



SORCIÓN DE Zn^{+2} EN UNA ARCILLA BLANCA DEL ESTADO LARA PARA SU EMPLEO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL

Capote Luna Tarcisio¹ Matute Saida¹, Contreras Jines², Rojas Jesús¹

¹Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Decanato de Agronomía. Programa de Ingeniería Agronómica. tcapote@ucla.edu.ve smatute@edu.ve

²Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias. Departamento de Química, Laboratorio de Cristalografía. jines@ula.ve

ASA/EX -2016-05.

Recibido: 12-06-2016

Aceptado: 21-11-2016

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo evaluar la capacidad de sorción de Zn^{+2} de una arcilla blanca para su empleo en la remoción del ión metálico en aguas residuales provenientes del proceso de galvanizado. La arcilla blanca utilizada proviene de la población Yay, municipio Andrés Eloy Blanco, estado Lara. Se realizó la caracterización físico-química de dicha arcilla, la cual comprende la clasificación textural y análisis difratométrico para la composición mineralógica. La isoterma de adsorción se realizó con una solución sintética sobre pellas de la arcilla blanca. Los resultados físico-químicos indican que la arcilla corresponde a una clase textural arcillo-limoso con un contenido mineralógico de Pirofilita $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$, Moscovita $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$, Nacrita $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ y cuarzo SiO_2 . La curva de saturación empleando cinc en solución presentó un punto de inflexión por la desorción del sorbato. La isoterma de adsorción mostró la existencia de dos mecanismos de adsorción dependientes de la concentración del cinc, posiblemente relacionados con las fases minerales de la arcilla. Se estimó la capacidad máxima de adsorción en 111 mg Zn^{+2} /g-arcilla, lo cual es promisorio para su empleo como agente adsorbente para el tratamiento de aguas de residuales.

Palabras Clave: adsorción, agua residual, filosilicatos, pirofilita, polución



SORPTION OF Zn^{+2} ON A WHITE CLAY OF THE LARA STATE TO USE FOR INDUSTRIAL RESIDUAL WATER TRATEMENT

ABSTRACT

This study aims to evaluate the sorption capacity of Zn^{+2} of white clay for use in the removal of metal ion in industrial waste water. The white clay used comes from the population of the municipality Andrés Eloy Blanco, Yay at Lara state. The physicochemical characterization of the clay, which includes textural classification and X-Ray Diffraction analysis for mineralogical composition was performed. The adsorption isotherm was performed with a synthetic solution on the white clay pellets. The results physico-chemical show the clay corresponds to a silty clay of the textural class with a mineralogical content of pyrophyllite $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$, Muscovite $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$, Nacrite $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ and quartz SiO_2 . The saturation curve using zinc solution presented a inflection point for the desorption of the sorbate. The adsorption isotherm showed the existence of two adsorption mechanisms dependent on the zinc concentration, possibly related to the clay mineral phases. Maximum adsorption capacity was estimated at 111 mg Zn^{+2} /g-clay, which is promising for use as an agent for the treatment of wastewater. .

Key words: adsorption, wastewater, phyllosilicates, pyrophyllite, pollution.



INTRODUCCIÓN

Las arcillas son definidas por el Código Geológico de Venezuela como un mineral compuesto por filosilicatos hidratados de un tamaño inferior a 0,0039 mm, cuyos mayores yacimientos en el país son de arcillas caoliníticas en el estado Mérida y arcillas blancas en el estado Lara (PDV, 1997). Las arcillas, al igual que las micas, serpentinas y talco son minerales que pertenecen a los filosilicatos, un grupo de aluminosilicatos que tienen la propiedad de exfoliarse debido a su estructura laminar; son el componente principal de las rocas clásticas de grano fino denominadas lutitas (Pérez, 2011).

Las arcillas blancas son aquellas arcillas diferentes al caolín y la bentonita que al ser calcinadas producen un producto completamente blanco, aunque su color original pueda variar desde el blanco hasta el gris oscuro (República de Venezuela, 1984).

Los estudios iniciales de las arcillas blancas en el estado Lara fueron realizados por Evanoff *et al.* (1957), quienes determinaron que se encuentran

predominantemente localizadas en una franja de 40 km comprendida en sentido sur a norte desde las poblaciones de Barbacoas, municipio Morán y Sanare, municipio Andrés Eloy Blanco, hasta la población de Bobare, municipio Iribarren.

Las arcillas blancas del municipio Andrés Eloy Blanco forman parte de la formación geológica Morán; constituyen extensas masas lenticulares de profundidad estimada de 2 hasta 70 m de espesor, en los afloramientos cercanos a la población de Yay, denominados Curigua, El Papayo, El Tanque y Laguna (Rodríguez, 1986). Alvarez, (2006) en un trabajo neotectónico reciente de la cuenca de Yay describió su litología como un afloramiento de limolita gris, arcilita amarilla, lodolita marrón oscuro, lentes de conglomerados arenosos e intercalación de areniscas.

Durante la década de 1970 se realizaron estudios geológicos con fines prospectivos en los depósitos de arcillas pirofílicas del estado Lara dada su importancia como materia prima para la industria de porcelana y cemento (Rodríguez *et al.*, 1978).

Las arcillas tienen un amplio uso



en la industria de acuerdo con los minerales con los cuales se encuentran asociados, ya sean cuarzo, alúmina, moscovita, óxidos metálicos u otras impurezas; se emplean en la elaboración de cerámica, porcelana, cemento, en la confección de material aislante o refractario, se formulan como carga inerte en pinturas, insecticidas y plásticos (Sánchez-Soto *et al.*, 1998) y también como adsorbente para la industria química en la decoloración de aceite vegetal (Sun-Kou, 1999).

La capacidad de los minerales arcillosos para adsorber e intercambiar cationes en solución es una propiedad bien conocida en la química medio ambiental (Barrenetxea, 2003); además, por ser un material de bajo costo y fácil disponibilidad se las considera apropiadas para su empleo en el tratamiento de efluentes industriales (García, 1999). En la actualidad, las investigaciones se orientan a la modificación de las arcillas naturales haciendo uso de recubrimientos poliméricos para incrementar su capacidad y especificidad de adsorción en el tratamiento de agua Srinivasan (2011).

La composición química

fundamental de los minerales arcillosos comunes como caolinita, pirofilita, illita y montmorillonita es de láminas de unidades de silicato en arreglo cristalino de tetraedros con silicio con aluminio en coordinación octaédrica formando láminas superpuestas enlazadas por puentes de hidrógeno. Si bien todos estos minerales arcillosos comparten una estructura similar, se diferencian por la presencia de otros cationes en la unidades cristalinas, como el magnesio que sustituyendo la sexta parte de los iones aluminio forma la montmorillonita o cuando aluminio sustituye parcialmente al silicio en el arreglo de silicato forma la illita (Spiro y Stigliani, 2004). El hierro también puede estar presente en arcillas de avanzado estado de mineralización (Rodríguez, 1991). El reemplazo del silicio por aluminio en la red cristalina causa un desbalance de cargas que es compensado por la intrusión de cationes metálicos en la región interlaminar. Cuando una arcilla es hidratada por contacto con una solución acuosa, el espacio interlaminar se expande permitiendo que algunos de sus cationes puedan moverse y ser intercambiados



por otros provenientes de la disolución acuosa. Los cationes reemplazados son los que frecuentemente ocupan las posiciones de intercambio como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+} , NH_4^+ , Mn^{2+} y Zn^{2+} . En este proceso de intercambio catiónico ocurre la siguiente reacción:



donde, M representa los cationes de intercambio en la arcilla (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{3+} , NH_4^+ , Mn^{2+} y Zn^{2+}) y X^+ representa los cationes en solución (Appelo y Postma, 2005).

Las arcillas blancas son un material abundante y de bajo costo disponible en el estado Lara que, podrían utilizarse para la inmovilización de metales en aguas residuales de las industrias de recubrimiento metálico por electrodeposición, como por ejemplo las empresas de galvanizado, que generan desechos con elevadas concentraciones de hierro y cinc. Estos dos metales, se encuentra limitados en la legislación venezolana Gaceta Oficial de la República de Venezuela (1995) para aguas vertidas con un máximo de 0,5

mg/l en cuerpos de agua y 10 mg/l en redes cloacales.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la capacidad de sorción de iones cinc (Zn^{+2}) por una arcilla blanca del estado Lara con el fin de estimar su uso potencial como agente adsorbente para el tratamiento de aguas contaminadas por iones metálicos.

MATERIALES Y METODOS

Muestra de arcilla. Se utilizó una arcilla cruda proveniente de una mina a cielo abierto suministrada por loceros de la zona alta del municipio Andrés Eloy Blanco, población Yay, estado Lara. La arcilla presentó un color gris claro de aspecto homogéneo. La muestra se dejó secar en una estufa a 40 °C por 48 horas y se pasó a través de un tamiz de 2 mm para su caracterización.

Muestra de agua residual.

La muestra de desecho consistió en una solución agotada del baño electrolítico y un agua del proceso de decapado proveniente de una empresa de galvanizados situada en la Zona Industrial



II de Barquisimeto, estado Lara. Se tomó una muestra de 1,5L proveniente del tanque de residuos de cincado y decapado respectivamente, las cuales se mantuvieron en un recipiente plástico cerrado a temperatura ambiente hasta su recepción al laboratorio.

Caracterización química del agua de desecho.

pH (acidez iónica)

Se determinó el pH del agua de desecho con un pHmetro Orion 430A con electrodo TRIODE pH/ATC, de acuerdo a la norma COVENIN 2462:2002, (COVENIN, 2002).

Análisis cualitativo de cationes

Se realizó una análisis cualitativo de la muestra de agua realizando una marcha analítica de cationes para Mn, Mg, Fe, Al, Cu, Ni, Ca, y Pb (Vogel, 1969).

Análisis cuantitativo de hierro y cinc

Se realizó la cuantificación del contenido de hierro y cinc por espectrometría de llama (FAAS) en un espectrómetro Perkin-Elmer modelo 2280 de acuerdo

con las recomendaciones de la norma COVENIN 2769-91 (COVENIN, 1991).

Caracterización de la arcilla

Caracterización textural. Se realizó la composición textural de la muestra empleando el Método de Bouyoucos (Brito, 2015).

Caracterización mineralógica de la arcilla.

El estudio mineralógico de la arcilla se realizó con un análisis cristalográfico por difracción de rayos X. La preparación de la muestra se hizo por molienda de la arcilla en un mortero de ágata hasta homogenizar al tamaño de microcristales. Se empleó un difractómetro Phillips con goniómetro PW1050/25, irradiando la muestra a una longitud de onda Cu-K α , en un rango de medición entre 10° y 60°. Para la identificación de las fases empleó el programa X Pert High Score de la empresa Panalitical.

pH (acidéz iónica). Se determinó el pH de la solución de arcilla, para lo cual se pesó 10 g de la muestra y se añadió 25 mL de agua desionizada. Se dejó en



reposo por una hora hasta aclarar, se filtró con papel de paso rápido y se midió el pH de la solución con un potenciómetro ORION 430A con un electrodo TRIODE pH/ATC, de acuerdo a la norma COVENIN 2462:2002, (COVENIN, 2002).

Conductividad. Se pesaron 10 g de arcilla y se añadió 50 mL de agua, se agitó por 30 minutos, se dejó en reposo hasta aclarar la solución. Se realizó la lectura con un conductímetro HANNA I216 con un electrodo de 4 anillos, siguiendo las recomendaciones de COVENIN 3050-93 (COVENIN, 1993).

Pellas de arcilla. Para el estudio de sorción, la arcilla fue configurada en forma de pellas cilíndricas. La arcilla fue humedecida con agua desionizada hasta lograr una adecuada plasticidad para elaborar las pellas. Por medio de un dispositivo construido en el laboratorio formado por un cilindro con embolo, la arcilla fue extrudida en pellas cilíndricas de 20 mm de largo y 1,5 mm en diámetro. Se secaron en la estufa a 700° C por cuatro horas.

Curva de saturación. La curva de saturación de la arcilla, se realizó con una solución patrón de cinc, Zn^{+2} , de concentración 100,0 mg/L a temperatura ambiente (28°C). El volumen total de solución de cinc utilizada fue de 50 mL con una masa de 5,00 g de pellas de arcilla blanca, ambas contenidas en una fiola de 100 mL. La fiola se agitó en un agitador mecánico por 10 minutos para luego ser filtrada por gravedad con papel filtro de paso rápido. Para las demás soluciones se repitió el procedimiento sucesivamente a los 20, 30, 40 y 50 minutos de agitación. La cuantificación de cinc en el filtrado se realizó por espectrometría de llama, FAAS, norma COVENIN 2769-91 (COVENIN, 1991). Se graficó tiempo de contacto de la solución con la arcilla (min), contra la concentración de cinc en el filtrado (mg Zn^{+2} /L).

Isotermas de adsorción. La isoterma de adsorción se realizó por triplicado con 50 mL de solución de referencia de 100 mg/L de cinc a temperatura de 28 °C, pH 4,1 y masas de pellas de arcilla de 5,0; 7,5; 10,0; 15,0 y 17,5 g, colocados en



fiolas de 100 mL, agitadas mecánicamente por espacio de 40 minutos, tiempo que correspondió a la máxima adsorción del cinc en la curva de saturación. La cuantificación de cinc en el filtrado se realizó por espectrometría de llama, FAAS, norma COVENIN 2769-91 (COVENIN, 1991). Se graficó X, el cinc sorbido en la arcilla ($\text{mg Zn}^{+2}/\text{g-arcilla}$ blanca) contra cinc en el filtrado ($\text{mg Zn}^{+2}/\text{L}$).

Saturación de la arcilla. Se realizó el ensayo de saturación de la arcilla blanca empleando agua residual, de elevada concentración cinc y la presencia concomitante de hierro, proveniente de tanque de decapado. Cada tratamiento del agua consistió en una progresión de 20 eluciones a 100 mL de agua, con caudal de 6 mL/min a través de una columna empacada con 30 g de pellas de arcilla. En total se obtuvieron 13 eluatos, el inicial con 20 eluciones y los siguientes con incrementos progresivos hasta la cantidad de 260 eluciones para el último eluato. La cuantificación de hierro y cinc se realizó por espectrometría de llama, FAAS, norma COVENIN 2769-91

(COVENIN, 1991). Se determinó la masa de cinc adsorbida por la arcilla para cada tratamiento, se graficó masa adsorbida de hierro 10^{-1} mL, masa adsorbida de cinc mL contra cantidad de eluciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Agua residual. El agua residual del baño de galvanizado se caracterizó por ser muy ácida, mostró un valor promedio de $2,12 \pm 0,02$ unidades de pH. El análisis cualitativo fue positivo para la presencia de los cationes cinc, hierro, manganeso y magnesio. El tenor de acidez asegura que los cationes metálicos presente se encuentran completamente solubilizados. El análisis cualitativo para hierro fue de $11,8 \pm 0,1$ mg/L y para cinc $24,6 \pm 0,1$ mg/L. La concentración de cinc es muy elevada ya que supera el límite de 10,00 mg/L para aguas vertidas en redes cloacales y sobre pasa cinco veces el máximo permitido de 5,00 mg/L para aguas vertidas en cuerpos de agua; en cuanto al hierro posee un valor inferior máximo permisible de 25 mg/L, según la normativa ambiental vigente para cuerpos de agua Gaceta Oficial de la República de



Venezuela (1995). El agua residual del tanque de decapado fue caracterizada por mayor acidez, pH 1,71 y valores más elevados en concentración de 746,1 mg/L en hierro y 40,5 mg/L en cinc comparados con el agua del baño de galvanizado.

Aunque el cinc es un micronutriente esencial, los diversos organismos acuáticos muestran diferencias en su tolerancia; en una revisión para un universo de 197 especies, Goransky y Natale (2001) reportan un rango variable de toxicidad aguda comprendido entre 32 µg/L a 150 mg/L para peces e invertebrados y de 12,5 µg/L a 10 mg/L para algas y plantas vasculares. Con relación a su toxicidad crónica, elevados niveles de cinc causan la muerte a truchas por hipocalcemia debida a la interferencia del cinc en la absorción de calcio a través de las branquias (Barron y Shannon, 2000).

Arcilla blanca. El estudio cristalográfico por rayos X mostró cuatro fases cristalinas presentes en la arcilla: pirofilita $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, moscovita

$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, cuarzo (SiO_2) y nacrita $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$.

La pirofilita, la moscovita y la nacrita son filosilicatos comunes presentes en las arcillas, el primero es un silicato de aluminio hidratado, el segundo una mica de potasio y el tercero un aluminosilicato, que posee la misma fórmula química de la caolinita pero con otra estructura de cristalización. La caolinita cristaliza en un sistema trigonal y la nacrita lo hace en un sistema monoclinico. La presencia de pirofilita en el análisis cristalográfico confirma los estudios geológicos previos efectuados a las arcillas blancas del estado Lara.

En cuanto a la composición textural de la muestra en estudio se determinó que la misma que se encuentra formada por un 46% de arcilla, 46% limo y 8% de arena. La composición textural se corresponde con el estudio cristalográfico, siendo el cuarzo o sílice la fracción de arena presente en la muestra.

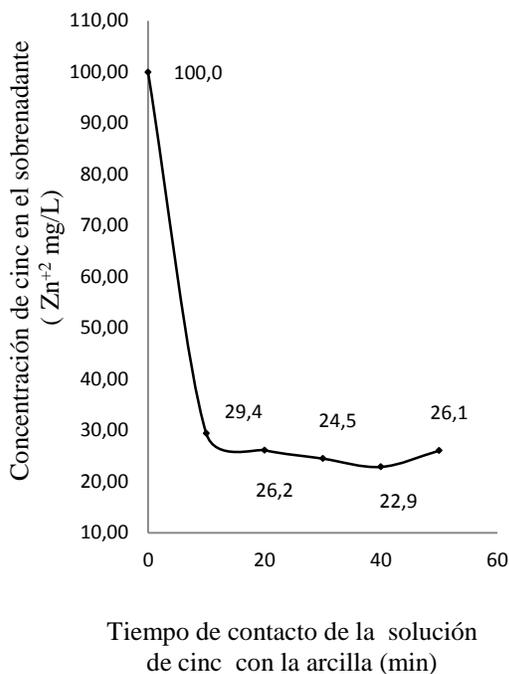


Figura 1. Curva de saturación para cinc

El pH de la solución de arcilla blanca fue de $3,7 \pm 0,1$. Este valor ácido de la muestra coincide con los resultados del trabajo de Rodríguez (1983) en suelos provenientes del municipio Jiménez, estado Lara, los cuales fueron caracterizados como arcillosos, ácidos y con un elevado contenido de aluminio intercambiable. La conductividad de la solución de arcilla fue de $420 \pm 13 \mu\text{S/cm}$, un valor alto si se compara con el valor de conductividad de referencia de $300 \mu\text{S/cm}$ que ha establecido la EPA para no afectar

la vida silvestre de especies acuáticas de agua dulce Environmental Protection Agency (2011); el valor indica una concentración elevada de iones aportados por la arcilla a la solución que en términos de sólidos totales disueltos, TDS, se expresaría en 210 mg/L .

Ensayo de adsorción por carga. En la Figura 1 se observa la curva de saturación que representa la concentración de cinc (Zn^{+2}) de la solución sobrenadante en contacto con las pellas de arcillas en función del tiempo transcurrido. Se observa que la concentración va disminuyendo hasta un valor mínimo (40 min y $22,9 \text{ mg/L}$), y a continuación se produce un incremento en la concentración por un fenómeno de desorción.

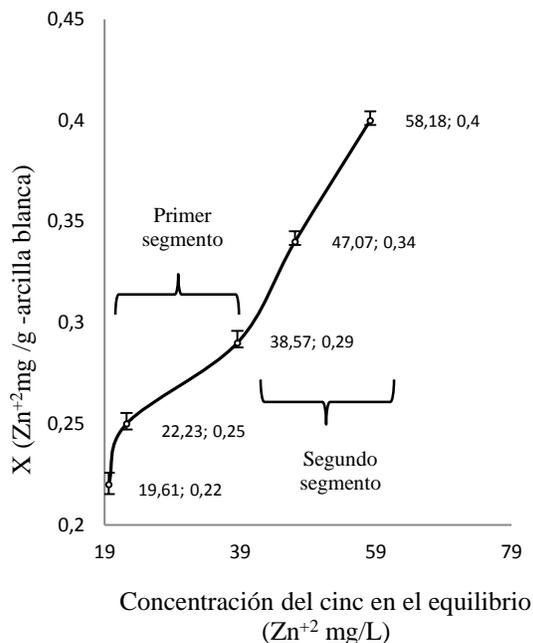


Figura 2. Isoterma de adsorción para cinc

La Figura 2 muestra la isoterma de adsorción de cinc sobre la arcilla blanca, en la cual las abscisas representan la concentración de cinc en equilibrio y en las ordenadas, X que representa la relación de masa de cinc/masa de arcilla. En la isoterma se pueden distinguir dos segmentos: uno inicial a menores concentraciones de cinc, desde 19,6 hasta 39,4 Zn⁺² mg/L. Estos puntos corresponden a la mayor masa de pellas de arcilla en relación a la masa de cinc en la solución de referencia, el segmento

de curva de estos puntos se ajusta al modelo de Lagmuir, $y = 0,009x - 0,007$; $r = 0,996$. Un segundo segmento, desde el punto 39,4 y hasta 58,2 Zn⁺² mg/L, puntos de la curva donde la masa de arcilla es menor a la masa fija de cinc, que es mejor descrita por un ajuste de Freundlich, $y = 1,903x^{0,748}$, cuyos puntos en la curva lineal de la isoterma de Freundlich tienen un coeficiente $r = 0,997$.

El primer segmento en la isoterma sugiere que la adsorción de Zn⁺² ocurre en una fase cristalina de la arcilla donde el aumento de la concentración del catión disminuye los sitios vacantes para ser adsorbido. En el segundo segmento de la isoterma, la ocurrencia de una relación lineal en la curva sugiere que existe la participación de otra fase mineral que rige el proceso de adsorción. Dicha curva representa una condición que es gobernada por un mecanismo de reparto entre el Zn⁺² de la solución y los iones retenidos en los sitios activos de la arcilla blanca, la cual ocurre cuando hay concentraciones elevadas de cinc y menor masa de arcilla. Este mecanismo de reparto podría ser el responsable del



fenómeno de desorción observado en la curva de saturación, ver Figura 1. La existencia de dos mecanismos de adsorción en concentraciones de equilibrio diferentes se puede explicar por la presencia de tres diferentes fases minerales en la arcilla usada en el ensayo: pirofilita, moscovita y nacrita.

A partir de la ecuación que describe el ajuste por Langmuir de la curva de adsorción, se determinó la capacidad máxima de adsorción del catión, CMA. Debido a la forma compuesta de la isoterma, en la cual se distinguen dos segmentos en la curva, se determinó el CMA de cinc en la arcilla blanca en el primer segmento, en donde fue mayor la sorción del cinc. Se determinó el CMA en 111 mg Zn²⁺/g-arcilla blanca a 28°C. Una comparación del presente estudio con el reportado en investigaciones similares dieron como resultado para una bentonita comercial de alta pureza (100% montmorillonita) un CMA de 26,67 mg Zn²⁺/g-montmorillonita a 30°C, (Carrasquero-Durán, 2004) y para una sepiolita (sepiolita 95%, calcita 5%) un CMA de

45 mg Zn²⁺/g-sepiolita a 22°C, García *et al.* (1999).

En el Cuadro 1 se presentan los resultados del ensayo de saturación de la arcilla con la concentración del sorbato cinc, y del hierro concomitante para cada eluato de agua residual. Se observa una remoción del 100% del cinc en el eluato 120; este resultado es superior al reportado por Sajidu *et al.* (2006) de 92% de una solución sintética de cinc (7,8 mg/L) empleando una suspensión de una arcilla tipo illita a pH 7,65 con 48 horas de agitación.

Cuadro 1. Saturación de la arcilla		
Eluato	Concentración de hierro en el eluato (mg/L)	Concentración de cinc en el eluato (mg/L)
20	0,00	25,18
40	0,00	0,0000
60	0,00	30,50
80	0,00	21,18
100	0,00	9,19
120	0,00	0,00
140	0,00	0,00
160	0,00	0,00
180	0,00	0,00
200	0,00	0,00
220	0,00	0,00
240	446,00	9,61
260	525,00	31,41

Los datos muestran que el cinc no fue completamente adsorbido en las primeras eluciones, posiblemente por la



interferencia del hierro presente, el cual si fue removido completamente por la arcilla. En la elución 60 ocurre un incremento súbito en la concentración de cinc, fenómeno de desorción que fue observado en la curva de saturación, Figura 1. El eluato 220 representa el punto de saturación de la arcilla, siendo la masa adsorbida 4,1 mg de cinc y 74,6 mg de hierro en 30 g de arcilla blanca, una razón compuesta de 2,6 mg Zn-Fe/g-arcilla blanca.

La CMA de cinc de la arcilla blanca del estado Lara, cuatro y dos veces mayor a las otras arcillas, y su capacidad para remover el 100% de los iones cinc en una muestra de agua residual, la hace una materia prima promisoría para ser considerada como agente de adsorción para el tratamiento de aguas residuales.

CONCLUSIONES

La arcilla blanca del estado Lara en estudio se encuentra compuesta por filosilicatos comúnmente presentes en las arcillas: pirofilita, moscovita y nacrita. La isoterma de adsorción mostró una curva compuesta cuyo primer segmento se ajusta al modelo de Lagmuir. Se

determinó la CMA de 111 mg Zn⁺²/g-arcilla blanca, un valor muy superior a los reportados en la literatura para bentonita de 21,01 mg Zn⁺²/g-montmorillonita y sepiolita de 45 mg Zn⁺²/g-sepiolita. Por su capacidad para adsorber cinc, se podría considerar el uso de las arcillas blancas del estado Lara para el tratamiento de aguas residuales industriales provenientes de los procesos de galvanizado.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado por el apoyo del presente trabajo con el registro 014-RAG-2012.

REFERENCIAS

- Álvarez, M. (2006). *Estudio neotectónico de las cuencas de El Tocuyo, Quíbor y Yay, estado Lara*. Trabajo especial de Grado para el Título de Ingeniero Geólogo. Universidad Central de Venezuela, Maracay.
- Appelo, C.A.J., Posma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Amsterdam: Taylor & Francis, 119-174.



- Barron, M. G., Shannon, A. (2000). *Calcium control of zinc uptake in rainbow trout*. *Aquatic Toxicology* 50:257–264.
- Brito, G. de, J; Arrieche Luna, I.E.; León Rodríguez, M.; López de Rojas, I. (2015). *Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencia*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Maracay: Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 29-44.
- Carrasquero-Durán, A. (2009). *Efecto de la temperatura en la adsorción de Zn^{+2} en Montmorillonita sódica*. *Revista de la Facultad de Agronomía*. Universidad Central de Venezuela, 30:39-47.
- COVENIN. (1991). *Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica* (2769-91). Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas: Fondonorma.
- COVENIN. (1993). *Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Determinación de Conductividad* (3050-93). Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas: Fondonorma.
- COVENIN. (2002). *Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Determinación del pH* (2462:2002). Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas: Fondonorma.
- Environmental Protection Agency (2011). *A Field-Based Aquatic Life Benchmark for Conductivity in Central Appalachian Streams*, EPA/600/R-10/023. Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC, G.7-G.10.
- Evanoff J., Zozaya D., Alcantara C.T., Fernández, J.C. (1957). *Arcillas Blancas en el Estado Lara*. Caracas: Instituto Nacional de Geología y Minería. *Boletín de Geología* IV(9):83-93.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela. (1995). *Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos*. Decreto N° 883. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, N° 5.021 (Extraordinario). Diciembre 18, 1995.
- García Sánchez, A., Alvares Ayuso, E. y Jiménez de Blas, O. (1999). *Sorption of heavy metals from industrial waste water by low-costs mineral silicates*. *Clay Minerals*. 34: 469-477.
- Goransky, R., Natale, O. (2001). *Establecimiento de niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente; Presentación de desarrollos de niveles guía de*



- calidad de agua ambiente ajustados a formato final. Subsecretaría de Recursos Hídricos, Dirección Nacional de Políticas, Instituto Nacional del Agua. Buenos Aires, III.1-III.16.
- Orozco Barrenetxea C, Pérez Serrano A, González Delgado MN, Rodríguez Vidal F, Alfayate Blanco J M. (2005). *Contaminación Ambiental, una visión desde la Química*. 3ra reimposición. Madrid: Paraninfo, 60-61.
- PDV. (1997). *Arcillas*, Museo Geológico virtual. [En línea] PDV_INTEVEP. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico/museo/minerales/arcillas.htm> [Consulta: 07 de octubre de 2015].
- Pérez, N. (2011). *Fundamentos de Geología*. Mérida: Ediciones de la Universidad de los Andes, 72-74, 149-150.
- República de Venezuela. (1984). *Información sobre minerales metálicos y no metálicos de Venezuela*. Caracas: Ministerio de Energía y Minas. Cuadernos Geológicos 1(2):11-12.
- Rodríguez M., SE; Rodríguez, G.D, Caldera, D. (1978). *Estratigrafía, mineralogía y morfología de los depósitos de pirofilita del Estado Lara*. Caracas: Instituto Nacional de Geología y minería. Boletín de Geología. V(7) (especial): 3675-3698.
- Rodríguez M., S.E. (1986). *Recursos Minerales de Venezuela*. Caracas: Instituto Nacional de Geología y minería. Boletín de Geología. XV(27):28-35.
- Rodríguez, O. (1983). *Minerales y arcillas de suelos del estado Lara. I Microscopía electrónica*. Bioagro, I(1):17-32.
- Rodríguez, O. (1991). *Minerales y arcillas de suelos del estado Lara. II Difracción de rayos X*. Bioagro III(3):91-96.
- Sajidu, S., Persson I., Masamba W., Henry E., Kayambazinthu, D. (2006). *Removal of Cd²⁺, Cr³⁺, Cu²⁺, Hg²⁺, Pb²⁺ and Zn²⁺ cations and AsO₄³⁻ anions from aqueous solutions by mixed clay from Tundulu in Malawi and characterisation of the clay*. Water SA 32(4):519-526.
- Sánchez Soto, P. J., Pérez, J.L. y Rodríguez, L. (1998). *Características Generales, Propiedades, Yacimientos Y Aplicaciones De Pirofilita, II. Yacimientos, Aplicaciones y Utilización Como Materia Prima Cerámica*. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Septiembre-Octubre 37(5):359-368.
- Spiro T.C., Stigliani W.M. (2004). *Química Medioambiental*. 2da



edición. Madrid: Pearson
Educación, 300-301.

Srinivasan, R. (2011). *Advances in Application of Natural Clay and Its Composites in Removal of Biological, Organic, and Inorganic Contaminants from Drinking Water*. Advances in Materials Science and Engineering. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1155/2011/872531> [Consulta: 8 de noviembre 2016].

Sun-Kou, M.R. (1999). *Modificación de arcillas naturales para su posterior uso como adsorbentes*. Revista de Química. Pontificia Universidad Católica del Perú. Junio XIII(1):7-21.

Vogel, A. (1969). *Química Analítica Cualitativa*. 5ta edición. Buenos Aires: Editorial Kapelusz, 355-427.