



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

**Trabajo de fin de Carrera Titulado:
APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA
CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LOS SEDIMENTOS DE LA
LAGUNA DE LIMONCOCHA.**

**Realizado por:
XIMENA PATRICIA TAPIA YÉPEZ**

**Director del proyecto:
Ing. Emma Ivonne Carrillo Paredes, Msc**

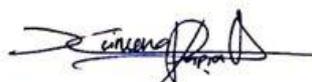
**Como requisitos para la obtención del título de:
INGENIERA QUIMICA**

Quito, 28 de julio de 2017

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, XIMENA PATRICIA TAPIA YÉPEZ, con cédula de identidad #1721448536, declaro bajo juramente que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Ximena Patricia Tapia Yépez
C.I. 1721448536

DECLARATORIA

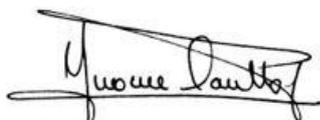
El presente trabajo de investigación titulado:
**APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR
LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LOS SEDIMENTOS
DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA.**

Realizado por:
XIMENA TAPIA YÉPEZ

Como Requisito para la Obtención del Título de:
INGENIERA QUIMICA

Ha sido dirigido por la profesora
IVONNE CARRILLO PAREDES

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Emma Ivonne Carrillo Paredes

DIRECTORA

PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

WALBERTO GALLEGOS

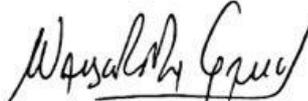
JEFFERSON RUBIO

Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante

El tribunal examinador


Jefferson Rubio


Walberto Gallegos

Quito, 28 de JULIO de 2017

DEDICATORIA

A Diego Tapia, quien es y será siempre mi orgullo y mi modelo a seguir, quien con todos sus conocimientos entretiene cada segundo de mi vida, quien me enseñó a valorar los pequeños instantes de la vida, quien tiene arte en sus ojos.

A mi familia, por estar apoyándome en cada circunstancia, por el amor y la paciencia.

A mis amigos, quienes estuvieron en las buenas y en las peores, quienes me regalaron un abrazo o una sonrisa.

AGRADECIMIENTO

A mi familia por el apoyo incondicional durante tantos años.
A Ivonne Carrillo por su conocimiento impartido al realizar este proyecto de investigación,
por la entrega con sus alumnos y por ser una amiga, un hombro y un pañuelo cuando
necesitaba una luz.

A las personas que pasaron por mi vida, y ahora no están.

A las nuevas personas que llegaron cuando debían llegar. Sintiéndolas tan cerca, sin importa
lo lejos que estemos.

A mis amigos que, al leer, sabrán quienes son.

16/05/2017 9:11:47

Para someter a: *Rev. Int. Contaminantes del Ambiente*
To be submitted : *Rev. Int. Contaminantes del Ambiente*

Aplicación de las reacciones de quelación como método de secuestro de metales pesados en los sedimentos de la Laguna de Limoncocha.

Ximena Tapia¹, Ivonne Carrillo^{1*}

¹ Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. 16/05/2017 9:12:27 *AUTOR DE CORRESPONDENCIA: MSc. Ivonne Carrillo, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

Telefono: +593 99 917 5933; email: emma.carrillo@uisek.edu.ec

Título corto o Running title: aplicación de las reacciones de quelación para la disminución de metales pesados.

Resumen.

En el Cantón Shushufindi, Parroquia Limoncocha, se encuentra la Reserva Biológica de Limoncocha, donde se han realizado varios estudios científicos sobre la presencia de metales pesados en agua, suelo y sedimentos, En el siguiente proyecto de investigación se busca disminuir la contaminación de distintos metales pesados presentes en los sedimentos de la Laguna de Limoncocha por medio de un proceso de secuestro de estos por medio de la formación de un quelato, el mismo que atrapa al metal en su estructura. Para esto, se realizará en primer lugar la optimización del agente quelante EDTA analizando su poder de quelación con los metales Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , una vez optimizado el proceso, se procede a realizar la quelación de los metales presentes en muestras de sedimento del centro de la laguna, con el fin de lograr la inertización de los metales y así disminuir la actividad de los mismos protegiendo a los organismos vivos presentes como fauna y flora en la laguna.

Palabras clave: EDTA, quelato, complejos, secuestro, ligando, constante de estabilidad.

Abstract.

In the Shushufindi Canton, parish Limoncocha, is the Biological Reserve of Limoncocha where a number of scientific studies have been made on the presence of heavy metals in water, soil and sediments. In the following research project. The following research project seeks to reduce the contamination of different heavy metals in the sediments of the Lagoon of Limoncocha through a process of sequestration by a complexometric reaction producing a chelate, the same that grabs the metal in its structure. For this will be carried out in the first place the optimization of the chelating agent EDTA analyzing its power of chelation with metals Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , once the process is optimized, proceeds to perform the chelation of the metals present in the samples of sediment from the center of the lagoon, with the aim of achieving the inerting of metals and thus decreasing the activity of the same, protecting living organisms present in the lagoon as fauna and flora.

Key words: EDTA, chelate, complexes, sequestration, ligand, equilibrium constant.

Introducción.

Hoy en día los temas del calentamiento global y la contaminación atraen la atención de todos los sectores de la población, tanto en el ámbito social, económico y sobre todo político. La contaminación antropogénica es el mayor problema en el mundo, la producción a gran escala, el consumismo, la cultura y el modelo económico en el cual se sostiene la economía, han aportado significativamente para que los límites permitidos lleguen a picos de contaminación nunca antes vistos. La quema de combustibles fósiles, la descarga de aguas residuales, la incineración de basura, las pinturas, el desecho de envases, la actividad minera y petrolera, los desechos sólidos domésticos e industriales, el exceso en el uso de fertilizantes y productos químicos, entre otros, son factores de contaminación que van en aumento a medida que crece la población. (Sarmiento, D. 2013), En el Ecuador y en especial en la Laguna de Limoncocha, se han realizado una serie de investigaciones científicas en relación a la presencia de metales pesados en sedimentos, agua y suelo, se puede citar entre ellas las tesis de grado de Carrillo (2016) y Agurto (2016), las mismas que se han generado por la preocupación que los metales pesados causan al medio ambiente y a los seres vivos que lo habitan.

El presente proyecto de investigación propone aplicar las reacciones de quelación para el secuestro de metales pesados presentes en los sedimentos de la laguna de Limoncocha mediante el uso de EDTA (ácido etilendiaminotetracético), un agente quelante soluble en agua, que dará lugar a la formación de complejos metálicos, con el fin de proponer a futuro un proceso de monitoreo de los metales que entran a través de los ríos a la laguna.

El objetivo principal del proyecto es evaluar la viabilidad de la secuestro de metales pesados en los sedimentos de la Laguna por medio de la formación de complejos mediante reacciones de quelación con un agente quelante EDTA y determinar la concentración óptima de EDTA para lograr una quelación significativa de los metales pesados a analizar.

Los resultados de este trabajo analizan la opción del uso de agentes quelantes para disminuir el efecto contaminante de los metales pesados en los sedimentos de la laguna,

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

logrando una inertización de los metales y así evitar la bioacumulación en los organismos vivos y la movilidad de los mismos, con la evidente preservación de la flora y la fauna de la Laguna de Limoncocha y el incremento en el nivel de vida de los habitantes.

En la actualidad las tecnologías de remediación de sedimento contaminado por metales pesados han venido cobrando mayor importancia para el cuidado, preservación y conservación del medio ambiente. Las reacciones de quelación han sido una de las técnicas ya utilizadas para el tratamiento de suelos, aguas y sedimentos cambiando las formas en las cuales los metales existen en el medio para reducir la movilidad y la biodisponibilidad en el medio ambiente, funcionando así, como un agente de estabilización química. La ventaja de esta técnica es la alta eficiencia y el bajo costo, la desventaja es que no se puede determinar su estabilidad al largo plazo, debido a que constantemente el lavado de sedimentos permite remover metales pesados que deben ser sometidos al proceso de quelación dificultando la preservación de las propiedades biológicas del suelo (Deng, Zhang, Li, & Luyao, 2016).

Los metales pesados presentes en los sedimentos pueden ser liberados en la columna de agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos, de tal forma que los sedimentos pueden actuar como portadores de posibles fuentes de contaminación de agua. (Rosas, 2001).

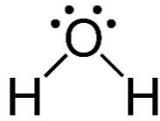
Entre los principales quelantes orgánicos se incluyen el EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), NTA (ácido nitrilotriacético), DPTA (ácido dietilentriaminopentaacético). Se utiliza EDTA debido que contiene O y N lo que da lugar a que sea eficiente para formar complejos estables en razón 1 a 1 con prácticamente todos los metales de la tabla periódica. (Deng, Zhang, Li, & Luyao, 2016).

La quelatación es la habilidad de un compuesto químico para formar una estructura en anillo con un ion metálico, resultando en un compuesto con propiedades químicas diferentes a

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

las del metal original. (El quelante impide que el metal siga sus reacciones químicas normales) (Walco, 1997).

La molécula de agua, por su estructura y por ser molécula polar, presenta un par de electrones no compartidos.



Al poner en contacto el agua con metales pesados como Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , estos forman complejos acuosos representados por la fórmula: $[\text{M}(\text{HOH})_n]^{m+}$, por ejemplo, el cobre forma el complejo: $[\text{Cu}(\text{HOH})_4]^{2+}$. Los iones metálicos en solución se presentan en una forma altamente hidratada; esto quiere decir que se encuentran rodeados por moléculas de agua, estas moléculas van a variar dependiendo de los metales que los rodee, al añadir un agente quelante, en este caso EDTA se da lugar al reemplazo de estas moléculas de agua por una molécula de este agente quelante, de tal forma que se formará una estructura de anillo orgánico, a este proceso se le denomina quelatación. La molécula resultante de esta interacción, es decir a la cual se le reemplazo el agua se la llama "Ligando". Dependiendo del número de coordinación del metal, se formará el número de anillos. Por lo tanto, el número de coordinación corresponde al número de sitios del ligando que pueden formar uniones de coordinación. Es decir, un ligando con 2 sitios se llama bidentado, un ligando con 4 sitios se llama tridentado y así sucesivamente (Walco, 1997).

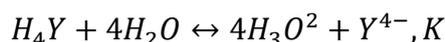
Para entender la funcionalidad del agente quelante que se va a utilizar, (en este caso EDTA), se debe definir en primer lugar lo que son los compuestos de coordinación, y conocer primero que es un complejo. Se define como complejo a la molécula formada por un ion o átomo central rodeado por un conjunto de ligantes, a su vez el ligante o ligando es cualquier átomo o molécula capaz de actuar como donante de electrones, en uno o más enlaces coordinados y puede existir independientemente. Así, un compuesto de coordinación es un

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

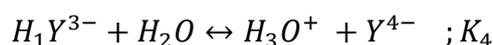
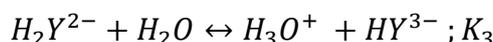
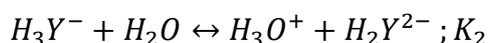
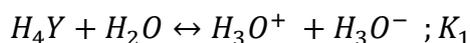
complejo neutro o un compuesto iónico en el que al menos uno de los iones sea un complejo (Pérez, 2013).

La reacción ácido- base de Lewis es una reacción de formación de complejos, en la cual el ligando actúa como la base donando un par de electrones al catión que es el ácido. Para dar lugar a las reacciones de formación de complejos se debe representar la forma acida del EDTA como H_4Y . (Pérez, 2013).

Empleando el EDTA o H_4Y , como ejemplo de un ligante polidentado,



Se observa que:



Como el EDTA es un ácido tetraprótico, la especie predominante dependerá de su variación en el pH. A valores de $pH > 10$, la especie predominante es Y^{4-} , cuando los valores de Ph están entre 7 y 10 predomina HY^{3-} , entre valores de pH 3 y 6 predomina la especie H_2Y^{2-} , con valores de pH entre 2 y 3 predomina H_3Y^- y con valores de $pH < 2$ predomina H_4Y . Entonces es de interés la fracción de EDTA como Y^{4-} es decir la formación de complejos a pH básico.

Se pueden escribir las expresiones para las constantes de equilibrio que se muestran a continuación:

$$[H_1Y^{3-}] = \frac{[H_3O^+][Y^{4-}]}{K_4} \quad Ec (1)$$

$$[H_2Y^{2-}] = \frac{[H_3O^+][H_1Y^{3-}]}{K_3} = \frac{[H_3O^+]^2[Y^{4-}]}{K_3K_4} \quad Ec (2)$$

$$[H_3Y^-] = \frac{[H_3O^+][H_2Y^{2-}]}{K_2} = \frac{[H_3O^+][Y^{4-}]}{K_2K_3K_4} \quad Ec (3)$$

$$[H_4Y] = \frac{[Y^{4-}][H_3Y^-]}{K_1} = \frac{[H_3O^+]^4[Y^{4-}]}{K_1K_2K_3K_4} \quad Ec (4)$$

Se realiza un balance de materia y se define Cy como la concentración total del anión libre.

$$Cy = [Y^{4-}] + [H_1Y^{3-}] + [H_2Y^{2-}] + [H_3Y^-] + [H_4Y] \quad Ec (5)$$

Reemplazando las expresiones de equilibrio anteriores se obtiene:

$$Cy = [Y^{4-}] + \frac{[H_3O^+][Y^{4-}]}{K_4} + \frac{[H_3O^+]^2[Y^{4-}]}{K_3K_4} + \frac{[H_3O^+]^3[Y^{4-}]}{K_2K_3K_4} + \frac{[H_3O^+]^4[Y^{4-}]}{K_1K_2K_3K_4}$$

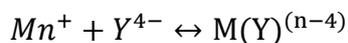
$$Cy = [Y^{4-}]\left(1 + \frac{[H_3O^+]}{K_4} + \frac{[H_3O^+]^2}{K_3K_4} + \frac{[H_3O^+]^3}{K_2K_3K_4} + \frac{[H_3O^+]^4}{K_1K_2K_3K_4}\right)$$

Y el término en paréntesis se agrupa y se designa como α

$$[Y^{4-}] = \frac{Cy}{\alpha} \quad Ec (7)$$

En la ecuación (7) Y^{4-} representa la disponibilidad que existe del ligante para formar complejos, de tal forma que dependerá de $[H_3O^+]$, ya que a mayor valor de $[H_3O^+]$, menor será la disponibilidad, Y^{4-} .

Del mismo modo, la forma general de formación de complejos ion- metal- ligante 1:1



La constante de equilibrio es:

$$K = \frac{[M(Y)^{(n-4)}]}{[Mn^+][Y^{4-}]}$$

Reemplazando en la ecuación (7):

$$\frac{K}{\alpha} = \frac{[M(Y)^{(n-4)}]}{[Mn^+]Cy}$$

En literatura se puede encontrar al valor de K/α como la constante de formación condicional y varía con respecto al pH. Al aumentar el pH, disminuye el valor de α , aumentando el valor de

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

la constante de formación condicional. A valores de $\text{pH} > 10$ donde la especie que predomina es Y^{4-} , α se aproxima a la unidad. (Cabrera, 2012).

Estas constantes de formación se expresa como la fuerza que tiene un ligante en relación con la fuerza de las moléculas del disolvente que en la mayoría de las ocasiones es agua (Pérez, 2013). La aplicación de los complejos es bastante extensa, pero lo más usuales son los quelatos: se caracterizan por tener una gran variedad de aplicaciones, las cuales sirven para separación de iones metálicos en soluciones, o para determinación de los mismos en muestras. Estas aplicaciones son muy utilizadas en la industria alimenticia, química, ambiental, entre otras (Pérez, 2013).

Desde el punto de vista químico- agrícola el agente quelante permite que éste permanezca estable, evitando las posibles reacciones del mismo con otros elementos del medio en que se encuentre ya sea en suelo o disolución. En muchas ocasiones las plantas presentan incapacidad para absorber determinado nutriente por lo que es necesario que se aplica EDTA como agente quelante, por ejemplo, si existiese una carencia de calcio en un terreno con pH básico no es aconsejable adicionar calcio como sulfato de calcio directamente al suelo ya que este se disolverá en el agua de riego, entrando a formar parte del suelo o sedimento, precipitando en carbonato de calcio, insoluble y por lo tanto no asimilable para las raíces de la planta. Pero si se adiciona calcio con el EDTA, el calcio no sufrirá dicha reacción, ya que el agente quelante encapsula, protege a la molécula de calcio frente a reacciones con otros compuestos del suelo, lo cual permite que el calcio sea fácilmente absorbido por las raíces de la planta. Esto pretende que no se precipite en el medio extracelular y a su vez sirve para agregar una dosis relativamente grande sin que sea fitotóxico. (Perea, Ojeda, Hernández, Ruiz, & Martínez, 2010).

El uso de este agente quelante permite reducir el uso de grandes cantidades de fertilizantes para el suelo o sedimento. Por ende, permite conservar y preservar la calidad y estado del sedimento, de tal forma que el agente quelante proporciona al ion, una adsorción mayor debido a que las

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

raíces tienen más afinidad por el quelato calcio- EDTA que por el calcio solo. (Perea, Ojeda, Hernández, Ruiz, & Martínez, 2010).

Es muy importante tener en cuenta la peligrosidad de un metal en el suelo o sedimento, esto va a depender de la biodisponibilidad del metal presente en el sistema. Es decir, la cantidad de metal que ingrese a formar parte de la cadena alimentaria a través de las plantas, desencadenando los mismos procesos y acciones en los ecosistemas acuáticos y la afectación que genere sobre la calidad del suelo o sedimento. (Agurto, 2016).

Cabe resaltar, no todas las formas químicas son tóxicas para los organismos, dependerá de la concentración total del metal, estas incluyen iones libres y metales liposolubles. Como resultado, el estudio en la fracción biodisponible o móvil de metales ligados a sedimentos es más importante que la concentración total del metal en las corrientes fluviales. (Rosas, 2001).

La concentración de metales pesados puede llegar a ser muy perjudicial para la salud de las personas, se puede llegar a tener una toxicidad aguda o crónica por metales pesados, la toxicidad aguda por metales suele ocurrir después de la ingestión de compuestos que contienen metales o por inhalación de concentraciones elevadas de polvos o humos de metales (LaDou, Diagnóstico y tratamiento en medicina laboral y ambiental, 2011).

Por otro lado, la toxicidad crónica por metales se explica con la exposición permanente a concentraciones bajas de metales, se producen alteraciones fisiológicas como efectos circulatorios, nefrotoxicidad, toxicidad reproductiva y carcinogenicidad (LaDou, Diagnóstico y tratamiento en medicina laboral y ambiental, 2011)

Para los distintos metales que se analizan en el presente trabajo se tienen límites de exposición que se requiere cumplirlos para preservar la salud de las personas.

Materiales y Métodos

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

La Universidad Internacional SEK dispone de la Estación Científica de Limoncocha, en la Reserva Biológica ubicada en la Provincia de Sucumbíos en la Amazonía Ecuatoriana. Se encuentra en el antiguo Centro del Instituto Lingüístico de Verano.

En la tabla siguiente se muestran las características generales de la Laguna de Limoncocha. (Carrillo 2016).

Tabla No 1: Fuente:Carrillo,2016

Parámetro	Unidad	Valor
Longitud máxima	Km	3.0
Ancho máximo	Km	1.06
Ancho medio	Km	0.76
Área total	km ²	2.28
Longitud de la línea costera	Km	8.54
Profundidad máxima	M	3.0
Profundidad media	m	1.9
Volumen	m ³	4350483
Tiempo de residencia	días	11.57
Caudal medio mensual	m ³ /s	13.0
Altitud sobre el nivel del mar	msnm	210

Las muestras para la presente investigación se tomaron de los sedimentos de la zona profunda de la Laguna, como se muestra en la figura (1) en su estrato superficial.

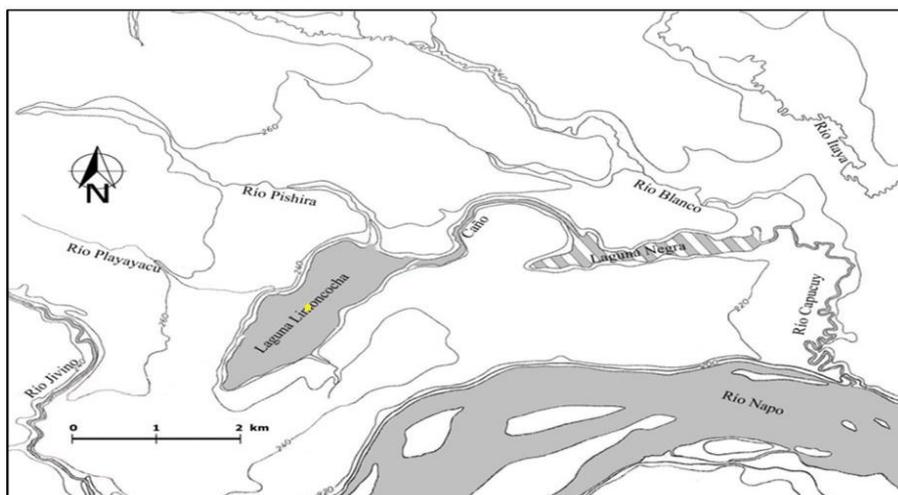


Figura 1: Estación de muestreo ubicada en la Laguna de Limoncocha (Fuente: Ivonne Carrillo)

En la tabla siguiente se muestra de acuerdo a autores anteriores la presencia de los metales pesados en sedimentos

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Tabla 2: fuente: Robalino,R. 2017

Punto	Mes muestreo	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Zona Profunda	Septiembre	17,2	42,7
	Noviembre	14,7	28,2
	Enero	6,1	20,6
	Marzo	N.D	383,6

Tabla 3: fuente:Ochoa,J.2017

punto	mes muestreo	Fe (mg/kg)	Cu(mg/kg)
Zona Profunda	Septiembre	19,773	88,69
	Noviembre	22,647	90,31
	Enero	22,569	97,04
	Marzo	20,929	100,1

Tabla 4: fuente: Estrella, M. 2017

Punto	Mes muestreo	Pb mg/kg
Zona profunda	septiembre	115,162
	Noviembre	3,275
	Enero	N.D
	Marzo	1,333

Estos metales en general son bioacumulables por lo que presentan un peligro para la vida acuática y silvestre presente en la laguna, se encuentra una variación de la concentración de metales a diferentes profundidades y en diferentes periodos de tiempo.

Tratamiento de muestras:

Las muestras extraídas de los sedimentos de Zona Profunda de la Laguna se las somete a un secado al aire, luego son molidas manualmente en un mortero con pistilo, seguido de ello se realiza un tamizado bajo 0.007 pulgadas, se determina el contenido de humedad colocando 15

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

gramos de la muestra tamizada en un crisol y secado en la estufa a 105°C para proceder con el cálculo. Se realizará 5 soluciones de distintas concentraciones de EDTA para el procedimiento.

Tabla No 5

SOLUCIONES	CONCENTRACION EDTA (M)
0	BLANCO
1	0,01 M
2	0,05 M
3	0,1 M
4	0,15 M
5	0,20 M

Estas diferentes soluciones de EDTA van a reaccionar con una solución de un metal de concentración conocida y constante de 100 ppm, colocando, en seis tubos de ensayo, para seis pruebas diferentes, un ml de esta solución, con un ml de las distintas soluciones de diferentes concentraciones de EDTA. Se realiza la cuantificación de los metales vía absorción atómica de llama, mediante el equipo AAnalyst 200 de la casa comercial Perkin Elmer ® y mediante el método de espectrofotometría utilizando el equipo UV-VIS DR 4000® y utilizando el estándar métodos para hierro, cobre, zinc, níquel y plomo. Los datos obtenidos son útiles para determinar el nivel de secuestro del EDTA en los cinco metales analizados.

Una vez determinada la acción del EDTA sobre los metales, se procede a realizar las pruebas en las muestras de sedimento de la Zona Profunda de la Laguna de Limoncocha. Se inicia con la digestión de un gramo de la muestra de sedimento siguiendo el método indicado en la norma EPA 3050 B, con la muestra digestada se procede a medir la concentración de metales antes y después de la adición del EDTA, de acuerdo con la metodología antes descrita, que se muestra a continuación.

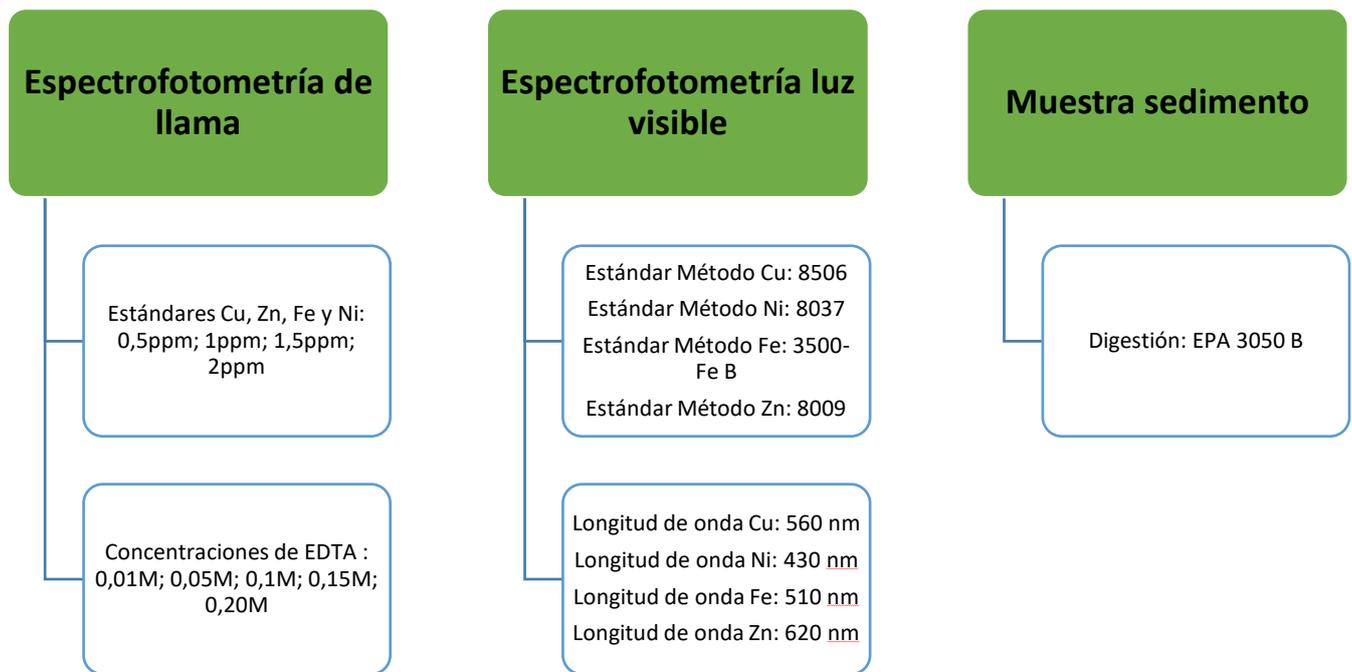


Figura No 2

Resultados.

En base a los datos indicados en los que se muestra que los metales estudiados presentan concentraciones por encima de los niveles establecidos por la Normativa Columbia Británica en zinc, hierro, cobre y plomo, y para el níquel se utilizó La Agencia de protección Ambiental EPA como se muestra en la tabla (20).

A partir de esto se realiza el proceso de quelación para determinar el porcentaje de disminución del metal activo en la Laguna de la Reserva Biológica de Limonocha. En las tablas (2), (3) y (4) se señala las concentraciones de las investigaciones anteriores durante los meses de septiembre, noviembre, enero y marzo en el año 2016 en el punto de muestreo “Zona Profunda”. A continuación, se muestran las tablas de los datos obtenidos para cada uno de los metales objeto de análisis con los respectivos resultados antes y después del proceso de quelación

Zinc:

- a. **Determinación de la recta de concentración donde se establece la absorbancia a varias concentraciones de Zinc**

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

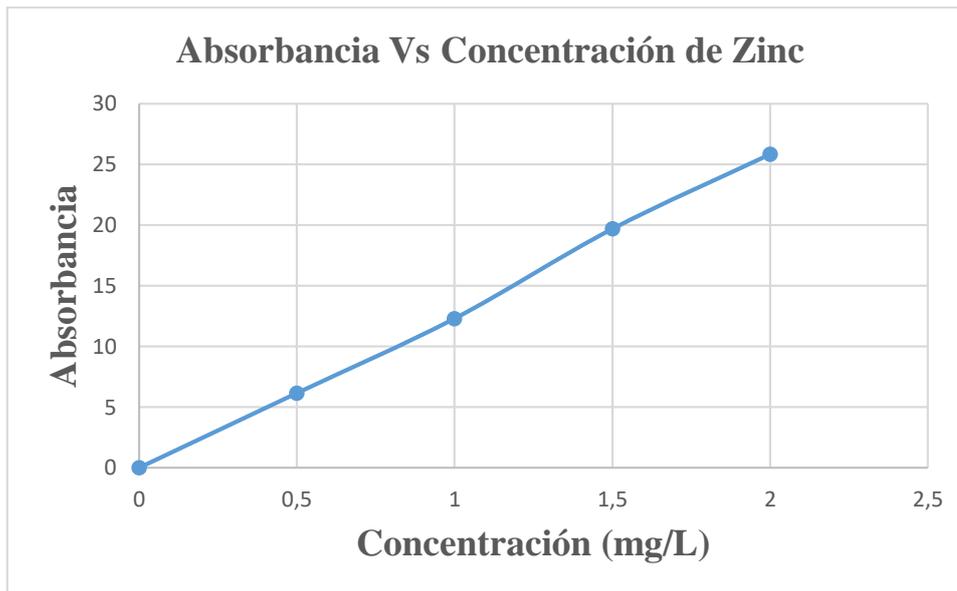
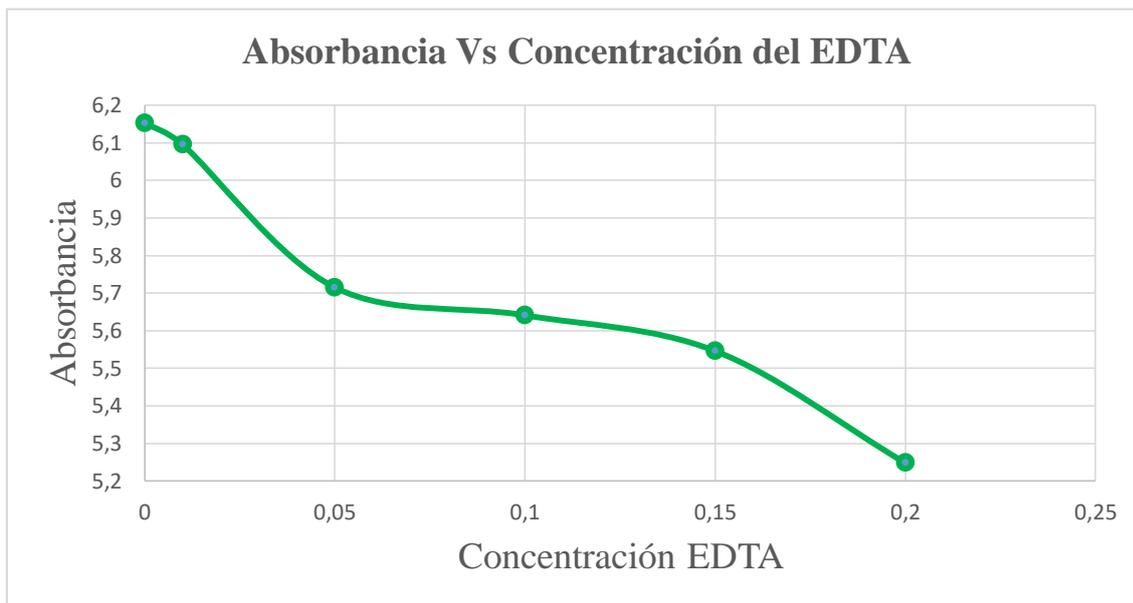


Figura No 3: recta de concentración de Zinc

Quelación de Zinc en espectrofotometría de llama

Tabla No 6

Concentración de Zn (0.5 ppm)			
concentración EDTA (M)	ABS del Zinc	Concentración	% de concentración que disminuye por efecto del quelato
0	6,152	0.5	0
0,01	6,095	0.495	1
0,05	5,715	0.464	7,2
0,1	5,641	0.458	8,4
0,15	5,546	0.451	9,8
0,20	5,248	0.427	14,6



Al

Figura No 4: Absorbancia del zinc Vs Concentración de Zinc por espectrofotometría de llama

Grafico concentración de EDTA Vs concentración de Zinc

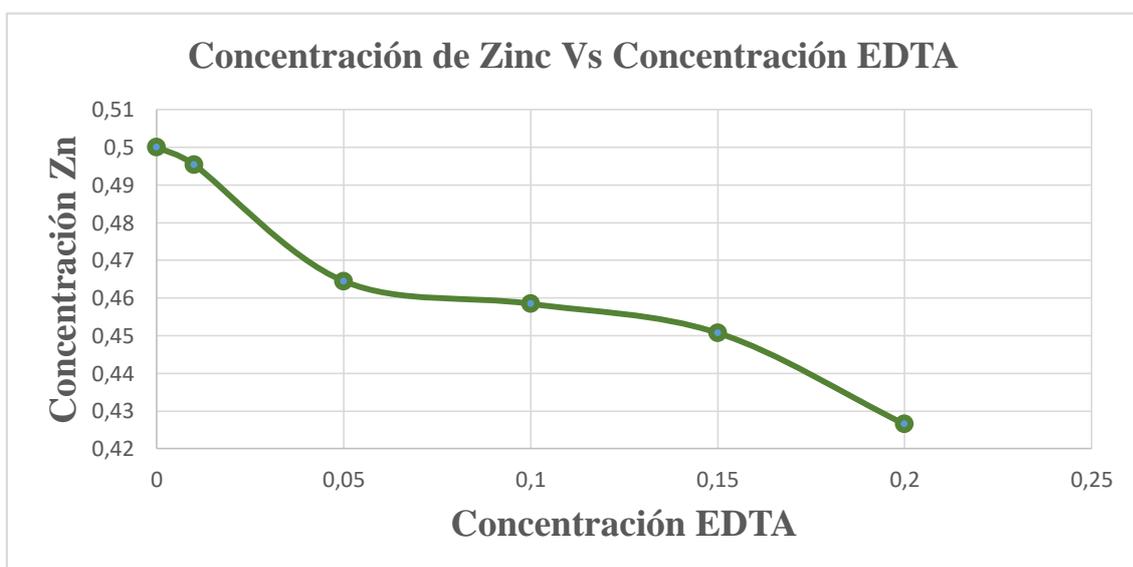


Figura No 5: Concentración EDTA Vs concentración de Zinc

Analizar Zinc en AA de llama los resultados que se obtuvieron demuestra que con la concentración más alta de EDTA de 0.20M, disminuyó la concentración del metal de 6,152 mg/kg a 5.248 mg/kg es decir 14,6%.

Níquel

- a. **Determinación de la recta de concentración donde se termina la absorbancia a varias concentraciones de Níquel.**

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

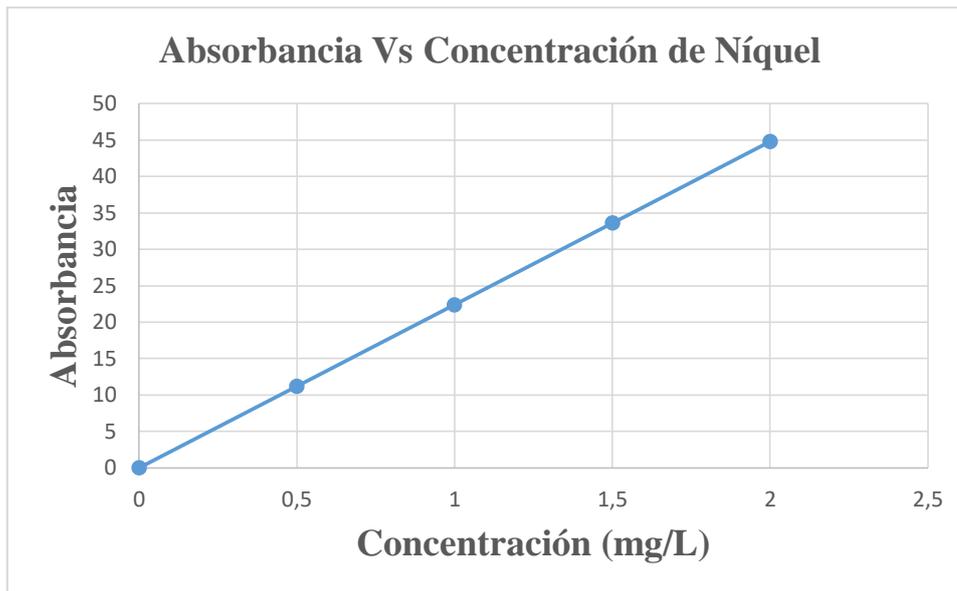


Figura No 6: Recta de concentración de Níquel.

Quelación de Níquel en espectrofotometría de llama

Tabla No 7

Concentración de Ni (0.5 ppm)			
concentración EDTA (M)	ABS del Níquel	Concentración	% de concentración que disminuye por efecto del quelato
0	11,217	0,5	0
0,01	9,586	0,427	14,6
0,05	7,87	0,351	29,8
0,1	4,08	0,182	63,6
0,15	3,216	0,143	71,3
0,2	0,703	0,031	93,7

Gráfico concentración de EDTA Vs concentración de Níquel

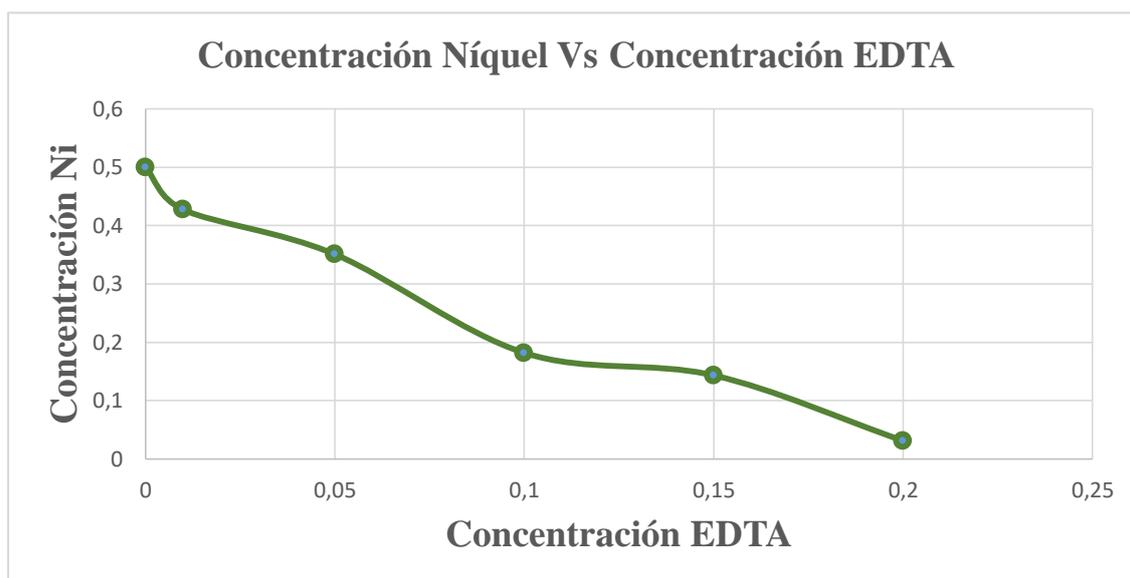


Figura No 8: Concentración EDTA Vs Concentración Níquel.

Al analizar Ni en AA de llama se obtuvo una quelación parcial del metal como podemos observar en los datos obtenidos de la tabla (7) a partir de una concentración de 11.217 mg/kg se redujo a 0.703 mg/kg es decir 93,73% con su concentración más alta de EDTA de 0.20M.

Cobre

- a. **Determinación de la recta de concentración donde se termina la absorbancia a varias concentraciones de Cobre.**

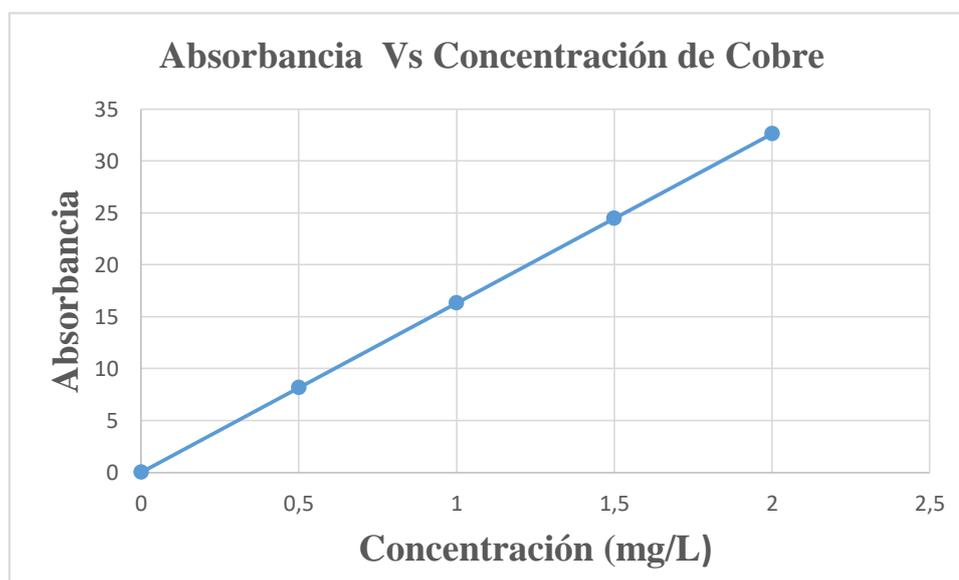


Figura No 9: Recta de concentración de Cobre

Quelación de Cobre en espectrofotometría de llama

Tabla No 8

Concentración de Cu (0.5 ppm)			
concentración EDTA (M)	ABS de Cobre	Concentración	% de concentración que disminuye por efecto del quelato
0	8.152	0.5	0
0,01	8,04	0.493	1,4
0,05	7,818	0.479	4,1
0,1	2,964	0.182	63,6
0,15	-0,216	-0.013	102,6
0,2	-0,414	-0.025	105,1

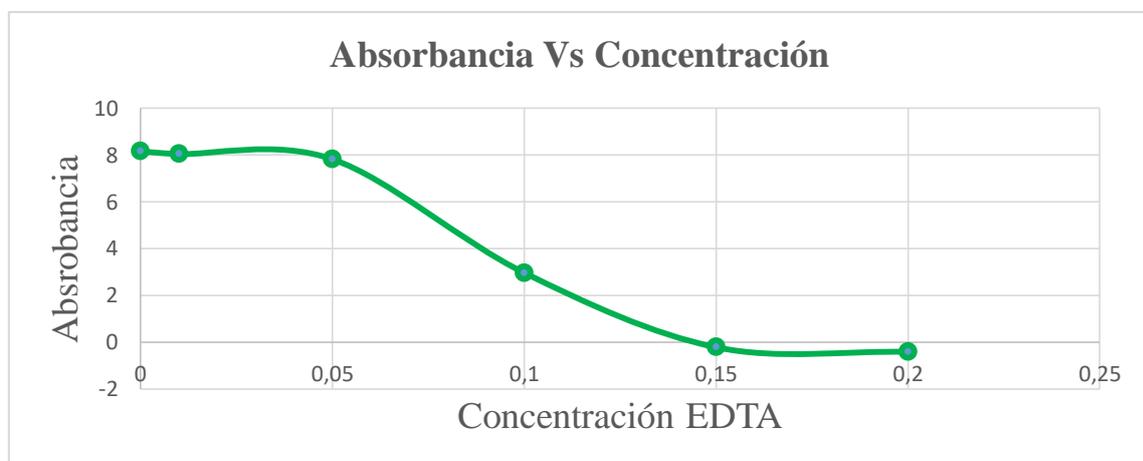


Figura No 10: Absorbancia Vs Concentración de Cobre por espectrofotometría de llama

Gráfico concentración de EDTA Vs concentración de Cobre

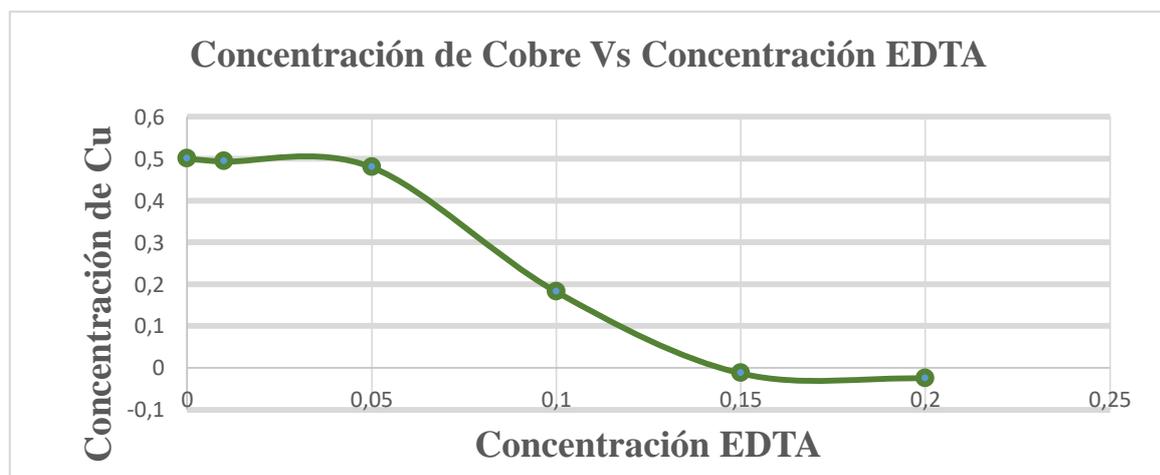


Figura No 11: Concentración EDTA Vs Concentración de Cobre.

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Al analizar Cu en AA de llama se obtuvo una quelatación total del Cobre con una concentración de EDTA de 0.15M. Es decir se logró quelar el 100% del metal.

Hierro

- a. Determinación de la recta de concentración donde se termina la absorbancia a varias concentraciones de Hierro.

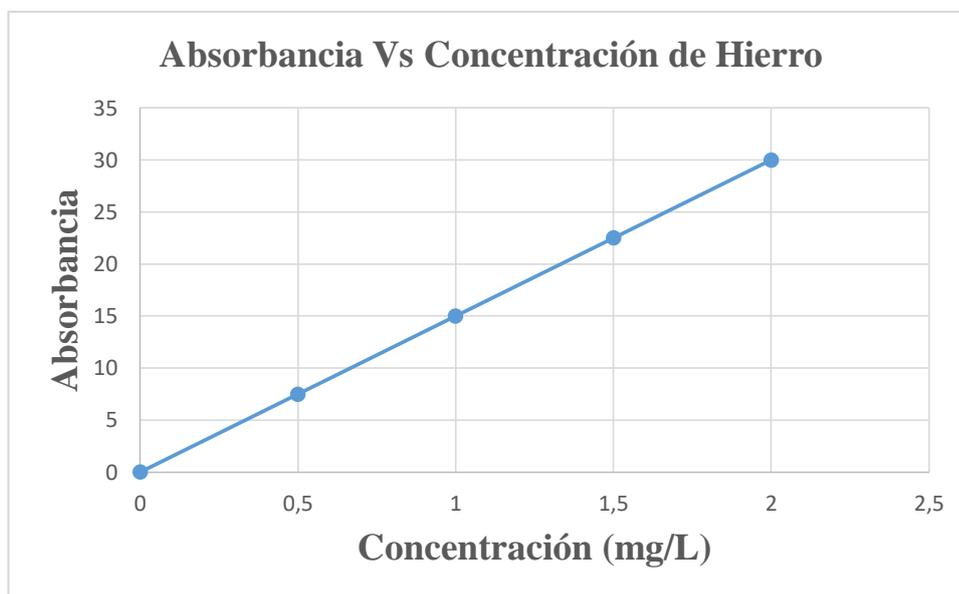


Figura No 12: Recta de calibración de Hierro

Quelación de Hierro en espectrofotometría de llama

Tabla No 9

Concentración de Fe (0.5 ppm)			
concentración EDTA (M)	ABS de Hierro	Concentración	% de concentración que disminuye por efecto del quelato
0	7.544	0.5	0
0,01	6,9	0.457	8,65766481
0,05	6,027	0.399	20,2144559
0,1	5,93	0.393	21,4985438

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

0,15	4,5	0.298	40,4289118
0,2	3,86	0.256	48,9012444

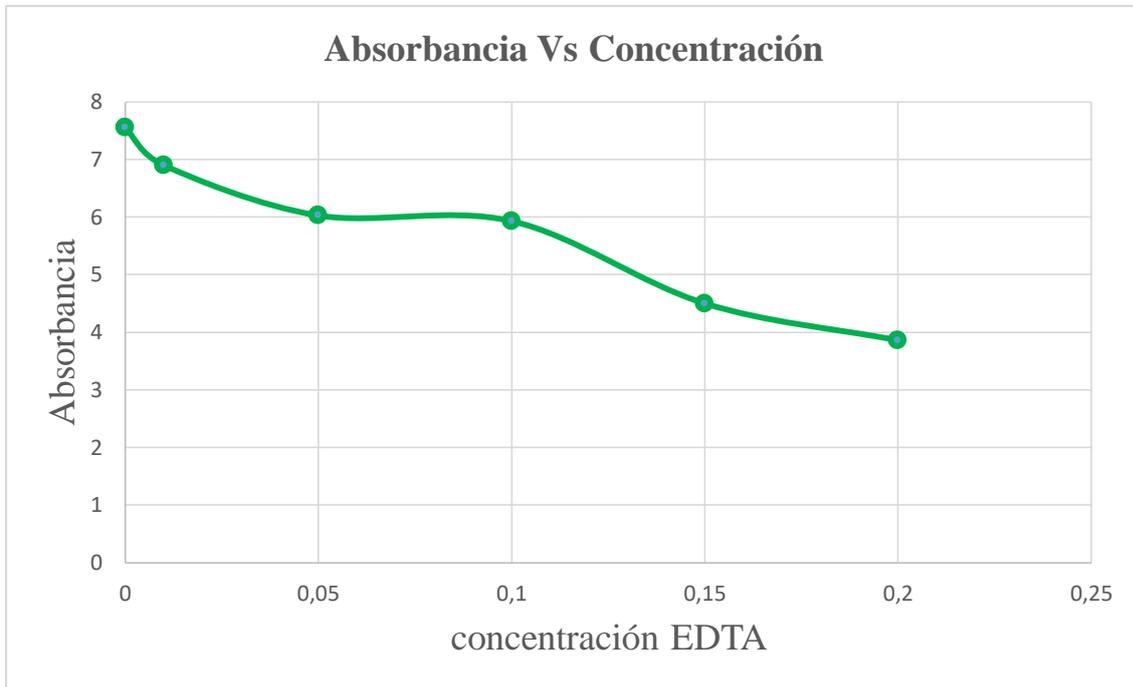


Figura No 13: Absorbancia Vs Concentración de Hierro por espectrofotometría de llama

Gráfico concentración de EDTA Vs concentración de Hierro

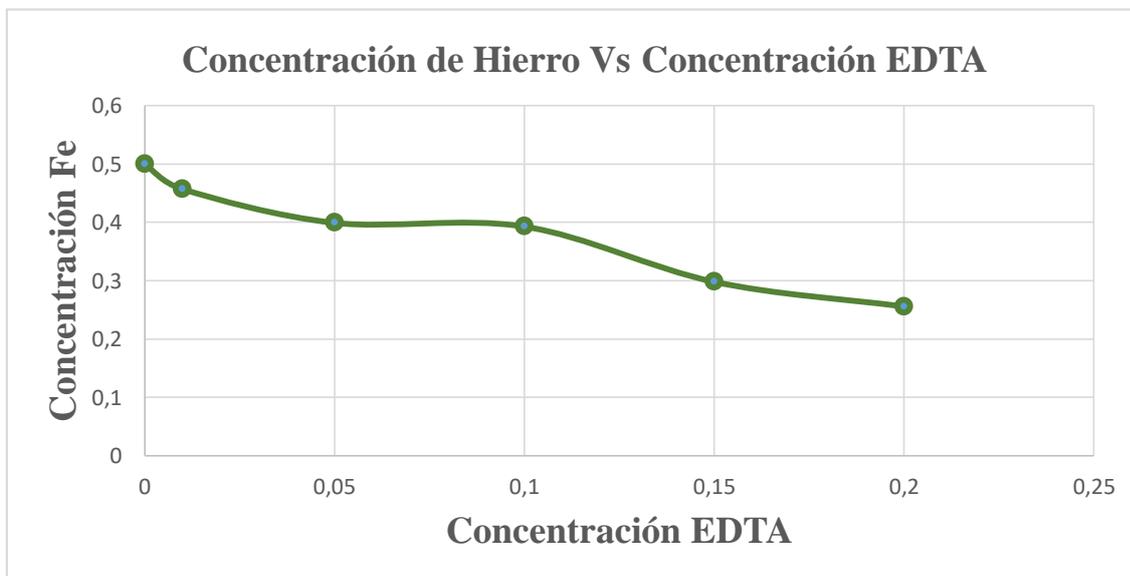


Figura No 14: Concentración EDTA Vs Concentración de Hierro

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Al analizar Hierro en AA de llama se obtuvo una quelación parcial del metal a partir de una concentración de 7.544 mg/kg se redujo a 3.86 mg/kg es decir 48.8% con su concentración más alta de EDTA de 0.20M.

Plomo

- Determinación de la recta de concentración donde se termina la absorbancia a varias concentraciones de Plomo.

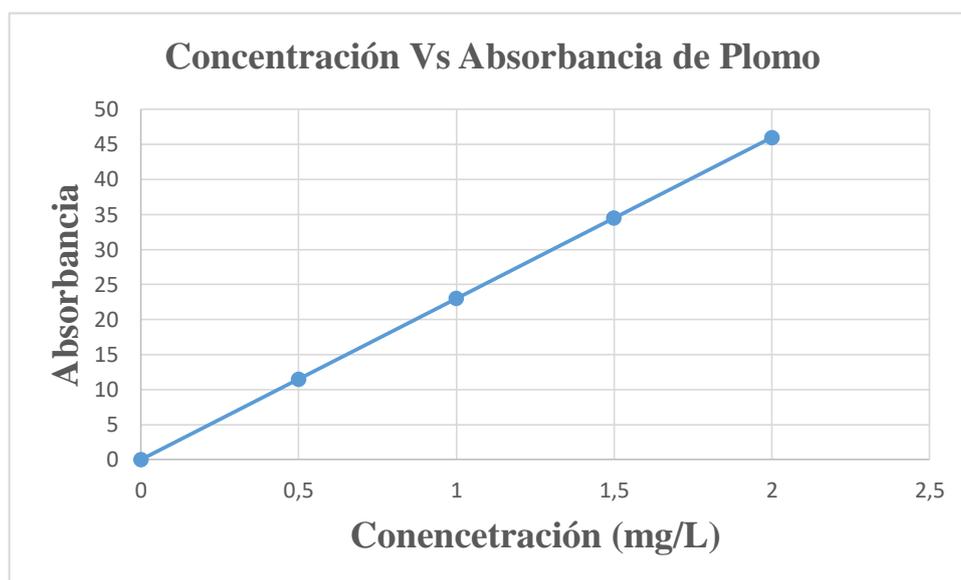


Figura No 15: Recta de concentración del Plomo

Quelación de Plomo en espectrofotometría de absorción atómica.

Tabla No 10

Concentración de Pb (0.5 ppm)			
concentración EDTA (M)	ABS de Plomo	Concentración	% quelación
0	11.540	0.5	0
0,01	10.90	0.472	5,1
0,05	8.64	0.374	25,1
0,1	6.84	0.296	40,7
0,15	5.59	0.242	51,6
0,2	4.33	0.188	62,5

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

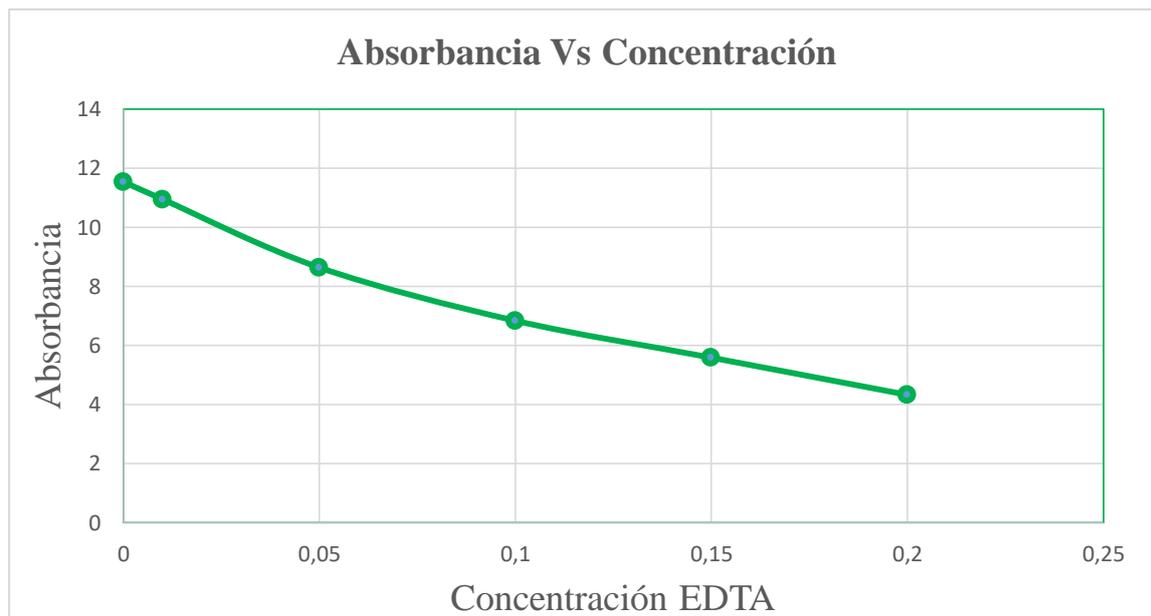


Figura No 16: Absorbancia Vs concentración de Plomo por espectrofotometría de llama

Gráfico concentración de EDTA Vs concentración de Hierro

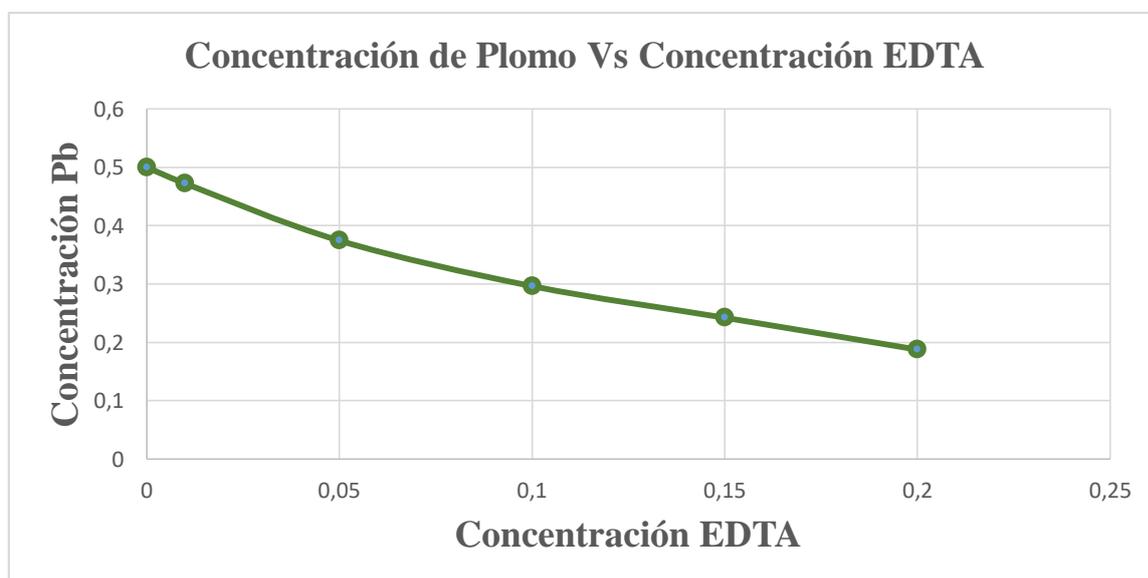


Figura No 17: Concentración EDTA Vs Concentración de Plomo

Al analizar Plomo en AA de llama se obtuvo una quelación parcial del metal a partir de una concentración de 11.540 mg/kg se redujo a 4.33 mg/kg es decir 48.8% con su concentración más alta de EDTA de 0.20M.

Quelación de Zinc en espectrofotometría de luz visible

Tabla No 11

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

concentración Zn (ppm)	ABS sin EDTA	ABS con EDTA 0,05M	% quelación
0	0	0	0
0,5	0,82	0,28	65,8536585
1	1,05	0,24	77,1428571
1,5	1,46	0,2	86,3013699
2	1,87	0,27	85,5614973
2,5	2,33	0,26	88,8412017
3	2,736	0,24	91,2280702

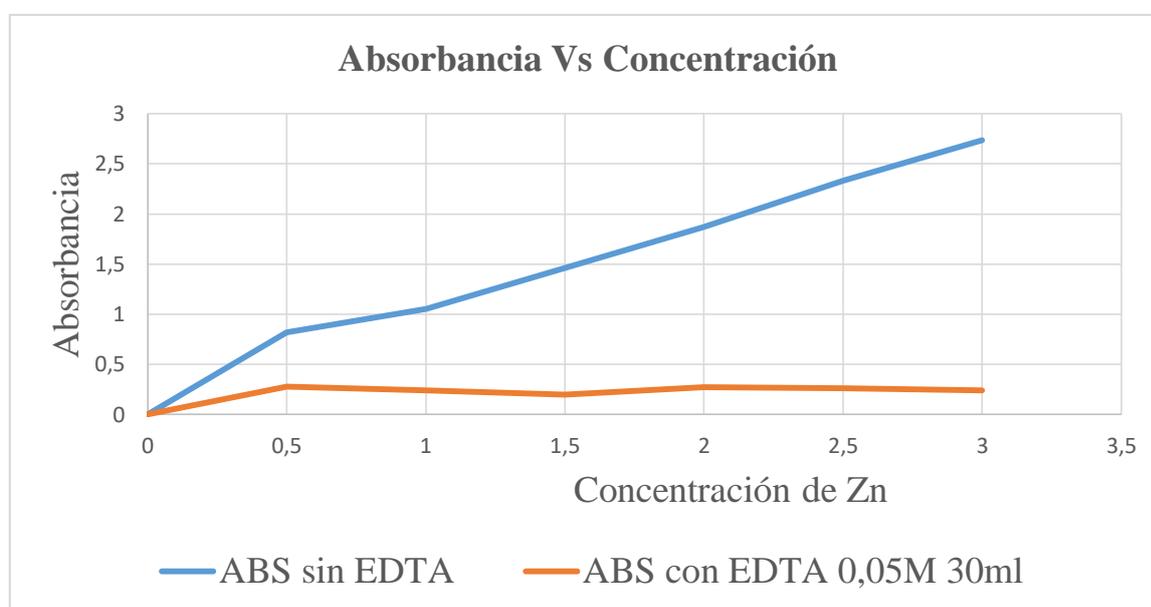


Figura No 18: Concentración Vs Absorbancia de Zinc por espectrofotometría de luz visible

Al analizar Zinc por espectrofotometría de luz visible se obtiene una diferencia significativa entre la absorbancia medida en las muestras con EDTA y las muestras sin EDTA, observándose una quelación gradual en relación a la concentración de Zinc. Con una concentración elevada de zinc de 3 ppm se quela el 91.22% del metal con una concentración de EDTA de 0.05 M.

En las figuras (34-40) podemos determinar las diferentes concentraciones de Zinc por su coloración marrón, desde la concentración más baja con un color naranja hasta la más alta con

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

un marrón intenso. En las figuras (41) y (42) podemos observar el cambio de coloración luego de añadir las distintas concentraciones de EDTA.

Quelación de Níquel en espectrofotometría de luz visible

Tabla No 12

Concentración Ni (ppm)	ABS sin EDTA	ABS con EDTA 0,15M	% quelación
0	0	0	0
0,5	0,24	0,06	75
1	0,67	0,4	40,2985075
1,5	1,4	0,25	82,1428571
2	2,09	0,08	96,1722488

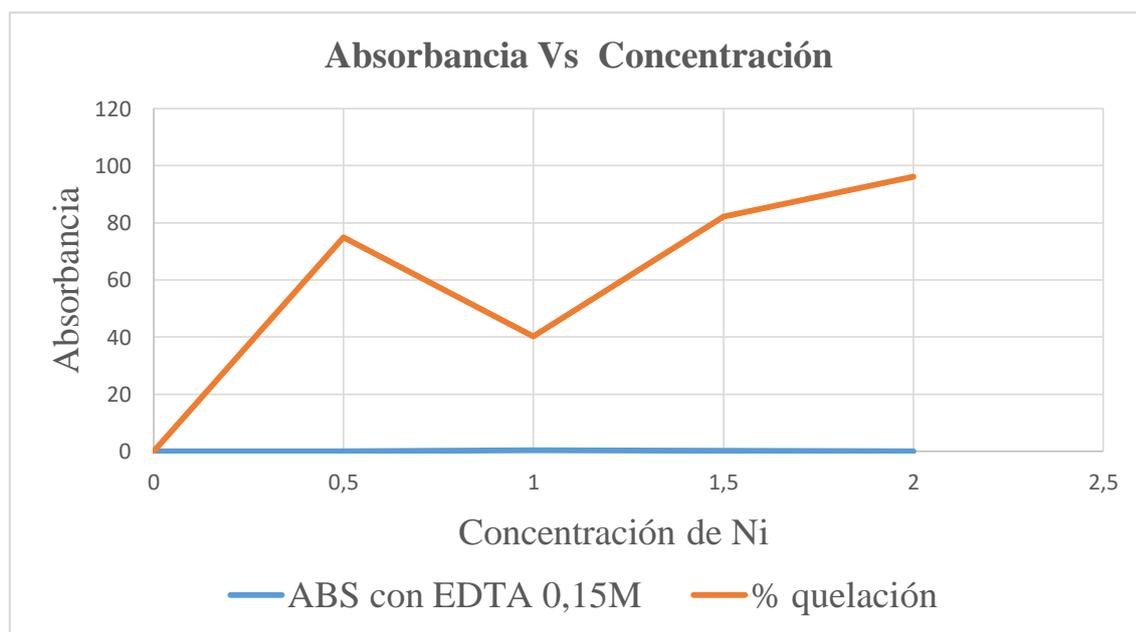


Figura No 19: Concentración Vs Absorbancia de Níquel por espectrofotometría de luz visible

Al analizar Níquel por espectrofotometría de luz visible se obtiene una diferencia de absorbancias significantes con EDTA y sin EDTA, tendiendo una quelación gradual en relación

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

a la concentración de Níquel. Con una concentración de Níquel de 2 ppm se quela el 96.17% del metal con una concentración de EDTA de 0.15 M.

En las figuras (43-46) podemos determinar las diferentes concentraciones de Níquel por su coloración amarilla, desde la concentración más baja, hasta la más alta con un amarillo intenso.

En las figuras (47) y (48) podemos observar el cambio de coloración luego de añadir las distintas concentraciones de EDTA, totalmente incoloro.

Quelación de Hierro en espectrofotometría de luz visible

Tabla No 13

Concentración de Fe (ppm)	ABS sin EDTA	ABS con EDTA 0,05M	% quelación
0	0	0	0
0,12	0,011	0,004	63,6363636
0,6	0,025	0,015	40
1,2	0,038	0,03	21,0526316
3	0,076	0,072	5,26315789
6	0,133	0,094	29,3233083
7,8	0,174	0,116	33,3333333

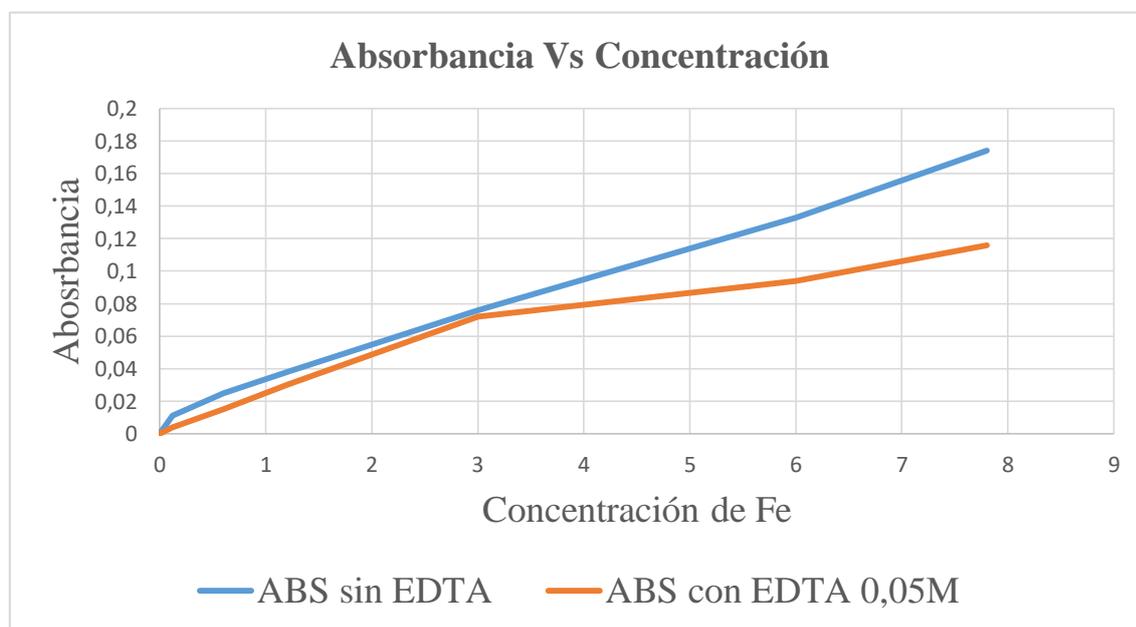


Figura No 19: Concentración Vs Absorbancia de Hierro por espectrofotometría de luz visible

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Al analizar Hierro por espectrofotometría de luz visible se obtiene una diferencia de absorbancias significantes con EDTA y sin EDTA, encontramos que con una concentración más alta de Hierro de 7.8 ppm se quela el 33.3% del metal con una concentración de EDTA de 0.05M.

Sin embargo, teniendo una concentración de hierro de 0.12 ppm y la adición de 0.05M de EDTA se logra quelar el 63.63%.

En las figuras (49-52) podemos determinar las diferentes concentraciones de Hierro por su coloración amarilla, con sus distintas tonalidades en el color. En la figura (53) podemos observar el cambio de coloración luego de añadir las distintas concentraciones de EDTA, totalmente incoloro.

Quelación de Cobre en espectrofotometría de luz visible

Tabla No 14

concentración Cu (ppm)	ABS sin EDTA	ABS con EDTA 0,05M	% quelación
0	0	0	0
0,5	0,73	0,078	89,3150685
1	1,34	0,139	89,6268657
1,5	1,57	0,203	87,0700637
2	2,35	0,253	89,2340426
2,5	2,57	0,316	87,7042802
3	2,83	0,398	85,9363958

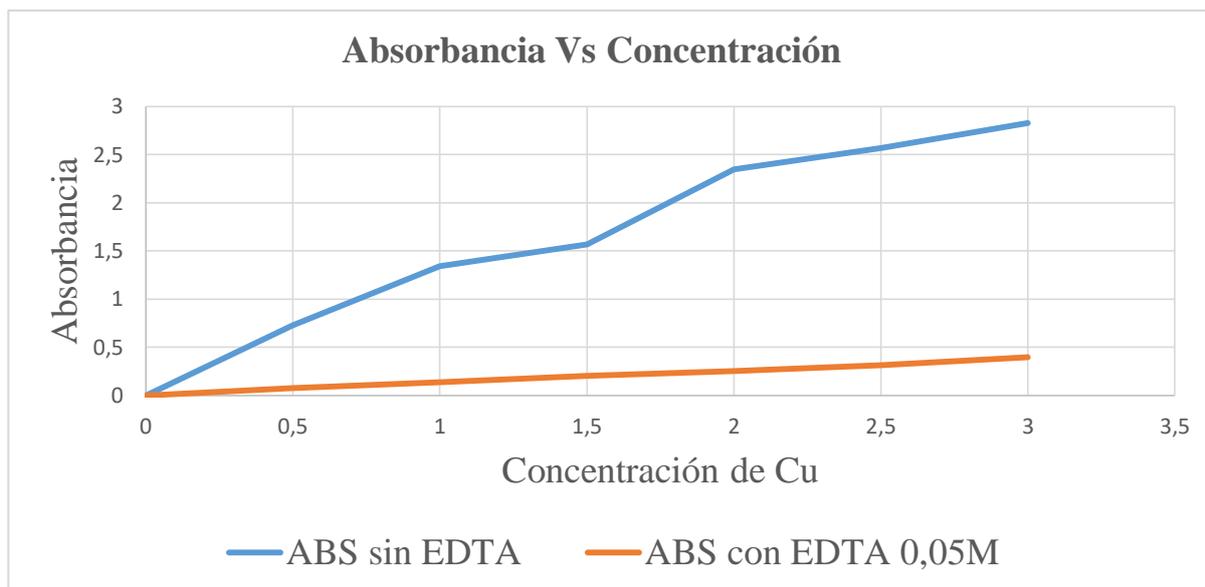


Figura No 20: Concentración Vs Absorbancia de Cobre por espectrofotometría de luz visible

Al analizar Cobre por espectrofotometría de luz visible se obtiene una diferencia de absorbancias significantes con EDTA y sin EDTA, encontramos que con una concentración más alta de Cobre de 3 ppm se quela el 85.93% del metal con una concentración de EDTA de 0.05M.

Sin embargo, teniendo una concentración de Cobre de 1 ppm y la adición de 0.05M de EDTA se logra quelar el 89.62%.

En las figuras (54) y (55) podemos determinar las diferentes concentraciones de Cobre por su coloración violeta, con sus distintas tonalidades en el color. En la figura (56) podemos observar el cambio de coloración luego de añadir las distintas concentraciones de EDTA, totalmente incoloro.

Quelación de Plomo en espectrofotometría de luz visible

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Tabla No 15

Concentración de Pb (ppm)	ABS sin EDTA	ABS con EDTA	% quelación
0	0	0	0
0,5	5,7	2,7	52,631579
1	11,1	3,7	66,6666667
1,5	14,1	3,2	77,3049645
2	18,2	2,7	85,1648352

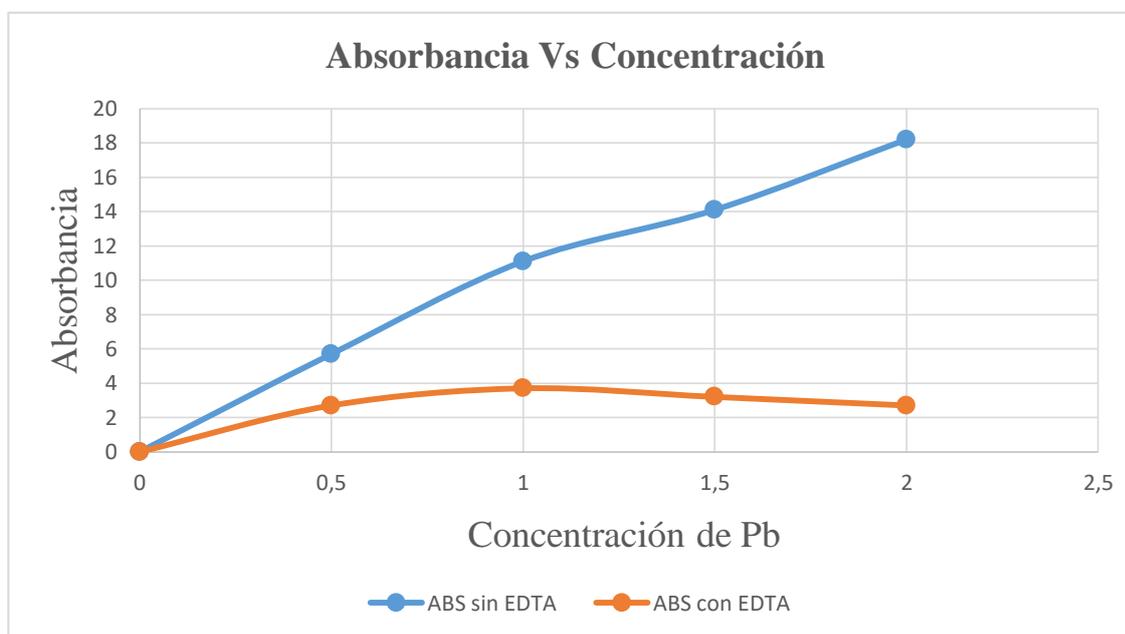


Figura No 21: Concentración Vs Absorbancia de Plomo por espectrofotometría de luz visible

Al analizar Plomo por espectrofotometría de luz visible se obtiene una diferencia de absorbancias significantes con EDTA y sin EDTA. Con una concentración de plomo de 2 ppm se quela el 85.96% del metal con una concentración de EDTA de 0.05 M.

En las figuras (57-60) podemos determinar las diferentes concentraciones de Plomo por su coloración rosado, con sus distintas tonalidades en el color. En las figuras (61-64) podemos

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

observar el cambio de coloración luego de añadir las distintas concentraciones de EDTA. Teniendo una coloración azulada casi incolora.

Al analizar Zinc, Cobre, Hierro, Níquel y Plomo por espectrofotometría de luz visible se obtuvieron que la absorbancia es directamente proporcional a su concentración; es decir a medida que aumentamos la concentración del metal, aumentará la absorbancia. E inversamente proporcional a la absorbancia luego de añadir EDTA; es decir, a medida que aumentamos la concentración del metal, la absorbancia con EDTA disminuye.

En la muestra (AA llama)

Zinc

Tabla No 16

Concentración de Zn en la muestra		
concentración EDTA	ABS con EDTA	% Quelación
0	1.891	0
0,01	1,799	4,8
0,05	0,924	48,6
0,1	0,92	51,4
0,15	0,714	62,4
0,2	0,623	67

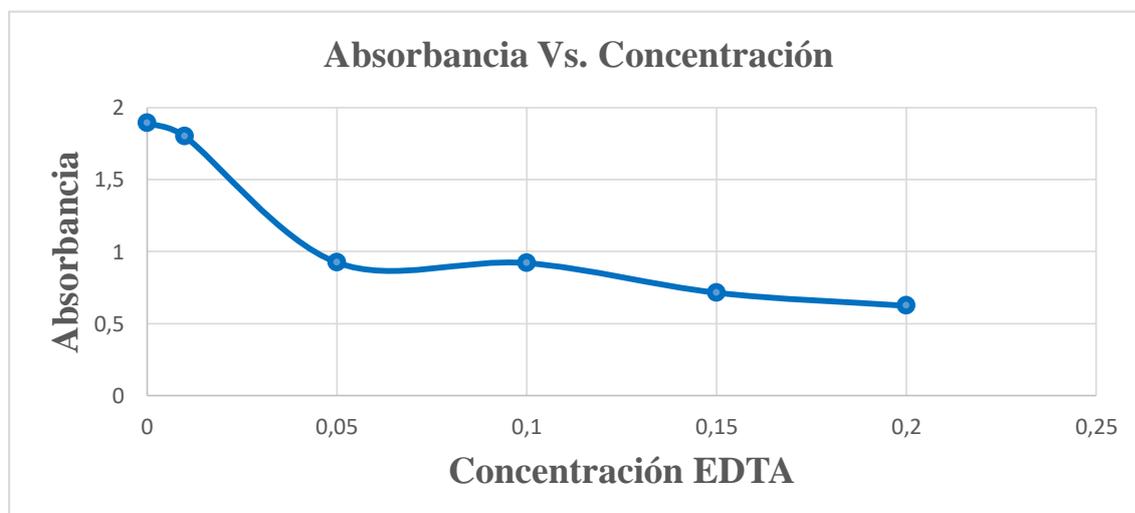


Figura No 22: Absorbancia Vs Concentración de EDTA

En la muestra (Luz Visible)

Zinc

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Tabla No 17

Concentración de EDTA M	ABS con EDTA	% quelación
0	0,32	0
0,01	0,12	62,5
0,05	0,06	50
0,1	-0,22	466,666667

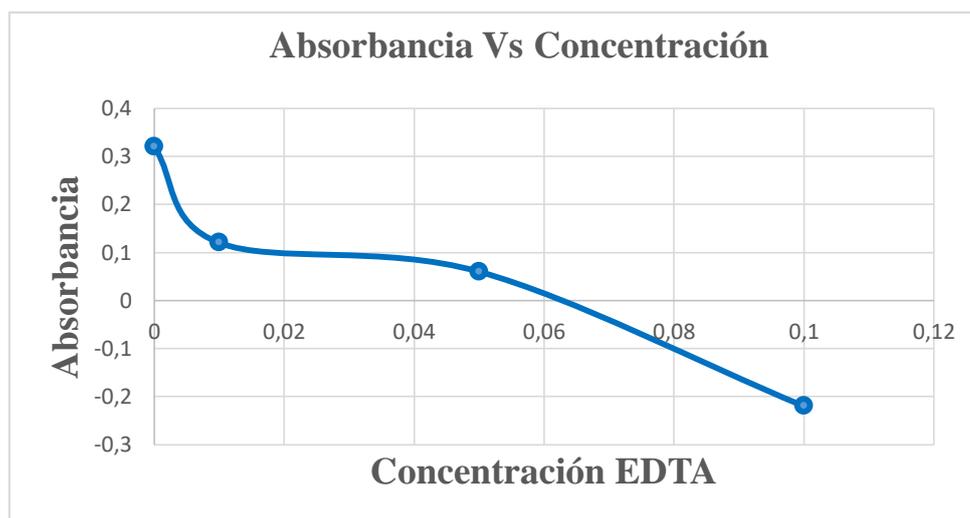


Figura No 24: Absorbancia Vs concentración de Zinc por espectrofotometría de luz visible

Al analizar la muestra de sedimentos de la Laguna de Limoncocha se obtuvo una concentración de Zinc de 0,32 ppm, de la cual se logró quelar el 100% de la concentración inicial del metal presente.

En la muestra (AA llama)

Plomo

Tabla No 18

Concentración de Pb en la muestra		
concentración EDTA	ABS con EDTA	% Quelación
0	8.6	0
0.01	5.86	31,8604651
0.05	3.47	59,6511628

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

0.1	1.38	83,9534884
0.15	0.42	95,1162791
0.20	0.15	98,255814

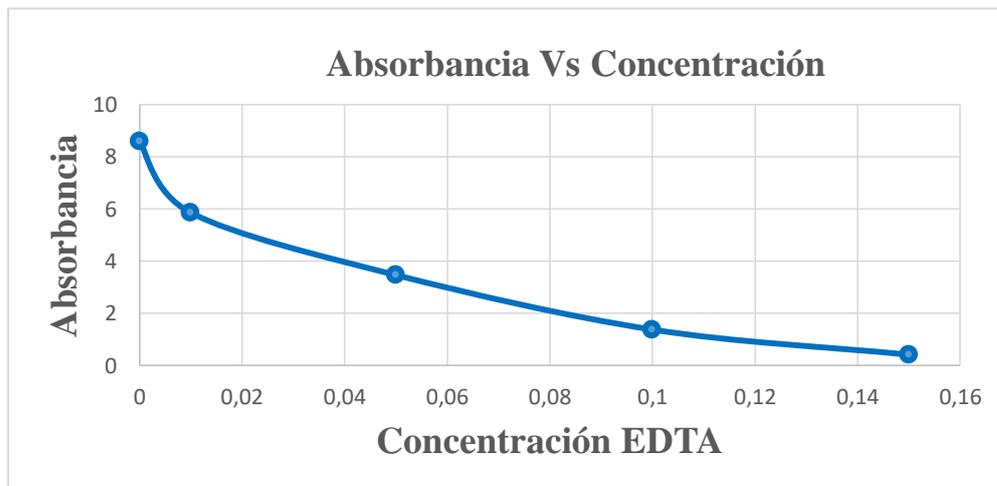


Figura No 25: Absorbancia Vs Concentración de Plomo por espectrofotometría de llama

En la muestra (Luz Visible)

Plomo

Tabla No 19

Concentración de EDTA (M)	ABS con EDTA	% quelación
0	4,7	0
0,01	4,2	10,63829787
0,05	3,1	34,04255319
0,1	1,8	61,70212766

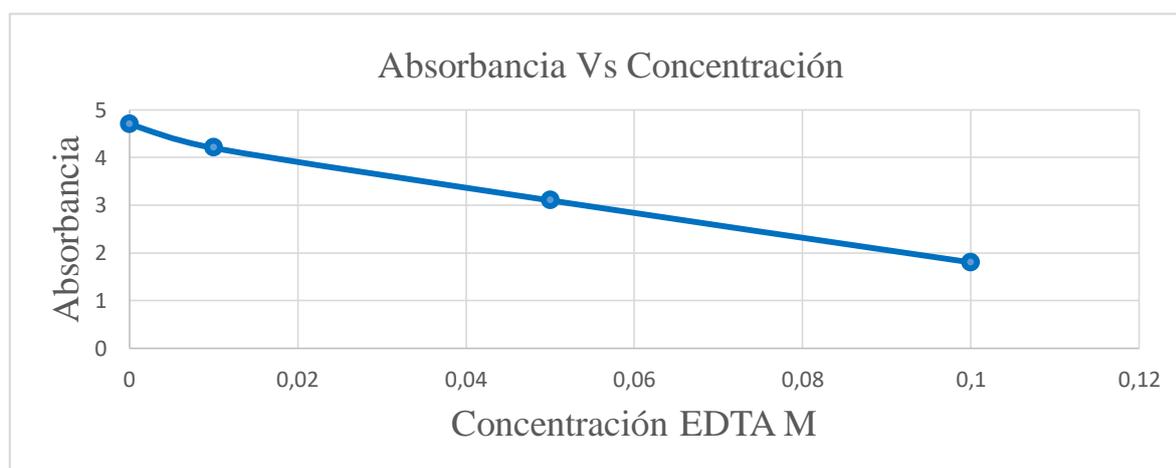


Figura No 27: Absorbancia Vs Concentración de Plomo por espectrofotometría de luz visible

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Al Analizar la muestra de sedimentos de la Laguna de Limoncocha de obtuvo una concentración de Plomo de 4.7 ppm, de la cual se logró quelar el 61.70% de la concentración inicial del metal presente a una concentración de 1.8 ppm.

En la muestra (AA llama)

Cobre

Tabla No 20

Concentración de Cu en la muestra		
Concentración EDTA	ABS con EDTA	% Quelación
0	81,32	0
0,01	68,96	16
0,05	45,89	43,6
0,1	33,78	58,6
0,15	25,92	68,2
0,2	23,54	71,2

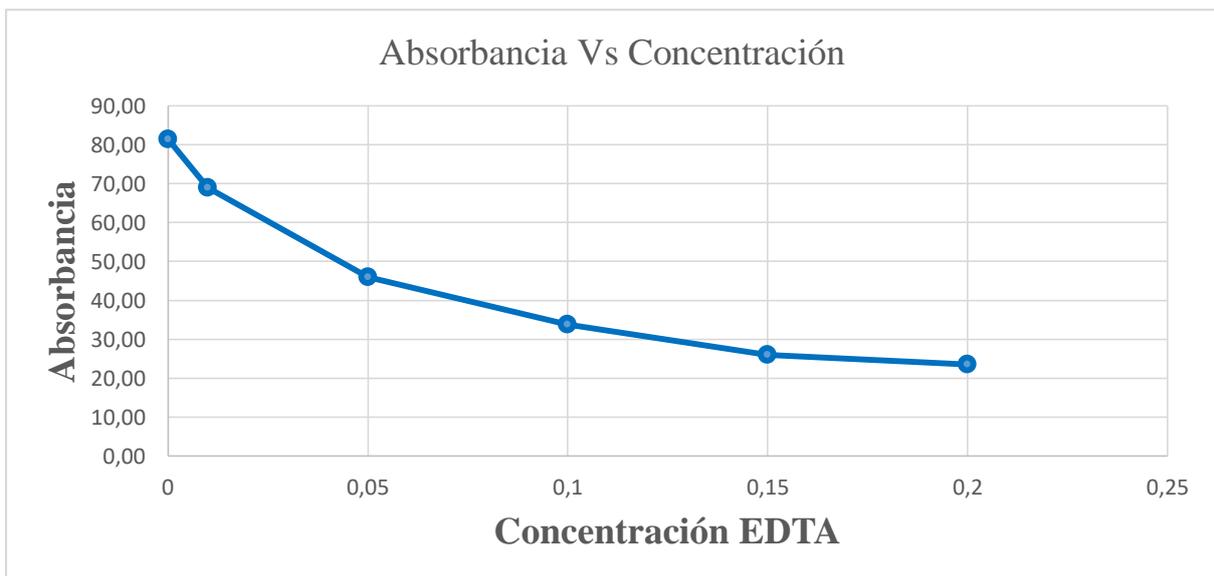


Figura No 28: Absorbancia Vs Concentración de Cobre por espectrofotometría de llama

En la muestra (Luz Visible)

Cobre

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Tabla No 21

Concentración de EDTA M	ABS con EDTA	% quelación
0	65,3	0
0,05	20,41	68,74
0,1	12,56	80,76
0,2	1,23	98,11

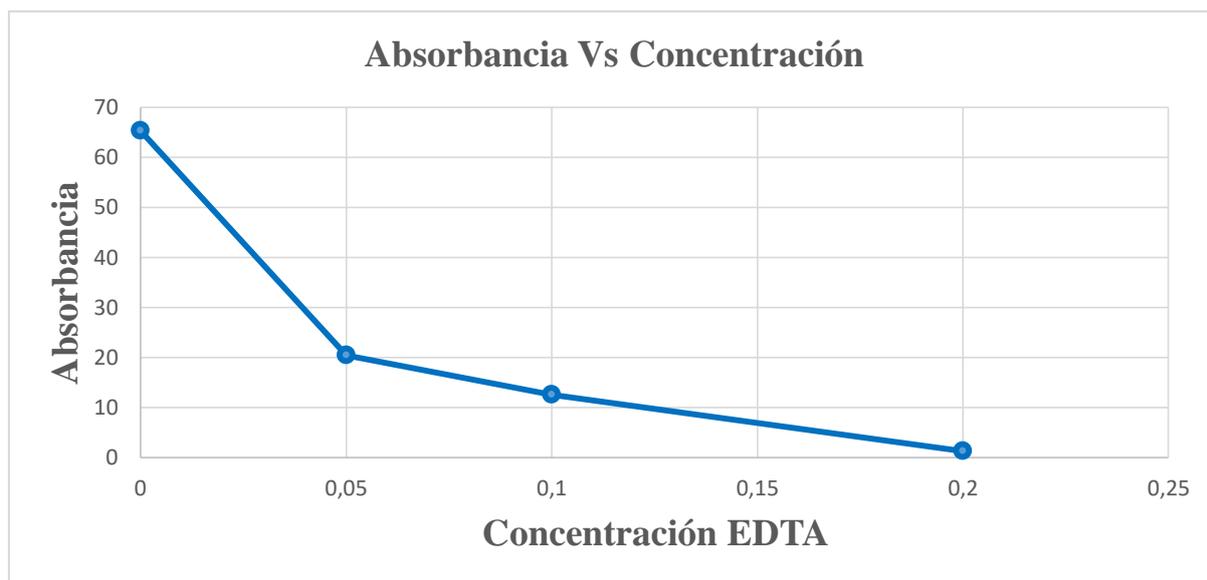


Figura No 29: Absorbancia Vs Concentración de Cobre por espectrofotometría de luz visible

Al Analizar la muestra de sedimentos de la Laguna de Limoncocha de obtuvo una concentración de Cobre de 65.3 ppm, de la cual se logró quelar el 98.11% de la concentración inicial del metal presente a una concentración de 1.23 ppm.

En la muestra (AA llama)

Hierro

Tabla No 22

Concentración de Fe en la muestra		
concentración EDTA	ABS con EDTA	% Quelación
0	21,57	0

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

0,01	19,56	16
0,05	13,81	43,6
0,1	12,23	58,6
0,15	12,15	68,2
0,2	10,38	71,2

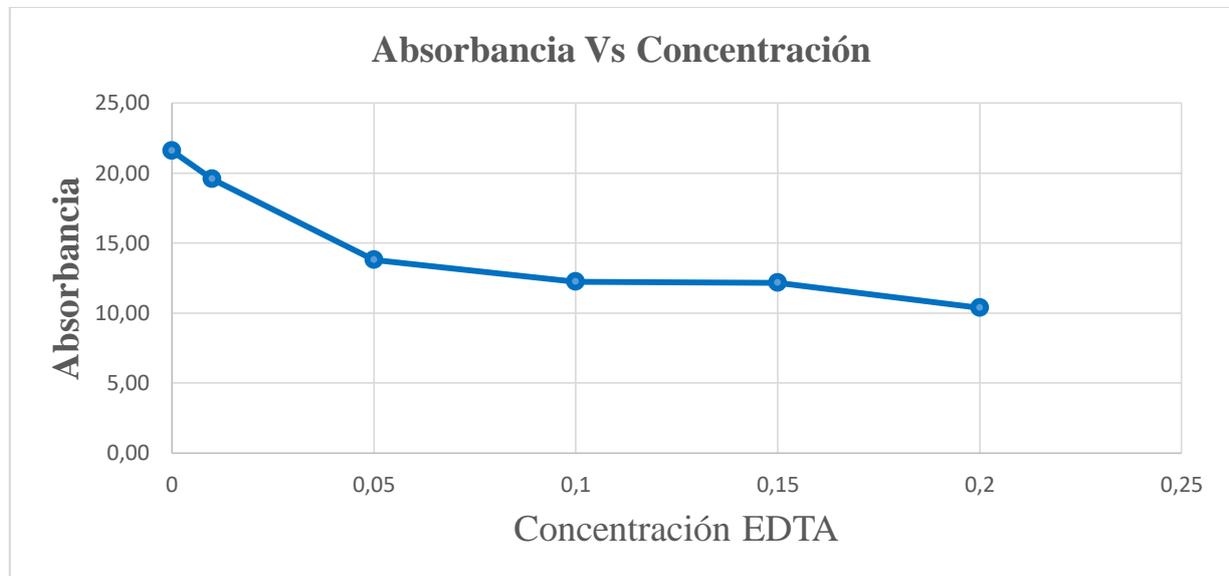


Figura No 30: Absorbancia Vs Concentración de Hierro por espectrofotometría de llama

En la muestra (Luz Visible)

Hierro

Tabla No 23

Concentración de EDTA M	ABS con EDTA	% quelación
0	5,51	0
0,05	4,89	11,25
0,1	4,26	22,68
0,2	-1,84	100

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

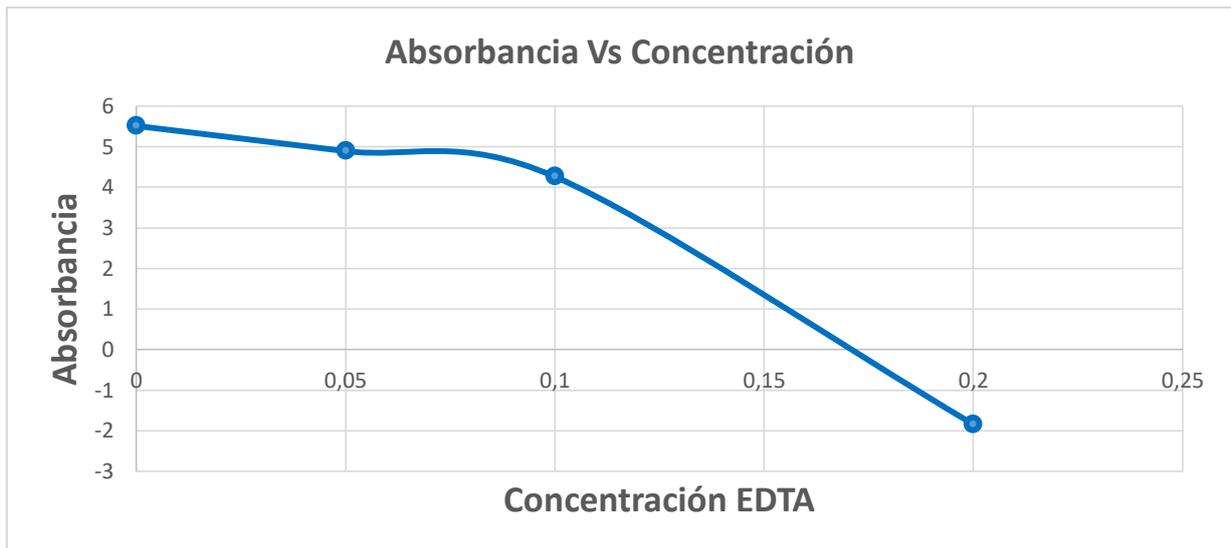


Figura No 31: Absorbancia Vs Concentración de Hierro por espectrofotometría de luz visible

Al Analizar la muestra de sedimentos de la Laguna de Limoncocha de obtuvo una concentración de Hierro de 5.51 ppm, de la cual se logró quelar el 100 % de la concentración inicial del metal.

En la muestra (AA llama)

Níquel

Tabla No 24

Concentración de Ni en la muestra		
Concentración EDTA	ABS con EDTA	% Quelación
0	6,72	0
0,01	5,21	22
0,05	5,08	24
0,1	4,33	36
0,15	3,82	44
0,2	3,01	56

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

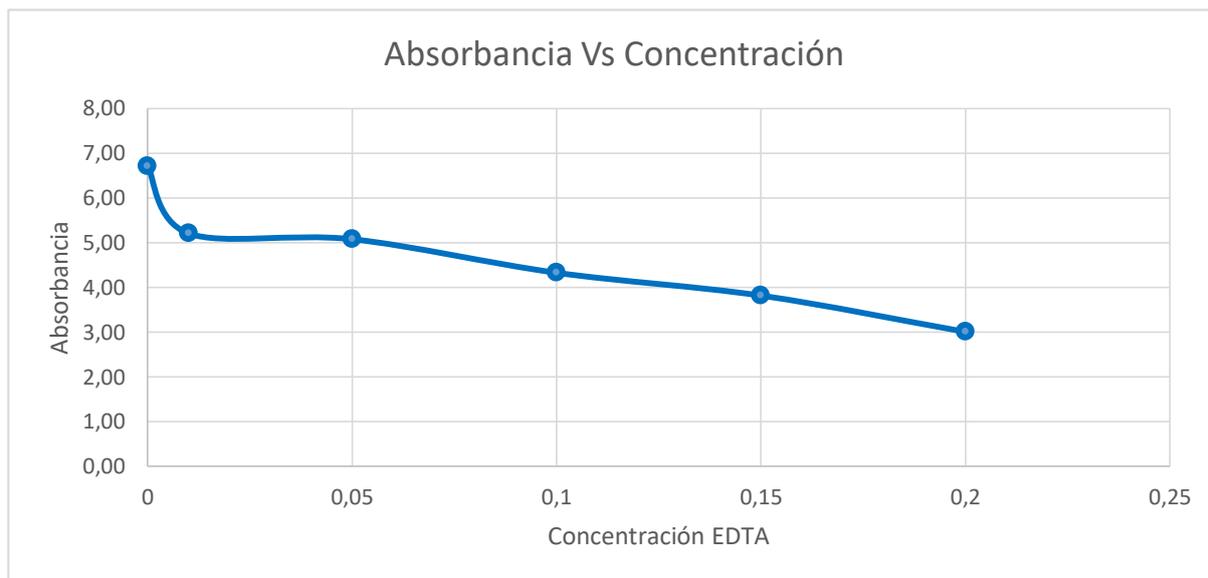


Figura No 32: Absorbancia Vs Concentración de Níquel por espectrofotometría de llama

En la muestra (Luz Visible)

Níquel

Tabla No 25

Concentración de EDTA M	ABS con EDTA	% quelación
0	5,82	0
0,05	3,87	33,51
0,1	1,01	82,65
0,2	-1,84	100

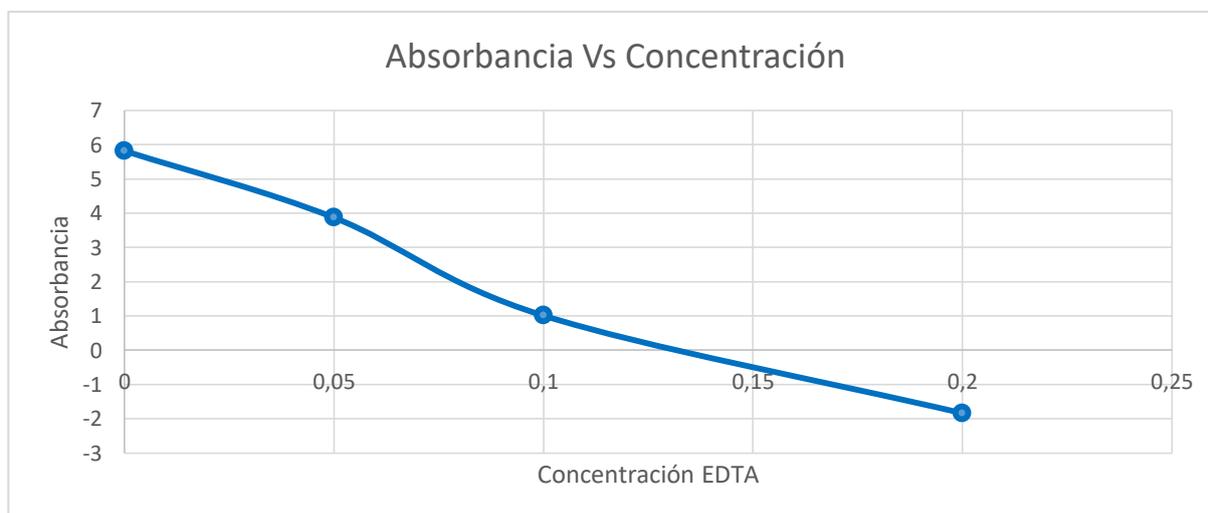


Figura No 33: Absorbancia Vs Concentración de Níquel por espectrofotometría de luz visible

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Al analizar la muestra de sedimentos de la Laguna de Limoncocha se obtuvo una concentración de Níquel de 5.82 ppm, de la cual se logró quelar el 100 % de la concentración inicial del metal presente.

Discusión:

Los procesos de quelación que dan el mejor rendimiento, ocurren por la reacción del ligando tetradentado H_4Y con los metales analizados, formando complejos estables, a pH básico. Se ha determinado en investigaciones anteriores de (Carrillo 2016), que el pH de la Laguna se encuentra en un valor promedio de 9 por lo que el proceso de quelación cumple con lo esperado. Del análisis de los resultados obtenidos, se puede afirmar que los valores de concentración inicial de los metales analizados, estos son Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , todos bajan su concentración después de someterse a una reacción de quelación con EDTA.

En el análisis experimental realizado a los distintos metales pesados, el secuestro obtenido mediante las reacciones de quelación fue efectivo debido a que se obtuvo un atrapamiento del metal a partir del agente quelante EDTA. Por espectrofotometría de absorción atómica de llama para el Zn^{2+} el porcentaje de quelación fue de 14.69%, para el Ni^{2+} fue de 93.73%, para el Cu^{2+} fue del 100%, para el Fe^{2+} el 48.90% y para el Pb^{2+} fue del 62.5%.

En espectrofotometría de luz visible el porcentaje de quelación para el Zn^{2+} fue de 91.22%, para el Ni^{2+} fue 96.17%, para el Fe^{2+} se queló el 63.63%, para el Cu^{2+} el 89.32% y finalmente para el Pb^{2+} fue de 85.16%.

Al realizar la metodología experimental, las muestras de sedimento de la Laguna de Limoncocha se encontraban con concentraciones significantes de Zinc y Plomo, las cuales fueron analizadas. En espectrofotometría de absorción atómica de llama para el Zn^{2+} se encontró 1.891 ppm y se logró quelar el 48.64%, para Pb^{2+} se encontró 8.6 ppm y se logró quelar el 98.25%. En espectrofotometría de luz visible se encontró 0.32 ppm y se queló el 100%. Para el Pb^{2+} se encontró 4.7 ppm y se logró quelar el 61.70%.

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Los resultados de medición por luz visible para el Ni ⁺² se encontró 2.09 ppm y se logró quelar el 96.17%, para el Fe ⁺² se encontró una concentración de 5.51 ppm y se queló el 100 % de la muestra y finalmente para se encontró 65.3 ppm de Cu ⁺² y se logró quelar el 98.11%.

Para el análisis de las concentraciones antes y después del proceso se utilizaron dos métodos, el de absorción atómica a la llama (AA) y el de espectrofotometría. En el primer caso se utilizó el equipo de absorción atómica de llama Analyst 200 de la casa comercial Perkin Elmer ® en el segundo caso, las mediciones se realizaron en el equipo de espectrofotometría UV-VIS DR 4000® de luz visible.

El pH de la Laguna de Limoncocha es de un promedio de 9 (Carrillo, 2016), es decir es una característica óptima para la formación del ligante para el proceso de quelación ya que su valor de pH debe estar cercano a 10 debido a que predomina la presencia de la especie Y⁴⁻.

Tabla No 26: Normativa Columbia Británica para sedimentos

METALES	NORMATIVA COLUMBIA BRITÁNICA (mg/kg)
	DRY WEIGHT
Cu	197
Zn	315
Pb	91,3
Fe	91,3

A partir de los datos obtenidos de la normativa Columbia Británica en la tabla (20). Con los datos obtenidos de muestreo de los meses de septiembre, noviembre, enero y marzo de las tablas (2-4) los valores de Zinc de los sedimentos de la Laguna de Limoncocha se encuentran muy elevados en función a los datos de la Normativa. Para el Cobre, se encontró una contaminación significativa, en todos los meses de muestreo los valores sobrepasan los límites permisibles. En cuanto al Plomo, los valores obtenidos se encuentran excediendo elocuentemente el valor límite permisible de la Normativa en el mes de septiembre. Para los resultados de hierro, también se determina una contaminación que está por encima de los valores permisibles de la Normativa

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

en todos los meses que se realizó el muestreo. Finalmente, para el Ni se utilizó la Normativa EPA, Agencia de Protección Ambiental de Los Estados Unidos, por lo que se determina que es el único metal que cumple con la Normativa. Ya que en el Ecuador no existe una normativa que regule la contaminación por metales pesados en sedimentos, se utilizó la Normativa Columbia Británica y EPA.

Conclusiones.

- En base a la investigación realizada, se puede afirmar que el agente quelante EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) es adecuado para inertizar metales pesados como el hierro, cobre, zinc, níquel y plomo, con altos porcentajes de secuestro, en condiciones óptimas de pH básico, que aumentan la eficiencia de la acción del ligando Y^4 , el mismo que reacciona con los cuatro enlaces activos, atrapando de mejor manera el metal por diferencia de cargas formando un complejo estable.
- El complejo formado por el agente quelante EDTA y el metal es tan estable que se pudo demostrar en el proceso de medida por el método de absorción atómica a la llama, el quelato formado se mantiene estable, a pesar de que las temperaturas son mayores a 1500 °C.
- El uso de EDTA en los sedimentos de la laguna de Limoncocha es aceptable para la disminución de iones metálicos y no genera reacciones contaminantes en el medio biótico.
- El presente proyecto abre las puertas para el diseño de una metodología de control de metales pesados en los afluentes a la laguna, para evitar que estos ingresen a la columna de agua, y realizando un control adecuado de los mismos.
- El desarrollo de esta investigación es importante porque propone un método fácil y técnicamente accesible para evitar la bioacumulación de metales pesados en el sistema biótico de la laguna, conservando de mejor manera la vida acuática y silvestre.

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

- Es una propuesta para ayudar a la comunidad ya que una de las actividades de los habitantes de la zona es la pesca en la Laguna, al realizar el proceso de inertización se evita que los peces acumulen los metales pesados en su organismo y que de esta manera pasen a la cadena alimenticia de las personas de la comunidad que confiadamente consumen pescado para su subsistencia.

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

ANEXOS

Figuras:

Zinc

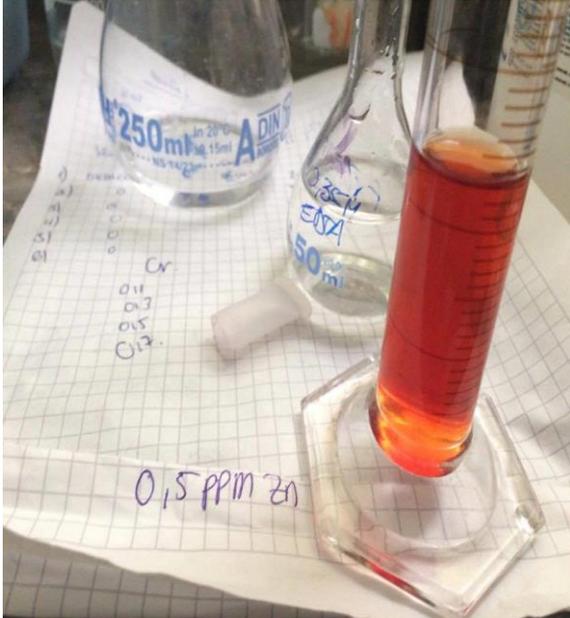


Figura No 34



Figura No 35

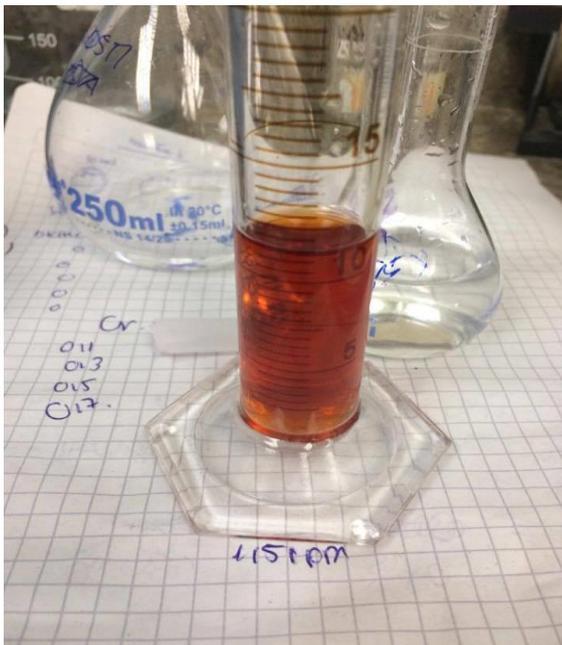


Figura No 36

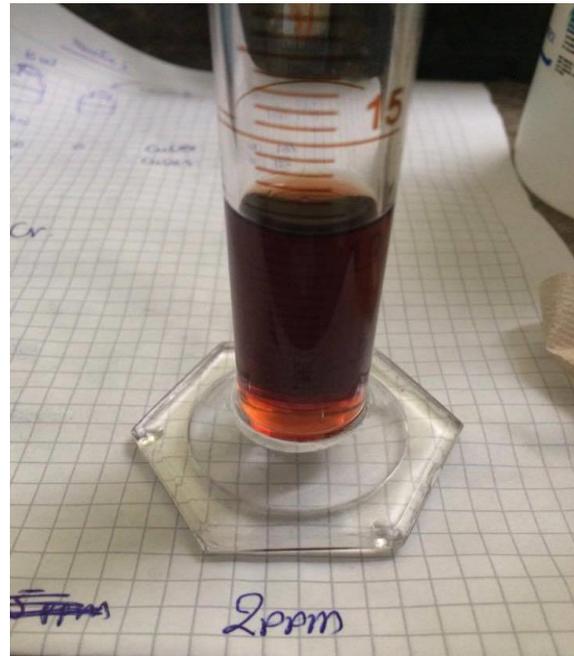


Figura No 37

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

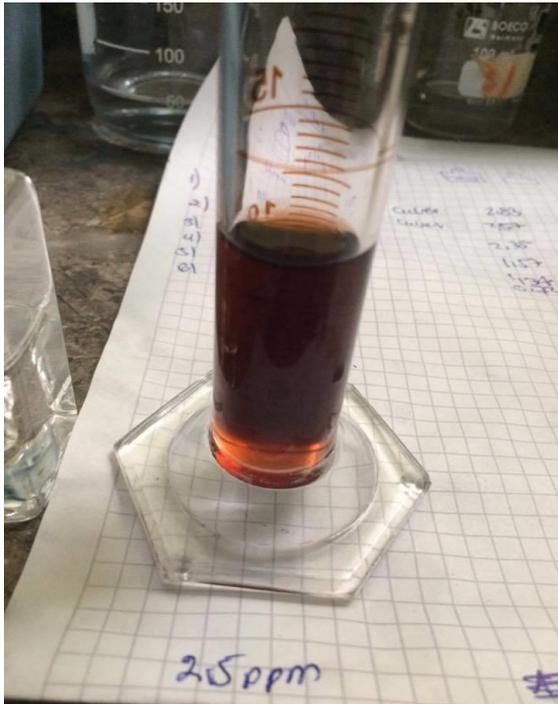


Figura No 39

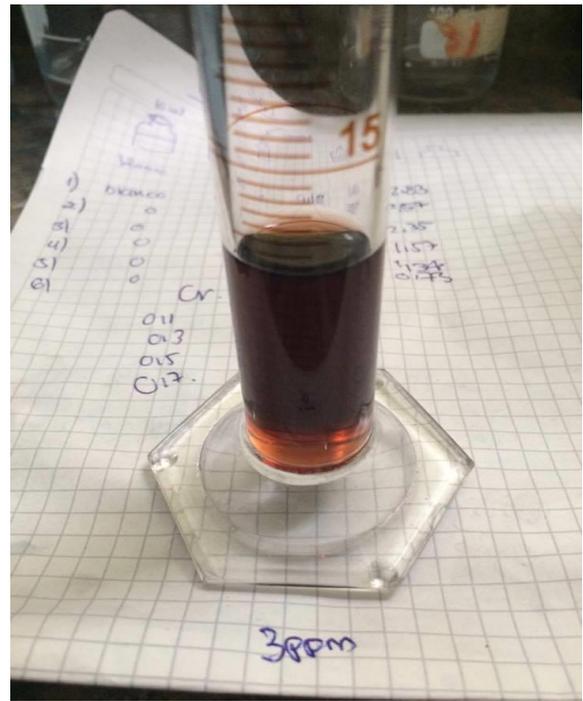


Figura No 40

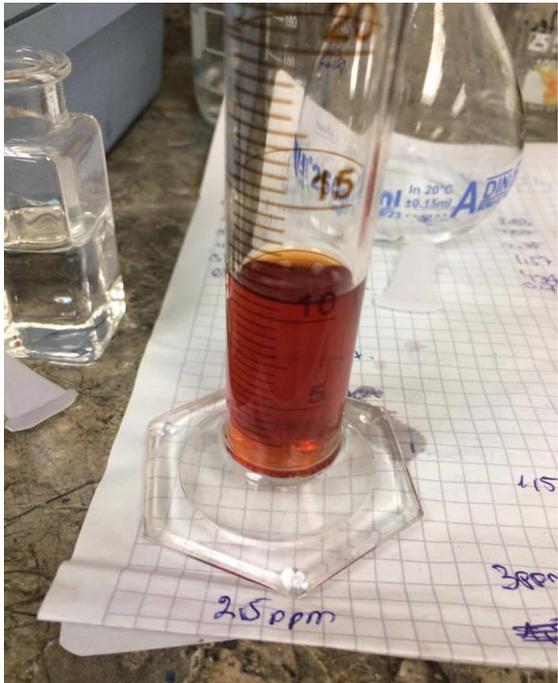


Figura No 41



Figura No 42

Como podemos ver en las figuras (34-40), el color de varía dependiendo de la concentración de Zinc presente en la muestra, a mayor concentración más oscuro es su color. Sin embargo, al adicionar EDTA el color de la muestra se mantiene por debajo del color de su mayor

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

concentración debido a la reacción de quelación que se produjo como se muestra en las figuras (41) y (42).

Níquel



Figura No 43



Figura No 44



Figura No 45

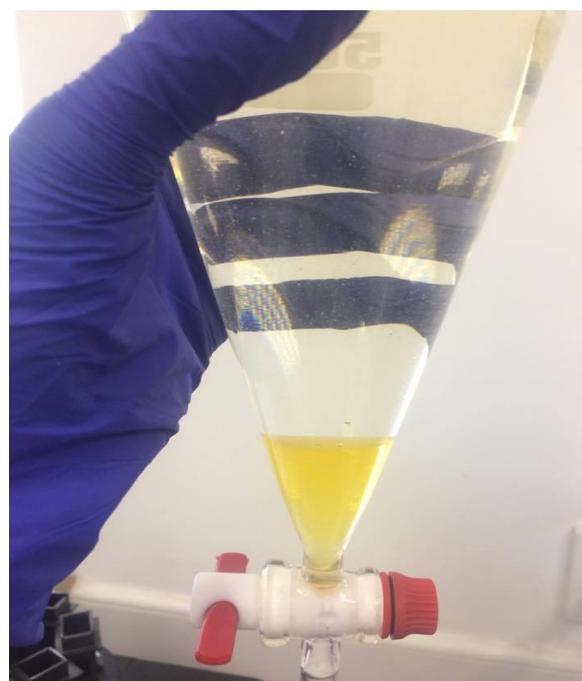


Figura No 46

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

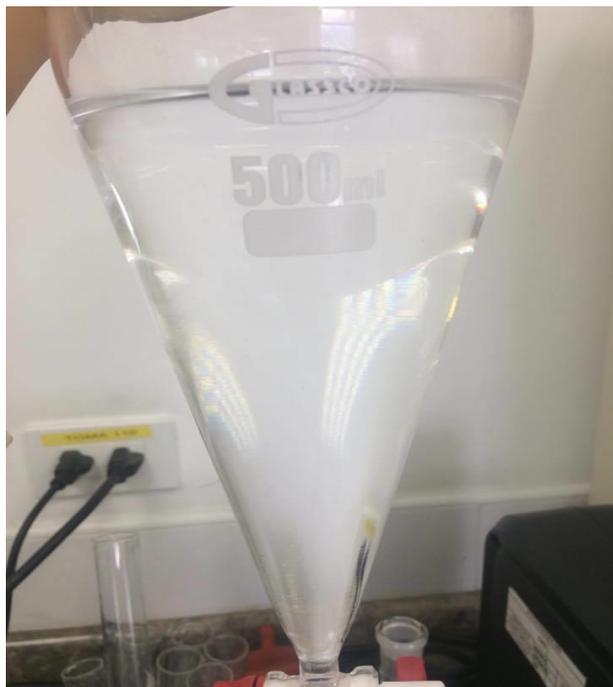


Figura No 47



Figura No 48

En las figuras (43-46) se puede observar las diferentes concentraciones de níquel debido a la intensidad de color en cada una de las muestras. Al adicionar EDTA en cada una de ellas, debido al atrapamiento del metal la tinción es nula, la muestra queda totalmente trasparente como se muestra en las figuras (47) y (48), es decir que la reacción de quelación resultó efectiva.

Hierro

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS



Figura No 49



Figura No 50



Figura No 51



Figura No 52

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS



Figura No 53

En las figuras (49-52) cada muestra tiene su tonalidad de amarillo debido a las distintas concentraciones de hierro. Al realizar las reacciones de quelación con la adición de EDTA las muestras se vuelven totalmente transparentes debido al secuestro del metal como se puede observar en la figura (53).

Cobre



Figura No 54



Figura No 55

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS



Figura No 56

En las figuras (54) y (55) es evidente la presencia de las distintas concentraciones de cobre por las intensidades de color violeta en cada muestra, siendo la más violeta la concentración más alta del metal. Sin embargo, al adicionar EDTA las muestras son totalmente transparentes por efecto de las reacciones de quelación dadas.

Plomo



Figura No 57



Figura No 58

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS



Figura No 59



Figura No 60



Figura No 61



Figura No 62

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS



Figura No 63



Figura No 64

En las figuras (57-60) la tonalidad rosa que se encuentra en cada muestra, corrobora la presencia de plomo en diferentes concentraciones. Al adicionar EDTA el rosa se torna azul casi trasparente debido al atrapamiento o secuestro del metal plomo por acción del agente quelante.

Bibliografía

- Agurto, D. (2016). *EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO, ALUMINIO Y COBRE EN AGUAS, SUELOS Y SEDIMENTOS DE LA RESERVA BIOLÓGICA LIMONCOCHA PARA ESTABLECER LA LÍNEA BASE, 2015-2016*". Quito.
- Abumaizar, R. J., & Smith, E. H. (1999). Heavy metal contaminants removal by soil washing. *Journal of Hazardous Materials*, 70(1), 71-86.
- Alkorta, I., Hernández-Allica, J., Becerril, J. M., Amezaga, I., Albizu, I., Onaindia, M., & Garbisu, C. (2004). Chelate-enhanced phytoremediation of soils polluted with heavy metals. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 3(1), 55-70.
- Cabrera, J. (2012). *Análisis Químico I*.
- Carrillo, I. (2016). *CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE FUNCIONAMIENTO*. Quito.
- Castañé, P., Topalián, M., Cordero, R., Salibián, A. (2003). Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad. pp.1-18.
- Deng, T., Zhang, B., Li, F., & Luyao, J. (2016). Sediment washing by EDTA and its reclamation by sodium. *Elsevier*, 450-456.
- Estrella, M. (2017). *Evaluación de la concentración de Arsénico, Baria, Manganeso y Plomo en aguas, suelos y sedimentos de la Reserva Biológica Limoncocha, pra establecer la linea base 2015-2017, con fines de conservación y preservación*. Quito.
- González, S., & Bergqvist, E. (1986). Evidencias de contaminación con metales pesados en un sector del secano costero de la V Región. *Agricultura técnica*, 46(3), 299-306.
- González, S. (1986). Contenido natural de metales pesados extraíbles con EDTA en suelos del Valle Aconcagua. *Agricultura Técnica*, 46(3), 323-327.
- Hong, P. A., Li, C., Banerji, S. K., & Regmi, T. (1999). Extraction, recovery, and biostability of EDTA for Remediation of heavy metal-contaminated soil. *Journal of Soil Contamination*, 8(1), 81-103.
- LaDoy, J. (2011). *Diagnóstico y tratamiento en medicina laboral y ambiental*. México D.F.
- Leštan, D., Luo, C. L., & Li, X. D. (2008). The use of chelating agents in the remediation of metal-contaminated soils: a review. *Environmental Pollution*, 153(1), 3-13.
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1969). Equilibrium relationships of Zn²⁺, Fe³⁺, Ca²⁺, and H⁺ with EDTA and DTPA in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 33(1), 62-68.
- Lo, I. M., & Yang, X. Y. (1999). EDTA extraction of heavy metals from different soil fractions and synthetic soils. *Water, Air, & Soil Pollution*, 109(1), 219-236.
- Koehler, F. M., Rossier, M., Waelle, M., Athanassiou, E. K., Limbach, L. K., Grass, R. N., ... & Stark, W. J. (2009). Magnetic EDTA: coupling heavy metal chelators to metal nanomagnets for rapid removal of cadmium, lead and copper from contaminated water. *Chemical Communications*, (32), 4862-4864.
- Norvell, W. A., & Lindsay, W. L. (1969). Reactions of EDTA complexes of Fe, Zn, Mn, and Cu with soils. *Soil Science Society of America Journal*, 33(1), 86-91.

APLICACIÓN DE LAS REACCIONES DE QUELACIÓN PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

- Ochoa, J. (2017). *Evaluación de Aluminio, Cobre, Hierro y Vanadio en agua, suelos y sedimentos recolectados en la reserva biológica de Limoncocha para establecer una línea base 2015-2017 con fines de conservación y preservación*. Quito.
- Papassiopi, N., Tambouris, S., & Kontopoulos, A. (1999). Removal of heavy metals from calcareous contaminated soils by EDTA leaching. *Water, Air, and Soil Pollution*, 109(1-4), 1-15.
- Perea, E., Ojeda, D., Hernández, A., Ruiz, T., & Martínez, J. (2010). *Utilización de quelatos en la agricultura*. Chihuahua.
- Pérez, A. (2013). *Formación de complejos: EDTA y quelatos*. Manizales.
- Repo, E., Warchoń, J. K., Bhatnagar, A., & Sillanpää, M. (2011). Heavy metals adsorption by novel EDTA-modified chitosan–silica hybrid materials. *Journal of colloid and interface science*, 358(1), 261-267.
- Robalino, R. (2017). *Determinación de Cd, Co, Ni, Zn en agua, suelo y sedimento de la RBL en el periodo 2015-2017 para establecer la línea base con fines de conservación*. Quito.
- Rosas, H. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat*. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Sarmiento Viteri, Deisy (2013). Evaluación de la contaminación por metales pesados en muestras de musgo recolectadas durante el período febrero – marzo 2011 en la Estación Antártica Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado. Trabajo de investigación para optar por el grado de Química. Carrera de Química. QUITO: UCE. 126p
- Sun, B., Zhao, F. J., Lombi, E., & McGrath, S. P. (2001). Leaching of heavy metals from contaminated soils using EDTA. *Environmental pollution*, 113(2), 111-120.
- Walco. (1997). *Guía actualizada y completa sobre el uso de quelatos*. Bogotá.
- Zhang, W., Huang, H., Tan, F., Wang, H., & Qiu, R. (2010). Influence of EDTA washing on the species and mobility of heavy metals residual in soils. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1), 369-376.