de significancia.

Tabla 4-7: Correlación entre concentración de nutrientes y concentración de metales

	Me- Hg(mg/kg)	Me- Cd(mg/kg)	Me- Ni(mg/kg)	Me- Pb(mg/kg)	Me- Al(mg/kg)
CIC-Na (mEq/100gr Suelo)	-0,19	-0,15	-0,30	0,43	0,28
CIC-Ca (mEq/100gr Suelo)	-0,21	0,089	-0,50	0,11	0,43
CIC-Mg (mEq/100gr Suelo)	-0,24	-0,091	-0,11	0,56	0,29
CIC-k (mEq/100gr Suelo)	-0,13	0,32	-0,33	-0,19	0,16

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

Los datos obtenidos en la tabla 7-4 se presentan el valor de la correlación de Pearson que es la relación de la concentración de nutrientes vs concentración de metales, los valores obtenidos de

los nutrientes en relación con los metales en la zona de estudio no existen ninguna relación por lo tanto la correlación es negativa entre las concentraciones de (Hg, Cd, Ni, Pb y Al). En el caso del nutriente de magnesio con la concentración del plomo existe un valor significativo, pero en este caso es descartado dicho valor significativo, debido a existen un dato en plomo que es anormal. En consecuencia, indica una relación inversamente proporcional entre las variables. Por lo tanto, existe una disponibilidad de metales con los nutrientes.

4.1.12 Determinación de índices de geo-acumulación

Tabla 4-8: Índices de Geo acumulación de metales de la Laguna Atillo

INDICES DE GEO ACUMULACIÓN										
TRANS	Igeo (Hg)	Estado de contaminación	Igeo (Cd)	Estado de contaminación	Igeo (Ni)	Estado de contaminación	Igeo (Pb)	Estado de contaminación	Igeo (Al)	Estado de contaminación
T1	-4,94	No contaminado	-1,03	No contaminado	-0,57	No contaminado	-2,40	No contaminado	2,18	Moderadamente contaminado
T2	-5,96	No contaminado	-	-	-0,79	No contaminado	-2,99	No contaminado	4,24	De fuertemente contaminado a extramadamente contaminado
T3	-2,54	No contaminado	-	-	-0,92	No contaminado	-3,06	No contaminado	1,81	Moderadamente contaminado

Realizado por: Cabezas, K; Cruz, D., 2022.

4.1.12.1 Índice de geo acumulación en mercurio (Hg)

Los índices de geo acumulación en Mercurio en la zona de estudio los resultados promedio de cada transecto son homogéneos. En los transectos (T1, T2 y T3) su estado de contaminación se encuentra en el intervalo de no contaminado, según (del Aguila Juárez 2005). Por lo tanto, no existe presencia de dicho elemento.

4.1.12.2 Índice de geo acumulación en cadmio (Cd)

En el presente elemento como es el cadmio en la zona de estudio solo se presentó un valor promedio que fue en el transecto uno (T1) dando como resultado un estado de contaminación de no contaminado, mediante el análisis de muestras de los dos transectos restantes los valores fueron muy bajos (valores no significativos) por ende no existe un estado de contaminación.

4.1.12.3 Índice de geo acumulación en níquel (Ni)

En Níquel los valores promedios de la zona de estudio presentan coincidencia, debido a que en los transectos (T1, T2 y T3) se muestra un estado de contaminación de no contaminado, de manera general el níquel no se encuentra en la laguna de estudio y sus valores son inferiores a los intervalos propuestos.

4.1.12.4 Índice de geo acumulación en plomo (Pb)

Los resultados promedios en plomo se deducen que en los transectos (T1, T2 y T3) el estado de contaminación es de no contaminado, debido a su ecuación aplicada para dichos valores. En efecto el método de detección del elemento es obsoleto para concentraciones muy inferiores a cero, no existe presencia de plomo en la Laguna Atillo.

4.1.12.5 Índice de geo acumulación en aluminio (Al)

Los resultados promedios en aluminio en base a la concentración de dicho elemento se refleja un valor muy significativo en la zona de estudio, por ende, se puede evidenciar que en los transectos (T1 y T3) su estado de contaminación es moderadamente contaminado, mientras que en el transecto dos (T2) tiene una particularidad con valores altos que los demás transectos y/o elementos por ello se evidencia su estado de contaminación es fuertemente contaminado a extremadamente contaminado.

4.1.13 Variabilidad espacial de metales en la Laguna Atillo

4.1.13.1 Variabilidad espacial de mercurio

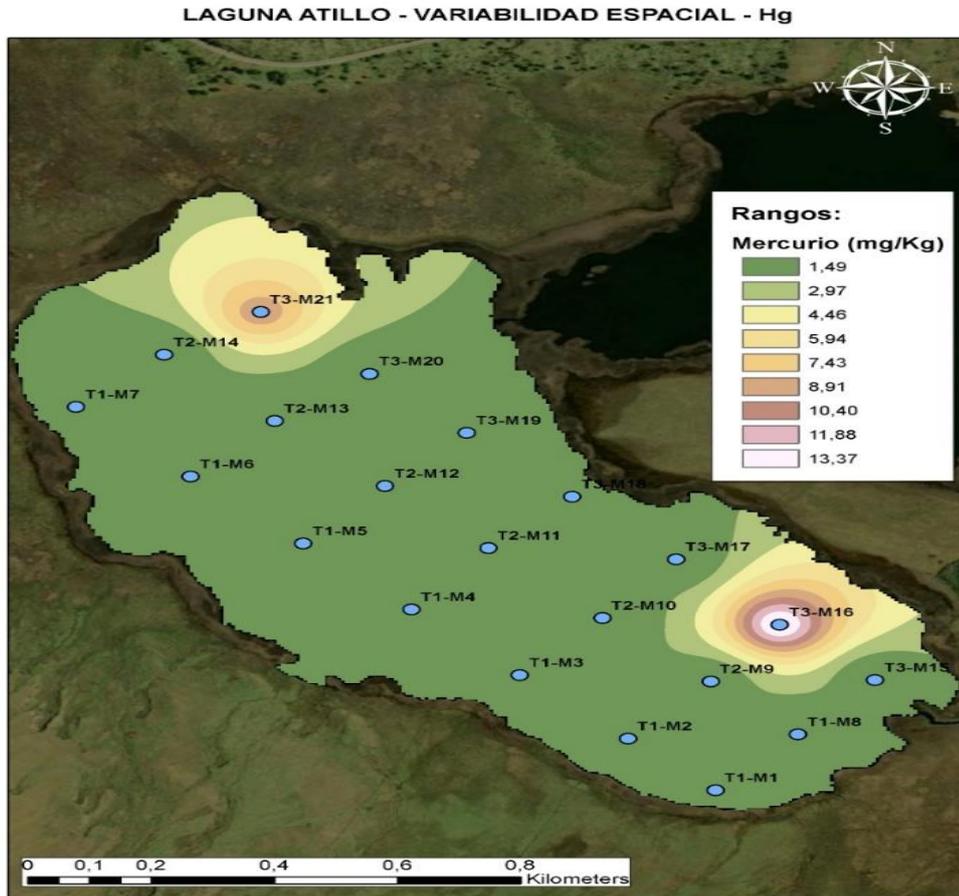


Ilustración 4-10: Variabilidad espacial del Mercurio

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Ilustración 4-10 se presenta la variabilidad espacial de Mercurio, los valores obtenidos mediante la interpolación IDW conjuntamente con el software ArcGis 10.3., dando resultado que existe una baja cantidad de variabilidad del elemento con un valor de 1,49 mg/kg (ppm), por lo tanto los valores de alta variabilidad se da en el punto T3-M16 con un valor de variabilidad de 8,22 mg/kg y T3-M21 con un valor de 13,37 mg/kg, mediante la ilustración se evidencia con gran particularidad en dichos puntos. Se podría deducir que si existe presencia de Mercurio en los puntos mencionados.

4.1.13.2 Variabilidad espacial de plomo

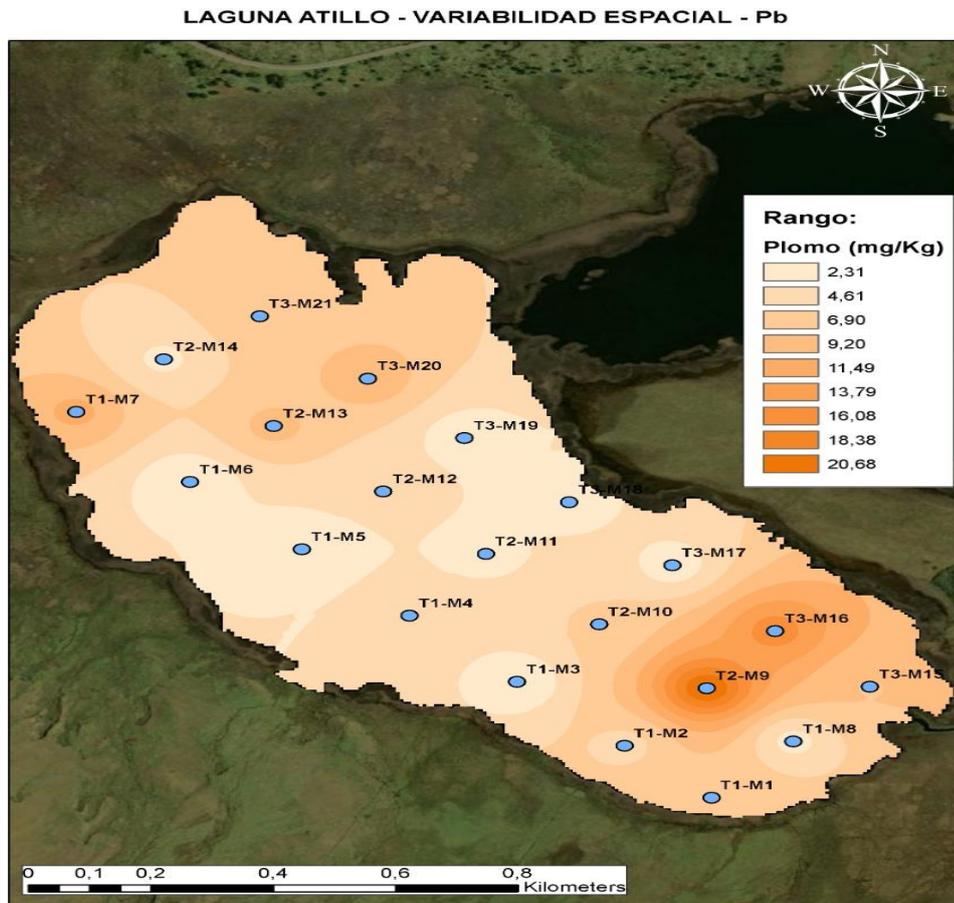


Ilustración 4-11: Variabilidad espacial del Plomo

Realizado por Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la presente Ilustración 4-11 se observa la variabilidad espacial de plomo en la zona de estudio, los datos son reflejados mediante el análisis químico propuesto, se utilizó la herramienta de interpolación IDW del Software ArcGis 10.3. con el cual se presenta la ilustración, dando un valor bajo de variabilidad de 2,31 mg/kg (ppm) y valores altos de variabilidad en los puntos T3-M16 con 14,89 mg/kg y el punto T2-M9 con un valor superior de 20,68 mg/kg. Por lo tanto, no existe presencia de Plomo en la zona de estudio

4.1.13.3 Variabilidad espacial de níquel

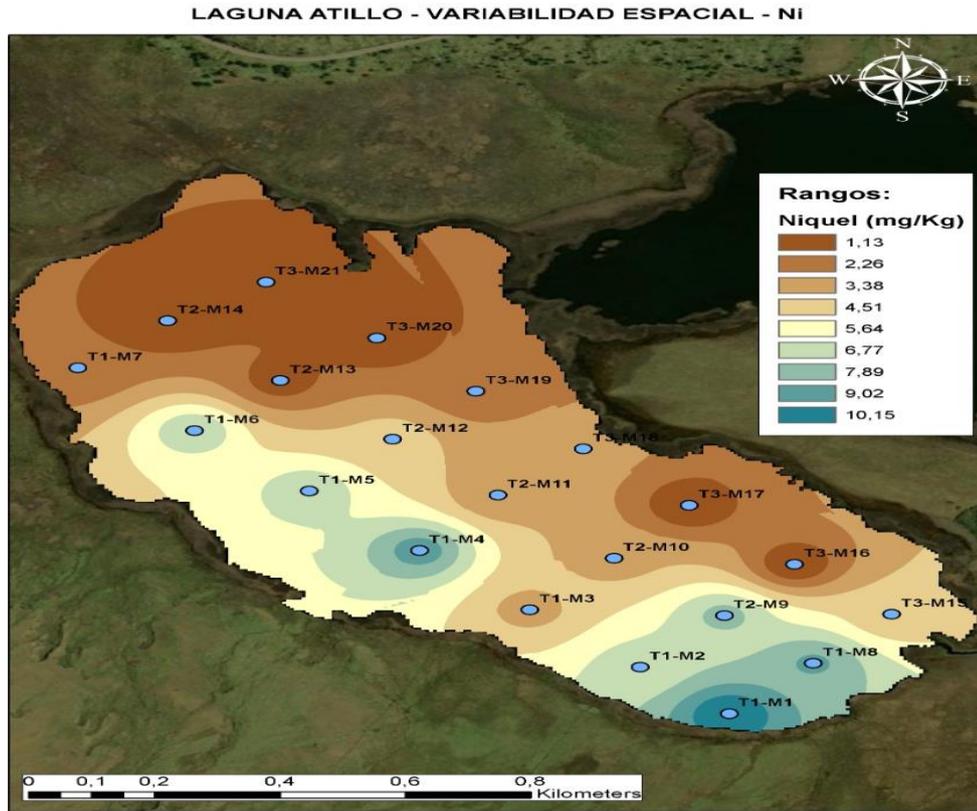


Ilustración 4-12: Variabilidad espacial de Níquel

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

Se presenta en la Ilustración 4-12 la interpolación IDW de Níquel dando un variabilidad espacial con los siguientes datos obtenidos en mg/kg (ppm). Se observa una baja variabilidad con un valor de 1,13 mg/kg de níquel, sin embargo, una elevada concentración del elemento se da en el punto T1-M1 con un valor de 10,15 mg/kg. En efecto las concentraciones de níquel se dan principalmente por fuentes naturales, por ende, no significa que se evidencie presencia de níquel en la zona de estudio y en el caso que se refleje sería especialmente por fuentes antropogénicas (minería, fundición de metales, etc.).

LAGUNA ATILLO - VARIABILIDAD ESPACIAL - AI

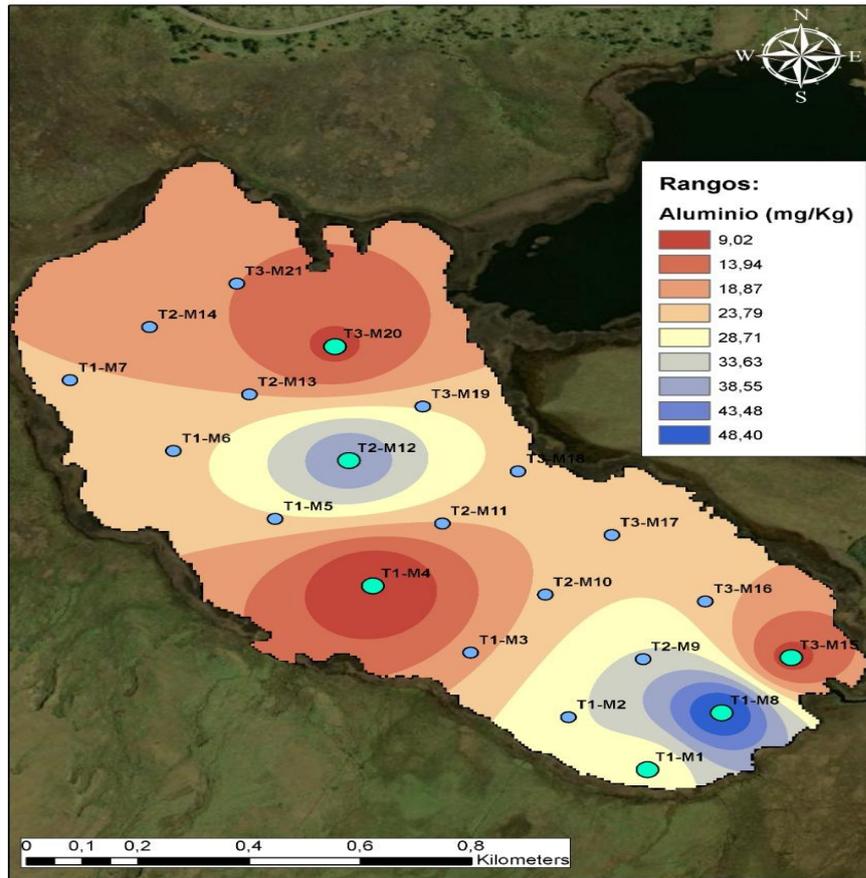


Ilustración 4-13: Variabilidad espacial del Aluminio

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

En la Ilustración 4-13 elaborado mediante el método del inverso de la distancia ponderada (IDW), se puede evidenciar la variabilidad espacial del Aluminio. El valor más bajo de concentración es 9,02 mg/kg que se observa en los transectos (T1 y T3). Por la cual el aluminio es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre lo que permite tener concentraciones elevadas siendo en transecto tres (T3) con un valor de 48,40 mg/kg que es el valor máximo en la zona de estudio. La causa más evidente de dicha variabilidad es por la existencia de corrientes acuáticas establecidas por la dirección del viento, así como también el nivel de fondo de la laguna que al existir mayor profundidad funciona como reservorio de materia que es arrastrada por la corriente.

4.1.14 Determinación de factores de enriquecimiento

Tabla 4-9: Factores de enriquecimiento de sedimentos en la Laguna Atillo

TRANS	FE (Hg)	Origen del elemento	FE (Cd)	Origen del elemento	FE (Ni)	Origen del elemento	FE (Pb)	Origen del elemento	FE (Al)	Origen del elemento
T1	0,27	De la roca madre	2,5	De la roca madre	1,81	De la roca madre	36,88	De la roca madre	36,88	Moderadamente enriquecido, e indica otra fuente de enriquecimiento a la roca madre
T2	0,19	De la roca madre	-	-	1,46	De la roca madre	107,00	De la roca madre	107,00	Moderadamente enriquecido, e indica otra fuente de enriquecimiento a la roca madre
T3	12,60	Moderadamente enriquecido, e indica otra fuente de enriquecimiento a la roca madre	-	-	0,74	De la roca madre	19,75	De la roca madre	19,75	Moderadamente enriquecido, e indica otra fuente de enriquecimiento a la roca madre

Realizado por: Cabezas, K.; Cruz, D., 2022.

4.1.14.1 Factor de enriquecimiento por mercurio (Hg)

Los resultados promedios en Mercurio obtenidos por la fórmula del factor de enriquecimiento se muestra la gran parte en la zona de estudio su origen es de la roca madre, según (Lawson, Winchester 1979). Mientras que una parte de estudio se dice que es moderadamente enriquecido e indica otra fuente de enriquecimiento a la roca madre, dichos resultados no existe posibilidad de presencia de mercurio en la Laguna Atillo.

4.1.14.2 Factor de enriquecimiento por cadmio (Cd)

En cadmio los valores reflejados en el espectrofotómetro son muy inferiores a los valores esperados. Por lo tanto, se consideró realizar los cálculos del factor de enriquecimiento ya que presenta, un valor que hace referencia que es de la roca madre, debido a ello no existe ninguna actividad antropogénica y la posibilidad de existencia de dicho elemento es descartada.

4.1.14.3 Factor de enriquecimiento por níquel (Ni)

El resultado de los valores obtenidos en níquel se consideró aptos para el factor de enriquecimiento, se deduce que el origen del elemento es de la roca madre de la Laguna Atillo. En consecuencia, el níquel no existe en la zona de estudio, debido a que sus concentraciones son muy inferiores a los valores propuestos por (del Aguila Juárez 2005).

4.1.14.4 Factor de enriquecimiento por plomo (Pb)

Los valores promedios obtenidos de la fórmula de factor de enriquecimiento se encuentra debajo el límite de clasificación establecido mientras que existe un valor dentro del límite inferior de clasificación. Por ende, se deduce que en la Laguna Atillo no existe una secuencia del elemento, ya que existen concentraciones no considerables, la deducción de presencia de plomo es de origen de la roca madre.

4.1.14.5 Factor de enriquecimiento por aluminio (Al)

El aluminio es uno de los elemento más abundantes de la corteza terrestre, por lo tanto, es evidente tener un enriquecimiento en la zona de estudio en comparación a los otros elementos analizados en el área, mediante la ecuación aplicada del factor de enriquecimiento como resultado es modernamente enriquecido e indica otra fuente de enriquecimiento a la roca madre. En efecto el aluminio está presente por procesos geofísicos naturales.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se pudo obtener mediante los análisis realizados en el espectrofotómetro las concentraciones de los metales, las cuales fueron aplicadas mediante el método IDW lo que permitió conseguir las gráficas representativas de la variabilidad espacial de los metales, por lo que se llegó a concluir en el Cadmio (Cd) no existe una variabilidad espacial, ya que este presentó valores no significativos para su interpolación. Mientras que en los elementos de Plomo (Pb) y Níquel (Ni) se evidencian valores significativos, por ende, dichos datos reflejan una variabilidad muy baja, en cuanto a sus valores se puede decir que no existe ninguna presencia de actividades antropogénicas, se puede deducir a las tablas anteriormente citadas. Por otra parte, con respecto al Aluminio se pudo observar que los valores reflejados fueron altos en la zona intermedia, lo que resulta que existe presencia de este elemento en nuestra zona de estudio. Sin embargo, en el caso del Mercurio (Hg) se evidencian dos valores altos en el transecto tres (T3), esto puede ser por consecuencia de alguna alteración ya sea en la muestra o en el equipo por lo que se puede decir que son valores anormales y en los demás transectos se presentaron valores bajos, es por ello que no se presentó una variabilidad espacial específica.
- Según el análisis descriptivo realizado con la concentración de nutrientes de la Laguna Atillo se puede concluir que los valores reflejados de Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} dieron un rango alto que fue de 12- 22 pero en el catión de K^+ dio un rango de 0, por lo que sus valores de sesgo y curtosis estandarizado presentan valores estadísticos fuera del rango -2 a +2 lo que indican desviaciones significativas de la normalidad, es decir que la distribución de los cationes presentan valores irregulares, mediante el estadístico se obtuvo los resultados de los nutrientes con respecto a los metales en donde se evidencian que no existe ninguna incidencia entre los dos factores, en el caso del nutriente Magnesio (Mn) y el metal Plomo (Pb) existió una relación no significativa, en efecto los datos de dichos elementos tuvieron una alteración al momento de analizarlos.
- Mediante el factor de enriquecimiento de los elementos (Hg, Cd, Pb, Ni y Al), en base a las tablas citadas anteriormente se puede deducir que existió presencia de estos metales en la Laguna Atillo por fuentes naturales, es decir que son de origen de la roca madre. En el caso

de Mercurio (Hg) en el transecto tres (T3), se presentó que su origen puede ser a causa de fuentes antropogénicas, distinta a la de la roca madre. En cuanto al Aluminio sus valores fueron representativos en el transecto dos (T2), dicho esto el origen del elemento puede ser por otras fuentes de contaminación. Con ayuda del índice de geo acumulación es claro evidenciar que los datos reflejan el estado de contaminación de la zona de estudio, como resultado se obtuvo que de forma general es una zona no contaminada de dichos elementos. En particular el Aluminio en la zona de estudio en el transecto dos (T2) existe un estado de contaminación moderadamente contaminado.

- Mediante la correlación de Pearson se pudo observar su relación entre la concentración de los nutrientes y los parámetros físico-químico de los sedimentos de la Laguna Atillo, por lo que se ha establecido que su valor de significancia fue menor a 0.05, sin embargo se observó que en ciertos cationes existieron una fuerte correlación con los parámetros físico-químicos como son: La materia orgánica con el Na, el Ca y el Mg, el porcentaje de Carbono orgánico mantuvo correlación con Na, Ca y Mg, el Carbono total obtuvo una correlación con el Na, Ca y Mg, el Nitrógeno total tuvo una correlación con el Na, el Ca, y el Mg y por último la conductividad eléctrica se correlaciono fuertemente con el Na y el Ca, sin embargo obtuvimos un valor negativo que fue la Conductividad eléctrica con el K, con estos valores reflejados mediante la correlación de Pearson se puede deducir que los nutrientes con mayor correlación a los parámetros físico-químicos de los sedimentos fueron el Ca y el Na y con el catión K es con el que menos guardan una correlación por ende no existe una significancia.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda hacer previas pruebas de temperatura al momento de digestar las muestras es decir que su temperatura sea constante tanto en la plancha como en la solución puesta en el Enlarmeyer, llevando un control de temperatura en ciertos intervalos de tiempo para lograr de manera eficiente una buena digestión de materia orgánica.
- Para este tipo de investigaciones se debe tomar en cuenta cada estación del año ya que las precipitaciones pueden afectar a los parámetros físico-químicos, también es muy importante saber todas las entradas de acceso a la zona de estudio ya que por el clima puede tener sus limitaciones.

- Se recomienda usar metodologías que se apliquen de manera correcta ya que estos estudios son de aporte para próximas investigaciones con el fin de ampliar información sobre sitios.
- Forman parte de áreas protegidas, pero se encuentran vulnerables ante las actividades antropogénicas las cuales contribuyen al aumento de la contaminación, en este caso se pudo observar la presencia de metales pesados en la Laguna Atillo por diversas fuentes de contaminación.
- Todo proyecto de investigación debería ser socializado con las comunidades aledañas a la zona de estudio con el fin de minimizar el impacto ambiental que están generando, fomentando a las buenas prácticas en el área de la agricultura y a la vez dando a conocer la educación ambiental que se debería tener para lograr la conservación de los recursos naturales que tenemos en nuestro país.
- Para el caso de Mercurio (Hg) se recomienda que se vuelvan hacer estudios sobre el factor de enriquecimiento en la laguna ya que sus valores fueron anormales es por ello que se consideró que existió una falla en el equipo o en la muestra.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Vanessa; et al. 2002. “Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela”. *Scielo* [en línea], 2002, (Venezuela) 27, (12), pp. 686–690. [Consulta: 14 agosto 2022]. ISSN 0378-1844. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037818442002001200007&lng=es&nr_m=iso&tlng=es

ACUERDO N°97/A. (ANEXO 2 - LIBRO VI) NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS.

BARONA, Martha. *Ambientales Lacustres* [blog]. [Consulta: 9 septiembre 2022]. Disponible en: <https://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/CT-SeEs/A4-Lacustre.pdf>

BASTIDAS, Carlos, 2002. *PLAN DE CONSERVACION DE PARAMOS ATILLO* [en línea]. Quito-Ecuador: Ediciones Abya-Yala, 2002. [Consulta: 19 septiembre 2022]. Disponible en: https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1195&context=abya_yala

CAMPOS, Hugo; etc al. Determinación de la capacidad de carga y balance de fosforo y nitrógeno de los lagos Riesco, los palos y laguna escondida [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Austral de Chile, Valdivia- Chile. 1999. pp. 15-23. [Consulta: 19-01- 2023]. Disponible en: https://www.subpesca.cl/fipa/613/articles-89622_informe_final.pdf

CEDEÑO, Mariana. Uso del modelado de nicho ecológico para evaluar las afectaciones de la distribución potencial de especies exóticas invasoras sobre ecosistemas de ecuador continental, año 2018. [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Estatal de Quevedo. Quevedo-Ecuador. 2018. pp. 25-28. [Consulta: 11-09- 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3172/4/T-UTEQ-0076.pdf>

CUEVAS-LARA, José D; etc al. “Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México” *ReserchGate* [en línea], 2016, (México) 68(1) pp. 280–286. [Consulta: 21 febrero 2023]. ISSN 1091-5687. Disponible en : https://www.researchgate.net/publication/316911055_Contenido_de_carbono_elemental_en_sedimentos_lacustres_de_un_conjunto_de_lagos_tropicales_con_distinto_estado_trofico

DABADIE, Mariana; etc al. “Calibración del método de pérdida de peso por ignición para la estimación del carbono orgánico en Inceptisoles del NE de Entre Ríos”. *Revista de la Facultad de Agronomía* [en línea], 2018, (Argentina) 117(1), pp. 157–162. [Consulta: 22 agosto 2022]. ISSN 1669-9513. Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/revagro/article/view/7330>

DEL AGUILA JUÁREZ, Pedro; etc al. “Determinación de factores de enriquecimiento y geo acumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn”. *Redalyc* [en línea], 2005, (México) 12(2), pp. 156-157. [Consulta: 30 noviembre 2022]. ISSN 1405-0269. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/104/10412207.pdf>

DOMÍNGUEZ SOTO, Julia; etc al. 2012. “Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos”. *Scielo* [en línea], 2012, (México) 3(1), pp 5-10. [Consulta: 14 agosto 2022]. ISSN 2007-0934. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000100010

DORIA, Gloria. Evaluación ambiental de los niveles de níquel, cadmio y mercurio en la cuenca del río San Jorge en el departamento de Córdoba Universidad de Córdoba [en línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad de Cordoba, Cordoba, Colombia. 2005. pp.15-16. [Consulta: 11 diciembre 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/255627246_Evaluacion_ambiental_de_los_niveles_de_niquel_cadmio_y_mercurio_en_la_cuenca_del_rio_San_Jorge_en_el_departamento_de_Cordoba_Universidad_de_Cordoba

ECHEVERRÍA, Adán; etc al. *Contaminación por metales pesados en sedimentos y peces* [en línea]. Gomex III, 2014. [Consulta: 10 septiembre 2022]. Disponible en: https://www.academia.edu/41716753/Contaminaci%C3%B3n_por_metales_pesados_en_sedimentos_y_peces

EPA, 1996. *METHOD 3050B ACID DIGESTION OF SEDIMENTS, SLUDGES, AND SOILS 1.0 SCOPE AND APPLICATION.*

EPA, 2007. *SW-846 Method 7000B: Flame Atomic Absorption Spectrophotometry.*

FAO. *Guía para la descripción de suelos.* 4ª ed. Roma-Italia, 2009, pp. 55-60

FAO, 2022. *Propiedades Químicas* [en línea]. Roma-Italia: Portal de los Suelos, 2022. [Consulta: 29 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

FERNÁNDEZ, Luis; etc al. *Manual de técnicas de análisis de suelos* [en línea]. D.F-México: Mexico/Printed, 2006. [Consulta: 28 noviembre 2022]. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG008215.pdf>

GAD GUAMOTE. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Guamote* [en línea]. Riobamba-Ecuador: Gad Guamote, 2019. [Consulta: 14 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.gadguamote.gob.ec/gadmc-g/plan-de-desarrollo1/pdot-guamote-2019-2023/3843-actualizado-pdot-guamote-2019-2023/file.html>

GARCÍA GUTIERREZ, Cipriano; etc al. *Técnicas de microbiología, bioquímica y biología molecular para el análisis de suelos abonos orgánicos*. Sinaloa: Manjarrez Impresiones S.A, 2014, pp. 15-20.

GARCÍA GUTIÉRREZ, Cipriano; & FÉLIX HERRÁN, Jaime Alberto. *Técnicas de caracterización de suelos y abonos orgánico* [en línea]. Sinaloa: Manjarrez Impresiones S.A, 2014. [Consulta: 29 noviembre 2022]. Disponible en: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/495/1/T%C3%A9cnicas%20de%20microbiolog%C3%ADa%20bioqu%C3%ADmica%20y%20biolog%C3%ADa%20molecular%20para%20el%20an%C3%A1lisis%20de%20suelos%20y%20abonos%20org%C3%A1nicos.pdf>

GÓMEZ, J. 2013. *Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos* [en línea]. Tolima-Colombia: Regional Tolima, 2013. [Consulta: 14 septiembre 2022]. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2785/practicas_campo_laboratorio_suelo_s.pdf;jsessionid=FCA6F1E07DEEEE46FD927C4648C1B42A?sequence=1

GÓMEZ, Tamia. Biorremediación de lagos tropicales eutrofizados: estudio del lago San Pablo Ecuador. (Trabajo de titulación) (Maestría) Universidad Politécnica de Catalunya. Ibarra, Ecuador. 2017. pp. 64-66.

J.C. MUYULEMA-ALLAICA. “Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM)-Ecuador”. *Scielo* [en línea], 2019, (Ecuador) 7(41), pp. 5-7. [Consulta: 6 septiembre 2022]. ISSN 2007-9753.

Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-97532019000600003&lang=es

KIERSCH, Benjamin; etc al. “Las macrófitas de algunos lagos alto-andinos del Ecuador y su bajo potencial como bioindicadores de eutrofización”. *Revista de Biología Tropical* [en línea], 2004, (Ecuador) 52(4), pp. 829–837. [Consulta: 10 septiembre 2022]. ISSN 0034-7744. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442004000400001&lng=es&nrm=iso&tlng=es

LALINDE, Hernández; etc al. “Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones”. *Redalyc* [en línea], 2018, (Venezuela) 37(5), pp. 10-12. [Consulta: 29 noviembre 2022]. ISSN 0798-0264. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=55963207025>

LAWSON, Douglas R; & WINCHESTER, John W. “A standard crustal aerosol as a reference for elemental enrichment factors”. *Atmospheric Environment* [en línea], 1979, (Argentina) 13(7), pp. 925–930. [Consulta: 30 noviembre 2022]. ISSN 0004-6981. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0004698179900039>

MERO, Mariuxi, 2018. “CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN AGUA, SEDIMENTOS, Eichhornia crassipes Y Pomacea canaliculata EN EL RÍO GUAYAS (ECUADOR) Y SUS AFLUENTES”. *Scielo* [en línea], 2018, (Ecuador) 35(3), pp. 623-640. [Consulta: 11 diciembre 2022]. ISSN 0188-4999. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v35n3/0188-4999-rica-35-03-623.pdf>

MIFSUT, Ignacio José. *Especies invasoras acuáticas en áreas naturales protegidas* [en línea]. México: Conanp, 2014. [Consulta: 10 septiembre 2022]. Disponible en: https://www.academia.edu/6109304/Especies_invasoras_acu%C3%A1ticas_en_%C3%A1reas_naturales_protegidas

MUNSELL, 1975. *Munsell Soil Color Chart*. Michigan- Estados Unidos: Munsell Color, 1975, pp. 10-15.

ORDOÑEZ DELGADO, Leonardo. “Biodiversidad de los humedales altoandinos de los Andes tropicales del sur del Ecuador: Elemento clave para su gestión y conservación futura”. *ReserchGate* [en línea], 2013, (Ecuador) 36(3), pp. 1-3. [Consulta: 10 septiembre 2022]. ISSN 0001-5897. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/311910371_Biodiversidad_de_los_humedales_altoandinos_de_los_Andes_tropicales_del_sur_del_Ecuador_Elemento_clave_para_su_gestion_y_conservacion_futura

ORTEGA, Diana, 2015. Cuantificación de los niveles de metales pesados (pb, hg) en sedimentos en tres localidades del estero grande, de la zona costera de la provincia de El Oro 2014 (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica De Machala, Machala, Ecuador. 2014. Pp. 25-27.

PACHECO, J. “Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos 2002”. *Ingeniería*, vol. 6, n° 3 (2002), (México) pp. 73–81.

PALINTEST *Method ALUMINIUM TEST FOR TOTAL ALUMINIUM IN NATURAL AND TREATED WATERS*. Estados Unidos: Palintest, 2019, pp. 1-3.

POERSCHMANN, Juergen; etc al. “Organic matter in sediment layers of an acidic mining lake as assessed by lipid analysis. Part II: Neutral lipids”. *Science of The Total Environment*, . vol. 578, (2017), (Estados Unidos) pp. 219–227.

QUEVEDO, Jose; & MENESES, Lorena. 2014. Determinación De Factores De Enriquecimiento E Índices De Geoacumulación De Plomo, Cadmio Y Níquel En Suelos Agrícolas Del Sector San Alfonso En Machachi (Trabajo de titulación). (Pregrado) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 2014. pp. 55-57.

RAMÍREZ, R. Caracterización Del Sedimento De Una Laguna Tropical Rasa (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Colombia, Medellin, Colombia. 2004. pp. 61-64.

RIZZO, Andrea; etc al. “Concentraciones de metales pesados en distintos compartimentos de lagos andinos de Patagonia Norte”. *Scielo* [en línea], 2010, (Patagonia) 20(2), pp. 10-12. [Consulta: 6 septiembre 2022]. ISSN 1667-782X. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667782X2010000200006&lang=es

RODRÍGUEZ, Lorena. Estrategias para el control de la carga de nutrientes del Lago Rodó (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 2002. pp. 68-72.

SANMIGUEL, Ximena; & GUERRERO, Santiago. 2017. Validación Del Método Para Determinar Pb, Cd, Ni Por Espectrometría De Absorción Atómica De Llama En Agua Y Suelo (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 1–124.

SISTEMAS LACUSTRES. *Enciclopedia Medioambiental* [blog]. [Consulta: 7 septiembre 2022]. Disponible en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/sistemas_lacustres.asp

TERNEUS, Esteban. “Comunidades De Plantas Acuáticas En Lagunas De Los Páramos Del Norte Y Sur Del Ecuador Aquatic plant communities in lakes of the Páramos of north and south of Ecuador”. *Academia* [en línea], 2002, (Ecuador) 24(2), pp. 1-15. [Consulta: 10 septiembre 2022]. ISSN 0379-3912. Disponible en: https://www.academia.edu/29380199/COMUNIDADES_DE_PLANTAS_ACU%C3%81TICAS_EN_LAGUNAS_DE_LOS_P%C3%81RAMOS_DEL_NORTE_Y_SUR_DEL_ECUADOR
[Aquatic plant communities in lakes of the P%C3%A1ramos of north and south of Ecuador](https://www.academia.edu/29380199/COMUNIDADES_DE_PLANTAS_ACU%C3%81TICAS_EN_LAGUNAS_DE_LOS_P%C3%81RAMOS_DEL_NORTE_Y_SUR_DEL_ECUADOR)

TERNEUS, Esteban. “Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador”. *Academia* [en línea], 2002, (Ecuador) 26(1), pp.1-11. [Consulta: 10 septiembre 2022]. ISSN 0389-4586. Disponible en: <http://www.uide.edu.ec/wp-content/uploads/investigacion/publicaciones/produccioncientifica/9-vegetacion-acuatica-estado-trofico-lagunas-andinas-san-pablo-yahuarcocha-imbabura.pdf>

TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE [en línea]. Ecuador: TULSMA, 2017. [Consulta: 24 enero 2023]. Disponible en: www.lexis.com.ec

TORRELLAS, Rosabel. “La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud | Tecnogestión: Una mirada al ambiente”. *Revistas Udistrital* [en línea], 2013, (Venezuela) 9(1), pp. 11-22. [Consulta: 18 enero 2023]. ISSN 7894-5897. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/5646>

TRUJILLO, Juan. 2015. “Niveles de contaminación en tres sectores de Villavicencio, a través del índice de geo-acumulación(I-geo)”. *SciELO*, vol. 19, n° 1 (2015), (Colombia) 19(1), pp. 2-9.

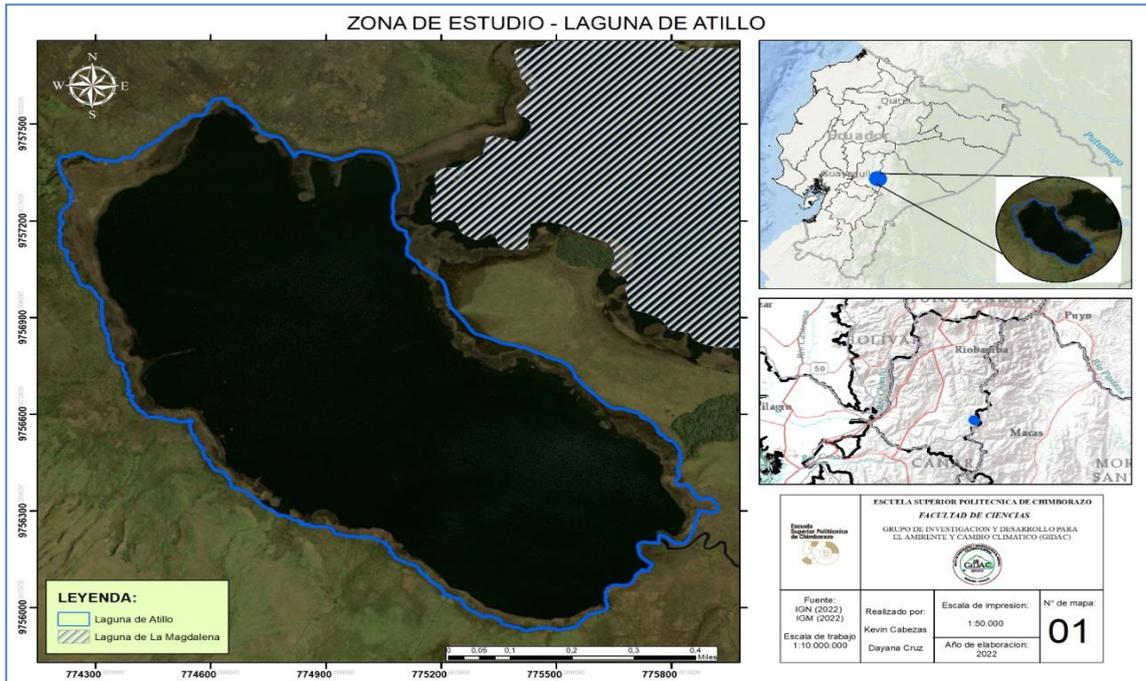
URGILEZ, Paúl. Control De Calidad De Agua Y Análisis De Sedimentos En La Microcuenca Del Río Tabacay (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2016. pp. 1-91.

VÁSQUEZ, Daniel. Transporte de sedimento como carga de fondo en la cuenca del río Narcea (vertiente Norte de la Cordillera Cantábrica) (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Oviedo, Oviedo, España. 2012. pp. 2-100.

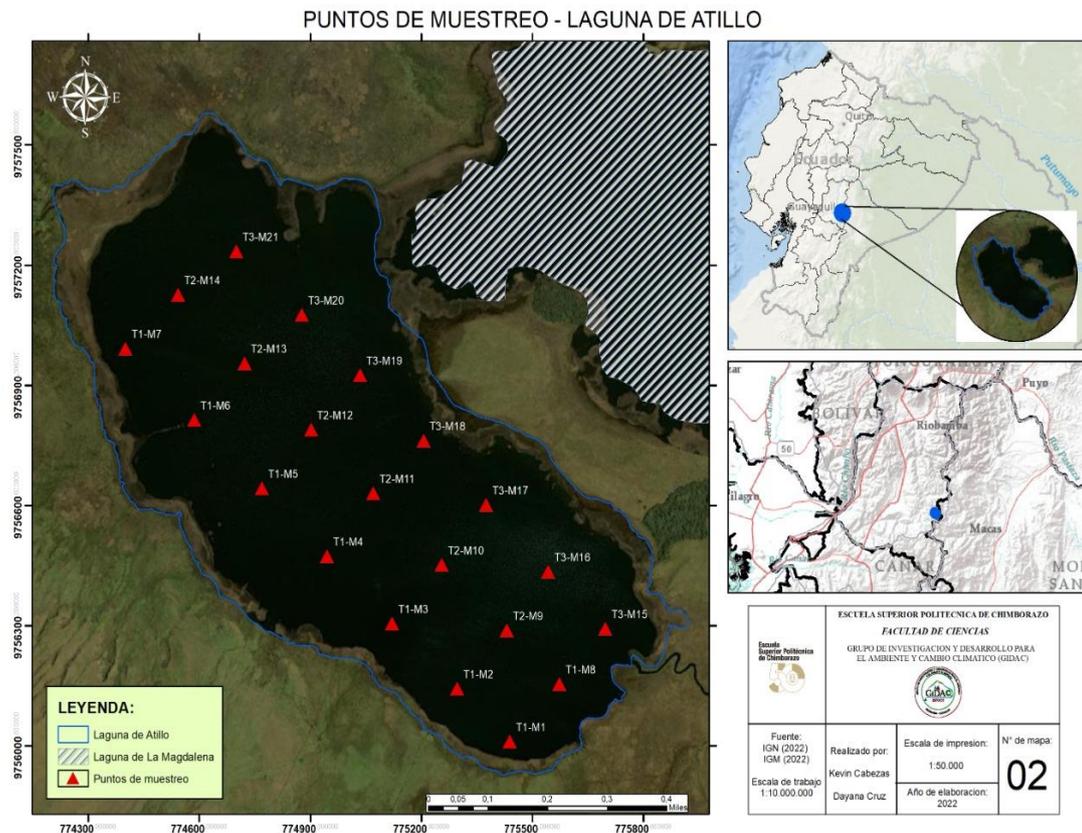
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Paúl Urgilez', is written over a faint circular stamp.

ANEXOS

ANEXO A: MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



ANEXO B: MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO



ANEXO C: PREPARACIÓN DEL BOTE



ANEXO D: ZONA DE ESTUDIO – LAGUNA ATILLO



ANEXO E: RECOLECCIÓN DE MUESTRA DE SEDIMENTO



ANEXO F: ETIQUEDADO DE MUESTRAS DE LOS SEDIMENTOS



ANEXO G: SECADO DE MUESTRA



ANEXO H: DETERMINACION DE pH Y CONDUCTIVIDAD



ANEXO I: DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

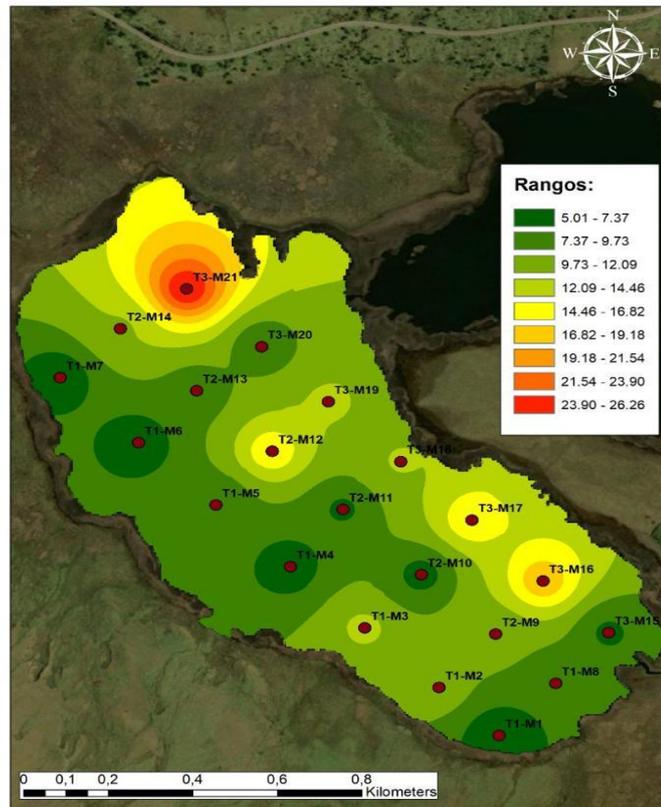


ANEXO J: DETERMINACIÓN DE CATIONES INTERCAMBIABLES (CIC)

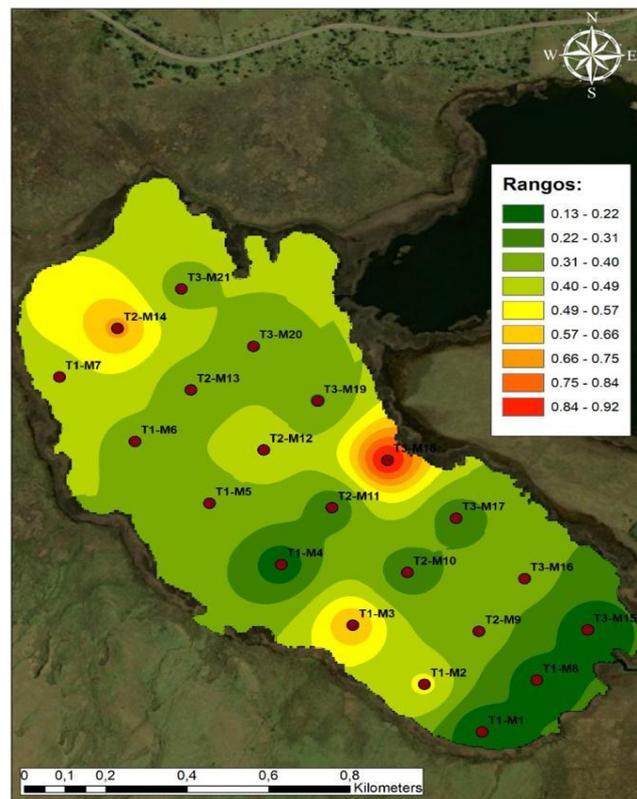


ANEXO K: CONCENTRACIONES DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

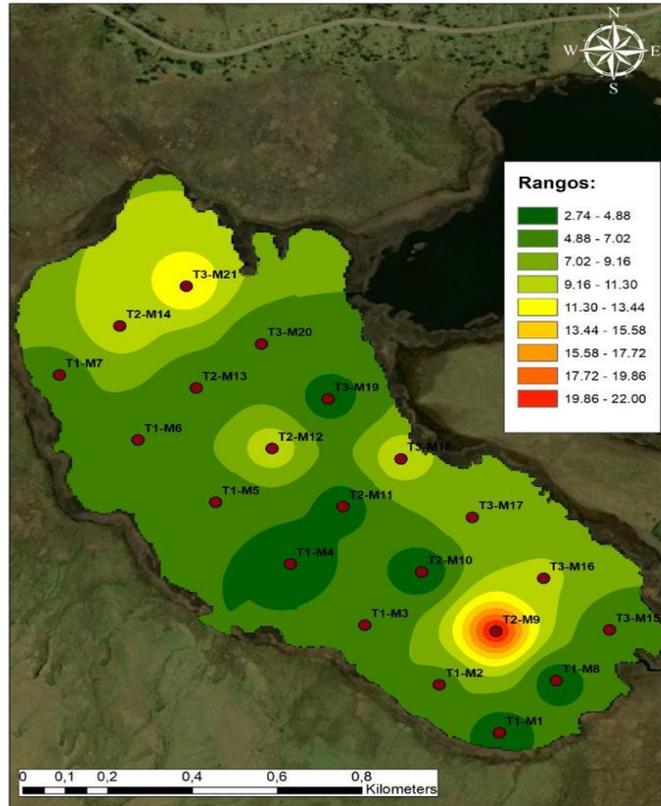
LAGUNA DE ATILLO - CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO - CALCIO (Ca)



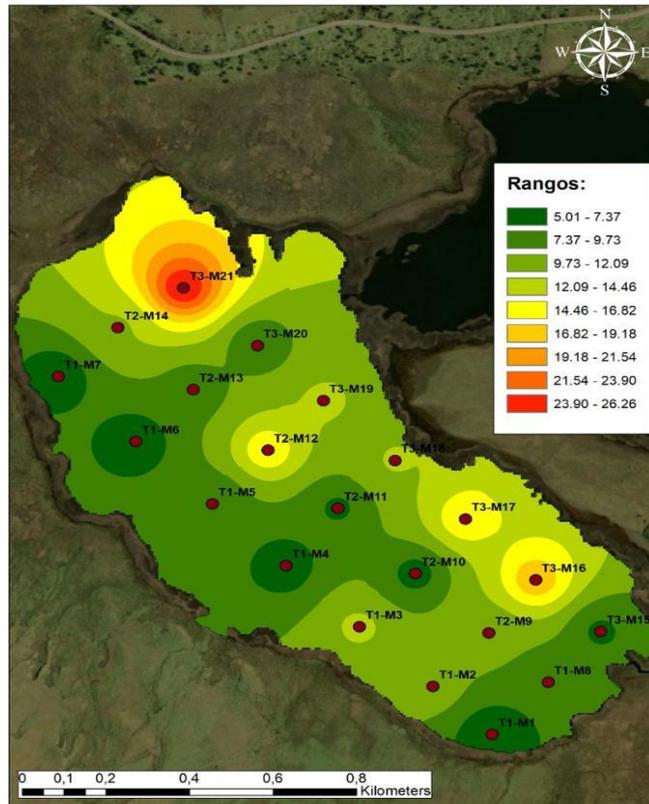
LAGUNA DE ATILLO - CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO - POTASIO (K)



LAGUNA DE ATILLO - CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO - MAGNESIO (Mg)



LAGUNA DE ATILLO - CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO - CALCIO (Ca)



ANEXO L: DETERMINACIÓN DE ALUMINIO MEDIANTE EL FOTÓMETRO



ANEXO M: PREPARACION DE MUESTRAS PARA LA DIGESTIÓN ÁCIDA DE SEDIMENTOS





ANEXO N: DIGESTIÓN ÁCIDA DE LAS MUESTRAS



ANEXO O: MUESTRAS AFORADAS PARA EL ANÁLISIS DE SEDIMENTOS



ANEXO P: ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10 / 07 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Kevin Alexander Cabezas Espinoza; Dayana Marisol Cruz Cargua
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniero/a Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1196-DBRA-UPT-2023