



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**DETERMINACIÓN DEL ENRIQUECIMIENTO DE METALES
PESADOS EN LAS LAGUNAS DE COLTA Y YAMBO DE LA
ZONA 3 DEL ECUADOR**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES: MELVIN JOEL GUALLI LEMA

STEVE FRANK HIDALGO MORETA

DIRECTOR: Ing. ANDRÉS AGUSTÍN BELTRÁN DÁVALOS MSc.

Riobamba - Ecuador

2022

©2022, Steve Frank Hidalgo Moreta & Melvin Joel Guali Lema

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 los Autores.

Nosotros, STEVE FRANK HIDALGO MORETA y MELVIN JOEL GUALLI LEMA, declaramos que el presente trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académicas de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular; el Patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de mayo del 2022



Steve Frank Hidalgo Moreta

180573765-5

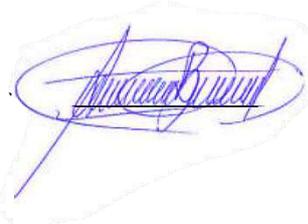


Melvin Joel Gualli Lema

060523262-8

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 LAS LAGUNAS DE COLTA Y YAMBO DE LA ZONA 3 DEL ECUADOR** realizado por los señores **MELVIN JOEL GUALLI LEMA** y **STEVE FRANK HIDALGO MORETA**, 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 Alexandra Procel Silva MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-05-19
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-05-19
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-05-19

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y el que me proporciona fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. Mis padres Francisco Hidalgo y Ruth Moreta quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está siempre conmigo. A mi hermano Ariel Hidalgo por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día. A mi amigo, compañero de vida y tesis Melvin Klein, que gracias a todas las experiencias brindadas ha hecho posible el presente trabajo. Finalmente, a mis amigos y docentes quienes con sus anécdotas y conocimientos me han formado en una persona con ética profesional.

Frank

El presente trabajo de investigación se lo dedico principalmente a Dios, quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy; ya que gracias a su bendición y misericordia he sido capaz de salir adelante ante todos los retos y obstáculos que se han presentado durante toda mi carrera universitaria. A mi madre Dolores Lema y a mis padres postizos Juan Amboya y Rosita Morocho, quienes me apoyaron incondicionalmente en todo momento brindándome su amor, confianza y sacrificio, lo que me permitió superarme cada día hasta llegar a ser un gran profesional. A mis hermanas Joselin Thalía Gualli Lema y Nicole Estefania Gualli Lema; quienes siempre estuvieron conmigo en los momentos más difíciles para apoyarme y motivarme a culminar mis estudios de pregrado. A mi amigo y compañero de tesis Steve Frank Hidalgo Moreta, quien ha sido un pilar fundamental para cumplir esta meta, ya que siempre me ha brindado su apoyo durante este arduo camino. Por todos ustedes se ha hecho posible este trabajo de integración curricular, son lo mejor que tengo en mi vida. Finalmente, y no menos importante quiero dedicar esta tesis a todas las personas tanto familiares, como amigos y docentes por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias, siempre las llevo en mi corazón.

Melvin

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios, por ser el motor de nuestras vidas. A nuestros padres ya que sin su apoyo y colaboración no seríamos los profesionales que hoy en día somos. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarnos la oportunidad de ser parte de tan prestigiosa universidad y de poder adquirir los conocimientos necesarios para poder obtener una profesión. A nuestro director de trabajo de integración curricular Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos, a los técnicos de laboratorio como son: Ing. Natali Figueroa y Dr. Mauricio Álvarez, por impartirnos los conocimientos necesarios para llevar a cabo nuestro proyecto de Trabajo de Integración Curricular y además por habernos brindado la oportunidad de formar parte de un prestigioso grupo de investigación como lo es el GIDAC. Además, un profundo agradecimiento a nuestros maestros durante todos nuestros años de estudio ya que sin los conocimientos que nos brindaron no hubiésemos podido llegar a cumplir nuestra meta. Para finalizar a todos nuestros amigos en especial a: Pedro Castro, Hermant Ortega y Jhon Guzñay, que dejan como recuerdo y prueba viviente en la historia; esta tesis, que perdurará dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar. Finalmente agradecemos a quien lee este apartado y más de nuestra tesis, por permitir a nuestras experiencias, investigaciones y conocimiento, incurrir dentro de su repertorio de información mental.

Frank & Melvin

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas generales.....	5
1.2.1. Cuenca hidrográfica.....	5
1.2.1.1. Por su tamaño geográfico.....	6
1.2.1.2. Por su sitio de desembocadura.....	6
1.2.2. Sistemas lacustres y sus características.....	6
1.2.3. Funciones ecosistemáticas de las lagunas.....	7
1.2.4. Los sistemas endorreicos en una subcuenca hidrográfica.....	7
1.2.5. Concentración de metales pesados en sistemas lacustres.....	8
1.2.6. Afectaciones de metales pesados en sistemas hídricos.....	9
1.2.6.1. Afectación del Arsénico (As).....	9
1.2.6.2. Afectación del Cadmio (Cd).....	10
1.2.6.3. Afectación del Calcio (Ca) y Magnesio (Mg).....	11
1.2.6.4. Afectación del Plomo (Pb).....	11
1.2.6.5. Afección del Hierro (Fe).....	12
1.2.6.6. Afección del Sodio (Na).....	12
1.2.7. Ciclos biogeoquímicos de los nutrientes.....	12
1.2.7.1. En suelo.....	12
1.2.7.2. En agua.....	14
1.2.7.3. En sedimentos.....	14
1.2.8. El ciclo del Carbono en sedimentos lacustres.....	15
1.2.9. El ciclo del Nitrógeno en sedimentos lacustres.....	16
1.2.10. El ciclo del Azufre en sedimentos lacustres.....	17

1.2.11.	<i>El ciclo del Fósforo en sedimentos lacustres</i>	18
1.2.12.	<i>La materia orgánica en sedimentos lacustres</i>	19
1.2.12.1.	<i>Descomposición de la materia orgánica en condiciones anóxicas</i>	20
1.2.12.2.	<i>Emisión de gas metano en sedimentos lacustres</i>	20
1.2.13.	<i>Abundancia de minerales en la corteza terrestre</i>	21
1.2.13.1.	<i>Componentes locales</i>	22
1.2.13.2.	<i>Sulfuros</i>	22
1.2.13.3.	<i>Sulfosales</i>	22
1.2.13.4.	<i>Óxidos e hidróxidos</i>	23
1.2.13.5.	<i>Haluros</i>	23
1.2.13.6.	<i>Carbonatos, nitratos y boratos</i>	23
1.2.14.	<i>Incidencia de la materia en el enriquecimiento de metales pesados</i>	23
1.2.15.	<i>Actividades antrópicas que incrementan metales pesados en sistemas lacustres</i>	24
1.2.15.1.	<i>Erosión</i>	24
1.2.15.2.	<i>Expansión urbana</i>	24
1.2.15.3.	<i>Almacenamiento y capacidad de desechos fuertes y fluidos</i>	25
1.2.16.	<i>Movilidad de los metales pesados en sedimentos lacustres</i>	26
1.2.16.1.	<i>Acidificación en sedimentos lacustres</i>	27
1.2.16.2.	<i>Cambios en las condiciones redox de los sedimentos lacustres</i>	27
1.2.16.3.	<i>Cambios en la composición iónica de la solución del suelo</i>	27
1.2.17.	<i>Condiciones de acumulación de metales pesados en sedimentos lacustres</i>	28
1.3.	Bases conceptuales	29
1.3.1.	<i>Variabilidad espacial</i>	29
1.3.2.	<i>Metales pesados</i>	29
1.3.3.	<i>Sedimentos lacustres</i>	29
1.3.4.	<i>Sedimentos pluviales</i>	30
1.3.5.	<i>Pesticidas</i>	31
1.3.6.	<i>Actividad minera</i>	31
1.3.7.	<i>Nutrientes del agua</i>	32
1.3.8.	<i>Capacidad de intercambio catiónico</i>	32
1.3.9.	<i>Aluminio intercambiable</i>	32
1.3.10.	<i>Factor de enriquecimiento</i>	33
1.3.11.	<i>Índice de geoacumulación</i>	33

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	34
2.1.	Área de estudio Colta	34
2.1.1.	<i>Caracterización de la zona de estudio</i>	35
2.1.2.	<i>Ubicación geográfica</i>	35
2.1.3.	<i>Condiciones meteorológicas</i>	35
2.1.4.	<i>Uso de suelo</i>	36
2.1.5.	<i>Tipos de ecosistemas</i>	36
2.1.6.	<i>La erosión como cambio climático de la laguna de Colta</i>	36
2.2.	Área de estudio de Yambo	37
2.2.1.	<i>Caracterización de la zona de estudio</i>	38
2.2.2.	<i>Ubicación geográfica</i>	38
2.2.3.	<i>Condiciones meteorológicas</i>	38
2.2.3.1.	<i>Humedad relativa</i>	38
2.2.3.2.	<i>Precipitación</i>	39
2.2.3.3.	<i>Temperatura</i>	39
2.2.4.	<i>Usos del suelo</i>	39
2.2.4.1.	<i>Perfil</i>	39
2.2.4.2.	<i>Profundidad</i>	39
2.2.4.3.	<i>Textura</i>	40
2.2.4.4.	<i>Pedregosidad</i>	40
2.2.4.5.	<i>Estructura</i>	40
2.2.4.6.	<i>Aptitudes del suelo</i>	40
2.2.5.	<i>Fauna</i>	40
2.2.6.	<i>Flora</i>	40
2.3.	Tipo de Investigación	41
2.3.1.	<i>Según el enfoque de estudio</i>	41
2.3.1.1.	<i>Mixto</i>	41
2.3.2.	<i>Según el área de estudio</i>	41
2.3.2.1.	<i>Descriptiva</i>	41
2.3.3.	<i>Según el método usado</i>	42
2.3.3.1.	<i>Explicativo</i>	42
2.4.	Hipótesis de la investigación	42
2.4.1.	<i>Hipótesis nula</i>	42
2.4.2.	<i>Hipótesis alternativa</i>	42
2.5.	Variables de estudio	42

2.6.	Diseño de la investigación	42
2.7.	Determinación de los puntos de muestreo	43
2.7.1.	Muestreo de sedimentos	43
2.7.1.1.	<i>Muestra representativa de sedimento</i>	43
2.7.1.2.	<i>Equipos</i>	43
2.7.1.3.	<i>Procedimiento de extracción de muestras</i>	44
2.7.1.4.	<i>Prevención de riesgos</i>	45
2.7.1.5.	<i>Envasado e identificación de muestras</i>	45
2.7.1.6.	<i>Conservación y transporte de la muestra</i>	46
2.8.	Tratamiento de las muestras	47
2.8.1.	<i>Secado de muestras</i>	47
2.8.2.	<i>Tamizado de las muestras</i>	48
2.9.	Medición de parámetros físicos químicos	49
2.9.1.	<i>Ensayo de pH</i>	49
2.9.1.1.	<i>Determinación de pH mediante (medidor de pH Hanna)</i>	49
2.9.2.	<i>Ensayo de conductividad eléctrica</i>	50
2.9.2.1.	<i>Determinación de conductividad eléctrica mediante un conductímetro Hanna</i>	50
2.9.3.	<i>Ensayo de color</i>	51
2.9.3.1.	<i>Proceso para determinación de color mediante el método de Munsell</i>	51
2.9.3.2.	<i>Interpretación</i>	51
2.10.	Materia orgánica por pérdida de peso por ignición (LOI)	52
2.10.1.	<i>Procedimiento</i>	52
2.11.	Nitrógeno por el método de Dumas	53
2.11.1.	<i>Preparación de muestras</i>	53
2.11.2.	<i>Procedimiento</i>	54
2.11.2.1.	<i>Calibración de los aparatos</i>	54
2.11.2.2.	<i>Determinación del contenido de NT</i>	54
2.11.3.	<i>Cálculos</i>	54
2.12.	Fosforo por el método de Olsen	55
2.12.1.	<i>Principio</i>	55
2.13.	Determinación de los Cationes Cambiables en suelos o sedimentos	56
2.13.1.	<i>Principio</i>	56
2.13.2.	<i>Introducción</i>	57
2.13.3.	<i>Reactivos</i>	57
2.13.4.	<i>Procedimiento</i>	57
2.14.	Extracción de metales pesados método 3050B (EPA SW 846)	58
2.15.	Concentración de metales pesados por el método 7000B, FLAA	59

2.16.	Variabilidad espacial por el método de ponderación de distancia inversa	61
2.16.1.	<i>Procedimiento</i>	62
2.17.	Incidencia de nutrientes en metales con estadístico ANOVA.....	62
2.17.1.	<i>Procedimiento</i>	63
2.18.	Determinación del factor de enriquecimiento	63
2.19.	Determinación de índice de geo-acumulación	64

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
3.1.	Concentración de pH en la laguna de Colta y Yambo	65
3.2.	Conductividad eléctrica (CE).....	66
3.3.	Análisis de Color	67
3.4.	Análisis de materia orgánica	68
3.5.	Análisis descriptivo de macronutrientes en la laguna de Colta	69
3.6.	Análisis descriptivo de micronutrientes en la laguna de Colta	70
3.7.	Análisis descriptivo de metales pesados en la laguna de Colta	73
3.8.	Índice de geoacumulación de los metales pesados en la laguna de Colta	74
3.9.	Factor de enriquecimiento de los metales pesados en la laguna de Colta	75
3.10.	Correlación de macronutrientes con respecto a los metales pesados en Colta	77
3.11.	Correlación de micronutrientes con respecto a metales pesados en Colta.....	78
3.12.	Correlación de H ⁺ con respecto a metales pesados en Colta	80
3.13.	Análisis descriptivo de macronutrientes en la laguna de Yambo	81
3.14.	Análisis descriptivo de micronutrientes en la laguna de Yambo	82
3.15.	Análisis descriptivo de metales pesados en la laguna de Yambo	84
3.16.	Índice de geoacumulación de los metales pesados en la laguna de Yambo.....	86
3.17.	Factor de enriquecimiento de los metales pesados en la laguna de Yambo	87
3.18.	Correlación de macronutrientes con respecto a los metales pesados en Yambo .	89
3.19.	Correlación de micronutrientes con respecto a los metales pesados en Yambo..	90
3.20.	Correlación de H ⁺ con respecto a metales pesados en Yambo	92
3.21.	Variabilidad espacial en la laguna de Colta.....	92
3.22.	Variabilidad espacial en la laguna de Yambo	96

CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Afección del cadmio	11
Tabla 2-1: Movilidad relativa de los metales pesados	27
Tabla 1-2: Materiales, equipos y reactivos utilizados en la extracción de metales pesados	58
Tabla 2-2: Materiales, equipos y reactivos para la digestión ácida.....	60
Tabla 3-2: Clasificación del factor de enriquecimiento	63
Tabla 4-2: Grado de contaminación para la determinación del índice de geoacumulación.....	64
Tabla 1-3: Análisis descriptivo y comparativo de la laguna de Colta y Yambo	65
Tabla 2-3: Análisis descriptivo y comparativo de CE expresados en ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	66
Tabla 3-3: Análisis descriptivo y comparativo del color	67
Tabla 4-3: Análisis descriptivo y comparativo de MO expresados en (%).....	68
Tabla 5-3: Análisis descriptivo y comparativo de macronutrientes Colta	69
Tabla 6-3: Análisis descriptivo y comparativo de micronutrientes Colta.....	70
Tabla 7-3: Análisis descriptivo de metales pesados en la laguna de Colta	73
Tabla 8-3: Correlación macronutrientes-metales pesados en la laguna de Colta.....	77
Tabla 9-3: Clasificación macronutrientes-metales.....	77
Tabla 10-3: Correlación micronutrientes-metales pesados en la laguna de Colta	78
Tabla 11-3: Correlación de H^+ -metales pesados	80
Tabla 12-3: Análisis de macronutrientes en Yambo	81
Tabla 13-3: Análisis descriptivo y comparativo de micronutrientes Yambo	82
Tabla 14-3: Análisis descriptivo de metales pesados en la laguna de Yambo	84
Tabla 15-3: Correlación macronutrientes-metales pesados en la laguna de Yambo.....	89
Tabla 16-3: Correlación micronutrientes-metales pesados en la laguna de Yambo	90
Tabla 17-3: Correlación de H^+ - metales pesados	92
Tabla 18-3: Análisis estadístico de metales pesados.....	92
Tabla 19-3: Análisis correlacional %M.O-metales pesados	93
Tabla 20-3: Variabilidad espacial de los metales pesados en la laguna de Yambo	96
Tabla 21-3: Correlación de M.O%- metales pesados de Pearson	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Cuenca hidrográfica.	5
Figura 2-1. Sistema lacustre sector Yambo.....	7
Figura 3-1. Cuenca con aporte de sistemas endorreicos	8
Figura 4-1. Distribución del arsénico.....	10
Figura 5-1. Ciclo biogeoquímico en el suelo	13
Figura 6-1. Representación gráfica del ciclo hidrológico	14
Figura 7-1. Muestras de sedimento secándose en el orden de muestreo.....	15
Figura 8-1. Estructuración del ciclo del carbono	16
Figura 9-1. Estructuración del ciclo del nitrógeno.....	17
Figura 10-1. Estructuración del ciclo del azufre	18
Figura 11-1. Estructuración del ciclo del fósforo.....	19
Figura 12-1. Ciclo de la materia orgánica.....	19
Figura 13-1. Eutrofización en sistemas lacustre Yambo.....	20
Figura 14-1. Emisión de bajas proporciones de gas metano laguna de Colta.....	21
Figura 15-1. Erosión del suelo	24
Figura 16-1. Expansión urbana	25
Figura 17-1. Contaminación de sistemas lacustres	26
Figura 18-1. Análisis de metales pesados en los sedimentos lacustres.....	28
Figura 19-1. Representación gráfica de Colta como un sistema pluvial.....	30
Figura 20-1. Actividad minera	31
Figura 1-2. Mapa del área y puntos de muestreo de la laguna de Colta.....	34
Figura 2-2. Mapa del área y puntos de muestreo de la laguna de Yambo	37
Figura 3-2. Equipo draga con forma de tijeras tipo ponar	44
Figura 4-2. Conservación de muestras en fundas ziploc.....	47
Figura 5-2. Secado de muestras	48
Figura 6-2. Tamizado de muestras.....	48
Figura 7-2. Análisis del ensayo de pH	49
Figura 8-2. Análisis del CE.....	50
Figura 9-2. Caracterización de color de acuerdo al libro de Munsell	51
Figura 10-2. Análisis de la materia orgánica por ignición	53
Figura 11-2. Análisis del ensayo de fósforo mediante espectrofotometría	56
Figura 12-2. Análisis del ensayo de CIC	57
Figura 13-2. Extracción de metales pesados mediante digestión ácida	59
Figura 14-2. Análisis de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica	61

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1-1. Estimación porcentual de minerales existentes en la corteza terrestre	22
Gráfico 1-3. Análisis de dispersión de datos CE.....	66
Gráfico 2-3. Diagrama de caja y bigotes de la variable MO	68
Gráfico 3-3. Diagrama de barras para Na, K, Ca y Mg.....	72
Gráfico 4-3. Diagrama de caja y bigotes de Igeo., para metales pesados	74
Gráfico 5-3. Diagrama de caja y bigotes del F.E., para metales pesados.....	75
Gráfico 6-3. Diagrama de caja y bigotes de Igeo., para metales pesados	86
Gráfico 7-3. Diagrama de caja y bigotes de F.E para metales pesados.....	87
Gráfico 8-3. Distribución espacial de metales pesados	95
Gráfico 9-3. Distribución espacial de metales pesados	98

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: VISITA A LAS ZONAS DE ESTUDIO

ANEXO B: TRITURACIÓN Y SECADO DE LAS MUESTRAS

ANEXO C: ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS

ANEXO D: ANÁLISIS DE METALES PESADOS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE
ABSORCIÓN ATÓMICA

RESUMEN

Los metales pesados en sedimentos son reportados como un problema grave debido a su bioacumulación y toxicidad. El estudio tuvo como objetivo, determinar el enriquecimiento de metales pesados en las lagunas de Colta y Yambo en la zona 3 del Ecuador. La recopilación de información y el análisis de los metales se realizó a inicios del mes de noviembre del 2021 y finalizó en marzo del 2022. El estudio consideró metales pesados como cadmio (Cd), plomo (Pb), manganeso (Mn) y hierro (Fe) que fueron analizados mediante el método 3050B (EPA SW 846), que especifica la determinación de metales acoplado a espectrometría de absorción atómica. Además, se realizó un análisis del coeficiente de correlación de Pearson entre los metales pesados en relación con los nutrientes tales como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), sodio (Na), magnesio (Mg) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), se efectuaron mapas georreferenciados los cuales interpretaron patrones de distribución de la concentración de los metales en toda la extensión de las lagunas. Posteriormente, se aplicó y se valoró la fórmula del índice de geo-acumulación y el factor de enriquecimiento, para precisar el valor y la fuente de contaminación de los metales pesados en los sedimentos de los sistemas acuáticos. Como resultado se logró identificar que la mayor relevancia en la laguna de Colta y su metal asociado Cd es en promedio 0.27 ± 0.05 ppm, a diferencia de la laguna de Yambo en donde los metales con los cuales se encuentra moderadamente enriquecida son el Cd 0.37 ± 0.04 , Pb 3.95 ± 0.94 y Mn 92.03 ± 16.21 ppm respectivamente. Finalmente, se concluyó que en las dos lagunas tienden a ser afectados por otra fuente de contaminación adicional a la roca madre; por lo que se recomienda realizar estudios para identificar los factores que ocasionan el enriquecimiento de los metales estudiados.

Palabras clave: <METALES PESADOS>, <NUTRIENTES>, <SISTEMAS LACUSTRES>, <GEOACUMULACIÓN>, <LAGUNA DE COLTA>, <LAGUNA DE YAMBO>.



I122-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

Heavy metals in sediments are reported as a serious problem due to their bioaccumulation and toxicity. The aim of the study was to determine the enrichment of heavy metals in Colta and Yambo lagoons, zone 3 of Ecuador. The information collection and the analysis of metals were carried out at the beginning of November 2021 and was concluded in March 2022. The study considered heavy metals such as cadmium (Cd), lead (Pb), manganese (Mn) and iron (Fe), which were analyzed using 3050B (EPA SW 846) method and specifying the determination of metals coupled to atomic absorption spectrometry. In addition, a Pearson correlation coefficient analysis between heavy metals and nutrients such as nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), sodium (Na), magnesium (Mg) and cation exchange capacity (CEC) was performed. Georeferenced maps were also used to interpret the metal concentration distribution patterns throughout the lagoons. Then, it was necessary to apply the geo-accumulation index formula and the enrichment factor was evaluated to determine the value and source of contamination of heavy metal in the sediments of water systems. As a result, it was identified that the highest relevance is found in the Colta lagoon and the metal associated is Cd with an average of 0.27 ± 0.05 ppm, unlike the Yambo lagoon where the metals causing a moderate enrichment are Cd 0.37 ± 0.04 , Pb 3.95 ± 0.94 and Mn 92.03 ± 16.21 ppm respectively. Finally, it was concluded that both lagoons tend to be affected by another source of contamination different than the bedrock; therefore, it is recommended to carry out studies to identify the factors that cause the enrichment of the metals studied.

Keywords: <HEAVY METALS>, <NUTRIENTS>, <LAKE SYSTEMS>, <GEOACCUMULATION>, <COLTA LAGOON>, <YAMBO LAGOON>.



Mg. Paúl Rolando Armas Pezantes

060328987-7

INTRODUCCIÓN

El Ecuador se considera como uno de los países más pequeños de América del Sur, cuenta con una superficie total de 256.370 km². Su significativa posición geográfica aporta en que las condiciones climáticas sean favorables para el desarrollo de la flora y fauna que hacen característico al País. Uno de los factores determinantes de la diversidad de hábitats es la cordillera de los Andes que atraviesa el Ecuador de norte a sur formando cadenas montañosas, entre ellas la occidental y la oriental, mismas que conforman hoyas, mesetas y cumbres las cuales van desde los 2,500 hasta los 6,310 m.s.n.m. De todas las cumbres destacan picos coronados por nieves. Entre las más importantes son El Chimborazo con 6310 m.s.n.m y el Cotopaxi con 5897 m.s.n.m (López y Blanco, 2005, pp. 65–67).

La Sierra es considerada la región más importante del Ecuador, ya que posee una de las vistas más representativas del país, dónde llegan decenas de turistas a visitar su gran diversidad natural y cultural entre los más representativos se encuentran los páramos andinos, bosques nublados, lagos, lagunas, volcanes activos, termas, etc. Además, se localizan áreas lacustres que tienen características y atractivos especiales, éstas en si son fuentes de formación de muchos ríos y han servido para la construcción de proyectos innovadores, cada provincia con su notable número de lagos entre las que destacamos la provincia de Cotopaxi con su laguna turística Yambo, y por otro lado la provincia de Chimborazo que cuenta con una laguna de origen ancestral llamada Laguna de Colta (Portilla, 2018, p. 23).

La Laguna de Colta y Yambo, son centros turísticos representativos de sus respectivas provincias por su trascendencia histórica y cultural, estas se han convertido en un medio vulnerable a la contaminación, ya que las actividades de dragado de sus sedimentos no cuentan con orientación y criterios especializados de análisis, provocando un impacto ambiental de considerables repercusiones en ámbitos relacionados con la biodiversidad.

Los metales pesados son un conjunto de elementos químicos inorgánicos, característicos por su ciclo de vida, su alta toxicidad y por tener la capacidad de acumularse en los tejidos de plantas y animales, tienden a provocar daños graves a los ecosistemas causando alteraciones genéticas tanto en plantas como animales, entre los cuales se encuentran los microorganismos y el ser humano (Cruz y Laffón, 2013, p. 3).

La escorrentía pluvial aumenta las concentraciones de metales pesados en los sedimentos que se depositan en las orillas de las lagunas. Al estar enriquecidas por complejos organometálicos y organominerales derivados de procesos agropecuarios de las zonas aledañas provocan un incremento de la eutrofización y bioacumulación de contaminantes como: Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Manganeseo (Mn), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Sodio (Na) y Potasio (K), en el sistema hídrico endorreico. En la actualidad diversas actividades antropogénicas han desencadenado diversos escenarios de contaminación que han deteriorado los ecosistemas, en lo

que concierne a medios lacustres los cuales son sistemas con mayor vulnerabilidad ya que soportan una alta intensidad de uso del medio, afectando directamente en su proceso de depuración natural. La presente investigación tiene el aval del proyecto: “Los sistemas lacustres del centro del Ecuador como fuente o sumideros de dióxido de carbono como determinante para su conservación”, además de ser supervisado por el Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y el Cambio Climático GIDAC.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el enriquecimiento de metales pesados en sedimentos lacustres de las lagunas de Colta y Yambo de la zona 3 del Ecuador.

Objetivos específicos

- Analizar la variabilidad espacial de la concentración de metales pesados en las lagunas de Colta y Yambo.
- Evaluar la incidencia de nutrientes en la concentración de metales pesados en las lagunas de Colta y Yambo.
- Valorar el factor de enriquecimiento de metales pesados en las lagunas de Colta y Yambo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Al pasar el tiempo múltiples actividades naturales y antropogénicas han ido modificando las características auténticas de las lagunas, lo que ha llevado a provocar un deterioro en su ciclo natural, provocando así una obstrucción de escorrentías que han constituido una amenaza en la conservación de este recurso, incidiendo en el proceso de sedimentación y la acumulación de sustancias tóxicas tales como el Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Manganeseo (Mn) y Hierro (Fe), los cuales son característicos en la contaminación del bioma acuático en zonas pobladas, considerando a los sistemas lacustres vulnerables, debido a que soportan una alta intensidad de uso del medio, afectando directamente en su proceso de depuración natural (Juárez y Vaca, 2005, p.34).

Muchos estudios han considerado el alto riesgo que toma abordar la cuestión de los metales pesados, dando a conocer de manera satisfactoria e unánime entre las distinguidas comunidades científicas con respecto al carácter tóxico de algunos de ellos que afectan de manera progresiva a los seres vivos. Estos metales al ser de carácter tóxico afectan a las cadenas alimentarias, provocando un efecto de bioconcentración entre los organismos que se encuentran en la cadena trófica. Esto se debe a que la alta persistencia de los metales pesados en el entorno llega a incorporarse a través de los organismos filtrantes presentes en los sedimentos marinos, habiéndose observado un factor de bioacumulación (García et al., 2004, p. 45).

El estudio de la acumulación o enriquecimiento de metales pesados se basa en técnicas de normalización geoquímica, en donde nos permiten dos factores importantes; los índices de geoacumulación los cuales miden el grado de contaminación de sustancias orgánicas e inorgánicas del suelo y los factores de enriquecimiento, mismos que informan la dinámica de un contaminante inorgánico o elemento químico de la corteza terrestre que puede ser transportado por factores naturales o antropogénicos. El análisis cuantitativo ya sea mediante índices de enriquecimiento, o índices de geoacumulación permiten evaluar las características del ambiente y en algunos casos revelar situaciones anómalas (Sepúlveda et al., 2009, p. 21).

Hasta la actualidad los estudios que se han realizado en sedimentos de los sistemas lacustres de Colta y de Yambo están enfocados en la Biolixiviación de metales pesados. (Cáceres del Salto et al., 2019) realizó la “EVALUACIÓN DE CONSORCIOS FÚNGICOS NATIVOS PARA BIOLIXIVIAR LOS METALES PESADOS BARIO, VANADIO Y COBRE PRESENTES EN SEDIMENTOS DE LA LAGUNA DE COLTA DEL CANTÓN COLTA”; mientras que en la laguna Yambo aún no se han realizado estudios que abarquen las temáticas de metales pesados.

Es evidente que no se ha realizado un estudio de relación entre los nutrientes y el enriquecimiento de metales pesados en sedimentos de los sistemas lacustres de la laguna de Colta y Yambo, por lo que la presente investigación puede ser el pilar que incentive la implementación de ideas innovadoras que solucionen la contaminación por metales en las lagunas.

1.2. Bases teóricas generales

1.2.1. Cuenca hidrográfica

Área topográfica compuesta por varios cauces tributarios, drenada por un curso de agua, el cual se acumula en un punto determinado, dispone de una salida para que todo el caudal sea descargado y sus límites se determinan a simple vista porque están conformados por la línea más elevada de la tierra; por lo general se distinguen tres sectores: superior, medio e inferior, mismos que en función a sus características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos, este espacio está compuesto por funciones ambientales, hidrológicas y socioeconómicas las cuales hacen importante la planificación de los recursos hídricos (Araque et al., 2019, p. 89).

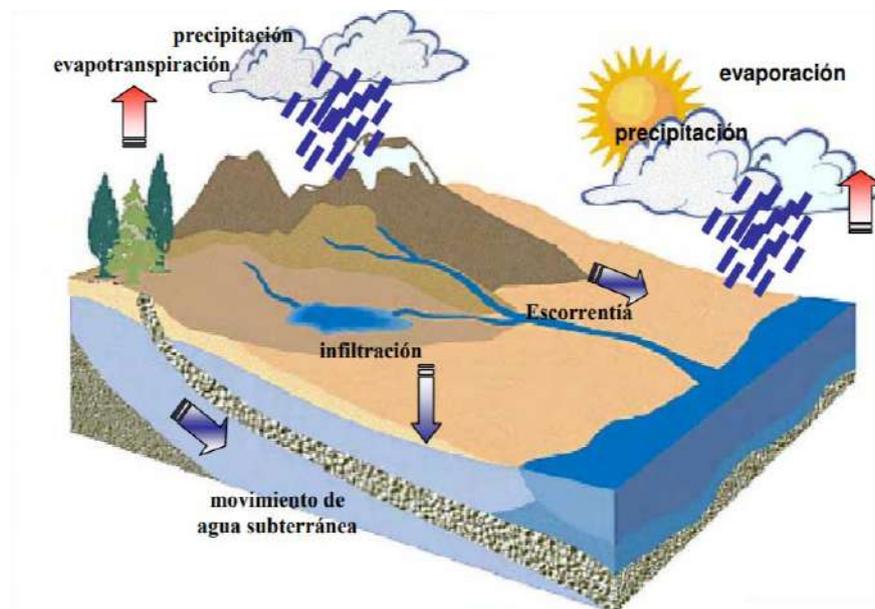


Figura 1-1. Cuenca hidrográfica.

Fuente: (Aguirre, N. 2022, p34).

Las cuencas se pueden clasificar de acuerdo a sus parámetros morfológicos:

1.2.1.1. Por su tamaño geográfico

De acuerdo a su dimensión estas pueden ser:

- Grandes con una superficie de 2324 hasta 4137 km².
- Medianas con una superficie de 706 hasta 2322 km².
- Pequeñas con una superficie de 21 hasta 703 km².

1.2.1.2. Por su sitio de desembocadura

- Cuenca endorreica: Se trata de cuencas hidrográficas cuya salida de aguas superficiales está situada dentro de otra cuenca similar, que puede ser una laguna de marea.
- Cuenca exorreica: características debido a que la salida de las aguas superficiales es un arroyo primario que desemboca en el mar.
- Cuenca arreica: Cuenco cuya agua no desemboca en los cursos de agua, sino que satura la tierra o desaparece. En Ecuador, una ilustración de este tipo de cuenco son los páramos (Araque et al., 2019, p. 5).

1.2.2. Sistemas lacustres y sus características

Los lagos y lagunas pueden formarse a cualquier altura y están dispersos por todo el mundo. Son diversos a gran altura, sobre todo si se encuentran también en regiones montañosas sujetas al impacto de las capas de hielo. Numerosos lagos son económicamente importantes como fuente de minerales o pesca, como fuente turística, como corredores de transporte o como destinos deportivos (Arellano y Castillo, 2018, p. 3).

El mineral principal en los lagos salinos es la sal normal; en los lagos corrosivos, los sulfatos; en los lagos básicos, los carbonatos; en los lagos de bórax, los boratos; aunque numerosos lagos contienen mezclas de estas sustancias (Corrochano y Armenteros, 1989, p. 11). Los atributos y características de los depósitos de ambientes lacustres como las condiciones del lago o laguna están limitados por factores que controlan la profundidad y el tamaño de la cuenca (que generalmente están dictados por el clima estructural), el acopio de limo al lago (que es un elemento de una mezcla de controles estructurales y climáticos sobre la ayuda y la perduración) y la armonía entre el suministro de agua y la pérdida por desvanecimiento (que se identifica básicamente con el entorno). En el caso de que el entorno sea húmedo, será un lago hidrológicamente abierto, con agua corriendo dentro y fuera de él. Estos lagos pueden verse como

rellenos y sus almacenes se retratan por la acumulación, tanto en los bordes donde se aportan los limos a los deltas y las orillas del mar, como en las aguas profundas de los flujos de suspensión y turbidez (Barona y Fernández, 2012, p. 18).



Figura 2-1. Sistema lacustre sector Yambo

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

1.2.3. Funciones ecosistémicas de las lagunas

La desintegración de la corteza terrestre se ve afectada por el medio ambiente, el suelo, la geografía y la conservación. La evacuación de la capa superficial del suelo a causa de la desintegración tiene consecuencias sobre sus cualidades físicas y sintéticas, creando una disminución de la penetración del agua y una disminución de su límite de acopio. Los suelos pampeanos presentan unas condiciones increíbles para la horticultura, a pesar de que se aclara igualmente el lento envilecimiento que están experimentando a causa de la acción desmedida y el desarrollo de los pueblos rurales. Si se disuelven a causa de las prácticas espontáneas, se ponen en peligro sus capacidades ecosistémicas, incluido el límite de mantenimiento de los suplementos y las administraciones ecológicas que proporcionan (Iwan et al., 2017, p. 4).

1.2.4. Los sistemas endorreicos en una subcuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica se percibe además como un espacio de tierra enmarcado por un marco hídrico, que tiene un cauce principal, sus auxiliares, terciarios, cuarta solicitud o más alimentadores. El marco hídrico refleja una conducta en función de cómo se están haciendo valer el agua, el suelo y los activos del fondo del bosque; y qué ejercicios o elementos influyen en su funcionamiento. Cualquier punto de la tierra puede identificarse con el espacio de una cuenca

hidrográfica, a veces en relación con las partes altas, las pendientes, los lugares ondulados, los llanos y las zonas bajas, que pueden encontrarse incluso en las regiones frente a la costa, cuando la cuenca hidrográfica impulsa su filtración hacia un mar u océano. Algunos lugares que tienen un lugar con pequeños arroyos o residuos y que no enmarcan un curso de agua más grande, que puede desembocar directamente en el mar o en otro arroyo más grande, se designan como zonas "entre cuencas" y pueden estar realmente conectadas con la cuenca de revestimiento, subcuenca o cuenca en miniatura. En las regiones de "llanura" es difícil ordenar el límite de la cuenca, donde los cursos de agua errantes pueden enmarcar cauces esporádicos, zonas de inundación, de vez en cuando extremadamente limosas, que dificultan la delimitación de la cuenca, la dirección de los residuos será definitiva o a través de un gráfico geográfico con líneas de forma de menor equidistancia (Balci y Sheng, 1989, pp.14-23).



Figura 3-1. Cuenca con aporte de sistemas endorreicos

Fuente: (Fibras y Normas de Colombia S.A.S. 2004, p.44).

1.2.5. Concentración de metales pesados en sistemas lacustres

En la mayoría de los casos el aumento de la concentración de los elementos metálicos es debido a la atmósfera. Tal es el caso del mercurio (Hg) y el plomo (Pb), los cuales al poseer un alto grado de volatilidad facilitan su transporte a través de masas de aire. En este sentido, en algunas investigaciones se ha demostrado que las actividades turísticas y tráfico automovilístico cumplen un rol importante en la formación de partículas, mismas que participan directa e indirectamente en la formación de aerosoles secundarios. La contaminación causada por la escorrentía superficial es considerada como una fuente difusa debido a que es intermitente y está ligada a la lluvia,

poseen elevadas concentraciones de contaminantes semejantes a aguas residuales urbanas, y requieren de una consideración extraordinaria debido a sus efectos nocivos sobre el bienestar humano, los bienes hídricos, los suelos y el clima (Zafra y Peña, 2013, p. 2).

1.2.6. Afectaciones de metales pesados en sistemas hídricos

En la actualidad, uno de los mayores problemas naturales es la contaminación de las fuentes de agua del mundo por metales pesados, ya que se debe a la intoxicación de metales sustanciales en el agua, que se consideran un problema importante para los ocupantes de las poblaciones que se abastecen de estas corrientes, sobre todo si tenemos en cuenta que la expansión de la centralización de estos metales en las fuentes de agua proviene de los diferentes cargos antropogénicos. Esto, además, amplía los impactos posiblemente perjudiciales sobre los distintos marcos biológicos y el clima, que son la ayuda de la existencia humana (Pabón et al., 2020, p. 2).

Entre los principales factores que influyen en los sistemas biológicos debido a la contaminación sustancial por metales se encuentran las actividades humanas, donde destacan como fundamentales las tareas de minería y refinado, entre otros ejercicios modernos y metropolitanos, en los que la tasa de contaminación del agua puede rondar los 200 millones de metros cúbicos cada día. Esta realidad provoca innumerables problemas tanto en la existencia de las plantas, ya que estos metales acaban manteniéndose en la suciedad que les envían los arroyos, como la disminución del desarrollo o el amarilleo de las hojas (clorosis), como en la existencia humana, donde los impactos pueden ser erupciones cutáneas, malestar estomacal y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del marco invulnerable, daño renal y hepático, ruptura celular en los pulmones, problemas cardíacos, óseos, testiculares, del sistema sensorial focal y marginal o fallecimiento (Pabón et al., 2020, p. 3).

1.2.6.1. Afectación del Arsénico (As)

El arsénico únicamente puede cambiar de forma, esto conlleva a decir a que no puede ser sintetizado por el ambiente. La mayoría de compuestos de arsénico pueden disolverse en agua y, al estar en contacto con el elemento vital termina eventualmente en el sedimento lacustre. La presencia de este componente no siempre es debido a la contaminación antropogénica; sin embargo, su evaluación es fundamental, ya que a pesar de que puede existir normalmente en el ambiente, su exceso en su concentración afecta al bienestar humano y ecológico (Ormachea y Aguirre, 2014, p. 5). Según (Coral et al., 2019, p. 9), los niveles de arsénico en la parte baja de los cursos de agua y aguas superficiales, a nivel latinoamericano, son moderadamente bajos, en general por debajo de 0,8 µg/L, a pesar de que pueden cambiar en función de elementos como son: la carga

(superficial y subsuperficial), la litología de la cuenca, las filtraciones y las regiones mineralizadas.

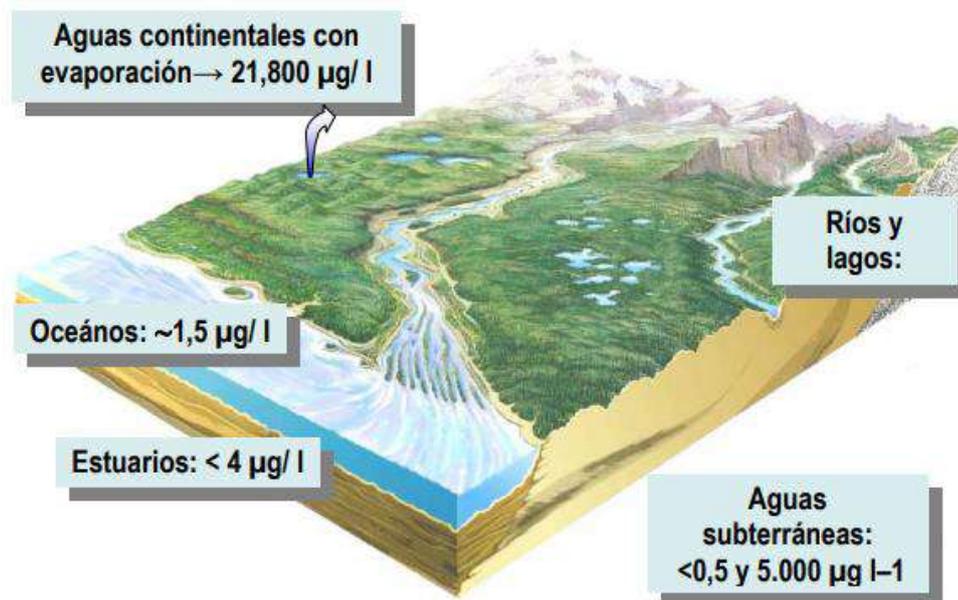


Figura 4-1. Distribución del arsénico

Fuente: (Lillo, 2005, p. 6).

1.2.6.2. Afectación del Cadmio (Cd)

La actividad volcánica es la mayor fuente natural de Cd a la atmósfera, con un aporte de 100-500 ton/año (Friberg et al., 1992, p. 1). Las fuentes antropogénicas son la utilización de compuestos de fosfato, refinería de metales, el consumo de derivados del petróleo, la producción de baterías, uso de hormigón y plásticos. El cadmio introducido en el clima se acumula generalmente en los suelos y se incorpora en las plantas, afectando su ciclo biogeoquímico (Dipak, 2017, p. 4). Este elemento llega a las lagunas mediante escorrentía donde se deposita en los sedimentos y es absorbido por los organismos vivos. Una alta concentración de metales en los sistemas hídricos podría traer como consecuencia la reducción en el crecimiento y supervivencia de la población de organismos celulares de las lagunas (Mero et al., 2019, p. 6).

Tabla 1-1: Afección del cadmio

Antropogénicas	Naturales
<ul style="list-style-type: none">• Lodos residuales y estiércol.• Fertilizantes fosfatados y nitrogenados.• Industria de plateado y galvanizado.• Minería del zinc, cobre, plomo y otros metales.• Industria de fundición de metales.• Incineración.• Industria de alimentos fosfatados para animales.	<ul style="list-style-type: none">• Actividad volcánica.• Rocas.

Fuente: (Abner, 2017, p.102).

1.2.6.3. Afectación del Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)

Estos elementos poseen la mayor fuente de cationes divalentes procedentes de las rocas calcáreas sedimentarias y los suelos, las cuales se depositan en aguas superficiales ya sean de ríos, lagos y lagunas, junto con la magnitud de la degradación unida a la reactividad de la roca, así como con el pH correspondiente del sedimento. La cantidad de concentración de cada elemento se debe a las variaciones de la geología de la región y a las interacciones entre el agua y la roca. En este sentido es determinante la actividad humana ya que acelera la velocidad natural de la exposición del agua a la corteza terrestre y el deterioro de las rocas aportando al transporte de iones disueltos como el Ca^+ y el Mg^+ (Jodral et al., 2007, p. 3).

1.2.6.4. Afectación del Plomo (Pb)

Considerado como un elemento de origen metálico-tóxico el cual se encuentra de forma natural en la corteza terrestre. Las causas de las altas concentraciones de este elemento son las actividades domésticas e intensas locales como la escorrentía urbana y agrícola. La contaminación sustancial de metales por plomo en los activos de sedimentos puede representar un verdadero peligro para el medio ambiente y el bienestar humano a través de la red alimentaria (Quispe et al., 2019, p. 8).

1.2.6.5. Afección del Hierro (Fe)

El hierro es uno de los metales fundamentales para los seres vivos, ya que está comprometido con una extraordinaria variedad de capacidades naturales y bioquímicas; y cuando se encuentra en altas fijaciones puede llegar a ser perjudicial para los tejidos de los organismos vivientes. En los sedimentos mayoritariamente se encuentran asociados a fracciones de materia orgánica, a los óxidos de hierro y manganeso. Dado que se encuentra en grandes concentraciones en la corteza terrestre, el hierro durante los periodos pluviométricos tiende a incrementarse en los sistemas lacustres (Márquez et al., 2008, p. 7).

1.2.6.6. Afección del Sodio (Na)

Las concentraciones de sales de sodio en el aire son siempre bajas en comparación con las presentes en los alimentos o el agua. Esta baja porosidad es de inicio normal, debido a la superficie de la textura del suelo, que es a medias la consecuencia de procesos de desarrollo lacustres y fluvio-lacustres, pero por otro lado es iniciada por el hombre debido a la falta de utilización de las láminas del sistema de agua, inadecuadas para el lavado de las sales, y a la luz del hecho de que presenta enormes cantidades de sólidos completos y sales solventes, entre ellas la partícula de sodio, que pasa al complejo comercial de la suciedad y no es desalojada por el agua, provocando la obliteración de su construcción por la extensión de lodos y la dispersión coloidal, permitiendo la disposición de capas solidificadas en la superficie de la suciedad y posteriormente a su insuficiente conductividad impulsada por la presión (Gandarillas y Montaña, 2013, p. 2).

1.2.7. Ciclos biogeoquímicos de los nutrientes

Fundamentalmente son movimientos cíclicos de elementos que forman los organismos biológicos, consiste en procesos naturales que dan lugar a un cambio químico, en el cual se da un intercambio de sustancias químicas entre formas bióticas y abióticas (Llosa, 2010, p. 12).

1.2.7.1. En suelo

La eficiencia y los elementos de los sistemas biológicos terrestres están restringidos por la accesibilidad de los suplementos. Para las plantas, la accesibilidad del nitrógeno (N) es el componente vitalmente restrictivo en la utilidad de los cultivos, que junto con el fósforo (P) decide el desarrollo de las plantas. Para construir la accesibilidad de estos suplementos y desarrollar aún más la eficiencia de los cultivos, los abonos sintéticos están familiarizados con la tierra, a pesar

de que su utilización es básica para la creación de alimentos, hoy en día se ha convertido en una práctica exorbitante con resultados ecológicos genuinos. La presentación del carbono natural, los cambios en las especies de plantas, los microambientes (rendimientos de la cubierta) y las conexiones explícitas entre plantas y microorganismos afectan firmemente al funcionamiento de los ambientes y, en consecuencia, a los procesos biogeoquímicos que supervisan el cambio de los suplementos (Emilia et al., 2012, p. 10).

El avance de los ensayos de administración normales y productivos que incrementan y además mantienen la riqueza a través de la utilización ideal de los suplementos requiere información sobre los sistemas responsables de los elementos de estos componentes. La accesibilidad de los componentes en los suelos debe ser considerada desde los distintos compartimentos naturales y minerales y su asociación con la biomasa microbiana. Varios tipos de vida participan en los ciclos que ocurren en el suelo, sin embargo, las redes microbianas asumen una parte significativa, ya que las capacidades, por ejemplo, hacer accesibles los suplementos para ellos y para diferentes tipos de vida, por ejemplo, las plantas dependen de ellos, un único que es fundamental para el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos. Algunos elementos influyen en la acción microbiana del suelo: variables normales: cambios climáticos, condiciones topográficas, profundidad, propiedades físicas, compuestas y naturales, y elementos antropogénicos: contaminación y administración agraria. Uno de los principales objetivos de la naturaleza microbiana es ver cómo los factores abióticos influyen en la plenitud y el transporte de los microorganismos y los ciclos que realizan. La variedad práctica microbiana podría ser más significativa que la variedad ordenada. La biomasa y la acción microbiana son significativas para el funcionamiento de los sistemas biológicos, mostrando la naturaleza del activo, al igual que son sensibles a los cambios ecológicos y a los ensayos de los ejecutivos (Emilia et al., 2012).

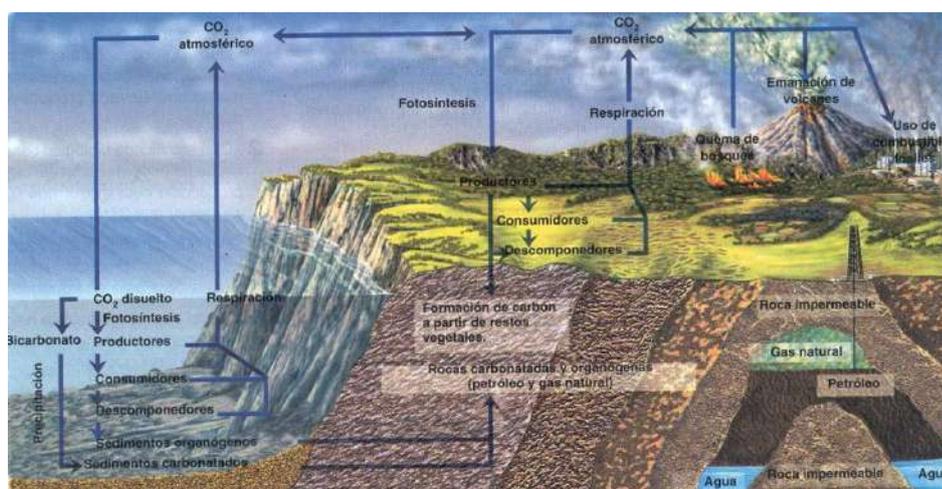


Figura 5-1. Ciclo biogeoquímico en el suelo

Fuente: (Biología y Geología, 1998, p.13).

1.2.7.2. En agua

El ciclo hidrológico incluye un curso de transporte recirculatorio esencialmente a dos causas: la principal, el sol, que da la energía para elevar el agua (desvanecimiento); la segunda, la gravedad del mundo, que hace resbalar el agua densa (precipitación y desbordamiento) (Ordoñez, 2011, p. 10).

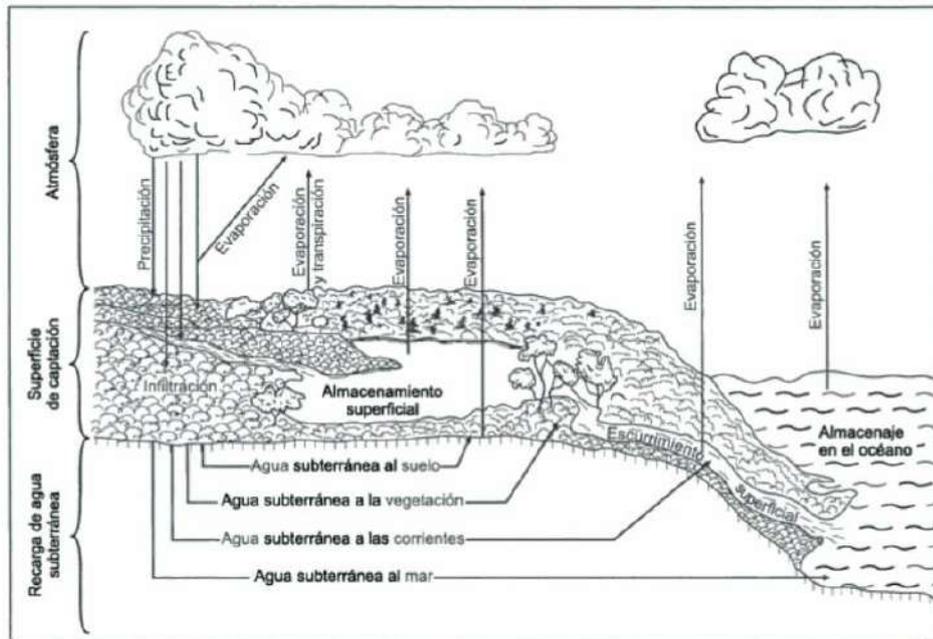


Figura 6-1. Representación gráfica del ciclo hidrológico

Fuente: (Maderey, 2022, p.54).

1.2.7.3. En sedimentos

Los sedimentos de las lagunas asumen un papel fundamental en los elementos de estos marcos, tanto desde el punto de vista hidrológico como orgánico. Su ventaja a nivel natural radica en que, desde una perspectiva, el limo es un importante registro de datos, que refleja los ciclos que se producen en la cuenca en general. Por otra parte, el limo no es ciertamente un simple compartimento latente, sino que es el lugar de diversos procesos biogeoquímicos que deciden el ciclo mundial de los componentes, al tamaño del depósito, pero de toda la cuenca. En cuanto al tablero, podemos destacar dos cuestiones principales relacionadas con el compartimento de limo: En primer lugar, la sedimentación y la acumulación de material particulado en la parte inferior de la laguna de marea. El acopio de sólidos provoca ángulos negativos como la disminución del límite de acopio de agua, o la disminución de la medida de residuos añadidos al segmento fluvial aguas abajo de la presa y cambios en la naturaleza y el inicio del limo. Al mismo tiempo, la acumulación de residuos en los suministros tiene igualmente puntos de vista positivos, por

ejemplo, el mantenimiento de los suplementos y los metales contaminantes, lo que disminuye la contaminación en el segmento fluvial (López, 2009, p. 1).



Figura 7-1. Muestras de sedimento secándose en el orden de muestreo

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

1.2.8. El ciclo del Carbono en sedimentos lacustres

El carbono orgánico que se envía por debajo de la termoclina y se agrega en los sedimentos proviene fundamentalmente de dos fuentes, la utilidad esencial autóctona y el carbono natural que procede de filtración de lagos o lagunas. Tanto los ciclos biológicos, físicos y químicos interactúan entre sí para determinar la cantidad de carbono que son secuestrados por los sedimentos. Una parte del carbono natural fijado por el fitoplancton en la sección de agua a partir del dióxido de carbono tiende a oxidarse en la zona eufrótica y se devuelve al aire a causa de la respiración; por otra parte, el carbono orgánico que entra en la red trófica se intercambiará en última instancia por debajo de la termoclina y se enviará a los sedimentos en forma de seres vivos muertos, gránulos de residuos o totales perceptibles ($>500 \mu\text{m}$) formados por residuos naturales e inorgánicos conocidos como "nieve lacustre o marina" (Alcocer et al., 2016, p. 2).



Figura 8-1. Estructuración del ciclo del carbono

Fuente: (Martínez, 2021, p.27).

La medida del carbono natural particulado que llega al residuo está limitada por los ciclos de acumulación, disgregación de las mezclas naturales, la interacción microbiana, la implementación por el zooplancton y la creación de residuos. El carbono orgánico en los sedimentos puede verse como un balance entre la producción primaria esencial y la respiración tanto en las masas de agua epicontinentales como en los mares. Alrededor de la mitad de la creación esencial fitoplanctónica se intercambia a las capas de base del segmento de agua por medio de la sedimentación (Alcocer et al., 2016, p. 3).

1.2.9. El ciclo del Nitrógeno en sedimentos lacustres

La creación de fitoplancton de los lagos y depósitos se identifica directamente con la agrupación de nitrógeno y fósforo descompuesto, hasta el punto de que una expansión en la centralización de estos suplementos provoca regularmente un incremento en la biomasa de algas, en una interacción conocida como eutrofización. En particular, algunos exámenes han distinguido al fósforo como el suplemento básico que restringe la creación de lagos. Además, la presencia de focos bajos de nitrógeno relacionados con una alta fijación de fósforo puede impulsar la mejora de las floraciones cianofíceas que producen problemas importantes para la utilización de las reservas hídricas (López, 2009a, p. 1).

El nitrógeno entra en la biosfera por fijación química del nitrógeno subatómico (N_2) y se expulsa de la biosfera por desnitrificación, el aseguramiento cuantitativo de los distintos compartimentos naturales y minerales se identifica con la accesibilidad de los nutrientes y su impotencia a la

modificación a causa de los procesos del suelo donde estos compartimentos están involucrados (Aristizábal y Cerón, 2012, p. 3).



Figura 9-1. Estructuración del ciclo del nitrógeno

Fuente: (Bear, 1974, p.42).

Los procesos de adición son completados por un conjunto de organismos bacterianos que tienen nitrógenasas, catalizadores que rompen la triple obligación del nitrógeno subatómico y producen amonio. Para concentrarse en los microorganismos que participan en esta interacción en los hábitats autóctonos, se utiliza como biomarcador el gen *nifH*, que codifica la subunidad de hierro-proteína de la nitrógenasa. El componente primario de la preparación natural del nitrógeno es la proteólisis, la hidrólisis de las proteínas puede entregar aminoácidos y péptidos que son utilizados por la mayoría de los organismos vivos, que es la razón por la que se piensa que es esencial para mantener la calidad del suelo, la utilidad y la manejabilidad de la agroindustria (Aristizábal y Cerón, 2012, p. 4).

1.2.10. El ciclo del Azufre en sedimentos lacustres

La materia natural es un importante manantial de azufre. En los suelos superficiales de los distritos húmedos-templados, el 90-98% del S está disponible en las estructuras naturales. Al igual que en el caso del nitrógeno, no se conocen los tipos específicos de azufre en la materia natural. La mayor parte del azufre está unido al carbono, sobre todo en proteínas y aminoácidos como la cisteína, la cistina y la metionina. Estos materiales están unidos a las partes de arcilla y humus, y de esta manera están protegidos de la exponibilidad microbiana. Más adelante, los microorganismos del suelo separan estas intensidades de azufre natural que se transforman en estructuras inorgánicas

disolubles, fundamentalmente sulfato. Esta mineralización de las mezclas naturales a sulfato libre es comparable a la liberación de amonio y nitrato de la materia orgánica (Sanzano, 2019, p. 1).

El azufre natural proviene de las acumulaciones de plantas y organismos; por regla general, entre el 60 y el 90% del azufre total se encuentra en la estructura natural. En la representación del azufre natural, se utiliza la proporción C/N/S, ya que estos componentes, junto con el fósforo, son las partes principales de la materia natural. La proporción C/S oscila en torno a 100, en casos escandalosos puede llegar a los 600-700. Los sulfatos pueden ser limpiados, mientras que las mezclas naturales se oponen y cambian progresivamente a sulfatos, que es la estructura trascendente en la que es consumido por las plantas (Sanzano, 2019, p. 2).

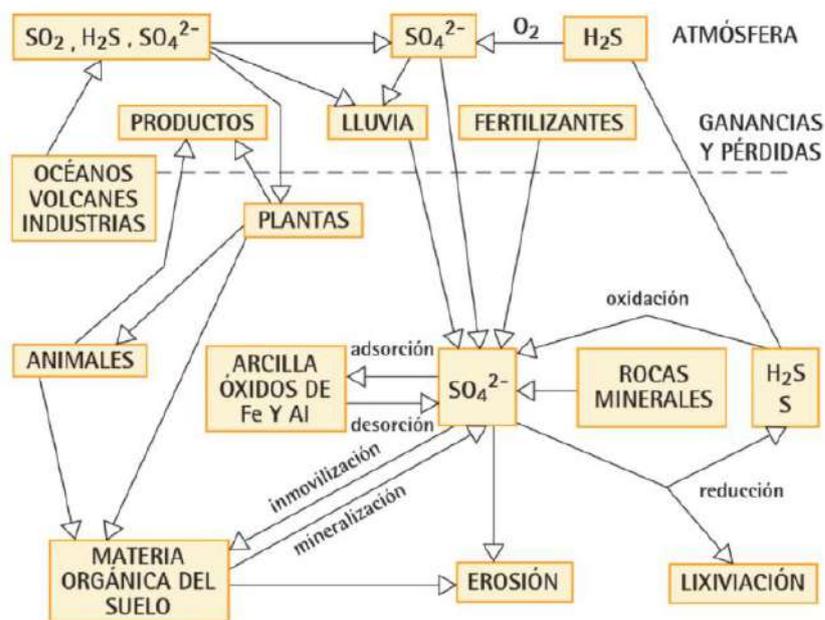


Figura 10-1. Estructuración del ciclo del azufre

Fuente: (Colacelli, 2001, p.49).

1.2.11. El ciclo del Fósforo en sedimentos lacustres

Considerado no metálico por sus características por las cuales posee una alta capacidad para formar reacciones al estar en contacto con otras sustancias químicas; se integra al ciclo biogeoquímico debido a que tiene la capacidad de intercambiarse a través del suelo, agua, organismos (litósfera, hidrósfera y biósfera respectivamente). Sin embargo, este elemento no se encuentra de forma propia, sino que se encuentra en las rocas con una relación fosforo-oxígeno los cuales forman compuestos fosfatados; factores como la lluvia y el viento producen la meteorización de las rocas fosfatadas, es decir la desgastan o disgregan lentamente por lo que los fosfatos se liberan (Ramírez, 2017, p. 28).



Figura 11-1. Estructuración del ciclo del fósforo

Fuente: (Evans, 1974, p.19).

1.2.12. La materia orgánica en sedimentos lacustres

La digestión intensa la materia orgánica de origen terrestre o acuático puede liberar gases de carbono, consecuentemente afectando al recurso aire (Vieira et al., 2015, p. 1).

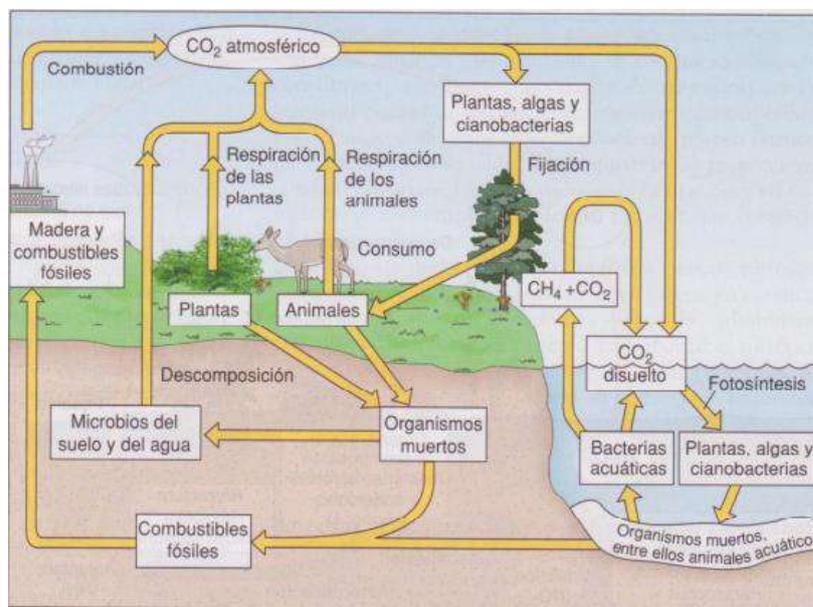


Figura 12-1. Ciclo de la materia orgánica

Fuente: (Izquierdo y Venegas, 2009, p. 8).

1.2.12.1. *Descomposición de la materia orgánica en condiciones anóxicas*

Se considera condiciones anóxicas a zonas de agua dulce o aguas subterráneas en las que el oxígeno disuelto está agotado. Esta característica se suele encontrar generalmente en áreas con un limitado intercambio de agua y con procesos de eutrofización en progreso. A través de la acción de una amplia variedad de agrupaciones metabólicas bacterianas, las condiciones anaeróbicas asumen un papel inconfundible en los ciclos clave de los elementos del marco marino; la descomposición de la materia natural o el ciclo de los suplementos son dos modelos: Las bacterias pueden mineralizar la materia natural y añadirse a la creación esencial mediante la fotosíntesis y la quimiosíntesis. La acción de productores primarios da lugar a tasas de fijación de carbono inorgánico superiores a las de numerosos sistemas eutróficos, que se dan en un ámbito reducido de profundidades donde los organismos autótrofos concentran sus poblaciones según las inclinaciones fisicoquímicas (García y Camacho, 2018, p. 1).



Figura 13-1. Eutrofización en sistemas lacustre Yambo

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

1.2.12.2. *Emisión de gas metano en sedimentos lacustres*

Los sedimentos de lagos y lagunas representan un sitio fundamental para la acumulación y preservación de carbono orgánico en nivel global, atrapando más carbono anualmente que los sedimentos del océano. Debido al proceso de acumulación y mineralización en los sedimentos lacustres, estos tienden a bioacumularse excretando gases de origen carbónico a la atmosfera, entre el más destacado está el Metano (CH_4) el cual es un gas producido por la degradación de la materia orgánica, y posee la reconocida propiedad de intensificar el calentamiento global por efecto invernadero (Vieira et al., 2015, p. 2).

La temperatura se percibe como una de las principales condiciones para el movimiento orgánico, en consecuencia, la expansión de la temperatura asume un papel significativo en la mejora de la llegada de gases de C por desintegración natural, aunque diferentes elementos, eminentemente la cantidad y naturaleza de los sustratos naturales, pueden igualmente inmiscuirse en la magnitud de estos impactos. En los sedimentos de lagos y lagunas, los ciclos de degradación anaeróbica de la materia natural pueden ser significativos debido a la escasez de oxígeno (Vieira et al., 2015, p. 4).



Figura 14-1. Emisión de bajas proporciones de gas metano laguna de Colta

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

1.2.13. Abundancia de minerales en la corteza terrestre

Un mineral es una sustancia característica que se diferencia del resto por su origen inorgánico, su homogeneidad, su síntesis preestablecida y que suele tener una estructura de gema. Entre sus principales capacidades está la de ser una parte definitiva y mayor para la conservación y el bienestar de los seres vivos, ya que su esencia es inequívoca para el movimiento de las distintas células. Las propiedades de los minerales nos permiten separar entre varios minerales. Distinguir las propiedades de un mineral puede permitirnos recordarlo, conocer su estructura y su conveniencia sin necesidad de una investigación compuesta (Blue, 2016, p. 29).

Los minerales se ordenan por la organización de sus sustancias, obteniendo las clases donde se organizan por el nombre del tipo de compuesto sintético.

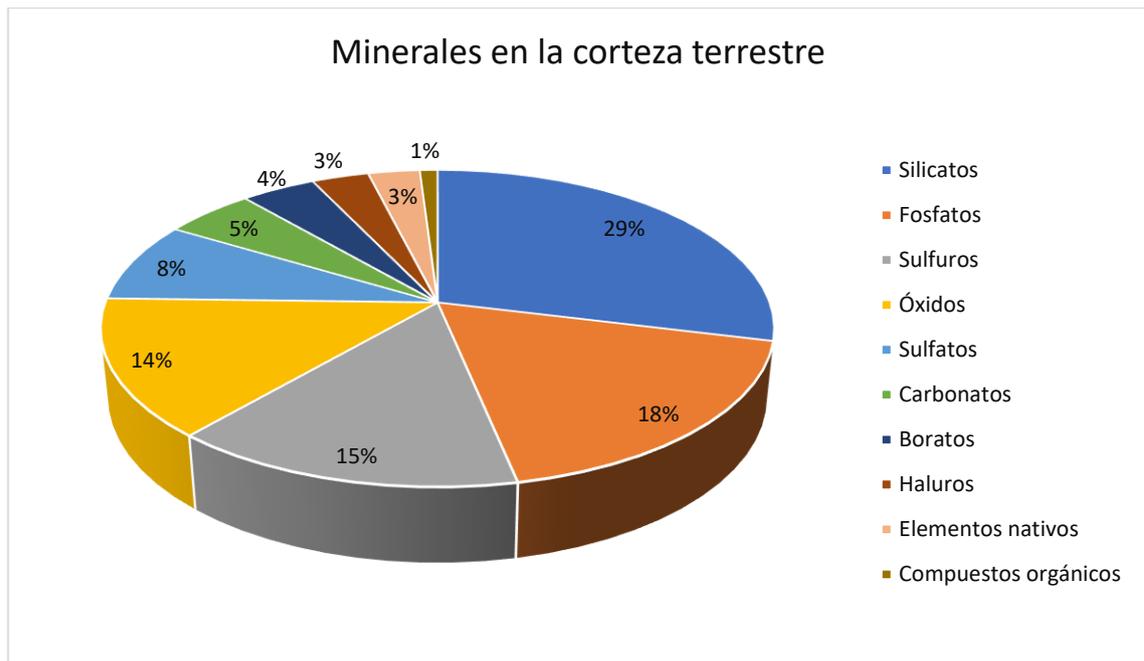


Gráfico 1-1. Estimación porcentual de minerales existentes en la corteza terrestre

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

1.2.13.1. Componentes locales

Se encuentran en la naturaleza en su estado no adulterado. Se aíslan en metálicos, que así se dividen en tres agrupaciones: (oro, plata y cobre), (platino, paladio y osmio) y (hierro y ferroníquel); semimetálicos (antimonio, arsénico, y bismuto); y no metálicos (carbón/joya y azufre) (Blue, 2016, p. 52).

1.2.13.2. Sulfuros

Contienen la mayor parte de los metales minerales. Algunos modelos son: galena, acantita, esfalerita, cinabrio, bornita, calcopirita, pirita, marcasita, arsenopirita, rejalgar, oropimente, calcocita, covellita, cobaltita, molibdenita, etc (Blue, 2016, p. 16).

1.2.13.3. Sulfosales

En este conjunto de minerales el azufre sustituye al oxígeno en los ácidos oxigenados más reconocidos y notables, como el corrosivo carbónico, el corrosivo sulfúrico o el corrosivo fosfórico (Blue, 2016, p. 66).

1.2.13.4. Óxidos e hidróxidos

En esta clase se encuentran aquellas mezclas regulares en las que el oxígeno parece unirse con al menos un metal, cuyo aspecto y cualidades son diferentes. Los óxidos, por ejemplo, son una reunión de minerales algo duros, gruesos y de cabeza dura; los hidróxidos suelen ser menos duros y de menor espesor. Algunos ejemplos de esta clase de minerales son: cuprita, espinela, magnetita, cromita, crisoberilo, casiterita, rutilo, pirolusita, diáspora, goethita, manganita, limonita, bauxita, brucita, etc (Blue, 2016, p. 35).

1.2.13.5. Haluros

Esta agrupación de minerales está compuesta por mezclas de sustancias de metales con lámpara incandescente como el flúor, el cloro, el bromo y el yodo. En su mayor parte tienen una dureza baja, una gravedad explícita baja y un brillo vidrioso. Algunos ejemplos de esta clase son: halita, silvinita, fluorita, criolita, atacamita y clorita (Ramón et al., 2007, p. 56).

1.2.13.6. Carbonatos, nitratos y boratos

Los carbonatos son aquellos minerales que están formados por la mezcla compuesta de un metal con el carbonato de reunión aniónica, por lo que son los de mayor alcance. Entre sus atributos podemos especificar que tienen una dureza media o baja, son en su mayoría blancos, pero también pueden presentar matices brillantes, algunas veces son claros o transparentes, por lo que se encuentran a mano en deliciosas cristalizaciones. Entre las más conocidas están: calcita, magnesita, siderita, rodocrosita, smithsonita, aragonito (Bouza, 2012, p. 10).

1.2.14. Incidencia de la materia en el enriquecimiento de metales pesados

La calidad y la cantidad de materia natural depositada en el limo sedimentario también se ven afectadas por elementos ecológicos y naturales, como la profundidad de la sección de agua, las ocasiones de resuspensión, la concentración de oxígeno descompuesto y la utilidad esencial de los seres vivos bentónicos. Quizás las principales partes de la materia natural en el limo y en las aguas superficiales sean las sustancias húmicas. Asumen un papel inconfundible en la reutilización y acumulación de metales de seguimiento en suelos y limos. Son un conjunto heterogéneo de sustancias polifuncionales y universales. El interés por esta división surgió tanto de la contemplación del equilibrio de masas de la materia natural como de su cooperación en los ciclos compuestos y orgánicos cruciales para el clima. La mayor parte del tiempo, actúan como

marco de soporte superior, lo que tiene auténticas ramificaciones en la fermentación de lagos y arroyos (Bargiela, 2016, p. 29).

1.2.15. Actividades antrópicas que incrementan metales pesados en sistemas lacustres

La mayoría de los procesos de pérdida del suelo se producen por la ausencia de ordenación y la negligencia humana (Montero y Palomino, 2011, p. 28). Las razones más reconocidas de estos ciclos son las siguientes:

1.2.15.1. Erosión

La erosión o desintegración es el lavado de las partículas del suelo y de las estructuras vitales por (desintegración del agua) y del aire (desintegración del viento). La mayor parte de las veces se debe a la intervención humana, debido a las estrategias de los sistemas hídricos impotentes (inundaciones, sistemas hídricos inclinados) y a la evacuación irreflexiva y poco sistemática de la cubierta vegetal (sobrepastoreo, tala y consumo imprevisible de la vegetación) (Montero y Palomino, 2011, p. 28).



Figura 15-1. Erosión del suelo

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

1.2.15.2. Expansión urbana

El desarrollo uniforme de las zonas urbanas es uno de los principales elementos de la pérdida del suelo. El desarrollo en altura es una de las opciones para disminuir los daños (Montero y Palomino, 2011, p. 28).



Figura 16-1. Expansión urbana

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

1.2.15.3. Almacenamiento y capacidad de desechos fuertes y fluidos

La contaminación del suelo y sedimentos se produce por el almacenamiento y la capacidad de sustancias compuestas y residuos. Lo anterior puede ser moderno o casero, ya sea por residuos fluidos, como las aguas residuales de los hogares, o por la contaminación climática, por el material verbalizado que luego, en ese momento, cae al suelo. En el momento en que apilamos la basura en el exterior, ésta permanece en un lugar similar durante bastante tiempo, parte de la basura natural (residuos naturales, etc.) envejece, además de provocar terribles olores y gases venenosos, y cuando se canaliza a través de la tierra, sobre todo cuando es porosa (permitiendo el paso de fluidos), envilece la tierra, pero también las aguas superficiales y subterráneas que están en contacto con ella, entrometiéndose en los ciclos biogeoquímicos y contaminando las formas de vida evolucionadas (Montero y Palomino, 2011, p. 29).



Figura 17-1. Contaminación de sistemas lacustres

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

1.2.16. Movilidad de los metales pesados en sedimentos lacustres

Una vez en la corteza o en el sedimento, los metales sustanciales pueden quedar retenidos en la tierra, aunque también pueden ser preparados en la disposición de la tierra mediante diversos instrumentos orgánicos y compuestos. Los metales sustanciales añadidos a los suelos se reasignan gradualmente y circulan entre las partes del escenario sólido. Dicha reasignación se describe mediante un mantenimiento rápido de inicio y las consiguientes respuestas lentas, que dependen de la especie metálica, las propiedades del suelo, el nivel de presentación y el tiempo. La versatilidad general de los componentes menores en los suelos es de extrema importancia en cuanto a su accesibilidad y su capacidad para filtrarse desde los perfiles del suelo hasta las aguas subterráneas y varía en función de si su punto de partida es regular o antropogénico (Keats, 2016, p. 141).

Tabla 2-1: Movilidad relativa de los metales pesados

Movilidad	Medio oxidante	Medio ácido	Medio neutro o alcalino	Medio reductor
Alta	Zn	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au.		
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd.	Cd	Cd	
Baja	Pb	Pb	Pb	
Muy baja	Fe, Mn, Al, Sn, Pt, Cr, Zr.	Al, Sn, Pt, Cr.	Al, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au.	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd, Pb.

Fuente: (Happel, 2017, p.84).

La movilización es comparativa con esta multitud de variables, pero sobre todo con las que influyen en el intercambio de etapas solidas a fluidas (Keats, 2016, p. 141). Los sistemas por los que se pueden preparar componentes menores en suelos contaminados son:

1.2.16.1. Acidificación en sedimentos lacustres

Se produce por la oxidación de los sulfuros minerales y acelera y compuestos de NH^{+4} , por la obsesión natural de nitrógeno, por la precipitación climática corrosiva (SO_x y NO_x) en los suelos, por el deterioro de la materia natural, por el consumo de bases por filtración, y por las liberaciones de contaminaciones corrosivas (Keats, 2016, p. 143).

1.2.16.2. Cambios en las condiciones redox de los sedimentos lacustres

Las condiciones oxidantes pueden provocar la oxidación y desintegración de los sulfuros insolubles. Alternativamente, las condiciones decrecientes pueden provocar la desintegración de los óxidos y la llegada de sus componentes menores coadyuvantes a la disposición. Las condiciones de disminución extremadamente impresionantes impulsarán igualmente la precipitación de los sulfuros insolubles de los componentes menores (Keats, 2016, p. 143).

1.2.16.3. Cambios en la composición iónica de la solución del suelo

Que pueden afectar notablemente a la adsorción de componentes menores y su consolidación en edificios inorgánicos disolubles e insolubles. Hay cuatro tipos de impactos: la rivalidad por los locales de adsorción (por ejemplo, Ca^{2+} y Zn^{2+} que dificultan la adsorción del Cd); desarrollo de edificios disolubles (con aniones, por ejemplo, Cl^{-2} y SO_4); disposición de mezclas insolubles como $\text{Pb}^5(\text{PO}_4)^3\text{Cl}$; impactos de la fuerza iónica, de modo que las expansiones en la fuerza iónica de la disposición de la suciedad debido a la contaminación, la aplicación de estiércol o la salinidad

pueden provocar una disminución de la adsorción y desorción de los metales de los destinos superficiales (Keats, 2016, p. 143).

1.2.17. Condiciones de acumulación de metales pesados en sedimentos lacustres

El avance de los metales pesados en los sedimentos marinos es un tema de extraordinario interés, dada su capacidad para reunir estas especies de sustancias y el riesgo que suponen para la fortaleza de las criaturas bentónicas. La relación entre las fijaciones y la probabilidad de que se produzcan impactos orgánicos desfavorables se ha organizado para dar estimaciones de referencia para dirigir la evaluación de la calidad de los sedimentos. Los metales pesados pueden adsorberse en los aluminosilicatos, los óxidos de hierro y manganeso, los carbonatos de calcio y la materia natural (María et al., 2010, p. 129).

En los suelos y los sedimentos, su límite de adsorción y su suministro dependen principalmente de las condiciones de pH y redox. Además, su dispersión en las distintas divisiones geoquímicas se adapta a las propiedades de cada metal, a la rivalidad por los lugares de adsorción de los residuos, a la capacidad de conformación de los edificios y al grado de contaminación de los limos (María et al., 2010, p. 130).

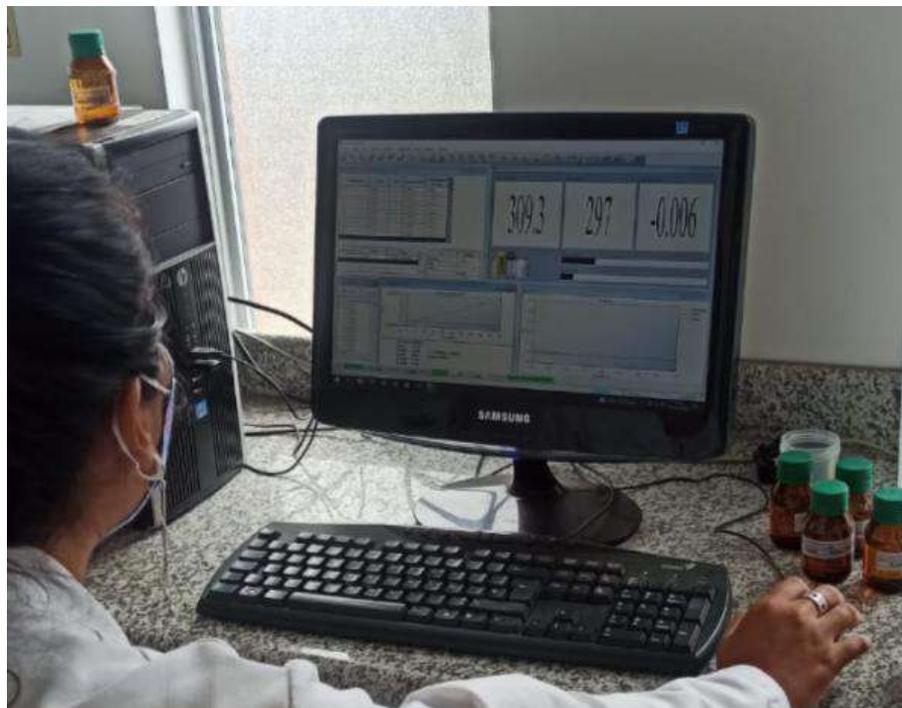


Figura 18-1. Análisis de metales pesados en los sedimentos lacustres

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

1.3. Bases conceptuales

1.3.1. Variabilidad espacial

La variabilidad de las características físico-químicas del agua y el sedimento tales como: oxígeno disuelto, temperatura y concentración de nutrientes orgánicos disueltos es de gran utilidad para evaluar la heterogeneidad ambiental (Valdés et al., 2016, p. 3). La movilidad de los elementos metálicos en los sistemas hídricos se encuentra asociados en las superficies activas de los sólidos suspendidos los cuales tienden a variar de acuerdo al flujo. La reubicación y precipitación de los cationes metálicos diligentes es igualmente un elemento de la batimetría y de la hidrodinámica, por lo que su revisión requiere una alta resolución temporal (Rúa et al., 2013, p. 110).

1.3.2. Metales pesados

Se localizan normalmente de forma natural en el bioma, en concentraciones que en su mayor parte no son perjudiciales para los diferentes tipos de vida. Los elementos metálicos no pueden ser degradados o aniquilados, pueden ser sintetizados por agentes físico-químicos y convertidos finalmente en lixiviados. Algunos estructuran complejos disolubles y se trasladan a los ambientes hasta consolidarse en la cadena trófica (suelo, agua, plantas, semillas y granos), básicamente los que provienen de regiones contaminadas (Londoño et al., 2016, p. 43).

1.3.3. Sedimentos lacustres

Los residuos de los lagos se han utilizado ampliamente para reconstruir las condiciones climáticas del pasado, para estudiar los cambios regulares, por ejemplo, los incendios forestales o las emisiones volcánicas y las permutaciones provocadas por el ser humano, como la eutrofización, la minería, las expulsiones masivas y la deforestación (Sáenz y Álvarez, 2005, p. 5).

Los sedimentos de los lagos se utilizan para concentrarse en los estados ecológicos pasados de una masa de agua y su cuenca de infiltración. Los sedimentos lacustres se acumulan en la parte inferior de los lagos de forma precisa a un ritmo que varía entre 0,5 y 2,0 mm a-1 y depende del entorno, la geomorfología del cauce de infiltración y la batimetría de la aglomeración de agua. Las tasas de restos en los acopios de agua artificial son, por criterio general, mucho más altas que en las masas de agua normales. Durante los procesos de sedimentación y declaración, los residuos, incluidos los minerales, las secciones de roca, los microorganismos y la materia natural, cooperan entre sí y con el segmento de agua, por lo que pueden utilizarse como registro de las condiciones

climáticas y ecológicas pasadas (por ejemplo, las cadenas y los estados tróficos, el pH, la contaminación sustancial de metales) (Sáenz y Álvarez, 2005, p. 6).

1.3.4. Sedimentos pluviales

Son cuerpos de agua que se han creado por la recogida de agua de derrame de las precipitaciones obtenidas en la temporada de tormentas que perseveran durante la temporada seca (charcas) o su mayoría (Antamba y Cabrera, 2015, p. 19).

Los sedimentos enviados por un lago o laguna de marea son un resultado característico de la desintegración del suelo, este material llega a la corriente a través de partes menores del cauce, este material puede ser igualmente el resultado de avalanchas, aludes y otros. Los flujos fluviales estructuran y modifican sus propios cauces, haciendo que se alcance un equilibrio en cuanto a la carga de sedimento desplazado y el límite de recorrido. El transporte de residuos está relacionado con la hidrodinámica de los canales abiertos, ya que la presentación de partículas en la corriente modifica la conducta impulsada por el agua. Se puede decir que los residuos que estructuran el lecho pueden abarcar muchas estructuras entre las que se encuentran las elevaciones, las ondas o las superficies de nivel; contingentes sobre todo a la interacción de los vehículos (Antamba y Cabrera, 2015, p. 19).



Figura 19-1. Representación gráfica de Colta como un sistema pluvial

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

1.3.5. Pesticidas

Diferentes especialistas que provocan la contaminación son los pesticidas, ya que la población total se ha llenado de forma espantosa en los últimos 40 a 50 años. Este incremento del segmento exige una prueba extraordinaria al hombre según los activos alimentarios, lo que infiere una utilización más seria de los suelos, para adquirir un mayor rendimiento agrícola. En la agricultura, el peligro extraordinario son los bichos, y para tratar de controlarlos, se han utilizado diferentes artículos compuestos. Éstos se denominan pesticidas y, además, se ocupan de la principal contaminación del lugar, ya que influyen en la tierra y, además de influir en la irritación, afectan a diferentes especies (Montero y Palomino, 2011, p. 30).

1.3.6. Actividad minera

El movimiento minero también contamina los suelos a través de las aguas residuales. En este sentido, ciertos componentes sintéticos como el mercurio (Hg), el cadmio (Cd), el cobre (Cu), el arsénico (As), el plomo (Pb), etc. entran en contacto con ellos. Una parte de sus impactos nocivos son los ajustes en los marcos ansiosos y renales. En los jóvenes, provoca una disminución del coeficiente intelectual; en los adultos, ajusta su persona, haciéndola más enérgica. Un modelo inconfundible es la situación del arsénico que se inicia en la actividad minera; este mineral produce resultados nocivos en la piel, los pulmones, el corazón y el sistema sensorial (Montero y Palomino, 2011, p. 30).



Figura 20-1. Actividad minera

Fuente: (Rakhman, 2015, p.45).

1.3.7. Nutrientes del agua

La información sobre los factores fisicoquímicos vitales en los sistemas lacustres ofrece pistas inestimables para la administración de las cuencas hidrográficas y los entornos frente a los ecosistemas acuáticos. Las variaciones en la cantidad de suplementos (nutrientes) y sus fuentes son un punto central en todo sistema biológico marino. La presencia de suplementos en un entorno decide la utilidad esencial del sistema biológico, la mayor premisa de la red alimentaria marina. Las peculiaridades más conocidas relacionadas con los nutrientes son la insuficiencia o la abundancia de los mismos, las dos con graves ramificaciones para la biota acuática. La insuficiencia de suplementos está relacionada con las aguas oligotróficas, es decir, con regiones acuáticas completas o marcos con una creación esencial insignificante. En el otro límite se encuentran las aguas o marcos distróficos o hipereutróficos, en los que la persistente y enorme edad de la biomasa, principalmente del fitoplancton, conduce a problemas difíciles en los flujos de energía (Aurora, 2019, p. 3).

1.3.8. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico es la cantidad de cationes que pueden mantenerse por unidad de masa en la suciedad (cmolc kg^{-1}). Las partículas coloidales de humus y arcilla presentes en la estructura del suelo llegan a formar micro agregados cargados de forma contraria a los totales. Las partículas cargadas enfáticamente (cationes) presentes en la solución del suelo pueden adsorberse a la capa exterior de estos micro agregados. Estos cationes están en constante desarrollo alrededor de los coloides y pueden ser intercambiados por diferentes cationes. La disposición de las partículas con la propiedad de intercambiar componentes se conoce como complejo húmico terrestre o complejo cambio (Gimeno et al., 2014, p. 49).

La capacidad de intercambio catiónico proporciona a la tierra la propiedad de guardar los suplementos, ya que los nutrientes catiónicos pueden ser retenidos por el complejo de cambio; el Na y el K pueden ser limpiados sin esfuerzo ya que son retenidos con menor fuerza. Los suplementos guardados se intercambian con los que están en el arreglo de la tierra, y a lo largo de estas líneas se vuelven accesibles a las plantas (Canto et al., 2017, p. 3).

1.3.9. Aluminio intercambiable

Uno de los principales componentes en la expansión de la acidez de los suelos es el aluminio (Al^{3+}). Los cationes de aluminio que se desprenden de los sedimentos por varios cationes se hidrolizan, por ejemplo, responden con una partícula de agua y entregan hidrógenos. Esta

respuesta, al entregar hidrógenos, ayuda a ampliar la causticidad de los suelos. El incremento de la causticidad se inclina hacia la presencia de más partículas de aluminio que son accesibles para responder una vez más. La concentración de 2 a 5 ppm de partículas de aluminio en el suelo se considera ahora perjudicial para las cosechas delicadas y, si el foco es superior a 5 ppm, es venenoso para las cosechas indulgentes (Espinoza y Molina, 1999, p. 3).

Las respuestas de hidrólisis de Al^{3+} son como la respuesta de un corrosivo sólido, por ejemplo, el corrosivo ácido que descarga partículas de H^+ . La hidrólisis de los tipos monoméricos de Al se muestra en las respuestas adjuntas (Espinoza y Molina, 1999, p. 3):

1.3.10. Factor de enriquecimiento

Se utiliza como una especie de referencia para acreditar la fuente de contaminación de ciertas sustancias según lo indicado por una escala numérica. Contiene los elementos más abundantes en la corteza terrestre como hierro, silicio y aluminio, mediante este análisis se evalúa un posible efecto natural de origen antropogénico (Carro et al., 2005, p. 3).

1.3.11. Índice de geoacumulación

Se emplea para estudiar el nivel de contaminación del suelo por sustancias naturales e inorgánicas. Es fundamental para los metales pesados, siempre y cuando sus fijaciones de las muestras concentradas de la zona de estudio no hayan tenido incidencia del hombre, en cualquier caso, se utiliza la información sobre su abundancia en la capa exterior del mundo (Quevedo y Meneces, 2016, p. 7).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Área de estudio Colta

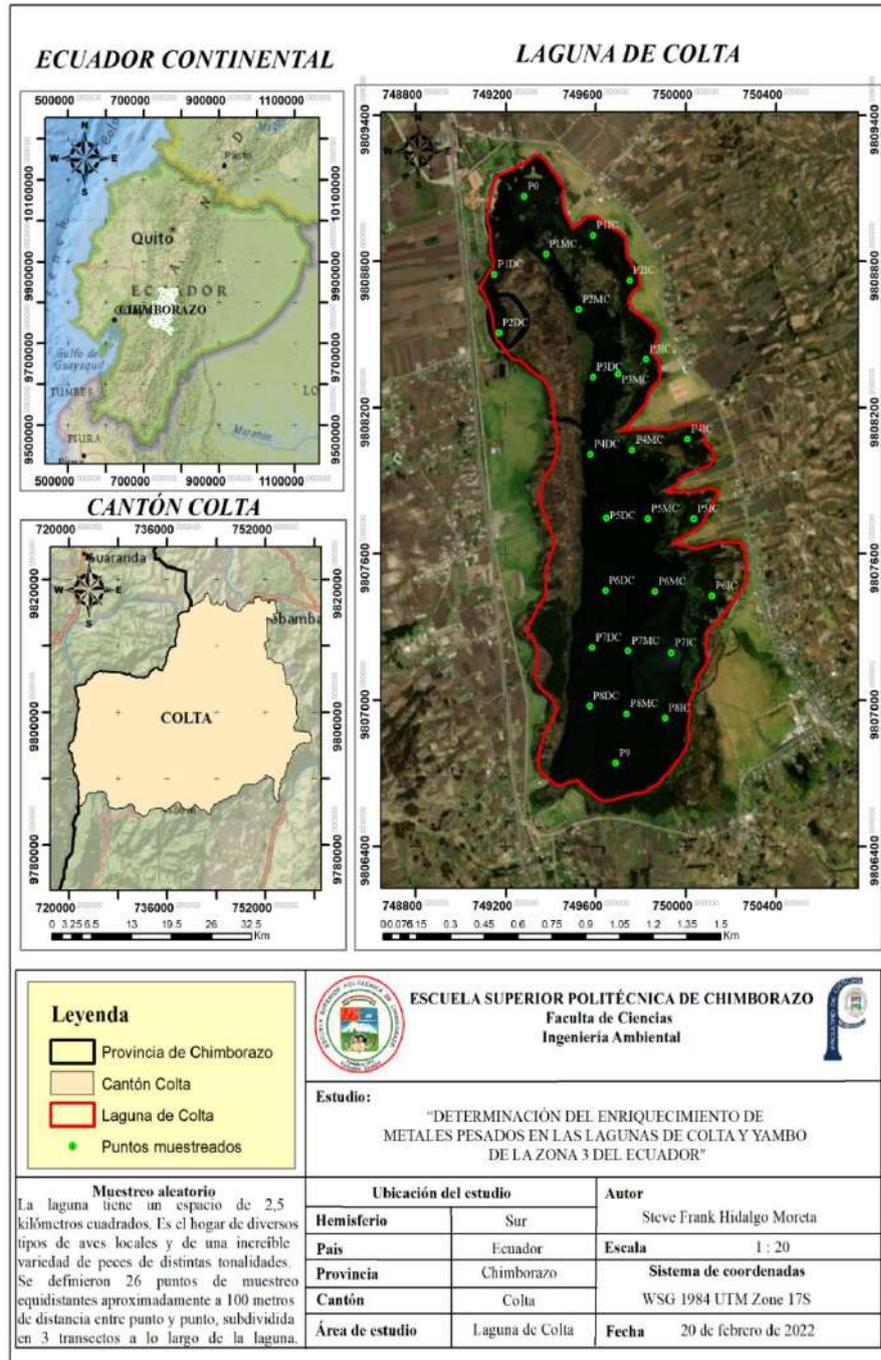


Figura 1-2. Mapa del área y puntos de muestreo de la laguna de Colta

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.1.1. Caracterización de la zona de estudio

El cantón Colta se encuentra en la línea ecuatorial por lo que se le atribuye la estación de invierno y la de verano, en la zona la estación lluviosa va desde el mes de octubre hasta mayo y la de verano va desde junio a septiembre respectivamente; además es importante destacar los característicos gradientes de altitud los cuales varían en el clima y llega a ser en algunos lugares climas templados y en zonas de paramos un clima frío-gélido, posee regiones morfológicas formadas de manera natural las cuales distinguen una gran distancia de llanuras y cordilleras; debido a formaciones naturales del sector se establece que existen varios relieves montañosos (PDYOT, 2020, p. 30).

2.1.2. Ubicación geográfica

La laguna está situada en el continente Sudamericano, en la región sierra al noroeste de la provincia de Chimborazo, cantón Colta, ubicado a 17 km de la ciudad de Riobamba. Con las siguientes coordenadas $1^{\circ}44'18''S$ $78^{\circ}45'20''O$; es importante señalar que posee una extensión de 2,75 kilómetros cuadrados y es el hogar de diversos tipos de aves locales y de una increíble variedad de peces de distintas tonalidades (PDYOT, 2020, p. 34).

2.1.3. Condiciones meteorológicas

Existen dos factores fundamentales que inciden en la variabilidad climática de esta zona: la ubicación de los trópicos y la presencia de la cordillera de los Andes. En la localidad tropical hay una combinación intertropical de masas de aire en la línea central que, al chocar con la cordillera, provocan una gran cantidad de lluvias, nubes y neblina que generan un clima húmedo y frío (Llambí y Cuesta, 2013, p. 12).

Debido a su gradiente altitudinal existen variaciones en la cantidad de precipitaciones ya que el aire frío tiende a poseer baja capacidad para retener la humedad; el sector además cuenta con zonas bajas de alrededor de 2000 m.s.n.m. en donde la cantidad de lluvia varía de forma significativa en el transcurso del año; es aspectos generales, los páramos andinos reciben minúsculas cantidades de lluvia en comparación con los bosques del Ecuador (PDYOT, 2020, p. 42).

2.1.4. *Uso de suelo*

El estrato está constituido por cuatro componentes, mismos que conforman la calidad del suelo de la zona que establecen la agricultura propia del sector. Debido al muestreo realizado in situ se pudo observar que en una profundidad aproximada de 1 metro existe porciones de suelo de color oscuro y con contenido significativo de materia orgánica; en cuanto a textura el suelo posee diferente diámetro de partículas, los cuales se componen en: arcilla, limo y arena (0,05 a menores a 0,0002 mm), este factor tiende a afectar a la capacidad para la retención del aire y agua (PDYOT, 2020, p. 57).

Según (Bustamante et al., 2011, p. 43), el espacio completo de vegetación remanente y las regiones cambiadas a usos agrícolas de los marcos ambientales vinculados al páramo cubren un espacio total de 406.187 hectáreas en el territorio de Chimborazo, es decir el 62,7%. Las regiones intervenidas, tanto para la horticultura como para la ganadería, abarcan más del 74%, en contraste con apenas el 18% de los sistemas biológicos en su estado normal (contando praderas, bosques siempre verdes, malpaíses, masas heladas, vegetación y humedales). Es igualmente significativa la presencia de regiones normales en recuperación (bosques de *Polylepis* y praderas) que llegan a 25.000 hectáreas (6%). Por último, existen igualmente regiones algo escasas (menos del 1%) de repoblación con especies extraordinarias y suelos expuestos (arenales).

2.1.5. *Tipos de ecosistemas*

Representa comunidades herbáceas y de vegetación flotante, enraizadas o en el borde de las lagunas. Las especies presentes pueden llegar a superar un metro de altura, y en su mayoría son hierbas acuáticas de las familias de Typhaceae, Arcaceae y Pontederiaceae. Los estudios disponibles sobre la fauna del páramo evidencian que en general presentan valores absolutos de riqueza de especies inferiores que los ecosistemas boscosos, pero con una alta singularidad (MAE, 2014, p. 34).

2.1.6. *La erosión como cambio climático de la laguna de Colta*

Se denomina como un fenómeno natural que es ocasionado en sectores donde la cantidad de lluvia es baja. En el recorrido y toma de muestras del sector se pudo identificar que el sistema lacustre posee profundidades bajas las cuales van de 0,5 a 1.5 metros, esto combinado con la falta de precipitaciones ha conllevado que la laguna sea altamente susceptible a desertificar; otro factor que acompaña a este problema ambiental es ocasionado por fuentes antropogénicas como la agricultura y ganadería en grandes extensiones (PDYOT, 2020, p. 142).

2.2. Área de estudio de Yambo

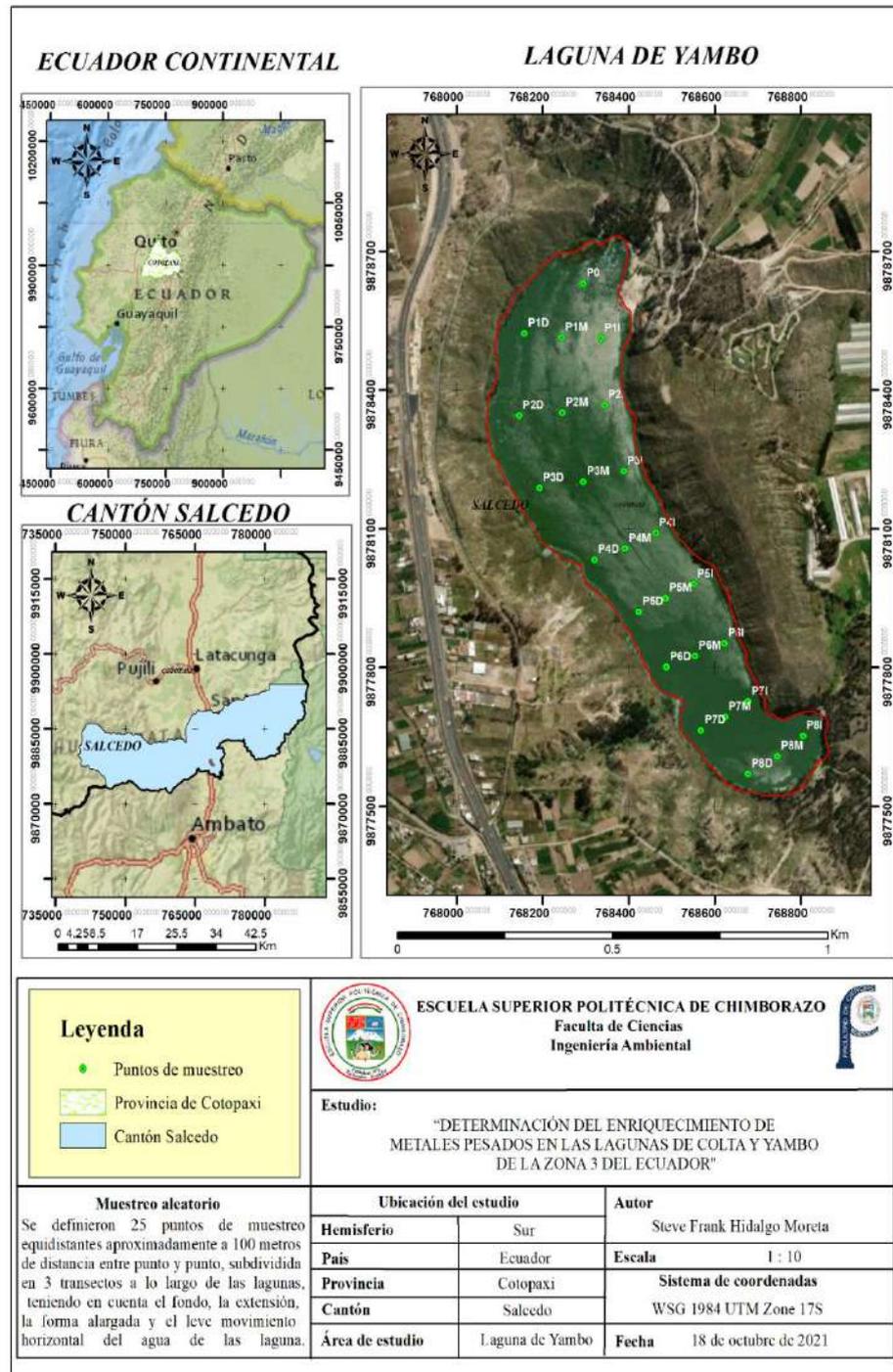


Figura 2-1. Mapa del área y puntos de muestreo de la laguna de Yambo

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.2.1. Caracterización de la zona de estudio

La laguna de Yambo está situada en la zona de Cotopaxi de la sierra ecuatoriana, en la línea entre el Cotopaxi y el Tungurahua. Esta laguna mareal cuyo inicio se pierde en el tiempo es, debido a su extraña magnificencia, uno de los puntos vacacionales más encantadores del territorio central del Ecuador. Se encuentra a poca distancia de Salcedo apareciendo por la carretera Panamericana. La naturaleza atrae a los visitantes, pero también las leyendas que giran en torno a esta desconcertante laguna mareal; constantemente crece un poco más y ha ampliado su longitud después de algún tiempo. El lugar donde se encuentra la laguna mareal de Yambo tiene una increíble fastuosidad crónica ya que fue un asentamiento nativo de los Paeces, una parte de los individuos Panzaleos durante el marco del tiempo Inca. En la vertiente de Tamboloma aún quedan restos de cerámica preincaica. Su nombre, proviene de la palabra roja "Yamboc", que significa "laguna humeante de la marea", por la increíble disipación que experimentó en tiempos pasados. (PDYOT, 2015, p. 10).

2.2.2. Ubicación geográfica

La laguna de Yambo está situada en el continente Sudamericano, en la región sierra para ser exactos en la zona 3 del Ecuador en la provincia de Cotopaxi, cantón Salcedo, parroquia Panzaleo, a 7 km de la cabecera cantonal. Con las siguientes coordenadas 1°6'0" S 78°34'60" W; es importante señalar que posee una extensión de 0.319 kilómetros cuadrados, sus aguas son verdosas y tienen una profundidad máxima de 30 metros. Además, de llegar a ser un lugar turístico es el hogar de más de 17 especies de aves migratorias (PDYOT, 2015, p. 10).

2.2.3. Condiciones meteorológicas

La disposición de las condiciones atmosféricas que describe la zona participa de un ambiente templado mesotérmico seco con los atributos que lo acompañan los cuales se caracterizan de la siguiente manera (PDYOT, 2017, p. 20):

2.2.3.1. Humedad relativa

Se sitúa en un 70%, que puede disminuir a un 5% entre los largos tramos de agosto y septiembre, cuando se producen heladas, y se expandirá en general en el tiempo frío de febrero y marzo; esto muestra que la humedad atmosférica ambiental en el pabellón está firmemente conectada a la precipitación y a la elevación (PDYOT, 2017, p. 20).

2.2.3.2. Precipitación

Según la base de Información Geográfica basado en software libre (gvSIG), las precipitaciones en la zona se refieren a la isoyeta 2 con un rango de precipitación que se sitúa entre los 500 y los 750 mm, a pesar de que la mayor parte de las precipitaciones se producen con una normalidad anual de 500 mm (PDYOT, 2017, p. 20).

2.2.3.3. Temperatura

La mayor temperatura absoluta y plurianual es de 26,1 °C, que se registra a partir de enero a abril, como meses cálidos, mientras que los largos periodos de agosto y septiembre se ven como fríos debido a las sólidas brisas que se producen, bajando impresionantemente la temperatura (PDYOT, 2017, p. 20).

2.2.4. Usos del suelo

La superficie del territorio de la parroquia tiene las siguientes características:

2.2.4.1. Perfil

Según su zona geológica, la tierra tiene dos tipos de horizontes poco profundos (de 1 a 2 m) A y B, con las cualidades que se describen a continuación. La línea de horizonte A se refiere a la capa superficial húmica poco profunda con un mínimo de materia natural durante el tiempo de descomposición, y la línea de horizonte B es la capa básica que comprende tierra con poco humus y carbonato de calcio. A mayor profundidad se encuentra la línea de horizonte C, que en su mayor parte está formada por arena y roca esférica, y la línea de horizonte D es el lecho de roca o llamada también roca madre (PDYOT, 2017, p. 21).

2.2.4.2. Profundidad

La tierra apropiada para el desarrollo en la zona se considera poco profunda (pp) con un alcance de 10 a 50 cm de profundidad (PDYOT, 2017, p. 21).

2.2.4.3. Textura

Tiene una superficie fina, comparada con la tierra arenosa (PDYOT, 2017, p. 21).

2.2.4.4. Pedregosidad

Las rocas detectables en el suelo se comparan con un nivel inferior al 10% en general (PDYOT, 2017, p. 21).

2.2.4.5. Estructura

La disposición de las capas del suelo es columnar (PDYOT, 2017, p. 21).

2.2.4.6. Aptitudes del suelo

Dependiendo de la superficie de la tierra, su razonabilidad varía en función de la perspectiva natural en regiones apropiadas para el bosque, cultivos con límites, regiones para el campo, y regiones sin uso agrícola (PDYOT, 2017, p. 22).

2.2.5. Fauna

En sus aguas habitan especies como los pececillos policromáticos. Además, más de 17 tipos de aves transitorias ocupan la laguna mareal, entre ellas el cormorán neotropical, que es un enorme pájaro con un estirado pico amarillo, el pato andino rojizo, cuyo pico azul tiene una apariencia diferente en relación con su exquisito plumaje brillante. Además, están el agutí de carga amarilla, el verdiazul de alas azules, el fogy andino, el fogy y el patillo, entre otras aves. El surtido de especies de plantas y criaturas que crean en el dominio da una breve mirada a la actual fastuosidad ecológica (PDYOT, 2017, p. 23).

2.2.6. Flora

Aunque la expansión es diminuta, su entorno está incorporado por una vegetación desbordante de ambiente seco, unida al verdor de su laguna mareal. Los factores ambientales de la laguna mareal tienen una espesa cubierta vegetal retratado por la flora desértica, pencas, chilca y vegetación herbácea abordada por especies, por ejemplo, sacha chocho y gramíneas. Por el tipo de suelo, que se considera seco, estas plantas son locales del verdor de los páramos secos andinos. En las orillas

de la laguna de marea observamos juncos de cola de gato utilizados por los ocupantes de este lugar para cuidar a sus animales domésticos (PDYOT, 2017, p. 24).

2.3. Tipo de Investigación

Este proyecto abarcó un método de investigación mixto, aportado de manera positiva con un objetivo aplicado, además de un nivel de profundización en el cual el objeto de estudio fue descriptivo, con la finalidad de que la manipulación de variables sea no experimental, para que el tipo de inferencia sea deductivo y según el periodo temporal sea transversal. Es importante mencionar que la investigación documental fue implementada como un mecanismo de técnicas de campo y guías metodológicas, mismas que son corroboradas por artículos científicos, libros y planes de ordenamiento territorial.

2.3.1. Según el enfoque de estudio

2.3.1.1. Mixto

El presente trabajo de investigación se denomina mixto debido a que su tipo de muestreo es in situ y en laboratorio por lo cual abarca variables enfocadas en parámetros cualitativos tales como la profundidad y la eutrofización de algas (cobertura vegetal) en los sistemas lacustres además, es menester mencionar que también posee parámetros cuantitativos como los parámetros físico-químicos, capacidad de intercambio catiónico y concentración de metales pesados, concluyendo así que estos parámetros aportan a que la investigación sea verídica, fiable y comprobable.

2.3.2. Según el área de estudio

2.3.2.1. Descriptiva

Los distintos análisis, así como las metodologías que se realizaron para determinar las concentraciones de los metales pesados en las lagunas tanto de Colta como de Yambo conlleva a un estudio con enfoque descriptivo.

2.3.3. Según el método usado

2.3.3.1. Explicativo

La investigación se denomina de carácter explicativo ya que el nivel de profundización aplicado en el objeto de estudio se basa en los análisis los cuales evaluaron la capacidad de intercambio catiónico en los distintos sistemas lacustres de estudio, además de hallar la concentración de metales pesados con el fin de determinar el factor de enriquecimiento y el índice de geoacumulación de los sistemas acuáticos, para finalmente explicar si la concentración de metales es de carácter natural o antrópico.

2.4. Hipótesis de la investigación

2.4.1. Hipótesis nula

No Existe relación entre los metales pesados (Cd, Pb, Mn, Ca, Mg, Fe y Na), con la concentración existente de Fe en la corteza terrestre, para determinar si la concentración es de origen natural o antrópico.

2.4.2. Hipótesis alternativa

Existe relación entre los metales pesados (Cd, Pb, Mn, Ca, Mg, Fe y Na), con la concentración existente de Fe en la corteza terrestre, para determinar si la concentración es de origen natural o antrópico.

2.5. Variables de estudio

- **Variable dependiente:** Factor de enriquecimiento.
- **Variable independiente:** Metales pesados (Cd, Pb, Mn, Ca, Mg, Fe y Na).

2.6. Diseño de la investigación

La investigación que se realizó en el siguiente proyecto de investigación abarco dos factores fundamentales: de campo y técnico por lo que se concluye que es no experimental.

2.7. Determinación de los puntos de muestreo

2.7.1. Muestreo de sedimentos

2.7.1.1. Muestra representativa de sedimento

En la presente tesis, se realizaron cuatro salidas tanto para Colta como para Yambo con un intervalo de 7 días para cada una. Para esto se planteó un cronograma de trabajo, que inició en el mes de diciembre del 2021 culminándose en enero del 2022. Cada salida tenía una duración de 8 horas en los que la actividad principal era la recolección y preservación de muestras de sedimentos; se definieron 26 puntos de muestreo equidistantes aproximadamente a 100 metros de distancia entre punto y punto, subdividida en 3 transectos a lo largo de las lagunas, teniendo en cuenta el fondo, la extensión, la forma alargada y el leve movimiento horizontal del agua de las lagunas (Fernando et al., 2009, p. 4).

El registro de las profundidades en cada punto de muestreo se efectuó inmediatamente después de sacar la muestra del fondo de la laguna. Para lo cual se usó el siguiente procedimiento: del bote firmemente en el punto y con las medidas en la soga de aproximadamente 2 metros ya establecidas; antes de forzar la cuerda se tomó la señal y se procedió a elevar la draga con el sedimento dentro, al llegar a la superficie se midió el recorrido de dicha soga y se anotó la profundidad. Estas operaciones se repitieron en los otros puntos de muestreo (Fernando et al., 2009, p. 5).

Para el almacenamiento correcto de las muestras sedimentarias se colectaron con una espátula cuchara, colocándolas en bolsas ziploc para ser enviado posteriormente al laboratorio del Grupo de Investigación Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC), para posteriormente dejar secar en un periodo de tres semanas en recipientes de aluminio que conjuntamente con la ayuda de la estufa a una temperatura de 90 a 105 °C las muestras de sedimento se secaron totalmente, finalmente se tamizo con un tamiz de 2 mm para descartar restos de piedra y láminas de vegetación para que el resultado sea efectivo (Fernando et al., 2009, p. 5).

2.7.1.2. Equipos

El equipo que se especifica a continuación corresponde a una Draga con forma de tijeras, en concreto, draga tipo ponar (con tapas superiores para la manipulación de la capa más superficial del sedimento) (ISO 5667-3, 2019, p. 7).

A continuación, se procederá a describir la tipología de los equipos de campo utilizados y aplicables al presente procedimiento (ISO 5667-3, 2019, p. 3):

- Dragas con forma de tijeras tipo ponar.
- Embarcación a motor y remos.
- Espátula y/o Palín de polietileno.
- Soga con una longitud de 40 metros de largo.
- Bolsas ziploc o envases de vidrio.
- GPS Garmin Dakota 20.
- Toda la información creada durante las pruebas en cuanto a datos generales, enfoques de muestreo y pruebas se registrará en la hoja de inspección o ficha de muestreo.



Figura 3-2. Equipo draga con forma de tijeras tipo ponar

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.7.1.3. Procedimiento de extracción de muestras

- Se activa el sistema de bloqueo de la draga en su posición de "boca abierta" y la excavadora se introduce gradualmente en el agua.
- El sistema de bloqueo se desactiva cuando la excavadora entra en contacto con el sedimento, de modo que las bocas se cierran inmediatamente encajando los lodos dentro de la cavidad.

- Se eleva la draga hasta el recipiente de regulación de la muestra, la excavadora se abre para permitir que el sedimento caiga fuera y el ejemplar se traslada al envase para ser enviado posteriormente al laboratorio (ISO 5667-3, 2019, p. 7).

2.7.1.4. *Prevención de riesgos*

La recopilación de datos y las pruebas realizadas en un lugar contaminado deben tener en cuenta las perspectivas relacionadas con el riesgo para el bienestar y la seguridad de la mano de obra asociada a su desarrollo, así como de la población cercana, si la hay, que podría verse afectada, teniendo en cuenta los siguientes adjuntos (Saval, 2014, p. 23):

- Teniendo en cuenta que las muestras pueden tener propiedades venenosas, destructivas, peligrosas y combustibles, debe evitarse el contacto con la piel o las mucosas. La seguridad mínima implica la utilización de gafas de seguridad, guantes de plástico o de otro tipo (en función de las sustancias extrañas probables), botas de protección, protectores auditivos y ropa adecuada.
- Acciones de contingencia frente a ingestión accidental de medios contaminados (suelos, aguas, alimentos, etc.)
- La respiración interna de los gases o humos presentes o emitidos durante el muestreo, utilizando aparatos de respiración y respiradores mientras se inspecciona se actúa en pozos o regiones cerradas, y en agregados de residuos sintéticos, para lo cual se deben utilizar indicadores de gas programados y cilindros colorimétricos.
- Evitar la exposición a riesgos reales durante las actividades de muestreo y, además, la utilización de hardware y equipos como indicadores de tuberías y tubos cubiertos.
- Apertura a los peligros eléctricos, al fuego o a las explosiones, lo que requiere la utilización de un atuendo defensivo especial.

Se deberá seguir los procedimientos, protocolos y directivas que están establecidas en las normas sobre seguridad e higiene a nivel nacional (Saval, 2014, p. 23).

2.7.1.5. *Envasado e identificación de muestras*

- La etiqueta debe colocarse en un lugar visible y no debe sobrepasar el tamaño del compartimento, y debe estar debidamente adjuntada para evitar cualquier tipo de problema.
- La etiqueta que acompaña al ejemplar debe contener esencialmente los siguientes datos: número o código de identificación notable, área de examen, nombre del proyecto, fecha y temporada de la inspección, nombre de la organización y las iniciales de la persona que toma

el ejemplar (Saval, 2014, p. 21).

- La impresión de la información en la marca debe realizarse con tinta permanente.
- Tras la inspección, el ejemplar debe ser marcado e inscrito.

2.7.1.6. *Conservación y transporte de la muestra*

Una vez recogido el ejemplar, debe guardarse en un compartimento adecuado: una bolsa de papel o de plástico, o un bote de plástico, por ejemplo, y mantenerlo en su estado original tanto como sea posible, evitando cualquier tipo de contaminación y cambio (USDA, 2015, p. 187).

En el centro de investigación, el paso inicial para la conservación del ejemplo es el secado al aire, ya sea estático o dinámico, independientemente, no recién calentado. La temperatura del aire no debe sobrepasar los 35°C (con humedades relativas inferiores al 60%), ya que las temperaturas más altas pueden provocar cambios extremos en algunas cualidades físicas y de composición de del suelo. El secado, por regla general, provoca una mayor cementación, que puede influir posteriormente en el examen granulométrico. Suponiendo que además ocurra a alta temperatura, puede crear cambios en la condición de oxidación de los componentes (Fe²⁺ por ejemplo) y en el cambio de potasio, y la manera en que se introducen el N y el P, así como entregar ciertas respuestas microbiológicas. Estos cambios serán más significativos cuanto más prolongado sea el tiempo de secado (USDA, 2015, p. 187).

Para secar un ejemplar, los totales gruesos que se distinguen a simple vista deben ser cuidadosamente abanicados y aniquilados, por ejemplo, con rodillos de madera o martillo de mortero elástico. Un ejemplo debe ser mojado durante un período tan corto como sea concebible, ya que en general se considera que en un ejemplo seco las respuestas sintéticas y bioquímicas se reducen a una base, evitando que tales respuestas sean una fuente potencial de errores (USDA, 2015, p. 187).

Cuando la muestra estese seca, tiende a pasar a la etapa de planificación (homogeneización, trituración, tamizado y disminución de tamaño), o se guarda hasta que pueda entrar en la investigación estándar de sustancias extrañas y diferentes límites. Se dan propuestas comparables a los soportes a utilizar y los tiempos más extremos que pueden pasar antes del examen de toxinas específicas. Como regla general, se sugiere que los ejemplares se descompongan de inmediato, si no es así, deben conservarse en capacidad de refrigeración a 4°C (USDA, 2015, p. 188).



Figura 4-2. Conservación de muestras en fundas ziploc

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.8. Tratamiento de las muestras

2.8.1. *Secado de muestras*

La muestra total se seca al aire o en una estufa de secado a una temperatura no superior a 40°C. La tierra debe extenderse en una capa de no más de 15 mm de grosor, utilizando una plancha que no asimile la humedad de la tierra y no produzca contaminación. Para acelerar el sistema de secado, los bloques de tierra más grandes pueden reducirse en tamaño mediante un aplastamiento delicado que no presente contaminación. El secado debe continuar hasta que la pérdida de masa del ejemplo de tierra sea algo así como el 5% en 24 horas (USDA, 2015, p. 189).



Figura 5-2. Secado de muestras

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.8.2. Tamizado de las muestras

Siempre que el ejemplo de suelo se haya secado hasta formar grumos, es importante completar una interacción de trituración. Antes de comenzar este ciclo, deben retirarse los fragmentos, los trozos de vidrio, la basura, etc. La masa total de la muestra seca, y la masa de cualquier material eliminado en esta etapa, debe ser evaluada y los resultados registrados. Una vez eliminados los trozos secos y desconocidos, se debe reducir el tamaño del ejemplar pulverizándolo hasta un tamaño de molécula inferior a 2 mm. De esta manera, es prudente decidir la adecuación del tamaño de la molécula (curva de tamizado) (USDA, 2015, p. 189).



Figura 6-2. Tamizado de muestras

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.9. Medición de parámetros físicos químicos

2.9.1. Ensayo de pH

2.9.1.1. Determinación de pH mediante (medidor de pH Hanna)

El pH del sedimento de los sistemas lacustres estudiados fue medido mediante un equipo portátil marca accumet AB150, bajo las siguientes consideraciones:

2.9.1.2. Materiales

Se implementó un pH-metro conformado por electrodos de vidrio, una solución saturada de cloruro de potasio (calomel) y soluciones amortiguadoras. Esta medición se llevó a cabo en vasos de precipitación 50 mL de volumen y además se utilizó un agitador y una balanza analítica modelo OHAUS ADVENTURER™ (Salinas y García, 1979, p. 20).

2.9.1.3. Procedimiento

Empezamos midiendo en el vaso de precipitación 5 mL de la muestra sedimentaria, y lo mezclamos con 5 mL de agua destilada. Posteriormente a ello lo agitamos por un minuto y lo dejamos en suspensión por 45 minutos. Finalmente utilizamos el potenciómetro, no sin antes haberlo calibrado con las soluciones amortiguadoras y se procede a determinar el valor de pH de la muestra del sedimento (Salinas y García, 1979, p. 20).



Figura 7-2. Análisis del ensayo de pH

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.9.2. *Ensayo de conductividad eléctrica*

2.9.2.1. *Determinación de conductividad eléctrica mediante un conductímetro Hanna*

La CE del sedimento de los sistemas lacustres estudiados fueron medidos mediante un equipo portátil marca Orion star A112, bajo las siguientes consideraciones:

2.9.2.2. *Materiales y equipos*

- Puente de conductividad eléctrica.
- Vasos de precipitación de 100 mL.
- Varillas de vidrio (Salinas y García, 1979, p. 21).

2.9.2.3. *Reactivos*

- Agua destilada

2.9.2.4. *Procedimiento*

Según menciona (Salinas y García, 1979, p. 21), partimos tamizando la muestra con una malla N°10 (2 mm) y pesando 5 gramos de sedimento en el vaso de precipitación de 100 mL. Minuciosamente agregamos 25 mL de agua destilada y lo agitamos por 15 minutos. Finalmente dejar en reposo en un lapso de tiempo de 10 horas y volver a agitar antes de leer la conductividad eléctrica en el puente de conductividad; cabe mencionar que los resultados se expresaron en microsiemens/ cm a 25 °C.



Figura 8-2. Análisis del CE

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.9.3. Ensayo de color

2.9.3.1. Proceso para determinación de color mediante el método de Munsell

La comprobación de la tonalidad se realizó contrastando una prueba con muestras de sedimento y las placas de tonalidad que componen cada uno de los diagramas de tonalidad accesibles en las tablas Munsell; la comparación consistió en colocar el ejemplo en la ventana entre las placas de tonalidad. Se utilizan dos límites para representar el tono del suelo: La documentación Munsell y el sombreado. La documentación caracteriza las cualidades para los límites de sombra, valor y croma del tono de tierra y el tono Munsell relega un nombre de color a una nomenclatura específica, para normalizar la terminología dada a los tonos (Domínguez et al., 2011, p. 4).

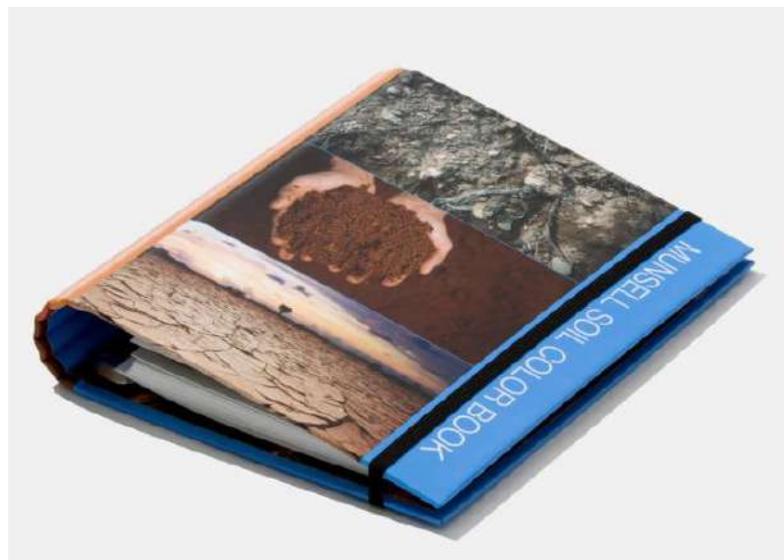


Figura 9-2. Caracterización de color de acuerdo al libro de Munsell

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.9.3.2. Interpretación

Los colores pueden componerse con una documentación abreviada en informes y exámenes que pueden excluir las pruebas de sombreado. La mezcla de los tres límites de sombreado tono, luminosidad y saturación se anotan T L/S, por lo que un suelo de color marrón rojizo puede relacionarse con el marco de sombreado Munsell como 5AR 5/3, lo que implica que el tono es 5 amarillo-rojo en la tabla, la luminosidad es 5 y la saturación 3 (Domínguez et al., 2011, p. 5).

2.10. Materia orgánica por pérdida de peso por ignición (LOI)

2.10.1. Procedimiento

Se basa netamente en la ignición de una muestra de suelo seco y molido en un horno de mufla a 400°C . Alcanzada esta temperatura se produce la desintegración de la materia orgánica del suelo en forma gaseosa, principalmente en forma de CO_2 y vapor de agua (Andrades et al., 2015, p. 59).

Se parte secando un crisol por cada muestra, previamente numerados en su base con lápiz de grafito, se colocan en un horno de mufla a 400°C durante dos horas. Completado este lapso de tiempo, cuando la puerta del horno se pueda abrir, con la implementación de guantes resistentes a la temperatura y pinzas para sujetar, se sacan los crisoles y se dejan en un desecador hasta que logren alcanzar la temperatura ambiente. Posteriormente, se pesan los crisoles vacíos en una balanza analítica modelo OHAUS ADVENTURER™ de precisión 0.0001 mg y se anotan los resultados. Luego se pesan aproximadamente 5 gramos de suelo seco al aire libre en cada crisol y se anota nuevamente los datos obtenidos. Se introducen la muestra contenida en los crisoles en el horno mufla y se programa para que en 16 horas alcance una temperatura de 400°C . Finalizado el programa, se dejan los crisoles en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente (Andrades et al., 2015, p. 60).

Finalmente se realiza una nueva pesada de los crisoles en la balanza analítica.

Según (Andrades et al., 2015, p. 60), el contenido de materia orgánica será:

$$\% \text{ MO} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} * 100$$

Donde:

m_0 = peso del crisol en gramos.

m_1 = peso del crisol y la muestra a 105°C .

m_2 = peso del crisol y la muestra tras su incineración en gramos.



Figura 10-2. Análisis de la materia orgánica por ignición

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.11. Nitrógeno por el método de Dumas

Esta técnica depende del principio de ignición en seco por el método de Dumas. El ejemplo o muestra se calcina a alta temperatura (entre 900 y 1000 °C o 1400 y 1600 °C) en un aire oxigenado no adulterado. En estas circunstancias, todos los compuestos que contienen N se desintegran totalmente y se convierten en óxidos de nitrógeno (predominantemente dióxido de nitrógeno). El auto analizador mide e informa de la estimación de NT en vista de la agrupación de óxidos de nitrógeno presentes utilizando diferentes metodologías (por ejemplo, un identificador de gas N y un diferencial de calor entre secciones de gas) (Bertsch, 2019, p. 4).

2.11.1. Preparación de muestras

Siga las instrucciones de disposición del ejemplo dadas por el productor para la utilización del auto analizador. En general, una porción de agente de la muestra de suelo que ha sido tratado recientemente (seco y tamizado a 2 mm) debe ser porfiado (a un mejor y más homogénea molienda) hasta que toda la división pase por un tamaño de tamiz inferior. Normalmente, se toma una submuestra de agente en general y se muele hasta un tamaño de rejilla adecuadamente fino. Garantizar que el hardware de trituración y cribado no llegue a conocer la contaminación de las muestras (Bertsch, 2019, p. 5).

2.11.2. Procedimiento

2.11.2.1. Calibración de los aparatos

Ajustar el equipo como se indica en el manual de instrucciones del auto analizador. Utilizar un material de referencia certificado (CRM) dado o sugerido por el fabricante (tierra, acetanilida, carbonato de calcio, EDTA, glucosa anhidra, etc.) El CRM debe cubrir el ámbito del nitrógeno total (NT) que se observa habitualmente en los ejemplos que se van a descomponer. Guarde todos los CRM como se indica en el nombre del fabricante. Deben examinarse los espacios duplicados para decidir el punto de referencia según el sistema de unidades particular (Bertsch, 2019, p. 6).

2.11.2.2. Determinación del contenido de NT

Disecar las pruebas según las propuestas del productor para la investigación del suelo, en vista de que la estrategia difiere entre los fabricantes. La masa de muestra pesada depende del NT en el ejemplo y el alcance directo del auto analizador. Para controlar la exposición del auto analizador, los CRM, las pruebas de control y los espacios deben fundirse en tramos habituales en cada grupo de examen. El número y la frecuencia de las pruebas de control dependen de la estrategia utilizada y de la solidez de la alineación del auto analizador (Bertsch, 2019, p. 6).

2.11.3. Cálculos

Informar el NT utilizando el Sistema Internacional de Unidades como: gramos of C (g) por kilogramo (kg) de suelo, g/kg. Los resultados deberían informarse en base a suelo seco en estufa. El número de decimales informados debe cumplir con las reglas convencionales de mantener 3 números (Bertsch, 2019, p. 6):

- Valores mayores a 100, no informar decimales;
- Valores entre 10 y 100, informar 1 decimal (0.1); y
- Valores menores a 10, informar 2 decimales (0.01).

2.12. Fosforo por el método de Olsen

2.12.1. Principio

Sirve para extraer fosforo de todos los tipos de suelo mediante una solución de bicarbonato de sodio con un valor de pH 8.50 (De Ceglia, 2014, p. 40).

2.12.1.1. Reactivos

- Hidróxido de sodio 1 M (NaOH).

Se disolvió 40 gr., del reactivo en un 1 L de agua.

- Solución de Superfloc o polyacryamide gel 0.5% p/v.

Se disolvió 0.5 gr., de superfloc en 1 L de agua. Se procedió a agitar la solución por 1 hora hasta disolverla completamente.

- Bicarbonato de sodio 0.5 M (NaHCO_3) pH 8.50.

Se disolvió 42 gr., de NaHCO_3 en agua, se agregó 5 mL de la solución de superfloc y se homogenizó bien. Se diluyó a un volumen de 1 L con agua y con NaOH 1 M se ajustó el pH a 8.50. Se necesita 30 mL de esta solución por cada muestra y 10 ml por cada estándar.

- Carbón activado lavado.
- Ácido sulfúrico 2.5 M (H_2SO_4).

Se añadió 140 ml de H_2SO_4 concentrada a 600 ml de agua. Se dejó enfriar y se llevó a un volumen de 1 L. Se utilizó 1 ml por cada muestra y estándar.

- Se utilizó además una solución de trabajo para el desarrollo de color.

Se tomó 35 ml de solución A y se agregó en 800 ml de agua. Se mezcló y se añadió 10 ml de solución B. Se completó el volumen a 1 L con agua. Se necesitaron 10 ml de esta solución por cada muestra y estándar.

- Soluciones patrones

Se tomó 10 ml de la solución patrón de 50 ug ml^{-1} y se diluyó a 10 ml con NaHCO_3 0.5 M (pH 8.5) (De Ceglia, 2014, p. 41).

2.12.1.2. Procedimiento

1. Se colocó en un tubo con tapa (50 ml) 2.5 gr., de suelo con 30 ml NaHCO_3 0.5 M (pH 8.5).
2. Se agitó por 30 minutos.
3. Se filtró las muestras en tubos de ensayo. Para la filtración después de 5 minutos, a veces es necesario usar carbón para quitar el color que aparece debido a la materia orgánica en el suelo.

En estos casos se colocó 0.5 gr., de carbón activado en cada papel filtro antes de la filtración, cabe mencionar que también es necesario realiza este procedimiento con los patrones de trabajo.

4. Se tomó 5 ml de la solución filtrada o del patrón con una pipeta automática y se añadió 1 ml de 2.5 M (H_2SO_4), Se agito bien para quitar las burbujas.
5. Se agregó 10 ml de la solución de trabajo para la determinación del color con una repipeta y se esperó 15 minutos.
6. Se calibró el espectrofotómetro con los patrones a una longitud de onda de 660 nm usando concentraciones o absorbancias.
7. Finalmente se leyó las muestras y se calculó la concentración de fósforo en $\mu\text{g P g}^{-1}$ sol (De Ceglia, 2014, p. 42).



Figura 11-2. Análisis del ensayo de fósforo mediante espectrofotometría

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.13. Determinación de los Cationes Cambiables en suelos o sedimentos

2.13.1. Principio

Se desplazan los cationes intercambiables con una solución de acetato de amonio amortiguadora. Se mide la concentración de cada catión por medio de absorción atómica.

2.13.2. *Introducción*

Se encuentra una descripción de Ca, Mg y K en el suelo. El contenido de sodio en el suelo puede variar desde cantidades pequeñas hasta una porción grande de la capacidad intercambiable del suelo dependiendo de las condiciones del medio ambiente. En suelos sódicos/salinos se encuentra una alta concentración de sodio en la solución del suelo. Una concentración de más de 1 meq 100 g⁻¹ indica un suelo sódico y puede causar problemas físicos en el suelo (Oliva, 2009, p. 8).

2.13.3. *Reactivos*

- Acetato de amonio (CH₃COONH₄) 1M, pH 7.
- Pese 77,08 g CH₃COONH₄ y disuelva en 500 ml de agua. Complete a un volumen de 1 L con agua.

2.13.4. *Procedimiento*

1. Pese 5 g de suelo en un Erlenmeyer de 125 ml.
2. Agregue 25 ml de acetato de amonio 1 M y agite por 30 minutos.
3. Filtre al vacío. El filtrado se recoge en balones volumétricos de 100 ml.
4. Lave el suelo con pequeñas cantidades de la solución de acetato de amonio y complete a volumen con agua doblemente delonizada.
5. Este filtrado constituye el extracto de suelo a partir del cual, se determinan los cationes cambiabiles (Ca, Mg) por absorción atómica o por emisión (K, Na) (Método 20B 1,2 y 3) (Oliva, 2009, p. 18).



Figura 12-2. Análisis del ensayo de CIC

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

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

Este método puede llegar a ser muy fuerte, por lo que disolverá casi todos los elementos que podrían volverse “ambientalmente disponibles” (Edgell, 1996, p. 1).

2.14.1.1. Materiales, equipos y reactivos empleados

Tabla 1-2: Materiales, equipos y reactivos utilizados en la extracción de metales pesados

Materiales	Equipos	Reactivos
Recipientes de digestión de capacidad de 250 mL.	Horno de secado capaz de mantener temperaturas de 30 °C +/- 40 °C.	Agua ultra pura.
Dispositivo de recuperación de vapor: vidrio reloj.	Termómetro preciso y exacto con la capacidad de medir temperaturas de 150 °C.	Ácido nítrico (concentrado) HNO ₃ .
Papel filtro.	Centrífuga.	Ácido clorhídrico (concentrado), HCl.
Tubos de centrifuga.	Balanza analítica con precisión 0,01 gr.	Peróxido de hidrógeno (30%), H ₂ O ₂ .
Embudo.	Digestor de bloque ajustable y capaz de mantener una temperatura de 90 – 95 °C (Edgell, 1996, p. 2).	
Probeta.		
Matraces volumétricos de capacidad de 100 mL.		

Fuente: (Edgell, 1996, p. 1).

2.14.1.2. Procedimiento

1. Se secó las muestras durante 24 horas a 105 °C.
2. Se mezcló bien la muestra para conseguir homogeneidad, todo el equipo para la homogenización se limpió correctamente para minimizar el potencial de contaminación cruzada (Edgell, 1996, p. 3).
3. Se tamizó las muestras utilizando un tamiz # 10 (2 mm).
4. Para el proceso de digestión se pedó con precisión 2 gr., de muestra seca directamente en los matraces Erlenmeyer y se colocó 5 mL de HNO₃.
5. Se procedió a lavar las paredes de los Erlenmeyer con la ayuda de una piseta y agua destilada, hasta incrementar el volumen y las paredes estén lavadas.
6. Se colocó los Erlenmeyer en los reverberos, conjuntamente se procedió a taparlos con los vidrios reloj durante 15 minutos y al finalizar el tiempo se agregó 5 mL de HNO₃.
7. Después del tiempo transcurrido los Erlenmeyer se calentaron nuevamente durante 30 minutos, para luego desmontarlos de los reverberos, se dejó enfriar y se colocó 5 ml gota por gota de peróxido de hidrogeno (agua oxigenada al 30%), procurando lavar totalmente las paredes.

8. Conforme se van digestand las muestras se va colocando agua destilada de acuerdo a la reducci3n del volumen.
9. Transcurrido las 3 horas de digesti3n se coloc3 2 mL de HCL en los Erlenmeyer y se dej3 en los reverberos hasta que termine el proceso de digesti3n (4 horas).
10. Terminada la digesti3n se dej3 enfriar en su totalidad a los Erlenmeyer, luego se filtr3 mediante el papel de celulosa de 0,45 μm en matraces de 100 ml. Finalmente se afora y se coloca en frascos especiales para un adecuado almacenamiento, hasta su posterior an3lisis (Edgell, 1996, p. 4).



Figura 13-2. Extracci3n de metales pesados mediante digesti3n 3cida

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.15. Concentraci3n de metales pesados por el m3todo 7000B, FLAA

Los metales en la disposici3n pueden ser controlados eficazmente por espectrofotometr3a de absorci3n at3mica de llama (directo). La t3cnica es sencilla, r3pida y pertinente para una amplia cantidad de ejemplos naturales que los incluyen, aunque no se limitan a ellos, las aguas subterr3neas, los ejemplos fluidos, los desechos modernos, los suelos, los lodos, los residuos y los desechos comparativos. A excepci3n del an3lisis de los componentes desintegrados, todos los ejemplos requieren una asimilaci3n antes de la investigaci3n. El estudio de constituyentes desintegrados no necesita ser procesado si el ejemplo ha sido tamizado y posteriormente fermentado (EPA, 2007, p. 1).

En la espectrofotometría de absorción atómica de aspiración directa, siendo aspirado y atomizado en llama. La emisión de luz de una lámpara catódica hueca o de una luz de liberación sin electrodos se coordina a través del fuego en un monocromador y en un indicador que actúa sobre la cantidad de luz consumida. La ingesta depende de la presencia de moléculas libres, no excitadas, en estado básico en el fuego. Dado que la frecuencia de la onda de luz es la marca solamente del metal fijado, la energía de la luz consumida por el fuego es una proporción de la convergencia de ese metal en la muestra. Esta pauta es la premisa de la espectrofotometría de absorción atómica (EPA, 2007, p. 3).

2.15.1.1. *Materiales, equipos y reactivos*

Tabla 2-1: Materiales, equipos y reactivos para la digestión ácida

Materiales	Equipos	Reactivos
Pipetas	Espectrofotómetro de absorción atómica	Agua ultra pura
Válvulas reductoras de presión	Quemador	Ácido nítrico, HNO ₃
Matraces aforados	Lámparas de cátodo hueco	Ácido clorhídrico HCl
Cristalería	Pantalla gráfica y registrador	Combustible y oxidante
		Soluciones madre de metales estándar

Fuente: (EPA, 2007, p.14).

2.15.1.2. *Procedimiento*

1. El tratamiento inicial de los residuos fluidos y sólidos es fundamental debido a la complejidad e inconstancia de las redes de pruebas (EPA, 2007, p. 17). Los sólidos, los desechos y el material en suspensión deben pasar por un ciclo de solubilización antes del análisis. Esta interacción puede cambiar debido a que los metales a determinar y a la naturaleza que se está examinando. Se introducen los métodos de solubilización y absorción. Las muestras que se van a analizar para componentes disueltos no necesitan ser digeridas si han sido filtradas y luego acidificadas.
2. En general, después de elegir la lámpara adecuada para el análisis, deje que la lámpara se caliente durante un mínimo de 15 minutos (EPA, 2007, p. 18).
3. Durante este período, alinee el instrumento, coloque el monocromador en la longitud de onda correcta, seleccione el ancho de rendija del monocromador adecuado y ajuste la corriente de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
4. Encender la llama y regular el flujo de combustible y oxidante. Ajustar la tasa de flujo del quemador y nebulizador para máxima absorción porcentual y estabilidad. Equilibre el fotómetro.

5. Ejecutar una serie de estándares del elemento bajo análisis. construir una curva de calibración trazando las concentraciones de los estándares frente a las absorbancias. Configure el corrector de curva de un instrumento de lectura directa para leer la concentración adecuada.
6. Aspirar las muestras y determinar las concentraciones ya sea directamente o de la curva de calibración. Los estándares deben ejecutarse cada vez que se analiza una muestra o una serie de muestras.



Figura 14-2. Análisis de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

2.16. Variabilidad espacial por el método de ponderación de distancia inversa

Se basa en una interpolación entre los puntos que se encuentran más cercanos entre sí, el método de ponderación inversa establece un peso para cada punto que se utilizará en la interpolación, la fórmula que utiliza el método es la siguiente:

$$Z * = \sum_{i=1}^n W_i Z_i$$

Donde:

$Z *$ = Valor ponderado

W_i = Factor de ponderación

Z_i = Valores reales para el cálculo

El método establece una relación inversamente proporcional entre los valores más cercanos de Z^* y Z_i , su relación se basa que, entre mayor distancia de datos, menor será el peso calculado. En el factor de ponderación el exponente afecta considerablemente debido a su relación con la variabilidad de los datos, los exponentes que se utilizan típicamente son los de grado 1 y de grado 4, el primero con la finalidad de una distribución normal de datos y el segundo para una alta variabilidad de los mismos (Frolla y Zilio, 2015, p. 8).

2.16.1. Procedimiento

1. Se determinó los puntos que van a ser utilizados en el cálculo.
2. Se ingresó al software ArcGis mediante la importación de puntos XY.
3. Se convirtió los datos en un "shapefile" con la opción "Exportdata" con la finalidad de guardar los datos en formato que pueda leer el software.
4. Estimamos las coordenadas UTM de los puntos muestreados con el objetivo de que la variabilidad de error sea la más mínima posible.
5. Agregar las concentraciones en ppm de los metales pesados en estudio en la base de datos de los puntos importados.
6. En la opción "Catalog", buscar la opción "Interpolation" y se seleccionó IDW.
7. El programa buscará la cuantificación del método mejor posible y graficará las concentraciones de cada metal de estudio.
8. Finalmente se estimó una reclasificación de las concentraciones con el objetivo de que los datos sea más precisos.

2.17. Incidencia de nutrientes en metales con estadístico ANOVA

Para realizar la correlación de variables de la incidencia de nutrientes con los metales pesados se aplicó un estadístico ANOVA a través del software StatAdvisor un programa que facilita el análisis estadístico de datos, mediante la aplicación es posible llevar a cabo una atractiva descripción de una o varias variables, por medio de cálculos se puede representar sus medidas características utilizando gráficos que expliquen su distribución. Por ejemplo, este programa conlleva muchas prestaciones como: el análisis de regresión importante ya que calcula la relación que existe entre una variable dependiente y una o varias variables explicativas, también nos ayuda con el cálculo de los intervalos de confianza, análisis multivariantes, así como diferentes procedimientos aplicados en el control de calidad (Villagarcía, 2017, p. 2).

2.17.1. Procedimiento

El procedimiento que se realiza en este programa no es muy complejo ya que todas sus herramientas se encuentran a un clic de distancia, este estadístico se ocupado de presentar de forma detallada y resumida la información más relevante del conjunto de datos. Para ello se calculan sus medidas como por ejemplo de forma general (promedio, mediana, mínimo, máximo, moda y el error estándar) para que se pueda apreciar la dispersión en torno a los datos centrales como (varianza, desviación estándar, rango, curtosis y sesgo estandarizado), asimismo, se dispondrá gracias a estos análisis descriptivos una representación de los datos en forma de gráficos, con los cuales se puede detectar de formas sencilla valores atípicos, tendencias o agrupaciones (Villagarcía, 2017, p. 11).

2.18. Determinación del factor de enriquecimiento

El factor de enriquecimiento se utiliza como una especie de perspectiva para atribuir la fuente de contaminación de ciertas sustancias, tal y como indica una escala matemática que se muestra en la tabla. Recuerda los componentes más abundantes para la corteza de la tierra son el hierro, el silicio y el aluminio. En este sentido, se evalúa un posible efecto ecológico del inicio antropogénico (Quevedo, 2013, p. 48).

Tabla 3-2: Clasificación del factor de enriquecimiento

Clases de FE	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: (Quevedo, 2013, p.32).

El factor de enriquecimiento de un metal se define como:

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

Donde:

FE es el factor de enriquecimiento y (X/Fe) muestra (X/Fe) corteza es la relación de la concentración del metal con la del hierro en la muestra y en la corteza terrestre respectivamente.

2.19. Determinación de índice de geo-acumulación

El índice de geoacumulación se utiliza para estudiar el nivel de contaminación del suelo por sustancias naturales o inorgánicas. Es apropiado para los metales pesados mientras se disponga su abundancia en la corteza terrestre, o en la concentración en un suelo en el espacio que no ha sido impactado por el hombre. Hay 6 clasificaciones relativas para el índice de geoacumulación con diferentes valores en intervalos (Vaca, 2005, p. 5).

Tabla 4-2: Grado de contaminación para la determinación del índice de geoacumulación

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: (Vaca, 2005, p.76).

Para calcular el índice de geoacumulación se utiliza la siguiente ecuación:

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

Donde:

C_n es la concentración del metal en la muestra y B_n es la concentración geoquímica del metal en la corteza terrestre.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Concentración de pH en la laguna de Colta y Yambo

Tabla 1-3: Análisis descriptivo y comparativo de la laguna de Colta y Yambo

Parámetro	Colta	Yambo
Promedio	7,187	8,965
Mediana	7,150	8,980
Desviación estándar	0,461	0,352
Coficiente de variación	0,064	0,039
Mínimo	6,420	8,160
Máximo	8,090	9,580

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

La Tabla 1-3 describe el análisis de los datos de las dos lagunas en estudio, dos parámetros fundamentales para calcular el valor del logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno (pH) son el promedio y la desviación estándar (DE); el promedio debido a que ayuda a relacionar un conjunto de datos y acoplarlo en uno solo que abarque relación con los demás; el valor de pH para la laguna de Colta es de 7,187 y 8,965 para la laguna de Yambo respectivamente; posteriormente es menester calcular la desviación estándar porque es una medida que indica que tan dispersos están los datos con respecto a la media, es por ello que para Colta es de 0,461 y 0,352 para Yambo.

En la tabla 1-3, se puede observar que los valores representados en barras, tienden a ser ácidas y básicas, con valores máximos de 8.090 en el punto 13 tanto para Colta como de 9.580 en el punto 23 para Yambo respectivamente. Según (Osorio, 2012, p. 2) esta inclinación se debe a la forma en que los suelos ácidos o corrosivos son suministrados por largas ocasiones de precipitación, la utilización innecesaria de abonos a base de amonio y la deforestación, mientras que los suelos básicos por ser zonas resacas con baja precipitación tienen un principal inconveniente ya que estos suelos contienen un alto contenido en carbonato cálcico, lo que impedirá que la planta absorba una gran parte de los nutrientes de la tierra.

3.2. Conductividad eléctrica (CE)

Tabla 2-3: Análisis descriptivo y comparativo de CE expresados en ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Parámetro	Colta	Yambo
Promedio	277,230	722,160
Mediana	276	595
Desviación estándar	10,508	416,166
Coficiente de variación	0,037	0,576
Mínimo	250	288
Máximo	301	1469

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

La conductividad eléctrica (CE) mide la capacidad del suelo para conducir el flujo eléctrico mediante el aprovechamiento de la propiedad de las sales en la conducción de este; en consecuencia, la CE estima la centralización de las sales solventes presentes en la disposición del suelo, lo expuesto en la tabla 2-3 nos da a conocer una gran diferencia en el promedio entre el valor de la laguna de Colta y Yambo, que van entre 277,230 y 722,160 respectivamente; también es importante señalar que tanto los valores mínimos de Colta y Yambo (250; 288) como los máximos (301;1469) son imprescindibles para interpretar las concentraciones mayores, menores o iguales del conjunto de datos, con la finalidad de encontrar una relación entre el valor más atípico de las zonas de estudio.

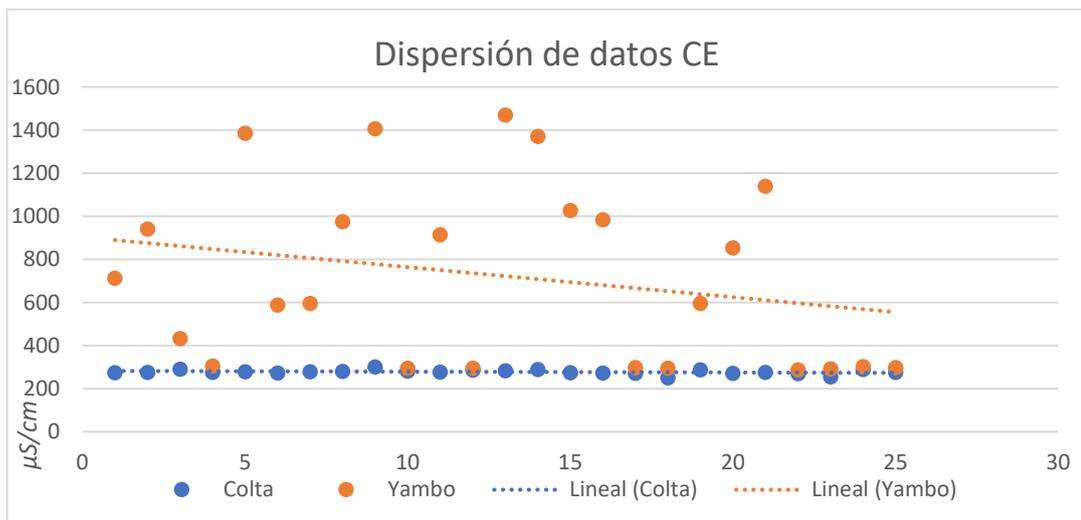


Gráfico 1-3. Análisis de dispersión de datos CE

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Según (Barbaro, 2015, p. 8) y como se muestra en el diagrama 2-3, en la laguna de Yambo la nube de puntos no identifica ningún tipo de relación, es decir que es una relación nula; de acuerdo al análisis el valor máximo es del punto 4 del transecto medio de la laguna con un valor de 1469 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que indica que en ese sector existe mayor concentración de sales lo que ocasiona que la corriente se mueva más rápidamente por el mismo estrato; a diferencia del punto 5 del transecto de la parte derecha del sistema lacustre; en la laguna de Colta la nube de puntos es alargada y ascendente, por lo que estadísticamente hablando existe una relación lineal positiva e indica que los valores de las variables varían de forma parecida. En general la representación en la Tabla 2-3, se puede ver muy bien que el valor más elevado sobre la normal es la de Yambo, comparando con un valor de 722,160 para una mayor centralización de sales, mientras que según Colta se podría decir que su valor de asimilación de sales es insignificante ya que se relaciona con un valor normal de 277,230.

3.3. Análisis de Color

Tabla 3-1: Análisis descriptivo y comparativo del color

Parámetro	Colta	Yambo
Intensidad alta	P3DC - 10 YR 4/2	P6I - 2.5YR 3/6
Intensidad media	P6MC - 2.5Y 2.5/1	P3M - 2.5Y 7/2
Intensidad baja	P5IC - 2.5YR 8/2	P2D - 5YR 6/1

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Como se puede apreciar en la tabla 3-3, existe una representación didáctica de los colores con sus respectivas intensidades alta, media y baja. Por lo que se puede describir que en Colta los puntos más representativos son: P3DC - 10 YR 4/2, P6MC - 2.5Y 2.5/1 y P5IC - 2.5YR 8/2, cada uno con su color específico, estos presentan un suelo más oscuro o presenta una coloración parda, esto es debido a que la sustancia de la materia orgánica aumenta y en general aceptará un matiz más oscuro a medida que aumenta la humificación.

La coloración rojiza del sedimento que presenta Yambo en su punto P6I con su caracterización de la tabla de Munsell 2.5YR 3/6, esta tonalidad es propia de suelos bastante viejos e intemperizados intensamente, desarrollados en condiciones fuertemente aeróbicas, de zonas tropicales-subtropicales y es producido por la hematita (Fe_2O_3) y sus precursores. Además, en los puntos P3M - 2.5Y 7/2 y P2D - 5YR 6/1, siendo estos que poseen una tonalidad más oscura, coincidiendo con (Karlanian, 2015, p. 2), dice que se debe a la materia orgánica muy descompuesta y denota alto contenido de humus o de pequeñas partículas envueltas en materiales húmicos altamente polimerizados.

3.4. Análisis de materia orgánica

Tabla 4-3: Análisis descriptivo y comparativo de MO expresados en (%)

Parámetro	Colta	Yambo
Promedio	3,287	6,803
Mediana	3,040	6,770
Desviación estándar	0,933	2,804
Coefficiente de variación	28,376	41,213
Mínimo	1,330	2,420
Máximo	5,470	11,870

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

El valor promedio del porcentaje de la MO en las lagunas de Colta y Yambo corresponden a 3,287 y 6,803 respectivamente lo que indica que existe una gran diferencia de porcentajes, la desviación estándar con valores de 0,933 para Colta como de 2,804 para Yambo fue parámetro fundamental para determinar cómo está relacionado esta diferencia de porcentajes en las zonas de estudio. Los valores tanto mínimos como máximos fueron de utilidad para realizar un diagrama de caja y bigote con el fin de analizar y ser más específicos en que puntos exactos de la laguna existe una mayor concentración porcentual.

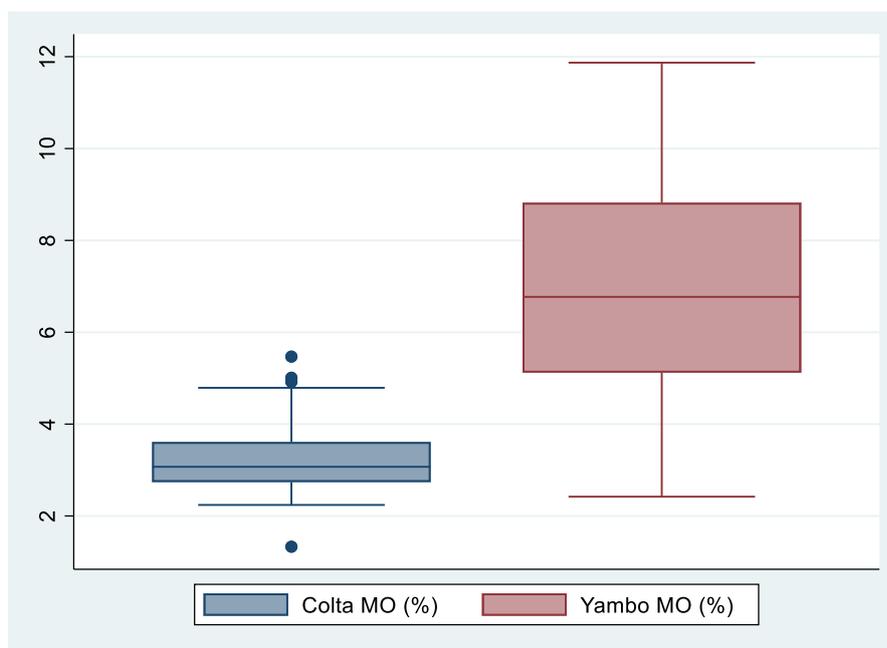


Gráfico 2-3. Diagrama de caja y bigotes de la variable MO

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

El gráfico 2-3 muestra una gran diferencia de MO entre las medias, que indica que no es posible apreciar una similitud entre las dos lagunas ya que presentan valores alejados de la media general respecto a la variable. En Colta MO (%) se puede apreciar que hay una pequeña dispersión de datos y que los límites de la caja se encuentran en el cuartil 1 (25%) y el cuartil 3 (75%), por lo que observando en la caja los valores que delimitan al 50% de puntuaciones centrales de la variable son el 2,5 y 3,5 respectivamente, el diagrama también muestra valores atípicos alejados de la media, este es el caso del punto 5 del transecto de la mitad de la laguna con un valor de 5,47 %; y un valor atípico leve que corresponde al 2,39%, es importante mencionar que en Colta en general posee niveles bajos de MO, algunos son ocasionados por residuos y desechos provenientes de organismos vivos y otros ocasionadas por las industrias aledañas al sector, dicho esto en la gráfica también se puede encontrar 3 valores extremos mismos que sobrepasan el valor de la media y que están fuera del intervalo central. A diferencia de Yambo MO (%) que como se puede apreciar en el gráfico posee una gran dispersión de datos, lo que indica que los límites se encuentran en el cuartil 2 (50%) y el cuartil 3 (75%), los estadísticos 4,5 y 8,5 son los valores que delimitan el 50% de puntuaciones centrales de la variable, además es menester mencionar que se denota un valor atípico correspondiente al punto 4 del transecto izquierdo con un valor de 11,47 y un valor atípico leve del punto 2 del transecto derecho del sistema acuático con el 2,42%. La característica diferencia de porcentaje en Yambo radica a su incidencia de factores climáticos, vegetación y uso de suelo lo que ocasiona que exista una mayor cantidad de MO en la laguna.

3.5. Análisis descriptivo de macronutrientes en la laguna de Colta

Tabla 5-3: Análisis descriptivo y comparativo de macronutrientes Colta

Macronutrientes	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
M.O. (%)	3,29 +/- 0,18	0,75	28,38%	5,47	1,33	4,14	0,93
C	2,03 +/- 0,32	-0,73	47,66%	3,58	0,92	2,66	0,97
N	0,21 +/- 0,03	-0,68	37,79%	0,34	0,12	0,22	0,08
P	15,25 +/- 2,91	3,67	97,18%	57,12	3,83	53,29	14,82
K	487,84 +/- 11,67	1,60	12,20%	652,56	362,99	289,57	59,51

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Carbono, nitrógeno, fosforo y potasio

En la tabla 5-3 se muestra los macronutrientes correspondientes al sedimento extraído de la profundidad de la laguna de Colta presentando valores que se categorizan como niveles de concentración bajos. Para el carbono, los valores a las distintas profundidades presentan un

promedio de 2,03% (+/- 0,32) de sedimento, comprendido en un rango entre 2,66; clasificándose como suelos de contenido bajo de carbono; en este caso las 26 muestras son de contenido muy bajo, es decir; no mayor a 150 mg/Kg.

El nitrógeno a distintas profundidades de manera general muestra un contenido muy bajo, ya que (Perdomo, 2009, p. 12), menciona que suelos con contenido de nitrógeno menores a 10% son considerados como muy bajos. El promedio de contenido de nitrógeno es de 0,21% (+/-0,03) de suelo con un máximo de 0,34% de suelo (P14) y mínimo 0,12% de suelo (P23). En el caso del fósforo, (Gulias, 2015, p. 5) manifiesta que valores entre 0 – 21 mg/Kg son considerados como bajos, el valor promedio es de 15,25 mg/Kg de suelo, con un máximo de 57,12 mg/Kg de suelo (P22) y mínimo de 3,83 mg/Kg de suelo (P13); según lo cual los puntos corresponden a suelos con bajo contenido de fósforo. Para el potasio según la clasificación brindada por (Camilo et al., 2008, p. 13), menciona que de 0 a 150 mg/Kg de suelo son considerados como suelos con contenido muy bajo de potasio; en esta zona el valor promedio fue de 487,84 mg/Kg (+/- 11,67) de suelo, con un máximo de 652,56 mg/Kg de suelo (P14) y mínimo de 362,99 mg/Kg (P20) de suelo. Como consta en la Tabla 5-3, la muestra (P14), posee el valor más alto de potasio, que, se encuentra en la clasificación de contenido alto, brindando así, a que el suelo aproveche su actividad enzimática, crecimiento meristemático y en la síntesis de proteínas y carbohidratos. Dicho de otra manera, los niveles de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio son bajos en las muestras de sedimento de la laguna analizada.

3.6. Análisis descriptivo de micronutrientes en la laguna de Colta

Tabla 6-3: Análisis descriptivo y comparativo de micronutrientes Colta

Micronutrientes	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
Na	148,99 +/- 5,76	2,93	19,74%	240,08	111,16	128,92	29,41
K	487,84 +/- 11,67	1,60	12,20%	652,56	362,99	289,57	59,51
Ca	1784,39 +/- 80,61	10,87	23,03%	2337,89	130,11	2207,78	411,04
Mg	874,22 +/- 29,49	-1,18	17,19%	1156,95	626,08	530,87	150,35
H	0,61 +/- 0,05	0,17	26,47%	0,92	0,43	0,49	0,16
CIC	18,11 +/- 0,59	3,71	16,58%	24,05	8,37	15,68	2,99
CICE	3560,99 +/- 146,374	-0,20	12,33%	4388,41	3083,78	1304,62	439,12

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Calcio, magnesio, potasio y sodio

La tabla 6-3 se muestra el análisis de los micronutrientes correspondientes a la laguna de Colta; para el Calcio los valores que se analizaron en las 26 muestras, calculan un promedio de 1784,39 mg/Kg (+/- 80,61), con un valor máximo de 2337,89 mg/Kg en el punto 8 el cual corresponde al noreste del sistema lacustre y un valor mínimo de 130,11 mg/kg en el punto 1 ubicado al norte de la laguna, estos datos comprendidos en un rango de 2207,78 de suelo y un valor significativo de curtosis estandarizada de 10,88 el cual es positivo por lo que se puede decir que existe un alto grado de concentración de calcio alrededor de la zona central de la distribución de las frecuencias, (Abadia, 1995, p. 23), afirma que el calcio está comprendido en distintas formas como fosfatos, ácidos orgánicos y sales inorgánicas que conforman la calidad y el ciclo geoquímico del suelo, es muy abundante en la litosfera y se encuentra como catión divalente en suelos de variada proporción, debido a que Colta constituye un pH ácido existe la cantidad suficiente para la nutrición de la planta. El magnesio en los distintos puntos analizados de manera general muestra un promedio de 874,22mg/Kg (+/- 29,49) con un valor máximo en el punto 20 ubicado en la parte noroccidental de la laguna de 1556,95 mg/Kg y un valor mínimo en el punto 2 ubicado al norte del sistema acuático de 626,08 mg/Kg, comprendiendo así un rango de 530,87. Según (Riojas, 2002, p. 93), la cantidad calculada de Mg de manera general en la laguna comprende en un contenido alto de este catión, corresponde el 2% en la corteza terrestre, Colta al poseer un suelo arcilloso está asociado al intercambio de cationes en la superficie; además (Mikkelsen, 2010, p. 2), afirma que otro factor que aporta cantidades significativas de magnesio en el suelo es los fertilizantes minerales y orgánicos que se utilizan en la agricultura y ganadería de la zona. El potasio es un catión que juega un papel importante ya que ayuda al ciclo del suelo y aumenta la tolerancia a la sequía; las 26 muestras analizadas dan un valor promedio de 487,84mg/Kg (+/- 11,67) con un valor máximo de 652,56 mg/Kg el cual fue tomado a una profundidad de 3,5 metros en la laguna, así mismo es importante mencionar el valor mínimo de 362,99 mg/Kg tomado en el punto 3 a una profundidad de 2,5 metros aproximadamente. Según la clasificación de (Riojas, 2002, p. 92), la concentración de potasio de manera general en la laguna es de manera normal, la cual aporta a una excelente calidad del suelo por parte de este micronutriente. Con respecto al sodio se obtuvo un valor promedio de 148,99mg/Kg (+/- 5,76) con un valor máximo en el punto 14 de 240,08 mg/Kg y un valor mínimo de 111,16 mg/Kg en el punto 17, con un rango de 128,99, que según la tabla de clasificación que otorga (Riojas, 2002, p. 91) la concentración del sodio en la laguna se considera normal y no existe acumulación de este nutriente en el sistema acuático por lo que su ciclo geoquímico se mantiene en normalidad.

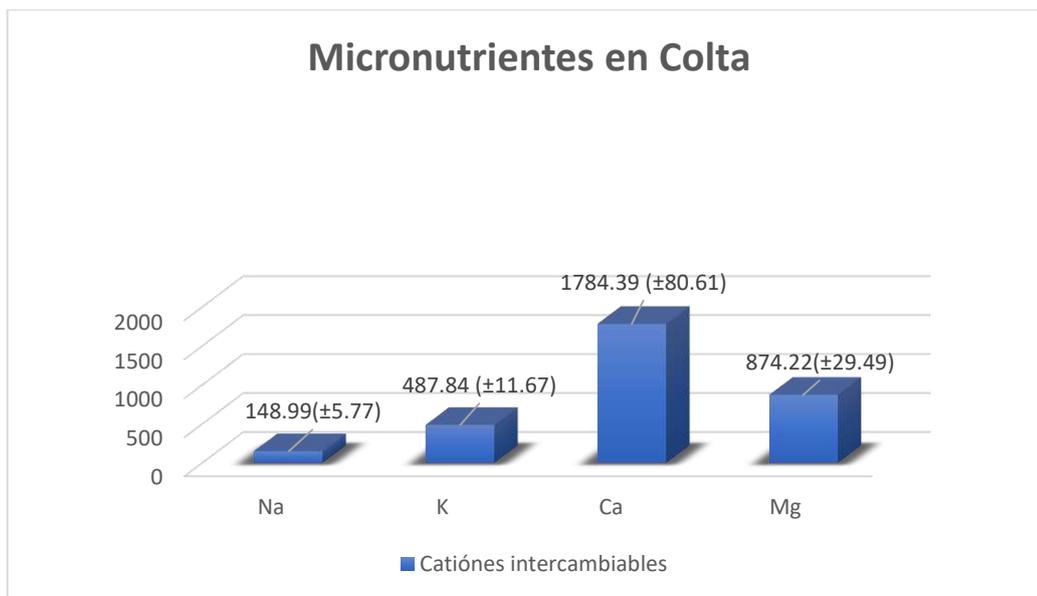


Gráfico 3-1. Diagrama de barras para Na, K, Ca y Mg

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

H⁺

En la laguna de Colta el promedio de pH obtenido mediante análisis es de 7,19 (+/- 0,01); por lo que se puede afirmar que se caracteriza a ser ligeramente ácido a ligeramente alcalino de ahí se deriva la solubilidad de cationes ácidos como el H⁺ y el Al³⁺ y se afirma que a cantidades bajas de pH los cationes tanto de hidrógeno como de aluminio se ven solublemente favorecidos; los aportes de hidrógeno no son muy significativos con un valor de 0,61% (+/- 0,05), con un máximo de 0,92% en el punto 14 y un valor mínimo de 0,43 % en el punto 23, que comprenden un rango de 0,49 respectivamente.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La tabla 6-3 expone los datos de los puntos muestreados en toda la laguna, obteniendo así un valor promedio de 18,11 meq/100gr. (+/- 0,59), con un valor mínimo en el punto 16 de 8,37 meq/100gr., y un valor máximo de 24,05 meq/100gr., en el punto 14. De acuerdo con (Riojas, 2002, p. 94), en su interpretación de la CIC sostiene que valores comprendidos entre 12-25 meq/100gr., son relativamente normales; es decir posee una capacidad normal de ceder nutrientes por medio de la captación de partículas minerales que la vegetación absorba con anterioridad.

3.7. Análisis descriptivo de metales pesados en la laguna de Colta

Tabla 7-3: Análisis descriptivo de metales pesados en la laguna de Colta

Metales Pesados	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
Cd	0,27 +/- 0,05	-1,11	57,33%	0,44	0,04	0,4	0,15
Igeo (Cd)	-1,05 +/- 0,38	0,84	-109,48%	-0,03	-3,49	3,46	1,15
F.E (Cd)	25,16 +/- 4,22	-0,7	50,32%	37,09	3,46	33,63	12,66
Fe	1692,68 +/- 113,03	2,06	20,03%	2007,89	912,02	1095,87	339,11
Igeo (Fe)	-5,41 +/- 0,12	2,90	-6,64%	-5,09	-6,28	1,19	0,37
F.E (Fe)	1,00 +/- 0	0	0%	1	1	0	0
Pb	4,90 +/- 0,43	1,95	26,53%	6,71	2	4,71	1,3
Igeo (Pb)	-2,68 +/- 0,17	3,48	-18,67%	-2,16	-3,91	1,75	0,5
F.E (Pb)	7,42 +/- 1,35	3,49	54,48%	17,35	2,59	14,76	4,04
Mn	118,32 +/- 7,45	-0,38	18,88%	148,38	79,04	69,35	22,34
Igeo (Mn)	-3,45 +/- 0,1	0,14	-8,31%	-3,1	-4,01	0,91	0,29
F.E (Mn)	4,20 +/- 0,67	2,93	47,66%	9,03	2,33	6,7	2

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

En la tabla 7-3 se muestran los metales pesados correspondientes al sedimento extraído de la profundidad de la laguna de Colta presentando valores que se categorizan como niveles de concentración bajos. Para el cadmio, los valores a las distintas profundidades presentan un promedio de 0,27 mg/Kg (+/- 0,05) de sedimento, comprendido en un rango entre 0,4; clasificándose como suelos de contenido bajo de cadmio; en este caso las 26 muestras son de contenido muy bajo, es decir; no mayor a 0,5 mg/Kg; estipulándose dentro del rango del límite máximo permitido a nivel nacional (Pilco, 2020, p. 9).

El hierro a distintas profundidades de manera general para este caso de estudio muestra un contenido muy alto, ya que (Vergel, 2022, p. 6), menciona que suelos con contenido de hierro mayores a 200 mg/Kg son considerados como muy altos. El promedio de contenido de hierro es de 1692,68mg/Kg (+/-113,03) de suelo con un máximo de 2007,89 mg/Kg de suelo y mínimo 912,02 mg/Kg de suelo, sin embargo, estas concentraciones elevadas no muestran un peligro o efectos negativos. En el caso del plomo (Ólafur, 2007, p. 5) manifiesta que valores entre 0 – 19 mg/Kg son considerados como su límite máximo permisible, el valor promedio es de 4,90 mg/Kg (+/- 0,43) de suelo, con un máximo de 6,71 mg/Kg de suelo y mínimo de 2,00 mg/Kg de suelo; según lo cual los puntos corresponden a suelos con bajo contenido de plomo, manteniéndose dentro de

los estándares de calidad ambiental. Para el manganeso según la clasificación brindada por (Linhares et al., 2019, p. 5), menciona que de 50 a 150 mg/Kg de suelo son considerados como suelos con contenido muy alto; en esta zona el valor promedio fue de 118,32 mg/Kg (+/- 7,45) de suelo, con un máximo de 148,32 mg/Kg de suelo y mínimo de 79,04 mg/Kg de suelo. Para la mayoría de los metales estudiados se observó que estaban dentro de los valores máximos establecidos en las normas consultadas, alineado con los resultados obtenidos en otros estudios de metales pesados.

3.8. Índice de geoacumulación de los metales pesados en la laguna de Colta

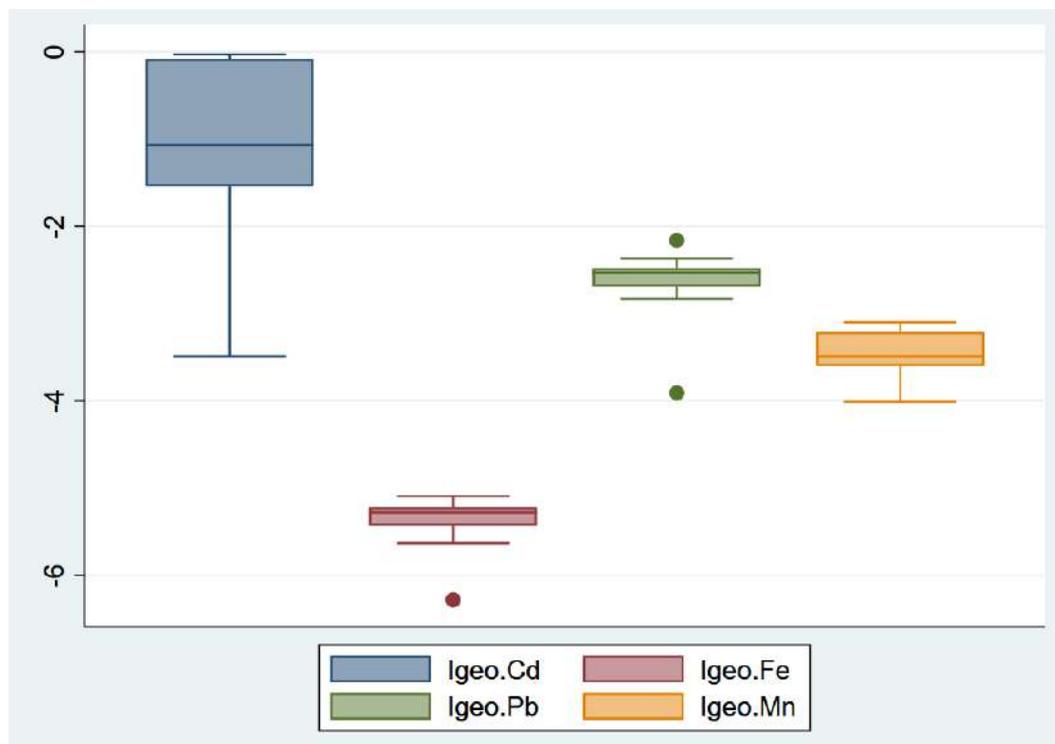


Gráfico 4-3. Diagrama de caja y bigotes de Igeo., para metales pesados

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

A través del gráfico 4-3, se puede identificar los parámetros expuestos de los metales pesados con el fin de buscar su relación e interpretación sistemática, siendo estos valores calculados mediante el índice de geoacumulación que nos permite informar mediante un eje matemático un intervalo donde el suelo o sedimento se puede considerar contaminado, para el caso del cadmio los valores de sus concentraciones tomadas de la laguna de Colta, no se encuentran contaminadas, es decir que el índice de geoacumulación es menor a 0, y se puede evidenciar por sus cuartiles 1 y 3; que los datos no sobrepasan el cero, siendo estos -1,63 y -0,045 respectivamente.

En el caso del hierro representado con el diagrama de caja y bigote de color rosado, presentan valores por debajo del cero lo que significa que la dispersión de datos y el cálculo del índice de geoacumulación no presenta contaminación alguna, sobresaliendo un dato atípico de -6,23.

Para los valores que muestran las concentraciones de plomo (Pb), en su representación gráfica de cajas de color verde del diagrama 4-3, es posible visualizar que sobresalen dos valores atípicos de (-3,91 y -2,16). Además, puede apreciar en el gráfico de cajas de color anaranjado; valores que muestran las concentraciones de manganeso (Mn), para la laguna de Colta, mismos que anteriormente fueron calculados por el índice de geoacumulación, con lo que según (Gómez, 2014, p. 23) nos permite evidenciar un intervalo con un eje matemático donde el suelo o sedimento se representa con un grado de contaminación, gracias a los estadísticos planteados podemos generar un promedio global -3,49 para Colta, que son las concentraciones de Mn en la laguna, adicional a esto, se puede evidenciar valores máximos y mínimos (-3,10 y -4,01; respectivamente) para este sistema lacustre lo que en conclusión se puede decir que se encuentran en la clase de I_{geo} menores a 0, lo que significa que las muestras tomadas en estos puntos y el metal asociado (Mn) no poseen contaminación.

3.9. Factor de enriquecimiento de los metales pesados en la laguna de Colta

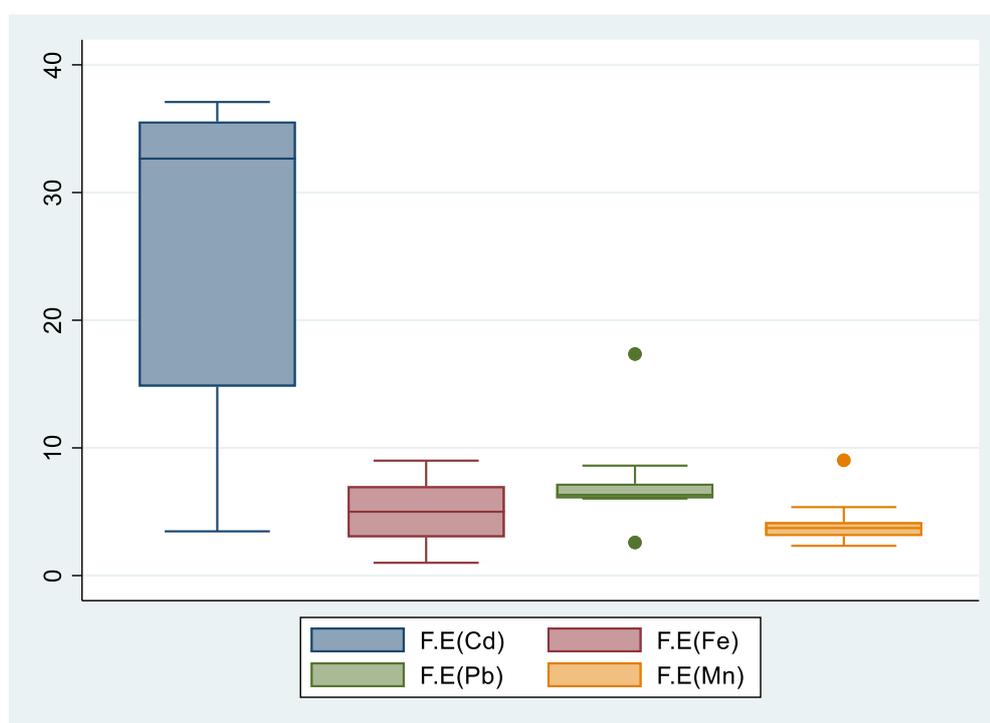


Gráfico 5-3. Diagrama de caja y bigotes del F.E., para metales pesados

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

En el gráfico 5-3 se puede apreciar diferentes diagramas los cuales indican los distintos valores estadísticos del factor de enriquecimiento (FE) de los metales en estudio tales como: cadmio, plomo, hierro y manganeso. Mediante el gráfico de manera general se puede apreciar que existe una baja similitud entre los valores de FE de los metales pesados ya que presentan valores alejados de la media general respecto a la variable. En el factor de enriquecimiento de cadmio se puede observar que hay una gran dispersión de datos y que los límites de la caja se encuentran en el cuartil 2 (25%) con un valor de 14,80 (+/- 4,22) y el cuartil 4 (75%) con un valor de 36,07 (+/- 4,22), por lo que los valores que delimitan el 50% de las puntuaciones centrales de la variable son el 33,31 y 35,56 mg/kg respectivamente; además es importante mencionar que no existen valores anormales fuera de la caja. Según (Lawson y Winchester, 1979, p. 158), afirma que valores entre 10-500 es moderadamente enriquecido, lo cual indica otra fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre, la concentración moderadamente elevada se da en su mayoría en los puntos ubicados en las orillas de la laguna, debido a esto y según (Quispe et al., 2019, p. 4), el aumento en la concentración es debido a las actividades antropogénicas como son: la utilización de fertilizantes con demanda de fosfatos, la incineración de residuos urbanos, actividades industriales y metalúrgicas; todos estos factores que se realizan alrededor de la zona de estudio se acumulan mediante escorrentía fluvial y forman complejos organometálicos, los cuales en exceso provocan toxicidad y alteraciones biológicas en los organismos vivos. El factor de enriquecimiento de hierro es cuantitativamente simétrico debido a que se tomó como referencia el valor del hierro de la roca madre para calcular el índice, por lo que mediante el gráfico muestra valores normales y se puede afirmar que la zona al estar ubicada en un sector rocoso formado hace muchos años el valor de hierro siempre estará presente en el sistema lacustre de Colta; con respecto al factor de enriquecimiento del plomo muestra que los valores no se encuentran dispersos de la media, mediante este gráfico es posible decir que la concentración de plomo con un valor de 7,42 (+/- 1,35), que según (Lawson y Winchester, 1979, p. 158), asegura que valores comprendidos entre 1-10 son propios de la roca madre es decir que no existe enriquecimiento de este metal por actividades antropogénicas de la zona, a excepción del punto 14 el cual posee un valor promedio de 17,35 (+/- 1,35) el cual indica que existe alguna fuente de contaminación en este punto de la laguna, según (Pabón, et al., 2020, p. 2), es producido por la quema de combustibles fósiles que se da dentro de la zona, por la utilización de baterías que se utilizan al momento de dragar la laguna, así mismo como la utilización de las mismas en los botes que otorgan servicio de entretenimiento a los turistas, otra muy importante es la utilización de productos metálicos cerca de la zona de estudio. Finalmente, el factor de enriquecimiento de manganeso posee un valor promedio de 4,20 (+/- 0,67) con un valor máximo de 9,03 correspondiente al punto 14 y un valor mínimo de 2,33 del punto 4; mediante los valores expresados en el diagrama de caja se puede observar que los valores tienden a ser muy concentrados por lo que son simétricos y mediante la clasificación de (Lawson y Winchester, 1979, p. 158), indica que para valores en un promedio de 1-10 son propios de la roca

madre y que el rango de estos valores es de 6,7 por lo que no existen fuentes antropogénicas que contaminen a la laguna.

3.10. Correlación de macronutrientes con respecto a los metales pesados en Colta

Tabla 8-3: Correlación macronutrientes-metales pesados en la laguna de Colta

	M, O%	C	N	P	Cd	Fe	Pb	Mn	
M, O%			0,9	0,9	-0,19	0,27	-0,57	0,77	0,51
C	0,90		0,99	-0,21	0,08	-0,64	0,52	0,58	
N	0,90	0,99		-0,28	0,08	-0,64	0,53	0,61	
P	-0,19	-0,21	-0,28		0,29	0,03	0,05	-0,6	
Cd	0,27	0,08	0,08	0,29		0,41	0,58	-0,33	
Fe	-0,57	-0,64	-0,64	0,03	0,41		-0,41	-0,59	
Pb	0,77	0,52	0,53	0,05	0,58	-0,41		0,35	
Mn	0,51	0,58	0,61	-0,6	-0,33	-0,59	0,35		

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Para la facilitación en la interpretación de los resultados se realizó una tabla de categorización la cual clasificará de la manera efectiva las correlaciones de los nutrientes con los metales en estudio.

Tabla 9-3: Clasificación macronutrientes-metales

Clasificación de correlación nutrientes-metales	
0 – 0,30	Baja correlación
0,31 – 0,70	Moderada correlación
0,71 - 1	Alta correlación

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

En la tabla 8-3, se puede observar valores que muestran correlación de nutrientes con los metales pesados, con respecto al cadmio de manera general se encuentra en un rango de 0,08 a 0,29 que de acuerdo a la clasificación de la tabla 9-3, se concluye que posee una baja correlación de este metal con los macronutrientes, además es importante destacar que al ser los valores positivos la relación tiende a ser directamente proporcional, es decir que mientras la concentración de cadmio aumenta, la cantidad de nutrientes se acumulan; en sí, la correlación es insignificante, además (Cerrón et al., 2020, p. 3), afirma que existen problemas edáficos como la desertificación que afectan al desarrollo de cultivos, así como a las actividades agropecuarias, y mediante la asimilación del cadmio al suelo (N,P,C) por fertilizantes fosfatados el suelo baja sus estándares de calidad.

Para el caso del metal hierro (Fe) y su relación con los macronutrientes se puede destacar que los valores representados en la tabla 8-3; como por ejemplo la relación hierro-carbono subraya un valor de -0,64; lo que significa que existe una correlación moderada, enfatizando que el signo

negativo da como resultado que su relación sea inversamente proporcional, es decir, que a medida que la cantidad de hierro aumenta la concentración de carbono, nitrógeno y fosforo disminuye. Este resultado es comparable al obtenido por (Rengel, Gil y Montaña, 2011, p. 4), donde manifiesta que la acumulación de hierro en los distintos órganos de la planta muestra que el nutriente fue absorbido lentamente y a su vez manifestando que cuando existe la presencia de Fe este participa en el mecanismo enzimático que opera en el sistema de respiración celular y que actúa en las reacciones que involucran la división celular y el crecimiento.

En el caso del plomo (Pb), mediante la tabla expuesta se puede observar de manera general valores que aciertan en poseer una concentración moderada y de valor positivo lo que indica su relación directa entre los macronutrientes y el metal pesado; y según (Coyago y Bonilla, 2016, p. 5), afirma que el plomo si puede ser fijado en el suelo y formar complejos con los macronutrientes, es importante destacar que dicha formación se da por un factor importante como es la cantidad de biomasa que se genera durante la etapa de germinación, lo cual hace que las especies vegetativas tengan mayor retención del plomo en su estructura.

Los estadísticos descritos en la tabla 8-3, y la relación con el metal pesado manganeso describen de manera general que los macronutrientes poseen una correlación moderada, siendo esta relación directamente proporcional con un valor de ejemplo entre la relación de manganeso-nitrógeno de 0,61, afirmando lo que dice en la tabla de clasificación de correlación de nutrientes y metales 9-3, este resultado concuerda con lo descrito por (Azcón, 2008, p. 130), ya que menciona que a medida que la concentración de manganeso aumenta; la concentración de macronutrientes aumenta proporcionalmente ya que interviene en varios procesos bioquímicos de la planta, siendo este metal (Mn) un activador de enzimas.

3.11. Correlación de micronutrientes con respecto a metales pesados en Colta

Tabla 10-3: Correlación micronutrientes-metales pesados en la laguna de Colta

	K	Na	Ca	Mg	Cd	Fe	Pb	Mn
K		0.57	0.21	0.39	0.09	-0.55	0.56	0.23
Na	0.57		0.84	0.69	0.14	-0.7	0.67	0.62
Ca	0.21	0.84		0.65	0.19	-0.51	0.53	0.67
Mg	0.39	0.69	0.65		0.12	-0.53	0.64	0.59
Cd	0.09	0.14	0.19	0.12		0.41	0.58	-0.33
Fe	-0.55	-0.7	-0.51	-0.53	0.41		-0.41	-0.59
Pb	0.56	0.67	0.53	0.64	0.58	-0.41		0.35
Mn	0.23	0.62	0.67	0.59	-0.33	-0.59	0.35	

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

En la tabla 10-3, se pueden apreciar valores que muestran la correlación de nutrientes con los metales pesados, con respecto al cadmio de manera general se encuentra en un rango de 0,09 a 0,19 que de acuerdo a la clasificación de la tabla 9-3, se concluye que posee una baja correlación de este metal con los micronutrientes, además es importante destacar que los valores positivos demuestran que los datos poseen una relación directamente proporcional, es decir que mientras la concentración de cadmio aumenta, la cantidad de nutrientes se acumulan; de acuerdo con (Azcón, 2008, p. 317), los micronutrientes poseen una gran importancia ya que radica en que tienen la capacidad de formar mecanismo de detoxificación de metales pesados mediante fitoquelatinas, especialmente del cadmio (Cd) evitando así su acumulación tóxica.

Con respecto a la relación hierro-micronutrientes se puede observar que es una correlación moderada y sus valores generales indica que existe una relación de las variables inversamente proporcional, es decir que mientras la concentración de hierro aumenta, la cantidad de macronutrientes disminuye, según (Lucena, 2009, p. 3), el hierro es considerado como un micronutriente esencial para el suelo, ya que ayuda al desarrollo de las especies vegetativas, además se toma a consideración que el Fe aporta un 3,8% de contenido total en el suelo debido a que es muy abundante en la corteza terrestre, sin embargo (Márquez et al., 2008, p. 3), menciona que el metal al conformar bioacumulación en los sistemas acuáticos y que en la actualidad los estudios en lagunas aumentan considerablemente, es por eso que este estudio determina la relación del metal pesado con los macronutrientes implicados en el mismo; la concentración de este metal en el sedimento de la laguna de Colta es fundamental para caracterizar las zonas de contaminación, así como la relación con las características típicas del sector.

Para los datos descriptivos que posee Colta en relación del plomo descritas en la tabla 10-3, se puede apreciar de manera general valores que se encuentran en un rango de 0,53 a 0,67; mismos que indican una concentración moderada en relación a los micronutrientes y además, dichos datos con un valor positivamente significativo, lo que refiere a que estos valores de concentración son directamente proporcionales, es decir, que si la concentración de plomo aumenta la concentración de micronutrientes (K, Na, Ca y Mg) se acumula, esto es evidente gracias a (Azcón, 2008, p. 276), ya que manifiesta que estos micronutrientes ayudan a la capacidad fotosintética y esta al verse afectada por el metal en estudio (Pb) puede llegar a causar contaminación tanto en el aire como en el suelo. En cuanto a la correlación del manganeso con los micronutrientes se determinó que se encuentra entre un rango relación moderada, lo que quiere decir que su valor al ser positivo la cantidad de Mn puede aumentar mientras la cantidad de micronutrientes aumenta; (Fuentes et al., 2010, p. 9), señala que existen pares de concentraciones entre Mn-Zn, Zn-Cd, Zn-Ni y Zn-Cu, en las cuales al combinarse pueden llegar a ser tóxicos para el sedimento, y mediante el análisis de estudio se puede corroborar que está por debajo de ($p < 0,05$), lo cual probablemente indica que una cantidad mínima puede ser de material litogénico. Además, debido a la moderada relación que existe se

puede decir que el manganeso no proviene de la misma área en la cual están acumulados los micronutrientes.

3.12. Correlación de H⁺ con respecto a metales pesados en Colta

Tabla 11-3: Correlación de H⁺-metales pesados

	H	Cd	Fe	Pb	Mn	
H			0.06	-0.71	0.58	0.64
Cd	0.06			0.41	0.58	-0.33
Fe	-0.71	0.41			-0.41	-0.59
Pb	0.58	0.58	-0.41			0.35
Mn	0.64	-0.33	-0.59	0.35		

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Para la descripción e interpretación gráfica del hidrógeno con los metales pesados se tomó como referencia la tabla 11-3 con el fin de presentar su correlación misma que cuenta con datos verídicos, por ejemplo; para el cadmio, plomo y manganeso con valores de (0,06/0,58/0,64; respectivamente) constatando que poseen en promedio una moderada correlación, además, estos valores contienen un valor positivo que en sí muestran que esta correlación es directamente proporcional, dicho de otra manera, a medida que los niveles de hidrógeno se incrementan también los niveles de concentración de metales pesados se acumulan, por el contrario la concentración de hierro posee un valor de -0,71 valor que se encuentra en un rango de correlación moderado gracias a lo expuesto en la tabla 9-3 asimismo el signo negativo proporciona información que nos indica que la relación es inversamente proporcional, cuando el hidrógeno disminuye los niveles de hierro aumentan. Este resultado es asimilable con lo obtenido por (Azcón, 2008, p. 33), ya que manifiesta que tiene una estrecha relación con el potencial de hidrogeno (pH) ya que es un parámetro esencial para describir la movilidad del catión, donde menciona además que la absorción de metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo.

3.13. Análisis descriptivo de macronutrientes en la laguna de Yambo

Tabla 12-3: Análisis de macronutrientes en Yambo

Macronutrientes	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
M.O. (%)	6,80 +/- 0,56	-0,86	41,21%	11,87	2,42	9,45	2,8
C	7,75 +/- 1,91	-1,28	73,99%	14,48	1,05	13,43	5,74
N	0,52 +/- 0,11	-1,08	64,77%	0,97	0,12	0,85	0,34
P	36,06 +/- 3,75	0,006	52,09%	79,29	13,52	65,77	18,78
K	263,37 +/- 33,02	0,82	62,69%	705,85	94,25	611,60	165,12

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Carbono, nitrógeno, fósforo y potasio

En la tabla 12-3 se observan los valores de macronutrientes analizados en el sedimento de la laguna de Yambo, los valores muestran diferencias no muy significativas ya que las muestras se tomaron a diferentes profundidades de la laguna. En contenido de carbono fue de 7,75 (+/- 1,91) % de todas las muestras que se tomaron como referencia, los valores que más concentraciones presentaron fueron el punto 8 con el 14,48 (+/- 1,91) % y el valor mínimo se obtuvo en la parte oeste de la laguna con un porcentaje de 1,05, estos valores muestran la significativa diferencia de concentración de carbono que existe en la laguna. Según (Benítez y Pérez, 2006, p. 5), describe una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de carbono y el diámetro de partícula del sedimento, es decir que mientras menor sea el diámetro del grano del sedimento, mayor será la acumulación de carbono en el suelo del sistema lagunar, este estudio corrobora que al ser nuestro suelo arcilloso tiende a no acumular mucho contenido de C en la laguna, es por ello los valores tan bajos en algunos puntos de la zona de estudio. Con respecto al contenido de nitrógeno se muestra un valor promedio de 0,52 (+/- 0,11)%, estas concentraciones según (Valero, 1971, p. 33), representa que el nitrógeno orgánico o amoniacal se encuentra en las acumulaciones de las cosechas, en los abonos naturales o en los microorganismos del suelo; además es importante señalar los valores máximos que se encuentran en el punto 8 con 0,97 (+/- 0,11)% y un valor mínimo de 0,12 (+/- 0,11)% en el punto 12 con un rango de 0,85, lo que indica que la concentración de N en la laguna no representa mucha significancia; de acuerdo a (Perdomo, 2009, p. 12), valores no mayores al 10% representan concentraciones bajas de este macronutriente. En cuestión al contenido de fósforo fue elevado en relación a la laguna de Colta con un promedio de 36,06 mg/Kg (+/- 3,75) y de acuerdo a la clasificación de (Gulias, 2015, p. 5), manifiesta que valores entre mayores a 30 contienen valores muy altos en fósforo; el valor con mayor concentración de

P a una profundidad de 6 mts., fue de 79,29 mg/Kg (+/- 3,75) es decir que de acuerdo a la tabla de clasificación en este punto la cantidad de P es muy elevada, y al contrario en el punto 3 una concentración de 13,52 mg/Kg (+/- 3,75)., con un rango de 65,77. Finalmente con relación al potasio los valores promedio en la laguna fueron de 263,37 mg/Kg (+/-33,02) con valor máximo significativo de 705,85 mg/Kg (+/-33,02) en el punto 14 que fue tomado a una profundidad de 7,5 mts., así mismo existe un valor mínimo de 94,25 mg/Kg (+/-33,02) con 6 mts., de profundidad; (Riojas, 2002, p. 91), manifiesta que valores entre 585 – 936 ppm tienen contenido muy alto de este macronutriente lo cual fue comparado con la cantidad que se analizó en la laguna y el contenido fue elevado lo que quiere decir que la laguna esta enriquecida por el potasio.

3.14. Análisis descriptivo de micronutrientes en la laguna de Yambo

Tabla 13-3: Análisis descriptivo y comparativo de micronutrientes Yambo

Micronutrientes	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
Na	691,63 +/- 81,3	8,99	58,78%	2252,61	265,32	1987,29	406,51
K	263,37 +/- 33,02	0,82	62,69%	705,85	94,25	611,6	165,12
Ca	2592,04 +/- 642,55	12,31	123,95%	15685,7	85,09	15600,6	3212,74
Mg	1069,08 +/- 61,81	-0,55	28,90%	1555,08	461,50	1093,58	309,06
H	1,01 +/- 0,14	-1,11	42,38%	1,53	0,49	1,04	0,43
CIC	25,55 +/- 3,45	9,86	67,62%	92,21	8,12	84,09	17,28
CICE	5994,2 +/- 1532,90	4,67	76,72%	17910,7	2509,89	15400,8	4598,7

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Sodio, potasio, calcio y magnesio

La tabla 13-3 se muestra el análisis de los micronutrientes correspondientes a la laguna de Yambo; para el sodio los valores que se analizaron en las 25 muestras tienen un valor promedio de 691,63mg/Kg (+/- 81,3) con un valor máximo en el punto 14 de 2252,61 mg/Kg y un valor mínimo de 265,32 mg/Kg en el punto 17, con un rango de 1987,29, que según la tabla de clasificación que otorga (Riojas, 2002, p. 91) la concentración del sodio en la laguna se considera extremadamente sódico y por lo tanto existe acumulación de este nutriente en el sistema acuático por lo que su ciclo geoquímico se vería afectado. El potasio es un catión que juega un papel importante ya que ayuda al ciclo del suelo y aumenta la tolerancia a la sequía, además, no causa

problemas ambientales; las 25 muestras analizadas dan un valor promedio de 263,37mg/Kg (+/- 33,02) con un valor máximo de 705,85 mg/Kg, así mismo es importante mencionar el valor mínimo de 94,25 mg/Kg. Según la clasificación de (Riojas, 2002, p. 92), la concentración de potasio en promedio en la laguna es clasificada como normal, la cual aporta a una excelente calidad del suelo por parte de este micronutriente ya que no es tóxico y no causa problemas de eutrofización en los sistemas acuáticos. La tabla 13-3 también muestra valores analizados correspondientes al calcio donde se calculó un promedio de 2592,04 mg/Kg (+/- 642,55), con un valor máximo de 15685,67 mg/Kg en el punto 8 el cual corresponde al noreste del sistema lacustre y un valor mínimo de 85,09 mg/kg en el punto 1 ubicado al inicio de la laguna, estos datos comprendidos en un rango de 15600,6 de suelo y un valor significativo de curtosis estandarizada de 12,31 el cual es positivo por lo que se puede decir que existe un alto grado de concentración de calcio alrededor de la zona central, para esto de igual manera nos ayudamos con la clasificación de (Riojas, 2002, p. 92), donde manifiesta que los valores pasados de 4000mg/kg representan una concentración alta de este micronutriente, además, (Abadia, 1995, p. 23), afirma que el calcio a pesar de ser un micronutriente esencial para la planta por crear y mantener la estructura de los suelos, ayuda al crecimiento y desarrollo de las raíces actuando como un catalizador de reacciones aprovechando al final del proceso una calidad suficiente para la nutrición de la planta. El magnesio de igual manera en los distintos puntos analizados muestra un promedio de 1069,08 mg/Kg (+/- 61,81) con un valor máximo de 1555,08 mg/Kg en el punto 20 ubicado al noroccidente de la laguna y un valor mínimo de 461,5 mg/Kg en el punto 2 ubicado al pie de la laguna en relación con las casas comerciales del sitio en estudio, comprendiendo así un rango de 1093,58. Según (Riojas, 2002, p. 93), la cantidad calculada de Mg de manera general en la laguna comprende un contenido muy alto de este catión; además (Mikkelsen, 2010, p. 2), afirma que las cantidades significativas de Mg que se adhieren a este sistema lacustre corresponde a los fertilizantes orgánicos y minerales que se utilizan tanto en la agricultura como en la ganadería de la zona en estudio.

H⁺

En la laguna de Yambo el promedio del hidrógeno intercambiable obtenido mediante análisis es de 1,01 (+/- 0,14); por lo que se puede afirmar que tiene una tendencia a ser ácido de ahí se deriva la solubilidad de cationes ácidos como el H⁺ y el Al³⁺ los cuales causan que el potencial de hidrógeno se disminuya considerablemente y se puede aseverar que a cantidades bajas de pH los cationes tanto de hidrógeno como de aluminio se ven solublemente favorecidos; con los aportes brindados de hidrógeno se puede destacar que no son muy significativos dándonos un valor máximo de 1,53% y un valor mínimo de 0,49 %, que comprenden un rango de 1,04% respectivamente.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La tabla 13-3 se exponen los datos de los puntos muestreados en toda la laguna, obteniendo así un valor promedio de 25,55 meq/100gr. (+/- 3,45), con un valor mínimo de 8,12 meq/100gr., y un valor máximo de 92,21 meq/100gr. De acuerdo con (Riojas, 2002, p. 94), en su comentario de la clasificación del CIC sostiene que valores comprendidos entre 12-25 meq/100gr., son relativamente normales; esto quiere decir que la capacidad de intercambio catiónico de ceder nutrientes a las plantas es normal y los valores que sobrepasan los 40 meq/100gr., como es el ejemplo del valor máximo de la muestra encontrada en esta laguna la cual hace referencia al punto ocho, donde coexiste una vegetación en abundancia conserva un valor muy alto de CIC; y como resultado de dicho acto una mayor captación de nutrientes y minerales que el vegetal consecutivamente va absorber.

3.15. Análisis descriptivo de metales pesados en la laguna de Yambo

Tabla 14-3: Análisis descriptivo de metales pesados en la laguna de Yambo

Metales Pesados	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
Cd	0,37 +/- 0,04	0,41	30,97%	0,56	0,17	0,39	0,11
Igeo (Cd)	-0,35 +/- 0,15	0,23	-3,56%	0,32	-1,45	0,45	0,51
F.E (Cd)	50,94 +/- 51,30	5,51	302,1%	461,35	-1,45	462,8	153,90
Fe	595,76 +/- 158,27	-1,05	79,70%	1279,54	124,48	1155,06	474,79
Igeo (Fe)	-7,43 +/- 0,47	-1,27	-18,80%	-5,79	-9,15	3,36	1,39
F.E (Fe)	1,00 +/- 0	0	0%	1	1	0	0
Pb	3,95 +/- 0,94	3,97	71,09%	11,05	1,85	9,20	2,80
Igeo (Pb)	-3,14 +/- 0,25	1,72	-24,29%	-1,44	-4,02	2,58	0,76
F.E (Pb)	40,77 +/- 20,73	4,33	152,50%	200,11	3,41	196,7	62,18
Mn	92,03 +/- 16,21	-0,49	52,83%	176,36	33,55	142,81	48,62
Igeo (Mn)	-3,98 +/- 0,27	0,36	-20,20%	-2,85	-5,25	2,4	0,80
F.E (Mn)	12,69 +/- 2,48	35,76	58,65%	27,52	4,03	23,49	7,44

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Los metales pesados en la laguna de Yambo de manera general presentan valores dispersos con los cuales no se puedan relacionar unos con otros, es decir que solo algunos metales pesados como son el hierro y el manganeso aportan niveles poco significativos en el sedimento del sector de estudio; el metal cadmio con un promedio de 0,37 mg/Kg (+/- 0,04) posee un valor bajo-moderado debido a que en la zona existe mayor demanda de escorrentía urbana y agrícola, aportando además que se vierten aguas residuales en bajas cantidades las cuales no tienen tratamiento previo. Según los estándares de calidad ambiental (ECA, 2017, p. 5), el valor promedio para el cadmio en suelos es de 1,40 mg/Kg, siendo este el valor máximo permisible, concluyendo que el valor analizado se encuentra dentro de la normativa, por lo que se puede aportar que la contaminación por cadmio es normal y no provoca problemas medioambientales que afecten la calidad del sedimento de la laguna; respecto al análisis descriptivo el coeficiente de variación es de 30,97% es decir que los datos no pueden variar notablemente, además de presentar datos con rango de dispersión bajo; es importante mencionar que en la laguna de Yambo existen valores atípicos tales como P18, P9 y P16 los cuales son valores altos que se alejan de valor central, se menciona con punto importante que los puntos se encuentran en las orillas de la laguna y se puede corroborar que el aumento en el punto izquierdo y del medio es debido a las actividades turísticas que brindan alrededor del sector y en la parte derecha debido a que existe actividades automotrices y ferroviarias.

Respecto a la concentración de hierro se obtuvo un valor promedio de 595,76 ppm (+/- 158,27), este metal se considera como un macroelemento que conforma el 3,8% de contenido en el suelo; Yambo al ser una cuenca hidrográfica está formada en medio de montañas las cuales aportan escorrentía a la laguna, (Márquez et al., 2008, p. 9), afirma que al ser patrones morfológicos de hace miles de años de formación de la corteza terrestre el hierro se encuentra en abundancia, el valor máximo de este metal se encuentra al este de la laguna en el punto 13 con una concentración de 1279,54 ppm (+/- 158,27), y un valor mínimo en el punto 6 con 124,48 ppm (+/- 158,27). La concentración de plomo en la laguna determinó un valor promedio de 3,95 ppm (+/- 0,94), según la (ECA, 2017, p. 10), menciona el valor del límite máximo permisible es de 55 ppm, valor que se puede comparar con el analizado en la zona de estudio para afirmar que se encuentra dentro de la normativa ambiental. Según (Burguer y Pose, 2010, p. 15), la contaminación es debida tanto al plomo elemental como a sus compuestos, que estos quedan en suspensión y pueden ser transportados, así como también en la mayoría de las actividades humanas como son los paseos en bote en la que su principal factor de contaminación serían las baterías del bote y los contrapesos utilizados en la pesca. Finalmente concluyendo con el manganeso el cual posee valores promedio de 92,03 ppm (+/- 16,21), autores como (Gómez y Sotés, 2014, p. 18), hace referencia que los compuestos de manganeso se encuentran normalmente en los minerales que forman las rocas, en la tierra, en el agua y en el aire (polvo). Las actividades antropogénicas aumentan su concentración principalmente en el aire a través de actividades industriales y a través del consumo de derivados del petróleo (como la utilización de gasolina en los barcos para actividades turísticas en la zona

de estudio) y además en las prácticas agrícolas como la utilización de abonos, herbicidas, pesticidas y plaguicidas.

3.16. Índice de geoacumulación de los metales pesados en la laguna de Yambo

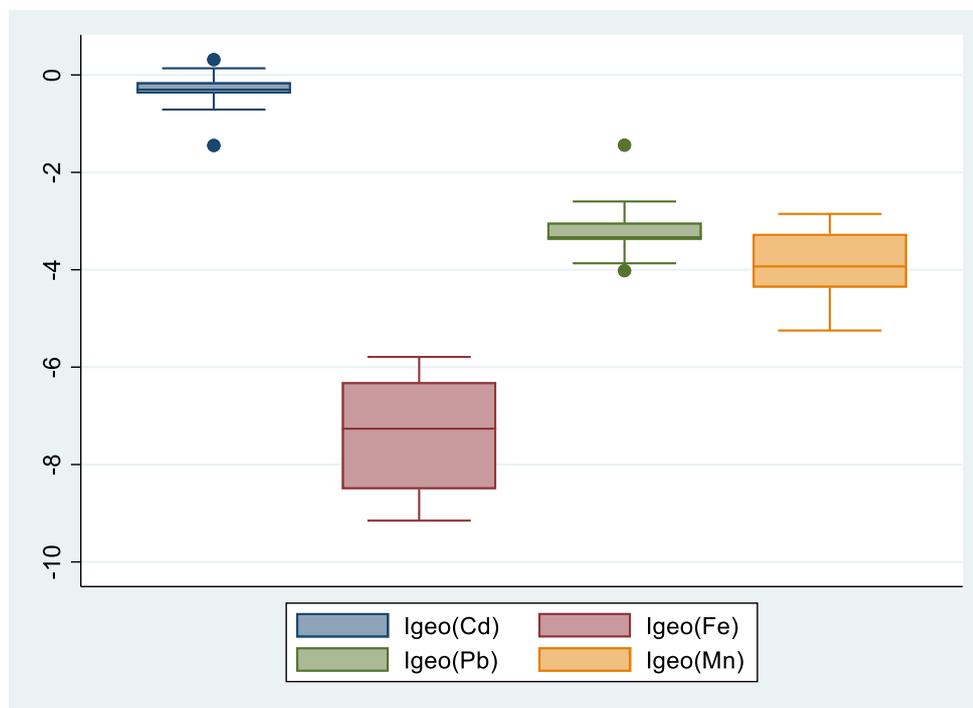


Gráfico 6-3. Diagrama de caja y bigotes de Igeo., para metales pesados

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

El gráfico 6-3, expresa los valores en un diagrama de cajas en donde se puede observar que no existe similitud del índice de geoacumulación de los metales pesados en la laguna de Yambo, debido a que se presentan valores alejados de la media general respecto a la variable; en el Igeo., de cadmio existe una pequeña dispersión de datos, es decir que son concentrados y su índice con un valor de $-0,35 (+/- 0,15)$ tiene relevancia con el metal de estudio. Según la tabla de clasificación del índice de geoacumulación el valor negativo indica que no existe contaminación por parte de este metal, según (Burguer y Pose, 2010, p. 265), afirma que existen fuentes naturales como erupciones volcánicas e incendios que pueden ocurrir cerca del sector de estudio, Yambo al estar ubicado en una zona montañosa está a una distancia considerable del volcán Cotopaxi; en Ecuador se han encontrado concentraciones que afectan a las zonas costeras como son el golfo de Guayaquil, pero respecto al sector Yambo las concentraciones son relativamente bajas las cuales no afectan a la contaminación ambiental.

El hierro es un metal muy característico y más en zonas urbanas como industriales, el hierro al estar agrupado como elementos traza, en concentraciones elevadas puede ser tóxico para el medio; según (Torre y Domínguez, 2013, p. 3), cuando el metal pesado se asocia al sedimento por procesos

como bioturbación o resuspensión puede contaminar la fuente hídrica; en el estudio realizado se obtuvo un valor promedio general de hierro de $-7,42 (+/- 0,47)$ por lo que según la tabla de clasificación de Igeo, el valor corresponde a no contaminado, es decir que en la laguna de Yambo no existen fuentes de contaminación de este metal debido a que este dentro del parámetro permitido y no requiere de acciones para disminuir esta acumulación metálica. Con respecto a la acumulación de plomo se determinó valores promedio de $-3,14 (+/- 0,25)$ con lo que puede afirmarse que no existe incidencia de este metal en la laguna de Yambo; según (Luna et al., 2021, p. 5984), especies de seres vivos como los peces que existen en la laguna llegan a concentrar metales pesados en su sistema, conllevando a causar problemas en la salud de los demás seres vivos de la zona, así como en el ecosistema exterior en donde habitan; la laguna al estar expuesta a varios factores climatológicos no posee mayor cantidad de peces en sus aguas, sin embargo los valores de plomo son bajos, es decir que no posee incidencia este metal en la salud ambiental. Finalmente el índice de geoacumulación del manganeso según el diagrama de cajas se puede apreciar que los datos son concentrados, definiendo así que no existen desviación de datos por lo que los valores son simétricos, con una media de $-3,98 (+/- 0,27)$ se puede afirmar que no existe contaminación por parte de este metal, específicamente hablando lo clasifica como no contaminado, es importante mencionar que existen fuente antropogénicas que aportan a la concentración de este metal, sin embargo la laguna de Yambo no está relacionado con problemas que afecten a su desarrollo acuático.

3.17. Factor de enriquecimiento de los metales pesados en la laguna de Yambo

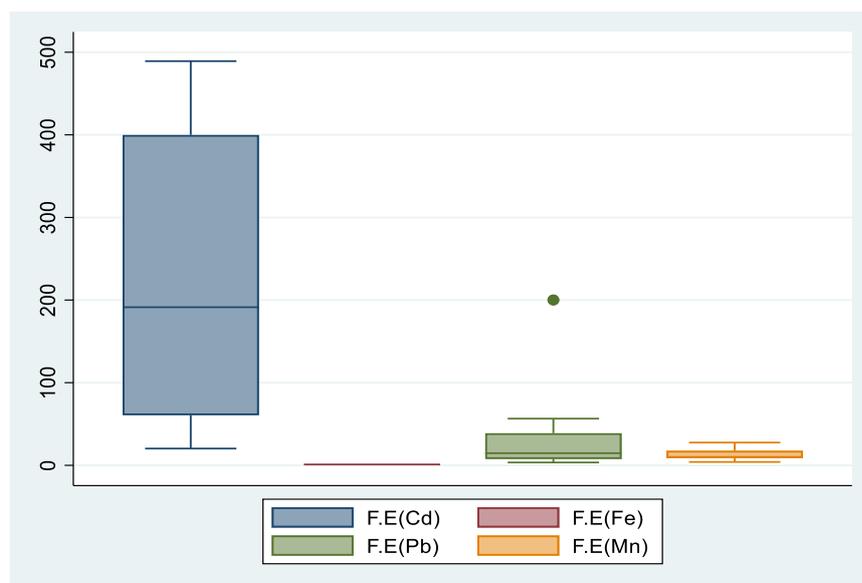


Gráfico 7-3. Diagrama de caja y bigotes de F.E para metales pesados

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

En el gráfico 7-3 se puede constatar las diferencias presentadas en los metales pesados en análisis demostrando valores estadísticos del factor de enriquecimiento (FE) tales como: cadmio, plomo, hierro y manganeso. Gracias a esta representación gráfica se puede apreciar de manera general y porcentual que los datos concurren a una baja similitud respecto a la variable. Para el análisis descriptivo de cadmio representado en la gráfica de cajas con un color azul, existe una gran dispersión de datos y que los límites de la caja se encuentran en el cuartil 2 (25%) con un valor de 191,36 y un valor en el cuartil 3 (75%) de 430,60; mencionando, que no posee valores atípicos o fuera de rango. Según (Lawson y Winchester, 1979, p. 158), afirma que valores entre 10-500 es moderadamente enriquecido, lo cual indica que el cadmio que se encuentra en esta laguna tiene otra fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre, la concentración moderadamente elevada se da en su mayoría en los puntos ubicados en las orillas de la laguna, debido a esto (Quispe et al., 2019, p. 19), recalca que el aumento en la concentración se da por acciones antropogénicas por ejemplo, la utilización de abonos que requieren fosfatos, la cremación de residuos urbanos, y todas aquellas actividades que se realizan en el lugar de estudio estas a su vez se acumulan tras el desbordamiento fluvial los cuales de manera excesiva provocan alteraciones y cambios naturales en las formas de vida. Como se puede estimar en la representación gráfica del Hierro con su coloración rosada, a simple vista se puede observar que no posee ningún cambio lo que significa que el factor de enriquecimiento se da de forma simétrica concluyendo gracias a los estudios de (Lawson y Winchester, 1979, p. 158), que los valores de 1-10 forman parte de la roca madre donde se puede afirmar que el resultado es idóneo ya que el hierro en si es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre por lo que el FE nos indica que no existe ninguna otra sobrecarga del mismo. Con respecto al cálculo del factor de enriquecimiento para el plomo mostrados en la gráfica de coloración verdosa es posible asegurar que la concentración del Pb no se encuentra dispersa, ya que posee un valor promedio de 40,77; cabe destacar que para este metal se puede apreciar un valor atípico sobrepasando el nivel máximo del diagrama de caja con un estimado de 200,11; este resultado se puede clasificar con lo expuesto por (Lawson y Winchester, 1979, p. 158), donde menciona que los valores de 10-500 se encuentran en un rango moderadamente enriquecido lo que significa que existe una fuente adicional a la roca madre, según (Pabón, et al., 2020, p. 2) indica que este cambio o aumento del FE se debe a la quema de combustibles fósiles y eso se puede constatar ya que la laguna de Yambo es turística la cual ofrece a sus visitantes paseos en yate o bote donde claramente se ocupa este tipo de combustibles. Finalmente, para la interpretación del factor de enriquecimiento de manganeso en la gráfica 7-3 se tomó una coloración anaranjada reconociendo así su valor en promedio de 10,07; mostrando asimismo que la mayoría de datos se encuentran en el cuartil 1 (25%) y cuartil 3 (75%) con valores de (7,32 y 18,43; respectivamente), mediante la clasificación de (Lawson y Winchester, 1979, p. 158), indica que estos valores se encuentran en el rango de 10-500; lo que indica que son moderadamente enriquecidos por lo que existen fuentes antropogénicas que están contaminando a la laguna.

3.18. Correlación de macronutrientes con respecto a los metales pesados en Yambo

Tabla 15-3: Correlación macronutrientes-metales pesados en la laguna de Yambo

	M, O%	C	N	P	Cd	Fe	Pb	Mn
M, O%								
C	0.98							
N	0.99	0.98						
P	0.52	0.43	0.99					
Cd	0.34	0.35	0.52	0.59				
Fe	-0.94	-0.97	-0.93	-0.45	0.16			
Pb	0.38	0.36	0.31	-0.33	0.14	-0.49		
Mn	-0.74	-0.76	-0.71	-0.26	-0.35	0.14	-0.31	
								-0.05

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Con la ayuda de la tabla 15-3 se puede describir los valores a comparar de los macronutrientes y los metales pesados, para el caso del cadmio estos se encuentran en un rango de 0,16 y 0,37 que de acuerdo con la clasificación en la tabla 9,3 de forma general poseen una moderada correlación, además, de poseer en sus valores el signo positivo lo que llega a interpretarse como directamente proporcional es decir que a medida que los metales pesados aumentan los valores de macronutrientes se acumulan, esto se puede evidenciar con lo descrito por (Cerrón et al., 2020, p. 3), ya que en este sector existe una mayor demanda de escorrentía urbana y agrícola, constituyendo además que vierten en aguas residuales en bajas cantidades mismas que no tienen tratamiento alguno.

Para el caso del metal hierro (Fe) y su relación con los macronutrientes se puede destacar que los valores representados en la tabla 15-3; como por ejemplo la relación hierro-nitrógeno subraya un valor de -0,93; lo que significa que existe una correlación alta, enfatizando que el signo negativo da como resultado que su relación sea inversamente proporcional, es decir, que a medida que la cantidad de hierro aumenta la concentración de carbono, nitrógeno y fósforo disminuye. Este resultado equivale a lo adquirido por (Rengel y Montaña, 2011, p. 4), donde expresa que la acumulación de hierro en los diversos órganos de la planta muestra que el suplemento fue retenido paulatinamente y que cuando el Fe está disponible, participa en el componente enzimático que trabaja en la respiración celular y actúa en las respuestas que incluyen la división y el desarrollo celular.

En el caso del plomo (Pb), mediante la tabla expuesta 15-3 se puede observar de manera general que los valores aciertan en un rango de 0,31 a 0,38 positivamente; pero cabe recalcar que solo para el caso del plomo en relación al fósforo poseen un valor negativo de -0,33; lo que asegura que en este caso la relación es inversamente proporcional predominando su correlación moderada, lo que significa que a medida que el plomo se va incrementando los valores de fósforo van

disminuyendo, como indica (Coyago y Bonilla, 2016, p. 5), el plomo si puede ser fijado en el suelo lo cual hace que las especies vegetativas tengan una mayor retención de este metal (Pb).

Los estadísticos descritos en la tabla 15-3, y la relación con el metal pesado manganeso describen de manera general porcentual que los macronutrientes poseen una correlación moderada, siendo esta relación inversamente proporcional con un valor de ejemplo entre -0,26 y -0,76, aseverando lo que dice en la tabla 9-3, contrario a lo descrito por (Azcón, 2008, p. 130), ya que menciona que a medida que la concentración de manganeso aumenta; la concentración de macronutrientes aumenta proporcionalmente ya que interviene en varios procesos bioquímicos de la planta, siendo este metal (Mn) un activador de enzimas.

3.19. Correlación de micronutrientes con respecto a los metales pesados en Yambo

Tabla 16-3: Correlación micronutrientes-metales pesados en la laguna de Yambo

	K	Na	Ca	Mg	Cd	Fe	Pb	Mn
K		-0.2	-0.27	0.56	-0.23	0.91	-0.21	0.73
Na	-0.2		0.12	0.06	0.36	-0.37	0.86	-0.04
Ca	-0.27	0.12		-0.15	-0.11	-0.44	-0.02	-0.29
Mg	0.56	0.06	-0.15		-0.45	0.56	0.14	0.6
Cd	-0.23	0.36	-0.11	-0.45		-0.49	0.14	-0.35
Fe	0.91	-0.37	-0.44	0.56	-0.49		-0.31	0.73
Pb	-0.21	0.86	-0.02	0.14	0.14	-0.31		-0.05
Mn	0.73	-0.04	-0.29	0.6	-0.35	0.73	-0.05	

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Los valores descritos en la tabla 16-3 nos ayudó para interpretar la relación de los micronutrientes con los metales pesados, y así nuestro primer ejemplo corresponde al cadmio donde se puede apreciar una relación del mismo con el sodio con valores de 0,36 dato que según la clasificación de la tabla 9-3 se encuentra en un rango moderado asimismo indicando poseer un valor positivo lo que indica que esta relación es directamente proporcional, además, para este conjunto de datos se pueden apreciar valores de correlación negativos de -0,11 a -0,45; siendo estos inversamente proporcionales a la correlación moderada, indicando que los micronutrientes a medida que va incrementado su valor el cadmio va disminuyendo, a razón del autor (Azcón, 2008, p. 317), que muestra según su estudio que los micronutrientes al poseer una capacidad de formar mecanismos de detoxificación de metales pesados llegan a ser importantes ya que retienen el cadmio acumulado y lo disminuye evitando la toxicidad del suelo.

En reseña a la relación del hierro con los micronutrientes se puede observar que los datos poseen un valor de correlación moderado asimismo con variables de tipo inversamente proporcionales, según su rango de -0,37 a -0,44; mostrando la veracidad de la tabla 9,3; sin embargo, posee un

valor en relación del hierro con el magnesio de 0,56 mostrando un valor positivo que dicho de otra manera se encuentra de forma directa, lo que nos lleva a deducir que esta relación se mantiene al decir que cuando el hierro aumenta su concentración lo mismo sucede con la concentración de los micronutrientes, como expresa (Lucena, 2009, p. 3), en sus escritos el hierro es considerado como un micronutriente esencial para el suelo, ya que ayuda al desarrollo de las especies vegetativas, aportando alrededor de un 3,8% del contenido total de la corteza terrestre.

Con respuesta a la descripción porcentual de la tabla 16-3 y su interpretación con los datos descritos por el metal pesado plomo mismos que se encuentran en un rango de -0,02 y 0,14 aludiendo que estos valores corresponde a una correlación baja indicando de forma general que son directamente proporcionales, a su vez se puede indicar una correlación muy alta con respecto al plomo y el sodio, mencionando que dicho suceso se encuentra de forma directa con un valor de 0,86; mismo que describe que si la concentración de plomo aumenta consecuentemente los micronutrientes se acrecientan, esto es contradictorio con lo que manifiesta (Azcón, 2008, p. 276), ya que manifiesta que estos micronutrientes ayudan a la capacidad fotosintética y esta al verse afecta por el metal en estudio (Pb) puede llegar a causar contaminación tanto en el aire como en el suelo. En cuanto a la correlación del manganeso con los micronutrientes se debe mencionar que se encuentran en dos rangos; uno que describe su correlación directa y el otro de forma inversamente proporcional. De forma directa se encuentra en un rango de 0,6 a 0,73 lo que posteriormente significa que su condición es moderada, a su vez indicando que si el incremento de la concentración de Mn aumenta lo mismo sucede para los micronutrientes. Por otro lado al describir su forma inversa posee un rango que va desde -0,04 hasta -0,29 validando su correlación moderada según su clasificación propuesta en la tabla 9-3; (Fuentes et al., 2010, p. 9), indica que debido a la moderada relación que existe se puede decir que el manganeso no proviene de la misma área en la cual están acumulados los micronutrientes, mostrando así que hay conjuntos de pares entre Mn-Zn, Zn-Cd, Zn-Ni y Zn-Cu, en los que cuando se consolidan pueden llegar a ser tóxicos para el sedimento, y mediante el análisis de estudio se puede corroborar que está por debajo de ($p < 0,05$), lo cual probablemente indica que una cantidad mínima puede ser de material litogénico.

3.20. Correlación de H⁺ con respecto a metales pesados en Yambo

Tabla 17-3: Correlación de H⁺- metales pesados

	H	Cd	Fe	Pb	Mn	
H			0.4	-0.93	0.4	-0.7
Cd	0.4		-0.49	0.14	-0.35	
Fe	-0.93	-0.49		-0.31	0.73	
Pb	0.4	0.14	-0.31		-0.05	
Mn	-0.7	-0.35	0.73	-0.05		

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Para la descripción e interpretación gráfica del hidrógeno con los metales pesados se tomó como referencia la tabla 17-3 con el fin de presentar su correlación misma que cuenta dos rangos un directo y otro inverso; para los datos directo se toma el ejemplo del cadmio y el plomo mismos que poseen un valor idéntico de 0,4 constatando que poseen una correlación moderada, además, estos valores contienen un valor positivo que en sí muestran que esta correlación es directamente proporcional, dicho de otra manera, a medida que los niveles de hidrógeno se incrementan también los niveles de concentración de metales pesados se acumulan, por el contrario a los valores inversos la concentración de hierro y manganeso poseen valores de -0,93 y -0,71 respectivamente; valor que se encuentra en un rango de correlación alto gracias a lo expuesto en la tabla 9-3 asimismo el signo negativo proporciona información que nos indica que la relación es inversamente proporcional, cuando el hidrógeno disminuye los niveles de hierro y manganeso aumentan. Este resultado es asimilable con lo obtenido por (Azcón, 2008, p. 33), ya que manifiesta que tiene una estrecha relación con el potencial de hidrogeno (pH) ya que es un parámetro esencial para describir la movilidad de los cationes, donde menciona además que la absorción de metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo.

3.21. Variabilidad espacial en la laguna de Colta

Tabla 18-3: Análisis estadístico de metales pesados

Metales Pesados	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
Cd	0,27 +/- 0,05	-1,11	57,33%	0,44	0,04	0,4	0,15
Fe	1692,68 +/- 113,03	2,06	20,03%	2007,89	912,02	1095,87	339,11
Pb	4,90 +/- 0,43	1,95	26,53%	6,71	1,99	4,71	1,3
Mn	118,32 +/- 7,45	-0,38	18,88%	148,38	79,04	69,35	22,34

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

En la tabla 18-3, se realizó un análisis estadístico para identificar la variabilidad de las concentraciones de los metales pesados en donde se determinó los parámetros estadísticos básicos, en el caso del cadmio el valor promedio fue de 0,27 ppm (+/- 0,05) con un valor máximo en el punto 8 de 0,44 ppm y un valor mínimo de 0,04 ppm correspondiente al punto 16, con un rango de 0,4 y desviación estándar 0,15. Con respecto al hierro el valor promedio es de 1692,68 ppm (+/- 113,03) con valor máximo del punto 1 con 2007,89 ppm y valor mínimo del punto 7 de 912,02 ppm, respecto al hierro es debido a que es el elemento más abundante en la corteza terrestre. En relación al plomo el valor oscila entre 4,90 ppm (+/- 0,43), con un rango de valores de 4,71 y desviación estándar de 1,3; finalmente el valor de manganeso fue de 118,32 ppm (+/- 7,45) con una desviación estándar de 22,34 lo que indica que los valores tienden a estar agrupados, por lo que los datos tienen un mínimo factor de error en sus análisis.

Tabla 19-3: Análisis correlacional %M.O-metales pesados

	M.O%	Cd	Fe	Pb	Mn
M.O%	1.00				
Cd	0.27	1.00			
Fe	-0.57	0.41	1.00		
Pb	0.77	0.58	-0.41	1.00	
Mn	0.51	-0.33	-0.59	0.35	1.00

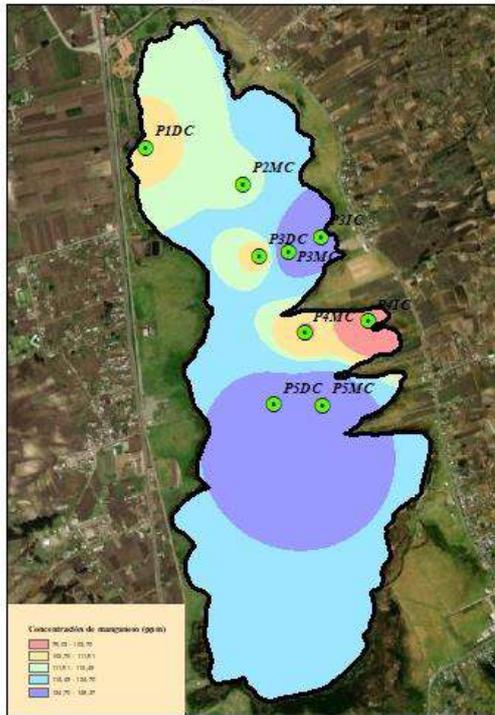
Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

La tabla 19-3, se muestra un análisis de correlación de Pearson entre la materia orgánica (M.O) y los metales pesados (Cd, Fe, Pb y Mn), con la finalidad de hallar las posibles asociaciones entre estas dos variables de estudio. Con relación al manganeso se puede observar una correlación moderada con el porcentaje de materia orgánica que se puede corroborar con los patrones de distribución que se observan en el gráfico 8-3 en donde el trayecto de la distribución del metal es irregular, su valor mínimo de concentración se encuentra en la parte central de la laguna con un rango de 79,03-102,70 ppm y sus valores máximos se encuentran en la parte norte y sur con un rango de 124,40-148,37 ppm respectivamente, es importante enfatizar en los valores máximos ya que mediante esta distribución se puede buscar alternativas que aporten en la minimización de concentraciones de este metal; según (Galeano y Duarte, 1990, p. 5), la variabilidad del manganeso está ligada con el pH de cada punto muestreado, por lo que su variabilidad tiende a ser atípica en la zona. El cadmio abarca una correlación baja con el porcentaje de materia orgánica sin embargo su distribución espacial tiende a ser irregular siendo la parte central el espacio físico donde mayor concentración se encontró de este metal comprendido en un rango de 0,30-0,43 ppm. En relación al hierro el cual en su forma metálica comprendió una correlación de -0,57 clasificada en moderada inversamente proporcional en donde mientras mayor porcentaje de MO exista, menor será la concentración de este metal, y se puede afirmar mediante su distribución espacial que es

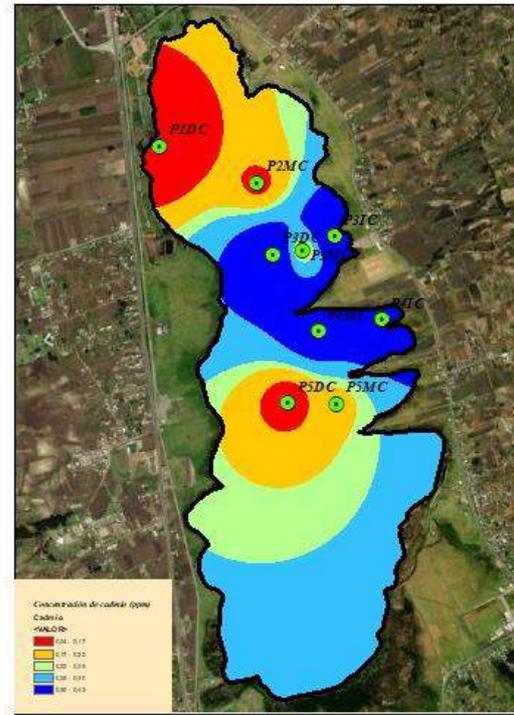
asimétrica de norte a sur de Colta comprendiendo valores elevados de 1707-2077 ppm. Finalmente la correlación de Pb-MO estableció un valor de 0.77 clasificando como una relación alta y de acuerdo a su valor positivo se afirma que mientras mayor sea el porcentaje de materia orgánica, la concentración del plomo aumentara considerablemente, además en el gráfico se puede observar su distribución espacial con un patrón de norte a sur de la laguna, sus valores destacan las actividades de dragado que se realizan en la parte sur de la laguna, así como su incidencia de los factores automovilísticos que se dan cerca de la zona afectada por este metal.

Variabilidad espacial de metales pesados en la laguna de Colta

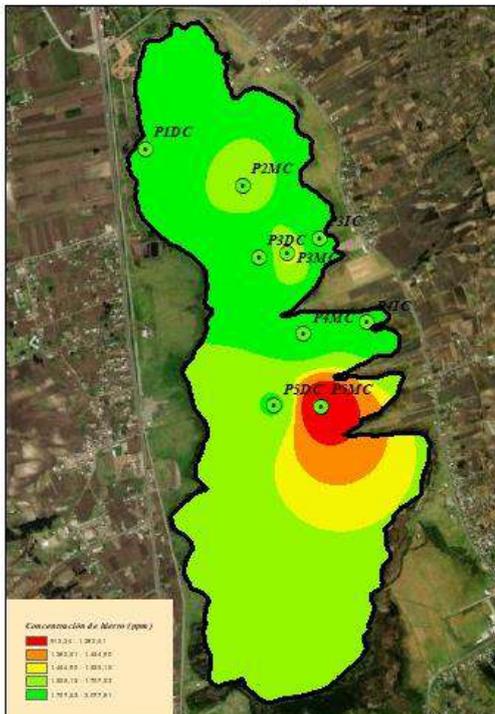
Manganeso (Mn)



Cadmio (Cd)



Hierro (Fe)



Plomo (Pb)

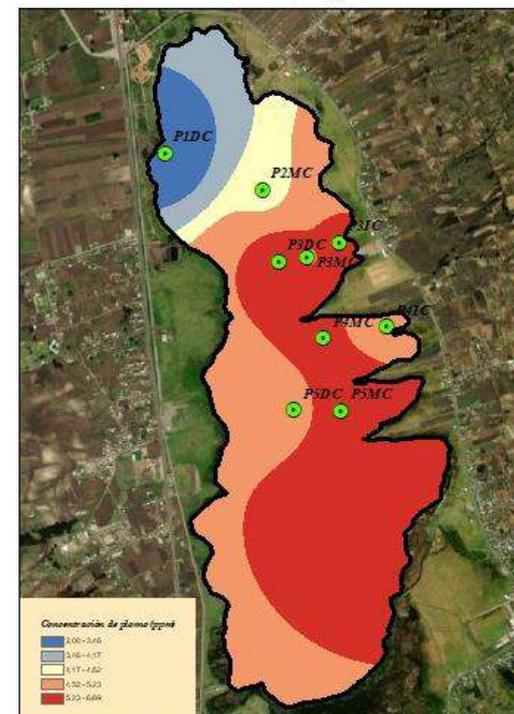


Gráfico 8-3. Distribución espacial de metales pesados

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

3.22. Variabilidad espacial en la laguna de Yambo

Tabla 20-3: Variabilidad espacial de los metales pesados en la laguna de Yambo

Metales Pesados	Media	Curtosis	C.V.	Máximo	Mínimo	Rango	SD
Cd	0,37 +/- 0,04	0,41	30,97%	0,56	0,17	0,39	0,11
Fe	595,76 +/- 158,27	-1,05	79,70%	1279,54	124,48	1155,06	474,79
Pb	3,95 +/- 0,94	3,97	71,09%	11,05	1,85	9,20	2,80
Mn	92,03 +/- 16,21	-0,49	52,83%	176,36	33,55	142,81	48,62

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Para el análisis descriptivo de la variabilidad espacial de la concentración de metales pesados nos vamos a guiar de la tabla 20-3; la cual nos ayudara a describir el porcentaje que se encuentran las variables según su dispersión, para el caso del cadmio este posee un promedio de 0,37 ppm (+/- 0,04), mostrando un valor máximo de 0,56 ppm y un valor mínimo de 0,17 ppm. Con respecto al hierro su valor en promedio es de 595,76 ppm (+/- 158,27) con un rango de 1155,06 ppm dando lugar a sus valores máximos y mínimos de 1279,54 ppm y 124,48 ppm respectivamente; demostrando así ser el metal con más abundancia en toda la corteza terrestre. A razón del plomo este valor va en un rango de 9,20 ppm con un promedio correspondiente a 3,95 ppm (+/- 0,94) y desviación estándar de 2,8 ppm. Finalmente, para el caso del manganeso se pueden apreciar valores máximos y mínimos de 176,36 ppm y 33,55 ppm, respectivamente; dándonos un promedio de 92,03 ppm con un error estandarizado de (+/- 16,21); desviación estándar de 48,62 ppm; demostrando así que los valores se encuentran agrupados por que llega a existir un análisis con errores mínimos.

Tabla 21-3: Correlación de M.O%- metales pesados de Pearson

	M.O%	Cd	Fe	Pb	Mn
M.O%	1.00				
Cd	0.34	1.00			
Fe	-0.94	-0.49	1.00		
Pb	0.38	0.14	-0.31	1.00	
Mn	-0.74	-0.35	0.73	-0.05	1.00

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

Como se muestra en la tabla 21-3 mediante estadísticos descriptivos se llegó a realizar análisis de correlación de Pearson entre la materia orgánica y los metales pesados, con el fin de descubrir las posibles agrupaciones entre estas dos variables. Para el caso del cadmio este abarca una correlación baja con el porcentaje de materia orgánica siendo directamente proporcional, sin embargo su distribución espacial tiende a ser asimétrica ya que los datos de menor a mayor concentración se encuentran con un alto grado de dispersión; siendo así que el rango más representativo de Cd en esta laguna corresponde desde 0,43 ppm hasta 0,56 ppm; como se puede apreciar en el gráfico 9-3 está mayor dispersión se encuentra en el punto 0; que a su vez representa el norte de la laguna, donde por obvias razones esta acumulación se debe al ingreso de los botes y parqueadero de autos móviles mismos que contribuyen al aumento de este metal. Con respecto al hierro el cual en su forma metálica comprendió una correlación de -0,94 clasificada en la tabla 9-3 como moderada e inversamente proporcional en donde mientras mayor porcentaje de MO exista, menor será la concentración de este metal, y se puede afirmar mediante su distribución espacial que es irregular de norte a sur de Yambo comprendiendo valores elevados de (936,37 y 1339,93) ppm. La correlación de plomo con respecto a la materia orgánica estableció un valor de 0.38 clasificándolo en un rango moderado y de acuerdo con su valor positivo se afirma que mientras mayor sea el porcentaje de materia orgánica, la concentración del plomo aumentara considerablemente, además en el gráfico 9-3 se puede observar su distribución espacial con un patrón regular de norte a sur en la laguna, destacando que este metal se encuentra con una dispersión simétrica, dando a conocer que este metal puede estar relacionado con la descomposición de la M.O en la cual ocurre una liberación metabólica en el medio lacustre, producto de la concentración simétrica en la laguna.

Con la finalidad de hallar las posibles asociaciones entre estas dos variables de estudio manganeso y materia orgánica se tomó como datos para analizar a la tabla 20-3, donde se puede observar una correlación moderada con el porcentaje de M.O que se puede corroborar con los patrones de distribución que se observan en el gráfico 9-3 en donde el trayecto de la distribución del metal es irregular, sus valores máximos se encuentran en la parte media lagunar con un rango de 123,71-176,39 ppm respectivamente, es importante enfatizar estos valores ya que mediante esta distribución se puede buscar alternativas que aporten en la minimización de concentraciones de este metal; según (Galeano y Duarte, 1990, p. 5), la variabilidad del manganeso está ligada con el pH de cada punto muestreado, por lo que su variabilidad tiende a ser atípica en la zona.

Variabilidad espacial de metales pesados en la laguna de Yambo

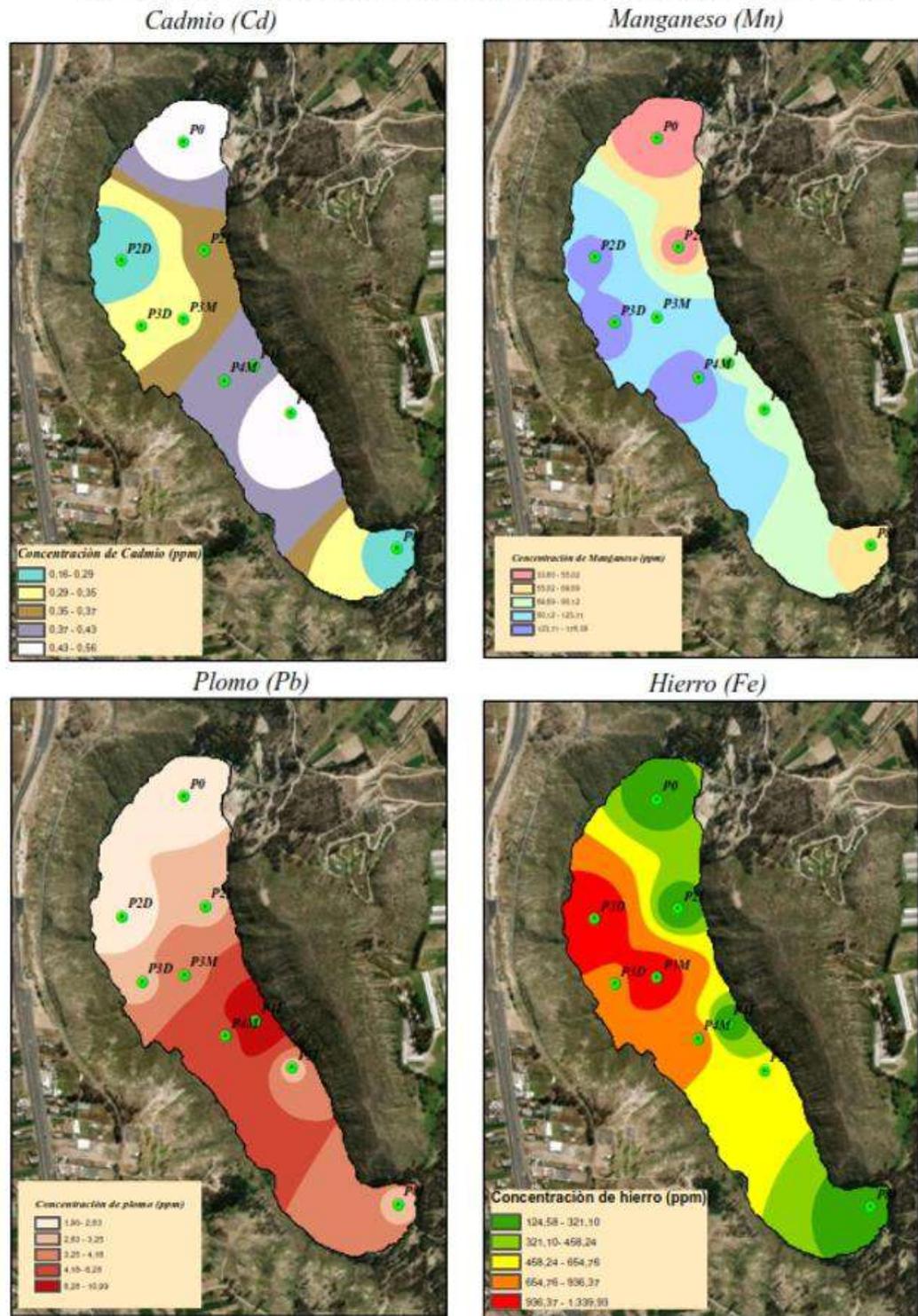


Gráfico 9-3. Distribución espacial de metales pesados

Realizado por: Gualli, M.; Hidalgo, F., 2022.

CONCLUSIONES

- La distribución espacial de los metales pesados en la laguna de Colta fue irregular para los metales de manganeso y cadmio, por otra parte, se destaca una distribución regular como es para el caso del Plomo con un patrón desde la parte sur hasta el sector norte; con respecto al hierro al ser un elemento que corresponde un porcentaje significativo en la corteza terrestre tuvo valores elevados y su gradiente espacial fue simétrico en todo el sistema lacustre; en general los metales pesados en la laguna de Colta varían su concentración de acuerdo a que en las zonas tanto norte como este, se encuentran los mayores asentamientos humanos donde se desarrollan actividades socioeconómicas y sobre todo la producción de desechos. En el caso de la laguna de Yambo la cual es considerada como espacio recreativo para las personas, la distribución espacial de los metales como el cadmio, manganeso y hierro fue asimétrica debido a factores naturales y antrópicos que aportan en la concentración de los metales mencionados; el plomo por su parte su gradiente espacial fue simétrico con un patrón desde la parte norte hasta la parte central de la laguna, esto debido a que en la parte noroccidental de la laguna se realizan actividades agropecuarias que mediante escorrentía fluvial aportan el aumento de la concentración de este metal en la orilla de la laguna.
- Se evaluó la incidencia de los nutrientes en la concentración de los metales pesados en las lagunas de Colta y Yambo a través de la correlación de datos de Pearson, concluyendo que para todos los puntos muestreados los nutrientes se encuentran en un rango de correlación bajo y moderado, denotando así que la concentración de estos parámetros no se ve afectado significativamente. Con una sola excepción en la laguna de Yambo donde la materia orgánica, carbono, nitrógeno y fósforo posee una correlación inversa con el Hierro denotando correlaciones muy altas con un valor en promedio de -0,82, lo que significa que a medida que la concentración de macronutrientes aumenta la concentración de hierro (Fe) se acumula.
- En base a la valorización del factor de enriquecimiento de los metales pesados se pudo distinguir que el sedimento del sistema lacustre de Colta no presenta contaminación por fuentes externas de metales tales como (Fe, Pb y Mn), con excepción del Cd el cual posee un rango moderado de enriquecimiento por lo que se puede atribuir que su acumulación es debido a fuentes antrópicas que se realizan en las zonas aledañas a la laguna. Por el contrario, el sistema lacustre de Yambo no ostenta contaminación antrópica de hierro y es válido asumir que corresponde cien por ciento a la roca madre; con excepción de los metales pesados (Cd, Pb y Mn) que por ser moderadamente enriquecidos estos poseen fuentes exteriores de contaminación las cuales afectan en la calidad del sedimento.
- En base a observación directa, recolección de datos en los puntos de monitoreo y análisis estadístico los metales pesados con mayor enriquecimiento de la laguna de Colta fueron del cadmio con un moderado enriquecimiento procedente de fuentes antropogénicas, respecto a

manganeso, plomo y hierro se obtuvo valores con un porcentaje menor al 30 %, debido a esto se lo clasifica como muy poco enriquecido y que su concentración corresponde a que los elementos son propios de la roca madre. La laguna de Yambo posee una geomorfología distinta, la cual está rodeada por zonas montañosas y su tipo de suelo es considerado seco, es por ello que se determinó un bajo enriquecimiento de hierro en el sedimento corroborando así que pertenece a las condiciones geomorfológicas propias del sector, a diferencia del plomo manganeso y cadmio que presentaron valores atípicos los cuales fueron clasificados como un enriquecimiento moderado, el sector al ser considerado como sitio turístico por sus leyendas y tradiciones ancestrales guarda estrecha relación con la actividad humana lo que aporta múltiples factores tales como la agricultura, ganadería, uso de fertilizantes, etc., lo que aumenta la concentración de los metales, afectando así a los parámetros ambientales de la zona y de la laguna.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar en consideración los metales pesados que poseen mayor concentración con la finalidad de realizar monitores frecuentes para minimizar el impacto de las zonas afectadas.
- Replicar la variabilidad espacial de los metales pesados en épocas que posean un mayor índice de precipitación, para identificar como afecta este parámetro en los patrones de distribución de los metales pesados.
- Se recomienda utilizar el software Stata v15.1 ya que los análisis estadísticos, así como la relación con otras variables las calcula con un factor mínimo de error, conllevando así que los resultados sean fiables al momento de interpretarlos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCOCER, J.; & ESCOBAR, E.** “Contenido de carbono elemental en sedimentos lacustres de un conjunto de lagos tropicales con distinto estado trófico”. *researchgate.net*, (2016), (España) pp. 357–365.
- ANDRADES, M.; MOLINER, A.; & MASAGUER, A.** “Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos”. *Agricultura y alimentación*, vol. 15, (2015), (Perú) pp. 82-94.
- ANTAMBA, C.; & CABRERA, A.** “Arrastre de sedimentos pluviales en meandros” [en línea], 2015 (España). pp. 192-287. [Consulta: 27 December 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4430/1/T-UCE-0011-166.pdf>.
- ARAQUE, M.; VÁSCONEZ, M.; & MANCHENO, A.** “*Cuencas Hidrográficas*”. 12ª ed. Cuenca-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. ISBN 9789978103807. 2019. p. 23.
- ARELLANO, Díaz.; & CASTILLO, J.** “Presión hídrica en ambientes lacustres de alta montaña: entre el cambio climático y el desarrollo energético. Laguna del laja” [en línea], 2018. (Chile). pp. 143-158. [Consulta: 7 December 2021]. ISSN 0719-2681. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371358885013vol>.
- ARISTIZÁBAL, F.; & CERÓN, L.** “Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos”. *Revista Colombiana de Biotecnología*, (2012), ISSN 1909-8758. vol. 14, no. 1, pp. 285–295. .
- AURORA, M.** “Variación de los nutrientes en agua y sedimento del Sistema Lagunar de Tunas de Zaza, Sancti Spíritus” *Item Type Journal Contribution*. [en línea], 2021. (Cuba). S.l.: Disponible en: <http://hdl.handle.net/1834/16792>.
- AZCÓN, J.** “Fundamentos de Fisiología Vegetal”. [en línea], 2008. [Consulta: 30 April 2022]. Disponible en: <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon.pdf>.
- BALCI, A.; & SHENG, T.** “Manual de manejos de cuencas”. [en línea]. 1989. S.l.: [Consulta: 13 December 2021]. Disponible en:

<https://www.actswithscience.com/Descargas/manual%20de%20manejo%20de%20cuencas.pdf>.

BARBARO, L. “Importancia del ph y la conductividad electrica (CE) en los sustratos para plantas”. [en línea]. 2015. [Consulta: 16 March 2022]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf.

BARGIELA, M. “Caracterización de la materia orgánica y su relación con los metales pesados en sedimentos del cauce del río matanza (provincia de buenos aires república argentina)”. [en línea]. 2016. S.l.: [Consulta: 15 December 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11093/1052>.

BARONA, N.; FERNÁNDEZ, B.; & SALINAS, P. “Sedimentología y estratigrafía”. [en línea], 2012. [Consulta: 7 December 2021]. Disponible en: <http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/CT-SeEs/A4-Lacustre.pdf>.

BENÍTEZ, L.; & PÉREZ, A. “Contenido de carbono orgánico y características texturales de los sedimentos del sistema costero lagunar Chantuto-Panzacola”. *Chiapas.Hidrobiológica*, (2006). ISSN 0188-8897. vol. 16, no. 2, pp. 127–136.

BERTSCH, F. “Método de combustión seca Dumas”. [en línea]. 2019. S.l.: [Consulta: 27 February 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ca7781es/ca7781es.pdf>.

BLUE, J. “Apunte del curso depositos minerales”. [en línea]. 2016. S.l.: [Consulta: 15 December 2021]. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49485661/Dptos._Minerales-with-cover-pjKAE9dpOn1JL946HzChRyV1vLkSWA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA.

BOUZA, P. “Génesis de las acumulaciones de carbonatos en aridisoles nordpatagónicos: su significado paleopedológico”. [en línea]. 2012. S.l.: [Consulta: 15 December 2021]. Disponible en: <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/download/531/571>.

BURGUER, M. & POSE, D. “Plomo salud y ambiente”. *Universidad de la República*, (2010). pp. 154–248.

BUSTAMANTE, M.; ALBÁN, M.; & ARGÜELLO, M. “Los páramos de Chimborazo”. (2011). pp. 148-201.

CÁCERES DEL SALTO, A.; BASANTES, E.; COCHA T.; & CLAVIJO, M. “Evaluación de consorcios fúngicos nativos para biolixiviar los metales pesados bario, vanadio y cobre presentes en sedimentos de la laguna de Colta del Cantón Colta”. *Ciencia Digital*, (2019). ISSN 2602-8085. DOI 10.33262/cienciadigital.v3i3.4..871. vol. 3, no. 3.4., pp. 263–275.

CAMILO, J.; SALAZAR, R.; GÓMEZ, M.; CARLOS, E.; & JAIME, H. “Fertilidad del suelo en nutrición del café en Colombia”. [en línea]. 2008. S.l.: [Consulta: 28 April 2022]. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot032.pdf>.

CANTO, G.; ÁLVAREZ, T.; ZAPATA, G.; & SOSA, Eloy. “Metales pesados en suelos y sedimentos de la zona cañera del sur de Quintana Roo”. *México.Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, (2017).ISSN 20072902. DOI 10.22201/cgeo.20072902e.2017.3.433. vol. 34, no. 3, pp. 157–169. .

CARRO, B.; LOZANO, O.; LÓPEZ, N.; & BORREGO, J. “Características geoquímicas y factores de enriquecimiento (FE)” *ed los Sedimentos Estuarinos de la Costa de Huelva (SW España).Geogaceta*, (2005). ISSN 0213-683X. no. 38, pp. 147–150. .

CERRÓN, R.; SÁNCHEZ, G.; YACHACHI, Y.; RAMOS, F.; GONZALES, L.; & TORRES, R. “Lead and cadmium uptake by sunflower from contaminated soil and remediated with organic amendments in the form of compost and vermicompost”. *Scientia Agropecuaria*, (2020). ISSN 23066741. DOI 10.17268/SCI.AGROPECU.2020.02.04. vol. 11, no. 2, pp. 177–186. .

CORAL, K.; OVIEDO, J.; CARRILLO, D.; & FRESSNEDA, M. “Arsénico en aguas, suelos y sedimentos de la Reserva Biológica de Limoncocha - Ecuador con fines de conservación”. *INNOVA Research Journal*, (2019). DOI 10.33890/innova.v4.n3.2019.944. vol. 4, no. 3, pp. 158–169. .

COYAGO, E.; & BONILLA, S. “Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano”. *La Granja*, (2016). ISSN 1390-3799. DOI 10.17163/lgr.n23.2016.04. vol. 23, pp. 234-546.

- CRUZ, N.; ALDERETE, A.; & LAFFÓN, S.** “Accumulation of heavy metals in sediments of mangrove ecosystem in Laguna de Terminos, Campeche, Mexico”. *Foresta Veracruzana*, (2013). vol. 15, no. 1, pp. 25–30. .
- DE CEGLIA, F.** “Thinking with the Saint: The miracle of Saint Januarius of Naples and science in early modern Europe”. *Early Science and Medicine*, (2014). ISSN 15733823. DOI 10.1163/15733823-00192P02. vol. 19, no. 2, pp. 133–173. .
- DIPAK, P.** “Research on heavy metal pollution of river Ganga”. *Annals of Agrarian Science*, (2017). ISSN 1512-1887. DOI 10.1016/J.AASCI.2017.04.001. vol. 15, no. 2, pp. 278–286. .
- DOMÍNGUEZ S.; México, M.; GUTIÉRREZ, R.; DELIA, A.; GARCÍA, P.; & SANDOVAL, A.** “Evaluación de color en suelos del Cerro de Denganthza, municipio de Francisco I. Madero, Hidalgo”. [en línea], 2011. ISSN 0188-6266. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41620852012>.
- ECA.** “Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo D. S. N° 011-2017-MINAM.El Peruano”, (2017). pp. 12–15.
- EDGELL, K.** “USEPA Method Study 37 - SW-846 Method 3050 Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils”. *EPA*, (1996). ISSN 0287-2137. DOI 10.18907/jjsre.18.7_723_2. vol. 18, no. 7, pp. 723.
- EMILIA, L.; RINCÓN, C.; ANCÍZAR, F.; & GUTIÉRREZ, A.** “Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos Nitrogen and phosphorus cycles dynamics in soils”. *Rev. Colomb. Biotecnol.* (2012) S.l.: no. 1. .
- EPA,** “Flame atomic absorption spectrophotometry”. [en línea], 2007. [Consulta: 11 January 2022]. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/7000b.pdf>.
- ESPINOZA, J.; & MOLINA, E.** “Acidez y encalado de los suelos”. [en línea], 1999. [Consulta: 1 January 2022]. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/35E6134F83790877852580120071C1C7/\\$FILE/Art%203.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/35E6134F83790877852580120071C1C7/$FILE/Art%203.pdf).

- FERNANDO, E.; RODRIGUEZ, T.; ALFREDO, P.; & BUSTAMANTE, Á.** “Caracterización de sedimentos de la laguna el paraíso, huacho, región lima”. [en línea]. 2009. S.l.: Disponible en: <http://suelosrocasymas.blogspot.com/2009/03/tipo-de-suelo-y-rocas.html>.
- FROLLA, F.; & ZILIO, J.** “Variabilidad espacial de la profundidad del suelo”. *Métodos de interpolación. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, (2015) .vol. 41, no. 3, pp. 309–319. .
- FUENTES, M.; ROJAS, L.; DIAZ, A.; & MARTÍNEZ, G.** “Distribución de metales pesados en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, Sucre, Venezuela”. *Revista de Biología Tropical*, (2010). ISSN 00347744. vol. 58, no. SUPPL. 3, pp. 129–140. .
- GANDARILLAS, H.; & MONTAÑO, G.** “Propiedades hidrofísicas del suelo para implementar sistemas de riego en medio semiárido (centro rivera – altiplano central boliviano)”. [en línea], 2013. [Consulta: 14 December 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org/bo/pdf/rriarn/v1n1/v1n1_a10.pdf.
- GARCÍA, J.; & CAMACHO, A.** “Muestreo en aguas microaeróbicas y anóxicas en lagos y embalses estratificados”. *Asociación Española de Limnología*, (2018).no. July 2001.
- GARCÍA, L.; SOTO, M.; JARA, M.; & GÓMEZ, A.** “Fracciones geoquímicas de cd, cu y pb en sedimentos costeros superficiales de zonas ostrícolas del estado de sonora, México”. *Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Apartado Postal. Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, (2004). vol. 20, pp. 159–167.
- GIMENO, E.; VICENTE, G.; PÉREZ, A.; & MARTÍ, E.** “Niveles de cd, co, cr, cu, ni, pb y zn en los suelos de ribera de la cuenca del río turia maría larios bayona”. [en línea]. 2014. S.l.: [Consulta: 27 December 2021]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjyypzZ4If1AhWtRjABHR_EARIQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2Fdigital.csic.es%2Fbitstream%2F10261%2F141280%2F1%2FTesis-Larios.pdf&usq=AOvVaw3sC-eYD8X05Lo2jYAe9Ga3.

GÓMEZ, M. “El Manganeso y la Viticultura: una revisión”. [en línea]. 2014. S.l.: [Consulta: 30 April 2022]. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/publicaciones/MANGANESO%20Y%20VITICULTURA_tcm30-89512.pdf.

GÓMEZ, M.; & SOTÉS, V. “El Manganeso y la Viticultura: una revisión. Ministerio De Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente”, (2014). pp. 84-89.

ISO 5667-3. “Toma de muestras de sedimentos”. [en línea]. 2019. S.l.: [Consulta: 2 January 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/215330221-Pich-303-toma-de-muestras-de-sedimentos.html>.

IWAN, A.; GUERRERO, E.; ROMANELLI, A.; & BOCANEGRA, E. “Valoración económica de los servicios ecosistémicos de una Laguna del sudeste bonaerense (Argentina)”. *Investigaciones Geográficas* [en línea], 2017. [Consulta: 13 December 2021]. ISSN 0213-4691. DOI 10.14198/ingeo2017.68.10. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj8yd2qxOL0AhVjRjABHbwwDBEQFnoECAMQAQ&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F6237581.pdf&usg=AOvVaw1kFuU1CITY_wOZUgf0_biTno. 68, pp. 173. .

IZQUIERDO, R.; & VENEGAS, S. “La materia orgánica del suelo”. [en línea]. 2009. S.l.: [Consulta: 19 February 2022]. Disponible en: <https://www.ugr.es/~cjl/MO%20en%20suelos.pdf>.

JODRAL, A.; NAVARRO, M.; LÓPEZ, H.; & LÓPEZ, M. “Contenido de magnesio y calcio en aguas del área costera Mediterránea del sureste de España y su relación con la actividad industrial”. *Ars Pharmaceutica*, (2007). ISSN 00042927. vol. 48, no. 2, pp. 145–156.

JUÁREZ, P.; & VACA, R. “Determinación de factores de enriquecimiento y geoacumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn”. *Ciencia Ergo Sum*, (2005). vol. 12, pp. 155–161. .

KARLANIAN, M. “El Color del Suelo como Indicador de su Fertilidad”. [en línea]. 2015. S.l.: [Consulta: 16 March 2022]. Disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El%20Color%20del%20Suelo%20como%20Indicador%20de%20su%20Fertilidad.pdf>.

KEATS, J. “Estudio de la movilización de metales pesados”. [en línea]. 2016. S.l.: [Consulta: 15 December 2021]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11036/Tasm11de16.pdf?sequence=11>.

LAWSON, R.; & WINCHESTER, W. “A standard crustal aerosol as a reference for elemental enrichment factors”. *Atmospheric Environment* (1967). ISSN 00046981. DOI 10.1016/0004-6981(79)90003-9. vol. 13, no. 7, pp. 925–930. .

LILLO, J. “Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas”. [en línea]. 2015. S.l.: Disponible en: http://phys4.harvard.edu/%7EWilson/arsenic/pictures/arsenic_project_pict.

LINHARES, D.; PIMENTEL, A.; BORGES, C.; CRUZ, J.; GARCIA, P.; & RODRIGUES, A. “Cobalt distribution in the soils of São Miguel Island (Azores): From volcanoes to health effects”. *Science of the Total Environment* [en línea], 2019. [Consulta: 28 April 2022]. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.05.359. Disponible en: [https://tahomaclinic.com/Private/Articles1/Cobalt/Linhares%202019%20-%20Cobalt%20distribution%20in%20the%20soils%20of%20Sao%20Miguel%20Island%20\(Azores\)%20From%20volcanoes%20to%20health%20effects.pdf](https://tahomaclinic.com/Private/Articles1/Cobalt/Linhares%202019%20-%20Cobalt%20distribution%20in%20the%20soils%20of%20Sao%20Miguel%20Island%20(Azores)%20From%20volcanoes%20to%20health%20effects.pdf) vol. 684, pp. 715–721. .

LLAMBÍ, L.; & CUESTA, F. “La Diversidad De Los Páramos Andinos En El Espacio Y En El Tiempo”. *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*, (2013). ISSN 0140-1963. pp. 549–579. .

LLOSA, Z. “Problemática de los ciclos biogeoquímicos, hidrológico y de nutrientes en la meseta central de Costa Rica. Posgrado y Sociedad”, (2010). vol. 10, no. 1, pp. 23–37. .

LONDOÑO, L.; MUÑOZ, P.; & GARCIA, F. “Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal”. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, (2016). ISSN 1909-9959. DOI 10.18684/bsaa(14)145-153. vol. 14, no. 2, pp. 145. .

ANEXOS

ANEXO A: VISITA A LAS ZONAS DE ESTUDIO





ANEXO B: TRITURACIÓN Y SECADO DE LAS MUESTRAS







ANEXO C: ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS









ANEXO D: ANÁLISIS DE METALES PESADOS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA







CERTIFICADO

A QUIEN INTERESE:

CERTIFICO QUE: Steve Frank Hidalgo Moreta, con cédula de identidad: 180573765-5 y Melvin Joel Gualli Lema, con cédula de identidad: 060523262-8 estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental, desarrollarán el proyecto de titulación "DETERMINACIÓN DEL ENRIQUECIMIENTO DE METALES PESADOS EN LAS LAGUNAS DE COLTA Y YAMBO EN LA ZONA 3 DEL ECUADOR", mismo que forma parte del Proyecto de Investigación IDIPI-234 "Los sistemas lacustres del centro del Ecuador como fuente o sumideros de dióxido de carbono como determinante para su conservación" del Instituto de Investigaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, dirigido por mi persona.

Este proyecto de titulación contribuirá a la consecución de los objetivos propuestos en el mencionado proyecto de investigación, razón por la cual se otorga el **AVAL** para la realización de las diferentes actividades y el apoyo técnico que así lo requiera el estudiante.

Cabe mencionar que el patrimonio intelectual de los resultados que se obtengan del proyecto de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de noviembre de 2021

Atentamente,

NORMA SOLEDAD ERAZO SANDOVAL
Firma digitalmente por
NORMA SOLEDAD ERAZO
SANDOVAL
Fecha: 2021.11.12 2001:31
-05'00"

Dra. Norma Erazo Sandoval

DIRECTORA SUBROGANTE

PROYECTO IDIPI-234



esPOCH

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 / 06 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: Melvin Joel Gualli Lema

Steve Frank Hidalgo Moreta

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: Ciencias

Carrera: Ingeniería Ambiental

Título a optar: Ingeniero Ambiental

f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.



Firmado electrónicamente por:
**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

1122-DBRA-UTP-2022