



PROPIEDADES DE ADSORCIÓN DE SUELOS NATURALES

Hernández Trejo Uriel Omar^{1,2}, Monroy Guzmán Fabiola², Fernández Ramírez Edelmira¹, Anguiano Arévalo Jorge², De la Cruz Sánchez Eduardo²

1. Instituto Tecnológico de Toluca, Avenida Tecnológico s/n., 52140, Metepec, Edo. de México.
2. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), Carretera México-Toluca s/n., 52750 Edo. de México.

Correo electrónico: uohtrejo@gmail.com

Resumen

Los desechos radiactivos en México son almacenados temporalmente en el Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos (CADER). Para establecer métodos para el saneamiento de suelos del CADER en caso de una difusión accidental de radionúclidos es necesario estudiar las propiedades de adsorción del suelo. Por ello, en este trabajo se determinaron las propiedades de adsorción de suelo del CADER en medio acuoso para tres radioisótopos, dos cationes (Na-24 y Tl-201) y un anión (Tc-99m). Se utilizó el método estático o "batch", para determinar los coeficientes de distribución K_d . Los resultados indican que los suelos del CADER adsorben cationes, en especial al $^{201}\text{Tl}^{+3}$, para el caso del $^{24}\text{Na}^+$ y del $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ hubo escasa adsorción, tal vez debido a que el suelo está constituido en su mayoría por aluminio silicatos, y con ello el intercambio iónico favorece al $^{201}\text{Tl}^{+3}$.

1. Introducción

El lugar en donde se almacenan temporalmente desechos radiactivos generados por aplicaciones no energéticas en México, es el Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos (CADER). Este centro es monitoreado por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), el cual lleva un control riguroso de todas las fuentes que ingresan al CADER, además de hacer análisis periódicos con el fin de verificar que no exista contaminación en las zonas aledañas al predio [1].

En este tipo de centros de almacenamiento la seguridad es primordial, es por ello que se deben estudiar las propiedades físicas y químicas del suelo y de los radionúclidos presentes en los desechos, pues en caso de migración de radionúclidos al medio ambiente, en particular al suelo es necesario conocer su comportamiento en este medio para poder establecer los métodos más adecuados de recuperación o remediación del suelo.



Las interacciones típicas de radionúclidos con el suelo incluyen procesos tales como: precipitación, coprecipitación, formación de complejos con óxidos metálicos hidratados, formación de complejos con materia orgánica, formación de coloides, efectos microbianos y adsorción-desorción [2,3].

La propiedad de interés en este trabajo es la adsorción que es un proceso de separación en la que ciertos componentes de una fase fluida se transfieren hacia la superficie de un sólido adsorbente [4].

La relación que guarda el soluto (radionúclido) y la fase sólida en el estudio de adsorción, está dada por el *coeficiente de distribución* (K_d), el cual está definido como la concentración de soluto en la fase adsorbida, dividido por la concentración de soluto en la fase de solución, luego entonces el valor de K_d de cada radionúclido representa la partición del soluto entre la fase sólida y la solución [2].

Los radionúclidos con valores elevados de K_d por lo general se mueven más lentamente en el medio ambiente que los radionúclidos que tienen valores bajos de K_d [5].

Este trabajo tiene por objetivo determinar las propiedades de adsorción del suelo del CADER, para ello se estudió la retención de dos cationes: Tl^{3+} y Na^+ y un anión: TcO_4^- en medio acuoso en los suelos del CADER con el fin analizar su comportamiento al estar en contacto con estos iones. Las pruebas se realizaron utilizando la técnica de radiotrazadores [6].



2. Metodología

2.1. Muestreo de suelo del CADER

Once muestras de suelos del CADER fueron tomadas de acuerdo a la nomenclatura presentada en la tabla 1, su localización en el predio del CADER se presenta en la figura 1.

Los suelos fueron tratadas de la siguiente manera: cada una de las muestras fue secada en la estufa por 24 h a una temperatura de 105 °C, molida y tamizada en tamices marca W.S Tyler malla 50 de acero inoxidable (300 µm) y finalmente colectadas en frascos de vidrio de 30 mL.

El primero término en la nomenclatura (T) es una letra representativa, el segundo término describe el número de muestra y el último término en la nomenclatura indica la profundidad a la cual fueron tomadas cada una de las muestras.

Tabla 1. Nomenclatura de la muestras de suelo del CADER.

Localización de muestra en plano	Nomenclatura
A	T-1-0.3
B	T-1-1.1
C	T-1-2.5
D	T-2-3.5
E	T-3-sup
F	T-3-0.15
G	T-4-sup
H	T-5-0.7
I	T-6-sup
J	T-7-pi.var.sup
K	T-8-2.8

2.2. Determinación de constantes de distribución (Kd)

Las pruebas para esta determinación se realizaron mediante el método estático o “batch”. Los radioisótopos utilizados fueron ^{99m}Tc , ^{24}Na y ^{201}Tl , con vidas medias de 6.02 h, 14.8 h, 3.02 d respectivamente.



2.2.1 Obtención de radiotrazadores

El ^{99m}Tc se obtuvo por medio de un generador de $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ utilizando como eluyente cloruro de sodio 0.9%, para obtener el ^{99m}Tc en forma del ion $^{99m}\text{TcO}_4^-$ con una actividad específica de 45 $\mu\text{Ci}/\text{mL}$.

Para la obtención de ^{24}Na se irradiaron 50 mg de NaNO_3 , con neutrones térmicos, durante 5 minutos, en el reactor TRIGA-MARK-III del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), con un flujo de neutrones de 1.6×10^{12} neutrones/ cm^2s , que posteriormente fue disuelto en agua destilada para obtener una actividad específica aproximada a 25 $\mu\text{Ci}/\text{mL}$ [6].

El ^{201}Tl fue utilizado en forma de cloruro ($^{201}\text{TlCl}_3$), marca NORDION, a una actividad específica de 1.15 $\mu\text{Ci}/\mu\text{L}$.

2.2.2. Determinación de K_d

Se pesaron tres series de 13 tubos para centrífuga, 11 tubos de cada serie fueron para las muestras de suelo y se llevaron 2 testigos por serie, previamente identificados con la nomenclatura correspondiente a cada muestra (ver tabla 1), los tubos tienen una capacidad de 15 mL. A cada uno de los tubos se le agregó 0.1 g de muestra de tierra (excepto a los 2 tubos que sirven como testigo en la prueba), 10 mL de agua destilada y se registró la masa obtenida. Los tubos se agitaron por 72 h, al finalizar este tiempo se agregó una cantidad específica de radiotrazador (serie 1: ^{99m}Tc : 50 μL , serie 2: ^{24}Na : 100 μL , serie 3: ^{201}Tl : 50 μL), los recipientes se pesaron, agitaron y centrifugaron nuevamente por 1 h. Se pesaron recipientes de vidrio de 20 mL de capacidad que previamente fueron etiquetados con respecto a la tabla 1. Se tomaron alícuotas de 5 mL de la fase líquida y se transfirieron en los recipientes de vidrio de 20 mL, registrando la masa obtenida.

2.2.3. Cuantificación de actividad de radiotrazadores

Se utilizó un sistema de espectrometría gamma conformado por un detector de germanio hiperpuro marca ORTEC, para contabilizar las emisiones de radiación gamma provenientes de cada



uno de los recipientes inoculados con la alícuota que contiene el trazador. El tecnecio-99m se cuantificó a 140.51 KeV, el sodio-24 a 1.36855 MeV y el talio-201 a una energía de 167.43 KeV.

Para el cálculo de las constantes de distribución (K_d) se utilizó la ecuación 1, que se basa en las masas obtenidas y en la actividad presente en las muestras y en el testigo.

$$K_d = \left[\frac{\left(\frac{M_{aB}}{M_B}\right) (A_B) - \left(\frac{M_{aT}}{M_T}\right) (A_T)}{\left(\frac{M_{aT}}{M_T}\right)} \right] \left(\frac{M_T}{M_S}\right) \quad (1)$$

donde:

K_d : Constante de distribución

M_{aB} : Masa de la alícuota del testigo (g)

M_B : Masa del testigo (g)

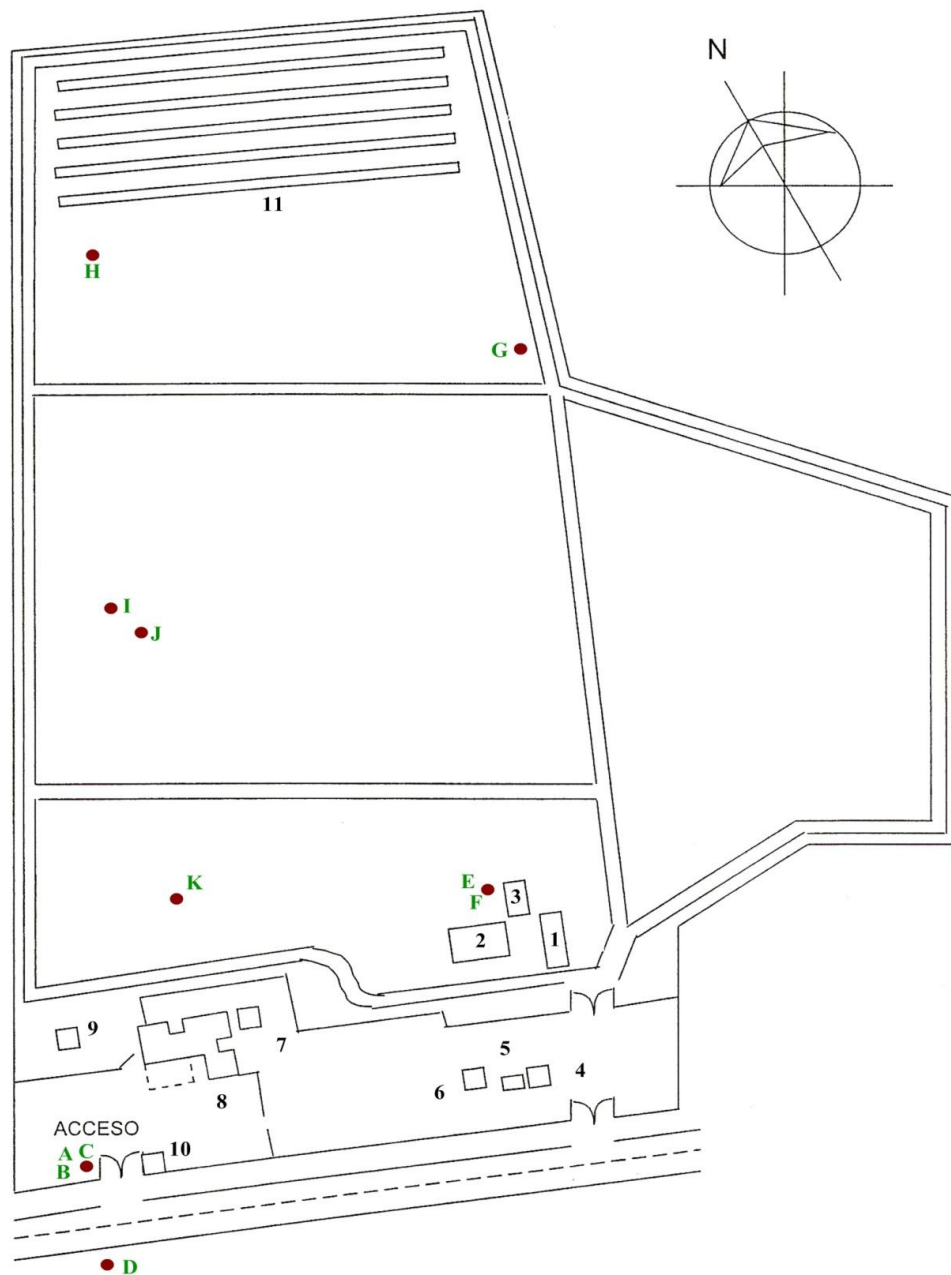
M_{aT} : Masa de la alícuota de la muestra (g)

M_T : Masa total de la muestra (suelo, agua y radiotrazador) (g)

M_S : Masa de suelo (g)

A_B : Actividad del testigo (cps)

A_T : Actividad de la muestra (cps)



1. Almacén I, 2. Almacén II, 3. Almacén III, 4. Bodega de materiales, 5. Caseta de herramientas, 6. Almacén IV, 7. Cuarto de archivo, 8. Edificio de oficinas, comedor y cocina, sanitarios y casa de máquinas, 9. Estación meteorológica, 10. Caseta de vigilancia, 11. Zona de trincheras.

Figura 1. Vista de planta del predio del CADER [1]



3. Resultados

Los valores de K_d para cada una de las muestras de las tres series se presentan en la tabla 2. En la serie 1 se utilizó ^{99m}Tc , en la serie 2 el radiotrazador fue ^{24}Na y en la serie 3 se utilizó ^{201}Tl .

Tabla 2. Valores de K_d del suelo del CADER para Tc-99m, Na-24 y Tl-201.

Muestra	Profundidad [m]	Serie 1 (^{99m}Tc)	Serie 2 (^{24}Na)	Serie 3 (^{201}Tl)	ID
T-1-0.3	0.3	0	17	1649	A
T-1-1.1	1.1	18	9	1893	B
T-1-2.5	2.5	0	20	1395	C
T-2-3.5	3.5	0	16	1544	D
T-3-sup	Superficial	0	21	1254	E
T-3-0.15	0.15	0	19	1252	F
T-4-sup	Superficial	0	8	1048	G
T-5-0.7	0.7	0	23	1362	H
T-6-sup	Superficial	0	16	1520	I
T-7-pi.var	Piedras varias superficie	0	29	1123	J
T-8-2.8	2.8	0	81	1895	K

Serie 1 (^{99m}Tc)

Para la mayor parte de las muestras, las pruebas de adsorción indican que el anión $^{99m}\text{TcO}_4^-$ no se adsorbe en condiciones normales en este tipo de suelos, por otro lado es importante destacar el comportamiento del K_d con respecto a las profundidades en la muestra 1, ya que en la profundidad intermedia de 1.1 m se obtuvo un K_d de 18, mientras que a otras profundidades de la misma muestra o de muestras diferentes como es el caso de la muestra 3 que maneja dos profundidades superficial y 0.15 m, los valores de K_d son cero.

Serie 2 (^{24}Na)

La muestra que presentó más afinidad hacia el $^{24}\text{Na}^+$ es la muestra 8 la cual se tomó a una profundidad de 2.8 m obteniéndose un valor de K_d de 81, mientras que la muestra que obtuvo el valor más bajo de K_d (8) fue la muestra número 4 que tiene una profundidad superficial. La muestra 3 presenta dos profundidades diferentes (superficial y 0.15 m) y; no presentó gran variación con respecto a su valor de K_d . La diferencia un poco marcada con respecto a las



profundidades se presenta de nuevo en la muestra 1, puesto que en esta muestra se obtuvieron distintos valores de K_d para cada profundidad, siendo el valor de K_d más bajo para la profundidad de 1.1 m.

Serie 3 (^{201}Tl)

Los valores de K_d para $^{201}\text{Tl}^{3+}$ muestran gran afinidad de adsorción en todas las muestras de tierra, sus valores oscilan desde 1000 hasta 1900, siendo el valor más pequeño el de la muestra 4 y el valor más alto le corresponde a la muestra 8. La muestra 1 presenta variación pequeña entre profundidades, en este caso destaca la similitud entre el valor de adsorción de muestra 1 a una profundidad de 1.1 m y la muestra 8 a una profundidad de 2.8 m. También es importante observar que la muestra 3 permanece prácticamente constante en la superficie que a una profundidad de 0.15 m.

4. Conclusiones

Los resultados (previamente reportados por el grupo del Laboratorio de Investigación de Desechos Radiactivos (LIDR), en relación a la adsorción de Tc-99m en una muestra de suelo, y a las propiedades físico-químicas de varias muestras de suelos del CADER [6,7]) indican que estos suelos presentan un escaso contenido de materia orgánica, y que el Tc-99m no es adsorbido por el suelo examinado. Estos resultados son congruentes con los datos obtenidos en este trabajo, en donde el Tc-99m no es retenido prácticamente por ningún tipo de suelo del CADER, a excepción de la muestra T-1-1.1 que presentó un valor de K_d pequeño, por lo cual se puede estimar que en este tipo de suelo el anión pertechnetato ($^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$) permanece en solución acuosa y no se favorece un intercambio iónico entre el anión pertechnetato y los iones contenidos en estos suelos, la estabilidad del anión pertechnetato en soluciones acuosas también concuerda con datos reportados en literatura [2].

Los suelos del CADER presentan una retención importante por los cationes Tl^{3+} ($K_d > 1000$), en tanto que una baja adsorción por los iones Na^+ ($K_d \sim 20$). Considerando que estos suelos están constituidas básicamente por albitas [$\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$], cristobalita [SiO_2], cuarzo [O_2Si] y



ferroactinolita $[(Ca, Na, K)2Fe_5Si_8O_{22}(OH)_2]$ [8], es posible explicar el comportamiento de adsorción de estos suelos en base al intercambio de iones. Así pues, es posible sugerir que estos suelos preferentemente pueden intercambiar el Al^{3+} por cationes con la misma carga, como es el caso del Tl^{3+} , y en menor medida sus iones de Na^+ , en tanto que prácticamente no hay intercambio de aniones del suelo al medio acuoso por ello la baja retención por el $^{99m}TcO_4^-$; sin embargo es necesario profundizar nuestros estudios sobre las propiedades físico-químicas de estos suelos para verificar este comportamiento.

5. Referencias bibliográficas

1. F. Monroy-Guzmán, M. Emeterio Hernández, J. Jiménez Domínguez. "Gestión de Desechos Radiactivos". *Actividad Científica y Tecnológica en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*. ININ, Editores Escobar Alarcón L., Monroy Guzmán F., Morales Ramírez P., Romero Hernández S., México, (2008).
2. Marsha I. Sheppard, Donald I. Beals, Denis H. Thibault, Patrick O'Connor. "Soil Nuclid Distribution Coefficients And Their Statistical Distribution", AECL-8364, Canada, (1984).
3. Adams, Melitón, *Fundamentos de Química de Suelos*, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, (1995).
4. McCabe Warren L., Smith Julian C., Harriot Peter, *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*, McGraw Hill, Madrid, España (1991).
5. M. L. Zhang, A. Ren, D. Shao, X. Wang., "Effect of fulvic acid and ionic strength on the sorption of radiostrontium on Chinese calcareous soil and its solid components", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **Vol. 268**, p. 33-36 (2006).
6. Rodríguez Nava C.; Monroy Guzmán, F.; Fernández Ramírez, E. et al.; "Adsorción de ^{99m}Tc , ^{201}Tl y ^{24}Na en Suelo del Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos", *Memorias del XXII Congreso Anual de la SNM y LAS/ANS Symposium*, Baja California Sur, Agosto (2011).
7. Hernández Trejo, U.; Monroy Guzmán, F.; Fernández Ramírez, E.; Anguiano Arevalo, J., "Caracterización Físico-Química de Suelos del Centro de Almacenamiento de Desechos

MEMORIAS

SECCIÓN QUÍMICA NUCLEAR

46° CONGRESO MEXICANO DE QUÍMICA

30° CONGRESO NACIONAL DE EDUCACIÓN QUÍMICA

10 al 14 de SEPTIEMBRE de 2011, QUERÉTARO QUERÉTARO



Radiactivos (CADER)”, Memorias del XXII Congreso Anual de la SNM y LAS/ANS Symposium, Baja California Sur, Agosto (2011).

8. Monroy-Guzmán, F.; Rivero, I.; Emeterio Hernández, M.; López Malpica, I. Z.; Jiménez Bravo, T. S.; Sánchez Manjares D.A.; “Preparación y Caracterización de Mezclas de Líquidos de Centelleo-Arcillas. Memorias del XLV Congreso Mexicano de Química, SQM, Riviera Maya, Quintana Roo, Septiembre (2010).