

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Tesis de grado previa la obtención de título de Ingeniera Ambiental

PROCESOS DE SORCIÓN DE PLOMO EN SUELOS
ARCILLOSOS DE LA REGIÓN AMAZÓNICA
ECUATORIANA.

Director de Tesis: Dr. Carlos Ordóñez

Elaborado por: Gabriela Chávez Lima

2002-2003

Dedicatoria:

A mi madre que con su esfuerzo, me ha impulsado a seguir adelante en todos los momentos de mi vida.

Por su fortaleza, respaldo y cariño he logrado todo lo que soy y lo que tengo ahora.

Por sus desvelos, sus enfermedades, su stress, su tiempo, eso y todos sus sacrificios por verme crecer, educarme y sacarme adelante.

Por ser mi amiga, apoyo y enseñarme como levantarme en los momentos difíciles.

A mi padre que lo extraño tanto, por sus consejos, su amor incondicional. Por enseñarme el valor de aprender, de ser una persona respetable, honorable y buena.

A mis padres que juntos me enseñaron el amor, el talento, lo valioso de la vida y sobre todo por darme tantos momentos felices.

Agradecimiento:

A mi Director de tesis Dr. Carlos Ordóñez, le agradezco por su paciencia, porque siempre que necesite de su ayuda estuvo ahí para enseñarme y brindarme su amistad.

A Marthita Armas que sin su ayuda no habría podido estudiar, ni mucho menos llegar a graduarme, por ser una abuela genial y ser como una madre para mi y para mi hija.

A mi esposo Santiago Aguirre y a mi hija Luciana porque todo lo que hago lo hago por ellos, impulsándome por el tan grande amor que les tengo. Y por cumplir juntos con un sueño que nos hace tan felices y nos ayudará a tener un futuro mejor.

Resumen:

En una muestra de suelo de la Amazonía Ecuatoriana (zona de Limoncocha) se realizó la caracterización físico-química y mineralógica del suelo con los siguientes resultados: pH 6,2, humedad de 21,1%, materia orgánica de 19,7%, CIC de 31,1 meq/100g. de suelo, conductividad de 3,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, contenido de arcilla y limo de 94%. Se realizaron las isotermas de adsorción de plomo para determinar la capacidad de adsorción del suelo en el intervalo de 15 a 9000 ppm de plomo adicionado como nitrato de plomo, con un tiempo de agitación de 24 horas, temperatura de 19°C y medición de plomo al final de la agitación por espectrofotometría UV-Visible (Hach DR 4000); se registró la presencia de plomo desde 0,014 ppm hasta 0,284 ppm con una adsorción desde 99,8% hasta 99,9% a pH original del suelo. Se encontró que a un pH controlado de 4,5 el suelo registra la presencia de plomo desde 0,012 ppm hasta 0,241 ppm con una adsorción desde 99,0% hasta 99,9%

Existe gran adsorción en los dos casos estudiados: pH original 6,2 y controlado 4,5; sin embargo a pH 4,5 hay mayor adsorción pero con una diferencia desde 0,002 hasta 0,043 ppm que es muy pequeña. Lo que también ocurre a concentraciones bajas y altas de plomo.

A pH original del suelo 6,2 hay una desorción de plomo desde 0,013 hasta 0,107 ppm con un porcentaje de desorción desde 0,02% hasta 0,67% y a pH controlado de 4,5 hay una desorción desde 0,016 hasta 0,141 ppm con un porcentaje de desorción desde 0,01% hasta 0,02%.

Casi no existe desorción de plomo, lo que indica que el plomo se queda fuertemente retenido en el suelo. Hay mayor desorción de plomo a pH 4,5 que a pH 6,2; pero la diferencia de desorción es mínima entre los dos pH y esta va desde 0,003 hasta 0,037 ppm.

En las concentraciones bajas cuando se añadió al suelo 1,5, 45 y 90 mg de plomo en el suelo (15, 450 y 900 mg/L) hubo mayor desorción al pH 4,5; cuando se

añadió al suelo 150 y 300 mg de plomo en el suelo (1.500, 3.000 mg/L) hubo mayor desorción a pH 6,2; cuando se añadió al suelo 600 mg. de plomo hubo igual desorción a pH 4,5 y a pH 6,5; y cuando se añadió al suelo 900 mg. de plomo en el suelo (9.000 mg/L) hubo mayor desorción a pH 4,5.

Las isothermas utilizadas en nuestro estudio son las de Langmuir y la de Freundlich.

Abstract:

By physical, chemical and mineralogical characterizations made on a sample of ground from Ecuadorian Amazonia (Limoncocha), the following results were obtained: pH 6.2, humidity of 21.1%, organic matter of 19.7%, CIC of 31.1 meq/100g., conductivity of 3,2 μ S/cm, contained of clay and slime 94%.

The lead adsorption isotherms were made to determine the capacity of adsorption of the ground in the interval from 15 to 9000 ppm of added lead as lead nitrate, with an agitation time of 24 hours and a 19°C temperature.

Lead concentration was measure at the end of the agitation by espectrophotometric UV- Visible method (Hach Dr 4000); the lead presence was registered from 0.014 ppm to 0.284 ppm with an adsorption range from 99.8% to 99.9%, with the original ground pH. Using a controlled pH of 4.5, was registered a lead presence in a range from 0.012 ppm to 0.241 ppm with an adsorption from 99.0% to 99,9%.

Great adsorption exists in the both cases studied: original pH 6.2 and controlled pH 4,5; nevertheless to pH 4.5 there is greater adsorption but with a very little difference from 0.002 to 0.043 ppm. An important lead adsorption in this type of ground also occurs under high and low concentrations of lead added.

With original pH of ground 6.2, leads desorption from 0.013 to 0.107 ppm and a percentage from 0.02% to 0.67% was obtained; using a controlled pH of 4.5, leads desorption from 0.016 to 0.141 ppm and a percentage of desorption from 0.01% to 0,02% was found.

Insignificant lead desorption exists, which indicates that the lead is strongly retained in the ground. There is greater lead desorption with pH 4.5 than pH 6,2; even though this difference is minimum and it goes from 0.003 to 0.037 ppm of lead concentration.

At low concentrations, when 1.5, 45 and 90 mg of lead was added to ground (15, 450 and 900 mg/L), the highest desorption was register with pH 4,5.

Proving concentrations of 150 and 300 mg of lead added to ground (1.500, 3.000 mg/L), the highest desorption was obtain with pH 6,2.

Adding 600mg. of lead, the desorption was the same with pH 4.5 and pH 6,5

Finally, adding 900 mg of lead to ground (9.000 mg/L), the highest desorption was found with pH 4,5.

The isotherms used in our study are those of Langmuir and Freundlich.

Introducción:

Los residuos generados por los distintos sectores industriales pueden causar serios daños a la salud humana y al medio ambiente si son mal gestionados.

Tal es el caso de la contaminación de cuerpos de agua como producto de las actividades de exploración y explotación hidrocarburífera, que se realizan en nuestro país, especialmente en la región amazónica.

Esta actividad va adquiriendo significativa importancia debido a su incremento.

La presencia de metales pesados como el plomo, en las aguas de formación o en el mismo crudo constituye una fuente de contaminación que debe investigarse.

Las empresas tienen muchos problemas para encontrar una salida ambientalmente eficaz a sus residuos.

Como consecuencia del interés que se presta al tema está apareciendo nuevas tecnologías de tratamiento que cumplen el objetivo de controlar o tratar adecuadamente los desechos en especial aquellos considerados como tóxicos. Por tanto, los residuos industriales representan un problema que la sociedad debe resolver mediante la utilización y puesta en marcha de nuevas tecnologías y técnicas eficaces que permitan conservar un ambiente libre de contaminación

En el presente estudio se analizará concretamente la sorción de metal plomo en suelos de características predominantemente arcillosas como los de la región amazónica ecuatoriana (zona de Limoncocha).

Capítulo I

MARCO TEÓRICO

1.1. Suelo:

El suelo es un cuerpo natural, compuesto de una mezcla variable de minerales desmenuzados y materia orgánica en descomposición, que cubre la superficie continental de la tierra.

Los suelos cambian mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado, están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización¹, por la topografía² y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas. El cultivo de la tierra priva al suelo de su cubierta vegetal y de mucha de su protección contra la erosión del agua y del viento, por lo que estos cambios pueden ser más rápidos.

1.1.1. Naturaleza del Suelo

En condiciones óptimas de crecimiento vegetal está constituido por: una fase líquida, una fase sólida orgánica e inorgánica, y una fase gaseosa.

En la fase sólida es muy heterogénea, formado por fragmentos de minerales de varios tamaños que varían desde trozos distinguibles de piedra y grava³ hasta menos de 1/40.000 centímetros.

La fase sólida orgánica es una acumulación de residuos animales y vegetales, en descomposición, porque es fácilmente atacado por microorganismos. La fracción orgánica representa entre el 2 y el 5% del suelo superficial en las regiones húmedas, pero puede ser menos del 0.5% en suelos áridos o más del 95% en suelos de turba⁴.

Cuando contienen poca materia orgánica se los llama suelos minerales, suelos orgánicos son los que favorecen la acumulación de materia orgánica.

La fase sólida inorgánica, tiene partículas de tamaño diverso, desde piedra, grava y partículas microscópicas de arcilla.

El componente líquido de los suelos, es sobre todo agua con varias sustancias minerales en disolución, cantidades grandes de oxígeno y dióxido de carbono disueltos.

En la fase gaseosa, los principales gases contenidos en el suelo son el oxígeno, el nitrógeno y el dióxido de carbono. La presencia de oxígeno es vital para el crecimiento de las plantas ya que su absorción por las raíces es necesaria para sus procesos metabólicos.

1.1.2. Clases de suelo

El color es uno de los criterios más simples para calificar las variedades de suelo. La regla general, aunque con excepciones. Los suelos oscuros son más fértiles que los claros, suele ser resultado de la presencia de grandes cantidades de humus, o deben su tono a la materia mineral o a humedad excesiva.

Los suelos rojos o castaño-rojizos suelen contener una gran proporción de óxidos de hierro (derivado de las rocas primigenias⁵) que no han sido sometidos a humedad excesiva. Es un indicio de que el suelo está bien drenado, no es húmedo en exceso y es fértil. Casi todos los suelos amarillos o amarillentos tienen escasa fertilidad. Deben su color a óxidos de hierro que han reaccionado con agua y son de este modo señal de un terreno mal drenado.

1.1.3. Textura del suelo:

La textura esta expresada por la composición granulométrica del suelo, depende de las proporciones de partículas de distintos tamaños que lo constituyen. Las partículas del suelo se clasifican como arena, limo y arcilla.

Las partículas de arena tienen diámetros entre 2 y 0,05 mm, las de limo entre 0,05 y 0,002 mm, y las de arcilla son menores de 0,002 mm. En general, las partículas de arena pueden verse con facilidad y son rugosas al tacto. Las partículas de limo apenas se ven sin la ayuda de un microscopio y parecen harina cuando se tocan. Las partículas de arcilla son invisibles si no se utilizan instrumentos y forman una masa viscosa cuando se mojan.

En función de las proporciones de arena⁶, limo⁷ y arcilla⁸, la textura de los suelos se clasifica en varios grupos definidos de manera arbitraria. Algunos son: la arcilla arenosa, la arcilla limosa, el limo arcilloso, el limo arcilloso arenoso, el fango arcilloso, el fango, el limo arenoso y la arena limosa. Los suelos con un porcentaje elevado de arena suelen ser incapaces de almacenar agua suficiente como para permitir el buen crecimiento de las plantas y pierden grandes cantidades de minerales nutrientes por lixiviación hacia el subsuelo. Los suelos que contienen una proporción mayor de partículas pequeñas, por ejemplo las arcillas y los limos, son depósitos excelentes de agua y encierran minerales que pueden ser utilizados con facilidad. Sin embargo, los suelos muy arcillosos tienden a contener un exceso de agua y tienen una textura viscosa que los hace resistentes al cultivo y que impide, con frecuencia, una aireación suficiente para el crecimiento normal de las plantas.

1.1.4. Capacidad de Intercambio Catiónico C.I.C.:

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es el número total de cargas negativas disponibles (sitios de intercambio) para atraer cationes al suelo o la habilidad de un suelo a retener e intercambiar cationes en superficie negativamente cargada

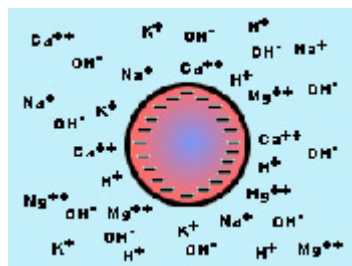


Figura 1: Partícula coloidal

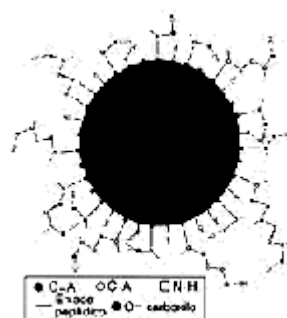


Figura 2: Partícula coloidal

Alrededor de cada partícula coloidal⁹ se sitúa una nube de iones¹⁰ colocándose en la capa primera de los signos contrarios a la partícula y al estar más cerca se retiene con más fuerza, pueden intercambiarse con las capas vecinas y en último lugar con los de la solución que están libres, a probabilidad de que un tipo de ión este adsorbido es fruto de su concentración en la solución, cuanto mayor es ésta mayor es la tendencia a la adsorción, y a medida que va disminuyendo su concentración en la solución va siendo liberado del complejo adsorbente y sustituido por otro cuya concentración sea superior. No obstante el tamaño de los iones y su carga les hace más o menos susceptibles de ser retenidos.

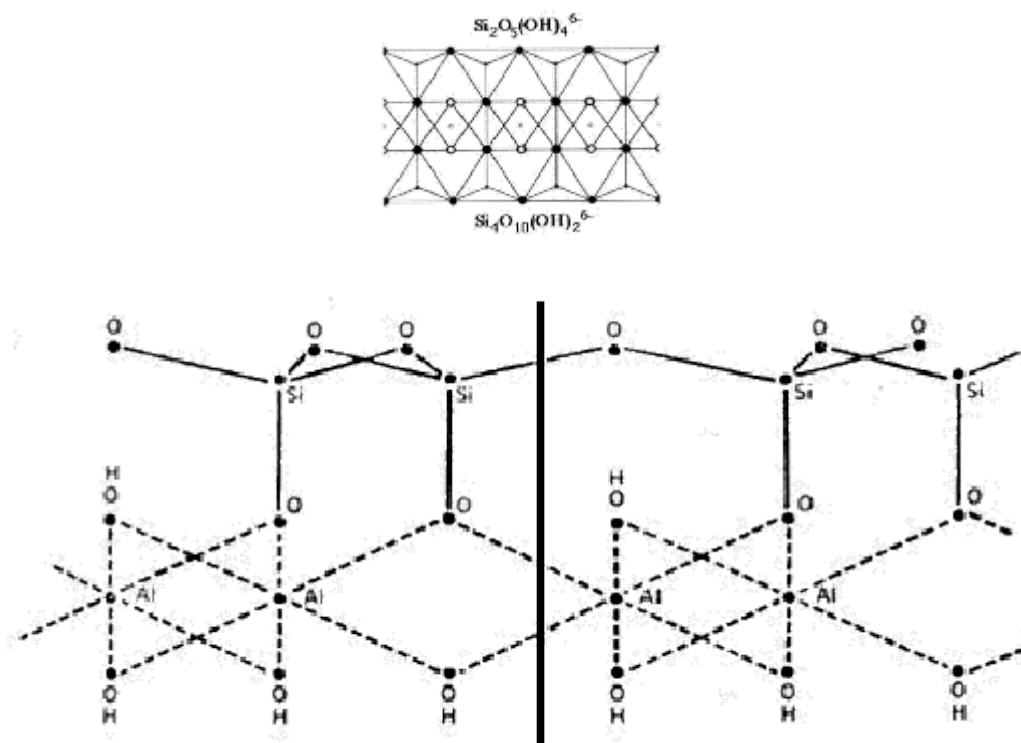


Figura 3: Partícula de arcilla

La capacidad de intercambio iónico, o como la mayor parte de los iones retenidos son cationes, se habla frecuentemente de capacidad de intercambio catiónico y se utilizan las siglas "CIC". Se expresa en $\text{cmol}_c/\text{kg} = \text{meq}/100\text{g}$

Los nutrientes se encuentran en el suelo en forma de iones, los cuales tienen carga positiva o negativa (los de carga positiva se llaman cationes; los de carga negativa, aniones). Las partículas de arcilla y los coloides orgánicos tienen carga

negativa en su superficie y atraen y retienen (débilmente) los iones con carga positiva. Algunos cationes son retenidos más fuertemente que otros, lo que hace más difícil su lixiviación por acción del agua. Los iones hidrógeno (de carga positiva) constituyen un subproducto de las raíces y de los organismos del suelo. Las raíces intercambian iones hidrógeno por otros nutrientes con carga positiva. La capacidad de intercambio catiónico o intercambio de base está determinada por la capacidad de retención de la arcilla o del humus¹¹. Cuanto mayor es dicha capacidad de retención mayor es la capacidad de intercambio catiónico .

El suelo posee una capacidad de intercambio iónico que depende de su composición, fundamentalmente de las arcillas y la materia orgánica.

Las partículas de arcilla y las moléculas orgánicas presentan una carga residual negativa sobre su superficie por lo que son intercambiadores catiónicos, mientras que los oxihidróxidos¹² de hierro y aluminio están cargados positivamente y son intercambiadores aniónico.

Alrededor de cada partícula coloidal se sitúa una nube de iones, colocándose en la primera capa los de signo contrario a la partícula, al estar más cerca se encuentran retenidos con más fuerza, pueden intercambiarse con los de las capas vecinas y en último lugar con los de la solución que están libres.

De este modo, la probabilidad de que un tipo de ión este adsorbido es fruto de su concentración en la solución, cuanto mayor es la concentración mayor es la tendencia a la adsorción, y a medida que va disminuyendo su concentración en la solución va siendo liberado del complejo adsorbente y sustituido por otro cuya concentración sea superior.

1.1.5. Conductividad

La conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son

los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad.

En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continúa hasta que la solución está tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar.

Algunas sustancias se ionizan en forma más completa que otras y por lo mismo conducen mejor la corriente. Cada ácido, base o sal tienen su curva característica de concentración contra conductividad.

- **Son buenos conductores:** los ácidos, bases y sales inorgánicas: HCl, NaOH, NaCl, Na₂CO₃, etc.
- **Son malos conductores:** Las moléculas de sustancias orgánicas que por la naturaleza de sus enlaces son no iónicas: como la sacarosa, el benceno, los hidrocarburos, los carbohidratos, etc., estas sustancias, no se ionizan en el agua y por lo tanto no conducen la corriente eléctrica.

Un aumento en la temperatura, disminuye la viscosidad del agua y permite que los iones se muevan más rápidamente, conduciendo más electricidad. Este efecto de la temperatura es diferente para cada ion, pero típicamente para soluciones acuosas diluidas, la conductividad varía de 1 a 4 % por cada ° C.

Conociendo estos factores, la medición de la conductividad nos permite tener una idea muy aproximada de la cantidad de sales disueltas.

Las unidades de la conductividad eléctrica son el Siemens/cm (las unidades antiguas, eran los mhos/cm que son numéricamente equivalentes al S/cm).

1.1.6. Minerales presentes en el suelo:

1.1.6.1. Albita:

- **Fórmula química:** NaAlSi₃O₈
- **Clase:** Silicatos
- **Subclase:** Tectosilicatos

- **Grupo:** Feldespatos
- **Subgrupo:** Plagioclasas
- **Etimología:** Del latín "*albus*" blanco.
- **Propiedades físicas:**

Color:	Incoloro, blanco, gris, más raramente verdoso, amarillento y rojo carne.
Raya:	Incolora.
Brillo:	Reluciente.
Dureza:	6 a 6.5
Densidad:	2.63 g/cm ³
Óptica:	Índices de refracción bajos, birrefringencia débil, ángulo de los ejes ópticos grande. Biáxico positivo.
Otras:	

- **Química:** La albita es el término más sódico de la serie de las plagioclasas, siendo frecuente la mezcla de albita y anortita llamada pertitización.
- **Forma de presentarse:** Normalmente en cristales bien conformados, implantados o maclados, de hábito tabular o alargado. La ***Periclina*** es una variedad de la albita de color blanco opaco con cristales maclados según la dirección del eje b. También en masas espáticas.
- **Empleo:** Para cerámica muy fina.

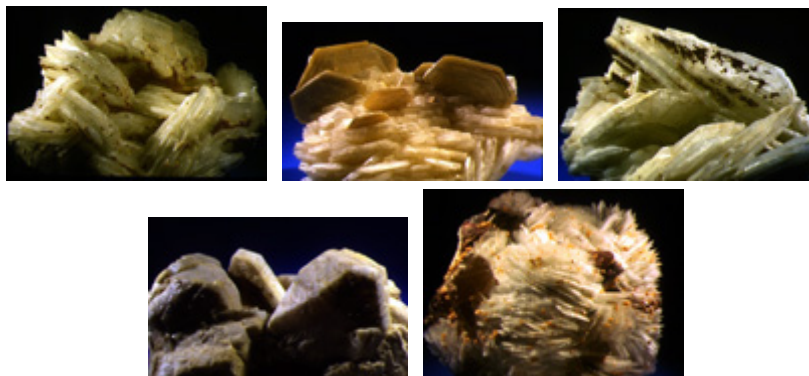


Figura 4: Albita

1.1.6.2. Cuarzo:

- **Formula Química:** (SiO_2) Óxido de Silicio
- **Genesis:** El cuarzo es el componente fundamental de muchos tipos de rocas, y el mineral más abundante en la corteza terrestre, especialmente en las rocas ígneas ácidas, de ahí que sea tan frecuente y abundante, pero también en rocas sedimentarias y metamórficas por ser al mismo tiempo muy resistente.
- **Etimología:** El nombre del cuarzo proviene de la palabra griega "Kristallos" que significa hielo. Esto era así porque los antiguos griegos pensaban que el cuarzo era agua congelada tan intensamente que ya no se podía descongelar. Esta idea perduró hasta el siglo XVII.
- **Propiedades físicas**

Brillo:	Vítreo intenso especialmente en cristal de roca, mate en calcedonias.
Color:	Muy variado, los más comunes, blanco, transparente, rojo, gris, violeta, amarillo y rosa.
Transparencia:	Transparente.
Dureza:	7 (duro, raya el vítreo) y menos en las formas criptocristalinas.
Fractura:	Conchoidal, con superficies resultantes muy lisas.
Exfoliación:	[0110] Indistintamente.
Luminiscencia:	Triboluminiscente
Raya:	Blanca
Otras:	El índice de refracción de 1,55 Fuertemente piezoeléctrico.

- **Propiedades Químicas**

Peso molecular:	60,08 gm
Composición:	Sílice 46.74 % Si 100.00 % SiO_2 Oxígeno 53.26 % O

	100.00 % 100.00 % = TOTAL ÓXIDOS

Formula empírica:(SiO₂)

Nombre del Silice

compuesto Dióxido de Silicio (o Bióxido)

químico: Oxido de Silicio

Reactividad: Muy baja, Solamente es atacable por el bórax fundido y ácido Fluorhídrico lo que le hace el envase ideal por excelencia para contener y manipular los reactivos de laboratorio.

Sustituciones

isomórficas - Ga, P, Al.

- **Empleo:** Ampliamente utilizado en la industria de la óptica, en aparatos de precisión y científicos, para osciladores de radio, como arena se emplea en morteros de hormigón, como polvo en fabricación de porcelanas, pinturas, papel de esmeril, pastillas abrasivas y como relleno de madera. Sus variedades coloreadas como piedras de adorno, siendo muy cotizados en joyería los ópalos de diversos colores (tripletes).



Cuarzo 214
var. amatista



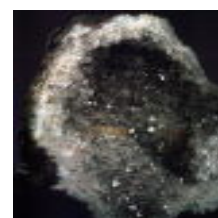
Cuarzo 215
var. calcedonia



Cuarzo 224
var. hialino



Cuarzo 488
var. amatista



Cuarzo 520
var. rutilado

Figura 5: Cuarzo

1.1.6.3. Kyanita o Cianita:

- **Fórmula química:** Al₂SiO₅
- **Clase:** Silicatos
- **Subclase:** Nesosilicatos
- **Grupo:** Al₂SiO₅
- **Etimología:** Deriva del término griego "kianos" que significa azul.

- **Propiedades físicas:**

Color:	Azul es el más corriente, aunque aparece blanca, gris o rosada.
Raya:	Blanca o incolora.
Brillo:	Vítreo a veces nacarado.
Dureza:	Anisótropo con 4.5 a 5 en dirección a la fibra y 6 a 7 transversalmente a la misma.
Densidad:	3.66 g/cm ³
Óptica:	Altos índices, birrefringencia baja y biáxico negativo.

- **Química:** Contiene el 63.2% de Al₂O₃ y el 36.8% de SiO₂. Polimorfo de andalucita y de sillimanita.
- **Forma de presentarse:** En cristales alargados y planos, cintiforme o en agregados radiales, bacilares u hojosos irregulares.

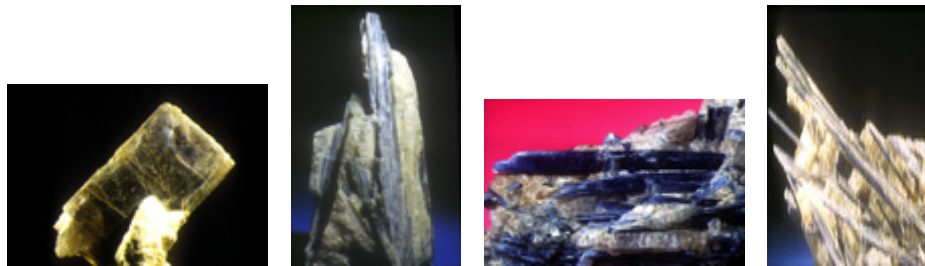


Figura 6: Kyanita

1.1.6.4. Hematita:

- **Fórmula química:** Fe₂O₃
- **Clase:** Óxidos
- **Grupo:** de la hematites
- **Etimología:** Deriva de una palabra griega "*haimatites*" que significa sangre en alusión al color del mineral. El mineral se denomina también Oligisto.
- **Propiedades físicas:**

Color:	De gris a rojo.
Raya:	Roja.

Brillo:	Metálico gris a térreo en los ocre.
Dureza:	5 a 6
Densidad:	5.26 g/cm ³
Óptica:	Opaco, algo traslúcido. Color blanco azulado con reflexiones internas rojas.
Otras:	En los ejemplares metálicos se aprecian irisaciones.

- **Química:** Contiene un 70% de hierro, pudiendo tener, además, titanio y manganeso. Se disuelve lentamente en clorhídrico.
- **Forma de presentarse:** Cristales generalmente tabulares o formando rosetas. En masas botroidales o reniformes con estructura radiada. También micáceo, hojoso (*Especlarita*) y terroso (*Ocres*).
- **Empleo:** Es al mena más importante de hierro. Se emplea también como pigmento, ocre rojo y para polvo de pulir.

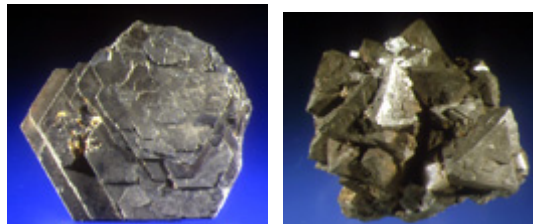


Figura 7: Hematita

1.1.6.5. Paravauxita:

- **Fórmula química:** $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
- **Clase:** Fosfatos.
- **Etimología:** En honor del coleccionista estadounidense George Vaux Jr (1863-1927).
- **Propiedades físicas:**

Color:	Incoloro a blanco con ligeros tonos verdosos.
Raya:	Blanca.
Brillo:	Vítreo, perlado según crucero.

Dureza: 3.
Densidad: 2.36.
Óptica: Biáxico positivo.
Otras:

- **Química:** Contiene 27.64% de P_2O_5 , 21.00% de Al_2O_3 , 13.60% de FeO , 1.52% de Fe_2O_3 , 1.20% de SiO_2 y 35.05% de H_2O .
- **Forma de presentarse:** Cristales prismáticos cortos o tabulares finos, pudiendo formar agregados radiales o subparalelos.

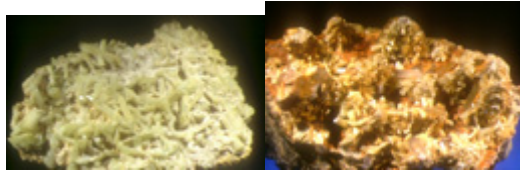


Figura 8: Paravauxita

1.1.7. Procedimiento de lixiviación característico de toxicidad TCLP:

El TCLP genera muestras para el análisis de compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles, pesticidas y especies metálicas.

Es adecuado para determinar la movilidad tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos presentes en líquidos, sólidos y residuos multifacéticos. Para residuos que contienen menos de 0.5% de sólidos al residuo, después de ser filtrado a través de un filtro de fibra de vidrio de 0.6-0.8 mm se le define como extracto TCL.

Para residuos que contienen más de un 0.5% de sólidos, la fase líquida si la hay, se separa de la fase sólida y se almacena para posteriores análisis. El tamaño de la partícula de la fase sólida reduce (si es necesario), se pesa y se mezcla con una cantidad de fluido extractante igual a 20 veces el peso de la fase sólida, se coloca en un sistema de giro rotatorio y se mantiene girando a 30 ± 2 rpm C durante el periodo de extracción es función de la alcalinidad de la fase sólida del residuo.

1.1.8. Caracterización de Lixiviados:

El lixiviado obtenido por cualquiera de los tests de lixiviación descritos constituye una matriz representativa del potencial tóxico del residuo sólido del que ha sido obtenido.

La caracterización del lixiviado permite obtener una descripción del residuo de una forma sencilla generalmente más económica que la caracterización sobre el propio residuo.

1.1.9. CONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS

La contaminación de metales pesados en suelos tiene orígenes muy diversos:

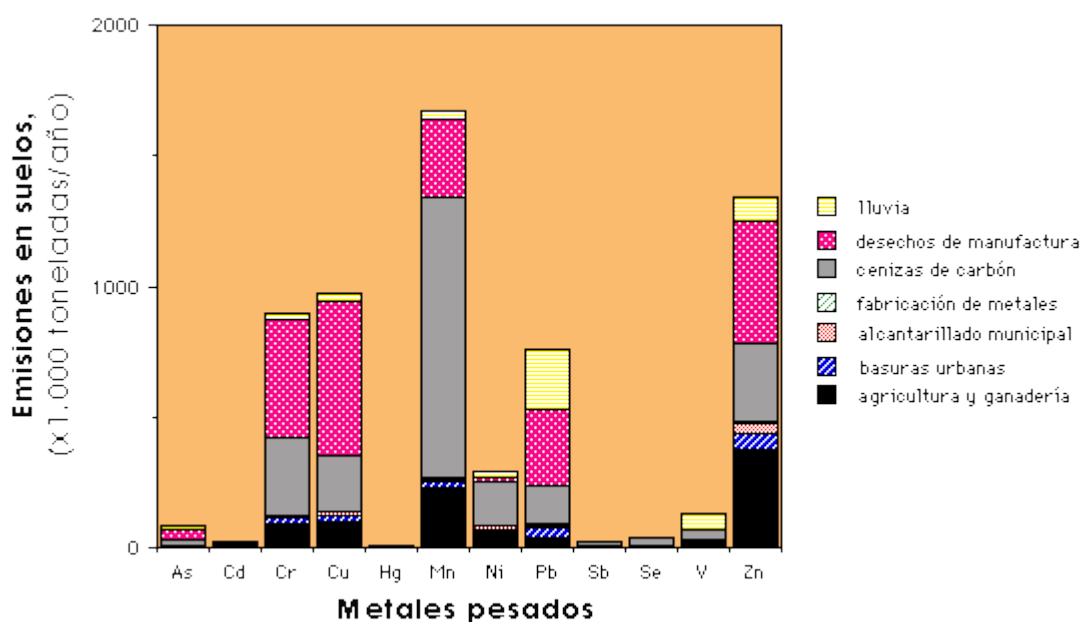


Figura 9: Orígenes de la contaminación de suelos por metales pesados

A excepción de pH ácidos, los metales son poco móviles en suelos y tienden a acumularse en la parte superficial, en el horizonte biológicamente más activo, lo que hace que los metales estén fácilmente accesibles para los vegetales. Generación de electricidad y otras actividades industriales. La combustión de carbón es una de las principales fuentes de deposición de metales en suelos. Las centrales térmicas de combustión de petróleo pueden ser fuentes de plomo, níquel y vanadio.

Las fábricas de baterías, pueden emitir cantidades considerables de plomo. Los metales asociados con áreas altamente industrializadas, incluyen arsénico, cadmio, cromo, hierro, níquel, plomo, zinc y mercurio.

Los contenidos medios de metales en suelos se reproducen en la siguiente gráfica, pero hemos de destacar que la concentración de los metales en los suelos varía considerablemente con la profundidad (como ocurre generalmente con todas las propiedades de los suelos).

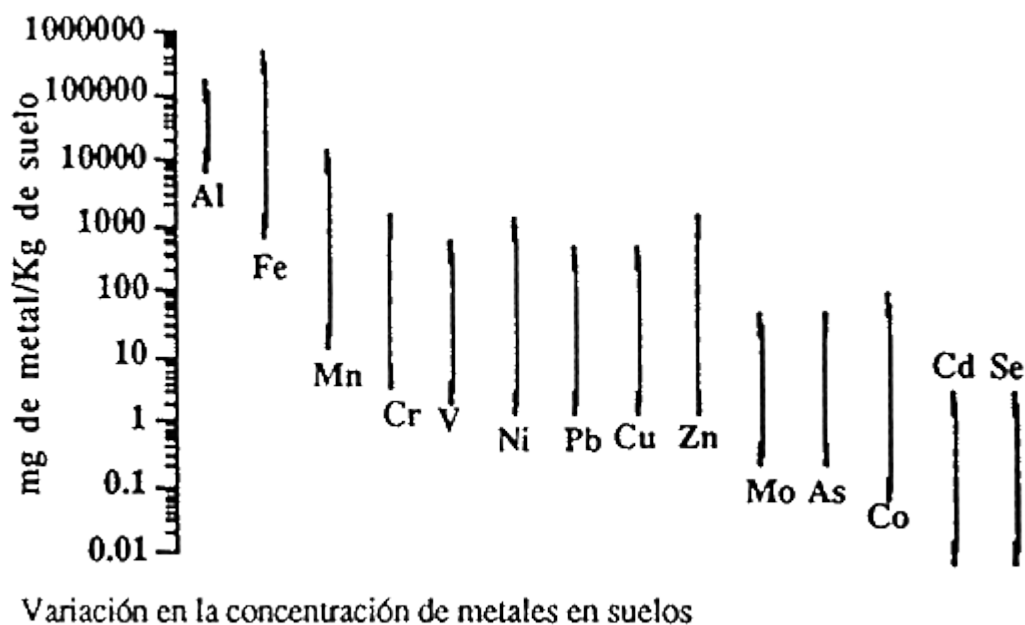


Tabla 1: Variación en la concentración de metales en suelos

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original en el suelo. Pero la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas.

De hecho esto sucede debido a los vertidos de origen antropogénico, procedentes de vertidos industriales, de actividades mineras, de la aplicación de plaguicidas o también del tráfico rodado. Como resultado, se emiten grandes cantidades de

partículas que, después de un cierto tiempo de permanencia en la atmósfera, precipitan en los suelos lejos del lugar donde han sido vertidas.

En un balance realizado a finales de la década de los años 80, se estimó que la cantidad anual de vertidos de metales en suelos ascendía a unos 5 mil billones de Kg. El 74% de esta cantidad corresponde a las cenizas procedentes de la combustión de carburantes, principalmente carbón.

Fuente	Contribución (%)
Cenizas de combustión	74
Desechos urbanos	9
Turba	6
Residuos metalurgia	6
Residuos materia orgánica	3
Fertilizantes	2

Tabla 2: cantidad anual de vertidos de metales en suelos

Como se observa en la siguiente tabla, el plomo ha experimentado mayores incrementos en su producción en los últimos años, si bien no todos llegan a los suelos proporcionalmente a la cantidad utilizada.

Cambios en la producción primaria de algunos metales (en 1000Tm/año) (Alloway, 1990).					
Producciones					Emisiones en suelos
Metal	1930	1950	1980	1985	1980/90
Al	120	1.500	15.395	13.690	--
Cd	1	6	15	19	22
Cr	560	2.270	11.245	9.940	896
Cu	1.611	2.650	7.660	8.114	954

Fe	80.180	189.000	714.490	715.440	--
Pb	1.696	1.670	3.096	3.077	796
Mn	3.491	5.800	26.720	--	1.670
Hg	4	5	7	7	8
Ni	22	144	759	778	325
Sn	179	172	251	194	--
V	--	1,8	35	134	132
Zn	1.394	1.970	5.229	6.024	1.372

Tabla 3: Elementos que han experimentado mayores incrementos en su producción en los últimos años

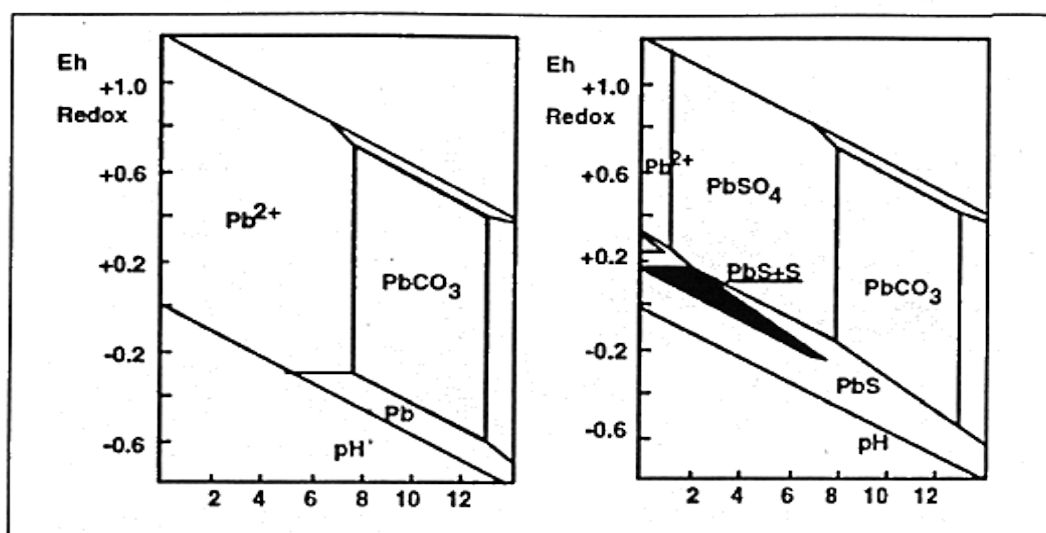
Una vez vertidos en el suelo, la concentración de los cationes metálicos en la disolución del suelo disminuye con el tiempo, puesto que pasan a ser adsorbidos en las posiciones de adsorción.

1.1.9.1. Condiciones redox.

El potencial de oxidación-reducción¹³ es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido. Los diagramas Eh-pH se utilizan para mostrar la estabilidad de compuestos de metales pesados y proporciona un método fácil para predecir el comportamiento de los metales pesados frente a un de cambio en las condiciones ambientales.

Cuando los suelos y sedimentos contienen cantidades significantes de piritita y aumenta el Eh (creación de condiciones mas oxidantes) el S²⁻ se oxida a SO₄⁼ liberando cantidades de H₂SO₄, el suelo se acidifica fuertemente y los metales se hacen muy solubles.

Un ejemplo lo representa el diagrama Eh-pH para el Pb



The Eh-pH diagram for lead in a freshwater environment and for a marine environment.

Wim Salomons, 1993

Tabla 4: Diagrama de Eh-pH para el plomo

La fase estable dominante es PbCO_3 , que se hace más inestable si las condiciones ambientales son más ácidas. El PbCO_3 tiene un elevado producto de solubilidad y cuando este mineral se encuentra en aguas superficiales, se observan altas concentraciones de Pb. Cuando el azufre es abundante se forman los compuestos indicados en el diagrama. Bajo condiciones reductoras (bajo Eh) el PbS es la fase estable. El sulfuro de plomo se forma en estuarios y medios marinos donde los sulfatos se reducen a sulfuros que reaccionan con plomo para formar sulfuro de plomo (insoluble). Por tanto condiciones ambientales que provoquen un aumento del potencial redox, podrían originar la inestabilidad del sulfuro de plomo, con una subida de la concentración de plomo disuelto.

Movilidad relativa de los metales pesados según el Eh y pH del suelo				
Movilidad	Oxidante	Acido	Neutro y alcalino	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

Tabla 5: Tabla de Plant y Raiswell (1983), movilidad de los metales pesados y elementos asociados en función de las condiciones de pH y Eh.

Los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn juegan un importante papel en la retención de los metales pesados. Tienen una alta capacidad de fijar a los metales pesados e inmovilizarlos. Además, estos compuestos se presentan finamente diseminados en la masa del suelo por lo que son muy activos. Los suelos con altos contenidos de Fe y Mn tienen una gran capacidad de adsorber metales divalentes, especialmente Cu, Pb y en menor extensión Zn, Co, Cr, Mo y Ni.

1.1.9.2. Salinidad.

El aumento en salinidad¹⁴ puede incrementar la movilización de metales pesados por dos mecanismos. Primeramente los cationes asociados con las sales (Na, K) pueden reemplazar a metales pesados en lugares de adsorción. En segundo lugar los aniones cloruro pueden formar complejos solubles estables con metales pesados tales como Cd, Zn y Hg. Tienden a dar suelos de pH básicos.

En definitiva, según la forma en la que se encuentre el metal retenido en el suelo, así será la disponibilidad relativa por las plantas y por tanto la incorporación en los organismos.

Forma de retención en el suelo	Disponibilidad relativa
Iones en solución del suelo	Fácilmente disponible
Ión en complejo de cambio	Relativamente disponibles pues estos metales, por su pequeño tamaño y altas cargas, quedan fuertemente adsorbidos
Metales quelados por compuestos orgánicos	Menos disponibles
Metal precipitado o coprecipitado	Disponible sólo si ocurre alguna alteración química
Incorporado a la matriz biológica	Disponible después de la descomposición
Metal en la estructura mineral	Disponible después de la meteorización

Tabla 6: Disponibilidad relativa del metal retenido en el suelo para las plantas y por tanto la incorporación en los organismos.

Al pasar el tiempo disminuye la disponibilidad de los metales, ya que se van fijando en las posiciones de adsorción más fuertes y también los geles van envejeciendo y se van volviendo más cristalinos.

La movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes subsuperficiales en muy pequeñas cantidades. Es por ello que la presencia de altas concentraciones en el horizonte superficial seguida de un drástico decrecimiento a los pocos centímetros de profundidad es un buen criterio de diagnóstico de contaminación antrópica.

1.1.10. Reacción del suelo frente a los contaminantes:

En general se ha comprobado que el suelo ha actuado como barrera frenando la contaminación. Las aguas ácidas han sido neutralizadas en la superficie del suelo por los carbonatos presentes en la mayoría de ellos.

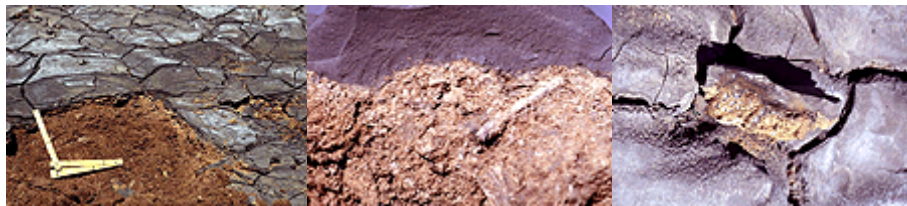


Figura 10: Carbonatos presentes en la mayoría de los suelos

Lógicamente al subir el pH de las aguas se ha producido la precipitación de la mayoría de los metales pesados y deben haber quedado retenidos en el horizonte superficial del suelo

Se produce inmediatamente a la llegada de las aguas y los lodos tóxicos. Cuando llega el vertido los suelos estaban secos, encontrándose agrietados. Las aguas se infiltran masivamente a través de los suelos, mientras que los lodos quedan fundamentalmente sobre la superficie de los suelos, recubriéndolos, y sólo una pequeña parte de ellos se introduce en el suelo a través de la macro porosidad.



Figura 11: Lodos tóxicos se introducen en el suelo a través de macro porosidades

1. 1.11. El suelo como un sistema de tratamiento:

“El suelo tiene la capacidad de tratar materia orgánica e inorgánica, al igual que organismos patógenos, pues actúa como filtro, como intercambiador iónico, como adsorbedor y como superficie sobre la cual pueden ocurrir muchos procesos químicos y biológicos. Cuando el suelo no está saturado puede entrapar físicamente materia particulada del agua residual. La mayor parte de los suelos y de materia orgánica son de carga negativa, por lo que pueden atraer y retener los componentes catiónicos¹⁵ de las aguas residuales y repeler los componentes aniónicos; por ello la capacidad de intercambio catiónico es una buena medida de la habilidad del suelo para retener compuestos de agua residual.” (Arboleda, Valencia, Jorge, 2000)

El suelo sobre bacterias, virus, amonio, nitrógeno y fósforo. El ión amonio puede ser adsorbido sobre partículas de arcilla y, en condiciones anaeróbicas, permanece retenido sobre las partículas.

Diferentes estudios demuestran que con 0,6 a 1,2 m de espesor de suelo no saturado es posible remover bacterias y virus a niveles aceptables y casi todo el fósforo.

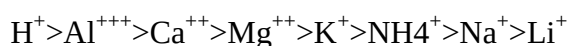
La profundidad de suelo requerida para el tratamiento adecuado del agua residual es función de su permeabilidad. Suelos con permeabilidad rápida permiten tasas de aplicación más altas, pero requieren mayores profundidades no saturadas.

1. 2. Química y adsorción de las arcillas:

Las arcillas están formadas por dos o más capas de óxido mineral. Estas capas son unidades paralelas apiladas de láminas de sílice y alúmina. El sílice forma láminas tetraédricas y la alúmina forma láminas octaédricas.

Estas capas paralelas contienen grandes cantidades de aluminio y silicio. El empilado de partículas puede ser de carga neutra, con igual número de cargas positivas y negativas, o pueden tener cargas negativas en abundancia.

Estos cationes de compensación que se adsorben en las superficies de partículas pueden ser cambiados por otros cationes. De allí que se denominan cationes intercambiables de la arcilla. La cantidad por unidad de peso de la arcilla es la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) medida en miliequivalentes¹⁶ (meq) por 100 gramos de arcilla seca. El siguiente orden de cationes se acepta generalmente, esta en orden de preferencia decreciente:



Los cationes a la izquierda se reemplazan con cualquier catión a la derecha. Para reemplazar un catión a la izquierda con uno de la derecha, se requiere una concentración de cationes mucho más alta del catión a la derecha. La temperatura puede tener un efecto sobre el intercambio de cationes debido a las relaciones de la solubilidad a la temperatura.

Por ejemplo, la solubilidad de sales de calcio, tales como sulfato de calcio, baja a temperaturas más altas; mientras que las sales de sodio son más solubles a altas temperaturas.

Para que una partícula de arcilla adsorba o retenga moléculas orgánicas, deben existir cargas eléctricas opuestas que la atraigan. Las arcillas con una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) tienen una elevado número de cargas negativas en sus superficies. Algunas arcillas con CIC medios o bajos tienen cargas positivas y negativas mezcladas.

Las partículas de arcilla pueden ser eléctricamente neutras, con igual número de cargas positivas y negativas.

Para que ocurra retención impenetrable, puede requerir de múltiples puntos eléctricos para retener una molécula aún cuando se encuentren presentes las cargas eléctricas adecuadas. La forma de la superficie de las partículas de arcilla, el tamaño del poro, y la acidez (pH) también pueden afectar la retención.

Las arcillas tienen distintos tipos de reacciones que pueden causar adherencia de minerales o de moléculas orgánicas a las partículas de arcilla.

1.2.1. Sistema Arcilla – Agua:

Cuando un mineral arcilloso se pone en contacto con el agua se forma una dispersión coloidal¹⁷ cuyo comportamiento depende de las interacciones entre los componentes del sistema que, básicamente son los siguientes:

- partículas de arcilla,
- moléculas de agua,
- cationes,
- aniones

En el caso de tratarse de una superficie cargada negativamente los cationes asociados a ella reciben el nombre de contraiones, mientras que los aniones acompañantes se denominan coiones.

La distribución de los sitios de carga en los minerales es de vital importancia en la adsorción de los contraiones y de las moléculas de agua. Cuando las láminas de mineral son neutras, los oxígenos basales¹⁸ son capaces de actuar como bases de Lewis¹⁹ débiles: donan o aportan electrones formando enlaces débiles con los complejos superficiales acuosos. Pero a medida que se incrementan las sustituciones isomórficas²⁰ dentro de las láminas de silicato se genera exceso de carga negativa en la superficie, lo cual lleva a los oxígenos a actuar como bases fuertes de Lewis formando complejos cada vez más estables con moléculas de agua (dipolo) a través de la interacción tipo puente hidrógeno.

1.3 Adsorción:

Es la unión de moléculas o partículas gaseosas o líquidas (adsorbato²¹) a un sólido (adsorbente²²), depende de la temperatura, la naturaleza de la sustancia adsorbida, el estado de subdivisión del sólido y la concentración de adsorbato.

Los adsorbentes pueden ser naturales (tierras arcillosas como la bentonina) o artificiales más comunes en la industria son carbón activado, gel de sílica y alumina, porque estas presentan una enorme área de superficie por unidad de peso.

El Carbón activado es producido asando materia orgánica como concha de coco, madera, huesos, etc. para descomponerlo en gránulos o esferas de carbón, se o activa por un tratamiento con aire caliente o vapor. El carbón activado usado se puede regenerar reasándolo, pero la expansión y contracción térmica eventualmente desintegran las estructuras de tal forma que un poco de carbón es perdido u oxidado. Tiene afinidad con hidrocarburos y solventes.

Gel de sílica es una matriz de dióxido de silicona hidratada. Tiene afinidad con el agua.

Alumina es extraído de una mina o sino es oxido de aluminio e hidróxido precipitado.

Generalmente se opera mediante dos métodos alternativos:

Se puede hacer pasar el agua por un lecho de adsorbente, en este caso, cuando se satura el lecho, se retira y se regenera.

O se pueden mezclar íntimamente ambos componentes en un tanque, los componentes han de separarse de nuevo por sedimentación, llevándose a regenerar el lodo separado.

La adsorción se clasifica en:

1.3.1. Adsorción física o fisisorción.-

Consiste en un enlace débil originado por fuerzas de Van der Waals²³, es un proceso reversible, es decir se puede regenerar el adsorbente, esto se logra bajando la presión o subiendo la temperatura.

1.3.2. Adsorción química o quimisorción.-

Implica una reacción química entre adsorbente y adsorbato. La naturaleza del enlace puede ser intermedia entre iónico y covalente. Es un proceso irreversible porque se produce un cambio en la naturaleza química. La adsorción química es responsable del efecto catalítico en las reacciones químicas. Cuando varía con la temperatura se la llama adsorción química activada. Cuando tiene lugar rápidamente es adsorción química no activada.

1.3.3. Isotermas de Adsorción:

Las isotermas de adsorción son representaciones gráficas de la cantidad de adsorbato adherido sobre la superficie de 1 gramo de sólido, en función de la cantidad inicial o de la concentración en equilibrio del mismo, siempre a temperatura constante.

El tipo de curva obtenida puede representar uno o más de los siguientes fenómenos:

- a. captación de una monocapa^{24,25} de adsorbato
- b. captación en multicapas y
- c. condensación en poros (o capilares)

En forma específica, la atracción que se da entre el adsorbato y el adsorbente puede estar relacionada con distinto tipo de fuerzas atractivas:

- Electrostáticas: a partir de las interacciones con fuerzas electrostáticas los procesos son más o menos reversibles, y se los designa como intercambio iónico (se libera algo que está adsorbido a cambio que otra sustancia se pegue).

- De Van der Waals : en el caso que interactúen fuerzas de VW se denomina adsorción física (no necesita liberar algo adsorbido para que ocurra)

- Químicas: en el caso de formación de un enlace covalente se denomina quimisorción, proceso que resulta muy poco reversible.

- **Isoterma de Langmuir:** El fundamento de la derivación de la isoterma de Langmuir es que todas las partes de la superficie se comportan exactamente del mismo modo (adsorben igual).

Es el modelo más simple y el más antiguo. Fue formulado por Langmuir en 1.918. Supone adsorción en monocapas únicamente.

La forma matemática de esta isoterma es:

$$\frac{C}{X/m} = \frac{1}{Kb} + \frac{C}{b}$$

$$X/m = b\sigma \quad \text{ó} \quad X/m = b (KC/1+KC)$$

Donde:

K: constante de energía de retención de Langmuir

σ : Fracción de superficie ocupada por molécula a adsorber

X: cantidad de materia adsorvida

m: cantidad de adsorbente

C: concentración de equilibrio

b: capacidad máxima de adsorción

- **Isoterma de Freundlich:** La cantidad de sustancia adsorbida se relaciona con la concentración. Es decir, la cantidad de sorbato adsorbido por unidad de adsorbente guarda cierta relación. Esta puede ser:

Isoterma de Freundlich: $m = kc^{1/n}$

$$\frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n}$$

La función de Freundlich:

x/m = sustancia adsorbida por gramo de suelo.

x = cantidad de materia adsorvida. (mol ó mmol)

m = cantidad de adsorbente (g)

C_e = diferencia de concentración (entre antes y después)

K_f, n = constantes específicas

C = concentración de equilibrio de la solución externa (mol/L)

1.4. Plomo:

El plomo es un metal pesado no ferroso que se presenta en forma de vapor, aerosol o polvo, que se conoce desde hace miles de años y tiene múltiples usos. Se extrae de las minas junto con otros metales, como plata, oro, cobre. Su extracción y refinación, y su amplio uso industrial han contribuido al aumento de sus concentraciones en suelo, agua y aire, principalmente en los centros urbanos y las zonas mineras.

1.4.1. Propiedades físicas y químicas del plomo

Número atómico: 82, peso atómico²⁶: 207.21, está en el grupo IV de la tabla periódica

1.4.2. Compuestos del Plomo:

El plomo está en la naturaleza en tres estados de oxidación: II, IV y plomo metálico.

La forma química en que el plomo se encuentra en una muestra, depende de su formación geológica, el pH y el potencial de óxido reducción.

1.4.3. Formas de exponerse al Plomo:

Hay tres causas a través de las cuales nos podemos exponer al plomo: ocupacional, paraocupacional y ambiental.

La primera se da entre quienes trabajan en la minería, la refinación de metales, las diversas actividades en donde se emplea como materia prima (baterías de autos, cables, soldadura); en los talleres de reparación de radiadores y producción de vitrales, la producción artesanal de barro vidriado.

La exposición paraocupacional se presenta cuando los trabajadores de las actividades antes mencionadas, llevan sus ropas y zapatos a casa, y/o no se bañan antes de salir del trabajo; así, llevan las partículas del metal hasta el suelo de la casa, exponiendo principalmente a los niños pequeños.

La exposición ambiental es factible en las personas que viven cerca de las refinerías de plomo, de una mina, de sus desechos, o de los establecimientos que usan plomo como materia prima.

Hasta hace relativamente poco se utilizaba extensamente gasolina con tetraetilo de plomo, lo que causó gran contaminación urbana, y contribuyó a la exposición de un gran número de individuos a dicho metal.

1.4.4. Fuentes principales del Plomo:

El plomo (Pb) tiene múltiples aplicaciones en la industria y se utiliza tanto en forma sólida como líquida, generando polvo, humos o vapores, según se realicen unas operaciones u otras.

Según el riesgo de intoxicación las actividades se pueden clasificar en operaciones de elevado riesgo y de riesgo moderado, tomando en consideración: las características físico-químicas del plomo (polvo, aerosoles, etc.); vías de entrada; intensidad de exposición; duración, etc. Así se puede considerar que las actividades de mayor riesgo son aquellas en las que el plomo metálico o inorgánico es calentado y se forman aerosoles y humos en grandes cantidades.

1.4.4.1. Actividades de elevado riesgo:

- ☐ Metalurgia del plomo. Fundición y refinado.
- ☐ Recuperación de plomo y de residuos metálicos que lo contengan (Chatarra).
- ☐ Industrias de la construcción (Tubos fontanería).
- ☐ Fabricación y reciclado de acumuladores eléctricos (Baterías).
- ☐ Soldadura de objetos y aleaciones de plomo.
- ☐ Tratamientos térmicos en baños de plomo.
- ☐ Fabricación de explosivos.
- ☐ Fabricación y manipulación de arseniato de plomo como insecticida.
- ☐ Fabricación y utilización de pinturas, esmaltes y barnices compuestos de sales y óxidos de plomo.
- ☐ Industrias del plástico que utilicen aditivos a base de plomo.

1.4.4.2. Actividades de riesgo moderado:

- ☐ Fabricación de municiones de plomo y su utilización en locales cerrados.
- ☐ Trabajos de demolición, especialmente raspado, quemado y oxicorte de materiales recubiertos con pintura de plomo.
- ☐ Fabricación de cables y trefilados.
- ☐ Fabricación de tipos de imprenta.

1.4.5. Fuente Intoxicante:

1.4.5.1. Profesional:

Industria metalúrgica (soldadores, laminadores, chapistas, mecánicos, etc.), trabajo con acumuladores y baterías eléctricas, pintores (principalmente los de automóviles y con mayor razón si son metalizados) y obreros de fábricas de algunas pinturas, fábricas de plomo, linotipistas y obreros gráficos, herreros, obreros de fábricas de cables, de tinturas, de municiones, de vidrio, industria automotriz, alfarería, mecánicos dentales, esmaltadores, grabadores, pulidores, joyeros, mineros, fábricas de instrumentos musicales, de nitroglicerina, de caños, de curtido de pieles y cueros, de masilla, de productos plásticos con piroxilina, de azulejos, de papeles plateados, plomeros y albañiles, fábrica de latas para conservas (la soldadura), etc. En resumen, casi en cualquier actividad en la que se fabrica "algo", el individuo está en contacto con el plomo y puede intoxicarse si no se toman los recaudos necesarios.

1.4.5.2.- Accidentales:

Cenizas con sales de plomo, como se puede ver en las vecindades de fábricas que expelen tales tóxicos por sus chimeneas, intoxican por vía inhalatoria y también oral, suelen ser graves por la contundencia y rapidez de aparición de los síntomas.

Pinturas, cuando contienen plomo como base de colorantes o como antióxido (cromato de plomo, óxido de plomo o aluminio, hidrocarbonato de plomo). Considerando que toda persona, sin importar su clase socioeconómica, tiene acceso a ellas, y en especial los niños por su costumbre de llevarse elementos a la boca, el número de víctimas puede ser enorme.

Agua de cañerías nuevas solubiliza el plomo, y esta solubilización es favorecida por la costumbre de conectar a los grifos las descargas a tierra de diversos electrodomésticos.

Cabezales metálicos de los sifones de soda son atacados por el ácido carbónico, formando carbonato de plomo.

Alimentos envasados en latas de conserva, donde el contenido ácido (vinagre) origina acetato de plomo con el metal usado en la soldadura.

Frutas tratadas con arsenito de plomo como insecticida. Perdigones alojados en el cuerpo de una persona luego de un disparo, liberan muy pequeñas cantidades de plomo, y se torna peligroso en este sentido cuando son muchos.

1.4.6. Vías de Penetración:

1.4.6.1. Vía respiratoria:

Es la vía de entrada más importante, penetrando por inhalación de vapores, humos y partículas del polvo. El 50% del Pb depositado en los pulmones se encuentra en sangre circulante tras aproximadamente 50 horas, pasando un porcentaje a tejidos o siendo eliminado. El grado de absorción de plomo por esta vía depende de la concentración ambiental en el puesto de trabajo, del tiempo de exposición, de la forma física (vapores, humos, tamaños de las partículas) y química del plomo inhalado, de factores personales (edad, tipo de ventilación), y de las condiciones de trabajo (temperatura, humedad y ventilación ambientales, y nivel de esfuerzo físico).

1.4.6.2. Vía oral:

Las partículas de polvo de plomo son ingeridas directamente a través de las manos, alimentos, bebidas o cigarrillos contaminados en el ambiente de trabajo. Constituye la segunda vía de entrada, en importancia, de plomo en el organismo. Hay también un porcentaje de plomo que después de haber sido inhalado es posteriormente vertido al tubo digestivo por los mecanismos de aclaramiento pulmonar.

Del 5 al 10% del plomo ingerido por esta vía pasa a sangre, siendo el resto eliminado por las heces. Por otra parte la absorción de plomo por esta vía es más elevada en la mujer que en el hombre.

No respetar las reglas de higiene en el lugar de trabajo (comer, beber o fumar), así como deficiencias en la higiene personal y/o deficiencias en las instalaciones

sanitarias en la empresa pueden tener como consecuencia una entrada importante del tóxico por esta vía.

1.4.6.3. Vía cutánea:

La absorción por esta vía es débil en el caso del plomo inorgánico al contrario que en el del plomo orgánico.

Hay que señalar que la población no expuesta al plomo por razones laborales está más o menos en contacto continuo con este metal a través de la alimentación habitual o el ambiente urbano, sin que en ninguna de las poblaciones adultas estudiadas en nuestro continente la concentración media de plumbemia alcance el nivel de 30 µg/100 ml. En los últimos años se ha constatado un aumento del número de estudios sobre efectos del plomo en población general expuesta a bajas concentraciones.

En este apartado conviene señalar el especial peligro de exposición que conlleva la limpieza en el domicilio de la ropa contaminada para los familiares, sobre todo para los niños, por la aparente mayor sensibilidad de su sistema nervioso a la acción tóxica del plomo.

1.4.7. Como afecta el plomo a la salud:

Afecta prácticamente a todos los órganos y sistemas del cuerpo humano. En el caso de las mujeres en edad reproductiva y las embarazadas, su exposición a altas concentraciones de plomo origina en los niños: bajo peso al nacer, deficiencias en el desarrollo neuroconductual y en su capacidad intelectual.

Entre los trabajadores expuestos se pueden presentar los síntomas de envenenamiento crónico, dependiendo del tiempo y características de la exposición, la concentración del plomo en sangre y la susceptibilidad del organismo. Estos síntomas incluyen: anemia, debilidad, estreñimiento, cólicos intestinales, diarrea y parálisis en muñecas y tobillos, entre otros. Los sistemas más sensibles al metal son el nervioso, el hematopoyético y el cardiovascular.

A largo plazo, el plomo puede ocasionar efectos neurológicos irreversibles, sobre todo en los niños: disminución de la inteligencia, retraso en el desarrollo motor,

deterioro de la memoria y problemas de audición y el equilibrio. En adultos, aumenta la presión sanguínea y afectar el funcionamiento renal.

Entre los trabajadores expuestos se ha observado daño en los riñones, hipertensión arterial, disminución de los espermatozoides y alteraciones en su morfología, mayor riesgo de accidentes cerebro vasculares, así como daño en los sistemas nerviosos central y periférico. Hay mayor riesgo de aborto en las mujeres con niveles altos de plomo en la sangre. En los niños puede causar estatura y crecimiento disminuido, impedimento en la habilidad del oído. El plomo elevado en la sangre son aún más comunes en niños de bajos ingresos, en áreas urbanas y los que viven en viviendas viejas.

En niveles más altos, el plomo puede causar coma, convulsiones y la muerte.

1.4.8. Vías de eliminación del plomo absorbido

El plomo absorbido es eliminado principalmente a través de la orina.

Una pequeña parte es eliminada a través de la bilis en las heces. La porción de plomo que ha sido ingerida y no absorbida es igualmente eliminada por las heces. Otras vías de eliminación son la saliva, el sudor, las faneras y la leche.

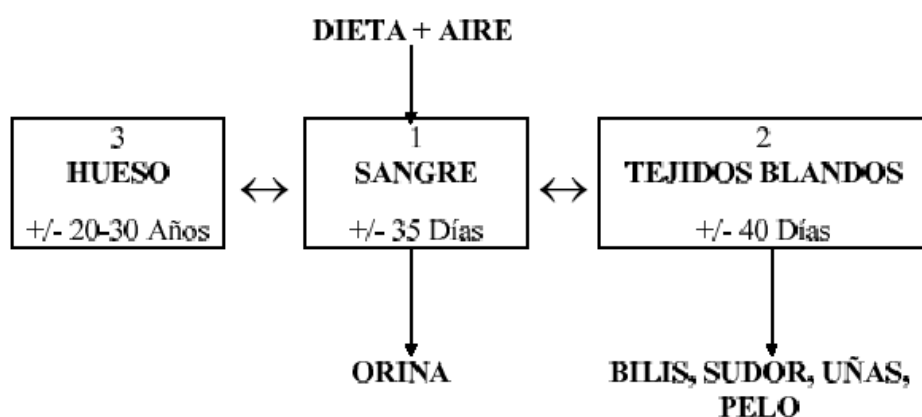


Tabla 7: Vías de eliminación del plomo

En el caso de baja exposición al plomo existe un equilibrio entre el aporte del tóxico y la eliminación. Pero una vez pasado un cierto nivel, la eliminación del plomo no se corresponde con el grado de la carga corporal del metal; se ha

producido acumulación y comienza el riesgo de intoxicación. El nivel referido depende no solamente del grado de exposición al plomo, sino también de la edad y de la integridad de órganos importantes para su metabolismo y eliminación, como el hígado o el riñón.

1.4.9 Intoxicación por plomo:

El plomo ingresa al organismo por varias vías, principalmente la oral. 1 mg. diario durante 15 días basta para que aparezcan glóbulos rojos punteados. Se calcula que una persona absorbe diariamente el 50 % de la dosis necesaria para producir síntomas perceptibles, siendo así el margen de seguridad muy estrecho. Al aumentar la cantidad de plomo, éste se va depositando en los huesos y otros puntos, como trifosfato plúmbico (en lugar de trifosfato cálcico), aumentando la contaminación y sin que por ello tenga manifestaciones clínicas. El enfermo tiene una cantidad considerable de plomo en su organismo, está CONTAMINADO, PERO NO INTOXICADO. Esta etapa, fundamental para el diagnóstico preventivo de otras más graves se llama PRESATURNISMO. Luego, por una absorción más abundante o por un proceso intercurrente, el plomo es rápidamente removido de sus depósitos e ingresa al torrente circulatorio, desencadenando los síntomas típicos de la intoxicación. Aquí el enfermo está intoxicado. "Contaminación" significa tener plomo; "Saturnismo" tener los síntomas causados por ese plomo.

En las plantas el efecto fundamental del plomo es impedir su crecimiento, por la reducción del proceso de fotosíntesis, inhibición de la respiración, alargamiento celular, desarrollo anormal de las raíces y envejecimiento prematuro.

En los animales el plomo afecta al sistema nervioso central y la capacidad para sintetizar glóbulos rojos. Concentraciones alrededor de 0.4 ppm puede causar síntomas clínicos observables en los animales.

En microorganismos hay evidencia de que concentraciones de plomo en el medio ambiente de 10000 a 40000 ug/g de peso seco puede eliminar poblaciones de bacterias y hongos de la superficie de hojas y suelos.

Muchos de estos organismos juegan un papel muy importante en la descomposición de cadenas alimenticias. Las poblaciones microbianas afectadas son reemplazadas por otras especies, bajando la eficiencia de la descomposición de la materia orgánica. Esos microorganismos pueden movilizar plomo haciéndolas soluble y que sea tomado más rápidamente por las plantas.

En los ecosistemas el plomo puede interrumpir el flujo normal de energía necesario para descomponer las cadenas alimenticias.

Puede perturbar el ecosistema de tres maneras:

- a) En concentraciones de plomo de 1000 ug/g o más puede producir un retardo en la descomposición por la eliminación de una población simple de microorganismos de descomposición.
- b) En concentraciones de 500 a 1000 ug/g se puede cambiar la tolerancia hacia el plomo de poblaciones de plantas, microorganismos e invertebrados.
- c) El proceso biogeoquímico normal que purifica y repurifica calcio en pasto y descompone cadenas alimenticias puede verse alterado por la adición de plomo a la superficie de vegetales y animales en cualquier concentración de plomo en el ambiente.

1.4.10. Concentraciones de plomo dañinas para la salud:

Se recomienda que los niveles en sangre sean los más bajos, particularmente entre la población más vulnerable: niños y mujeres embarazadas. En Estados Unidos, los Centers for Disease Control (cdc), establecen que esos niveles no deben rebasar los 10 mcg/dl.

1.4.10.1. Niveles (venenosos) de plomo en la sangre: Lo que significan y qué hacer

Los niveles "venenosos" de plomo en la sangre significa que la muestra de sangre para el examen del plomo se toma de la vena, normalmente del brazo. Esta es la ÚNICA manera confiable de diagnosticar envenenamiento por plomo

Nivel de plomo en la sangre (mg/dL)	Lo que significa	Qué hacer
Menos de 10	Es un nivel aceptable de plomo en la sangre.	Consulte a su médico si usted se cambia a una casa construida antes de 1978. Se debe hacer el examen del plomo una vez al año.
De 10 a 14	Su niño ha estado expuesto al plomo.	Puede necesitar otro examen de sangre; consulte a su médico. Pregunte a su doctor acerca de los cambios en la alimentación y acerca del suplemento de hierro
De 15 a 19	Tiene envenenamiento con plomo.	Necesita otro examen de sangre. Hable con su doctor acerca de cómo cambiar la alimentación, y acerca del suplemento de hierro.
De 20 a 34	Presenta serias señales de envenenamiento con plomo.	Necesita ser atendido en la clínica del plomo o donde su médico, para un examen completo. Puede necesitar otros exámenes y suplementos de hierro y vitaminas, hasta que el nivel de plomo en la sangre vuelva a ser normal o aceptable. Necesita vivir en una casa "libre de plomo."
	Presenta serias señales de envenenamiento por plomo	Puede necesitar una evaluación médica completa y tratamiento especial ("chelation") para bajar los niveles de plomo. También necesitará otros exámenes y cuidados médicos hasta que el nivel de plomo en la sangre sea normal. Necesita vivir en una casa "libre de plomo".
De 45 a 69	<u>URGENTE.</u> Presenta envenenamiento por plomo y necesita tratamiento médico urgente.	Puede necesitar una evaluación médica completa y tratamiento especial ("chelation") para bajar los niveles de plomo. También necesitará otros exámenes y cuidados médicos hasta que el nivel de plomo en la sangre sea normal. Debe ser trasladado a otra casa hasta que la casa donde vive esté libre de plomo. Necesita vivir en una casa "libre de plomo".
Más de 70	<u>EMERGENCIA</u> Está severamente envenenado por plomo y necesita tratamiento médico de emergencia	Necesita ser hospitalizado AHORA, para tratamiento especial ("chelation"). Tiene que ser trasladado a otra casa hasta que la casa donde vive esté libre de plomo. Necesita vivir en una casa "libre de plomo".

Tabla 8: niveles venosos de plomo en la sangre

1.4.10.2. Niveles "FINGERSTICK" de plomo en la sangre:

"Fingerstick" significa que la muestra de sangre se obtuvo de la yema del dedo de la mano, pero no es un examen de diagnóstico. Para diagnosticar el envenenamiento por plomo, se toma la muestra de sangre de la vena.

Nivel de plomo "fingerstick" (mg/dL)	Lo que significa	Qué hacer
20 o más	Podría tener envenenamiento con plomo.	Necesita hacerse un examen de sangre (tomando la muestra de la vena), tan pronto como sea posible. Llame a su doctor o a su clínica.

Tabla 9: Niveles "FINGERSTICK" de plomo en la sangre

1.4.10.3. Estándares de plomo

IMPBIO7A/IMPBT7A/IMPBG7A: Plomo en Isooctano, Tolueno o Gasolina		IMPBIO7C/IMPBT7C/IMPBG7C: Plomo en Isooctano, Tolueno o Gasolina	
Estándar No.	Conc. Plomo (Wt%)	Estándar No.	Conc. Plomo (Wt%)
1	0.000	1	0.000
2	0.100	2	0.001
3	1.000	3	0.005
4	2.000	4	0.010
5	3.000	5	0.050
6	4.000	6	0.100
7	5.000	7	0.300

Tabla 10: Estándares de plomo en isooctano, tolueno o gasolina

1.4.10.4. Estándares de la EPA

No. De desechos peligrosos EPA	Parámetro	Nivel Regulatorio en mg/l
D008	Plomo	5.0

Tabla 11: Nivel regulatorio del plomo según EPA

1.4.10.5. Límites de toxicidad

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos ha determinado una serie de límites para las concentraciones de metales pesados como el plomo. Por encima de éstos los metales pueden causar graves trastornos en los seres vivos, y finalmente ocasionar la muerte. A continuación mostraremos los límites de plomo en distintos medios y las dosis máximas para la ingesta en los humanos.

1.4.10.5.1. Vida acuática en sistema de agua dulce (ríos lagos):

Metal	Dureza del agua (mg/l)	Límite máximo (µg/l)
Pb	50	1.30 (*)
	150	3.20 (*)
	200	7.70 (*)

*: concentración promedio en 4 días.

Tabla 12: Límite máximo de plomo en µg/l para vida acuática de agua dulce

1.4.10.5.2. Vida acuática estuarina o en zonas de costas:

Metal	Límite máximo (µg/l)
Pb	5.8 (*)

*: concentración promedio en 4 días.

Tabla 10: Límite máximo de plomo en µg/l para vida acuática estuariana o zonas de costas

1.4.10.5.3. Consumo por los seres humanos:

Metal	Límite máximo (µg/l)
Pb	50.0 µg/l (*) (adultos)

*: criterios para el agua.

Tabla 13: Límite máximo de plomo en µg/l para consumo humano

1.4.10.5.4. Normas EPA y Comunidad Europea:

En esta tabla se incluyen los nombres de las sustancias y los valores máximos recomendables y permisibles establecidos en las normas de 1974 de la Organización Mundial de la Salud, en las normas de la EPA de los Estados Unidos y en la Comunidad Económica Europea hoy Unión Europea.

Parámetro	OMS 1985 Valor Guía	CEE Nivel Guía	EE.UU. 1998	Produce
Plomo Mg/L	0,05	0,05	0,015	Daña sistema nervioso y riñones

Tabla 14: Patrones físico-químicos de potabilidad dados por la OMS, la Comunidad Europea y los Estados Unidos EPA

1.4.10.6. Niveles de acción del plomo:

Son los niveles de plomo en sangre o de plomo en aire a partir de los cuales debe adoptarse una vigilancia biológica de los trabajadores afectados. Se establece un nivel en una concentración ambiental de plomo de 75 µg/m³, referido a 8 horas diarias y 40 semanales y no especifica ningún valor en relación con la concentración de plomo en sangre.

Se adopta el valor de plumbemia de 40 µg/100 ml como nivel de acción en relación con la concentración de plomo en sangre, en base a los criterios de diversos autores y organismos.

		España	CEE	ACGIH	OSHA	NIOSH	OMS
NIVEL DE ACCIÓN DEL PLOMO	Pb-B ($\mu\text{g}/100\text{ ml}$)	—	50	—	—	—	—
	Pb-A ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	75	75	—	30	—	—
VALORES EXPOSICIÓN	Pb-B ($\mu\text{g}/100\text{ ml}$)	70-80	70-80	30	50	60	40 H
	Pb-A ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	150	50	50	100	30 M e. fer.

Pb-B.- Plomo en sangre
Pb-A.- Plomo ambiental.
H.- Hombres
M. e. fer.- Mujer edad fértil

Tabla 15: Comparación de criterios de valoración de nivel de acción y valores límite de exposición al plomo en la comunidad científica internacional

1.4.10.7. Valores límites de exposición:

Son aquellos que no deben, en ningún caso, ser superados y a partir de los cuales debe alejarse al trabajador del puesto habitual y de la exposición en general. El valor límite de la concentración ambiental de plomo se establece en $150\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire referido a 8 horas diarias y 40 semanales. El valor límite de plumbemia se establece en $70\text{ }\mu\text{g}/100\text{ ml}$, admitiéndose una plumbemia de $80\text{ }\mu\text{g}/100\text{ ml}$ siempre que el valor de la protoporfirina zinc (ZPP) en sangre sea inferior a $20\text{ }\mu\text{g}/\text{g}$ de hemoglobina.

1.5. Características de La Reserva Biológica Limoncocha:

El clima, según la clasificación Portu (1983), el clima de la reserva es el de “uniforme mega térmico muy húmedo”, tiene un promedio de insolación²⁷ de 1000 horas anuales. Esta clasificación según el sistema Holdridge (más comúnmente usado en nuestro país) corresponde a “bosque húmedo montano bajo”.

Es un bosque lluvioso con altas precipitaciones, que alcanzan los 3244 mm. Anuales, 80% de humedad y temperaturas que varían de 18 a 36° C. Las precipitaciones son uniformes a lo largo de todo el año, con un ligero

decrecimiento en entre los meses de diciembre a febrero, existen dos picos máximos en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre. Hay un promedio de 260 días con lluvia.

La Reserva, está ubicado dentro del cuadrilátero comprendido entre río Aguarico, Coca y Napo, que parece una basta explanada de sedimentos que se depositó sobre el sustrato arcilloso antiguo.

Los suelos son profundos, permeables pero muy sensibles a la degradación física que se puede dar por el exceso de maquinaria. (Anexo 1)

Capítulo II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Muestra del Suelo

La muestra de suelo fue tomada en el horizonte superficial, a una profundidad de 0 a 20 cm, en una zona cercana a la Estación Científica Limoncocha en la Reserva Biológica y presenta las características que se encuentran en el (Anexo 1).

2.2 Caracterización físico-química del Suelo:

Los ensayos se realizaron en muestras secadas al aire a 19°C., para que adquiriera un equilibrio con la humedad del aire; luego se pasa por un tamiz adecuado que retiene el material de gran tamaño (pedazos de madera, piedras, etc.).

2.2.1. Textura:

Es el tamaño de las partículas del suelo y determina la proporción que tiene el suelo de arena, limo y arcilla.

En función de las proporciones de arena, limo y arcilla, la textura de los suelos se clasifica en varios grupos definidos: la arcilla arenosa, la arcilla limosa, el limo arcilloso, el limo arcilloso arenoso, el fango arcilloso, el fango, el limo arenoso y la arena limosa.

Para determinar el tipo de suelo, se realizó un análisis granulométrico con el método ASTM C 136, ASTM D 422

Determinar la granulometría es importante porque de acuerdo al tipo de suelo, tiene mayor o menor capacidad de adsorción.

2.2.2. Contenido de plomo:

La determinación del contenido de plomo en el suelo se hizo con el método APHA 3111B.

Es importante conocer el contenido original de plomo en el suelo, antes de realizar el proceso de adsorción.

2.2.3. Humedad:

Se utilizó el método ISO 11465, NEN 5747-5748 (modificado)

El agua atmosférica determina que toda sustancia mantenga una determinada cantidad de humedad.

La humedad es importante, porque los cálculos de contaminación se hacen para suelo seco o húmedo.

La determinación de la humedad se hace en base al porcentaje de agua, por pérdida de peso, debido a su eliminación por calentamiento.

2.2.3.1. Materiales y Reactivos:

Balanza analítica

Espátula

Vaso de precipitación de 50ml.

Estufa eléctrica

Vidrio reloj

Desecador

2.2.3.2 Procedimiento:

- Pesar 10g. de suelo.
- Poner en un vaso de precipitación de 50ml. y pesar.
- Introducir en la estufa a 105 grados centígrados, durante 24 horas.
- Sacar y cuando este frío pesar.

2.2.4. pH

Se utilizó el método NEN 5750, ISO 10390 (modificado)

El pH de la solución que rodea al suelo en estado natural, depende del tiempo, lluvias, adición de materiales, tipos de cultivo, y otros factores.

Es importante este parámetro para la adsorción y desorción, comúnmente a menor pH existe mayor adsorción.

La determinación del pH se hace en la solución suspendida del suelo en agua destilada.

2.2.4.1. Materiales y Reactivos:

Balanza analítica

Espátula

Vidrio reloj

Vaso de precipitación de 50ml.

Varilla

Medidor de pH

Probeta

Agua destilada, neutralizada a pH 7.0

2.2.4.2. Procedimiento:

- Pesar 10g. de suelo, colocarlo en un vaso de precipitación de 50ml.
- Añadir 40ml. de agua destilada y agitar.
- Dejar en reposo.
- Medir el pH en el líquido sobrenadante.

2.2.5. Materia Orgánica:

Se utilizó el método ISO 10694 (modificado)

El contenido de materia orgánica en los suelos tiene importancia en el transporte de nutrientes, porque su descomposición da lugar a que se formen estructuras orgánicas complejas que ejercen una influencia marcada en la retención de los iones metálicos.

2.2.5.1. Materiales y Reactivos:

Balanza analítica

Crisol

Espátula

Mufla eléctrica

Vidrio reloj

2.2.5.2. Procedimiento:

- Pesar 10g. de la muestra de suelo.
- Poner en un crisol, y pesar.
- Calentar en la mufla a 550°C por media hora; enfriar y pesar.

2.2.6. Capacidad de Intercambio Catiónico CIC:

Los cationes intercambiables de los suelos son los que se encuentran asociados a los sólidos del suelo y pueden intercambiarse con los cationes en solución.

La CIC es importante para la adsorción, porque determina la habilidad de un suelo para retener e intercambiar cationes como Pb^{2+} .

La capacidad de intercambio catiónico o intercambio de base está determinada por la capacidad de retención de la arcilla o del humus. Cuanto mayor es dicha capacidad de retención mayor es la capacidad de intercambio catiónico.

2.2.6.1. Materiales y Reactivos:

Balanza analítica.

Erlenmeyer de 250ml.

Varilla.

Cronómetro.

Embudo

Balón de aforo de 250ml.

Papel filtro cuantitativo

Probetas.

Espátula.

Soporte universal.

Solución de acetato de amonio 1N.

Solución amortiguadora.

NET

EDTA 0,01M

2.2.6.2. Procedimiento:

- Pesar 0.5g. de suelo y ponerlo en un erlenmeyer de 250ml.
- Agregar 100ml. de solución de acetato de amonio 1N.
- Agitar vigorosamente cada minuto, durante 5 minutos.
- Filtrar la muestra con papel filtro cuantitativo.
- Agregar al filtrado 10ml. de solución amortiguadora (dureza) y una punta de espátula de NET.
- Titular el filtrado con EDTA 0.01M, hasta cambio de color de púrpura a azul.
- Calcular los miliequivalentes de cationes divalentes intercambiables.
- Con el resultado anterior, calcular las bases intercambiables.

2.2.7. Conductividad y Sólidos Disueltos totales SDT:

Se utilizó el método SDT Método Estandarizado APHA, AWWA, WPCF, 2540G (modificado)

La conductividad es muy importante para determinar la existencia de iones en el suelo.

2.2.7.1. Materiales y Reactivos:

Balanza analítica

Espátula

Vidrio reloj

Vaso de precipitación de 50ml.

Varilla

Medidor de Conductividad

Probeta

Agua destilada.

2.2.7.2. Procedimiento:

- Pesar 10g. de suelo, colocarlo en un vaso de precipitación de 50ml.
- Añadir 40ml. de agua destilada y agitar.
- Dejar en reposo.
- Medir la conductividad y SDT en el líquido sobrenadante.

2.3. Análisis Mineralógico

Se realizó la determinación cualitativa y cuantitativa por difracción de rayos X de minerales con cristalización definida. En el laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional

El equipo empleado fue un Difractómetro D8 ADVANCE, con el programa Diffrac plus cualificación y cuantificación.

2.4. Determinación de la Adsorción de plomo en el suelo

Los ensayos se realizaron a concentraciones de plomo en un rango de: 300, 9.000, 18.000, 30.000, 60.000, 120.000 y 180.000 mg/kg de suelo, para determinar a que concentraciones de plomo adsorbe más el suelo. También se hicieron los ensayos a pH original del suelo con la solución patrón de plomo y regulando el pH a 4.5, para determinar a que pH adsorbe mejor el suelo.

2.4.1. Materiales y Reactivos:

Balón de aforo de 1000ml.

Balanza analítica

Espátula

Vidrio reloj

Balones de aforo de 100ml.

Erlenmeyers de 250 ml.

Embudos

Papeles filtro cuantitativo

Balones de aforo de 250ml.

Medidor de pH

Agitador eléctrico

Agua destilada

Nitrato de plomo

Ácido nítrico

Hidróxido de potasio.

2.4.2. Procedimiento:

- Preparar soluciones patrón de plomo a 1.000 y 10.000 ppm, a partir de nitrato de plomo sólido.
- Pesar 5 g. de suelo.
- A partir de las soluciones patrón originales, preparar suspensiones del suelo conteniendo 300, 9.000, 18.000, 30.000, 60.000, 120.000 y 180.000 mg (Pb)/kg (suelo)

- Para lo cual sobre un peso de 5 g. de suelo se debe añadir un volumen correspondiente de la solución patrón.
- A éste volumen se le afora a 100 ml.
- Colocar en erlenmeyer de 250ml. y agregar 5g. de suelo.
- Mezclar durante 5 minutos, y medir el pH.
- Agitar durante 24h.
- Filtrar con papel cuantitativo.
- Aforar con agua destilada hasta 250 ml en un balón.
- Medir el contenido de plomo.
- Repetir éste procedimiento, pero regulando el pH a 4.5

2.5. Ensayos de desorción de plomo:

2.5.1. Ensayo de Lixiviación:

Este procedimiento sirve para saber si la adsorción de plomo en el suelo, es permanente y se realiza determinando la concentración de plomo en el lixiviado del suelo contaminado.

2.5.1.1. Materiales y Reactivos:

Erlenmeyer de 250ml.

Medidor de pH

Balón aforado de 2 ltr.

Balón aforado de 1 ltr.

Pipetas

Probetas

Agua destilada

Hidróxido de sodio 1N.

Ácido acético glacial

Balones aforados 100ml.

Espátula

Balanza analítica

Vidrio reloj

Agitador magnético

Papeles filtro
Embudos
Balones de 250 ml.
Recipientes para guardar el suelo
Papel aluminio
Solución de plomo 1.000 y 10.000 mg/L
Ácido nítrico
Hidróxido de potasio
Líquido extractante No.1
Líquido extractante No.2

Fluido extractante tipo 1: Se obtiene combinando 64,3 ml de Na (OH) 1N y 5,7 ml de ácido acético glacial, diluyendo con agua destilada hasta 1 litro. El pH del fluido deberá ser 4.93 +/- 0.02.

Fluido extractante tipo 2: Se obtiene diluyendo 5.7 ml de ácido acético glacial en agua destilada hasta 1 litro. El pH del fluido deberá ser 2.88 +/- 0.02.

2.5.1.2. Procedimiento:

- Colocar 5 g. de suelo en un erlenmeyer de 250 ml.
- Añadir 96.5 ml. de agua destilada.
- Agitar durante 5 minutos.
- Medir el pH.
- Si es mayor a 5.
- Añadir 3.5 ml. de HCl (1N).
- Calentar a ebullición durante 2 minutos.
- Dejar enfriar al ambiente
- Medir nuevamente el pH.
- Si es mayor a 5, usar el líquido extractante #2.
- Si es menor a 5
- Usar el líquido extractante #1
- Colar 1.5, y 45 ml de solución de plomo de 1.000 ppm y 9, 15, 30, 60 y 90 ml. de la solución de plomo de 10.000 ppm. en distintos balones de 100ml. y aforar con agua destilada

- Colocar las diferentes soluciones de plomo en 5 erlenmeyers de 250ml.
- Agregar 20g. de suelo en cada erlenmeyer de 250ml
- Volver a repetir el procedimiento pero regular el pH a 4.5
- Agitar los durante 24 horas.
- Filtrar
- El suelo retenido en el papel filtro dejarlo secar al ambiente
- Pesar 10 g. del suelo de cada suelo.
- Colocar en erlenmeyers de 250ml.
- Agregar 200 ml. del líquido extractante adecuado.
- Tapar y agitar durante 18 horas.
- Filtrar la muestra en balón de 250ml.
- Aforar con agua destilada a 250ml.
- Determinar el contenido de plomo.

2.6. Determinación de concentración de plomo en el extracto del suelo.

Para analizar la concentración de plomo en el extracto del suelo tanto en el ensayo de lixiviación como en la determinación de adsorción de plomo en el suelo, se lo realizó mediante espectrofotometría UV-Visible (Hach DR 4000) en el Laboratorio de la Universidad SEK según el método USEPA 8033 (Anexo 2)

Capítulo III

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los ensayos para cada determinación fueron hechos por triplicado y de ellos se obtuvo el valor promedio.

3.1. Caracterización físico-química del suelo:

Cuadro No.1: Ensayo de granulometría (Anexo 3)

TAMIZ No.	TAMAÑO (mm)	PESO RETENIDO (g)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMULADO (%)	PASA (%)
3 1/2"	90	0	0	0	100
3"	75	0	0	0	100
2 1/2 "	63	0	0	0	100
2"	53	0	0	0	100
1"	26,5	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	13,20	0	0	0	100
3/8"	9,50	0	0	0	100
4"	4,75	0	0	0	100
10"	2,00	0,1	0	0	100
40"	0,43	0,2	0	0	100
200"	0,08	5,88	6	6	94

Gráfico No. 1: Contenido de arcilla, limo y arena en la fracción mineralizada del suelo

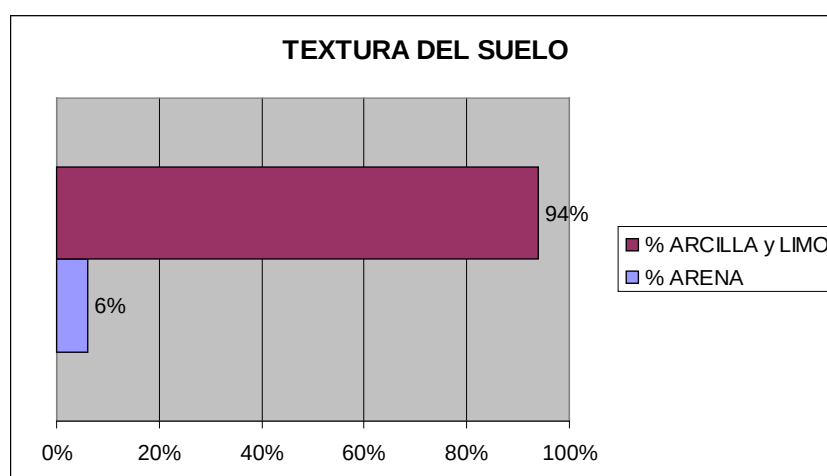


Tabla 16: Tamaño de partículas de suelo en mm.

ARENA			LIMO			ARCILLA		
Gruesa	Mediana	Fina	Grueso	Mediano	Fino	Gruesa	Mediana	Fina (coloides)
2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002

Tamaño de partículas en mm.

Cuadro No. 2: Contenido de humedad

Determinación No.	Contenido de Humedad
	%
1	20.3
2	23.5
3	19.5
Promedio	21.1

Cuadro No.3: pH del suelo

Determinación No.	pH
1	5.8
2	6.6
3	6.6
4	6.5
5	6.5
6	5.9
7	5.9
8	5.8
Promedio	6.2

Cuadro No. 4: Contenido de materia orgánica:

Determinación No.	Contenido de Materia Orgánica
	%
1	18.2
2	21.6
3	19.2
4	19.7
Promedio	19.7

Cuadro No. 5: Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo

Determinación No.	C.I.C.
	meq / 100g. de suelo
1	29.8
2	28.6
3	32.7
4	33.4
Promedio	31.1

Cuadro No. 6: Conductividad del suelo

Determinación No.	Conductividad:
	(μS/cm)
1	2.9
2	2.5
3	3.6
4	3.3
5	3.1
6	3.0
7	3.9
8	3.6
Promedio	3.2

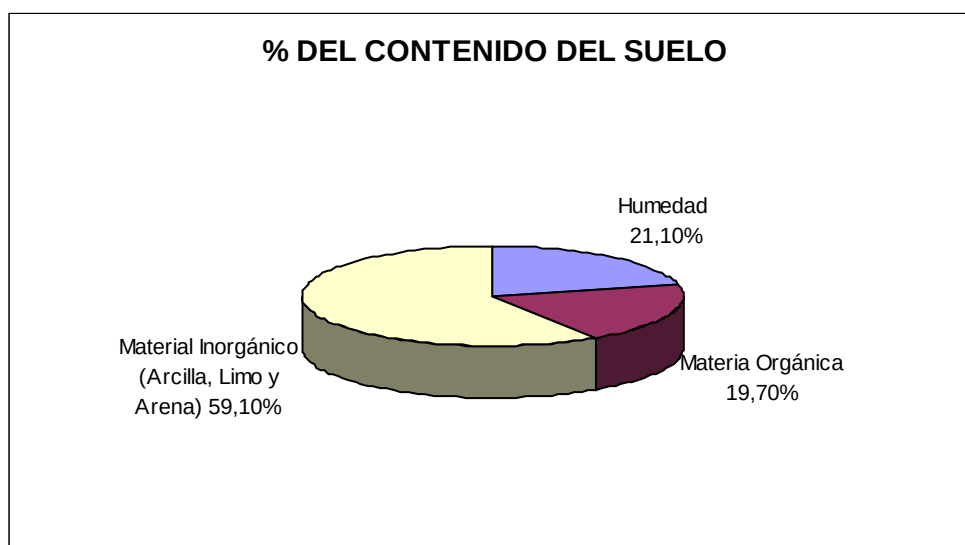
Cuadro No.7: Sólidos Disueltos Totales en el suelo

Determinación No.	Sólidos Disueltos Totales
	(g/L)
1	1.5
2	1.2
3	1.8
4	1.6
5	1.6
6	1.7
7	1.9
8	1.9
<i>Promedio</i>	<i>1.7</i>

Cuadro No. 8 Resumen de la caracterización físico-química del suelo:

Determinación No.	Contenido de Humedad	pH	Contenido de Materia Orgánica	C.I.C.	Conductividad:
	%		%	meq / 100g. de suelo	(mS/cm)
1	20.3	5.8	18.2	29.8	2.9
2	23.5	6.6	21.6	28.6	2.5
3	19.5	6.6	19.2	32.7	3.6
4		6.5	19.7	33.4	3.3
5		6.5			3.1
6		5.9			3.0
7		5.9			3.9
8		5.8			3.6
Promedio	21.1	6.2	19.7	31.1	3.2
Desviación Estándar (S)	1,7	0,6	1,4	2,3	0,7

Gráfico No. 2: Composición porcentual del suelo

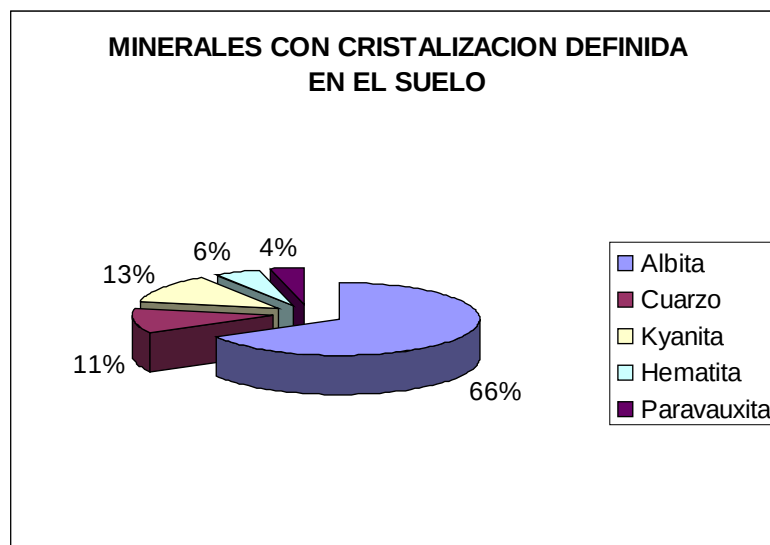


3.2. Análisis Mineralógico del Suelo (Difracción de Rayos X):

Cuadro No.9: Determinación de los minerales

Mineral	Fórmula	Contenido de minerales con cristalización definida (%)
Albita	Na Al Si 3 O8	66,9
Cuarzo	Si O2	11,2
Kyanita	Al2 Si O5	12,6
Hematita	Fe2 O3	5,5
Paravauxita	Fe Al2 (PO4)2(OH)2 8H2O	3,8
TOTAL		100%

Gráfico No. 3: Composición mineralógica del suelo



3.3. Determinación de la adsorción de plomo en el suelo:

El contenido de plomo original en la muestra de suelo (background) fue: 3,0 mg/kg (ensayo realizado mediante espectrofotometría de Absorción Atómica) (Anexo 4)

Cuadro No. 10: Volumen de la solución patrón de plomo para preparación de las muestras.

Muestra	Concentración de plomo en el de suelo (mg/kg)	Cantidad de Pb en 5g. de suelo (mg)	Volumen de la solución patrón de Pb	
			(ml)	(ml)
			1.000 ppm	10.000 ppm
1 y 1'	300	1,5	1,5	
2 y 2'	9.000	45	45	
3 y 3'	18.000	90		9
4 y 4'	30.000	150		15
5 y 5'	60.000	300		30
6 e 6'	120.000	600		60
7 y 7'	180.000	900		90

Cuadro No. 11: Concentración de plomo en el extracto del suelo:

Muestra	pH	Concentración de plomo*
		(mg /L.)
1	6,2 pH original del suelo	0,014
2		0,153
3		0,017
4		0,022
5		0,284
6		0,266
7		0,266
1'	4,5 pH regulado	0,012
2'		0,013
3'		0,017
4'		0,026
5'		0,241
6'		0,212
7'		0,147

*Análisis por Espectrofotometría de UV-Visible (Hach DR 4000)

Cuadro No. 12: Adsorción de plomo en el suelo:

Muestra	pH	Cantidad de suelo	Concentración de Pb en el suelo	Concentración de Pb en el extracto del suelo
		(g)	(mg /kg)	(mg /L)
1	6,2 pH original promedio	5,0	300	0,07
2			9.000	0,765
3			18.000	0,085
4			30.000	0,11
5			60.000	1,425
6			120.000	2,66
7			180.000	4,433
1'	4,5 pH regulado	5,0	300	0,06
2'			9.000	0,065
3'			18.000	0,085
4'			30.000	0,13
5'			60.000	1,205
6'			120.000	2,12
7'			180.000	2,45

Cuadro No. 13: Porcentaje de plomo retenido en el suelo

Muestra	pH	Cantidad de Pb en el extracto del suelo	Cantidad de Pb añadido al suelo	Cantidad de Pb retenido en el suelo	Porcentaje de Pb retenida en el suelo
		(mg)	(mg)	(mg)	%
1	6,2 pH original promedio	0,0175	1,5	1,48	98,83
2		0,19125	45	44,81	99,57
3		0,02125	90	89,98	99,98
4		0,0275	150	149,97	99,98
5		0,35625	300	299,64	99,88
6		0,665	600	599,33	99,89
7		1,10825	900	898,89	99,88
1'	4,5 pH regulado	0,015	1,5	1,48	99
2'		0,01625	45	44,98	99,96
3'		0,02125	90	89,98	99,98
4'		0,0325	150	149,97	99,98
5'		0,30125	300	299,69	99,89
6'		0,53	600	599,47	99,91
7'		0,6125	900	899,39	99,93

Cuadro No. 14: Resumen de la determinación de adsorción en el suelo:

Muestra	pH	Concentración de plomo en el suelo	Concentración de Pb en el extracto	Concentración de Pb en el extracto del suelo finales	Cantidad de Pb en el extracto acuoso	Concentración Pb en el extracto del suelo
		(mg/kg)	(mg/L)	(mg/L)	(mg)	(mg/kg)
1	6,2 pH original promedio	300	0,014	0,07	0,018	3,5
2		9.000	0,153	0,765	0,191	38,25
3		18.000	0,017	0,085	0,021	4,25
4		30.000	0,022	0,11	0,028	5,5
5		60.000	0,284	1,425	0,356	71,25
6		120.000	0,266	2,66	0,665	133
7		180.000	0,266	4,433	1,108	221,65
1'	4,5 pH regulado	300	0,012	0,06	0,015	3
2'		9.000	0,013	0,065	0,016	3,25
3'		18.000	0,017	0,085	0,021	4,25
4'		30.000	0,026	0,13	0,033	6,5
5'		60.000	0,241	1,205	0,301	60,25
6'		120.000	0,212	2,12	0,530	106
7'		180.000	0,147	2,45	0,613	122,5

Gráfico No. 4: Relación entre el plomo añadido y extraído del suelo:

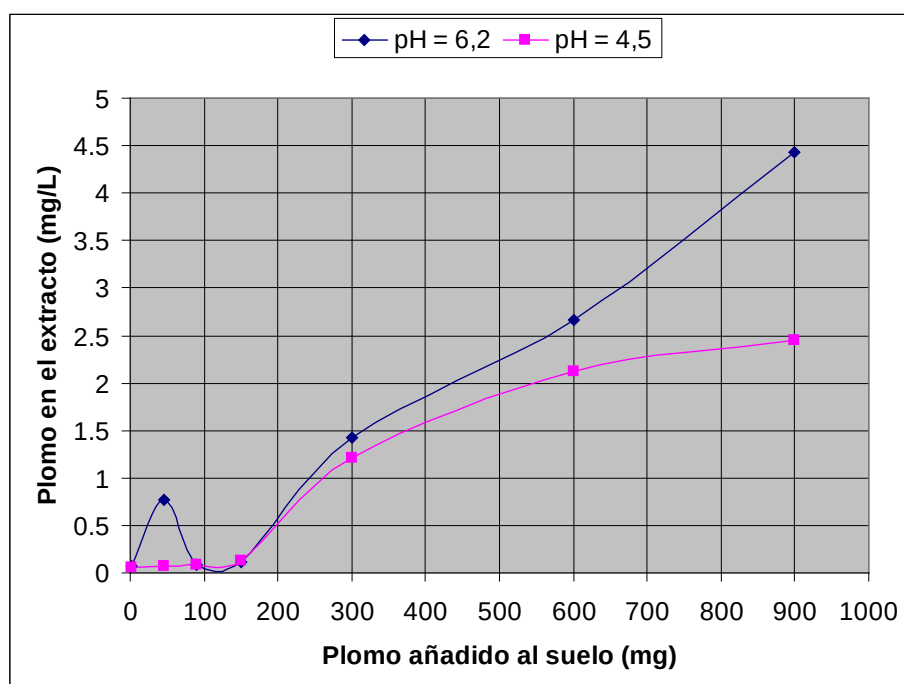


Gráfico No. 5: Plomo añadido y su concentración en el suelo

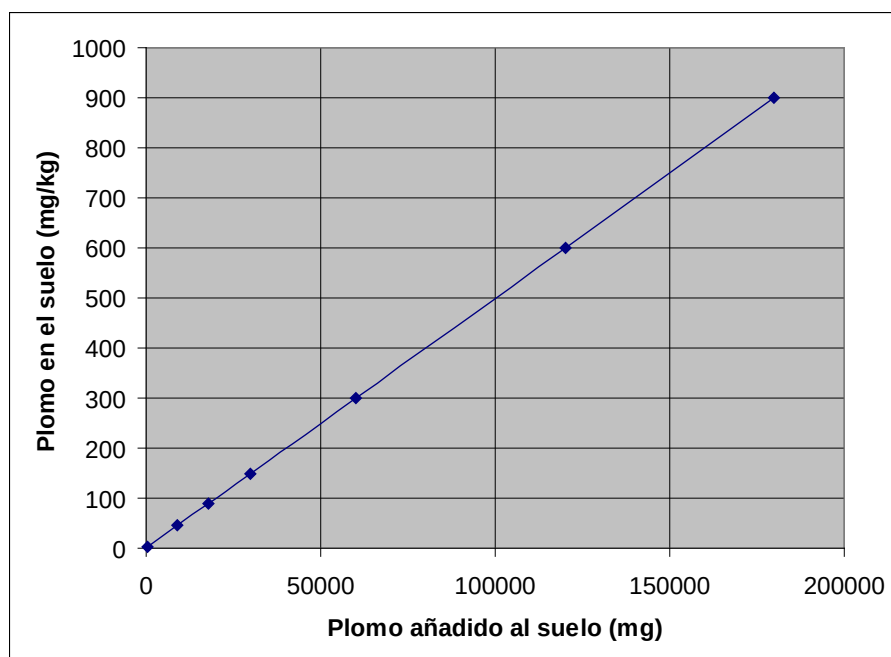


Gráfico No. 6: Relación entre la concentración inicial de plomo en el suelo y el porcentaje de plomo retenido en el suelo

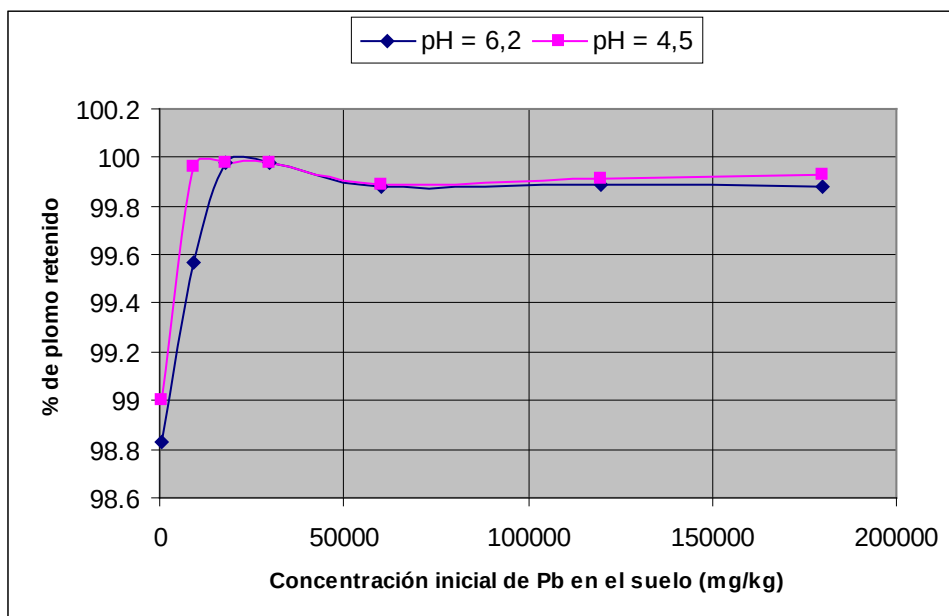
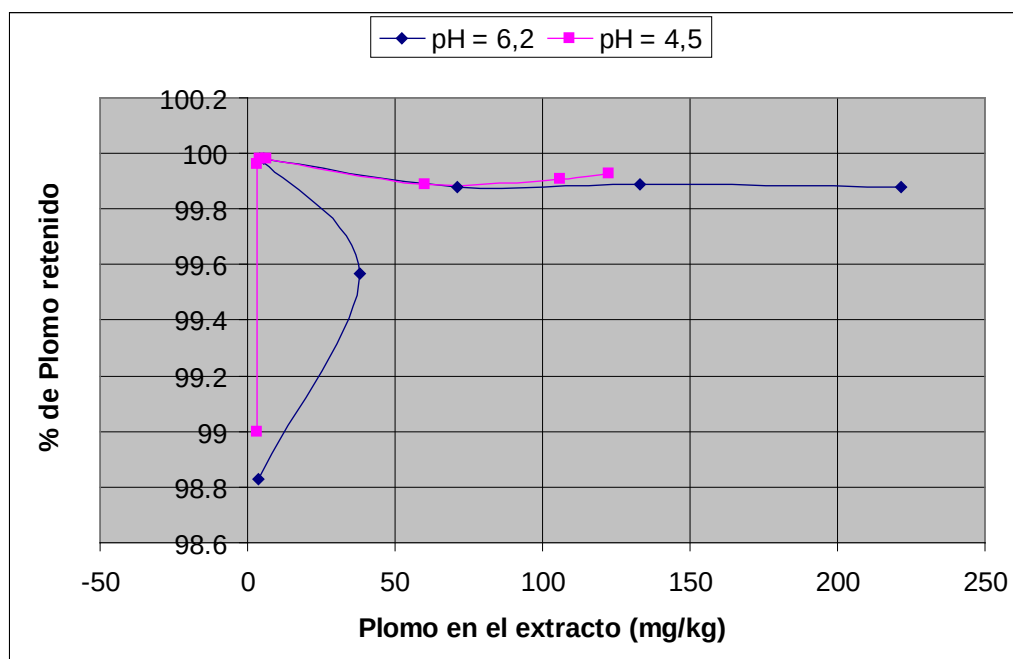


Gráfico No. 7: Relación entre la concentración de plomo en el extracto del suelo y el porcentaje de plomo retenido



3.4. Ensayo de desorción

3.4.1. Prueba de lixiviación:

Cuadro 15: Volumen de la solución patrón de plomo para preparar las muestras

Muestra	Concentración de plomo en el de suelo	Cantidad de Pb en 5g. de suelo	Volumen de la solución patrón de Pb	
			1.000 ppm	10.000 ppm
	(mg/kg)	(mg)	(ml)	(ml)
1 y 1'	300	1,5	1,5	
2 y 2'	9.000	45	45	
3 y 3'	18.000	90		9
4 y 4'	30.000	150		15
5 y 5'	60.000	300		30
6 e 6'	120.000	600		60
7 y 7'	180.000	900		90

Cuadro No. 16: Concentración de plomo en el extracto del suelo, luego de la lixiviación

Muestra	pH	Concentración de Plomo *
		(mg/L)
1	6,2 pH original del suelo	0,013
2		0,015
3		0,016
4		0,021
5		0,022
6		0,024
7		0,107
1'	4,5 pH regulado	0,016
2'		0,017
3'		0,018
4'		0,018
5'		0,018
6'		0,024
7'		0,141 ppm

* Eespectrofotometría UV-Visible (Hach DR 4000) en el laboratorio de la UISEK

Cuadro No. 17: Desorción de plomo en el suelo

Muestra	pH	Cantidad de suelo	Concentración de Pb en el suelo	Concentración de Pb en el extracto del suelo
		(g)	(mg /kg)	(mg /L)
1	6,2 pH original promedio	10	300	0,065
2			9.000	0,075
3			18.000	0,08
4			30.000	0,105
5			60.000	0,11
6			120.000	0,24
7			180.000	0,535
1'	4,5 pH regulado	10	300	0,08
2'			9.000	0,085
3'			18.000	0,09
4'			30.000	0,09
5'			60.000	0,09
6'			120.000	0,24
7'			180.000	0,705

Cuadro No.18: Porcentaje de plomo retenido en el suelo

Muestra	pH	Cantidad de Pb en el extracto del suelo	Cantidad de Pb añadida al suelo	Cantidad de Pb retenida en el suelo	Porcentaje de Pb retenida en el suelo
		(mg)	(mg)	(mg)	%
1	6,2 pH original promedio	0,0175	1,5	1,48	98,83
2		0,19125	45	44,81	99,57
3		0,02125	90	89,98	99,98
4		0,0275	150	149,97	99,98
5		0,35625	300	299,64	99,88
6		0,665	600	599,33	99,89
7		1,10825	900	898,89	99,88
1'	4,5 pH regulado	0,015	1,5	1,48	99
2'		0,01625	45	44,98	99,96
3'		0,02125	90	89,98	99,98
4'		0,0325	150	149,97	99,98
5'		0,30125	300	299,69	99,89
6'		0,53	600	599,47	99,91
7'		0,6125	900	899,39	99,93

Cuadro No. 19: Resumen de los ensayo de lixiviación:

Muestra	pH	Cantidad de suelo	Concentración de Pb en el suelo	Concentración de Pb en el extracto del suelo	Cantidad de Pb en el extracto del suelo	Cantidad de Pb añadida al suelo
		(g)	(mg /kg)	(mg /L)	(mg)	(mg)
1	6,2 pH original promedio	10	300	0,0325	0,0175	1,5
2			9.000	0,0375	0,19125	45
3			18.000	0,04	0,02125	90
4			30.000	0,0525	0,0275	150
5			60.000	0,055	0,35625	300
6			120.000	0,12	0,665	600
7			180.000	0,2675	1,10825	900
1'	4,5 pH regulado	10	300	0,04	0,015	1,5
2'			9.000	0,0425	0,01625	45
3'			18.000	0,045	0,02125	90
4'			30.000	0,045	0,0325	150
5'			60.000	0,045	0,30125	300
6'			120.000	0,12	0,53	600
7'			180.000	0,3525	0,6125	900

Gráfico No. 8: Relación entre plomo añadido al suelo y concentración de plomo en el extracto del suelo:

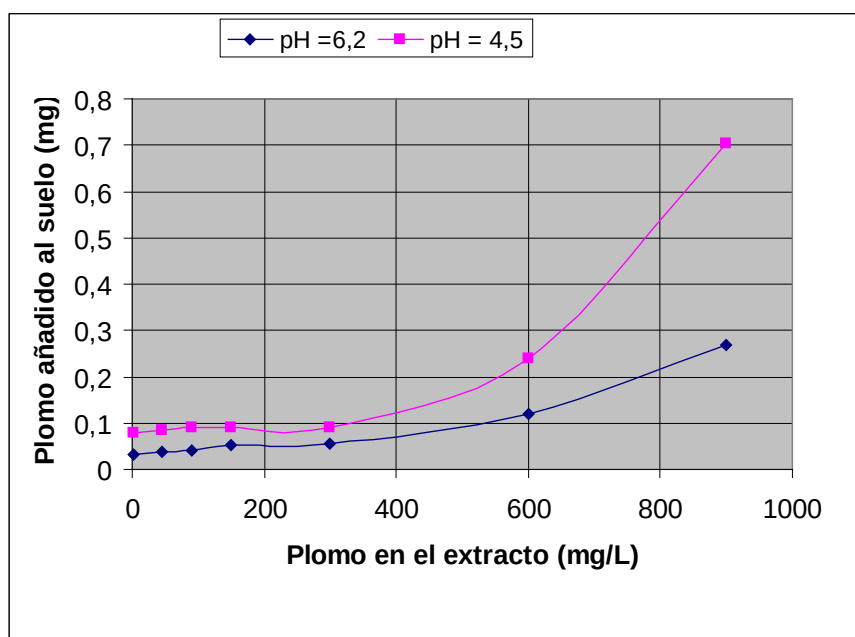


Gráfico No. 9: Relación de plomo en el extracto del suelo y el porcentaje de plomo retenido

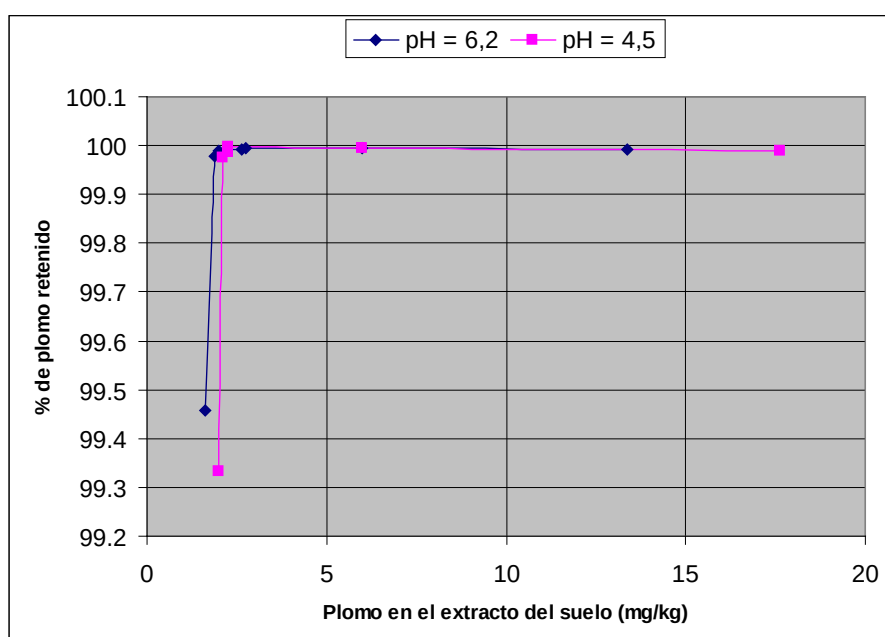
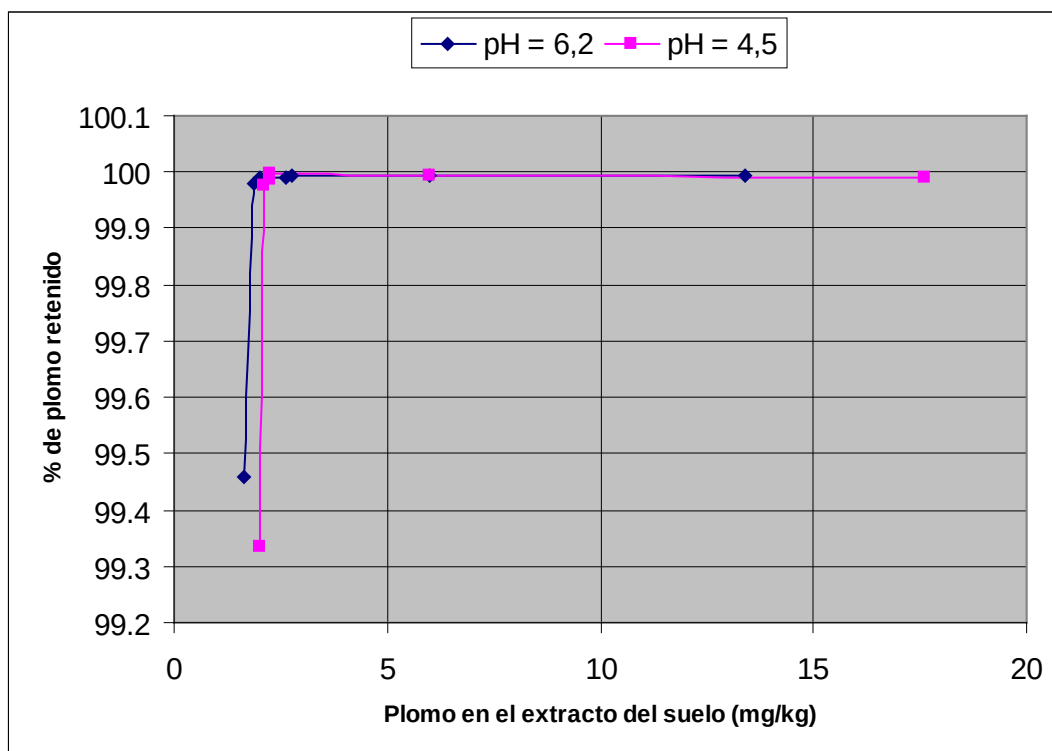


Gráfico No. 10: Relación entre el porcentaje de plomo retenido en el suelo y la concentración de plomo en el suelo



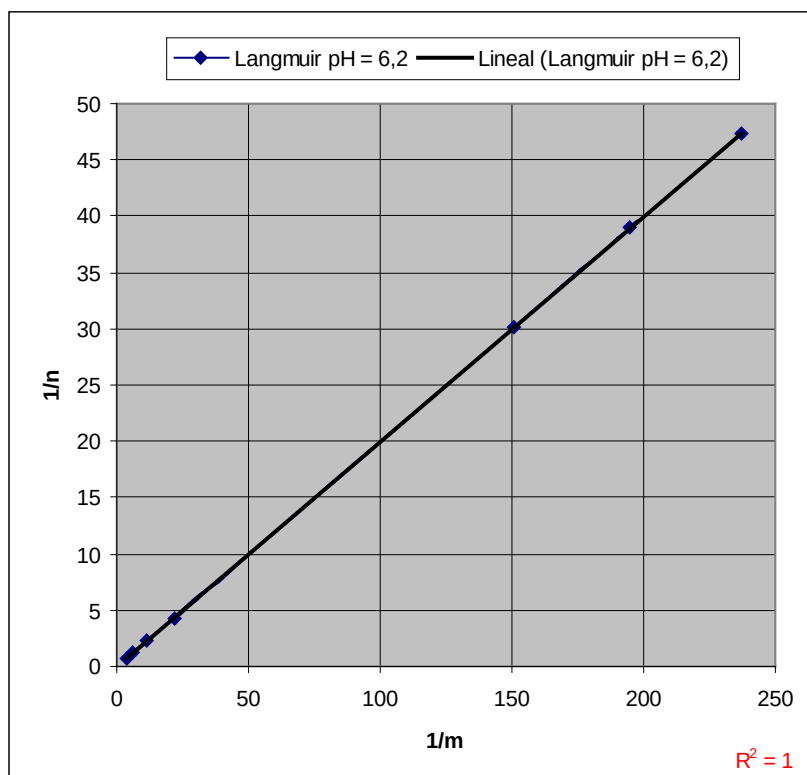
3.5. Isotermas de Adsorción:

3.5.1. Determinación de la isoterma que se ajusta al estudio:

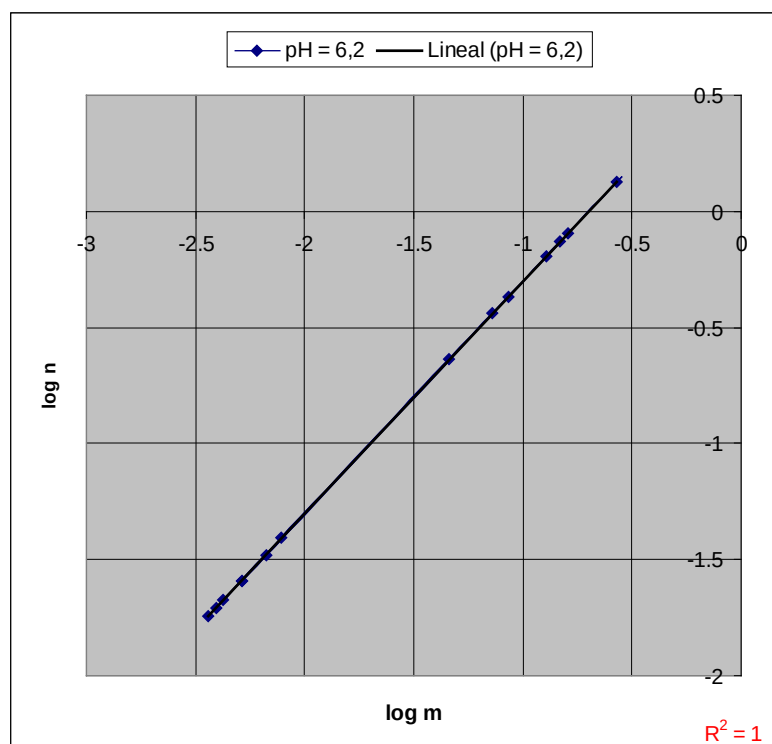
Cuadro No. 20: Cálculos para determinar la isoterma a usarse

Concentración de plomo en Equilibrio	(n) Plomo adsorbido	m masa de adsorbente	1/m	1/n	log m	log
(mmoles/L)	(mol)	(mol/g)				
0,000337822	0,021113846	0,004222769	236,81143	47,362286	-2,374403	-1,675
0,003691907	0,230744173	0,046148835	21,66902	4,3338039	-1,335839	-0,636
0,000410212	0,025638241	0,005127648	195,02118	39,004235	-2,290082	-1,591
0,000530862	0,033178901	0,00663578	150,69818	30,139636	-2,178108	-1,479
0,006877081	0,429817576	0,085963515	11,632842	2,3265684	-1,065686	-0,366
0,012837218	0,802326143	0,160465229	6,2318797	1,2463759	-0,794619	-0,095
0,021393755	1,337109695	0,267421939	3,739409	0,7478818	-0,572803	0,126
0,000289561	0,018097582	0,003619516	276,28	55,256	-2,441349	-1,742
0,000313691	0,019605714	0,003921143	255,02769	51,005538	-2,406587	-1,707
0,000410212	0,025638241	0,005127648	195,02118	39,004235	-2,290082	-1,591
0,000627383	0,039211428	0,007842286	127,51385	25,502769	-2,105557	-1,406
0,005815356	0,363459775	0,072691955	13,75668	2,7513361	-1,138514	-0,439
0,010231166	0,639447903	0,127889581	7,8192453	1,5638491	-0,893165	-0,194
0,011823754	0,738984605	0,147796921	6,7660408	1,3532082	-0,830335	-0,131

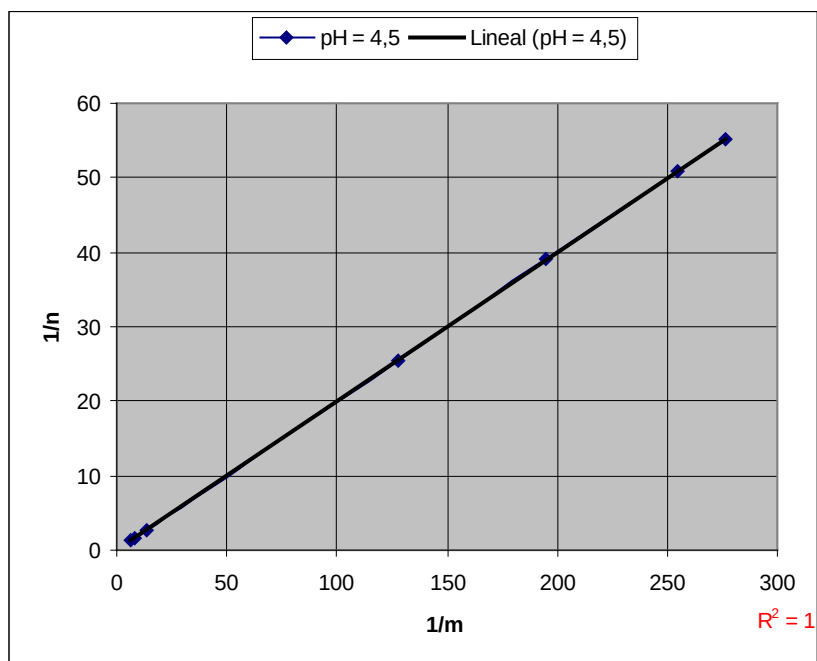
Gráfica No. 11: Isoterma de Adsorción de Langmuir para pH 6.2



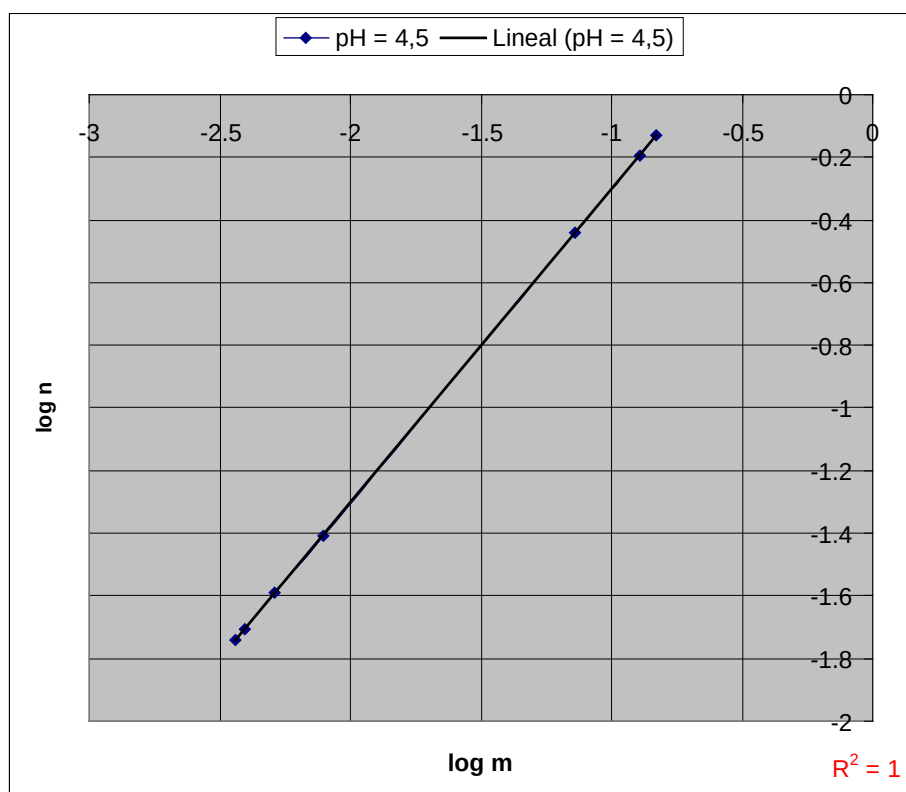
Gráfica No. 12: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 6.2



Gráfica No. 13: Isoterma de Adsorción de Langmuir para pH 4.5



Gráfica No. 14: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 4.5



Cuadro No. 21: Resumen de cálculos para las Isotermas de Adsorción:

Muestra	pH	Plomo en el extracto	Pb retenido en el suelo	X: plomo adsorbido	M: C
		(mg/L)	(mg)	(mmoles)	
1	6,2	0,07	0,0175	0,0001	
2		0,765	0,1913	0,0009	
3		0,085	0,0213	0,0001	
4		0,11	0,0275	0,0001	
5		1,425	0,3563	0,0017	
6		2,66	0,6650	0,0032	
7		4,433	1,1083	0,0053	
1'	4,5	0,06	0,0150	0,0001	
2'		0,065	0,0163	0,0001	
3'		0,085	0,0213	0,0001	
4'		0,13	0,0325	0,0002	
5'		1,205	0,3013	0,0015	
6'		2,12	0,5300	0,0026	
7'		2,45	0,6125	0,0030	

Cuadro No. 21: Continuación

Log C	Log X/M	(C)Concentración de Plomo en eq. (mmol/kg)	Cantidad de Plomo en el extracto (mg)	(A) Cantidad de l adsorbidos (mg)
-3,47	-4,77	0,0676	0,0175	1,4825
-2,43	-3,73	0,7384	0,1913	44,8088
-3,39	-4,69	0,0820	0,0213	89,9788
-3,28	-4,58	0,1062	0,0275	149,9725
-2,16	-3,46	1,3754	0,3563	299,6438
-1,89	-3,19	2,5674	0,6650	599,3350
-1,67	-2,97	4,2788	1,1083	898,8918
-3,54	-4,84	0,0579	0,0150	1,4850
-3,50	-4,80	0,0627	0,0163	44,9838
-3,39	-4,69	0,0820	0,0213	89,9788
-3,20	-4,50	0,1255	0,0325	149,9675
-2,24	-3,54	1,1631	0,3013	299,6988
-1,99	-3,29	2,0462	0,5300	599,4700
-1,93	-3,23	2,3648	0,6125	899,3875

Gráfico No. 15: Relación entre la Concentración inicial de plomo en el suelo y la Concentración de plomo en el extracto del suelo

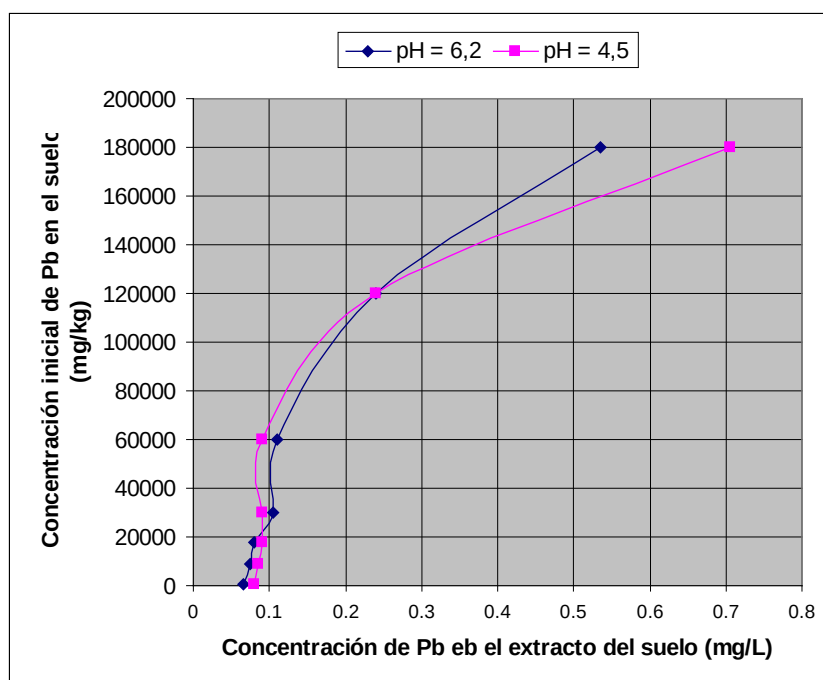
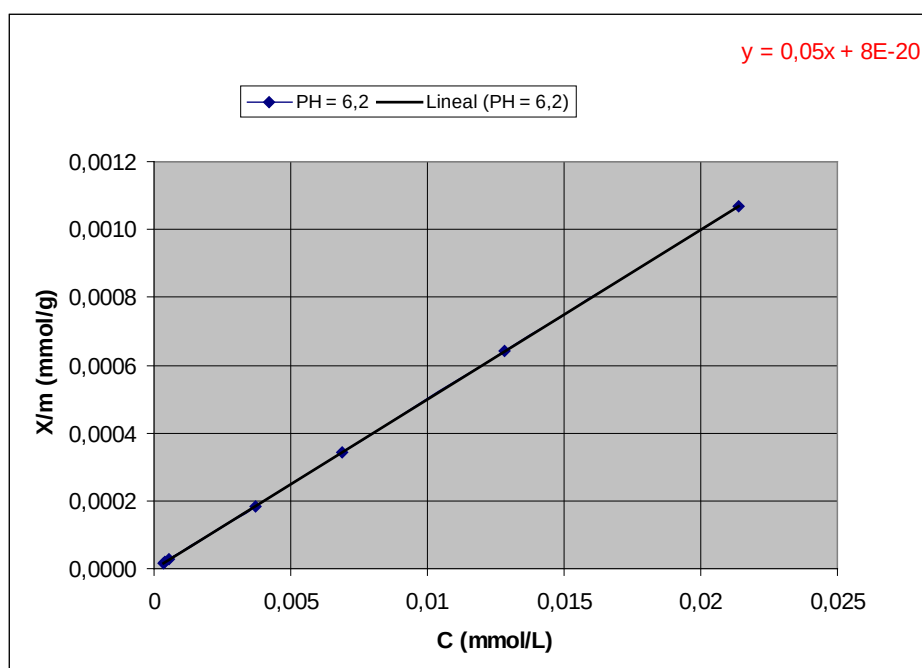
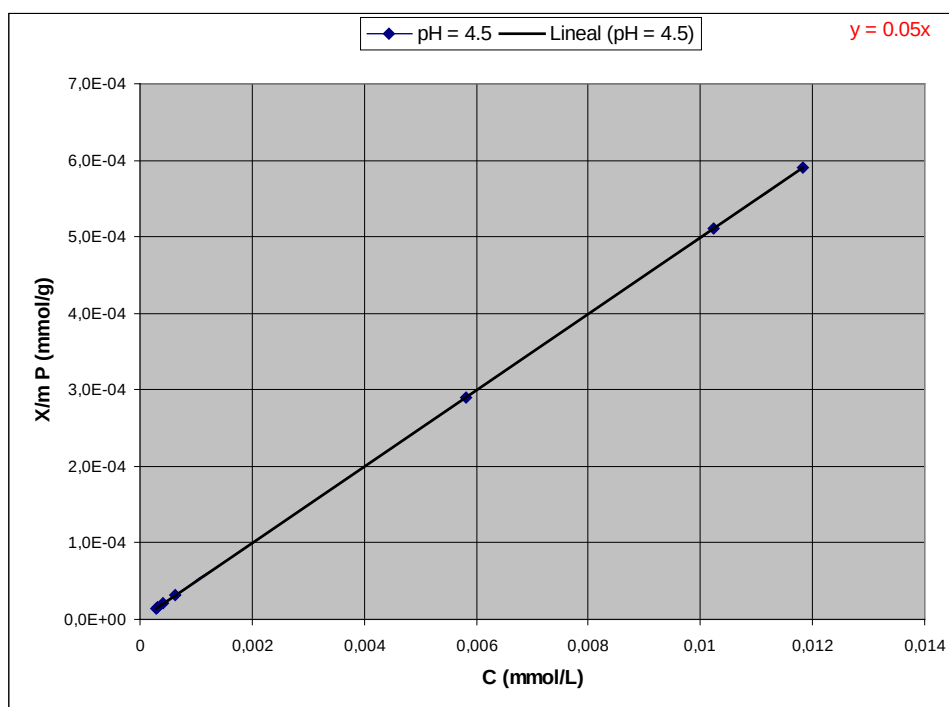


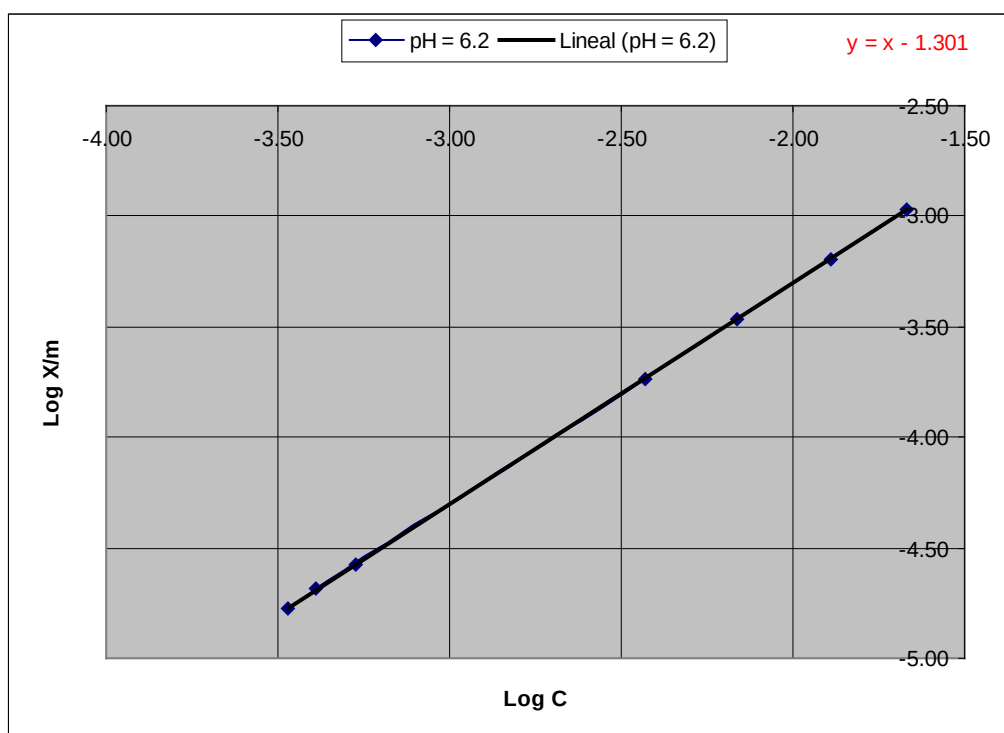
Gráfico No.16: Isotherma de Adsorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica a pH original del suelo 6.2



**Gráfico No. 17: Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la
Región Amazónica a pH 4,5**



Gráfica No. 18: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 6.2



Gráfica No. 19: Isoterma de Adsorción de Freundlich para pH 4.5

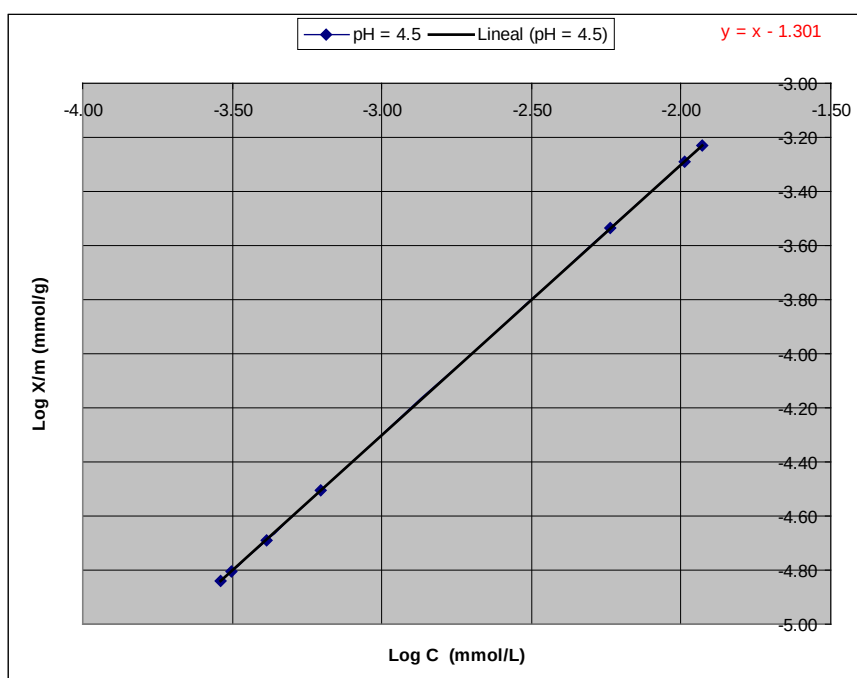


Gráfico No. 20: Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la región amazónica, ajustada para la ecuación de Langmuir, para pH 6.2 (original)

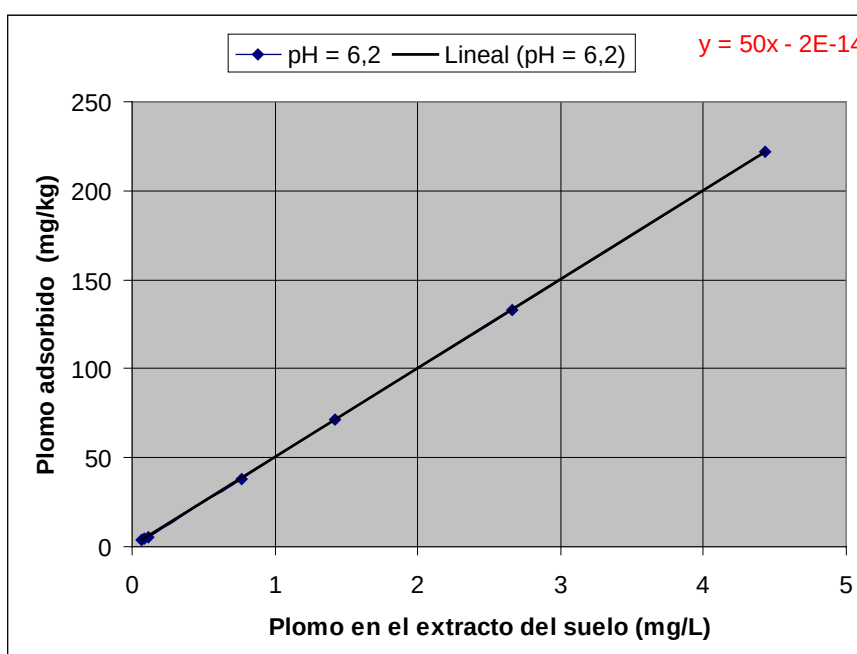
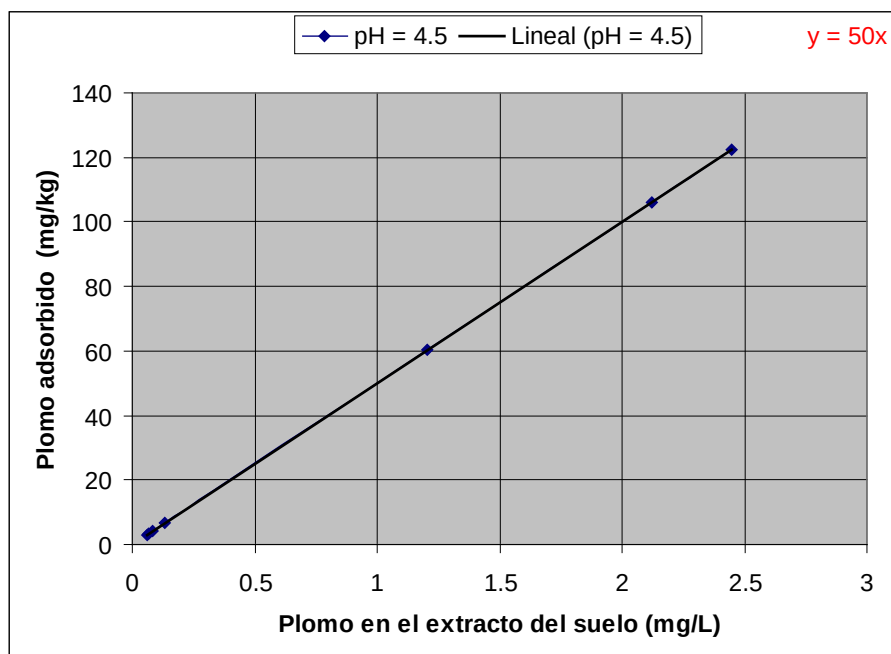


Gráfico No. 21: Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la región amazónica, ajustada para la ecuación de Langmuir, para pH 4.5



3.6. Isotermas de Desorción:

Cuadro No. 22: Resumen de resultados para determinar que isoterma de desorción se debe utilizar en el estudio

Conc. de Pb en Eq.	Conc. de Pb en Eq.	X: plomo adsorb.	(n) Pb adsorvido	m masa de adsorben
(mg/L)	(mmol/L)	(mg)	mol	mol/g
0,0325	0,000156846	0,008125	2,03125	0,40625
0,0375	0,000180976	0,009375	2,34375	0,46875
0,04	0,000193041	0,01	2,5	0,5
0,0525	0,000253366	0,013125	3,28125	0,65625
0,055	0,000265431	0,01375	3,4375	0,6875
0,12	0,000579123	0,03	7,5	1,5
0,2675	0,001290961	0,066875	16,71875	3,34375
0,04	0,000193041	0,01	2,5	0,5
0,0425	0,000205106	0,010625	2,65625	0,53125
0,045	0,000217171	0,01125	2,8125	0,5625
0,045	0,000217171	0,01125	2,8125	0,5625
0,045	0,000217171	0,01125	2,8125	0,5625
0,12	0,000579123	0,03	7,5	1,5
0,3525	0,001701173	0,088125	22,03125	4,40625

Gráfico No.22: Isoterma de desorción de Langmuir para pH 6.2

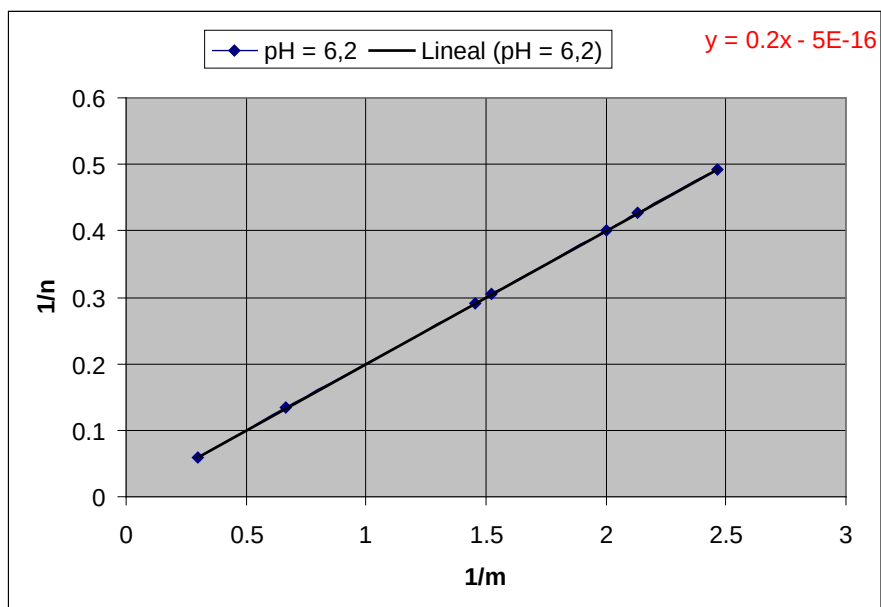


Gráfico No. 23: Isoterma de desorción de Langmuir para pH 4.5

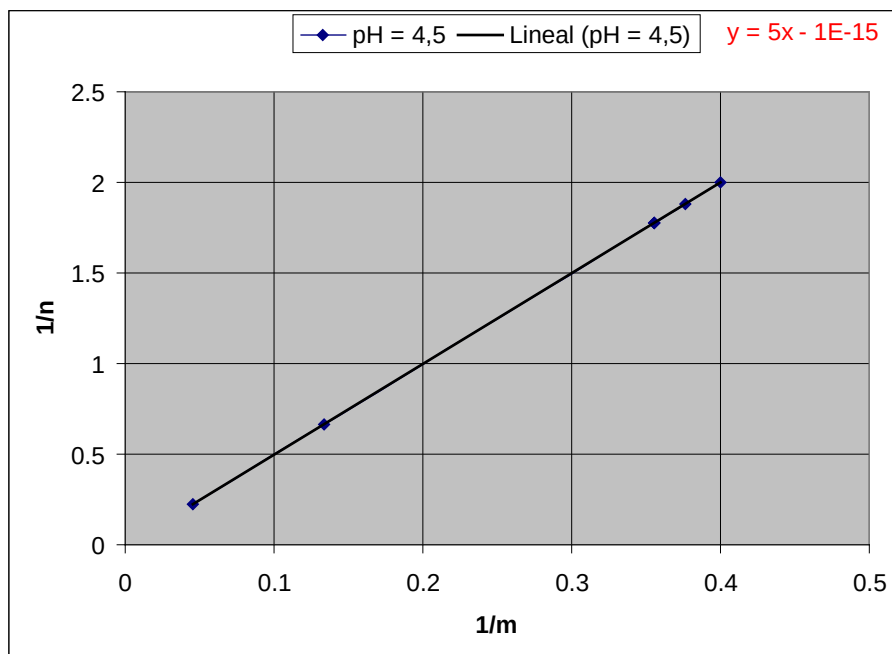


Gráfico No. 24: Isoterma de desorción de Freundlich para pH 6.2

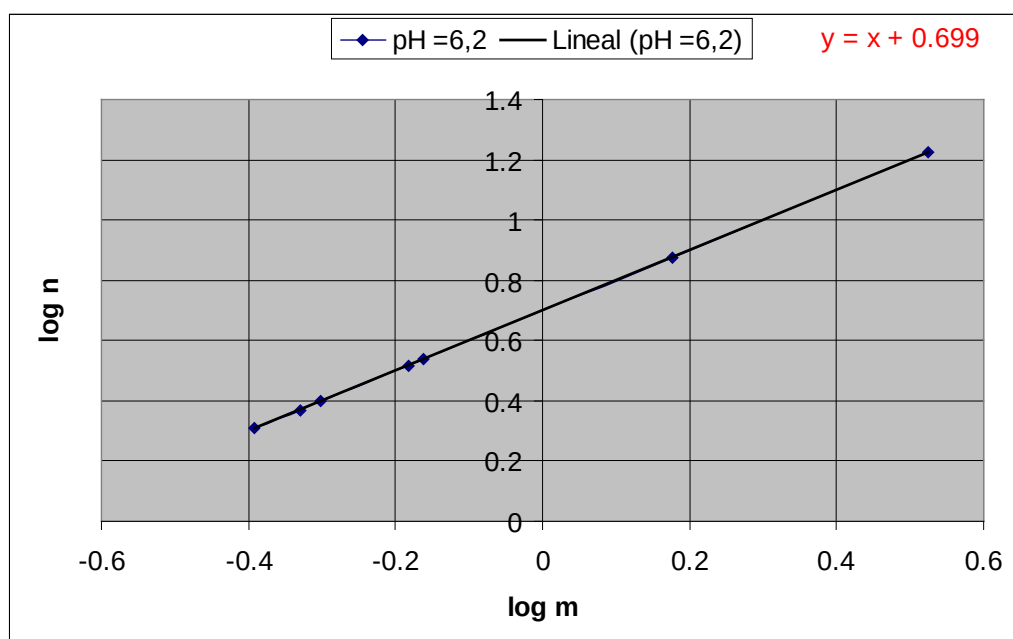
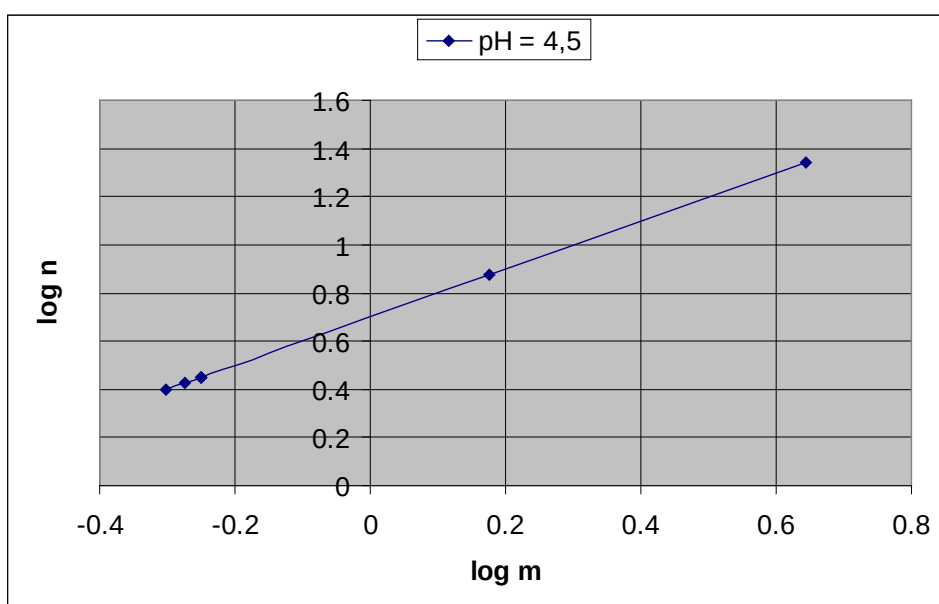


Gráfico No.25: Isoterma de Desorción de Freundlich para pH 4.5



Cuadro No.23: Resumen de resultados para Isotermas de Desorción de Plomo

Muestra	pH	Plomo en el extracto	Cantidad de Pb retenido en el suelo	X: plomo adsorbido	M: Cantidad De suelo	Conc. Equilibrio
		(mg/L)	(mg)	(mmoles)	(g)	(mg/L)
1	6,2	0,0325	1,491875	0,0072	5,0	0,0325
2		0,0375	44,990625	0,2171		0,0375
3		0,04	89,99	0,4343		0,04
4		0,0525	149,986875	0,7238		0,0525
5		0,055	299,98625	1,4477		0,055
6		0,12	599,97	2,8955		0,12
7		0,2675	899,933125	4,3431		0,2675
1'	4,5	0,04	1,49	0,0072		0,04
2'		0,0425	44,989375	0,2171		0,0425
3'		0,045	89,98875	0,4343		0,045
4'		0,045	149,98875	0,7238		0,045
5'		0,045	299,98875	1,4478		0,045
6'		0,12	599,97	2,8955		0,12
7'		0,3525	899,911875	4,3430		0,3525

Gráfico No. 26: Relación entre la Concentración inicial de plomo en el suelo y la Concentración de plomo en el extracto del suelo

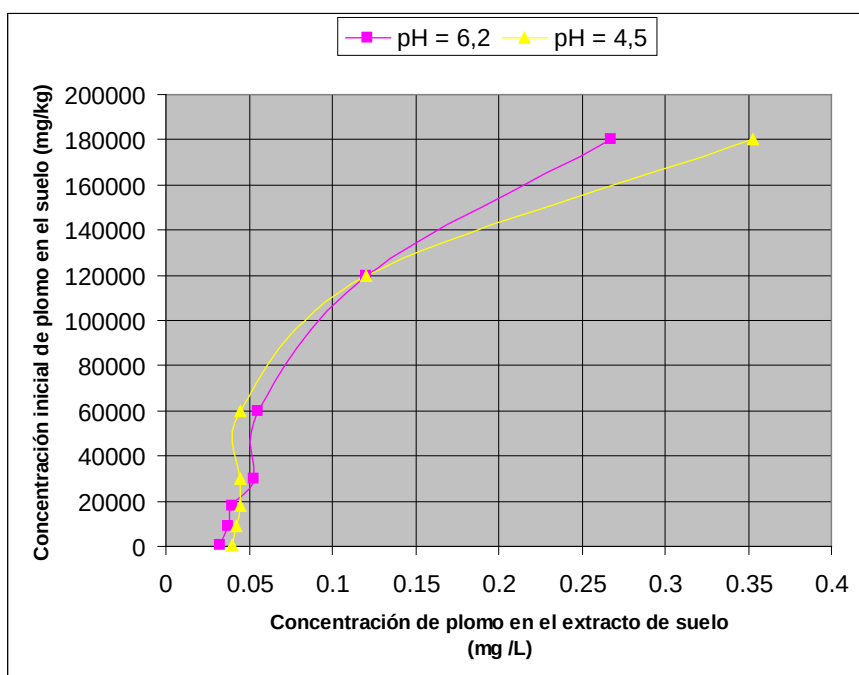


Gráfico No. 27: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica a pH original del suelo 6.2

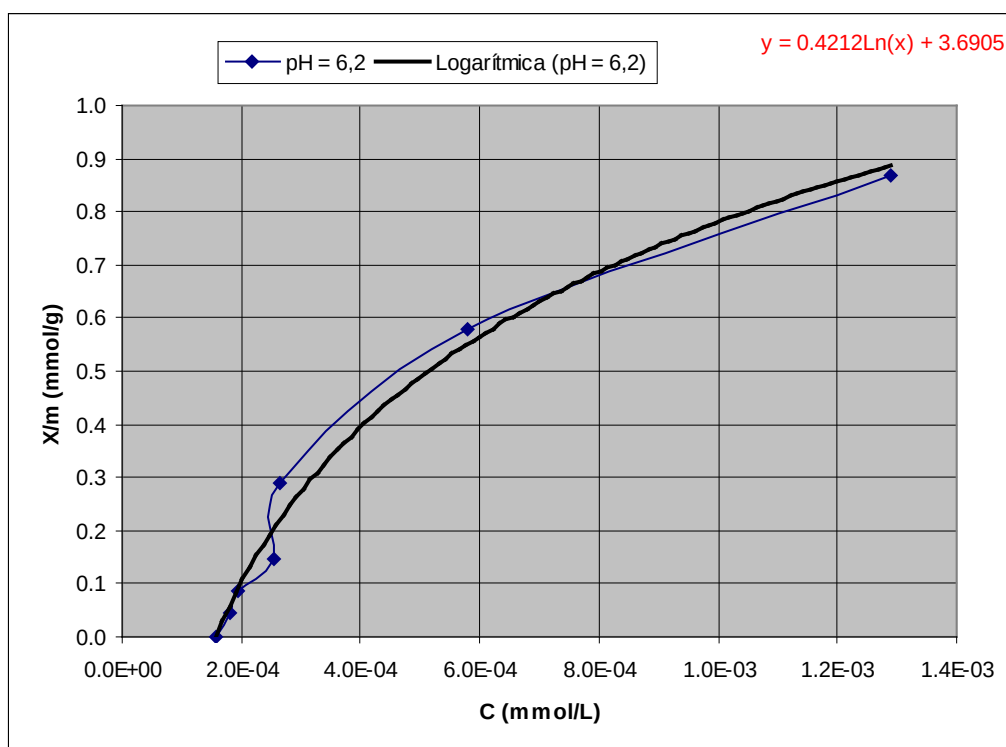


Gráfico No. 28: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica a pH 4.5

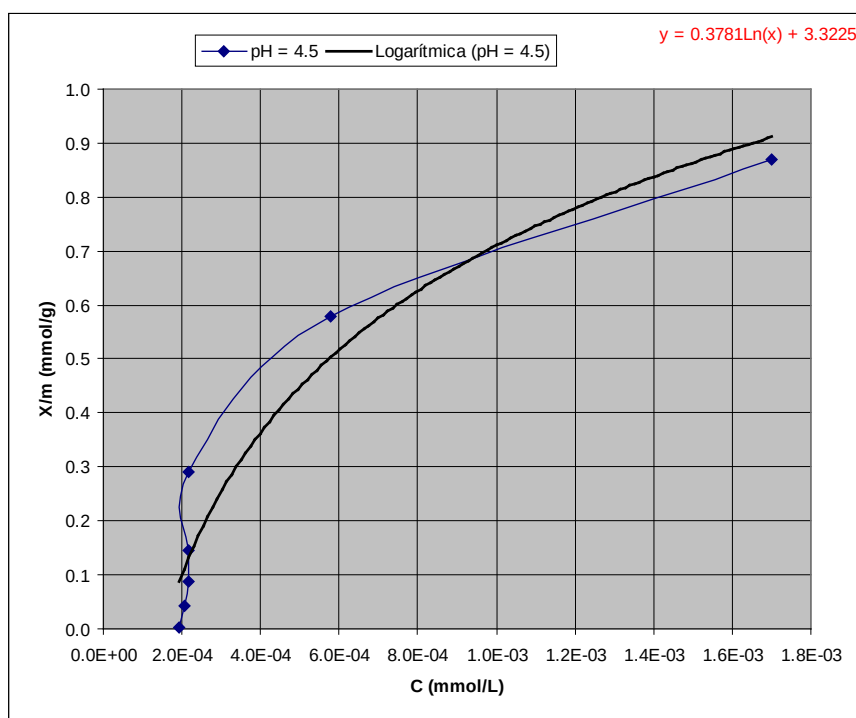


Gráfico No. 29: Isoterma de Desorción de Freundlich

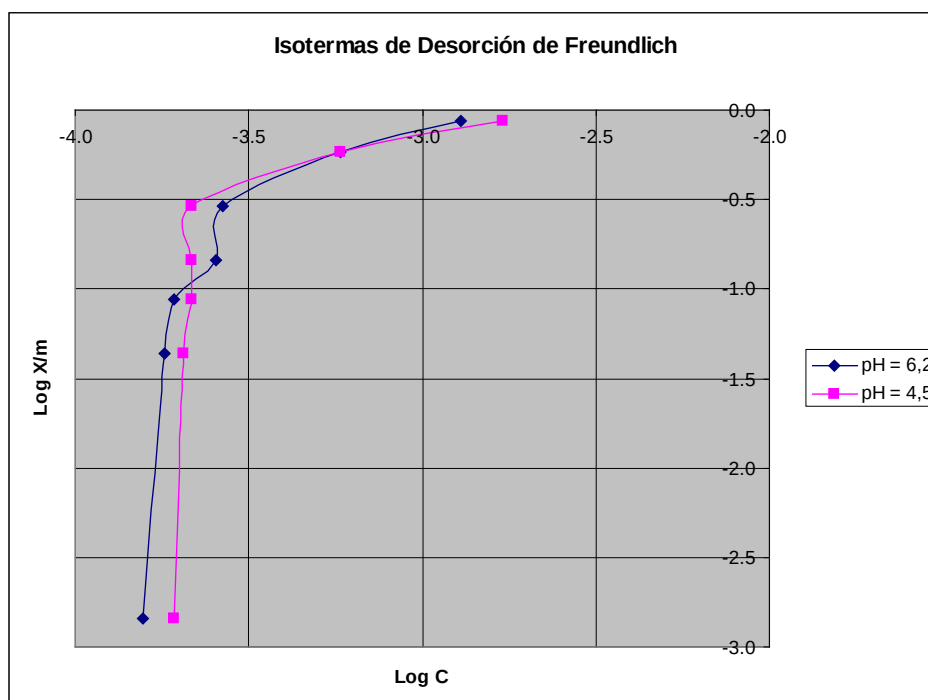


Gráfico No. 30: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la amazonía, ajustada por la ecuación de Langmuir, para pH 4.5

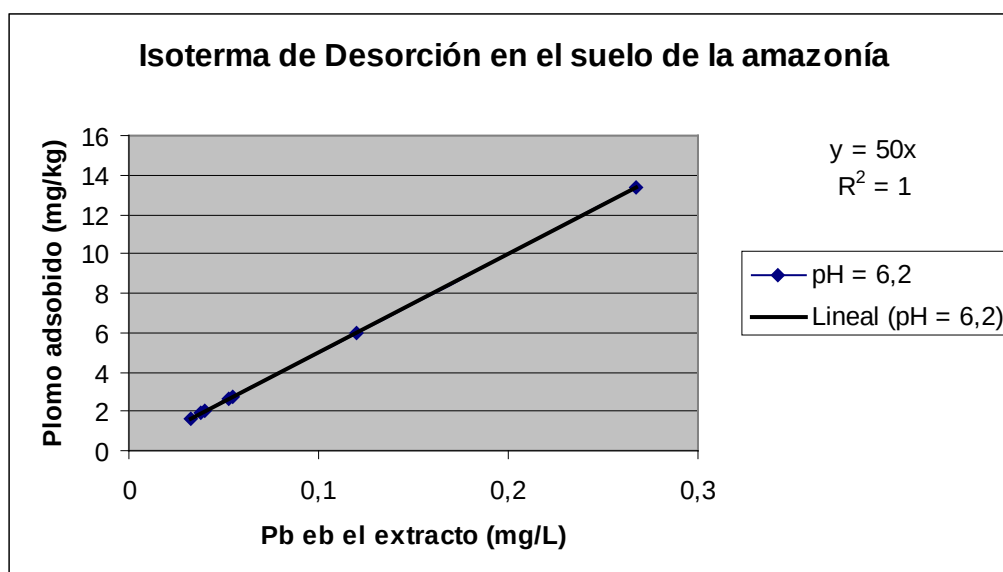
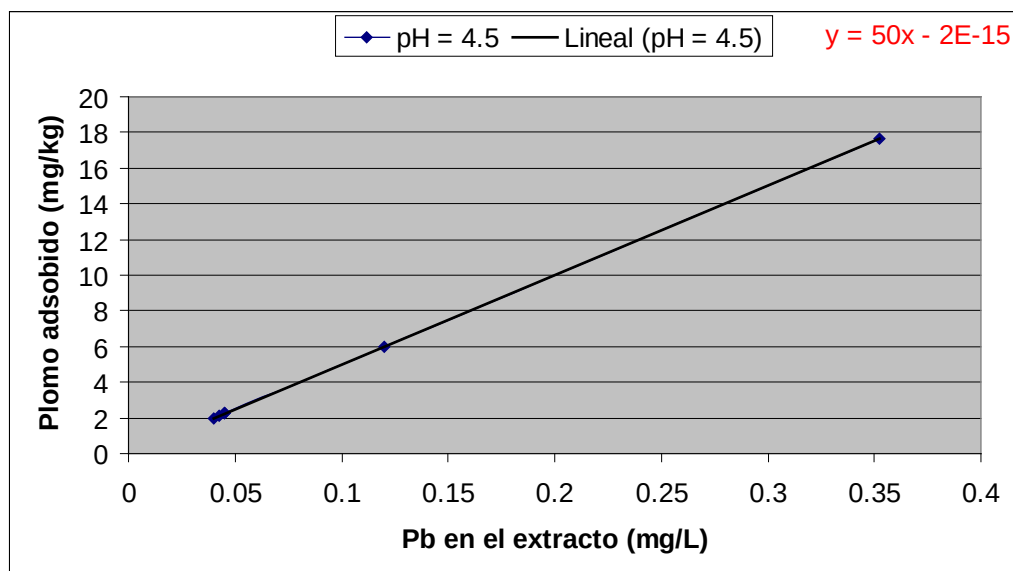


Gráfico No. 31: Isoterma de Desorción de plomo en el suelo de la amazonía, ajustada por la ecuación de Langmuir, para pH 4.5



3.7. Comparación de Adsorción y Desorción de plomo en el suelo de la región amazónica.

Gráfico No. 32: Comparación de Adsorción y Desorción de plomo en el suelo de la región amazónica a pH 6.2.

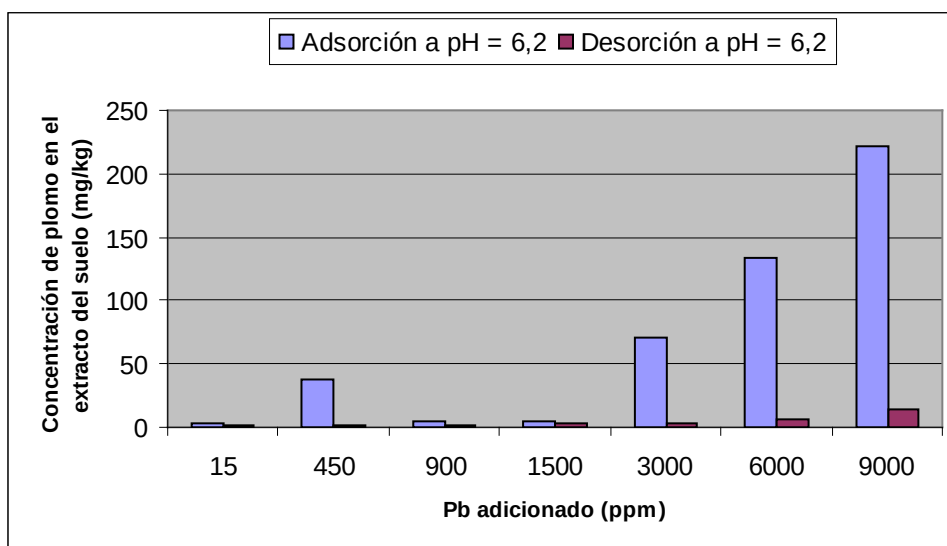
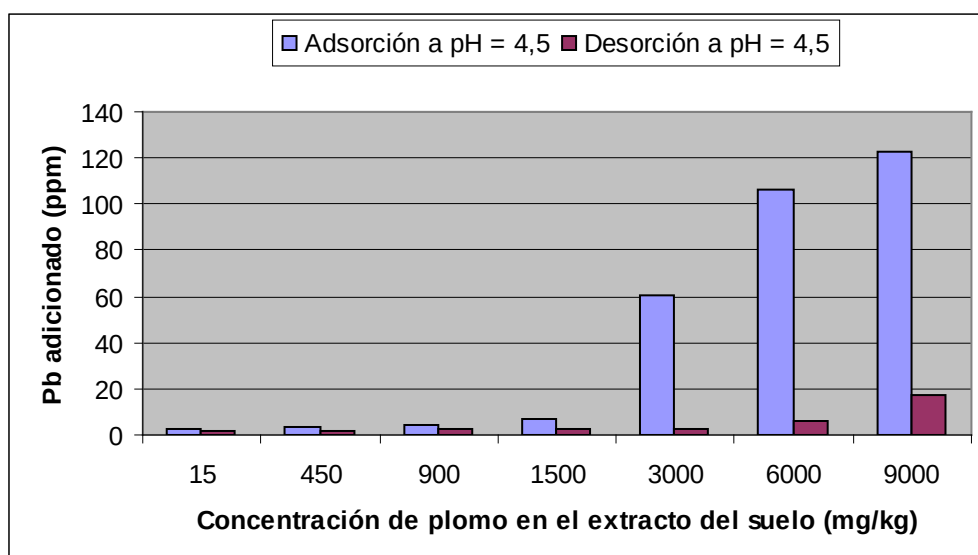


Gráfico No. 33: Comparación de Adsorción y Desorción de plomo en el suelo de la región amazónica a pH 4.5.



3. 8. Cálculos:

3.8.1. Contenido de plomo:

El resultado en la muestra original de contenido de plomo en el suelo fue: 3.076 mg/kg

3.076 mg. 1000g.

X 5 g. = 0.015 mg, de plomo en 5g. que fue la masa que se utilizó para cada muestra.

3.8.2. Humedad:

El cálculo para determinar el contenido de humedad fue el siguiente:

% humedad = (peso del vaso con muestra - peso del vaso con muestra luego de sacarlo de la estufa) en 10g.de muestra

10 g. 100%

peso restado X = ?

Ejm:

% humedad = (61.1242 g. – 58.3717 g.) = 2.7683 g. en 10 g. de suelo

10 g. 100%

2.7683 g. X = 27.68 % de humedad en el suelo.

3.8.3. Contenido de materia orgánica:

El cálculo que permite determinar el porcentaje de materia orgánica se lo hace de la siguiente manera:

% de materia orgánica = (Peso del crisol con muestra – peso del crisol luego de la mufla) en 10g. de suelo

10 g. 100%

peso restado X = ?

Ejemplo:

% de materia orgánica = 32.3413 g. – 28.2033 g. = 4.138 g. en 10g. de suelo

10 g. 100%

4.138 g. X = 41.38% de materia orgánica en el suelo con humedad.

41.4% mat. orgánica + humedad - 22.7 humedad = 19.7% de materia orgánica

3.8.4. Capacidad de Intercambio Catiónico:

La CIC se determinó con los siguientes cálculos:

Cálculo de los miliequivalentes de cationes divalentes intercambiables:

meq de cationes divalentes intercambiables = (ml de EDTA * molaridad de EDTA * 2 * 100g) / peso de la muestra

Ejemplo:

meq de cationes divalentes intercambiables = (7.1 ml de EDTA * 0.01 M * 2 * 100) / 0.5 g. = 28.4 meq. (x²⁺)

Cálculo de las bases intercambiables:

meq. bases intercambiables totales = meq. de cationes divalentes intercambiables * 1.05

Ejemplo:

meq bases intercambiables totales = 28.4 meq. * 1.05 = 29.82 meq./ 100 g. de suelo

3.8.5. Procesos para determinar la adsorción de plomo:

3.8.5.1. Volumen de la solución patrón de plomo (ml)

Para preparar concentraciones de plomo de 300, 9.000, 18.000, 30.000, 60.000, 120.000 y 180.000 mg (Pb)/kg (suelo), se tomaron estas concentraciones para que se pueda ver el grado de adsorción de plomo en el suelo a concentraciones bajas y altas.

Ejemplo:

Para la muestra 1:

300 mg	1.000 g.
X	5 g. = 1,5 mg. de Pb
1.000 mg.	1 lt.
1.5 mg	X = 0,0015lt = 1,5ml de solución de 1.000 ppm de Pb.

3.8.5.2. Concentración de plomo en el extracto de suelo, tomando en cuenta el factor de dilución que se utilizó para la lectura por espectrofotometría UV-Visible (Hach DR 4000)

Ejemplo:

Para la muestra 1:

$$0,014 * (250/50) = 0,07$$

Para las muestras 1,1',2,2',3,3',4,4',5 y 5' se hizo una dilución de 50 a 250 ml.; para 6 y 6' de 25 a 250 ml.; y para 7 y 7' se hizo una dilución de 15 a 250 ml.

3.8.5.3. Cantidad de plomo en el extracto del suelo (mg)

A partir de la concentración que se obtuvo por espectrofotometría de absorción atómica, se calcula los mg. de plomo presente en el suelo.

Ejemplo:

0,07 mg. 1000 ml.

X 250 ml = 0,0175 mg de Pb.

3.8.5.4. Concentración en mg de Pb/kg de suelo en el extracto

0,0175 mg. 5 g.

X 1.000 g. = 3,5 mg de Pb/kg de suelo

3.8.5.5. Cantidad de plomo retenida en el suelo:

Si originalmente tenemos 1,5 mg de plomo, de esto restamos la cantidad de plomo que aparece en la solución tenemos:

Ejemplo:

Para la muestra 1:

1,5 mg. - 0,0175 mg. = 1,4825 mg. de plomo adsorbidos en los 5g. de suelo.

3.8.5.6. Porcentaje retenido:

% retenido = (cantidad de plomo retenida en el suelo * 100)/cantidad de plomo

Ejemplo:

Para la muestra 1:

$(1,4825 \text{ mg.} * 100) / 1,5 = 99,833 \%$

3.8.5.7. Concentración de plomo retenida en el extracto del suelo en mg de plomo/kg de suelo

1,4825 mg 5.g.

X 1.000 g. = 296,5 mg de Pb/ kg de suelo

3.9. Determinar de la isoterma que corresponde al nuestro estudio:

Graficamos $1/m$ vs. $1/P_b$ y $\log(m)$ vs. $\log P_b$. Aquella que diera un mejor ajuste será la que responde al experimento. La primera corresponde a Langmuir y la segunda a Freundlich.

Ejemplo:

Lectura de $P_b = 7,23 \cdot 10^{-3} \text{ mol} / 250 \text{ ml} = 2.895 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ que es la concentración en equilibrio

Para determinar la masa adsorbida hacemos: $n = (\text{conc inicial} - \text{conc final}) \cdot \text{volumen} = (7.23 \cdot 10^{-3}) - (3.37 \cdot 10^{-4}) \cdot \text{volumen } 250 \text{ ml} = 1.725 \text{ mol Pb adsorbido}$

La masa de adsorbente era de 5g, entonces $m = n/w = 0.345 \text{ mol/g}$

3.10. Isotherma de Freundlich y Langmuir:

Freundlich: $X/m = KC^{(1/n)}$

En forma lineal:

$$\log X/m = 1/n \log C + \log K$$

Donde:

X: cantidad de materia adsorbida (mol)

m: cantidad de adsorbente (g)

C: concentración de equilibrio de la solución externa (mol l^{-1})

K, n: constantes empíricas

Langmuir:

$$\frac{C}{X/m} = \frac{1}{Kb} + \frac{C}{b}$$

$$X/m = b\sigma \quad \text{ó} \quad X/m = b (KC/1+KC)$$

Donde:

K: constante de energía de retención de Langmuir

σ : Fracción de superficie ocupada por molécula a adsorber

X: cantidad de materia adsorbida

m: cantidad de adsorbente

C: concentración de equilibrio

b: capacidad máxima de adsorción

3.10.1. Cálculos de X: cantidad de materia adsorbida (mmol.)

Ejemplo:

Para la muestra 1:

$$\frac{1,4825 \text{ mg. de Pb.}}{1000 \text{ mg.}} \cdot \frac{1 \text{ g.}}{207,21 \text{ g.}} \cdot \frac{1 \text{ mol.}}{1 \text{ mol.}} \cdot \frac{1000 \text{ mmol.}}{1 \text{ mol.}} = 0,0072 \text{ mmol}$$

3.10.2. Cálculos de X/m:

Ejemplo:

Para la muestra 1:

$$\frac{7,154^{-6} \text{ moles}}{5 \text{ g.de suelo}} \cdot \frac{1,431^{-6} \text{ moles}}{\text{g}} \cdot \frac{1000 \text{ mmol}}{1 \text{ mol}} = \frac{1,431^3 \text{ mmoles}}{\text{g}}$$

3.10.3. Cálculos de C: concentración de equilibrio de la solución externa (mmol/g de suelo):

Concentración de plomo en el extracto de las muestras

Ejemplo:

Para muestra 1:

$$\frac{1,5 \text{ mg.de Pb en el extracto}}{1 \text{ L.}} \left| \frac{1 \text{ g.}}{1000 \text{ mg.}} \right| \frac{1 \text{ mol. de Pb}}{207.21 \text{ g.}} = 7,239^{-6} \text{ moles/L.}$$

$$\frac{7,239^{-6} \text{ moles}}{\text{L}} \left| \frac{1000 \text{ mmol}}{1 \text{ mol}} \right| = \underline{0,00724 \text{ mmol}} \text{ L}$$

3.11. Ensayo de desorción

3.11.1. Prueba de Lixiviación

3.11.1.1. Concentración de plomo en el extracto de suelo, tomando en cuenta el factor de dilución que se utilizó para la lectura por espectrofotometría UV-Visible (Hach DR 4000)

Ejemplo:

Para la muestra 1:

$$0,013 * (250/50) = 0,065$$

Para las muestras 1,1',2,2',3,3',4,4',5 y 5' se hizo una dilución de 50 a 250 ml.; para 6 y 6' de 25 a 250 ml.; y para 7 y 7' se hizo una dilución de 15 a 250 ml.

3.11.1.2. Cantidad de plomo en el extracto del suelo (mg)

De la concentración que se obtuvo por espectrofotometría de absorción atómica, obtengo los mg. de plomo.

Ejemplo:

0,065 mg. 1000 ml.

X 250 ml = 0,01625 mg de Pb.

3.11.1.3. Cantidad de plomo en el extracto del suelo (mg) para las concentraciones iniciales de plomo en el suelo

0,01625 mg. de plomo es para 10 g. de suelo y como en la concentración inicial se utilizó 5 g. de suelo, dividido para 2 para poder comparar con el ensayo de adsorción

$0,01625/2 = 0,008125$

3.11.1.4. Concentración en mg de Pb/kg de suelo en el extracto

0,008125 mg. 5 g.

X 1.000 g. = 1,625 mg de Pb/kg de suelo

3.11.1.5. Cantidad de plomo retenida en el suelo:

Originalmente 1,5 mg de plomo, si de esto restamos la cantidad de plomo que aparece en la solución tenemos:

Ejemplo:

Para la muestra 1:

$1,5 \text{ mg.} - 0,008125 \text{ mg.} = 1,492 \text{ mg. de plomo adsorbidos en los 5g. de suelo.}$

3.11.1.6. Porcentaje retenido:

% retenido = (cantidad de plomo retenida en el suelo * 100)/cantidad de plomo

Ejemplo:

Para la muestra 1:

$$(1,492 \text{ mg.} * 100) / 1.5 = 99,458 \%$$

3.11.1.7. Concentración de plomo retenida en el extracto del suelo en mg de plomo/kg de suelo

1,492 mg 5.g.

X 1.000 g. = 298,4 mg de Pb/ kg de suelo

3.12. Isoterma de Freundlich y Langmuir:

Freundlich: $X/m = KC^{(1/n)}$

En forma lineal:

$$\log X/m = 1/n \log C + \log K$$

Donde:

X: cantidad de materia adsorbida (mol)

m: cantidad de adsorbente (g)

C: concentración de equilibrio de la solución externa (mol l^{-1})

K, n: constantes empíricas

Langmuir:

$$\frac{C}{X/m} = \frac{1}{Kb} + \frac{C}{b}$$

$$X/m = b\sigma \quad \text{ó} \quad X/m = b \frac{KC}{1+KC}$$

Donde:

K: constante de energía de retención de Langmuir

σ : Fracción de superficie ocupada por molécula a adsorber

X: cantidad de materia adsorbida

m: cantidad de adsorbente

C: concentración de equilibrio

b: capacidad máxima de adsorción

3.12.1. Cálculos para X cantidad de materia adsorbida (mol.)

Ejemplo:

Para la muestra 1:

$$\frac{1,492 \text{ mg. de Pb.} \left| \frac{1 \text{ g.}}{1000 \text{ mg.}} \right| \frac{1 \text{ mol.}}{207,21 \text{ g.}} \left| \frac{7,2^{-6} \text{ moles}}{1 \text{ mol}} \right| \frac{1000 \text{ mmol}}{1} = 0,0072 \text{ mmol}$$

3.12.2. Cálculos X/m:

Ejemplo:

Para la muestra 1:

$$\frac{7,2^{-6} \text{ moles}}{5 \text{ g.de suelo}} = 1,44^{-6} \text{ moles /g.}$$

$$\frac{1,44^{-6} \text{ moles}}{\text{g}} \left| \frac{1000 \text{ mmol}}{1 \text{ mol}} \right| = \underline{1,44^{-3} \text{ mmol}} \text{ g}$$

3.12.3. Cálculos para C concentración de equilibrio de la solución externa:

Concentración de plomo en el extracto para las muestras

Ejemplo:

Para muestra 1:

$$\frac{1,5 \text{ mg.de Pb en el extracto}}{1 \text{ L.}} \left| \frac{1 \text{ g.}}{1000 \text{ mg.}} \right| \frac{1 \text{ mol. de Pb}}{207.21 \text{ g.}} = 7,239^{-6} \text{ moles/L.}$$

$$\frac{7,239^{-6} \text{ moles}}{\text{g}} \left| \frac{1000 \text{ mmol}}{1 \text{ mol}} \right| = \underline{0,00724 \text{mmoles}}_{\text{g}}$$

Capítulo IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

4.1. Caracterización físico-química y mineralógica del suelo:

- Las características físico-químicas resumidas en el Cuadro No.8 y mineralógicas resumidas en el Cuadro No. 9, muestran que el suelo estudiado tiene 94% de limo y arcilla, con un porcentaje minerales de Albita (66,9), kyanita (12,6), cuarzo (11,2), Hemetita (5,5) y paravauxita (3,8) y con un porcentaje de materia orgánica (19,7) extremadamente alto.

Estos compuestos del suelo al tener carácter coloidal y poseer cargas eléctricas, pueden contribuir a la capacidad de cambio del suelo intercambiando iones con los existentes en el suelo en un equilibrio dinámico. Lo que podría argumentar la capacidad de este suelo a adsorber el plomo, de hecho esta capacidad esta relacionada con la capacidad de intercambio iónico y adsorción del mismo suelo.

- El suelo se lo recogió del horizonte superficial, es decir a una profundidad de 0 a 20 m. La capacidad de intercambio catiónico C.I.C, es decir las cargas negativas disponibles (sitios de intercambio) para atraer cationes al suelo, en los horizontes superiores se producen notables ascensos cuando el pH supera valores cercanos a 6, que es el caso de este suelo que tiene un valor promedio de pH de 6.2 Mientras que en los inferiores disminuye notablemente.

- Se determinó que el suelo no tiene ningún porcentaje de grava ya que no se encontraron partículas mayores de 2 mm, es decir no hay porcentaje retenido en el tamiz No. 10” y mayores.

- Se pudo determinar la cantidad de arena, ya que las partículas de arena varían entre 0.05 mm y 2 mm, el porcentaje de arena en el suelo es de 6%

El porcentaje de limo y arcilla no se pudo separar ya que, el tamiz de menor tamaño corresponde al No. 400 con una abertura de 0.038mm como se encuentra en “Tamices de ensayo, dimensiones nominales de las aberturas” publicado por

el INEN (Anexo 5), que es el que se utiliza para hacer ensayos de granulometría en los laboratorios. Como las partículas de arcilla tienen un diámetro menor a 0.002 mm. no existen tamices para realizar este ensayo.

- El suelo estudiado posee el 94% de arcilla y limo por lo tanto tiene la posibilidad de adsorber, ya que la adsorción depende de los coloides del suelo, representado por partículas de dimensiones entre 10 y 10.000 angstrom (1 a 1.000 nanómetros); que en este caso son las partículas de arcilla y las poseen en menor grado las partículas de limo y arena muy fina. Además la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en la solución del suelo. Por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos.

- El contenido de humedad es del 21.1%. Sabiendo que alrededor de cada partícula de arcilla se sitúa una nube de iones, colocándose en la primera capa los de signo contrario y al estar más cerca están retenidos con más fuerza que los de las capas vecinas, la probabilidad de que un tipo de ión esté adsorbido depende de la concentración de la solución (medio acuoso), cuanto mayor es esta concentración mayor es la tendencia a la adsorción.

- El pH del medio acuoso está determinado por los iones H^+ presentes en la solución del suelo y, eventualmente por aquellos provenientes de especies ácidas que se solubilizan al entrar en contacto con el agua adicionada al suelo.

- El valor de pH es de 6,2, indican que el suelo es ácido como se ve en la tabla siguiente:

Tabla 17: Clasificación de pH

<5,5	Muy Acido
5,6-6,5	Acido
6,6-7,5	Neutro
7,6-8,5	Alcalino
>8,5	Muy Alcalino

- Cuando la partícula de arcilla se encuentra en un medio ácido tiende a ceder parte de sus oxhidrilos para neutralizar y su lugar es ocupado por el anión responsable de la acidez.
- Para valores más ácidos la partícula se comporta como intercambiadora de aniones y para valores más básicos se comporta como intercambiadora de cationes. Esto no lo podemos evaluar en este estudio, ya que los ensayos se hicieron a pH ligeramente ácidos y ácidos.
- El pH también es importante para la capacidad de intercambio catiónico C.I.C., porque cuando el pH se encuentra cerca de 1, la capacidad se anula. Lo que se demostro en este estudio ya que los resultados de adsorción de a pH 4.5 fueron menores a los de pH 6.2.
- La materia orgánica en el suelo esta principalmente en proceso de transformación a humus, en donde predominan los ácidos fúlvicos y húmicos.
- Los primeros horizontes están sometidos a un fuerte influjo de materia orgánica, tal es el caso de nuestro suelo ya que nuestro suelo tiene una cantidad excesiva de materia orgánica 19,7. Como indica la siguiente tabla.

Tabla 18: Clasificación de Materia Orgánica

M.O. (%)	Arenosos <10% Arcilla	Limosos 10-30% Arcilla	Arcillosos >30% Arcilla
Muy Pobre	<1,25	<1,00	<1,50
Pobre	1,25-2,00	1,00-1,75	1,50-2,50
Normal	2,00-3,00	1,75-2,50	2,50-3,50
Alto	3,00-4,00	2,50-3,50	3,50-4,50
Excesivo	>4,00	>3,50	>4,50

- Por lo tanto como por la textura del suelo sabemos que el suelo contiene gran cantidad de arcilla y tiene el contenido excesivo de materia orgánica.

- La materia orgánica se comporta muy similar a los bordes de la arcilla por los hidroxilos (carga residual negativa que los hace intercambiadores cationicos) presentes en las cadenas laterales como en las zonas externas del núcleo. Pero los hidroxilos de la materia orgánica son mucho mayores, y tiene una cantidad importante de cargas variables (en medio alcalino cede protones y en medio ácido cede aniones).
- Las cargas variables son las responsables de la retención de aniones tanto en la arcilla como en la materia orgánica (sustancias húmicas). Los aniones por su tamaño, tienen una movilidad menor que los cationes.
- La materia orgánica tiene un papel muy importante en la adsorción de plomo en el suelo, la que se incrementará o disminuirá según el grado de complejidad de las estructuras orgánicas y su participación en la formación de complejos coloidales.
- Los suelos ácidos y ricos en materia orgánica pueden retener una gran cantidad de cationes como lo es el plomo.
- La Materia Orgánica reacciona con los metales formando complejos de cambio y quelatos. Los metales una vez que forman quelatos^{28,29,30} (Complejo formado al unir con dos o más átomos o un átomo metálico con una base de Lewis que se enlaza a un ión metálico para formar un ion complejo).o complejos pueden migran con mayor facilidad a lo largo del perfil.
- La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como el plomo, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas. Por eso algunas plantas, de suelos orgánicos, presentan carencia de ciertos elementos como el Pb, que forman quelatos solubles muy estables.
- La complejación por la materia orgánica del suelo es una de los procesos que gobiernan la solubilidad y la bioasimilación de metales pesados. La toxicidad de los metales pesados se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad³¹, disponibilidad y dispersión. La estabilidad de muchos de estos complejos frente a la degradación por los organismos del suelo es una causa muy importante de la persistencia de la

toxicidad. Pero también la presencia de abundantes quelatos puede reducir la concentración de otros iones tóxicos en la solución del suelo.

- La C.I.C. promedio es de: 31,1 meq/100 g. de suelo
- La C.I.C. de los suelos depende de su composición, especialmente de las arcillas y la materia orgánica.
- En las arcillas la C.I.C. reside en los grupos silicato como son los minerales encontrados en el suelo que son (Albita, Cuarzo y Kyanita) y aluminato ionizables.
- Según la tabla que presento a continuación, sabemos que la Capacidad de intercambio catiónico es muy elevada.

Tabla 19: Clasificación CIC

CIC meq/100 g	
<6	Muy Débil
6-10	Débil
10-20	Normal
20-30	Elevada
>30	Muy Elevada

- Con el valor de la capacidad de intercambio catiónico podemos determinar que tipo de arcilla es, según el siguiente cuadro:

Tabla 20: Tipo de arcilla según CIC

ARCILLAS	MEQ
CAOLINITAS	0 – 20
ILITAS / CLORITAS	20 - 60
BENTONITAS/ZEOLITAS	60 - 120

- La capacidad de intercambio catiónico CIC en nuestro suelo tienen el promedio de 31,1 meq/100g, entonces podemos decir que es una mezcla de las arcillas ILITAS Y CLORITAS, las cuales una capacidad de intercambio catiónico CIC entre 20 y 60 meq. Estas arcillas tienen más superficie y más puntos de adsorción.
- La arcilla de tipo Ilita y clorita tienen una combinación de cargas positivas y negativas que las hacen más efectivas en la retención y tienen un espectro de adsorción muy amplio. Tienen carga bipolar
- Como este suelo tiene un fuerte influjo de materia orgánica, porque fue recogida del horizonte superficial, entonces podemos decir que tiene una cantidad muy importante de cargas variables.
- Con el siguiente cuadro podemos ver los cationes intercambiables.

Tabla 21: GRUPO DE LAS ARCILLAS

GRUPO DE ARCILLAS	FORMACIÓN Mg^{2+} / Al^{3+}	FORMACIÓN Si^{4+} / Al^{3+}	CATIONES INTERLAMINARES
Grupo Micas– No Hidratadas (Ilitas, Cloritas)	TRIOCTAEDRAL	2:1:1 Si - Al - Si - Al (Dipolares, No expandible)	Alto en magnesio Bajo en potasio

Tabla 21: Grupo de Arcillas

- De formación en Si^{4+} / Al^{3+} es 2:1:1 Si-Al-Si-Al son de carga dipolares no expandibles, es decir que tienen muy poca absorción o no absorben agua. Y no absorben nutrientes.
- El tamaño de poro y área de superficie de las arcillas de tipo Ilita y Clorita, tienen más superficie de retención y mayor superficie de actividad.
- Las partículas de arcilla tienen una carga residual negativa al igual que la materia orgánica, sobre su superficie por lo que son intercambiadores catiónicos

(Pb 2+) de preferencia, mientras que los oxihidrilos de hierro y aluminio están cargados positivamente y son intercambiadores aniónicos de modo prioritario.

- Un valor de CIC superior a 25 cmol/kg asegura una buena retención catiónica, aunque valores superiores a 20 cmol(c)/kg resultan aceptables. Los valores inferiores a 10 cmol(c)/kg son insuficientes.

- La Capacidad de intercambio iónico es función del contenido de arcilla y materia orgánica, fundamentalmente. En general cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos.

- La conductividad en la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continúa hasta que la solución está tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar

- La conductividad promedio de la solución del suelo es: 3,2

- El complejo de intercambio catiónico del suelo, desde el punto de vista químico, está formado por aluminosilicatos no solubles en el agua. Esta es la parte mineral del suelo. También está formado por compuestos orgánicos y orgánico-minerales. Esta es la parte húmica de los suelos. Desde el punto de vista físico, el complejo de intercambio catiónico de los suelos está representado por compuestos finamente divididos. Esta es la parte altamente coloidodispersa de los suelos.

- En las soluciones ácidas se tiene que la concentración de iones hidrógeno es mayor que los iones hidroxilo, por lo que en estas condiciones se inhibe la disociación del ion hidrógeno H⁺.

En condiciones de reacción alcalina, en la solución se inhibe la disociación de los iones hidroxilo OH

- K.K. Gadroit postuló lo siguiente: “Todos los suelos poseen capacidad de intercambiar los cationes que se encuentran en estado adsorbido (metálicos e

hidrógeno) por cualquiera de los cationes de los electrolitos (metálicos e hidrógenos), por otra parte, la cantidad de cationes adsorbidos por el suelo es equivalente a la cantidad de cationes desplazados de la solución del suelo”.

- Estos hechos sin duda muestran que las reacciones de intercambio en los suelos representan un caso típico de equilibrio químico heterogéneo, dentro del cual participan los cationes solubles y los cationes adsorbidos.

- Cada lugar de la superficie de las partículas del suelo puede retener solamente un catión univalente, la mitad de un catión divalente, la tercera parte de un catión trivalente, etc., ya que un lugar particular se caracteriza por tener una carga eléctrica negativa y para su neutralización es necesario una carga eléctrica positiva.

4.2. Procesos de Adsorción y Desorción:

El poder depurador de una zona no saturada del suelo adquiere un papel de gran relevancia en la eliminación de sustancias contaminantes presentes en el agua residual como es el caso del plomo. Este poder depurador es consecuencia de procesos como intercambio iónico y adsorción. La adsorción es uno de los procesos clave que afecta al destino de los compuestos en el medio, una capacidad de adsorción baja puede constituir un problema en cuanto a la contaminación de los acuíferos, mientras que cuotas muy altas de adsorción podrían provocar una acumulación del contaminante en el suelo.

Este proceso de acumulación puede invertirse y originar posteriormente un problema más grave, ya que las modificaciones de las condiciones del suelo pueden producir la lixiviación del plomo retenido, incluso en concentraciones superiores a la original en el agua residual, con la consiguiente contaminación de las aguas subterráneas.

En esta tesis el objetivo es estudiar el comportamiento del plomo en el suelo de Limoncocha, con la finalidad de tratar aguas residuales que contengan plomo.

- Las isotermas de adsorción se hicieron a temperatura ambiente en la ciudad de Quito, es decir 19 grados centígrados, agitando 5 g de suelo con 1,5 y 45 ml. de la solución patrón de plomo de 1.000 ppm; y con 9, 15, 30, 60 y 90 ml. de la

solución patrón de plomo de 10.000 ppm, que se prepararon a partir de nitrato de plomo. Se agitó durante 24 h. y se filtró y finalmente se determina la concentración del plomo en el líquido filtrado por espectrofotometría UV-Visible (Hach DR 4000). Se volvió a repetir el procedimiento regulando el pH a 4,5; para de esta manera poder determinar a que concentraciones de plomo el suelo adsorbía mejor este metal. Por esto se puso concentraciones bajas y altas; y se realizó la prueba a pH original de 6,2 y a pH regulado de 4,5.

- Para alcanzar el equilibrio en la solución, Green et al (1990), indican que el proceso de adsorción en suelos con elevado contenido en materia orgánica requieren varios días para alcanzar el equilibrio, y que para la mayoría de las aplicaciones prácticas, una agitación de 24 horas conduce a coeficientes de adsorción bien representativos. Se concluyó que en este caso 24 horas resultan un tiempo de agitación suficiente para la determinación de la isoterma de plomo en el suelo estudiado.

- Para determinar que tipo de isoterma se debía utilizar según los gráficos 11, 12, 13 y 14, determinamos que para el estudio del suelo se podían utilizar la isoterma de Freundlich y la de Langmuir, ya que el mejor ajuste a la línea de tendencia sería la que responde al experimento; en los dos casos el r era uno.

- La textura, el pH y el contenido de materia orgánica son los factores que más influyen en la adsorción de plomo en el suelo estudiado. La razón solución: suelo también puede tener importancia. La isoterma de Freundlich y Langmuir son las que mejor concuerdan con los datos experimentales para el suelo.

- Los efecto de la temperatura en la adsorción son profundos, y las medidas son hechas a temperaturas constantes. Clasificados como *isotermos*. La mayoría de los pasos relacionados con adsorbentes tienen poca variación en temperatura.

- Las isotermas de adsorción y desorción describen la relación entre la cantidad de sustancia que es adsorbida por la fase sólida del suelo y la cantidad que está en la solución de equilibrio. Este estudio de adsorción se ha llevado a cabo en un contaminante de naturaleza catiónica, plomo.

- En el cuadro 21 se muestra los distintos índices de adsorción. Se observa que a las dosis bajas y altas de plomo, presentan gran adsorción 99% en todos los casos a pH original del suelo 6,2 y regulado pH 4,5.
- Existe gran cantidad de adsorción debido al contenido de materia orgánica y de arcilla; ya que la arcilla tiene una carga residual negativa por lo que son intercambiadores catiónicos Pb^{2+} .
- En el Gráfico No. 4, para los valores dados en el cuadro No.19, se observa que en las cuatro primeras dosis 1,5, 45, 90 y 150 mg de plomo añadido al suelo, no hay un cambio de adsorción mayor, el comportamiento es lineal; a partir de la quinta dosis 300 mg. de plomo aumenta la adsorción y adquiere el comportamiento de una curva. En las cuatro primeras dosis el plomo es adsorbido por igual a pH 4,5 y 6,2; a partir de la quinta dosis para una misma dosis existe mayor adsorción a pH 6,2.
- Existe mayor adsorción a pH 6,2, ya que cuando el pH supera valores cercanos a 6 existe un notable ascenso de la CIC, es decir aumenta la posibilidad del suelo para retener cationes en la superficie que está cargada negativamente. También existe mayor adsorción a concentraciones altas ya que la probabilidad de adsorción es fruto de la concentración en la solución, es decir cuanto mayor es esta mayor es la tendencia a la adsorción.
- En la Gráfica No 5 y 8, para los valores dados en la cuadro No.19 y 14 hay una relación directamente proporcional, es decir a mayor cantidad de plomo añadido en el suelo, aumenta la concentración de plomo inicial en el suelo.
- En la gráfica No. 6, 9 y 10, para los valores dados en el cuadro No. 19, en las tres primeras dosis el porcentaje de adsorción aumenta de 99,83% hasta 99,9%, a partir de ahí se mantiene constante es decir adsorbe casi el 100%. A mayor concentración hay mayor adsorción hasta que se vuelve constante en las dosis altas.
- En la gráfica No.7, para los valores dados en el cuadro No. 21 y 23, en las tres primeras dosis el porcentaje de adsorción aumenta de 99,83% hasta 99,9%, excepto por el segundo punto, que hubo un error de lectura y por eso sale de la

tendencia normal, a partir de ahí se mantiene constante es decir adsorbe casi el 100%. A mayor concentración hay mayor adsorción hasta que se vuelve constante en las dosis altas.

- En la isoterma de adsorción los datos obtenidos a 19°C, para la adsorción de plomo en el suelo de Limoncocha, son datos que siguen una tendencia claramente definida. El fenómeno de adsorción de plomo en el suelo estudiado obedece a fenómeno lineal

- En la gráfica No. 15, para los valores dados en el cuadro No. 19 y 21, en la isoterma se ve que en las concentraciones bajas cuando se añadió al suelo 1,5, 45 y 90 mg de plomo en el suelo (15, 450 y 900 mg/L) hubo mayor adsorción a pH 4,5; cuando se añadió al suelo 150 y 300 mg de plomo en el suelo (1.500, 3.000 mg/L) hubo mayor adsorción a pH 6,2; cuando se añadió al suelo 600 mg. de plomo hubo igual adsorción a pH 4,5 y a pH 6,5; y cuando se añadió al suelo 900 mg. de plomo en el suelo (9.000 mg/L) hubo mayor adsorción a pH 4,5. Ocurriendo lo mismo en la isoterma de desorción que se encuentra en la gráfica No. 27.

- En la gráfica No. 11, 12, 13 14, 22, 23, 24 y 25, para los valores dados en el cuadro No. 20 y 22, la forma de la función que ajusta los datos experimentales, en el rango de concentraciones estudiado, corresponde a una isoterma de Langmuir y Freundlich

- En la gráfica No.16: para los valores dados en el cuadro No. 21, la Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica a pH original del suelo 6.2, tiene una pendiente positiva, es decir que al mayor plomo adsorbido en 5 g. de suelo, aumenta la concentración en el extracto.

- En la gráfica No.17: Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica a pH 4,5 y 6,2, para los valores dados en el cuadro No.21, tiene una pendiente positiva, es decir que al mayor plomo adsorbido en 5 g. de suelo, aumenta la concentración en el extracto.

- En la gráfica No.18 y 19, para los valores dados en el cuadro No. 21, la forma de la función que ajusta los datos experimentales de la isoterma es la de Freundlich a pH 4,5 y 6,2, es una expresión empírica que expresa la energía de adsorción disminuye logarítmicamente al aumentar la fracción de la superficie ocupada. El modelo de Freundlich se cumple para un intervalo amplio de concentraciones, no prevee un máximo de adsorción. Para describir la adsorción de plomo, se puede trabajar a concentraciones de 0 a 9000 ppm. La isoterma de Freundlich es lineal, ya que la cantidad adsorbida continúa aumentando a medida que la concentración de plomo se eleva

- En la gráfica No. 20 y 21: Isotherma de Adsorción de plomo en el suelo de la región amazónica, ajustada para la ecuación de Langmuir, para pH 6.2 (original) y 4.5 (regulado), para los valores dados en el cuadro No. 21, es una pendiente positiva, es decir que a mayor cantidad de plomo adsorbido por kg. de suelo, va a haber mayor concentración de plomo en el extracto del suelo, es decir en la concentración final luego de la agitación va a ser mayor cuanto mayor sea la concentración de plomo adsorbido cuanto mayor sea la cantidad de plomo añadido.

- Se observa de manera general, para todas las condiciones evaluadas, que el plomo adsorbido aumenta a medida que el plomo en equilibrio se incrementa por efecto de la cantidad de plomo adicionado.

- En la gráfica No. 27 y 28: Se ve que en la isoterma de desorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica tanto a pH 6,2, como a pH 4,5, se ve que a mayor concentración de plomo por 5 g. de suelo; la desorción aumenta conforme aumenta la concentración en el extracto del suelo.

- En la Gráfica No. 29: Isotherma de Desorción de Freundlich, se ve que en las tres primeras dosis desorbe más a pH = 4,5; en la cuarta y quinta dosis desorbe más a pH 6,2, a la quinta dosis se igualan y a la sexta dosis resorbe más a pH 4,5

- En la Gráfica No. 30 y 31: Isotherma de Desorción de plomo en el suelo de la amazonía, ajustada por la ecuación de Langmuir, para pH 4.5 y 6,2, se observa

que aumenta el plomo adsorbido, mientras aumenta la concentración de plomo en el extracto.

- En los gráficos No. 32 y 33, al comparar la adsorción con la desorción del plomo podemos ver que a mayor cantidad de plomo adicionado en el suelo existe una mayor adsorción y disminuye la desorción. Lo que significa que el plomo queda retenido fuertemente en el suelo.

C  pulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- El suelo estudiado, cuya composición textural lo establece de tipo arcilloso y limoso predominantemente, tiene una gran capacidad de retención para el plomo que se pone en manifiesto en los ensayos de adsorción, ya que estos compuestos del suelo al tener carácter coloidal y poseer cargas eléctricas, pueden contribuir a la capacidad de cambio del suelo intercambiando iones y cationes con los existentes en el suelo en un equilibrio dinámico. Lo que podría argumentar la capacidad de este suelo a retener el plomo, de hecho esta capacidad esta relacionada con la capacidad de intercambio iónico del mismo suelo.
- La capacidad de retención del suelo estudiado para el plomo, se atribuye fundamentalmente al contenido de arcilla y de materia orgánica.
- La materia orgánica se comporta muy similar a los bordes de la arcilla por los hidroxilos (carga residual negativa que los hace intercambiadores catiónicos) presentes en las cadenas laterales como en las zonas externas del núcleo. Pero los hidroxilos de la materia orgánica son mucho mayores, y tiene una cantidad importante de cargas variables (en medio alcalino cede protones y en medio ácido cede aniones).
- Se determinó que para el estudio del suelo se podían utilizar la isoterma de Freundlich y la de Langmuir.
- A dosis bajas y altas de plomo, presenta gran adsorción 99% en todos los casos a pH original del suelo 6,2 y regulado pH 4,5.
- Existe gran cantidad de adsorción debido al contenido de materia orgánica y de arcilla; ya que la arcilla tiene una carga residual negativa por lo que son intercambiadores catiónicos Pb^{2+} .

- Las cuatro primeras dosis 1,5, 45, 90 y 150 mg de plomo añadido al suelo, el plomo es adsorbido por igual a pH 4,5 y 6,2; a partir de la quinta dosis existe mayor adsorción a pH 6,2.

- Existe mayor adsorción a pH 6,2, ya que cuando el pH supera valores cercanos a 6 existe un notable ascenso de la CIC, es decir aumenta la posibilidad del suelo para retener cationes en la superficie que está cargada negativamente. También existe mayor adsorción a concentraciones altas ya que la probabilidad de adsorción es fruto de la concentración en la solución, es decir cuanto mayor es esta mayor es la tendencia a la adsorción.

- En las tres primeras dosis el porcentaje de adsorción aumenta de 99,83% hasta 99,9%, a partir de ahí se mantiene constante es decir adsorbe casi el 100%. A mayor concentración hay mayor adsorción hasta que se vuelve constante en las dosis altas.

- En las concentraciones bajas cuando se añadió al suelo 1,5, 45 y 90 mg de plomo en el suelo (15, 450 y 900 mg/L) hubo mayor adsorción al pH 4,5; cuando se añadió al suelo 150 y 300 mg de plomo en el suelo (1.500, 3.000 mg/L) hubo mayor adsorción a pH 6,2; cuando se añadió al suelo 600 mg. de plomo hubo igual adsorción a pH 4,5 y a pH 6,5; y cuando se añadió al suelo 900 mg. de plomo en el suelo (9.000 mg/L) hubo mayor adsorción a pH 4,5. Ocurre lo mismo en la isoterma de desorción.

- La Isoterma de Adsorción de plomo en el suelo de la Región Amazónica a pH 4,5 y original 6,2, tiene una pendiente positiva, es decir que al mayor plomo adsorbido en 5 g. de suelo, aumenta la concentración en el extracto.

- La forma de la función que ajusta los datos experimentales de la isoterma es la de Freundlich a pH 4,5 y 6,2, en el modelo de Freundlich se cumple para un intervalo amplio de concentraciones, no prevee un máximo de adsorción. Para describir la adsorción de plomo, se puede trabajar a concentraciones de 0 a 9000 ppm. La isoterma de Freundlich es lineal, ya que la cantidad adsorbida continúa aumentando a medida que la concentración de plomo se eleva

- Se observa de manera general, para todas las condiciones evaluadas, que el plomo adsorbido aumenta a medida que el plomo en equilibrio se incrementa por efecto de la cantidad de plomo adicionado.
- Al comparar la adsorción con la desorción del plomo podemos ver que a mayor cantidad de plomo adicionado en el suelo existe una mayor adsorción y disminuye la desorción. Lo que significa que el plomo queda retenido fuertemente en el suelo.
- Hay una adsorción de plomo desde 0,07 ppm hasta 4,433 ppm con una porcentaje de 99,57% hasta 99,98% a pH original del suelo. Se encontró que a pH controlado de 4,5 el suelo tiene una presencia de plomo desde 0,06 ppm hasta 2,45 ppm con una adsorción desde 99% hasta 99,98%
- A pH original del suelo 6,2 hay una desorción de plomo desde 0,0325 hasta 0,26 ppm con un porcentaje desde 0,01% hasta 0,54% y a pH controlado de 4,5 hay una desorción desde 0,04 hasta 0,352 ppm con un porcentaje de desorción desde 0,01% hasta 0,67%.
- Existe gran cantidad de adsorción en los dos casos de pH original 6,2 y controlado 4,5; sin embargo a pH 6,2 hay mayor adsorción pero con una diferencia desde 0,57% hasta 0% que es muy pequeña y hasta desaparece.
- Casi no existe desorción de plomo, lo que indica que el plomo se queda muy retenido en el suelo. Hay mayor desorción de plomo a pH 4,5 que a pH 6,2; pero hay una diferencia de desorción mínima entre los dos pH que va desde 0,13% hasta 0%.
- La adsorción de plomo en el suelo fue de un 99% en todos los casos a concentraciones bajas y altas, a pH original del suelo 6,2 y a pH regulado de 4,5.
- La desorción fue casi nula en todos los casos, existió mayor desorción a concentraciones bajas donde se añadió al suelo 1,5 mg de plomo, en este caso hubo 0,57% a pH 6,2 y 0,7% en pH 4,5 de desorción; en los demás casos la desorción fue de 0,1%, es decir casi no existió desorción.

5.2. Recomendaciones

- Para poder medir las bajas concentraciones se recomendaría utilizar Espectrofotometría de Absorción Atómica equipada con el horno de grafito, que tiene una sensibilidad mucho mayor, que el equipo de absorción atómica convencional o el equipo de espectrofotometría UV-Visible.
- Se debería realizar isothermas tomando en cuenta la variación que existe cambiando la velocidad de agitación del sistema estudiado.
- Se deberían realizar pruebas en columnas para determinar la movilidad del plomo a través del suelo y experiencias en discontinuo (batch), ya que las experiencias en batch además de suministrar una información valiosa por si misma ayudan a diseñar adecuadamente los experimentos dinámicos en columna. Las experiencias en columnas permiten simular mejor las condiciones reales de adsorción.
- Se debería ver el comportamiento del suelo a pH básico.
- Se debería determinar el tiempo necesario para que el suelo alcance el equilibrio con la disolución acuosa de plomo. Con el objetivo de determinar el tiempo mínimo necesario para alcanzar el equilibrio en las condiciones operativas, tal vez no sea necesaria una agitación de 24 horas como se realizó en esta tesis.

Capítulo VI

Bibliografía:

Jarabo, Francisco. Elortegui, Nicolás. Jarabo, Jenny, FUNDAMENTOS DE TECNOLOGÍA AMBIENTAL, primera edición, S.A.P.T. Publicaciones Técnicas S.L., Madrid-España, 2000.

Lambe, William. Whitman, Robert, MECÁNICA DE SUELOS, primera edición, Editorial Limusa-Wiley S.A., México D.F., 1972.

Coral, Katty. MANUAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL 5TO. AÑO, 2000.

Romero, Jairo. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TEORÍA Y PRINCIPIOS DE DISEÑO, primera edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia, enero de 2000

Shoemaker, D.P., Garland, C.W. EXPERIMENTOS DE FISICOQUÍMICA. Editorial Hispano Americana, 1ra edición en español, 1968.

Ebbing. QUIMICA GENERAL. Mc. Graw Hill Interamericana. Quinta Edición. México. 1997

Gomez de Rivas, C. et al. SUELOS ECUATORIANOS. 1984

Fassbender, H. ;Bornemisza, E.. *Química de Suelos*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas IICA. San José, Costa Rica. 1994

Perry, Robert; Green,Dan, W. MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO. Vol 1,2 y 3. Mc Graw Hill Interamericana. Madrid-España. 1999

Kiely, Gerard. INGENIERIA AMBIENTAL. Vol 2. Mc Graw Hill Interamericana. España 1999.

Seoánez, Calvo Mariano. EL GRAN DICCIONARIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LA CONTAMINACIÓN. 2a ed. Ediciones Mundiprensa. España 1999.

Ville, Claude. Martin, Diana. Berg, Linda. Solomon, Eldra. BIOLOGIA DE VILLE. Mc. Graw Hill Interamericana. México. 1998.

Romo, Luis, A. COLOIDEOFÍSICA - COLOIDEOQUÍMICA Y FENÓMENOS DE SUPERFICIE. Editorial Universitaria. Quito-Ecuador. 1981

Padilla, Arrate. Rodríguez, Sierra, Nieves. Martínez, Castillo, Amaia. PLOMO. Centro de Publicaciones del Ministerio de Sanidad y Consumo, Solana e Hijos Artes Gráficas S.A., Madrid, 1999

Gómez, M.J. Polo. Domínguez, García, Baquero. Giráldez, Cervera, J.V. LIXIVIACIÓN DE METALES DESDE PUNTOS CON CONTAMINACIÓN RESIDUAL EN LA CUENCA DEL GUADIAMAR. Dpto. Agronomía, E.T.S.I.A.M. Córdoba. 1998

Marrero, Levi. LA TIERRA Y SUS RECURSOS. Cultural Venezonala. Caracas-Venezuela, 1981

K. El Mabrouki¹, J.M. Rodríguez Maroto² y J.J. Cruz San Julián¹
Kirkby, M.J. Morgan, R. EROSIÓN DE SUELOS. Editorial Limusa. Primera Edición. México D.F. 1991

Levin, Richard. Rubin, David. ESTADISTICA PARA ADMINISTRADORES. Practice-Hall Hispanoamericana S.A. sexta edición. Naucalpan de Juárez-México. 1996.

<http://www.redpav-fpolar.info.ve/venesuel/v021/v021a080.html>

<http://www.redpav-fpolar.info.ve/venesuel/v021/v021a080.html>

<http://www.s6.coopenet.com.ar/usuarios/vivero/suelos.htm>

<http://www.icfes.gov.co/revistas/recolqui/972601/972601~2.HTM>

http://www.redpav-fpolar.info.ve/agrotrop/v26_5/v265a001.html

http://www.hemerodigital.unam.mx/ANUIES/ipn/arte_ciencia_cultura/ene-feb99/arsenico/arsenico.html

<http://www.incar.csic.es/tecnologia/Lineas/Adsorcion.htm>

<http://www.mty.itesm.mx/dia/deptos/iq/iq95-972/adsorcion.PDF>

<http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/SPANISH/adsorcion.html>

<http://nuvol.uji.es/~calatayu/adsorcion.html>

<http://www.monografias.com/trabajos7/miar/miar.shtml>

<http://argo.urv.es/~w3siiq/DMAPLE/Alumnes02-03/A-albertocarrera.html>

http://www.mycoad.com/spa_5_14.htm

<http://edafologia.ugr.es/Revista/tomo7tr/a43v7tt.htm>

<http://www.icfes.gov.co/revistas/recolqui/972601/97260-12.HTM>

<http://www.lenntech.com/espanol/metales%20pesados.htm>

<http://www.icfes.gov.co/revistas/recolqui/982701/REMOCION.html>

<http://www.unex.es/edafo/ECAL5PFQInterIon.htm>

<http://www.uas-cropmaster.com/shsp.htm>

http://www.agrohispana.com/escuela/verdoc.asp?Documento=quimica&Id_Tema=108

http://www.uprm.edu/wciag/agronomy/dsotomayor/agro4037/4037_Handouts_II I.htm

<http://www.monografias.com/trabajos7/miar/miar.shtml>

<http://www.redpav-fpolar.info.ve/venesuel/v021/v021a080.html>

<http://www.conchaytoro.com/spanish/enjoy/vineyards/valleys.html>

<http://www.s6.coopenet.com.ar/usuarios/vivero/suelos.htm>

<http://www.lafacu.com/apuntes/medicina/plomo/default.htm>

<http://www.jornada.unam.mx/2000/oct00/001030/eco-m.html>

<http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l28034.htm>

<http://www.healthri.org/family/lead/leadlesp.htm>

<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002473.htm>

<http://www.saludhoy.com/htm/saludtr/articulo/plomo.html>

http://www.scif.com/news-info/tailgate/lead_span.htm

http://www.instrumed.com/lead_standards1.htm

<http://www.lafacu.com/apuntes/medicina/plomo/default.htm>

Glosario

1.- Meteorización: Es el proceso en que el suelo se forma al desintegrarse las rocas. Cuando las rocas están en contacto con la atmósfera, la humedad y los cambios de temperatura apresuran su desintegración.

2.- Topografía: Descripción del relieve de la tierra.

3.- Grava: Acumulación de fragmentos de rocas de distintos tamaños.

4.- Turba: Depósitos de carbón mineral de calidad inferior, formada por la descomposición de la vegetación.

5.- Rocas piroclásticas: Se forma al enfriarse la capa superior del líquido incandescente o magma. Estas rocas contienen minerales en forma de cristales.

6.- Arena: es la partícula más grande del suelo. Cuando la frota, se siente áspera. Esto es porque tiene bordes agudos. La arena no retiene muchos nutrientes.

7.- Arcilla: es la más pequeña de las partículas. La arcilla es lisa cuando está seca, y pegajosa cuando está mojada. Los suelos con alto contenido de arcilla se llaman suelos pesados. La arcilla también puede retener mucho alimento, pero no deja que el aire y el agua pasen a través de ella.

8.- Limo: es una partícula del suelo; su tamaño se encuentra entre el tamaño de la arena y la arcilla. El limo se siente liso y polvoriento. Cuando está mojado se siente liso pero no pegajoso.

9.- Coloide: Sistema una de cuyas fases está integrada por partículas de dimensiones comprendidas entre 10 y 10000 angstrom (de 1 a 1000 nanómetros) y se haya dispersa en una fase distinta.

10.- Ion: Partícula cargada eléctricamente obtenida de un átomo o de un grupo de átomos enlazados químicamente por adición o remoción de electrones.

11.- Humus: Materia orgánica en diversos estados de descomposición en el suelo; da a éste un color castaño oscuro o negro.

12.- Oxihidróxidos: Prefijo químico que indica la presencia del grupo OH⁻ en un compuesto orgánico, como por ejemplo, hidroxibenceno para el fenol; el empleo del prefijo oxi-solamente es incorrecto. También puede escribirse hidroxil.

13.- Oxidación y Reducción: Siempre ocurren juntas. La oxidación es un proceso químico en que un átomo, ion o molécula cede electrones. En la reducción en cambio recibe o acepta electrones.

14.- Salinidad: Concentración de sales disueltas (como cloruro de sodio) en un cuerpo de agua.

15.- Cation: Partícula con una o más unidades de carga positiva, como el ión (H⁺).

16.- Miliequivalente: La milésima parte del peso equivalente de un compuesto o de un elemento.

17.- Dispersión coloidal: sistema coloidal o suspensión coloidal.

18.- Oxígenos Basales: Aceptor de protones.

19.- Base de Lewis: Sustancia que puede donar un par de electrones; por ejemplo el ión hidroxilo OH⁻ y el amoníaco NH₃

20.- Isomorfismo: Fenómeno que ocurre cuando un ión extraordinariamente diluido se incorpora a un precipitado por la formación de un cristal mixto, aun cuando dicha formación no pueda predecirse en función de los radios cristalográficos e iónicos, por ejemplo es la coprecipitación de los cloruros de plomo y potasio.

21.- Adsorbato: molécula o átomo que se adsorbe, que es sólido, líquido o gas, adsorbido como molécula, átomos o iones, por sustancias tales como carbón activado, sílice, agua, etc.

22.- Adsorbente: Sólido o líquido que adsorbe otras sustancias, por ejemplo carbón activado, sílice, agua, etc.

23.- Fuerza de van der Waals: Fuerzas de atracción débiles entre los átomos de moléculas no polares; se debe a la interacción de cargas fluctuales.

24.- Monocapa: Capa monomolecular.

25.- Capa monomolecular: Una capa de espesor de una sola molécula.

26.- Peso atómico: peso en gramos en 6.02×10^{23} de átomos, moléculas ó iones. Unidades son en g/mol.

27.- Insolación: Es la energía solar que llega a la tierra.

28.- Quelato: Complejo formado por ligandos polidentados.

29.- Ligando polidentado: Un ligando que se puede unir con dos o más átomos o un átomo metálico.

30.- Ligando: una base de Lewis que se enlaza a un ión metálico para formar un ion complejo.

31.- Solubilidad: La cantidad de una sustancia que se disuelve en una cantidad dada de disolvente (por ejemplo agua) a una cantidad dada para dar una solución saturada.

32.- Espectro de absorción: Gráfica de la cantidad de ondas específicas que se absorben al pasar por una sustancia. Cada molécula tiene su espectro de absorción característico.

33.- Espectro de Acción: Gráfica de eficiencia con que la luz de longitudes de onda específicas promueven una reacción fotodependiente.

34.- Cationes Intercambiables: Partículas de carga positiva que se intercambian con otras similares.

35.- Intercambiador Iónico: Proceso en el cual una solución de agua se hace pasar a través de una columna de un material que reemplaza una clase de iones en solución con otra clase diferente.

36.- Sistema Coloidal: Mezcla íntima de dos sustancias, una de las cuales denominada la fase dispersa (o el coloide), está uniformemente distribuida en estado de fina división por entre la segunda sustancia, denominada medio de dispersión (o medio dispersante); el medio de dispersión o fase dispersa puede ser un gas, un líquido o un sólido

37.- Sustrato: superficie sólida sobre la que tienen lugar la adsorción.

38.- Adsorción: proceso por el cual una molécula se une a la superficie de otra fase

39.- Recubrimiento: medida de la extensión de la adsorción de especies en una superficie. Se suele hablar del factor de recubrimiento, que representa la proporción de sitios ocupados respecto los totales.

40.- Adsorción de Van der Waals: Adsorción en la que la cohesión entre gas y sólido posee de las fuerzas de Van der Waals.

41.- Emulsión: Dispersión estable de un líquido en un segundo líquido inmiscible, tal como la leche (aceite disperso en agua).

42.- Enlace de Hidrógeno Simétrico: Un tipo de enlace que se forma cuando un átomo de hidrógeno unido a un átomo A de una molécula, hace un enlace adicional con otro átomo B de la misma molécula; los enlaces de hidrógeno más fuertes se forman cuando A y B son átomos fuertemente electronegativos.

43.- Peso equivalente: Número de partes en peso de un elemento o compuesto que se combinan o sustituyen, directa o indirectamente, con 1008 partes en peso de hidrógeno, 8 partes de oxígeno, o el peso equivalente de cualquier otro elemento o compuesto.

44.- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Número total de cargas negativas disponibles (sitios de intercambio) para atraer cationes al suelo. La habilidad de un suelo a retener e intercambiar cationes en superficie negativamente cargada ($\text{cmol}_c/\text{kg} = \text{meq}/100\text{g}$)

45.- Capacidad de Intercambio Aniónico (CIA): Número total de cargas positivas disponibles (sitios de intercambio) para atraer aniones al suelo. La habilidad de retener aniones en superficie positivamente cargada ($\text{cmol}_c/\text{kg} = \text{meq}/100\text{g}$).

46.- Bases intercambiables: Sumatoria de Ca, Mg, Na, y K intercambiable con 1M NH_4Ac

47.- Acidez intercambiable (AI): La cantidad de acidez (H + Al + Mn) extraíble con 1M KCl en base a carga.

48.- Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE): Bases intercambiables + Acidez intercambiable

49.- Porcentaje de saturación bases (% SB): Proporción del CIC o CICE ocupada por cationes básicos.

50.- Carga permanente: Carga que no cambia con cambios en pH. Se debe a sustitución isomórfica y casi siempre es -.

51.- Carga variable: Carga que cambia con pH y concentración de sales

52.- Punto de carga cero (PCC) - pH donde la carga positiva es igual que la carga negativa. Arriba de este la carga neta es negativa

53.- Mol: Un mol de sustancia es 6.02×10^{23} átomos, moléculas ó iones.

54.- Peso equivalente: Cantidad (masa) de una sustancia (catión, anión) que reacciona o desplaza 1 g de H^+ , lo cual es igual al numero de cargas de Avogadro g / 6.02×10^{23} cargas (+ o -). Se obtiene dividiendo el peso atómico por la valencia.

55.- Complejo: Compuesto que consiste ya sea en iones complejos o en otros iones de carga opuesta o de una especie compleja neutra.

56.- Coloide Hidrofílico: Coloide en el cual hay una fuerte atracción entre la fase dispersada y la fase continua.

57.- Coloide Hidrofóbico: Coloide en el cual hay una falta de atracción entre la fase dispersada y la fase continua.

58.- Protón: Partícula que se encuentra en el núcleo del átomo; tiene una carga positiva igual en magnitud, pero opuesta en signo, a la de un electrón y una masa de 1836 veces de la del electrón.

59.- Comparar: Mirar dos o más cosas para ver en qué se parecen o difieren.

60.- Componente: Parte de algo.

61.- Composta: Mezcla de hojas podridas, vegetales y otros materiales de plantas.

62.- Datos: Información, tal como la reunida durante un experimento.

63.- Pudrir: Proceso por el cual el material orgánico muerto se descompone. También, podrir.

64.- Descomponentes: Organismos diminutos en el suelo que ayudan a descomponerla.

65.- Experimento: Procedimiento que se lleva a cabo para investigar una cuestión científica.

66.- Gráfica: Diagrama usado para mostrar la relación entre las cosas.

67.- Grava: Parte del suelo. La grava es más grande que la arena, limo o arcilla, pero más pequeña que las rocas.

68.- Humus: Planta podrida y material animal en el suelo.

69.- Materia inorgánica: Cualquier cosa que no provenga de criaturas vivientes. Arena, limo y arcilla son ejemplos de materia inorgánica en el suelo.

70.- Investigar: Estudiar algo de cerca y de manera organizada.

71.- Orgánico: Proveniente de criaturas vivientes.

72.- Materia orgánica: Residuos de animales y plantas descompuestas y podridas.

73.- Organismo: Criatura viviente. Las plantas y los animales son dos tipos de organismos.

74.- Patrón: Arreglo repetido de formas, colores, números o demás cosas.

75.- Procedimiento: Conjunto de pasos que te dicen cómo hacer algo.

76.- Suelo: Capa superior de la Tierra en la que la que crecen las plantas. El suelo está compuesto de materiales orgánicos (humus), inorgánicos (arena, limo y arcilla), agua y aire.

77.- Textura: El sentir o ver de algo.

78.-Unidad: Cantidad fija usada como un estándar de medición. Pulgadas, millas, metros, grados y kilogramos son todas unidades.

79.- Peso: Medida de qué tan pesado es algo.

ANEXOS

ANEXO 1:

Características de la Reserva Biológica Limoncocha

ANEXO 2:
Método de Medición de plomo

ANEXO 3:

Ensayo Granulométrico del Suelo

ANEXO 4:

Contenido original de plomo en el suelo

ANEXO 5:

Tamices de ensayo (Dimensiones nominales de las aberturas)

ANEXO 6:

**Otras mediciones de plomo adsorbido en el suelo a
distintas concentraciones**

ANEXO 7:

Determinación Cualitativa y Cuantitativa, por difracción de rayos X de minerales