

25. Medio Ambiente.

## CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS DE SUELOS SALINOS DEL NORESTE DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA.

Ghiglione, Matías; Díaz, Carola.

[ghigli\\_93@hotmail.com](mailto:ghigli_93@hotmail.com);

[caroladiaz@agro.unc.edu.ar](mailto:caroladiaz@agro.unc.edu.ar)

Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Universidad Nacional de Córdoba

### Resumen

En el noreste de la Provincia de Córdoba el proceso de expansión agrícola avanzó sobre superficies antes ganaderas, generando incertidumbre sobre la sustentabilidad del sistema. En los últimos años apareció un fenómeno de tormentas de polvo y sal provenientes de las playas salinas ubicadas sobre la costa norte de la Laguna Mar Chiquita, que llegan a afectar grandes superficies. El efecto de la deposición de estos sedimentos sobre el suelo es objeto de estudio. Nuestro objetivo fue realizar una caracterización de parámetros físicos de suelos salinos del NE de Córdoba. Se identificaron 3 sitios con distintos grados de salinidad, ubicados en; Miramar (M) a 1 km de la Laguna Mar Chiquita, Balnearia (B) a 12 km de la laguna y Villa Fontana (VF) a 70 km al sur. Se evaluaron 4 parámetros;

Densidad aparente (Dap), Evaluación visual de la Estructura (E), Resistencia a la penetración (Rp) y Estabilidad estructural (EE), los cuales fueron medidos sobre suelos agrícolas en comparación a suelos prístinos. Se observó una relación directa entre E y Dap, los valores más bajos de Dap se encontraron en los bosques de VF y M, correspondiente al mejor tipo de estructura: friable. Las curvas de Rp tuvieron similar distribución en los 3 sitios, coincidió que las mayores resistencias se encontraron en los suelos prístinos, pero fue debido a su menor contenido de humedad. Respecto a EE; en B y VF el bosque nativo tuvo valores más altos que los agrícolas, mientras que en M, sitio de mayor contenido salino pero con presencia de sodio se encontraron los valores más bajos en ambos tratamientos. Se manifestó el efecto floculante de las sales sobre los parámetros físicos del suelo y la disminución de la estabilidad estructural y aumento de la densidad aparente ante la presencia de sodio en el perfil.

**Palabras clave:** salinidad, parámetros físicos, sodio.

## INTRODUCCIÓN Y PROBLEMÁTICA

El proceso de expansión agrícola iniciado en los años 90, bajo el estímulo del actual ciclo húmedo y un aumento en la escala de explotación, condujo a la expansión de la frontera agrícola, a veces a expensas de tierras frágiles que exigen mayores cuidados para mantenerlas productivas. (Los Suelos. 2006) En el noreste de la Provincia de Córdoba el proceso de agriculturización vino acompañado por desmontes, la difusión de la soja avanzó sobre superficies antes ganaderas y sobre áreas con riesgo climático, generando incertidumbre sobre la sustentabilidad del sistema a largo plazo. Estas transformaciones originaron importantes mutaciones socioeconómicas, productivas, ambientales y territoriales, desencadenando en algunos lugares procesos degradativos. (Coppi G. 2007) Así, en establecimientos ubicados sobre las márgenes suroeste de la laguna Mar Chiquita, se empezaron a evidenciar signos de salinización y sodificación, en suelos que por su descripción edafológica no presentan características de que hayan sido genéticamente salinos y sódicos. (Zak et al., 2004). A este proceso se le sumó en los últimos años un fenómeno natural; tormentas de polvo y sal, provenientes de la costa norte de la Laguna Mar Chiquita, que llegan a afectar más de 150 km de longitud. Este

fenómeno, único en América, comenzó en el año 2006, debido al marcado descenso del nivel de la laguna que ha dejado al descubierto grandes playas salinas del orden de 300 mil hectáreas. En cuanto a las consecuencias de estas nubes salinas, no se conocen en forma detallada cuál sería su impacto en la salud de las poblaciones ya que dependerá de la granulometría de los granos suspendidos y transportados. La deposición de la sal en los suelos podría tener consecuencias negativas sobre cultivos, sobre todo en el área cercana a Mar Chiquita. (Bucher, E., 2009). La preocupación se incrementa si se considera que estos procesos podrían ir en aumento si no se hace un uso racional de la tierra. Atento a esta problemática este estudio busca investigar la gravedad de la misma para informar sobre la importancia de la conservación del recurso suelo y el mantenimiento de la productividad de estas tierras, ya que dada la variabilidad de las condiciones edáficas relacionadas con la halomorfía, la explotación de estos suelos de limitada aptitud requieren de prácticas de manejo adecuadas a la singularidad de cada ambiente. En este sentido un conocimiento más adecuado e integrado de las características pedológicas e hidrológicas permitiría guiar de manera más conveniente la utilización y desarrollo de esta extensa y problemática región

generando un aporte para mejorar el uso y manejo de este tipo de suelos. La evaluación de estos procesos degradativos mediante parámetros físicos permitirá definir indicadores de calidad de suelo. *El cambio de uso de la tierra unido a un fenómeno natural antes no observado ponen en riesgo la sustentabilidad ambiental de la zona.*

La zona de estudio se ubica en el noreste de la provincia de Córdoba, comprendida dentro del departamento de Río Primero, sobre el ambiente geomorfológico Pampa loésica plana. En este departamento los suelos predominantes de drenaje libre son Hapustoles (78%, mayormente énticos, aunque también hay típicos) y Argiustoles; en las áreas planas y plano cóncavas que han favorecido procesos de iluviación y el desarrollo de horizontes de acumulación de arcilla (horizontes argílicos). Son proporcionalmente importantes los Ustorthentes (13%); los suelos de los bajos son Natralboles (9%) y Natracualfes (7%) caracterizados por la acumulación de sales y sodio que se hacen más frecuentes hacia la transición con la depresión del Mar de Ansenúza (Gorgas, 2006).

## **Objetivos**

### General:

Incorporar y difundir conocimientos para la conservación del recurso suelo y el mantenimiento de su productividad en el tiempo.

### Específicos:

Evaluar cómo varían los parámetros físicos de suelos salinos en función de distintos grados de cobertura del suelo y en comparación a situaciones prístinas (monte).

## **Materiales y métodos**

Este estudio se realizó en suelos franco limosos de las unidades MKud-26 y AEtc-54, del mapa Los Suelos con escala de 1:500.000. (Soil Survey Staff, 2014). Siendo los suelos predominantes Argiustol údico con fase moderadamente bien drenada, Natracualf típico y Natralbol típico.

Para la caracterización física de los suelos se realizaron las siguientes determinaciones en laboratorio:

Densidad aparente (Blake y Hartage, 1986), y estabilidad estructural (Kemper y Roseneau, 1986), se realizaron por triplicado en cada sitio. La densidad aparente se determinó a través del cilindro de Kopecki en 4 profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm. Las dimensiones de este fueron de 4,65 cm de diámetro por 5 cm de alto, mientras que para estabilidad estructural se tomaron muestras superficiales 0-10 cm con pala plana y colocadas en bandejas plásticas, sin perturbar su estructura.

A campo se realizó la evaluación visual de la estructura y se midió la resistencia a la penetración mediante el uso del penetrómetro.

### Evaluación visual de la Estructura (E)

La estructura del suelo afecta la penetración de raíces, la disponibilidad de agua para las plantas y la aireación del suelo. Con esta prueba rápida y simple se evaluó la estructura del suelo basada en la apariencia y el tacto de un bloque de suelo extraído con una pala.

La escala de la prueba va de Estrato 1 (Sq 1) a Estrato 5 (Sq 5);

**Sq 1: Friable.** Agregados que se desmoronan fácilmente con los dedos, mayormente menores a 6 mm luego de desmenuzar el bloque, finos agregados. Altamente poroso. Presencia de raíces. La acción de romper el bloque es suficiente para revelarlos. Grandes agregados se componen de los más pequeños, sostenidos por las raíces.

**Sq 2: Intacto.** Agregados fácil de romper con una mano. Mezcla agregados porosos de 2mm a 7 cm. La mayoría de los agregados son porosos. Presencia de raíces. Alta porosidad. Los agregados cuando se obtienen son redondeados, muy frágiles, se desmoronan muy fácilmente y son muy porosos.

**Sq 3: Firme.** La mayoría de los agregados se rompe con una mano. Mezcla de agregados porosos de 2mm a 10 cm, menos del 30% son menores a 1 cm. Puede haber presentes algunos

agregados angulares no porosos. Macroporos y grietas presentes. Se observan poros y raíces dentro de los agregados. Baja porosidad. Los fragmentos de agregados son bastante fáciles de obtener. Tienen pocos poros visibles y son redondeados. Las raíces crecen normalmente a través de los agregados.

**Sq 4: Compacto.** Requiere un esfuerzo considerable para quebrar los agregados con una mano. La mayoría de los agregados son subangulares, no porosos y con un largo mayor a 10 cm, menos del 30% miden menos de 7cm. Pocos macroporos y grietas. Todas las raíces están agrupadas en los macroporos y alrededor de los agregados. Se distinguen macroporos. Los fragmentos de agregados son bastante fáciles de obtener cuando el suelo está húmedo, son en forma de cubos muy afilados que muestran grietas internas.

**Sq 5: Muy compacto.** Agregados difíciles de romper. La mayoría tiene una longitud mayor a 10 cm, muy pocos miden menos de 7 cm, son angulares y no porosos. Muy baja porosidad, puede presentar macroporos. Puede contener zonas anaerobióticas. Pocas raíces, que crecen por las grietas. Color gris azulado. Los fragmentos de agregados son bastante fáciles de obtener cuando el suelo está húmedo, aunque puede ser necesaria una fuerza considerable. No se observan poros o grietas por lo general.

Materiales:

Pala plana, bandeja blanca de telgopor, lápiz, cuchillo, cartilla “Visual evaluation of soil structure”.

Metodología:

1. Se realizó una trinchera con pala a la profundidad de 30 cm.
2. Se retiró cuidadosamente una porción de suelo de aproximadamente 20 cm de ancho por 25 cm de profundidad, con estructura inalterada, para ello, se cortó con cuchillo los bordes laterales del bloque de suelo a estudiar.
3. Se colocó la muestra de suelo cuidadosamente sobre la bandeja.
4. Se fragmentó el suelo por sus líneas naturales ejerciendo una leve presión con los dedos índice y pulgar.
5. Se separó por estratos las diferentes estructuras siguiendo la clasificación propuesta en la cartilla y se determinó el Sq al que pertenecen.
6. Se determinó el espesor de cada estrato y el espesor total en cm.
7. Se aplicó la siguiente fórmula para obtener el valor final de cada muestra:

$$\text{Calidad visual de la estructura (CVE)} = \frac{\text{sq del estrato 1} \times \text{espesor 1}}{\text{espesor total}} + \frac{\text{sq del estrato 2} \times \text{espesor 2}}{\text{espesor total}} + \frac{\text{sq del estrato 3} \times \text{espesor 3}}{\text{espesor total}} + \dots$$

Sq del estrato 1, 2, n: valor de calificación visual de la estructura obtenido mediante cartilla.

Espesor 1, 2, n: Espesor de suelo en cm que presenta las mismas características estructurales.

Espesor total: espesor de suelo total en estudio (cm).

#### Resistencia a la penetración (Rp).

La resistencia a la penetración se determinó mediante un penetrómetro marca Tornomar SA Versión 2.0.8.0. (Desarrollo del Hardware por INTI Rafaela y desarrollo del Software por TinySoft Desarrollos); el diámetro del cono fue de 20,27 mm y el área basal de 9,62 cm<sup>2</sup>. La RP se determinó hasta los 80 cm de profundidad y fue expresada en MPa. La resistencia a la penetración es una propiedad del suelo que a menudo no es tenida en cuenta o no se la considera como se debiera a pesar de que en muchas situaciones limita el crecimiento radical y el rendimiento (Unger y Kaspar, 1994).

#### **Metodología de muestreo.**

Para todas las determinaciones se tomaron muestras en 3 establecimientos agropecuarios, uno ubicado en Miramar a 1 km de la Laguna Mar Chiquita que presenta niveles altos de sal y moderada sodicidad, otro en Balnearia a 12 km de la laguna con leve salinidad y en Villa Fontana ubicado a 70 km al sur de la laguna, con leve salinidad en profundidad. Se establecieron 3 grados de intensidad de la problemática observando el estado

del suelo y la vegetación (cultivo agrícola).  
Comparando con el monte natural.

Grado 0 (G0): Monte.

Grado 1 (G1): suelo cubierto, vegetación sin disminución en su crecimiento y desarrollo.

Grado 2 (G2): suelo cubierto, vegetación con disminución en su crecimiento y desarrollo.

Grado 3 (G3): suelo desnudo o con escasa vegetación.

## Resultados y Discusión

### Densidad aparente (Dap)

Resultados obtenidos.

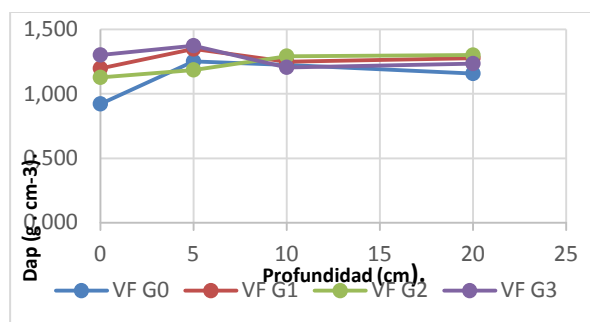


Gráfico N°1: Densidad aparente a distintas profundidades. Sitio Villa Fontana.

El gráfico n° 1 muestra que en VF los datos recabados fueron similares en donde G0 en los primeros 5 cm la Dap es menor que en los otros tres casos debido a la mayor presencia de M.O. que posee el bosque, observándose a simple vista un perfil más mullido.

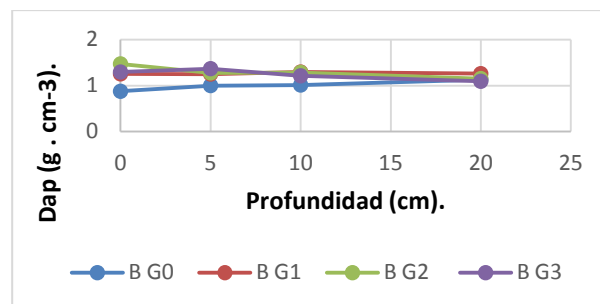


Gráfico N°2: Densidad aparente a distintas profundidades. Sitio Balnearia.

El gráfico n° 2 muestra que en B el suelo G0 posee una Dap baja en superficie aumentando hacia la profundidad, alcanzado valores similares a las tres situaciones restantes. Esto es favorecido por la presencia del bosque el cual le provee de abundante M.O., procesos microbiológicos por la presencia de abundantes raíces. Los casos G1, G2, G3 no presentan diferencias significativas ya que se analizó tres situaciones en la que las problemáticas se incrementaban

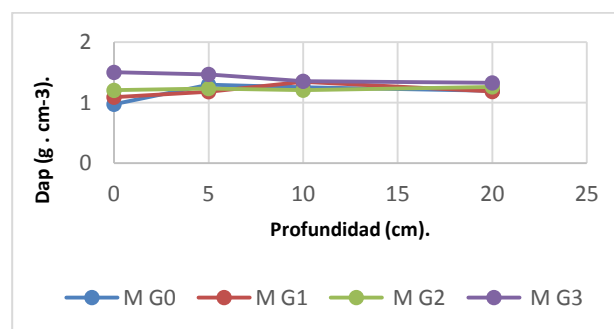


Gráfico N°3: Densidad aparente a distintas profundidades. Sitio Miramar.

El gráfico n° 3 muestra que en M los valores de la Dap en G0, G1, G2, fueron muy similares. En el suelo G3 la Dap fue mayor desde la superficie hasta los 10 cm en donde tomó valores iguales a los otros

tres casos. La causa de esto es la presencia de sodio, el cual ocasiona la dispersión de los agregados del suelo produciéndose una compactación del mismo (menor volumen del suelo ocupado por aire).

Se realizó un análisis de los tres sitios (VF, B, M) que se encuentran en los gráficos n° 1, 2 y 3 respectivamente, el cual arrojó que en el grado G0 de VF y M se obtuvieron valores de Dap similares en los primeros cm, a diferencia de BG0 en el cual los valores fueron menores a los dos casos anteriormente mencionados (hasta los 17 cm). En MG3 los valores que se obtuvieron fueron los mayores, debido a la compactación y sodicidad presente.

#### Evaluación Visual de la Estructura (EVE)

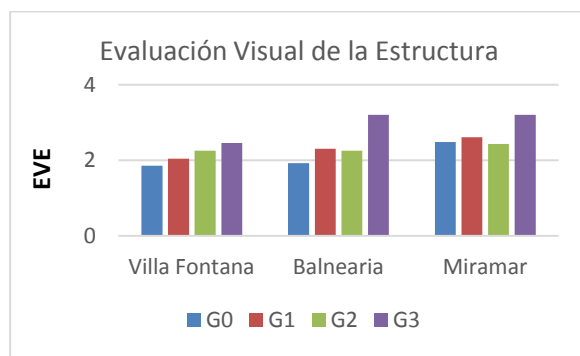


Gráfico N°4: Estructura del suelo en los diferentes sitios.

El gráfico n° 4 muestra que en M se encontraron los mayores valores de calidad visual de la estructura en los 4 grados de cobertura evaluados. En los 3 sitios de muestreo el grado G3 obtuvo valores por encima de G0, G1, G2. El

grado G3 tanto en B como M se obtuvieron los mayores valores presentando una estructura firme a compacta, respecto de esto Wong et al. (2006) sostiene que los suelos sódicos se dispersan al humedecerse, formando estructuras endurecidas masivas cuando se secan. Además posee agregados poco porosos y subangulares, los cuales requieren un esfuerzo considerable para quebrar los agregados con una mano. Cuando el contenido de sodio se eleva, las partículas sólidas pierden su agregación (debido al deterioro de la estructura que este elemento causa a consecuencia de su naturaleza dispersante de los coloides), se rompe la red de poros y se altera la normalidad de estos acontecimientos (Vázquez, 2003). En los bosques (G0) de VF y B se observaron las mejores condiciones estructurales, presentando una estructura Friable a Firme, con agregados de alta porosidad y buena cantidad de raíces que atraviesan y sostienen a los mismos, siendo fáciles de romper con una mano. Estos valores están correlacionados directamente con la Dap.

#### Resistencia a la penetración (Rp).

*Gráficos de penetrometría*

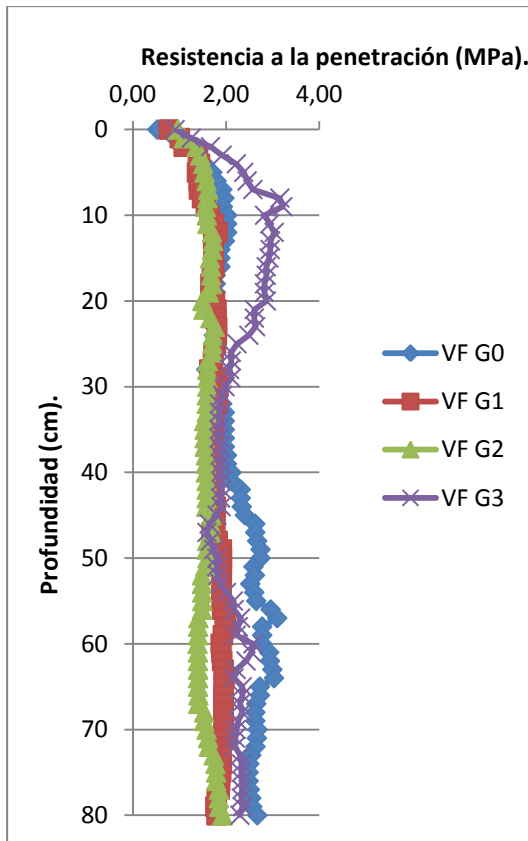


Gráfico N°5: Penetrometría a distintas profundidades. Sitio Villa Fontana.

El gráfico n° 5 muestra que en VF, el grado G0 muestra mayor resistencia a la penetración después de los 30 cm de profundidad debido a un menor contenido de humedad. Mediciones realizadas en otros montes demuestran que el monte se mantiene habitualmente más seco debido a que esta ecológicamente adaptado a consumir toda el agua que cae. Mientras que en los sitios (G1, G2) con cultivo hubo menor resistencia a la penetración debido a un mayor contenido hídrico por consecuencia de que los cultivos no tienen la capacidad de extraer la totalidad de agua. En el caso del suelo G3 desde la superficie hasta los 30 cm. Ofreció

resistencia debido a la estructura laminar que posee. Desde los 30 cm. Hasta los 54 cm. Se comportó igual a los suelos G1 y G2, a partir de allí aumentó nuevamente la resistencia a la penetración.



Figura N°1: Estructura que se encontró en VF G3. Se observa una estructura laminar bien definida. Bloque inalterado.





Figura N°2: Bloque anterior (figura n°1) desmenuzado. Se aprecia un patrón de distribución horizontal de las raíces.

El valor crítico de la resistencia mecánica a la penetración que impide la elongación de los cultivos es muy discutido, variando entre 0,9 y 3 MPa (Wilson *et al.*, 2006) además depende de la etapa de desarrollo de las plantas (Taboada y Micucci, 2004). A pesar de esto, en general el valor más aceptado es 2 MPa, dependiendo del penetrómetro utilizado (Wilson *et al.*, 2006). En base a estos autores se realizó un análisis que arrojó que en VF el grado G3 a los 9 cm de profundidad alcanzó un valor de 3 MPa (valor que impide la elongación las raíces) manteniéndose hasta los 15 cm a partir de allí descendió a 1,9 MPa tomado como

aceptable según Wilson *et al.*, 2006. En B los grados G1 y G3 a los 6 cm de profundidad alcanzaron los 3 MPa mientras que G2 a la misma profundidad alcanzó los 3,5 MPa. A partir de aquí todas las situaciones comenzaron a tomar valores menores hacia la profundidad. En M los grados que superaron los 2 MPa fueron G0 y G1 a partir de los 5 cm valor que se mantuvo en profundidad.

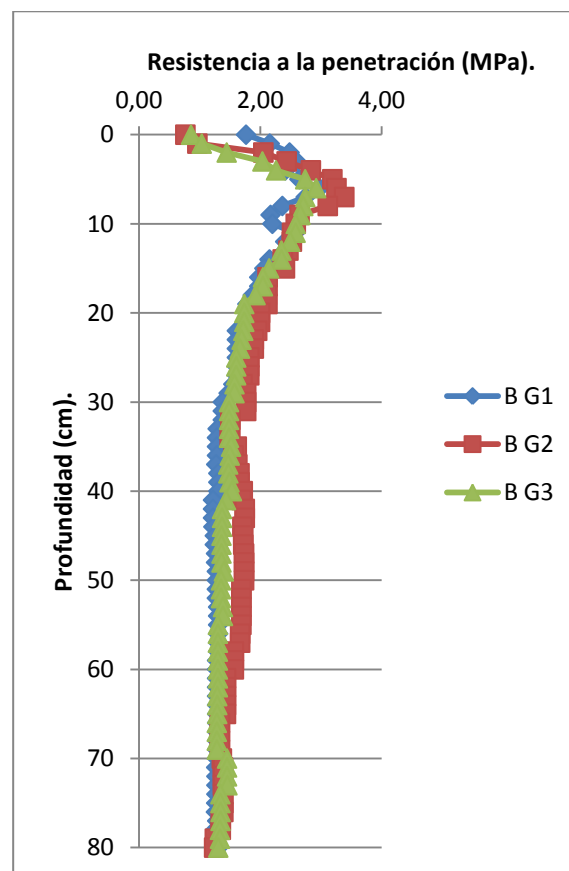


Gráfico N°6: Penetrometría a distintas profundidades. Sitio Balnearia.

El gráfico n° 6 muestra que en B, el grado G0 no se pudo realizar mediciones de penetrometría debido a la gran compactación que se presentaba en el bosque. En los otros tres sitios (G1, G2,

G3) la gráfica nos muestra una situación normal y similar en la que se ofreció cierta resistencia en los primeros 15 cm mayormente en G2, atenuándose a partir de este punto. Esto es causa de la compactación por los implementos agrícolas ya que no se aprecian problemas estructurales de origen genético. En zonas agrícolas del norte de Córdoba, Rollan y Bachmeier (2013) demostraron el incremento creciente en la densificación de suelos sometidos a siembra directa a distintas profundidades. Este aumento en la densificación provocó, entre otras cosas, un incremento en la resistencia mecánica. En las Figuras 1 y 2 puede observarse un patrón de crecimiento horizontal por parte de las raíces producto de la resistencia mecánica en busca de grietas o zonas de menor resistencia. Generalmente, se acepta que cuando una impedancia mecánica aumenta, la penetración de las raíces se reduce (Taboada y Micucci, 2004).

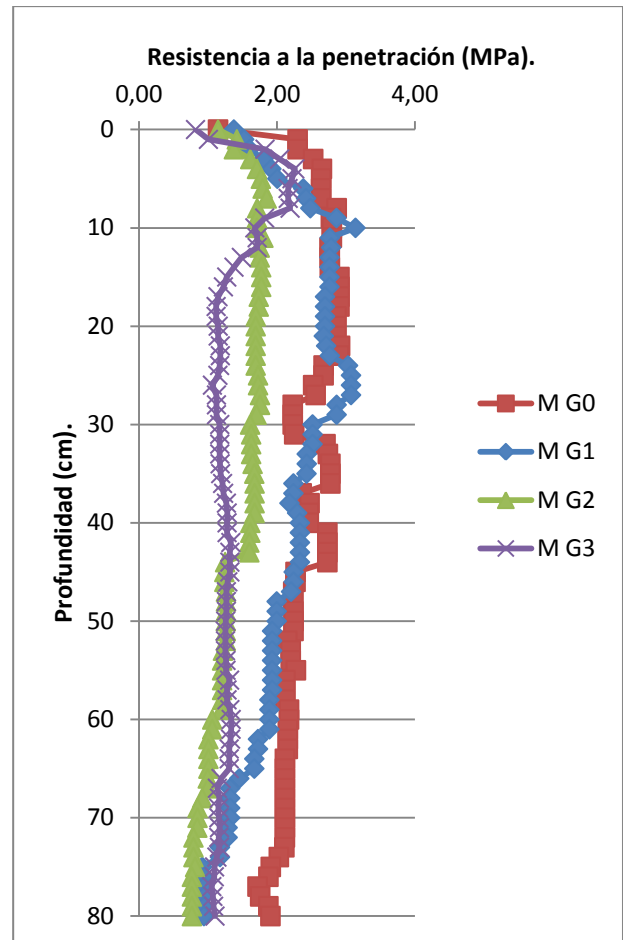


Gráfico N°7: Penetrometría a distintas profundidades. Sitio Miramar.

El gráfico n° 7 muestra que en M, el suelo en el bosque estaba más seco al igual que G1, por consumo de agua de la vegetación presente en ambos casos, por lo que presentaron mayor resistencia a la penetración en todo el perfil evaluado. El suelo G2 estaba más húmedo, y el G3 presentó la humedad mayor a todos, signo de presencia de napas freáticas, las cuales son una de las causas del problema de hidromorfismo y halomorfismo en este sitio. Orientándose las curvas de igual manera.

## Estabilidad estructural (EE).

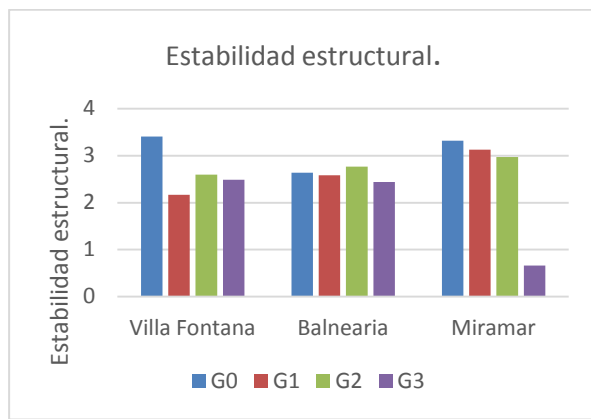


Gráfico N°8: Estabilidad estructural del suelo en los diferentes sitios.

La estabilidad estructural es la resistencia que oponen los agregados del suelo a ser destruidos en presencia de agua. Cuanto más agregados estables haya en el suelo, menor será la densidad aparente (mayor volumen del suelo ocupado por aire).

El gráfico n° 8 muestra que en VF y M el bosque nativo tuvo valores más altos de estabilidad estructural significativo (p-valor 0,0001), mientras que en B el bosque tuvo valores semejantes a los otros grados de cobertura del mismo sitio. EnMG3 se observaron los valores significativamente más bajos de todos los tratamientos y sitios, esto es debido a la presencia de sodio el cual tiene un poder dispersante de los agregados.

### **Conclusión**

Se observó una relación directa entre Estructura y Densidad aparente, los suelos de VF mostraron la mejor estructura ya que los agregados fueron más porosos, con gran proporción de

raíces, en consecuencia la Dap tuvo valores bajos en los cuatro grados de cobertura de ese sitio. Los valores más bajos de Dap se encontraron en los bosques de VF y M, correspondiente al mejor tipo de estructura: friable. Las curvas de Resistencia a la penetración tuvieron similar distribución en los 3 sitios, coincidió que las mayores resistencias se encontraron en los suelos prístinos, pero fue debido a su menor contenido de humedad. Respecto a Estabilidad estructural; en B y VF el bosque nativo tuvo valores más altos que los agrícolas, mientras que en M, sitio de mayor contenido salino pero con presencia de sodio se encontraron los valores más bajos en todos los grados de cobertura. Se manifestó el efecto floculante de las sales sobre los parámetros físicos del suelo y la disminución de la estabilidad estructural y aumento de la densidad aparente ante la presencia de sodio en el perfil.

### **Bibliografía**

- Angela Botella Cereceda. 2009. "Propuesta de volúmenes ambientales para el sistema Laguna Mar Chiquita. Trabajo final Univ. de Valencia en intercambio con Universidad Nacional de Córdoba.
- Aoki A., Campitelli 2008. Evaluación del efecto de uso y prácticas agrícolas sobre indicadores de calidad de suelo mediante el análisis de componentes principales".
- Apezteguía H. P., R. Sereno. 1998. Metodología para la extracción de la materia orgánica liviana del suelo. XVIº Congreso

- Argentino de la ciencia del suelo. Villa Carlos Paz. Córdoba.
- Bucher, E. (2007). “Bañados del río Dulce y Laguna Mar Chiquita”. Ed. Academia Nacional de Ciencias. ISBN:13:978-987-98313-6-6). Pp: 342
  - Darab, K. 1981. The role of sodium compounds in the formation and properties of salt affected soils. *AgrokemiaesTalanta*. 30: 105-120.
  - Gabriel Coppi 2007. Implicancias del proceso de agriculturización en el departamento rio primero de la provincia de Córdoba.
  - Gorgas JA & MV Bustos. 2008. Dinámica y evaluación de los suelos de Córdoba con problemas de drenaje, salinidad y alcalinidad sódica. Taleisnik, E; Grunberg, K; Santa María, Guillermo. (eds). Editorial de la Universidad Católica de Córdoba. Córdoba. pp 47-62.
  - Informe Comisión de evaluación del impacto de las nubes de polvo y sal generadas en el área de Mar Chiquita. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentos de la Provincia de Córdoba. Julio 2012.
  - Los suelos. Recursos naturales de la provincial de Córdoba. Agencia Córdoba ambiente. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. EEA Manfredi. Córdoba 2006.
  - Edith Taleisnik – Raúl S. Lavado 2017. “Ambientes salinos y alcalinos de la argentina”.
  - Propiedades físicas de suelos sódicos, su impacto en el crecimiento y absorción radical en el cultivo de maíz. Dr. (Ing. Agr.) Omar A. Bachmeier. Córdoba 2017.
  - Compresibilidad y resistencia al corte de suelos salinizados y sodificación por irrigación. Ing. Agr. Telmo C. PALANCAR Departamento de Ingeniería Rural, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

### Financiamiento

Proyecto financiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología, de la Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias.