

## **VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA SALINIDAD DEL NIVEL FREÁTICO DE UN HUMEDAL SALINO POR EFECTO DE LA OSCILACIÓN DEL SUR.**

**OSVALDO A. BARBOSA<sup>1</sup>, JESICA I. CISMONTI<sup>2</sup>, JORGE L. MORES<sup>2</sup>, DANIEL A. RISCOSA<sup>2</sup>, RICARDO A. CERDA<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup> Profesor Titular, Dpto Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de San Luis, baldibarbosa@yahoo.com.ar.

<sup>2</sup> Integrantes PROICO 14-0116, FICA, Universidad Nacional de San Luis.

Apresentado no  
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017  
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

**RESUMEN:** El movimiento de sales en el suelo y su acumulación se asocia a la salinidad freática y es causada por difusión, convección o ambos procesos simultánea o sucesivamente. Se estudió la variabilidad de la salinidad freática, con y sin el fenómeno de “El Niño”. Se determinó la salinidad en mayo y noviembre (2011 y 2015), en diferentes tipos fisonómicos establecidos en trabajos anteriores. La comparación entre muestreos de mayo muestra un aumento de los parámetros como pH (6,5 a 15,4%), CE (conductividad eléctrica, 29,6 a 58%), RS (residuo seco, 32,4 a 160%), RAS (relación de absorción de sodio, 67,7 a 105,1%). Entre los aniones aumenta el  $\text{SO}_4^-$  (87,1 a 253,1%) y en los cationes, el  $\text{Na}^+$  (56,1 y 177,8%). La comparación de noviembre, el pH es invariable, la CE disminuye, mientras aumenta RS (25,7 a 137,3%) y RAS (121,7 y 266,8%). Entre los aniones aumenta el  $\text{SO}_4^-$  (17,7, a 114,6%) y el  $\text{Cl}^-$  (182,6 a 477,9%); entre los cationes el  $\text{Na}^+$  (79,9 a 278,4%); excepto para el matorral halófilo donde disminuyen todos sus valores. Se concluye que las aguas son sulfato sódicas y que el incremento de las precipitaciones por efecto de “El Niño” drena las sales del humedal.

**PALABRAS CLAVE:** salinidad, humedal, oscilación del sur.

## **TEMPORAL VARIABILITY OF SALINITY OF THE PHREATIC LEVELS THE SALINE WETLAND BY EFFECT OF THE SOUTHERN OSCILLATION.**

**ABSTRACT:** The movement of salts in the soil and its accumulation is associated to the salinity of water table and is caused by diffusion, convection, or both processes simultaneously or successively. We studied the variability of salinity groundwater, with and without the "El Niño" phenomenon. Salinity was determined in May and November (2011 and 2015), in the physiognomic types established in previous works. The comparison between sampling times may show an increase in the parameters such as pH (6.5 to 15.4%), EC (electrical conductivity, 29.6 to 58%), RS (dry residue, 32.4 to 160%), RAS (sodium absorption ratio, 67.7 to 105.1%). Between the anions increases the  $\text{SO}_4^-$  (87.1 to 253.1%) and in the cations, the  $\text{Na}^+$  (177.8 and 56.1%). The comparison of november, the pH is unchanged, the EC decreases, while increasing RS (25.7 to 137.3%) and RAS (121.7 and 266.8%). Between the anions increases the  $\text{SO}_4^-$  (17.7 to 114.6%), and the  $\text{Cl}^-$  (182.6 to 477.9%); between the cations  $\text{Na}^+$  (79.9 to 278.4%); except for the halophyte scrub where decreases all their values. It is concluded that the waters are sodium sulfate and that the increase in precipitation due to the effect of "El Niño" drains the salts of the wetland.

**KEYWORDS:** salinity, wetland, Southern oscillation.

## **INTRODUCCION:**

La aparición de nuevos cursos de agua en la Cuenca “El Morro” (San Luis, Argentina) está generando una serie de impactos negativos en la región y presenta serias amenazas a futuro, lo que plantea la urgente necesidad de un mejor conocimiento de estos procesos a fin de minimizar los daños (BARBOSA et al., 2016). Una de las causas es el aumento de las precipitaciones que ocurren en el sector.

La Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) de la Universidad Nacional de Córdoba asegura que entre 1941 y 2010 la variable climática que más cambió en la región central de Argentina no fue la temperatura, sino la cantidad de lluvia anual (UNCIENCIA, 2014). Esto fue confirmado por MAGRÍN (2013) para San Luis.

El aumento en las precipitaciones explica en parte el avance de la agricultura y la ganadería hacia regiones más semiáridas en las últimas décadas (KARLIN, 2012).

La causa de la variación de las temperaturas y precipitaciones puede deberse a eventos ENOS (El Niño Oscilación Sur). Muchas de las anomalías climáticas observadas coinciden con estos eventos, aunque su influencia sobre el clima local todavía no está del todo clara (FERNÁNDEZ LONG et al., 2008).

Podría especularse entonces, que los eventos El Niño son cada vez más frecuentes, mientras que los eventos La Niña son menos frecuentes, tal como lo pronosticara el IPCC (2001), aunque dichas tendencias no están bien definidas.

Por otro lado, la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas es un determinante esencial de la distribución de la vegetación, del mismo suelo y por ende del paisaje (BARBOSA et al, 2016). El nivel freático es un factor importante en la determinación de los patrones de salinización y determina la aparición de condiciones particulares, originando un ambiente en el que se van a instalar organismos especialmente adaptados o que se ven favorecidos competitivamente (ÁLVAREZ ROGEL, 1999).

Estudios actuales sobre sistemas de flujo de aguas subterráneas han adoptado la dinámica hidráulica basado en la gravedad del flujo de las aguas subterráneas (BREDEHOEFT et al. 1982). Asimismo, el movimiento de las sales dentro del perfil del suelo y su acumulación en la superficie está asociado con la concentración salina del nivel freático (de OLIVEIRA 1997) y es causada por difusión, convección o ambos procesos simultánea o sucesivamente (LAVADO et al. 1992).

De acuerdo a estos antecedentes, el objetivo del presente trabajo es estudiar la variabilidad de la salinidad del agua freática, con y sin el fenómeno ENOS durante mayo y noviembre 2011 y 2015 (con ENOS).

## **MATERIALES Y METODOS:**

El área de estudio comprendió una depresión salina denominada “Bajo La Salada” que se encuentra a 7 km al norte de la ciudad de Villa Mercedes con una elevación máxima de 505 msnm y una superficie de 87,2 ha.

PACHECO et al. (2010) determinaron los tipos fisonómicos y BARBOSA et al. (2014) los suelos del área que se muestran en la Tabla 1.

El subpaisaje sector llano (A) corresponde al sector más alto del sector y se caracteriza por la presencia de especies como *Prosopis caldenia* (“Calden”) y *Geoffroea decorticans* (“Chañar”), altamente deseables por su madera y que prácticamente han dejado de encontrarse en forma de bosques en el sector, presentándose en forma secundaria un monte halófilo (Figura 1).

El sector alto (B) comprende matorrales halófilos de *Atriplex undulata* y *Atriplex lampa* (“Zampa”), que termina muchas veces abruptamente en forma de un pequeño escarpe o barranco.

Prosigue un sector intermedio (C) que posee pendientes cortas con salinidad en superficie donde se encuentran parches de arbustal halófilo rastrero compuesto por *Sarcocornia neei* (“Jume”) como especie dominante.

Posteriormente se encuentra un sector bajo con salinidad en superficie que posee una pradera halófila con *Distichlis spicata* (“Pasto salado”) como especie dominante. Esta pradera se encuentra en forma abierta (D) donde el “Pasto salado” se encuentra dominando al suelo desnudo o de manera densa (E), siendo lugares con inundaciones temporales y aparición de algas.

Por último aparece un sector con inundaciones periódicas (F), las playas salinas, que se corresponden con los sectores más bajos, con pequeños cauces efímeros en épocas de lluvias o donde el agua forma encharcamientos y lagunas temporarias.



Figura 1. Perfil de distribución de la vegetación del área de estudio (Ds: *Distichlis spicata*; Jr: *Jodina rhombifolia*; Su: *Suaeda patagonica*; Pc: *Prosopis caldenia*; Sp: *Sarcocornia neei*; Sf: *Schinus johnstonii*; Au: *Atriplex sp.*; Cm: *Condalia microphylla*; St: *Stipa sp.*; Gd: *Geoffroea decorticans*). Modificado de Barbosa et al. 2005.

Tabla 1. Tipos fisonómicos, especies dominantes y clasificación taxonómica de suelos.

Subpaisaje	Símbolo	Tipo fisonómico	Especie dominante	Suelo (Soil Survey Staff, 2014)
Sector llano	<b>A</b>	Monte halófilo (Mth)	<i>Prosopis caldenia</i> y <i>Geoffroea decorticans</i>	Haplustol típico
Sector alto	<b>B</b>	Matorral halófilo (Mh)	<i>Atriplex spp.</i> (“Zampa”)	Ustortente típico
Sector bajo con salinidad en superficie	<b>C</b>	Parches de arbustal halófilo rastrero (Pahr)	<i>Sarcocornia neei</i> (“Jume”)	Epiacuate típico
	<b>D</b>	Pradera halófila abierta (Pha)	<i>Distichlis spicata</i>	Epiacuate típico
	<b>E</b>	Pradera halófila densa (Phd)	(“Pasto salado”)	Epiacuate típico
Cauce y lagunas temporarias	<b>F</b>	Playa salina (Ps)	Suelo desnudo	Epiacuate típico

En cada tipo fisonómico determinado en la depresión salina se realizaron pozos freáticos (8 por cada uno de ellos, excepto para la pradera halófila densa que fueron 6). Los pozos freáticos se abrieron mediante barrena helicoidal de seis centímetros de diámetro hasta alcanzar la capa impermeable. Se realizó el encamisado de los pozos mediante tubos de PVC de diámetro apropiado y mediante una sonda se determinó la profundidad de la freática.

La extracción de muestras de agua freática ocurrió en mayo y noviembre (2011 y 2015), en los diferentes tipos fisonómicos, en este último año ocurrió la presencia del fenómeno ENOS.

Se determinaron en laboratorio diferentes parámetros de salinidad del agua freática en laboratorio de acuerdo a diferentes técnicas analíticas según Sistema de Apoyo Metodológico para Laboratorios de Suelos y Aguas (1995) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC 1990).

## RESULTADOS Y DISCUSION:

Las precipitaciones del periodo agosto 2015 a enero 2017 fueron de 1294,8 mm (año con ENOS), aumentando un 53,1 % con respecto al mismo periodo 2010/2 (845,6 mm).

Los resultados de los análisis del agua freática indicaron para los muestreos realizados en mayo de 2011 con respecto a mayo 2015 un aumento de los parámetros de salinidad para los tipos fisonómicos: Ps, Pha y Phd. El valor de pH aumento entre un 6,5 a 15,4 %, mientras la conductividad eléctrica (CE) lo hizo entre valores de 29,6 a 58 %, excepto para la Ps. El residuo seco (RS) aumento entre 32,4 a 160 % y la relación de absorción de sodio (RAS) entre 67,7 a 105,1 % (Figura 2). Se encontró buena correlación entre RS y RAS ( $r^2=0,95$ ), y entre CE y RS ( $r^2=0,75$ ).

También los aniones (Figura 3) aumentaron, el  $\text{SO}_4^{2-}$  (87,1 a 253,1 %), el  $\text{CO}_3\text{H}^-$  (64,8 a 98,5%),  $\text{Cl}^-$  (57,9 y 77,8 %, excepto para Ps), mientras el  $\text{CO}_3^{2-}$  disminuyo su contenido excepto para la Pha. Se encontró buena correlación entre  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$  ( $r^2=0,89$ ).

En cuanto a los cationes (Figura 4), el  $\text{Na}^+$  aumento sus valores (entre 56,1 y 177,8%). El  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  se comportaron de igual manera, en las praderas halófilas aumentaron sus valores (0,2 y 50,9 %; y 65,4 y 87,1 %) y en la Ps disminuyeron; mientras el  $\text{K}^+$  descendió sus valores (entre 26 y 50,8 %). Se encontró correlación entre  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r^2=0,77$ ).

Por otro lado, el alto contenido de sodio señalo correlaciones positivas altas con  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y  $\text{Cl}^-$  ( $r^2$  de 0,986; 0,915 y 0,746 respectivamente).

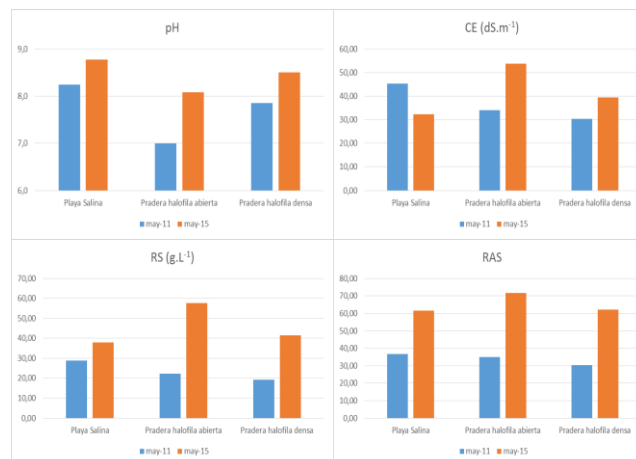


Figura 2. Promedios de pH, CE, RS y RAS entre muestreos de mayo 2011 y mayo 2015.

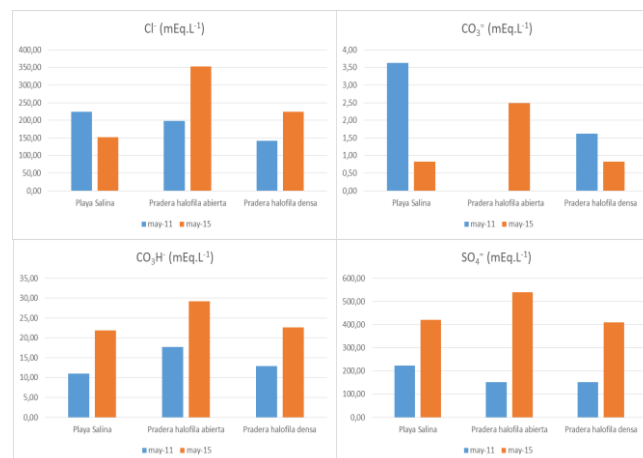


Figura 3. Promedios de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  entre muestreos de mayo 2011 y mayo 2015.

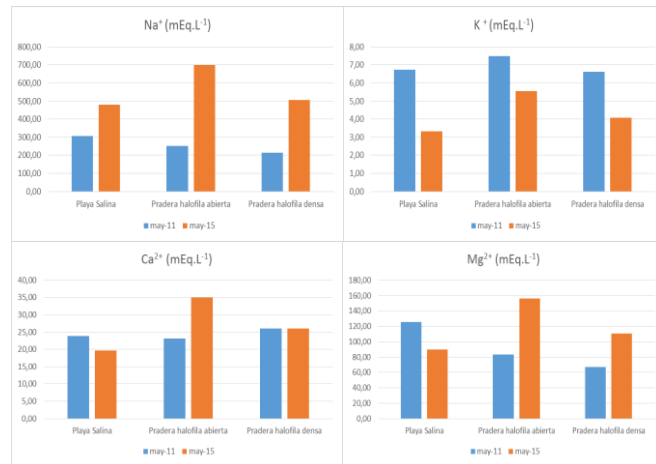


Figura 4. Promedios de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> entre muestreos de mayo 2011 y mayo 2015.

En cuanto a los resultados de los muestreos de noviembre 2011 con respecto a noviembre 2015, el valor de pH disminuyó en todos los tipos fisionómicos (entre 1,5 y 17,2 %) excepto para la Phd que es casi idéntico (Figura 5). La CE también descendió sus valores (entre 2,1 a 84,3 %) excepto para la Pahr. Contrariamente a lo expresado aumento el RS (entre 25,7 a 137,3 %) y la RAS (121,7 a 266,8 %), excepto para el Mh que presentó los menores valores de estos dos parámetros. Se encontraron correlaciones positivas entre RS y RAS; pH y CE y entre CE y RS (con r<sup>2</sup> de 0,896; 0,841 y 0,744 respectivamente).

Entre los aniones (Figura 6) aumentó el Cl<sup>-</sup> (182,6 a 477,9 %) y el SO<sub>4</sub><sup>=</sup> (17,7, a 114,6 %) excepto para el Mh. Mientras los valores de CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> disminuyeron (entre 80 a 91,2 %). Las correlaciones fueron entre Cl<sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>=</sup>, Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>=</sup> y entre CO<sub>3</sub><sup>=</sup> y SO<sub>4</sub><sup>=</sup> con valores de r<sup>2</sup> de 0,921; 0,903 y 0,782 respectivamente.

En cuanto a los contenidos de cationes (Figura 7) el Na<sup>+</sup> aumentó sus contenidos (entre 79,9 a 278,4 %); excepto para el Mh. El K<sup>+</sup> disminuyó sus valores en la Ps, Pha y Mh aumentando sus contenidos en Phd y Pahr. El Ca<sup>2+</sup> y el Mg<sup>2+</sup> disminuyeron sus valores en el muestreo de noviembre del 2015. Existió una correlación positiva de K<sup>+</sup> y Mg<sup>2+</sup> con r<sup>2</sup> de 0,878. Al igual de lo que sucedió en los muestreos de mayo el alto contenido de sodio mostró correlaciones positivas altas con SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, Cl<sup>-</sup> y CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> (0,959; 0,978 y 0,869 respectivamente). También fue encontrada una correlación positiva entre Ca<sup>2+</sup> y CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> (r<sup>2</sup> de 0,938)

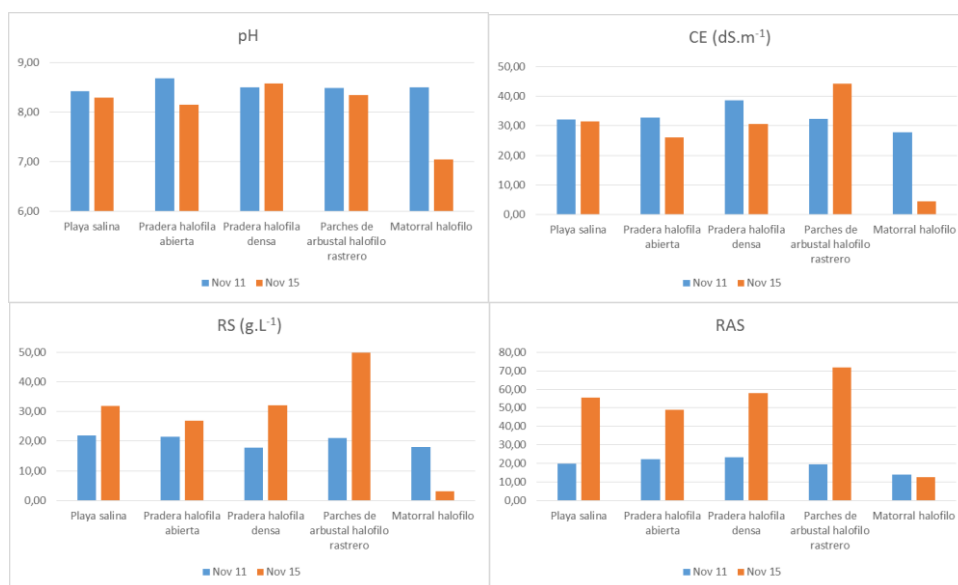


Figura 5. Promedios de pH, CE, RS y RAS entre muestreos de noviembre 2011 y noviembre 2015.

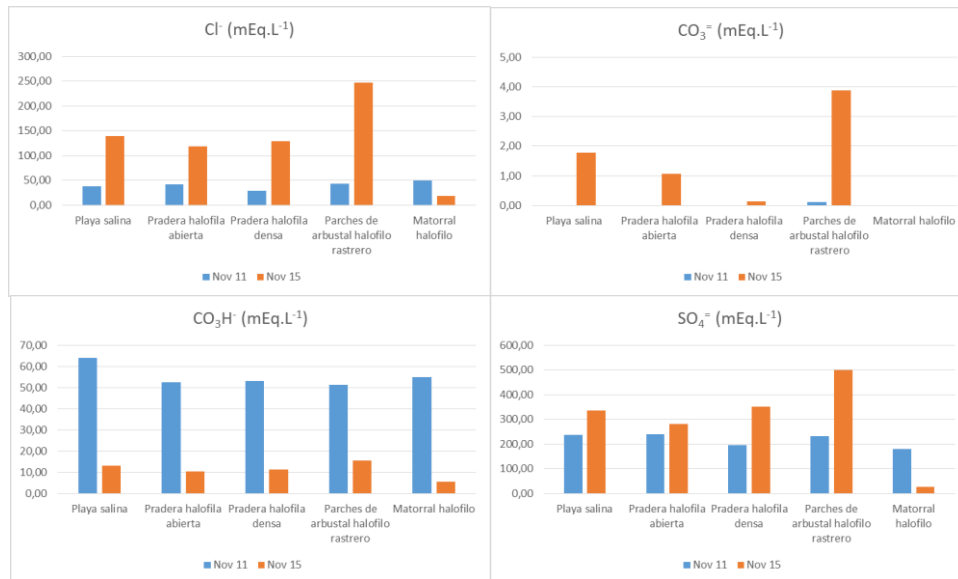


Figura 6. Promedios de Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> entre muestreos de noviembre 2011 y noviembre 2015.

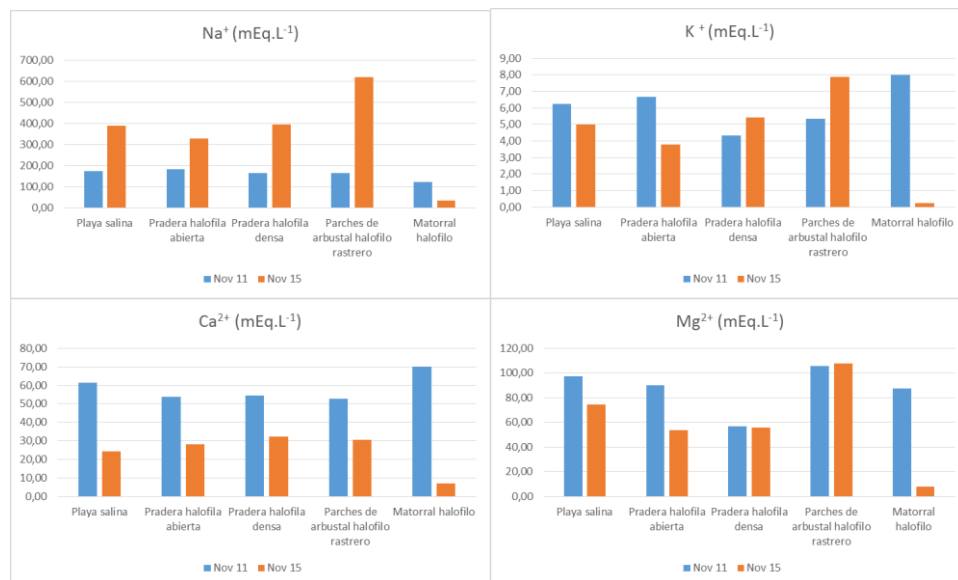


Figura 7. Promedios de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> entre muestreos de noviembre 2011 y noviembre 2015.

Los diagrama de Piper demuestra que las aguas muestreadas en mayo son sulfato sódicas, sucede lo mismo para la mayoría de los casos en las aguas freáticas muestreadas en noviembre (Figura 8).

De acuerdo a BARBOSA et al. (2016) en su estudio de la dinámica del agua superficial y subsuperficial de un humedal y a la modelización resultante (Figura 9), se tiene que el matorral halófilo por las altas precipitaciones presento una fuerte percolación que produjo el lavado de las sales, mientras los otros tipos fisonómicos presentaron un fuerte escurrimiento superficial por dispersión del primer horizonte.

Debido a estas mayores precipitaciones y a los menores valores de los parámetros salinos del matorral halófilo (Mh), se estaría produciendo un traslado de las sales hacia los sectores más bajos del paisaje. Asimismo, estos sectores presentaron mayores valores de salinidad debido al escurrimiento del agua superficial y al aumento del contenido salino de sus aguas.

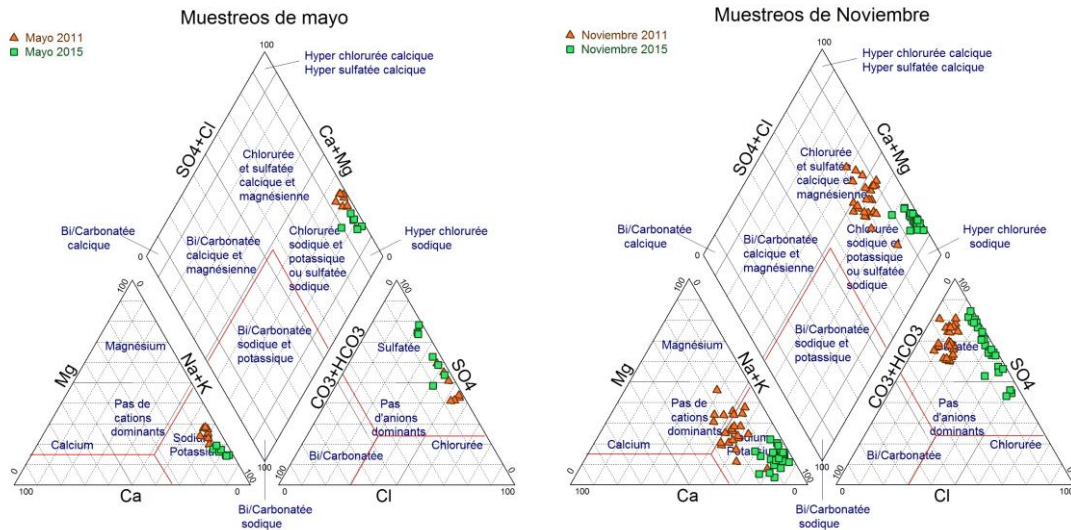


Figura 8. Diagrama de Piper para los muestreos de aguas freáticas de mayo y noviembre.

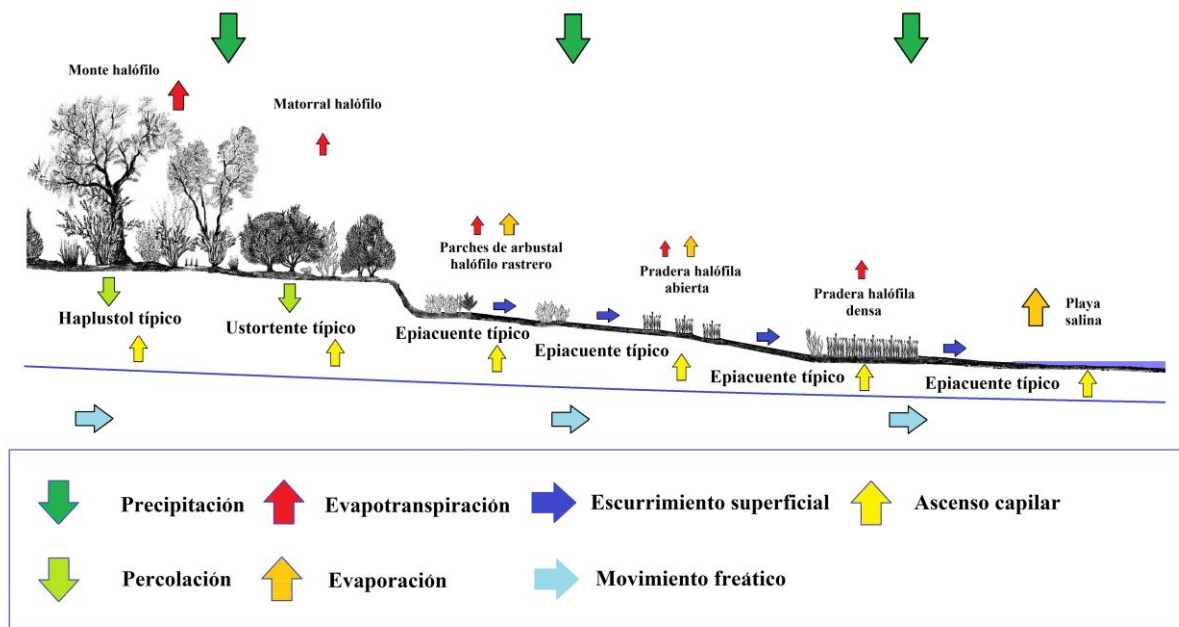


Figura 9. Modelización de la dinámica del agua superficial y subsuperficial en el sector de estudio (adaptación de BARBOSA et al., 2016).

## CONCLUSION:

Se concluye que: a) las aguas freáticas poseen características sulfato sódicas y b), que el incremento de las precipitaciones por efecto de “El Niño” posibilita el drenaje de las sales del humedal hacia los sectores más bajos del paisaje.

## REFERENCIAS:

- ÁLVAREZ ROGEL J. Relaciones suelo-vegetación en saladares del SE de España, en Tesis Doctorales de la Universidad de Murcia. Servicio de Publicaciones Universidad de Murcia. Publicación en CD-ROM. 1999.
- BARBOSA O.A. Fisonomía de la vegetación halófila de un sector del “Bajo las Saladas” (S.L.). In: Avances en Ingeniería Agrícola 2003-2005. VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Villa de Merlo (San Luis), Argentina. 362-368 pp. 2005.

BARBOSA OA, ALVAREZ ROGEL J, PACHECO INSAUSTI MC, MORES JL, CERDA RA, BELGRANO RAWSON DN, CASALE PJ, SCALLY VV & D.A. RISCOSA. Morphology of soils the saline wetlands of San Luis center. XXXII Reunión Científica anual de la Sociedad de Biología de Cuyo. Estancia Grande (San Luis, Argentina). 2014.

BARBOSA O.A., J. MARTÍNEZ DIEZ; J.L. MORES; P.J. CASALE; D.A. RISCOSA; R.A. CERDA RA, V.V. SCALLY; S. LORENZO & N. BELGRANO RAWSON. Dinámica del agua superficial y subsuperficial de un humedal de San Luis. Convención Trópico 2016. 30 de mayo al 3 de junio de 2016. La Habana, Cuba. 2016.

BREDEHOEFT J.D., BACK W. & B.B. HANSHAW. Regional groundwater flow concepts in the United States: historical perspective. Geol. Sot. Am. Spec. Pap., 189:297-316. 1982.

de OLIVEIRA M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. En: Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Ed. H.R. Gheyi, J.E. Queiroz e J.F. de Medeiros. XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Campina Grande, Brasil. 383p. 1997.

FERNANDEZ LONG M. E., HURTADO R. & L. SERIO. Señales del ENOS sobre la Región Noroeste Argentina. Actas XII Reunión Argentina de Agrometeorología, San Salvador de Jujuy- Argentina. 7-8. 2008.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. 5 Edición. Subdirección Agrológica. Bogotá, Colombia. 502 p. 1990.

IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press. 83 pg. 2001.

KARLIN M. S. Cambios temporales del clima en la subregión del Chaco Árido. Multequina 21(1):1-16. 2012.

LAVADO R.S., RUBIO G. & M. ALCONADA. Grazing management and soil salinization in two pampean Natraqualls. Turrialba, 42:500-508. 1992.

MAGRIN G. Las estadísticas confirman que San Luis se torna más húmedo. Revista El campo, El Diario de la República, San Luis 04/11/13. 2013.

PACHECO M.C., BARBOSA O.A., MORES J.L. & J. ALVAREZ ROGEL. Physiognomy of the central sector of the "Bajo la Salada" (San Luis, Argentina). Biocell 35 (1):A24. 2010.

SISTEMA DE APOYO METODOLÓGICO PARA LABORATORIOS DE SUELOS Y AGUAS (SAMLA). SAGyP de la Nación, 150 p. Buenos Aires, Argentina. 1995.

SOIL SURVEY STAFF. Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Twelfth edition, US Government Printing Office, Washington DC, USA, 360 p. 2014.

UNCIENCIA. El incremento de las lluvias, el cambio climático más importante en el centro de Argentina. UNC. <http://www.unciencia.unc.edu.ar/2014/septiembre/climatologia-1941-2010/el-incremento-de-las-lluvias-el-cambio-climatico-mas-importante-en-el-centro-de-argentina>. 2014.