



Propiedades Ácido-Base de Suelo Mexicano

Claudia Estefany Rodríguez Nava^{1, 2}, Fabiola Monroy-Guzmán², Edelmira Fernández-Ramírez¹,
Jorge Anguiano-Arevalo²

¹Instituto Tecnológico de Toluca, Avenida Tecnológico s/n., 52140, Metepec, Edo. de México.

²ININ, Carretera México-Toluca s/n., 52750 Edo. de México.

estefany_rodriguez@hotmail.com ; fabiola.monroy@inin.gob.mx; edelmiraf@yahoo.com;
atractor@hotmail.com

Resumen

Las propiedades ácido-base de los suelos influyen en la capacidad de adsorción del suelo, por lo tanto, este trabajo presenta un estudio sobre las propiedades ácido-base de una muestra de suelo del Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos, con la finalidad de determinar su comportamiento. Se realizaron mediciones de pH y conductividad de: 1) lixiviados de suelo a diferentes tamaños de partícula, 2) fases líquidas obtenidas de pruebas de adsorción con Tl-201 y Tc-99m. Los resultados revelan que los lixiviados obtenidos de tamaños de partícula menores a 2 mm tienen un pH alcalino, mientras que para partículas mayores de 2mm se presenta un pH ácido. La conductividad de los lixiviados disminuyó en todos los casos indicando la disminución de los iones presentes, el pH y la conductividad de las fases líquidas de los estudios de adsorción tuvieron un comportamiento similar, ambos disminuían conforme la saturación de suelo de las muestras aumentaba.

1. Introducción

Las cargas eléctricas existentes en la superficie de las arcillas determinan los fenómenos físicos y químicos como intercambio iónico, adsorción, estabilidad coloidal, entre otros. Este fenómeno es de gran importancia en la química ambiental y en particular, en el transporte de contaminantes. En el caso del confinamiento de desechos radiactivos, es necesario conocer las propiedades superficiales de las arcillas para predecir los parámetros de protección a largo plazo que el suelo puede ofrecer a la migración de radionúclidos [1]. Hoy en día, las valoraciones potenciométricas son un importante método, para estudiar las propiedades de superficie de minerales y de sedimentos naturales. [2]

Los procesos de adsorción de radionúclidos en tierra, se ven afectados por las características de ésta (pH, porosidad, capacidad de intercambio iónico y catiónico, materia orgánica, entre otros), así como por propiedades de los radionúclidos presentes en el medio. Por ejemplo, se ha reportado que la cantidad de materia orgánica presente en el suelo contribuye a la adsorción de cesio, mientras que el carbonato de calcio afecta su retención [3]. Por ello, la determinación de pH y conductividad del suelo dan un panorama general de las condiciones del medio a las que los radionúclidos se enfrentan.

El pH de una solución define la cantidad de protones presentes en la solución. El concepto de pH se puede aplicar a sistemas heterogéneos como suspensiones de suelos, sin embargo, esta medida se ve afectada por los equilibrios de solubilidad, intercambio catiónico o posibles reacciones de hidrólisis. El pH del suelo se define como el de una suspensión de suelo en agua destilada o en una disolución no tamponada. Su valor depende por lo tanto, del líquido que se utilice, de la naturaleza y concentración de solutos así como de la proporción suelo-líquido [4]

La determinación de la conductividad eléctrica se realiza normalmente para indicar la concentración de componentes ionizados en las soluciones. El valor de la conductividad está relacionado con la suma de los



cationes (Ca, Mg, Na, K, etc.) o aniones (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, etc.) y en general tiene relación con los sólidos totales disueltos [5].

El Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos (CADER) es el sitio en México donde se almacenan los residuos temporales de las aplicaciones no energéticas de los radioisótopos. Ahí se tienen confinados radioisótopos como cobalto-60, cesio-137, americio-241/berilio, californio, además de mineral y jales de uranio entre otros [6], lo cual hace necesario conocer las propiedades ácido-base del terreno en el que está ubicado el CADER. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo estudiar el comportamiento del pH y la conductividad de una muestra de suelo del CADER mediante dos experimentos: el primero mediante un proceso de lixiviación del suelo a diferentes tamaños de partícula utilizando agua destilada como disolvente, y el segundo con alícuotas resultantes de un estudio de adsorción de los trazadores radiactivos Tl-201y Tc-99m en el suelo del CADER, realizado en trabajos previos por nuestro grupo [7].

2. Metodología

2.1 Tamizado del suelo

Para la realización de los experimentos se usó tierra del CADER; la cual fue obtenida de una fosa existente en el predio. La tierra fue secada al aire, molida y tamizada a distintos tamaños de partícula. Se usaron tamices Tyler de 9, 16, 35, 50, y 100 mallas. Obteniéndose los siguientes tamaños de partícula >2 mm, 2-1 mm, 1mm-425 μ m, 425-300 μ m, 300-150 μ m y <150 μ m.

2.2 Determinación de pH y conductividad de lixiviados

Se colocó en el fondo de una bureta de 100 mL, lana de vidrio y papel filtro, y se agregaron 10 gramos de suelo. A continuación se procedió al lixiviado de la tierra agregando alícuotas de 5 mL de agua destilada y se midió el pH y la conductividad de éste. Se adicionaron alícuotas de 5 mL, hasta que el pH y la conductividad se mantuvieran constantes. Esto se realizó para cada tamaño de partícula de la tierra.

La determinación de pH se realizó mediante un potenciómetro marca Termo Orión modelo 710, calibrado con soluciones buffer de pH 4, 7 y 10. La medición de la conductividad de las muestras se efectuó con un conductímetro marca YSI modelo 3200, calibrado con soluciones estándar de 1000, 10000, 50000 y 100000 μ S/cm.

2.3 Determinación de pH y conductividad de alícuotas de estudio de adsorción

Para cuantificar el comportamiento del pH y la conductividad después de la adsorción de radioisótopos, se analizaron las fases líquidas resultantes del estudio de adsorción de tierra con dos radiotrazadores (Tl-201 y Tc-99m) reportado en trabajos reportados por nuestro grupo [5]. En ese trabajo se determinó el coeficiente de adsorción (K_d) del suelo del CADER a dos diferentes tamaños de partícula: <150 μ m y 150-300 μ m, para Tl-201 y Tc-99m a diferentes relaciones masa de solvente:volumen de soluto (G). En este trabajo, se determinó el pH y la conductividad de las fases líquidas resultantes de dicho estudio, que contenían agua y radiotrazador; la medición se realizó cuando ya no presentaban actividad, con los mismo equipos del apartado anterior.



3. Resultados

3.1 Tamizado

La distribución de tamaños de partícula del suelo del CADER tamizado en este trabajo se presenta en la tabla I. El tamaño de partícula que tuvo la mayor proporción fue el $<150\mu\text{m}$ con el 28% del peso, una cuarta parte de la tierra tiene un tamaño entre 0.425-1mm, en tanto que la menor proporción se presenta en tierras $>2\text{mm}$.

Tabla I. Distribución de tierra por su tamaño de partícula

TAMAÑO DE PARTÍCULA	DISTRIBUCIÓN (g)	%PESO
$<150\mu\text{m}$	451.86	28.37
$300\mu\text{m}-150\mu\text{m}$	168.66	10.59
$425\mu\text{m}-300\mu\text{m}$	271.95	17.07
$1\text{mm}-425\mu\text{m}$	398.15	24.99
$2\text{mm}-1\text{mm}$	208.82	13.11
$>2\text{mm}$	93.49	5.87
Total	1592.93	100

3.2 Determinación de pH y conductividad de lixiviados

3.2.1 Lixiviados

3.2.1.1 pH de lixiviados

Los resultados obtenidos de pH de los lixiviados se muestran en la figura 1 y tabla II en los cuales se observa que el pH de los lixiviados de las tierras $300-425\mu\text{m}$, $0.425-1\text{mm}$ y $1-2\text{mm}$ aumenta a mayor cantidad de agua agregada, con un intervalo entre 7.9 y 9.4 aproximadamente. Sin embargo, para partículas $>2\text{mm}$ ocurre el proceso inverso, disminuyendo de 9.05 a 6.82. No se pudo obtener el pH ni la conductividad de los lixiviados del suelo con tamaños $<150\mu\text{m}$ y $150-300\mu\text{m}$ porque la tierra no dejaba pasar el agua con facilidad por el pequeño tamaño de partícula.

El pH alcalino de los lixiviados nos lleva a deducir que los compuestos presentes en éste son mayoritariamente aniones, que en el caso de los suelos corresponde a la existencia de carbonatos, sulfatos, cloruros entre otros. Se podría entonces suponer que los compuestos en forma aniónica de este suelo tienen mayor movilidad que el caso de compuestos en forma catiónico, sin embargo esto tendrá que ser verificado puntualmente con análisis elementales.



Tabla II. pH de lixiviados en función del tamaño de partícula del suelo.

Agua Destilada	pH			
mL	300-425µm	0.425-1mm	1-2 mm	>2mm
15	8.307	7.918	8.202	9.053
20	8.961	8.924	7.883	9.323
25	8.998	9.169	8.688	9.557
30	9.091	9.050	8.852	8.204
35	8.903	9.270	9.287	8.428
40	9.461	9.366	9.315	8.330
45	9.510	9.399	9.207	7.792
50	9.473	9.147	9.389	7.761
55	9.461	9.440	9.322	7.666
60	9.311	9.400	9.306	7.105
65	--	9.355	--	6.821
70	--	9.421	--	--

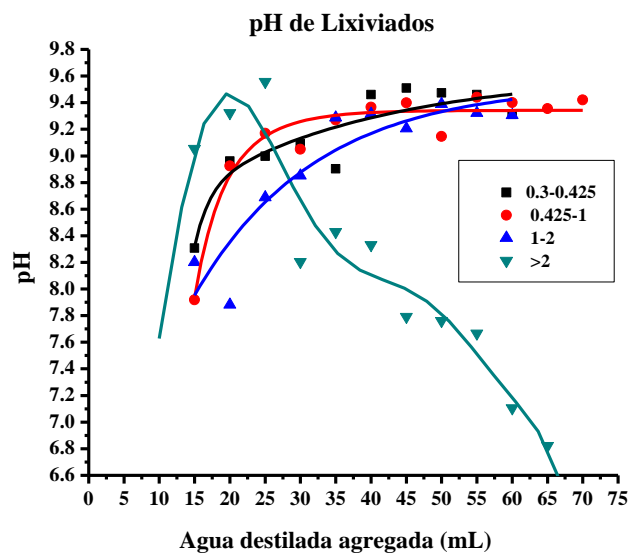


Figura 1. pH de lixiviados en función del tamaño de partícula del suelo.

Sin embargo, para el suelo con mayor tamaño de partícula, inicialmente se observa un aumento de pH y después una disminución, tendiendo a pH neutro. Por lo cual, después de cierta cantidad de lavados, se llega a un equilibrio entre los iones de la tierra.



3.2.1.2 Conductividad de lixiviados

La conductividad para todas las muestras de suelo disminuye conforme la cantidad de agua agregada aumenta. Para el suelo 1-2 mm disminuye notablemente, desde 5.932 a 0.0203 mS/cm y para el suelo 0.425-1 mm presenta la menor variación, desde 283 a 5.78 μm . En conclusión, los iones presentes en solución de disminuyen con los lavados, sin embargo, la cantidad de iones presentes en cada tamaño de partícula es diferente (tabla III y figura 2).

Tabla III. Conductividad de Lixiviados en función del tamaño de partícula del suelo.

Agua Destilada mL	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			
	300-425 μm	0.425-1 μm	1-2 mm	>2mm
15	1125.00	241.00	5932.00	283.00
20	195.90	135.60	572.50	88.60
25	75.40	47.00	118.02	76.75
30	80.77	36.35	146.90	54.00
35	75.83	39.08	49.72	26.02
40	38.20	27.00	35.45	18.15
45	34.30	23.20	43.95	20.60
50	44.68	33.44	28.50	40.27
55	29.35	20.03	23.09	10.14
60	28.75	14.97	20.28	7.16
65	--	14.51	--	5.78
70	--	15.95	--	--

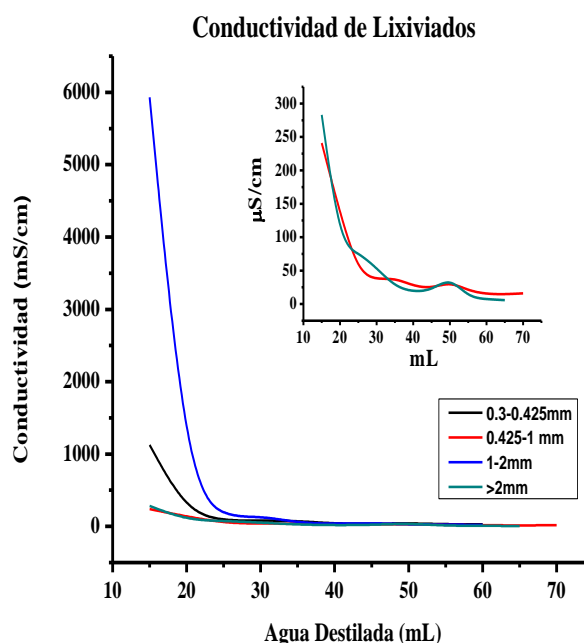


Figura 2. Conductividad de Lixiviados en función del tamaño de partícula del suelo.

3.2.2 Determinación de pH y conductividad de alícuotas de estudio de adsorción

3.2.2.1 pH de alícuotas de estudio de adsorción

Para las alícuotas resultantes del estudio de Tc-99m y Tl-201 con suelos <150 μm y 300-150 μm , el pH se muestra en la tabla IV y figura 3. El pH disminuye conforme aumenta el valor de la relación masa suelo/volumen de agua para la mayoría de las alícuotas. El tamaño de partícula tiene influencia en el pH de los lixiviados, a menor tamaño de partícula el pH de la fase líquida es más elevado, por ello el pH del lixiviado es más ácido a tamaño de partícula 150-300 μm



Tabla IV. pH de alícuotas de estudio de adsorción

Muestra	Masa suelo/volumen agua	pH
<150 μm Tc-99m	10	7.60
	100	7.35
	962	6.01
	8333	5.70
150-300 μm Tc-99m	10	7.19
	100	6.44
	1000	6.14
	10000	5.91
E1	--	5.68
E2	--	4.83

Muestra	Masa suelo/volumen agua	pH
<150 μm Tl-201	10	7.40
	100	6.85
	971	6.24
	7692	6.10
150-300 μm Tl-201	10	7.38
	100	6.74
	917	5.34
	5263	5.69
E1	--	5.29
E2	--	5.26

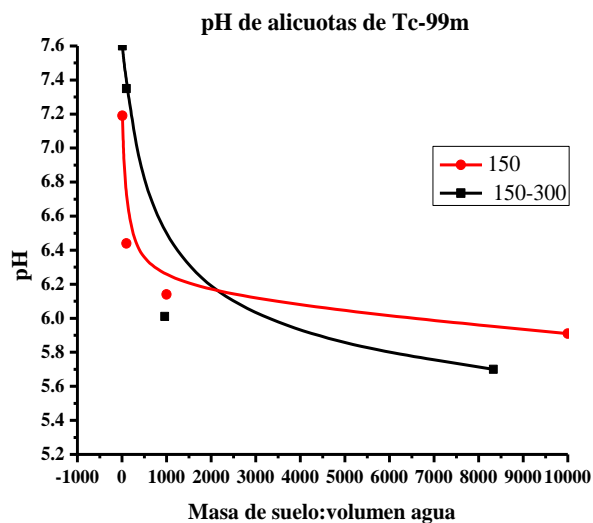
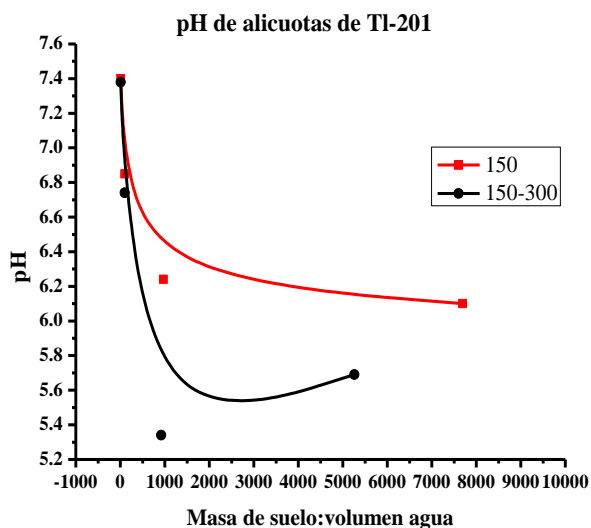


Figura 3. pH de alícuotas de estudio de adsorción

Teniendo en cuenta que los valores más altos de G (masa soluto/solvente) representan que la solución tiene mayor cantidad de solvente (agua) que de soluto (tierra); podemos deducir que el pH de las alícuotas es ligeramente ácido cuando la solución es diluida y tiende a ser neutro cuando aumenta la saturación de la solución. Además, los estándares presentan la mayor acidez en cada una de las pruebas, los cuales contienen sólo agua destilada cuyo pH es 5.6. Sin embargo, las alícuotas de las soluciones que contenían una cantidad considerable de suelo tienen pH neutro, lo que indica que los iones presentes en la tierra interactuaron con los H^+ del agua y del radiotrazador equilibrando la solución.



3.2.2.2 Determinación de conductividad de alícuotas de estudio de adsorción

La conductividad de las alícuotas de Tc-99m y Tl-201 para los suelos con tamaños de partículas <150 μm y 150-300 μm presentan una disminución a medida que la relación masa:volumen aumenta (figura 4). La conductividad de las alícuotas de talio prácticamente no tuvo variación con el tamaño de partícula, siendo el valor más alto de 119.6 $\mu\text{S/cm}$ y el más bajo de 8.98 $\mu\text{S/cm}$ correspondientes a la tierra <150 μm . Por otro lado, la conductividad para el tecnecio si presentó diferencias con respecto al tamaño de partícula, mostrando los valores mas altos el suelo <150 μm , con conductividades de 285.6 hasta 192.7.

Tabla V: Conductividad de alícuotas de estudio de adsorción

Muestra	Masa suelo/volumen de agua	Conductividad
<150 μm (Tc-99m)	10	285.6
	99.9	3900
	961.54	213.7
	8333.33	192.7
150-300 μm (Tc-99m)	10	251.3
	100	216
	1000	199.4
	10000	192.4

Muestra	Masa suelo/volumen de agua	Conductividad
<150 μm (Tl-201)	9.99	119.6
	100	39.5
	970.87	17.23
	7692.3	8.98
150-300 μm (Tl-201)	9.98	108.3
	100	37.45
	917.43	28.66
	5263.18	9.43

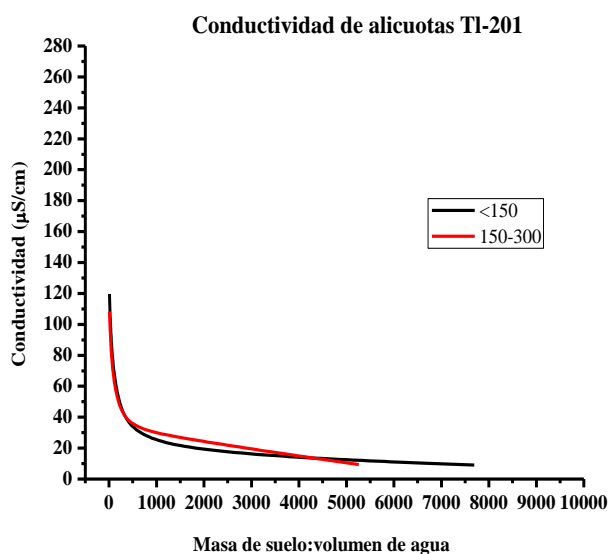
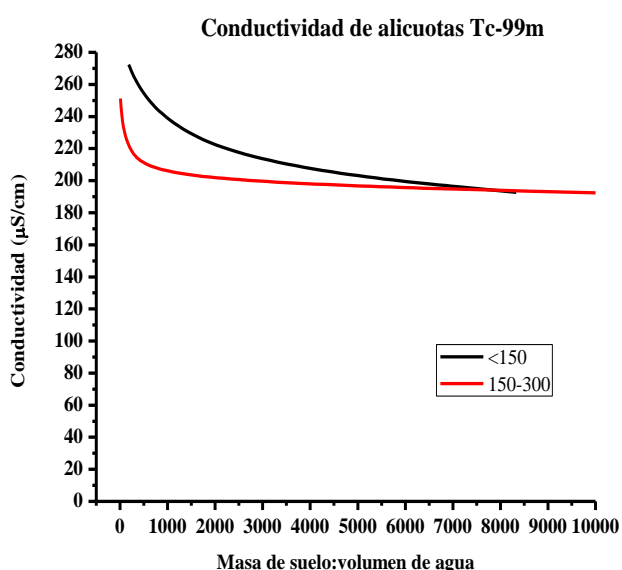


Figura 4. Conductividad de alícuotas de estudio de adsorción



La acidez del suelo está asociada con una disminución de sales minerales y consecuentemente con la conductividad eléctrica, por ello en suelos básicos la conductividad aumenta [8]. Este comportamiento presenta en los experimentos de talio y tecnecio, donde la disminución del pH provoca a su vez, la disminución de la conductividad.

4. Conclusiones

El pH de los lixiviados de las muestras de suelo del CADER, aumenta a mayor cantidad de agua agregada; a excepción de la tierra de tamaño de partícula mayor de 2 mm, en el que el pH de los lixiviados decrece al añadir más agua. La conductividad de todos los lixiviados disminuye al aumentar la cantidad de agua adicionada, siendo el suelo 1-2 mm el que presenta la mayor variación de conductividades.

Para los estudios de adsorción, el pH de las fases líquidas disminuye cuando la saturación aumenta. Esta disminución va desde 7.5 hasta 5.6. El tamaño de partícula <150 μm es el que presenta el pH más elevados en ambos radiotrazadores. La conductividad también disminuye conforme aumenta la saturación, en un intervalo de 270 hasta 9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las conductividades de las alícuotas de talio y tecnecio para ambos tamaños de partícula fueron prácticamente iguales, por lo que concluimos que el tamaño de partícula no influye en la conductividad de las fases líquidas.

5. Bibliografía

1. Myriam Duc, Fabien Gaboriaud and Fabien Thomas, "Sensitivity of the acid–base properties of clays to the methods of preparation and measurement" *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol 289, 139-147 (2005).
2. Wenxin Liu, Zhongxi Sun, Willis Forsling, Qing Du and Hongxiao Tang. "A Comparative Study of Surface Acid–Base Characteristics of Natural Illites from Different Origins", *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol 219, 48-61 (1999).
3. Zhang, M.L.; Ren, A.; Shao, D.; Wang, X.; "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, 33-36 (2006)
4. Llorca, R. *Prácticas de Atmósfera, Suelo y Agua*. Universidad Politécnica de Valencia, España (2006)
5. Soriano, M.; Pons, V. *Prácticas de Edafología y Climatología*. Universidad Politécnica de Valencia, España (2001)
6. Monroy-Guzmán, F.; Emeterio H., M.; Jiménez D., Juan. "Gestión de Desechos Radiactivos". *Actividad Científica y Tecnológica en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*. Innovación Editorial Lagares, México (2008)
7. Rodríguez, C.; Monroy-Guzmán, F.; Fernández, E.; Anguiano-Arévalo, J.; De la Cruz, E. "Adsorción de $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl y ^{24}Na en Suelo del Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos". *Memorias del XXII Congreso XXII Anual de la SNM y LAS/ANS Symposium, Baja California Sur, Agosto de 2011*.
8. Steubing, Lore; Godoy, Roberto; Alberdi, Miren. *Métodos de ecología vegetal*. Editorial Universitaria, Chile (2002)