

LA TIERRA MOLER O "DIATOMITA" COMO SISTEMA DE REMOCIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN EL LABORATORIO

Ariel Alfaro Vargas*

Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, 11501-2060

Abstract

Experiments were carried out, to determine the capability of diatomite for the disposal of laboratory residues. Experimentation with different organic solvents (ethyl ether, acetone, ethyl acetate, hexane and ethanol) verified that there is no solvent absorption in the mineral material. Experiments were also carried out with heavy metal cations, in order to quantify their absorption or adsorption in the porous mineral. Ion sequestration was determined and the following order resulted: $\text{Cr}^{3+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Ag}^+ > \text{Ni}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. The effect of pH was also studied with nickel, 99,5% removal was observed at pH 7, SO_4^{2-} was 98% removed, followed by Cl^- and NO_3^- . The ideal cation concentration was 4 ppm with a removal efficiency of 99,5%. It is possible to conclude that the absorption material can be used as effusion containment system, rather than a material to eliminate laboratory residues.

Key words: Diatomite, heavy metal, adsorption, absorption, removal, solvent.

Palabras clave: Diatomita, tierra moler, metales pesados, adsorción, absorción, remoción, disolventes.

I. Introducción

Las diatomeas son algas microscópicas unicelulares con paredes silificadas de dos valvas (valva mayor y valva menor). Su morfología es muy variada, las formas con simetría bilateral (pennales, móviles) suelen ser continentales, mientras que las de simetría radial (centrales, inmóviles) suelen ser marinas ver Figura 1.

Todas las especies de diatomeas están compuestas por sílice, el cual se encuentra en estado amorfo, hidratado, con un cierto grado de cristalización (en forma de alfa y beta cristobalita). Al morir la célula, el material orgánico que la compone se destruye quedando el esqueleto de sílice, el cual finalmente llega a depositarse generalmente en el fondo de lagos y mares.

* Correspondencia a: Ariel Alfaro, arav74@yahoo.es

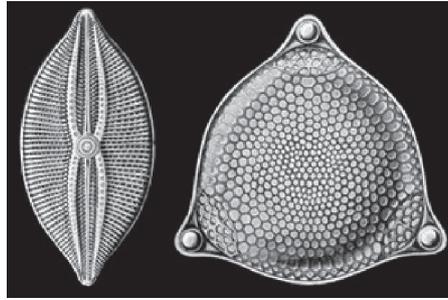


Figura 1. Izquierda diatomeas de simetría bilateral, derecha diatomeas de simetría radial [1].

La diatomita es entonces una roca sílicea (sílice amorfo, ópalo) de origen sedimentario, inerte y de baja toxicidad. Además de la sílice ésta presenta pequeñas cantidades de componentes inorgánicos asociados, tales como aluminio, hierro, amonio, metales alcalinos y otros constituyentes menores. Algunos tipos de diatomita se encuentran contaminadas con arcilla (en especial esmectítica). Cuando estos contaminantes se encuentran en porcentajes superiores al 30 % se llaman tierras moler, además contienen agua libre, que puede variar del 10 al 60 % . [2]

Industrialmente la diatomita se usa en una gran variedad de campos y tiene diferentes nombres dependiendo de la pureza de esta o de la región del mundo donde se encuentre, algunos de ellos son: tierra de diatomeas, tierra de Trípoli, tierra de infusorios, harina fósil (kieselguhr), Celite (diatomita pura, color blanca), Celaton, Dicalite, Microsil, Kenite, Diactiv y moronitas o tierra moler.

En Costa Rica se conocen cerca de diez depósitos de diatomita, todos asociados al vulcanismo ácido-intermedio del Terciario tardío-Cuaternario. Los depósitos más grandes se encuentran en Lomas Camastro y Cañas Dulces, en Guanacaste. Los usos que se le da es para filtración, aditivo rellenedor, aditivo absorbente, abrasivo suave, aislante y en la mayoría de universidades del país se usa como vehículo para eliminar sustancias químicas. [3]

No se encontraron investigaciones sobre el uso de la diatomita para la eliminación de residuos químicos, ni a nivel industrial, ni en universidades (docencia o investigación) en el ámbito mundial, sin embargo un uso común es como material absorbente (atención de derrames) o como filtrante.

La gran problemática que representan los residuos químicos en los laboratorios de investigación y docencia de las diferentes universidades del país, ha llevado a estas a realizar diferentes prácticas para hacer frente a estos, algunas de las prácticas que se han buscado no son las más adecuadas como es el desecho de residuos mezclados con la diatomita.

En el presente trabajo se analizará la capacidad de la tierra moler como sistema para eliminar residuos químicos mediante diversos experimentos, se dará especial énfasis a la capacidad de retención de metales pesados de este material.

II. Materiales y métodos

Se usó tierra moler sin ninguna modificación (SiO_2 80,10 %, Al_2O_3 10,30 %, Fe_2O_3 0,55 %, Na_2O 0,04 %), distribuida por Industrias Mineras S.A. Además de esta, se usaron otros materiales para el análisis del secuestro de metales pesados por la diatomita y la absorción de disolventes.

Para medir el pH, se tomaron muestras de cinco bolsas diferentes de diatomita. Se pesaron 10 g de la diatomita y se colocaron en 100 mL de agua, se agitó por 2 minutos y se dejó reposar por 30 minutos, luego se midió el pH.

La determinación de humedad se realizó de dos formas, con estufa y con mufla. Se tomó 10 g de muestra en cada ocasión. En ambos casos se dejó la muestra por 1 hora, se realizó la primera medida, posteriormente se llevó hasta peso constante y se obtuvo el espectro infrarrojo de la tierra moler antes y después de cada operación. Se tomó cuatro muestras para realizar esto. La pérdida de humedad de la tierra moler se verificó mediante el estudio de espectros de infrarrojo.

En la parte de intercambio de metales se usó un espectrofotómetro de absorción atómica. Se trabajó con los nitratos de Ag^+ , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} y con $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Para verificar si hay intercambio catiónico con la arcilla presente en la tierra moler, se midió la concentración de sodio en una mezcla de agua-diatomita; y luego se comparó el sodio presente, con otra a la cuál se le agregó una disolución de níquel de 4 ppm.

Para cada conjunto de pruebas se realizó una curva de calibración con patrones que van desde 0,1 mg/L hasta 10 mg/L (incluyendo el blanco), se agregaron las disoluciones de 4 ppm a la diatomita, esto para dos muestras de cada catión, y se dejaron en reposo una semana, después se realizaron las mediciones.

La eficiencia de remoción (E_r , cantidad de catión eliminado de la disolución) se calculó usando la fórmula:

$$E_r : 100(C_o - C_f) \div C_o \quad (1)$$

donde C_o se define como la concentración inicial de metal de interés y C_f como la concentración del metal una vez expuesto a la diatomita.

Luego se tomaron las dos muestras y se evaporó el líquido; se agregaron 100 mL de agua a una y 100 mL de HCl 0,1 mol/L a la otra, se dejaron reposar por 5 días y se midió la concentración del metal expulsado.

Se realizó variaciones en las disoluciones de prueba para ver como varía el intercambio de los metales en la diatomita. Se utilizó nitrato de níquel (disolución de 4 ppm) y se varió el pH, se midió a pH 5, 6, 7, 8 y 9. Luego se varió el anión de las sales de níquel, los aniones que se utilizaron fueron cloruro, sulfato y nitrato. Después se trabajó con el disolvente en el cuál estaba el nitrato de níquel, se tomó un volumen de 8 mL de una disolución de $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 49,6 ppm y se aforó a 100 mL con los disolventes

de interés (por ser insoluble en algunos de los disolventes puros), se utilizó agua, hexano, acetato de etilo, acetona y etanol. Finalmente se varió la concentración del nitrato de níquel, entre 5, 15, 30, 50 y 100 ppm en el metal.

Para comprobar si la diatomita retiene adecuadamente los disolventes se usaron 10 g de diatomita y 25 mL de los siguientes disolventes: éter etílico, acetona, acetato de etilo, hexano y etanol. En el caso del éter etílico se utilizó un equipo de destilación y se recogió el destilado, para los demás disolventes se dejó en reposo hasta la evaporación total.

III. Resultados y discusión

La diatomita que se utilizó para realizar los experimentos fue un tipo de tierra moler, esto se puede confirmar por el color café claro del material de trabajo; esta coloración se debe a su contenido de arcilla; tal y como se puede observar en la Figura 2, en esta se pueden ver restos de arcilla y tres especies de diatomeas, en la parte central izquierda vemos a la *Melosira granulata*, en la parte superior central a la *Epithemia sp.*, y en la inferior derecha la *Gomphonema sp.*

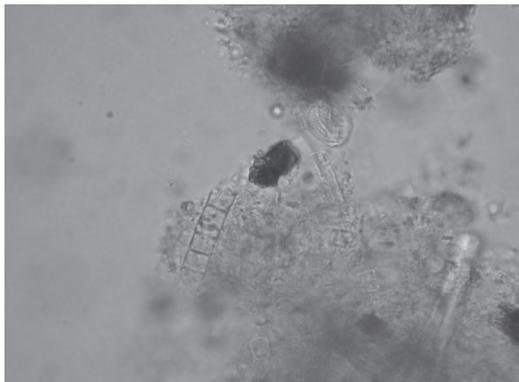


Figura 2. Fotografía al microscopio con focal de una muestra de tierra moler de los yacimientos de Lomas Camastro, Guanacaste.

Medición de pH

Se obtuvo un pH promedio (cinco muestras) de 5,2 para la diatomita en estudio, con este pH se observa que el material puede ser utilizado para descartar disoluciones o sustancias ligeramente básicas de pH hasta de 8,8; si se mezclan en proporciones equivalentes.

El potencial de hidrógeno ligeramente ácido, se debe a los restos de material volcánico presente originalmente en los yacimientos; [4] otro factor que afecta el pH es la presencia de iones NH_4^+ o H_3O^+ , estos sirven como contraiones en las estructuras cristalinas de las arcillas de las tierras moler.

Medición de humedad

Se obtuvieron porcentajes de humedad de 3,39 % en la estufa y 8,83 % en la mufla, esto como resultado de la eliminación del agua de la tierra moler que se usó en los análisis, estos valores son relativamente bajos si los comparamos con algunas diatomitas de México que tienen porcentajes hasta del 60 %. [5] Con porcentajes de humedad tan bajos lo que se puede inferir es que las diatomitas de Lomas Camastro tienen un poder de absorción de líquidos superior al menos al compararlas con las de México. La humedad es un factor que afecta la capacidad de absorción de líquidos en general en la tierra moler.

Al calentar la diatomita los grupos hidroxilos en la superficie de la diatomita se van perdiendo en forma de agua y van quedando expuestos más grupos silanoles (Si-OH), esto hace que su capacidad para adsorber líquidos aumente. Si se continúa calentando pueden llegar a formarse grupos siloxanos (Si-O-Si), esto se puede verificar al eliminar la humedad y determinar espectros infrarrojos de la tierra moler (figura 3) [6].

Al estudiar el espectro infrarrojo de la tierra moler húmeda, desecada en estufa y desecada en mufla, se puede observar como al ir aumentando la temperatura se va liberando agua y la banda correspondiente a los modos vibracionales de los grupos OH (Si-OH y H-OH), en 3430 cm^{-1} , se va separando en dos señales diferenciadas (3692 cm^{-1} del Si-OH y 3432 cm^{-1} del H-OH), además al perder agua la banda correspondiente a los grupos Si-O, en 1098 cm^{-1} , disminuye en intensidad porque cada vez hay menos de estos enlaces. Otras bandas que disminuyen son las correspondientes al agua (3432 cm^{-1} y 1638 cm^{-1}).

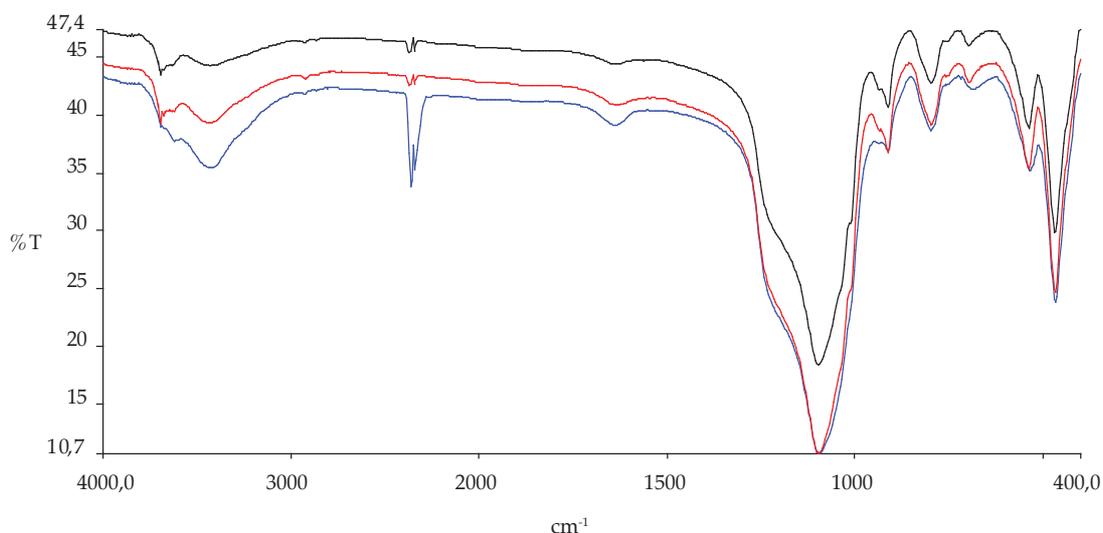


Figura 3. Espectro infrarrojo de la tierra moler antes y después de eliminar la humedad.

La capacidad de adsorción de cationes de las diatomitas se debe a estos sitios ácidos (ácidos de Bronsted) como resultado de estos grupos (Si-OH y Si-O-Si) con los cuales se pueden formar puentes de hidrógeno de fortaleza moderada.

Adsorción de sustancias orgánicas

Para verificar si la diatomita adsorbe algunas sustancias líquidas orgánicas, se trabajó con hexano, acetona, acetato de etilo y etanol; con agua se usó las siguientes sales de níquel: nitrato, sulfato y cloruro. Como se ve en el cuadro uno, el éter tuvo una pérdida de peso de 0,1 g respecto a la muestra tomada, esto se puede explicar pensando en la posible pérdida de agua junto con el éter; el etanol tuvo una retención de 1,35 g que se puede deber a la adsorción de agua que viene junto con el alcohol o a la posibilidad de formar puentes de hidrógeno con el agua unida a la superficie de la diatomita, con el consiguiente aumento de peso; en el hexano, la acetona y el acetato de etilo se tuvieron pérdidas de 0,8; 1,1 y 0,8 g respectivamente; como en el caso del éter etílico se puede pensar en pérdidas de agua junto con las sustancias orgánicas. En el caso de las disoluciones de níquel se obtuvo un pequeño aumento de peso, por la posible adsorción de agua y la retención del metal.

Si se analizan los datos del cuadro uno, se observa que la diatomita se puede utilizar como un buen material para ser usado como sustancia para atender derrames (buen adsorbente), pero no como sistema de eliminación de líquidos, ya que no se retienen en este material al aumentar la temperatura o al estar en un relleno sanitario bajo el sol. La sustancia se adsorbe por la alta porosidad de la diatomita y la arcilla presentes en la tierra moler, sin embargo no pueden formar interacciones fuertes con los grupos hidroxilos en la superficie de la diatomita o ser retenidas en la zona interlaminar de las arcillas o su superficie.

Los datos y resultados de estos experimentos son válidos para el laboratorio, para extrapolar estos a condiciones ambientales son necesarios futuros experimentos y análisis estadísticos rigurosos, estos datos no son definitivos.

El gran poder adsorbente de las diatomitas se da por los microporos en las valvas, el diámetro de estos se encuentra entre 1-5 micrómetros [7], sin embargo algunas especies tienen una red de poros secundarios con diámetros inferiores a 0,5 micrómetros, y esto hace que se adsorba más cantidad de líquidos y más fuertemente los cationes con radios de hidratación pequeños.

Cuadro I
 PERDIDAS DE LÍQUIDOS EN LAS TIERRAS MOLER AL SER EXPUESTAS A EVAPORACIÓN.

Sustancia	Masa inicial ($\pm 0,02$) (g)	Masa final ($\pm 0,02$) (g)
Éter etílico	10,00	9,94
Etanol	10,00	11,35
Hexano	10,00	9,17
Acetona	10,00	8,94
Acetato de etilo	10,00	9,22
Ni(NO ₃) ₂ 4 ppm	10,00	10,18
NiSO ₄ 4 ppm	10,00	10,25
NiCl ₂ 4 ppm	10,00	10,18

Intercambio de metales

De acuerdo a la selectividad y retención de los cationes con los cuales se trabaja, el orden que se esperaba para el intercambio catiónico en la tierra moler es: Cr(VI) > Cr³⁺ > Pb²⁺ > Ni²⁺ > Zn²⁺ > Ag⁺. [8] Sin embargo el orden que se obtuvo en la eliminación de metales pesados en esta fue: Cr³⁺ > Pb²⁺ > Ag⁺ > Ni²⁺ > Zn²⁺ > Cr (VI), tal y como se puede observar en el cuadro II.

Cuadro II
 DATOS OBTENIDOS EN EL INTERCAMBIO CATIONICO DE VARIOS METALES
 CON LAS TIERRAS MOLER.

Metal	Concentración inicial ($\pm 0,004$ mg/L)	Concentración final ($\pm 0,004$ mg/L)	Eficiencia de remoción (%)
Níquel	3,943	0,182	95,4
Plata	4,274	0,064	98,6
Plomo	4,076	0,043	99,0
Cromo (III)	4,021	0,015	99,8
Cromo (VI)	4,092	3,727	9,1
Zinc	4,127	0,716	82,8

Para dar una explicación al orden que se obtuvo hay que analizar varios factores, como son: naturaleza de los cationes (tamaño, carga iónica, forma, radio de hidratación; ver tabla IV), temperatura, concentración de los mismos, aniones asociados, solventes, estructura de la tierra moler y tal vez el factor más importante el pH.

Al ser la tierra moler una mezcla de diatomita y arcilla la retención de metales se da a través de estas dos sustancias. En las diatomitas la adsorción ocurre de tres

formas, por medio de los enlaces insaturados en los bordes y superficies externas de la diatomita, por disociación de los grupos hidroxilos accesibles y la remoción en los microporos presentes en las mismas, esta última es la forma principal de adsorción para los metales en este material.

Por otra parte en las arcillas también se retienen los metales por disociación de los grupos hidroxilos accesibles y en los enlaces insaturados que se encuentran en los bordes y superficie, sin embargo la principal forma de interacción con los metales se debe al intercambio catiónico debido a las sustituciones isomórficas dentro de la estructura y en la captura de los acuocomplejos en la zona interlamina. [9]

Otro factor que se debe tomar en cuenta a la hora de analizar los datos que se obtuvieron en la remoción de los cationes con los que se trabajó, es que no se está trabajando a pH 7, sino que como ya se estudió anteriormente las disoluciones tiene un pH de 5,2. Este hecho hace que se esté trabajando con las especies del cuadro III y no los cationes libres, para un estudio más avanzado de la química acuosa de los metales pesados se puede consultar el trabajo hecho por Pérez. [10]

Cuadro III
ESPECIES CATIONICAS PRESENTES A PH 5 EN CONTACTO CON LA TIERRA MOLER.

Catión	Acuocomplejo	Hidroxocomplejo	Especie sólida
Níquel II	$[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ma	NiOH^+ me	$\text{Ni}(\text{OH})_2$ de
Plomo IV	$[\text{Pb}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ ma	PbOH^+ mi	$\text{Pb}(\text{OH})_2$ de
Cromo III	$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ma	$\text{Cr}(\text{OH})^{2+} / \text{Cr}(\text{OH})_2^+$ ma	$\text{Cr}(\text{OH})_3$ de
Cromo VI	*	$\text{HCrO}_4^- / \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ma	CrO_4^{2-} me
Zinc II	$[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ma	ZnOH^+ me	$\text{Zn}(\text{OH})_2$ mi
Plata I	$[\text{Ag}(\text{H}_2\text{O})_2]^+$ ma	$\text{AgO}^- / \text{Ag}_2\text{O}$ de	AgOH mi

ma: Especie mayoritario

me: Especie media

mi: Especie minoritaria

de: Especie despreciable

Al analizar los datos de eficiencia de remoción (Cuadro II) se concluye que, la especie que tiene la mayor retención en la tierra moler es el cromo III, esto se debe a que las especies presentes a pH de 5,2 de este catión son $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ (gran retención por su carga) y $\text{Cr}(\text{OH})^{2+} / \text{Cr}(\text{OH})_2^+$ (buena retención por sus cargas y tamaños de iones).

El segundo lugar de remoción se presenta para el plomo, ya que en igualdad de carga, la afinidad por el intercambiador iónico (arcilla en la tierra moler) es mayor cuanto menor es el radio del ión hidratado. Además la segunda especie cargada positivamente (PbOH^+) tiene una concentración minoritaria, al compararla con las otras especies similares de los cationes con carga más dos en estudio.

Siguiendo el orden de remoción se encuentra el ión plata I, esta anomalía en el orden de retención (de acuerdo al principio de que entre mayor carga más afinidad por el intercambiador), se debe a que la retención de los cationes se está realizando con tierra moler y no con arcilla pura, esta remoción relativamente grande se puede asociar con el pequeño tamaño del radio hidratado de la plata comparado con los otros radios, el cual facilita su acceso en los microporos de la diatomita. Además la especie neutra de plata (AgOH , este no se absorbe en la tierra moler) presente a pH de 5,2 se encuentra en poca cantidad comparada con los otros hidróxidos formados.

Los siguientes elementos retenidos en la tierra moler son el níquel y el zinc respectivamente. La diferencia de retención entre estos dos elementos se debe como se puede observar en el cuadro III, a la cantidad de los hidróxidos presentes en la disolución (especies no cargadas), mientras en el zinc, el hidróxido se encuentra como componente minoritario, en el caso del níquel se considera despreciable.

Por último se encuentra el cromo VI, como esta especie se halla más como contaminante en forma de cromatos o dicromatos, se decidió trabajar con una de estas especies (el dicromato). La carga negativa hace que no tenga mucha atracción en la arcilla, en esta lo que ocurre es un intercambio de las especies acuosas (HCrO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ y CrO_4^{2-}) con los ligandos $-\text{OH}$ de la superficie de las arcillas [11], también al igual que en las otras especies de los metales en estudio se da adsorción en los poros de la diatomita. Este proceso de intercambio se produce en menor proporción que el intercambio catiónico, por lo que se encuentra como el elemento de menor grado de retención.

Como se puede observar en el cuadro IV, la tierra moler que se utilizó en el presente estudio, se puede usar a nivel de laboratorio como material para la retención o tratamiento terciario de aguas residuales a la concentración de estudio (4 ppm), con excepción del cromo VI (porque se usó el ión dicromato). Esto porque en todos los casos se cumple con lo estipulado en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. Si embargo se debe realizar un estudio más amplio para poder dar una conclusión más categórica.

Otro factor que se tiene que tomar en cuenta es el proceso de desorción de los metales; en el cuadro IV se observa que en ambientes ácidos la retención de los cationes es bastante baja, esto porque el ión H_3O^+ se retiene mejor en las arcillas, en la superficie de la diatomita y sus poros. Contrario a esto en ambientes de pH neutro no se da la desorción de los cationes; algunos metales como la plata se retienen fuertemente en ambos pH (neutro y ácido).

Cuadro IV
RETENCIÓN DE METALES EN LAS TIERRAS MOLER Y MÁXIMOS PERMITIDOS DE ESTOS
METALES EN AGUAS DE VERTIDO.

Metal	Elusión en agua (mg/L) ($\pm 0,004$)	Elusión en ácido 0,1 mol/L (mg/L) ($\pm 0,004$)	Máximo permitido (mg/L)	Radios iónicos hidratados (pm)
Níquel	0,011	3,542	1	600
Plata	0,023	0,171	1	250
Plomo	0,204	2,363	0,5	590
Cromo III	0,012	2,075	1	900
Cromo VI	0,033	0,376	0,5	*
Zinc	0,085	-	5	600

Se verificó el intercambio de metales pesados por los iones sodio de la arcilla presente en la tierra moler, esto se realizó mediante la medición de la concentración de sodio en una mezcla de agua con esta, y luego comparándola con otra mezcla de tierra moler con una disolución de níquel de 4 ppm. En la mezcla de agua-tierra moler se verificó una concentración de 2,922 ($\pm 0,004$) ppm en sodio, al medir la mezcla de tierra moler-disolución de níquel se encontró una concentración de sodio de 3,171 ($\pm 0,004$) ppm. Como se puede observar si hubo un aumento en sodio en la disolución que contenía níquel, por lo que se verifica que se están intercambiando el metal pesado por el sodio presente en la arcilla. El aumento de sodio fue de 8 % con respecto a la mezcla agua-tierra moler.

Variación de pH

Al ser el níquel el metal que se retuvo menos de todos los metales en estudio, se tomó este para realizar los demás experimentos.

Como se puede observar en el cuadro V, la absorción del níquel II varía con el cambio de pH, esto se debe a las diferentes especies del catión presentes en disolución acuosa. El $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ se halla presente desde pH 0 hasta pH 10 donde deja de existir, la especie NiOH^+ se encuentra presente desde pH 2,9 hasta 10, el $\text{Ni}(\text{OH})_2$ comienza a precipitar a pH 6,3 y las otras especies ($\text{Ni}(\text{OH})_3^-$ y $\text{Ni}(\text{OH})_4^{2-}$) comienzan a aparecer a pH superiores a 10,2. [10]

A pH ácidos aunque la especie mayoritaria es la de mayor carga positiva ($[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$) esta no se encuentra muy retenida por el hecho que el ión H_3O^+ compite por los sitios activos de intercambio, al ir aumentando el pH las especies de carga positiva disminuyen y aumenta la cantidad de $\text{Ni}(\text{OH})_2$, este prácticamente no se absorbe en los poros de la diatomita, por este motivo hay mucho níquel libre a pH 9 (1,08 ppm). El pH ideal de absorción y adsorción de níquel II se puede tomar como 7, ya que a este pH no hay iones hidrónico que compitan en la captación del elemento ni hay hidróxido presente en cantidades apreciables. Para obtener el pH ideal de los demás

metales hay que hacer nuevos ensayos, ya que cada metal tiene diferentes especies a pH similares como se puede observar en el cuadro III.

Cuadro V
ABSORCIÓN DE NÍQUEL II (3,973 \pm 0,004 PPM) A DIFERENTES VALORES DE PH.

pH	Concentración final (\pm 0,006 mg/L)	Eficiencia de remoción (%)
5	0,962	75,8
6	0,131	96,7
7	0,028	99,5
8	0,512	87,2
9	1,083	72,8

Variación de los aniones

Como se puede observar en el cuadro VI, la influencia del contraión del níquel II presente en la disolución en estudio, no influye de una manera muy marcada, esto porque como es lógico suponer los aniones no compiten con los cationes por los mismos sitios activos en la tierra moler.

Sin embargo los aniones influyen en alguna medida en el radio de hidratación de los cationes que los acompañan, esta diferencia, además del leve intercambio de los aniones por los grupos hidroxilo presentes en la superficie de las arcillas y las diatomitas, hace que la interacción del níquel II con ambas superficies sea diferente, esto produce una remoción diferente del catión en presencia de distintos aniones.

Cuadro VI
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NÍQUEL II (3,973 \pm 0,004 PPM)
EN TIERRA MOLER AL VARIAR EL RESPECTIVO ANIÓN.

Anión	Concentración final (\pm 0,006 ppm)	Eficiencia de remoción (%)
Cloruro de níquel II	0,162	96,0
Sulfato de níquel II	0,082	98,0
Nitrato de níquel II	0,363	91,0

Variación del disolvente

En cuanto a la variación del disolvente, el radio hidratado o bien la polarización del ión, determina la fuerza de adsorción y absorción en la tierra moler, al haber bajos contenidos de agua hay mayor posibilidad de que se encuentre en la disolución

iones níquel II libres o sea no hidratados produciendo cantidades mayores de catión retenidas, esto se puede observar en el cuadro VII.

En disolventes no polares como la acetona o el hexano hay menos posibilidades de que el níquel forme acuocomplejos debido a la poca cantidad de agua en estos solventes, dando la mayor retención del metal.

La mayor remoción que se observa en el etanol, se puede deber a que la poca agua presente tiene la posibilidad de formar puentes de hidrógeno con el alcohol, lo que hace que esta esté menos disponible que en los disolventes no polares para formar dichos acuocomplejos. Por esto es que hay mayor remoción en el etanol que en el resto de disolventes que se utilizaron, por haber más iones níquel II libres.

Cuadro VII
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NÍQUEL II (3,973 \pm 0,004 PPM) EN TIERRA MOLER
AL VARIAR EL DISOLVENTE.

Disolvente	Concentración final (\pm 0,006 ppm)	Eficiencia de remoción (%)
Agua	0,365	90,9
Etanol	0,027	99,5
Acetato de etilo	0,782	80,4
Acetona	0,077	98,2
Hexano	0,079	98,2

Variación de la concentración del catión

La fuerza iónica de las disoluciones determinan la intensidad de la adsorción en las arcillas, pues la adsorción relativa es proporcionalmente más intensa en disoluciones diluidas que en las concentradas. [12] Esto se puede observar en el cuadro VIII, además del factor antes mencionado los sitios activos para la absorción como para la adsorción se llegan a saturar a altas concentraciones, por lo que la tierra moler tiene límites para actuar como filtro para intercambio y eliminación de metales.

Cuadro VIII
EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NÍQUEL II EN TIERRA MOLER A DIFERENTES
CONCENTRACIONES DEL CATIÓN.

Concentración inicial (\pm 0,004 ppm)	Concentración final (\pm 0,004 ppm)	Eficiencia de remoción (%)
3,973	0,018	99,8
14,922	1,531	89,7
29,845	5,213	82,5
49,556	9,975	79,9
99,972	13,474	86,5

La tierra moler se puede utilizar en la adsorción de líquidos por su gran capacidad de retención, en especial si se deseca, ya que se elimina el agua que trae esta, los experimentos sin embargo se realizaron con el material al natural y se usa para retener sustancias que puedan formar puentes de hidrógeno, sin embargo los líquidos que se adsorben no forman uniones fuertes con la tierra moler y se liberan nuevamente con el tiempo y a temperatura ambiente si son volátiles. En cuanto a la retención de metales pesados en aguas contaminadas con estos, se pueden eliminar siempre y cuando no se hallen en concentraciones muy elevadas o en disoluciones ácidas. Por los resultados obtenidos se puede concluir que se podría utilizar las tierras moler como un sistema para el tratamiento terciario de aguas residuales contaminadas con metales pesados.

En conclusión las tierras moler son un buen sistema para la contención de derrames por su poder adsorbente, pero no se puede utilizar como absorbente para eliminar sustancias químicas con excepción de metales pesados en concentraciones bajas.

IV. Referencias

- [1] Ewald, J.J., *Venezuela CIENCIA*. **1996**, 4(3), 197-206.
- [2] Conger, P.S., *Journal of Sedimentary Petrology*. **1942**, 121-122, 55-66
- [3] Chávez, L.; Haberyan K, A., *Rev. Bio.. Trop.* **1996**, 44, 899-902.
- [4] Mathers, S., *Rev. Geol. Amér. Central*. **1989**, 10, 3-17
- [5] Secretaría de Economía. *Diatomita*, 2002, Gobierno Central, México, Descargada: 26 de mayo, 2005, <http://www.economia.gob.mx/?P=1837&TS=1>
- [6] Yuan, P; Wu, D.Q.; He, H.P.; Lin, Z.Y., *Applied surface Science*. **2004**, 227, 30-39.
- [7] *Anderson, A.R., 2001, Neva Scotia-Canada, Canada, Descargada: 14 de marzo, 2007, http://www.gov.ns.ca/NATR/MEB/pdf/90egs01.htm.*
- [8] Khraisheh, M.A.; Al-degs, Y.S.; Mcminn, W.A., *Chem. Eng. J.* **2004**, 99, 177-184.
- [9] Barrer, R.M., *Zeolites and Clays Minerals as Sorbents and Molecular Sieve*, Acad. Press: New York, 1978.
- [10] Pérez, V., *Química de las disoluciones: Diagramas y cálculos gráficos*, Alhambra: Madrid, 1979.

- [11] Grossl P.R., Eick M., Sparks D.L., Goldberg S., Ainsworth C.C., *Environ. Sci. Technol.*, **1987**, 31, 321.
- [12] Navarro, E.A; Ramos, P.K; Campos, K; Maldonado; J.H., *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 2006, 7(2), 113-126.