



Causas y efectos de la dinámica hídrica del suelo sobre las comunidades vegetales en Salinas Grandes, Catamarca (Argentina)

Causes and effects of soil water dynamics over plant communities in Salinas Grandes, Catamarca (Argentina)

M. S. KARLIN¹, M. A. MORENO², A. A. ROLLÁN^{1,2} Y O. A. BACHMEIER^{1,2}

¹Departamento Recursos Naturales. ²Laboratorio de Suelos y Aguas (LABSA). Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Córdoba. Valparaíso S/N. Ciudad Universitaria. C.C. 509, C.P. 5000, Córdoba, Argentina.
<mkarlin@agro.unc.edu.ar>

RESUMEN

En zonas bajas de cuencas endorreicas, la freática es responsable de movilizar sales en el solum de acuerdo a la granulometría del suelo. La instalación de especies halófilas en zonas salinas promovería la acumulación de arenas finas construyendo discontinuidades litológicas. Se propone analizar los efectos de las fluctuaciones de la freática a través de variables edáficas y su influencia sobre las diferentes comunidades vegetales. Se analizaron variables edáficas en diferentes zonas de las Salinas Grandes (Catamarca), tales como densidad aparente, porcentaje de arenas y carbonatos, relacionándolas con la conductividad eléctrica, pH y espesor de las discontinuidades. Estas variables se correlacionaron con la cobertura vegetal, biodiversidad y receptividad ganadera. El contenido de arenas aumenta hacia zonas altas, efecto relacionado con la cobertura vegetal, la biodiversidad y la receptividad ganadera. El contenido de arenas, característico de estas discontinuidades litológicas, es importante en los procesos de ruptura capilar sobre el ascenso de napas con alto contenido de sales solubles. El tipo de material acumulado en superficie influye directamente sobre la densidad aparente. La discontinuidad permite un mayor crecimiento de las raíces debido a una menor influencia de la freática y menor concentración de sales solubles. Este fenómeno promueve una mayor solubilización de los carbonatos alcalinotérreos.

SUMMARY

In low lands of endorreic basins, the water table is responsible for moving salts along the solum according to soil granulometry. The development of halophyte plants in saline zones would promote the deposit of fine sand, forming lithological discontinuities. An analysis in the water table fluctuations is proposed through edaphic variables, and its influence over different plant communities. Edaphic variables were analyzed in different zones of Salinas Grandes (Catamarca), such as bulk density, sand percentage and carbonates, related to electrical conductivity, pH and the depth of the discontinuities. These variables were correlated with plant cover, biodiversity and

minimum rangeland requirement. Sand content, characteristic of these lithological discontinuities, is important in the processes of capillary breakdown over the phreatic ascent with high content of soluble salts. The kind of deposited materials in the surface influences directly over the bulk density. The discontinuity enables root growth due to a lesser influence of the phreatic and lesser concentration of soluble salts. This phenomenon promotes a higher solubilization of alkaline earth carbonates.

Palabras clave: dinámica hídrica, discontinuidad litológica, salinidad, vegetación

Key words: Water dynamic, lithological discontinuity, salinity, vegetation

INTRODUCCIÓN

En zonas áridas y semiáridas la disponibilidad de agua es uno de los principales factores que controlan la distribución de especies. Los factores abióticos más críticos están relacionados a la disponibilidad de agua, incluyendo las propiedades del suelo y la topografía (Abd El-Ghani & Amer, 2003).

Las áreas salinas son ecosistemas propios de zonas áridas y semiáridas, caracterizados por ser cuencas endorreicas y por la presencia de freáticas cercanas a la superficie.

Estos sistemas son importantes ya que representan el punto de descarga o nivel base de los flujos superficiales y subsuperficiales, y pueden afectar la calidad del agua (Yechieli & Wood, 2002). Los flujos superficiales de agua son los responsables del acarreo de materiales, los que son acumulados en zonas topográficamente más bajas, depositando partículas de suelo de tamaño variable y sales solubles. La acumulación de agua en estos sistemas provoca el ascenso de la freática. La ocurrencia de lluvias y la evapotranspiración hacen que esta freática fluctúe a lo largo del año, modificando los tenores salinos a lo largo del perfil del suelo.

Por otro lado la granulometría de los horizontes presentes define la conductividad hidráulica del suelo, responsable directo de la dinámica hídrica (Karlin & Buffa, 2010; Toth & Jozefaciuk, 2002; Shaw & Thomas, 1989)

Las Salinas Grandes constituyen el complejo salino más importante de la República Argentina; asimismo, es el segundo complejo salino mas grande de América, luego del Salar de Uyuni en Bolivia (Dargám, 1995).

Este ecosistema presenta parches de vegetación caracterizados por la presencia de diferentes comunidades vegetales. Las plantas presentes en estas comunidades son utilizadas por las comunidades locales, presentando en su conjunto un alto potencial productivo.

La instalación de especies adaptadas a salinidad en áreas salinas actúa como barrera para el agua y el viento, provocando la acumulación de materiales más gruesos (arenas finas) construyendo una discontinuidad litológica. Esta capa superficial altera el normal movimiento del agua por capilaridad, reduciendo el movimiento de sales solubles hacia la superficie por evaporación en época seca, y permitiendo el movimiento de sales solubles hacia capas inferiores en época de lluvias. La menor concentración de sales

solubles en superficie permite la instalación de especies menos halófilas.

La hipótesis que se plantea es que las discontinuidades litológicas en los suelos de las Salinas Grandes modifican los procesos de movimiento de agua de la freática en la interfase suelo-planta.

El objetivo general de este trabajo es analizar los efectos de las fluctuaciones de la freática a través de variables edáficas físicas y químicas (profundidad de la discontinuidad litológica, densidad aparente, porcentaje de arenas, porcentaje de carbonatos y conductividad eléctrica), y su influencia sobre las diferentes comunidades vegetales. Para ello, este trabajo incorpora los análisis realizados por Karlin *et al.* (2011), Karlin *et al.* (2012), Karlin & Buffa (2010), Karlin (2010).

MATERIAL Y MÉTODO

Área de estudio

Se ubica en la porción más austral de la provincia de Catamarca en la República Argentina. Las coordenadas geográficas extremas son 29°16'17"S - 65°03'25"W hacia el norte, 29°36'30"S - 65°31'47"W hacia el oeste, 29°36'24"S - 64°50'55"W

hacia el este, y 30°07'14"S - 65°24'43"W hacia el sur, entre los 150 y 250 m sobre el nivel del mar (msnm) y en total, abarca una superficie del orden de 400.000 ha (**Figura 1**).

Posee un clima continental, mesotérmico, semiárido, con inviernos secos. El promedio de las precipitaciones anuales varía entre 300 y 500 mm (Ruiz Posse *et al.*, 2007). La evapotranspiración potencial anual es de 950 mm, lo que resulta en déficit hídrico durante todo el año (Zamora, 1990). La temperatura media anual es de 20,5°C (Dargám, 1995), con temperaturas máximas y mínimas absolutas de 42 y -6°C, respectivamente. Los vientos son relativamente frecuentes, con dirección noreste-suroeste y de este-oeste durante los meses más secos (Ragonese, 1951).

En el bolsón se reconocen tres geformas de primer orden: abrupto de falla, bajada y playa (Capitanelli, 1979). La primera corresponde a las montañas circundantes correspondientes a las Sierras de Ancasti, Portillo y Recreo en Catamarca, Sierras Brava, de la Higuera y Los Cerrillos en La Rioja (Miró *et al.*, 2005), Sierra Norte y norte de la Sierra Grande en Córdoba (Zamora, 1990).

Dentro de la bajada y la playa se pueden identificar aquellas geformas de segun-

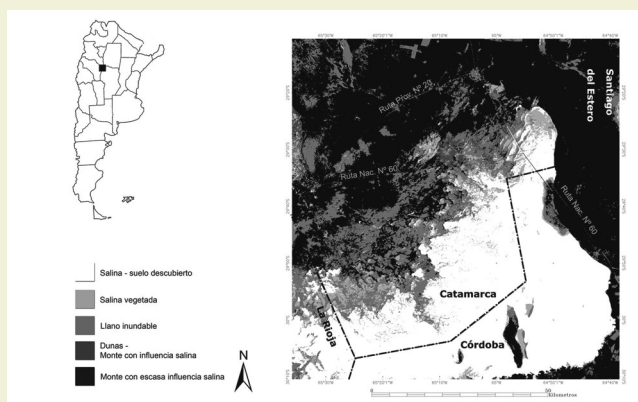


Figura 1. Mapa ambiental del área de estudio elaborado por Ruiz Posse y Karlin (2010)

Figure 1. Environmental map of the study area, made by Ruiz Posse and Karlin (2010)

do y tercer orden: llanuras marginales, que contienen las planicies aluviales (pertenecientes a la bajada), playas salinas y dunas (pertenecientes a la playa) y depresiones salinas (playa), que contienen lagunas y salinas (**Figura 2**).

Caracterización zonal

Se realizó sobre la base de la clasificación efectuada por Ruiz Posse *et al.*, (2007), reclasificada por Karlin *et al.* (2012) (**Figura 1**). Los valores promedio y desviaciones estándar de conductividad eléctrica (0-20 cm de profundidad) obtenidos por estos autores se detallan en la siguiente descripción zonal.

Se identificaron dos grandes unidades topográficas, y en cada una de estas, zonas homogéneas cuyas características se detallan a continuación:

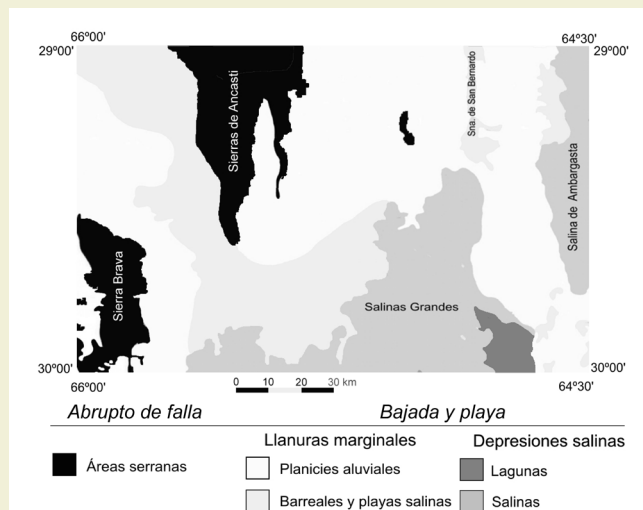
Bajos: estas áreas presentan pendientes inferiores a 0,1%, atravesadas por dunas consolidadas. En la playa salina, los materiales son depositados por agua de escorrentía y por acción del viento, formando zonas de transición, debido a la variación espacial en la concentración salina del suelo, espesor del horizonte

superficial arenoso y clases texturales. Dentro de esta zona es posible identificar las siguientes zonas: Salina Vegetada (SV), Llanos Inundables (LI) y Monte con Influencia Salina (MCIS).

a) *Salina Vegetada:* son llanuras con periodos prolongados de inundación (aproximadamente una semana después de una lluvia), influenciadas por la presencia de una freática fluctuante entre 0,00 y 0,90 m. Los suelos dominantes, según la clasificación del Soil Survey Staff (2010), son Aquisalids cálcicos y Haplosalids gípsicos. Estos suelos presentan, de acuerdo a la clasificación de Dahnke y Whitney (1988), contenidos salinos muy altos (56,4 +/- 14,7 dS m⁻¹). Predominan las comunidades de *Heterostachys Ritteriana* y *Allenrolfea Patagónica*.

b) *Llanura Inundable:* estas zonas tienen altos a muy altos contenidos salinos. La profundidad del agua subterránea varía entre 1,30 y 3,36 m. En esta zona se identificaron Haplosalids cálcicos, con contenidos salinos menores (15,3 +/- 5,95 dS m⁻¹) y con menor frecuencia

Figura 2. Esquema geomorfológico del área de estudio (modificado de Miró *et al.*, 2005). Debido a la escala del mapa no es posible mostrar las dunas *Figure 2. Geomorphologic scheme of the study area (modified from Miró et al., 2005). It is not possible to show the dunes because of the scale*



de inundación que la Salina Vegetada. Predominan comunidades de *Atriplex argentina* y *Stetsonia coryne*.

c) *Monte con Influencia Salina*: los suelos presentan una capa superficial franco-limosa a franco-arenosa debido a la acumulación de materiales de deflación de la cuenca, depositados sobre horizontes subsuperficiales de materiales más finos arcillo-limosos. La profundidad del agua subterránea varía entre 3,02 y 8,50 m. Los suelos predominantes son, como en el caso anterior, Haplosalids cálcicos, con alto contenido salino (8,23 +/- 3,77 dS m⁻¹). Predominan comunidades de *Mimozyanthus carinatus*, *Stetsonia coryne* y *Geoffroea decorticans*.

Altos: incluye las Dunas (D) y Monte con Escasa Influencia Salina (MEIS). Estas zonas muestran pendientes superiores al 1% debido a la cercanía a las Sierras de Ancasti. Ambos presentan la vegetación característica del Chaco Árido con presencia de algunas especies halófilas.

a) *Dunas*: formadas por deposiciones de arena fina por efecto eólico, debido a procesos de deflación en la cuenca, formando dunas fijadas por la vegetación. La profundidad del agua subterránea varía entre 3,02 y 3,70 m. Estas dunas son longitudinales y muchas de ellas están situadas en paralelo a la costa salina, con un ancho que varía de 30 a 50 m y alturas de hasta 2 m, formando cadenas elongadas en dirección NE-SW, coincidiendo con los vientos predominantes y formando barreras a la escorrentía. Los suelos predominantes son Torripsaments ústicos y típicos, de textura franco-arenosa fina, con escasos a moderados contenidos salinos (2,22 +/- 0,90 dS m⁻¹).

b) *Monte con escasa influencia salina*: La profundidad de las aguas subterráneas se calcula entre 5,41 y 21,8 m. Las

llanuras aluviales son las geoformas predominantes (Miró *et al.*, 2005). Predomina la textura franco-arenosa gruesa. Los grandes grupos de suelo observados en estas zonas son n, con suelos no salinos a ligeramente salinos (2,18 +/- 2,12 dS m⁻¹).

Relevamiento edáfico

Se excavaron calicatas de 1 m de profundidad en 26 sitios representativos de las diferentes zonas, para identificar cada perfil de suelo. Para la identificación de los horizontes se utilizó como carácter diferencial la clase textural al tacto (Yolcubal *et al.*, 2004). En cada calicata se midió el espesor (Prof, cm) de la discontinuidad litológica superficial (Karlin *et al.*, 2012; Karlin & Buffa, 2010).

Se tomaron muestras compuestas de 12 a 15 sub-muestras de los horizontes correspondientes a la discontinuidad litológica y de 5 sub-muestras por cada horizonte subsuperficial, cubriendo el área completa de cada parche, definida por su vegetación. El muestreo se realizó durante la época húmeda y seca.

Las calicatas y chequeos realizados a campo son descritos por Karlin & Buffa (2010), y se transcriben en este trabajo a fin de contribuir al análisis (**Tabla 1**).

Determinaciones físicas

Densidad aparente (*Dap*): se calculó a partir de muestras sin disturbar extraídas con un cilindro de volumen conocido de las profundidades de 0-7 cm y 10 a 17 cm (Yolcubal *et al.*, 2004).

Conductividad eléctrica (*CE*): los valores fueron medidos por Karlin & Buffa (2010) sobre una suspensión suelo/agua en relación 1:1 según Richard (1954).

Tabla 1. Perfil modal de cada zona y clase textural de los horizontes (Karlin & Buffa, 2010).
Table 1. Modal profile of each zone and textural class of the horizons (Karlin & Buffa, 2010)

Zonas	Horizontes	Espesor (cm)	Clase Textural
Dunas (D)	A	0-10	ArF
	C	10-20	ArF
	C _k	> 20	ArF
Monte con Escasa Influencia Salina (MEIS)	A	0-6	FAr
	AB _k	6-26	FAr
	B _k	26-54	F
	C1 _k	54-104	F
	C2 _k	> 104	F
Monte con Influencia Salina (MCIS)	I1 _z	0-5	ArF
	I2 _z	5-30	ArF
	II1 _{kz}	30-39	ArAc
	II2 _{kz}	> 39	ArAc
Llano Inundable (LI)	I _z	0-8	ArF
	II1 _z	8-39	FAcLim
	II2 _{kz}	39-76	FLim
	III _{kvyz}	> 76	FLim
Salina Vegetada (SV)	A1 _z	0-15	FAcLim
	A2 _{kz}	15-22	FAcLim
	B1 _{kz}	22-28	FAcLim
	B2 _{kz}	28-41	FAcLim
	II1 _z	41-78	FAr
	II2 _{kz}	> 78	FAr

Ref: F= Franco, Lim= Limo, Ar = Arena, Ac = Arcilla.

Porcentaje de arenas (Ar): se cuantificó en las muestras compuestas de los dos primeros horizontes de cada perfil, según el método descrito por Day (1986).

Además se determinó el porcentaje de carbonatos (Cb) a través del método rápido de titulación de Piper (IUSS-WRB, 2007), y el contenido gravimétrico de

agua (W%) para corregir la masa de suelo al determinar la fracción de arenas.

Profundidad de la napa: con los valores de altitud, en cada sitio, mediante GPS se calculó la profundidad del agua subterránea en base a datos relevados por Dargám (1995) a través de regresiones lineales ($p < 0,05$). Dado que las rela-

ciones entre los valores de altitud y las profundidades de la freática (de máxima y mínima) de Dargám (1995) son de carácter lineal, fue posible estimar para cada sitio relevado el rango de profundidad de la freática conociendo su altitud. En zonas bajas se midió la profundidad del agua subterránea directamente sobre las calicatas.

Relevamiento de vegetación

En los 26 sitios seleccionados, se estimaron los valores de dominancia-abundancia y de cubierta vegetal en base al método fitosociológico de Braun Blanquet (Braun Blanquet, 1979). El área de umbral mínimo de superficie de cada sitio de muestreo se define por la aparición de un 95% de la suma de todas las especies reconocidas para cada zona, sobre la base de los relevamientos florísticos previos (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974).

Los valores de abundancia-dominancia se transformaron en valores de porcentaje de cobertura basado en el punto medio de cada valor de la escala de abundancia-cobertura (Wikum & Shanholtzer, 1978) a fin de calcular los índices de biodiversidad (*H*):

+ : Individuos raros o poco frecuentes con cobertura insignificante: 0,5%

1 : Individuos abundantes, pero con cobertura insignificante: 2,5%

2 : Individuos en número variable, pero con cobertura de hasta $\frac{1}{4}$ de la superficie total: 15%

3 : Individuos en número variable, con cobertura entre $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ de la superficie total: 37,5%

4 : Individuos en número variable, con cobertura entre $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de la superficie total: 62,5%

5 : Individuos en número variable, con cobertura superior a $\frac{3}{4}$ de la superficie total: 87,5%

Para cada sitio de muestreo se obtuvieron medidas de frecuencia y cobertura, utilizando el método de Point Quadrat modificado (Passera *et al.*, 1983), identificando cada especie muestreada. Este método se basa en la determinación de cobertura forrajera (*Cob*) y la receptividad ganadera (*RG*) sobre una transecta de 30 m, detallado en Passera *et al.* (1983) y Passera & Borsetto (1983).

Análisis estadístico

Los valores de *CE*, *Ar* y *Cb* del suelo fueron tratados obteniendo promedios ponderados a partir de los datos obtenidos para los horizontes superficiales, a fin de estandarizarlos para una profundidad de 0-20 cm y poder compararlos entre zonas. El cálculo se efectuó considerando que la profundidad a 20 cm representa el 100% del valor; si este espesor está representado por dos horizontes diferentes, el peso de la ponderación lo representa el espesor de cada uno dentro de esos 20 cm (por ejemplo, un espesor de 15 cm representa el 75% del valor total).

Se realizaron análisis de la varianza (LSD Fisher, $p < 0,05$) sobre las variables edáficas utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2007), a fin de obtener diferencias significativas entre zonas.

Las relaciones entre *Ar* con *CE* y con las variables de vegetación *Cob*, *H* y *RG* fueron determinadas por medio de regresiones no lineales ($p < 0,05$). Además de las variables analizadas para este trabajo, se utilizaron los valores de *CE* promedio (promedios de ambas estaciones) obtenidos por Karlin *et al.* (2012)

para la construcción de regresiones no lineales.

Se calculó el Índice de Biodiversidad de Shannon-Weaver (Wikum & Shanholtzer, 1978) para cada sitio en base a los datos de dominancia y abundancia de la vegetación.

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

donde $p_i = N_i / \sum_{i=1}^n N_i$, n es el número de especies en la comunidad y N_i es el tamaño de la población, definida por su frecuencia relativa o cobertura de acuerdo a Wikum & Shanholtzer (1978).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de Ar se presentan en la **Figura 3**. Se observa un aumento en el porcentaje de arenas a medida que se incrementa la elevación desde el centro de la cuenca (Salina Vegetada) hasta el monte (Monte con Escasa Influencia Salina). Se encontraron diferencias significativas entre Salina Vegetada, Dunas y el resto de las zonas al tomar los promedios ponderados para 0-20 cm de profundidad. Sin embargo, no se registraron diferencias significativas entre horizontes superficiales y subsuperficiales en aquellos sitios donde, de acuerdo a la variable $Prof$ (Karlin & Buffa, 2010) se apreciaron características de disconti-

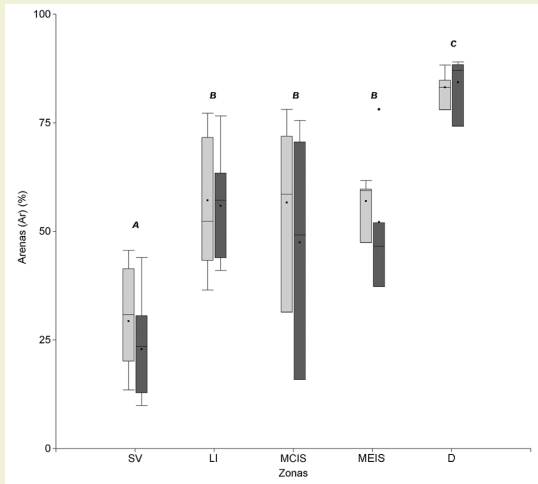


Figura 3: Gráfico box plot para porcentaje de arenas (Ar), para horizonte superficial (gris claro) y subsuperficial (gris oscuro) por zona ($n=26 * 2$ profundidades). Letras diferentes indican diferencias significativas entre zonas (LSD Fisher, $p<0,05$). No se observaron diferencias significativas entre horizontes. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas

Figure 3. Box Plot graph for sand percentage (Ar), for superficial horizon (light gray) and subsuperficial (dark gray) per zone ($n=26 * 2$ depths). Different letters indicate significant differences between zones (LSD Fisher, $p<0,05$). No significant differences were found between horizons. SV: Vegetated Salinas, LI: Waterlogged Plains, MCIS: Salt-Affected Forest, MEIS: Slightly Salt-Affected Forests, D: Dunes

nidades litológicas a través de la textura al tacto (**Tabla 1**).

La **Figura 4**, muestra la variación del *Cb* entre las zonas, evidenciándose mayores valores promedio y diferencias significativas solo en Salina Vegetada respecto al resto de las zonas. No se registraron diferencias significativas entre horizontes superficiales y subsuperficiales en aquellos sitios donde, de acuerdo a la variable *Prof*, se apreciaron discontinuidades litológicas *in situ* a través de la diferenciación mediante textura al tacto (**Tabla 1**), aunque sí se aprecian tendencias en los datos que indican mayores valores de *Cb* en los horizontes subsuperficiales respecto a los superficiales.

La *Dap*, promedio de las muestras superficiales y subsuperficiales, también permite apreciar tendencias decrecientes a medida que se avanza desde el centro de la cuenca a zonas más elevadas, aunque solo existen diferencias significativas entre Salina Vegetada y Monte con Escasa Influencia Salina (**Figura 5**).

DISCUSIÓN

De acuerdo a las variables edáficas, es posible ver diferentes gradientes, ya sea crecientes (desde las salinas hasta las planicies aluviales), como en el caso *Ar*, o decrecientes como en el caso *Cb* y *Dap*.

El cambio granulométrico modifica la conductividad hidráulica de los suelos

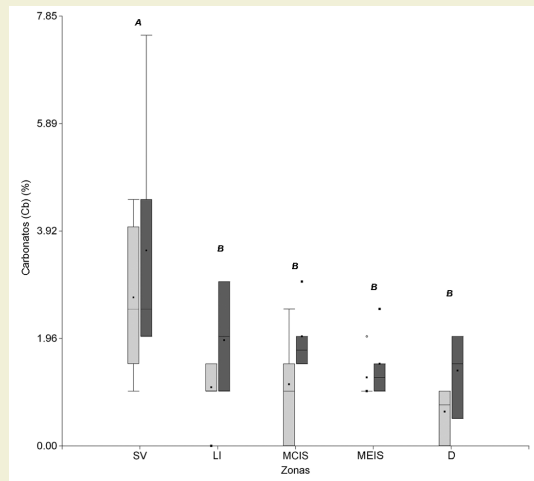


Figura 4. Gráfico box plot para porcentaje de carbonatos (*Cb*), para horizonte superficial (gris claro) y subsuperficial (gris oscuro) por zona ($n=26 \times 2$ profundidades). Letras diferentes indican diferencias significativas entre zonas (LSD Fisher, $p<0,05$). No se observaron diferencias significativas entre horizontes. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas

Figure 4. Box Plot graph for carbonates percentage (*Cb*), for superficial horizon (light gray) and subsuperficial (dark gray) per zone ($n=26 \times 2$ depths). Different letters indicate significant differences between zones (LSD Fisher, $p<0,05$). No significant differences were found between horizons. SV: Vegetated Salinas, LI: Waterlogged Plains, MCIS: Salt-Affected Forest, MEIS: Slightly Salt-Affected Forests, D: Dunes

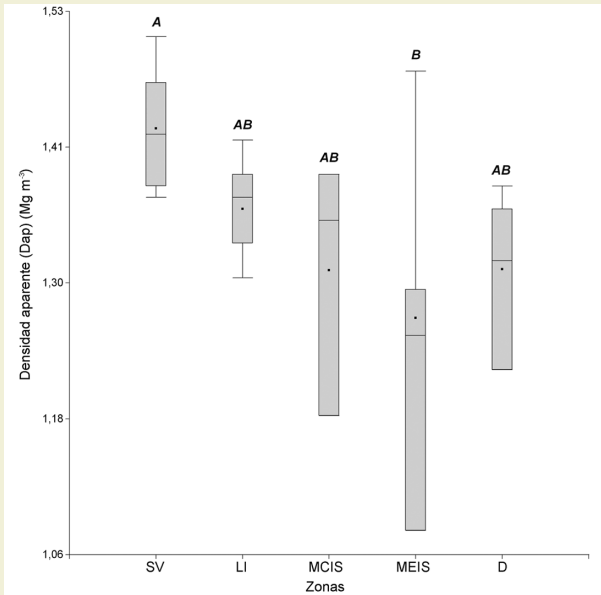


Figura 5. Gráfico box plot para densidad aparente (Dap), promedio de datos superficiales (0-7 cm) y subsuperficiales (10-17 cm) por zona. Letras diferentes indican diferencias significativas ($n=24$; LSD Fisher, $p<0,05$) entre zonas. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas

Figure 5. Box Plot graph for bulk density (Dap), mean of superficial (0-7 cm) and subsuperficial (10-17 cm) data per zone. Different letters indicate significant differences between zones ($n=24$; LSD Fisher, $p<0,05$). SV: Vegetated Salinas, LI: Waterlogged Plains, MCIS: Salt-Affected Forest, MEIS: Slightly Salt-Affected Forests, D: Dunes

de la región (Callela & Corzo, 2006), lo que afecta la dinámica de las sales y por ende la concentración salina que se relaciona directamente con la conductividad. De acuerdo a Karlin *et al.* (2012) y a Karlin & Buffa (2010) no se encontraron diferencias significativas en la conductividad eléctrica entre Monte con Influencia Salina, Monte con Escasa Influencia Salina y Dunas. Esto se debe a la presencia de una capa superficial arenosa más profunda (Karlin *et al.*, 2012) que actúa rompiendo la capilaridad del suelo y facilitando el lavado de sales más solubles que el yeso.

La acumulación de arenas (Figura 3) se produce en las zonas de Salina Vegetada solo alrededor de los parches de *Heterostachys ritteriana* y *Allenrolfea patagonica*, construyendo barreras que frenan las arenas arrastradas por el viento y el agua. Esta acumulación y la consiguiente macroporosidad dominante romperían el ascenso capilar de agua, disminuyendo la tasa de evaporación y manteniendo el perfil con mayor cantidad de agua subsuperficial (Karlin & Buffa, 2010). El agua migra a través de la arena en forma de vapor durante el día, seguida de la condensación nocturna, lo

que genera un ambiente más húmedo, con menos concentración de sal, debido a un proceso de destilación natural (Ruiz Posse *et al.*, 2007). Este proceso permite el crecimiento de especies menos halófilas, aumentando la cobertura vegetal, la biodiversidad y la receptividad ganadera (Karlin *et al.*, 2012; Karlin, 2010).

No se observaron diferencias significativas en el porcentaje de arenas entre los horizontes superficiales y subsuperficiales. Es posible suponer que las diferencias texturales en las discontinuidades posiblemente se deban a los efectos de la acumulación de una fracción limo grueso (de acarreo eólico) que no se tuvo en cuenta en la cuantificación de partículas del suelo. Es posible ver una tendencia clara en las medias de las zonas Salina Vegetada, Llano Inundable, Monte con Influencia Salina y Monte con Escasa Influencia Salina en presentar valores mayores de *Ar* en los horizontes superficiales respecto a los subsuperficiales, mientras que las dunas prácticamente no varían sus contenidos entre horizontes. Tanto para Salina Vegetada, Llano Inundable y Monte con Influencia Salina es posible apreciar en algunos sitios evidencias claras de discontinuidades litológicas definidas por la textura al tacto y *Ar* (**Tabla 1, Figura 3**), con diferencias en tamaño de partículas. En estas tres zonas, la textura al tacto manifiesta la presencia a nivel superficial de arenas finas, lo que indicaría procesos de deposición de estas por efecto eólico como consecuencia de la deflación de la cuenca de Salinas Grandes. Las dunas también presentan este tipo de arenas depositadas, formando estratos de mayor potencia, superior a la profundidad de excavación de las calicatas. En el caso de Monte con Escasa Influencia Salina se apreció por

tacto la presencia de arenas medias y gruesas, depositadas posiblemente por efecto aluvial debido a la cercanía de estas zonas a las Sierras de Ancasti.

Las diferencias en el contenido de arenas entre zonas son evidentes, aumentando desde zonas bajas a zonas altas, efecto relacionado con la cobertura vegetal

$$Cob (\%) = 0,0212 Ar^{0,883} (R^2 = 0,53);$$

la biodiversidad

$$H = 0,096 * Ar^{0,801} (R^2 = 0,50),$$

y con la receptividad ganadera

$$RG (\text{has } EV^{-1}) = -31.41 * \ln Ar + 133,38 (R^2 = 0.65),$$

(has: hectáreas; EV: equivalente vaca)

lo que indica que el contenido de arenas es importante en los procesos de ruptura capilar sobre el ascenso de napas con contenido de sales solubles, influenciando el desarrollo de la vegetación. Al respecto, la relación entre el contenido promedio de arenas y la salinidad (*CE* promedio) definida a través de una función cuadrática

$$CE_{pr} (\text{dS } m^{-1}) = 0,0207 Ar^2 - 2,95 Ar + 107,74$$

muestra un R^2 de 0,81.

Los bajos valores de *pH* (menores a 8,5) encontrados por Karlin & Buffa (2010) demuestran en parte que los carbonatos presentes sean alcalino-térreos, es decir que son de baja solubilidad. Los carbonatos alcalino-térreos son indicadores del ascenso y descenso de la freática y están en relación a la porosidad del suelo. Evidentemente, la macroporosidad permite el drenaje del agua por gravedad, mientras que la meso y microporosidad permitirían el movimiento capilar del

agua hacia arriba. Una alta proporción de arenas promueve una mayor macroporosidad, con lo cual se rompería dicho ascenso capilar y favorecería el lavado de los carbonatos alcalinotérreos a horizontes subyacentes (Arnold, 1968). De hecho, la relación entre el contenido de carbonatos y el porcentaje de arenas tanto a nivel superficial como subsuperficial están relacionados en un 52% ($R^2 = 0,52$).

Por otro lado, una mayor cobertura vegetal significa mayor densidad de raíces, las cuales aportan al aumento en las concentraciones de CO_2 en el suelo, lo que con contenidos hídricos aceptables, contribuye a la formación de bicarbonato de calcio, de mayor solubilidad que los carbonatos, que por lixiviación puede desplazarse hacia horizontes inferiores y reprecipitarse como carbonato de calcio. De hecho, este fenómeno permitiría que estos ambientes sean muy importantes como sumideros de carbono atmosférico, no solo por fijación de carbono en los tejidos vegetales, sino también por la fijación en el suelo (Chadwick *et al.*, 1994).

La **Figura 4** muestra efectivamente este efecto, en el cual se aprecian tendencias (aunque no diferencias significativas) de horizontes superficiales con menores contenidos de carbonatos respecto a los subsuperficiales, a la vez que el contenido promedio de carbonatos se reduce a medida que la freática se presenta más profunda, de acuerdo a lo descrito en la caracterización zonal.

La **Figura 5** muestra el comportamiento de la *Dap* en relación a cada zona. Se observa una reducción en sus valores a medida que se asciende topográficamente, aunque en las dunas los valores superan a los de zonas de llanuras aluviales. Por un lado un menor con-

tenido de materia orgánica debido a una menor cobertura en zonas más salinas hace que este parámetro produzca una mayor densificación en dichas zonas, a diferencia de zonas con monte, donde la acumulación de material orgánico y la influencia de las raíces son considerables (Karlin, 2010). Por otro lado, y comparando las dunas con el monte, el tipo de material acumulado en superficie influye directamente sobre la densidad aparente. Así los suelos arenosos presentan mayores densidades aparentes que los suelos francos, limosos y arcillosos, a la vez que los tres últimos poseen mayor capacidad de promover la porosidad del suelo y reducir la densidad del suelo (Richards, 1954; Rawls *et al.*, 1982).

CONCLUSIONES

El contenido de arenas a nivel superficial aumenta desde zonas bajas a zonas altas, diferenciándose significativamente las Salinas Vegetadas con los menores contenidos y las Dunas con los mayores, explicando su relación con la cobertura vegetal, la biodiversidad y la receptividad ganadera con R^2 superiores al 50%. El contenido de arenas, definido a través de discontinuidades litológicas, es importante en los procesos de ruptura capilar sobre el ascenso de napas con alto contenido de sales solubles.

La textura y la presencia de material orgánico (definido por la cobertura de vegetación) en superficie influyen directamente sobre la densidad aparente. La acumulación de arenas en superficie promueve una mayor macroporosidad que permite un mayor crecimiento de las raíces debido a una menor influencia de la freática y menor concentración de sales solubles.

La mayor conductividad hidráulica consecuente en las discontinuidades y el

mayor desarrollo de raíces promueven una mayor solubilización de los carbonatos alcalinotérreos, variable que podría ser utilizada como indicadora de calidad edáfica.

BIBLIOGRAFÍA

- ABD EL-GHANI, M.M. & W.M. AMER., 2003. Soil-vegetation relationships in a coastal desert plain of southern Sinai, Egypt. *J. Arid Environ.* 55: 607-628.
- ARNOLD, R.W., 1968. Pedological significance of lithologic discontinuities. *9th International Congress of Soil Science Transactions IV*: 595-603.
- CALELLA, H.F. & R.R.F. CORZO (eds.), 2006. *El Chaco Árido de La Rioja. Vegetación y suelos. Pastizales naturales*. Ediciones INTA. Buenos Aires. 192 pp.
- CAPITANELLI, R.G., 1979. Geomorfología. En: Vázquez J.B., Miatello R.A. y Roqué M.E. (Coords.). *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Ed. Boldt. Córdoba, Argentina. Pp.: 213-296.
- CHADWICK, O.A., E.F. KELLY, D.M. MERRITS & R.G. AMUNDSON, 1994. Carbon dioxide consumption during soil development. *Biogeochem.* 24: 115-127.
- DAHNIKE, W.C. & D.A. WHITNEY, 1988. Measurement of Soil Salinity. En: Dahnke, W.C. (ed.). *Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region*. North Dakota Agric. Exp. Stn. Bull. Pp.: 32-34.
- DARGÁM, R.M., 1995. Geochemistry of waters and brines from the Salinas Grandes basin, Córdoba, Argentina. I. Geomorphology and hydrochemical characteristics. *Int. J. of Salt Lake Res.* 3: 137-158.
- DAY, P.R., 1986. Particle fractionation and particle-size analysis. En: Black, C.A. (ed.). *Methods of Soil Analysis (Part I)*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. Pp.: 545-567.
- DI RIENZO, J., F. CASANOVES, L. GONZALEZ, M. TABLADA, C. ROBLEDO & M. BALZARINI, 2007. *Infostat*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Software estadístico.
- IUSS GRUPO DE TRABAJO WRB, 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos* No. 103. FAO, Roma. 130 pp.
- KARLIN, M.S., 2010. Relación suelo y planta. En: Coirini, R., Karlin, M. y Reati, G. (eds.). *Manejo Sustentable del Ecosistema Salinas Grandes, Chaco Árido*. Ed. Encuentro. Pp.: 119-127.
- KARLIN, M.S. & E.V. BUFFA, 2010. Suelos. En: Coirini, R., Karlin, M. y Reati, G. (eds.). *Manejo Sustentable del Ecosistema Salinas Grandes, Chaco Árido*. Ed. Encuentro. Pp.: 81-90.
- KARLIN, M.S., O.A. BACHMEIER, A. DALMASSO, J.M. SAYAGO & R. SERENO, 2011. Environmental Dynamics in Salinas Grandes, Catamarca, Argentina. *Arid Land Research and Management* 25 (4), 328-350.
- KARLIN, M.S., E.V. BUFFA, U.O. KARLIN, A.M. CONTRERAS, R.O. COIRINI & E.J. RUIZ POSSE, 2012. Relaciones entre propiedades de suelo, comunidades vegetales y receptividad ganadera en ambientes salinos (Salinas Grandes, Catamarca, Argentina). *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 8 (1): 30-45.
- MIRÓ, R.C., M.F. GAIDO, J.C. CANDIANI & C. AIMAR, 2005. *Hoja geológica de Recreo (2966-IV)*. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Naturales. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.
- MUELLER-DOMBOIS, D. & H. ELLENBERG, 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, US. 547 pp.

- PASSERA, C.B. & O. BORSETTO, 1983. Determinación del Índice de Calidad Específico. En: Subcomité Asesor del Árido Subtropical Argentino (ed.). *Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas*. Orientación Gráfica, Buenos Aires. Pp.: 80-89.
- PASSERA, C.B., A.D. DALMASSO & O. BORSETTO, 1983. Método de Point Quadrat modificado. En: Subcomité Asesor del Árido Subtropical Argentino (ed.). *Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas*. Orientación Gráfica, Buenos Aires. Pp.: 71-79.
- RAGONESE, A.E., 1951. La vegetación de la República Argentina. II. - Estudio fitosociológico de las Salinas Grandes. *Rev. Inv. Agríc.* 5(1-2): 1-233.
- RAWLS, W.J., D.L. BRAKENSIEK & K.E. SAXTON, 1982. Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE* 25 (5): 1316-1320.
- RICHARDS, L.A. (ed.), 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Sodic Soils*. USDA, Washington DC. 159 pp.
- RUIZ POSSE, E., U.O. KARLIN, E. BUFFA, M. KARLIN, C. GIAI LEVRA & G. CASTRO, 2007. Ambientes de las Salinas Grandes de Catamarca, Argentina. *Multequina* 16: 123-37.
- SHAW, P.A. & D.S.G. THOMAS, 1989. Playas, pans and salt lakes. En: Thomas, D.S.G. (ed.). *Arid zones geomorphology*. Halsted Press. Pp: 184-205.
- SOIL SURVEY STAFF, 2010. *Keys to soil taxonomy*. USDA-NRCS. 11th ed. US. 939 pp.
- TOTH, T. & G. JOZEFACIUK, 2002. Physicochemical properties of a solonchic toposequence. *Geoderma* 106 (1): 137-159.
- WIKUM, D.A. & G.F. SHANHOLTZER, 1978. Application of the Braun-Blanquet Cover-Abundance Scale for vegetation analysis in land development studies. *Environ. Management* 2 (4): 323-9.
- YECHELI, Y. & W.W. WOOD, 2002. Hydrogeologic processes in saline systems: playas, sabkhas, and saline lakes. *Earth-Science Reviews* 58: 343-365.
- YOLCUBAL, I., M.L. BRUSSEAU, J.F. ARTIOLA, P. WIERENGA. & L.G. WILSON, 2004. Environmental physical properties and processes. En: Artiola, J., Pepper, I. y Brusseau, M. (eds.). *Environmental monitoring and characterization*. Academic Press, San Diego, CA. Pp.: 207-239.
- ZAMORA, E.M., 1990. *Cartografía, génesis y clasificación de los suelos del Noroeste de la Provincia de Córdoba*. Tesis doctoral. Mimeo. Córdoba, Argentina. 174 pp.

Recibido: 02/2013

Aceptado: 08/2013