

## **Influencia del contenido de humedad en la composición iónica de sedimentos lacustres**

PÉREZ-DÍAZ, José Pedro, ORTEGA-ESCOBAR, Héctor Manuel, RAMÍREZ-AYALA, Carlos, FLORES-MAGDALENO, Héctor, SÁNCHEZ-BERNAL, Edgar Iván, MANCILLA-VILLA, Oscar Raúl y CAN-CHULIM, Álvaro

J. Pérez<sup>1</sup>, H. Ortega<sup>2</sup>, C. Ramírez<sup>3</sup>, H. Flores<sup>4</sup>, E. Sánchez<sup>5</sup>, O. Mancilla<sup>6</sup> y Á. Can<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Carr. México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, C.P. 56230

<sup>2</sup>Instituto de Ecología, Universidad del Mar Campus Puerto Ángel, Pochutla, Oaxaca, México. C.P. 70902

<sup>3</sup>Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Av. Independencia Nacional 151. Autlán de Navarro, Jal. México. C.P. 48900

<sup>4</sup>Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela Km. 9. Xalisco, Nayarit, México. C.P. 63780

josepedro.perez@colpos.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

In this study the chemical composition of lacustrine sediments was determined in the crater lake La Alberca, located in Valle de Santiago, Guanajuato. To carry out this study, samples of lacustrine sediments were collected with an auger to one meter deep during spring of 2015. The objective was to know the concentration of the major ions in the sediment extract. Analysis of the results shows that the moisture content influenced in the total salinity, the pH and in the change of type of salinity from  $\text{NaHCO}_3$  to  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Changes in the alkalinity, salinity, and the volume reduction were attributed to moisture loss due to evaporation.

## 8 Introducción

Las zonas lacustres son regiones donde han existido lagos, que por razones climáticas y actividad humana tienen estados avanzados de desecación. La mayoría de estas zonas se encuentra con diferente grado de afectación por salinidad, misma que está relacionada con variables climáticas como temperatura y precipitación. Los sedimentos del ex-lago de Texcoco presentan altos niveles de salinidad (Pérez-Díaz *et al.*, 2013) al igual que en este trabajo, sin embargo, es necesario señalar que el tipo de sales y su concentración dependen del contenido de humedad; en ese sentido Mancilla-Villa *et al.* (2014) demostraron que la evaporación favorece la concentración de las soluciones, mientras que la precipitación diluye la concentración de la salinidad. Por lo tanto, las regiones con escasa precipitación pluvial (las zonas áridas y semiáridas) estarán mayormente afectadas por la concentración de sales en la superficie (Kovda 1973).

Los problemas de salinidad generalmente se estudian desde una perspectiva agronómica debido a que influyen negativamente en la producción de cultivos (Richards *et al.*, 1982), en este estudio la perspectiva es, fundamentalmente, geoquímica.

Se trata de una investigación con enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo, comparativo y correlacional (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014) cuya hipótesis plantea que el contenido de humedad influye en la composición química de los sedimentos; el objetivo fue conocer la composición iónica del extracto de saturación de los sedimentos secos a la intemperie y tamizados y, sin secar ni tamizar; las muestras provienen del lago cráter La Alberca que se encuentra en Valle de Santiago, el cual presenta un alto grado de salinidad y está prácticamente seco. Se observó que el contenido de humedad influyó en la composición iónica de los sedimentos así como en la alcalinidad de los mismos.

### 8.1 Metodología

El cráter La Alberca se encuentra en Valle de Santiago, Guanajuato ( $20^{\circ}23'23.19''$  N,  $101^{\circ}12'5.19''$  O; 1690 msnm); en éste se perforó un pozo con una barrena y se obtuvieron sedimentos cada diez centímetros hasta una profundidad de un metro. Los sedimentos se colectaron e identificaron en doble bolsa de polietileno negro para evitar la pérdida de humedad. Dada la naturaleza destructiva del muestreo, éste se realizó en una sola etapa sin repeticiones durante la primavera de 2015. Las muestras fueron divididas en dos partes: a una de ellas en su estado natural, se le determinó su contenido de humedad y, fueron saturados 500 g. de sedimento con agua destilada, se dejaron en reposo durante 24 horas para medir la humedad en saturación, posteriormente, mediante un sistema de filtración al vacío se extrajo el lixiviado. La otra parte fue secada a la intemperie, luego, molida y tamizada se determinó la humedad, se saturaron 400 g. de sedimento con agua destilada y se dejaron reposar 24 horas para medir la humedad en saturación, luego, con el sistema de filtración al vacío se extrajo el lixiviado. El pH, sólidos totales (ST), cationes y aniones, se midieron en el lixiviado extraído de los sedimentos (Richards *et al.*, 1982).

**Tabla 8** Metodología para el análisis del lixiviado de los sedimentos

Determinación	Unidad	Método	Referencia
Humedad	%	Gravimétrico	Richards <i>et al.</i> , 1982; Eaton <i>et al.</i> , 1998.
pH		Potenciómetro	
ST	%	Gravimétrico	
Ca <sup>2+</sup>	meq/100 g. de sedimento	Titulación con EDTA	
Mg <sup>2+</sup>		Flamometría	
Na <sup>+</sup>			
K <sup>+</sup>		Titulación con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Titulación con AgNO <sub>3</sub>		
Cl <sup>-</sup>			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Turbidimétrico		

Fuente: Elaboración propia de la investigación

Se calcularon los estadísticos descriptivos de las variables (mínimo, máximo, promedio, desviación estándar y coeficiente de variación) así como la relación entre humedad, pH, ST, cationes y aniones mediante el coeficiente de correlación de Spearman. El análisis estadístico de las variables se realizó con el programa IBM SPSS® Statistics versión 22.0.

## 8.2 Resultados y discusión

### 8.2.1 Análisis de los resultados obtenidos en los sedimentos con humedad natural

En la Tabla 8.1 se muestran los resultados del contenido de humedad de los sedimentos, se observa que tienen elevado contenido de humedad, el valor mínimo de humedad corresponde a la capa superficial a 10 cm. de profundidad, y el máximo se presentó a un metro de profundidad, estos valores se explican por la mayor pérdida de humedad en la superficie por evaporación. Debido al elevado contenido de humedad se requirió agregar poca agua destilada para obtener el punto de saturación de los sedimentos; una vez que se saturaron se midió su volumen, posteriormente fueron secados a 105° C y se midió su volumen nuevamente, la diferencia entre estas dos mediciones indicó la pérdida de volumen atribuida a la pérdida de humedad por evaporación; en este sentido, la pérdida de humedad inducida provocó la reducción de volumen y endurecimiento de los mismos, este fenómeno explicaría el hundimiento y agrietamiento observado en el cráter. Los sedimentos expuestos a la intemperie tuvieron muy bajo contenido de humedad. La pérdida total de humedad se calculó mediante la diferencia entre la humedad natural y la humedad después de desecación, los resultados mostraron que la pérdida de humedad fue muy grande y provocó endurecimiento y reducción de volumen de la masa de sedimentos expuestos. Con respecto a la variación de cada una de las variables medidas, de acuerdo con los valores del coeficiente de variación, se consideró que fue baja.

**Tabla 8.1** Estadísticos descriptivos de las variables humedad y volumen

	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	CV
Humedad natural (%)	109.54	383.3	303.82	93.23	30.68
Humedad en saturación (%)	164.47	422.54	355.40	85.49	24.05
Volumen en saturación (cm <sup>3</sup> )	114.83	147.98	127.32	13.77	10.81
Volumen en seco a 105 °C (cm <sup>3</sup> )	37.41	69.46	53.61	8.94	16.67
Pérdida de volumen (cm <sup>3</sup> )	53.57	103.45	73.70	17.09	23.18
Humedad seco al aire (%)	4.53	7.95	6.82	1.04	15.24
Pérdida de humedad (%)	105.01	376.48	297	92.42	31.11

Fuente: Elaboración propia de la investigación

Para observar la relación entre algunas de las variables, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman (Tabla 8.2). Los valores positivos del coeficiente de correlación indican que las variables relacionadas crecen o decrecen simultáneamente, mientras que los valores negativos indican que cuando el valor de una variable crece la otra disminuye (García-Cué *et al.*, 2007) de manera que la pérdida de volumen y el endurecimiento de los sedimentos se atribuyeron a la pérdida de humedad por evaporación (Figura 8).

**Tabla 8.2** Coeficientes de correlación de Spearman

	Humedad natural	Humedad en saturación	Volumen en saturación	Volumen en seco a 105 °C
Humedad en saturación	1.0**			
Pérdida de humedad	1.0**	1.0**		
Pérdida de volumen			0.67**	-0.62*

Fuente: Elaboración propia de la investigación;  $\alpha=0.05$

**Figura 8** Pérdida de volumen de los sedimentos expuestos a desecación a 105° C



Fuente: Elaboración propia de la investigación

La composición iónica de los sedimentos (Tabla 7.3) muestra que el coeficiente de variación es medio, dicha variación se explica debido a que la distribución de los iones en el perfil es heterogénea. El pH y la salinidad total (ST) mostraron coeficiente de variación bajo, ello indica que la alcalinidad en el perfil es más o menos homogénea al igual que la salinidad total; en este sentido, se trata de sedimentos salino-alcalinos (Kovda 1973).

La composición de los sedimentos con respecto de los iones mayoritarios, considerando el promedio, indica la siguiente secuencia de concentración de cationes y aniones:  $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} = \text{Ca}^{2+}$ ;  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^-$ . De acuerdo con estas secuencias puede deducirse que la sal predominante en los sedimentos es bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ).

**Tabla 8.3** Estadísticos descriptivos de la composición iónica del extracto de saturación de los sedimentos

	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ST
		meq / 100 g. de sedimento								
Mínimo	8.97	0.005	0.002	1.479	0.131	0.310	0.740	0.237	0.272	2.58
Máximo	9.33	0.015	0.020	5.555	0.684	1.091	1.488	0.750	1.309	4.34
Promedio	9.07	0.008	0.008	2.303	0.228	0.475	1.013	0.468	0.669	2.93
Desviación estándar	0.10	0.002	0.005	1.205	0.167	0.226	0.234	0.170	0.368	0.51
CV	1.10	25	62.5	52.32	35.15	47.57	23.09	36.32	55.00	17.40

Fuente: Elaboración propia de la investigación

El agua del cráter La Alberca fue estudiada por Orozco y Madianaveitia (1941); ellos encontraron alta alcalinidad y, salinidad elevada cuya dominancia fue  $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4$ . La suma de los iones encontrados fue igual a  $8.0695 \text{ g L}^{-1}$  y, la CE estimada a partir de los datos reportados por los autores fue de  $12.6086 \text{ dS m}^{-1}$ . Por lo cual, algunas características del agua que contenía el cráter están en correspondencia con las de sus sedimentos. Para observar la influencia de la humedad en la composición iónica de los sedimentos, se determinó el coeficiente de correlación de Spearman (Tabla 8.4). El contenido de humedad influyó en algunas variables, afectó el contenido de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y ST. El coeficiente de correlación de Spearman indica que el incremento en el contenido de humedad disminuyó la concentración de  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y ST, ello se explica por el factor de dilución, y en caso que ocurra la disminución en el contenido de humedad quedan en solución las sales de mayor solubilidad. Se observa que la humedad no afectó la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ ; en el caso del  $\text{Na}^+$  y el  $\text{Cl}^-$  se debe a que forman cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) y ésta es una sal de alta solubilidad que se encuentra aún a bajos niveles de humedad lo mismo que en humedad elevada; con respecto al  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{CO}_3^{2-}$  forman la sal de  $\text{CaCO}_3$  y esta es de muy baja solubilidad ( $0.0131 \text{ g L}^{-1}$ ) y no se encontró como principal componente en los sedimentos. La concentración de  $\text{HCO}_3^-$ , de acuerdo con el coeficiente de correlación de Spearman, incrementa o disminuye conforme exista mayor o menor contenido de humedad.

**Tabla 8.4** Influencia del contenido de humedad en la composición iónica de los sedimentos

	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ST
H Nat	0.383	-0.730*	0.006	-0.638*	0.324	0.954**	0.123	-0.782**	-0.770**
H Sat	0.383	-0.730*	0.006	-0.638*	0.324	0.954**	0.123	-0.782**	-0.770**

Fuente: Elaboración propia de la investigación;  $\alpha=0.05$

### 8.2.2 Análisis de los resultados obtenidos en los sedimentos secos a la intemperie

Dado que se observó que el contenido de humedad influyó en la concentración y composición de los sedimentos, en la Tabla 8.5 se muestran los estadísticos descriptivos de la humedad en los sedimentos expuestos a desecación a la intemperie.

**Tabla 8.5** Contenido de humedad y volumen en los sedimentos secos a la intemperie

	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	CV
Humedad en saturación (%)	96.81	186.29	156.88	31.13	19.84
Volumen en saturación (cm <sup>3</sup> )	105.68	117.56	110.06	3.85	3.49
Volumen en seco a 105 °C (cm <sup>3</sup> )	87.03	95.03	90.90	2.12	2.33
Pérdida de volumen (cm <sup>3</sup> )	14.57	19.46	17.36	1.76	10.13

Fuente: Elaboración propia de la investigación

El promedio de la humedad en saturación de los sedimentos secos a la intemperie fue menor que la de los sedimentos saturados con humedad natural. El volumen en seco a 105 °C de los sedimentos secos fue mayor con respecto de los sedimentos con humedad natural, mientras que la pérdida de volumen en los sedimentos secos fue menor que la de los que conservaron su humedad natural. Ello indica que la pérdida de humedad fue irreversible.

En la Tabla 8.6 se reportan los estadísticos descriptivos de la composición iónica de los sedimentos secos a la intemperie, el pH fue altamente alcalino, la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  fue muy baja, el  $\text{Na}^+$  predomina sobre los demás cationes; con respecto a los aniones, la mayor concentración corresponde al  $\text{SO}_4^{2-}$  y, la salinidad total fue en promedio de 8.8%. El coeficiente de variación fue bajo, excepto en el  $\text{Cl}^-$  debido a su distribución heterogénea en el perfil.

**Tabla 8.6** Estadísticos descriptivos de la composición iónica de los sedimentos secos a la intemperie

	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	ST
		meq / 100 g. de sedimento							
Mínimo	9.76	0.02	0.02	45.58	3.40	9.03	4.14	21.80	7.65
Máximo	10.14	0.03	0.03	94.25	6.34	21.76	25.35	33.79	11.22
Promedio	10.02	0.01	0.01	70.61	4.93	16.31	14.40	30.12	8.81
Desviación estándar	0.13	0.003	0.003	13.70	0.81	3.99	8.58	3.60	1.11
CV	1.29	30	30	19.40	16.43	24.46	59.58	11.95	12.59

Fuente: Elaboración propia de la investigación

El cráter La Alberca se encuentra seco, Alcocer *et al.* (2000) atribuyeron el estado de desecación a la extracción de agua subterránea y a la desviación de flujos de agua para la irrigación. Debido a que la desecación de los sedimentos indujo algunos cambios en la composición iónica de los mismos, se realizó la determinación del coeficiente de correlación de Spearman (Tabla 8.7) para observar la influencia del contenido de humedad en saturación; la desecación y rehidratación provocó la alcalinización (incremento en el pH) de los sedimentos.

**Tabla 8.7** Influencia del contenido de humedad en la composición iónica de los sedimentos secos a la intemperie

	pH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{Cl}^-$
HSSSat	0.83**	-0.64*	-0.64*	0.74*	0.90**	0.65*

Fuente: Elaboración propia de la investigación;  $\alpha=0.05$

El coeficiente de correlación de Spearman indica que a mayor contenido de humedad en saturación mayor valor de pH. La pérdida de humedad provoca la precipitación de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , el coeficiente de Spearman indica que la rehidratación de los sedimentos solubiliza parte del  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y la disociación electrolítica de la solución los deja en su forma iónica  $\text{Na}^+$  y  $\text{CO}_3^{2-}$ , lo mismo ocurre con el  $\text{NaCl}$ , se disocia en  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ . En el caso del  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , estos iones precipitan y, debido a su baja solubilidad y concentración, son apenas cuantificables en la solución de los sedimentos.

De acuerdo con la composición iónica puede establecerse la siguiente secuencia de concentración de cationes:  $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} = \text{Mg}^{2+}$ ; y con respecto de los aniones:  $\text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^-$ , por lo tanto, en este caso el tipo de sal predominante fue sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

### 8.3 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos bajo las condiciones en que se realizó esta investigación, se concluye que el contenido de humedad influyó en la composición iónica de los sedimentos, se encontró mayor concentración de sales a bajos niveles de humedad; por lo tanto, se cumplieron los objetivos y no se rechaza la hipótesis planteada.

Los cambios en la salinidad cuantitativa y cualitativa se atribuyen a la pérdida de humedad por evaporación ya que la desecación de los sedimentos provocó mayor alcalinización, incrementó la salinidad total, así como la mayor concentración de  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  y, disminución total de  $\text{HCO}_3^-$ .

La salinidad cambió de  $\text{NaHCO}_3$  en sedimentos con humedad natural a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  en los sedimentos secos a la intemperie. La pérdida de humedad en los sedimentos fue irreversible y disminuyó el volumen de los mismos.

### 8.4 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, por la asignación de recursos económicos.

### 8.5 Referencias

- Alcocer, J., Escobar, E. & Lugo, A. 2000. Water use (and abuse) and its effects on the crater-lakes of Valle de Santiago, México. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 5: 145-149.
- Eaton, A. D., Greenberg, A. E. & Clescerl, S. L. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> edition. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF). Clescerl, S. L.; Greenberg E. A. and Eaton A. D. (editors). Washington, D. C. EUA. 1325 p.
- García-Cué, J. L., Santizo-Rincón, J. A., Jiménez-Velázquez M. A. & Marques Dos Santos, M. J. (2007). Probabilidad y estadística. Colegio de Postgraduados y FESZ-UNAM. [En línea] <http://colposfesz.galeon.com>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. & Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. McGraw-Hill Interamericana S.A. de C.V. México D.F.
- Kovda, V. A., (1973). Landscapes in relation to irrigation, drainage and salinity. In: Irrigation, drainage and salinity. An international source book. Chapter 6. FAO/UNESCO. Hutchinson. pp 155-176.
- Mancilla-Villa, O. R., Bautista-Olivas, A. L., Ortega-Escobar, H. M., Sánchez-Bernal, E. I., Can-Chulim, Á., Guevara-Gutiérrez, R. D. & Ortega-Mikolaev, Y. M. (2014). Hidrogeoquímica de salinas Zapotitlán y los lagos-cráter Alchichica y Atexcac, Puebla. *IDESIA* 32: 55-69.
- Orozco, F. & Madinaveitia, A. (1941). Estudio químico de los lagos alcalinos: origen del carbonato sódico. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*. 12: 429-438.

Pérez-Díaz, J. P., García-Domínguez, Y. B., Terrazas-Mendoza, L., Ramírez-Ayala, C. & Ortega-Escobar, H. M. (2013). Composición y caracterización química del suelo: indicadores de salinidad y sodicidad. Memorias del XVII Congreso Nacional de Irrigación. 2-6 de septiembre de 2013, Puerto Vallarta, Jalisco, México. pp. 99.

Pérez-Díaz J. P., Ortega-Escobar H. M., Ramírez-Ayala C., Flores-Magdaleno H., Sánchez-Bernal E. I., Can-Chulim A. & Mancilla-Villa O. R. (2016). Índice de salinidad y contenido de humedad en sedimentos lacustres. Magdaleno-Villar, J. J., Martínez-Solís, J., Magaña-Lira, N., López-Rojo, M. (eds.). Memoria del IV Congreso Internacional y XVIII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma Chapingo, 20 al 22 de abril de 2016. Chapingo, Estado de México, México.

Richards, L. A., Allison, L. E., Brown, J. W., Hayward, H. E., Bernstein, L., Fireman, M., Pearson, G. A., Wilcox, L. V., Bower, C. A., Hatcher, J. T. & Reeve, R. C. (1982). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. L. A. Richards, editor. Traducción al español: Sánchez-Durón, N., Ortega-Torres, E., Vera y Zapata, R., & Chena-Gonzalez, R. Ed. Limusa, S.A., México, D. F. 172 p.