

Artículo científico

## Análisis comparativo de suelos cultivados y de monte de la provincia del Chaco, Argentina

### Comparative analysis of cultivated and native forest soils of the province of Chaco, Argentina

G.L. Pérez<sup>1\*</sup>; C.E. Sotelo<sup>1</sup>; A.A. Sirio<sup>1</sup>; S. Carnicer<sup>1</sup>; N.P. Mansilla<sup>2\*</sup>; C. Fernández López<sup>3</sup>; M.E. Castelán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Agrotécnico “Pedro M. Fuentes Godo” FCA – Universidad Nacional del Nordeste. Av. Las Heras 727 – Resistencia (3500), Chaco, Argentina. \*E-mail: glp@comunidad.unne.edu.ar

<sup>2</sup> Dirección de Suelos y agua rural – Ministerio de Producción de la Provincia del Chaco (3500). Av. Coronel Falcón N° 149, Resistencia (3500), Chaco, Argentina \*Mail: natalia.mansilla@hotmail.com

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – EEA el Sombrero. Ruta Nacional 12, Km 1008, (3400), Corrientes, Argentina.

#### Resumen

La agricultura en el norte argentino se ha intensificado últimamente avanzando sobre nuevas tierras, generando un impacto sobre los recursos naturales entre los que se encuentra el suelo. Se analizaron variables físicas, químicas y biológicas con el fin de dilucidar cuál de éstas muestra un mayor contraste. Se tomaron muestras de dos campos ubicados en la región oeste de la provincia del Chaco: uno con producción agrícola en un suelo desmontado hace 10 años, otro que realiza producción agrícola hace 80 años. En ambos se tomó el monte contiguo como situación testigo. El muestreo de los suelos se realizó en otoño de dos años consecutivos a una profundidad de cero a 10 y de 10 a 20 centímetros. Como variables físico-químicas y químicas se evaluaron pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, carbono orgánico, fósforo disponible, potasio, calcio, magnesio y sodio. Como variables físicas se determinaron densidad aparente y resistencia mecánica a la penetración. Y como variables biológicas se determinaron actividad respiratoria microbiana del suelo y cuantificación de glomalina fácilmente extraíble. Se realizó análisis de la varianza, test de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) arrojando diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las variables siendo positivos los valores de los suelos de monte. Además, se realizó un análisis de componentes principales. Las variables más determinantes fueron: densidad aparente, resistencia mecánica a la penetración, pH, el carbono orgánico y la glomalina fácilmente extraíble.

**Palabras clave:** Cambio de uso; Variables físicas; Variables químicas; Variables biológicas; Ambiente.

#### Abstract

Agriculture in northern Argentina has intensified lately, advancing on new lands, generating an impact on natural resources, including the soil. Physical, chemical and biological variables were analyzed in order to elucidate which of these shows the greatest contrast. Samples were taken from two fields: one with agricultural production on land cleared 10 years ago, another that has been producing agricultural production for the last 80 years. In both, the contiguous native vegetation was taken as control. Soil sampling was carried out in the fall of two consecutive years at a depth of zero to 10 and 10 to 20 centimeters. As physicochemical and chemical variables, pH, electrical conductivity, total nitrogen, organic carbon, available phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sodium were evaluated. As physical variables, apparent density and mechanical resistance to penetration were determined. As biological variables, microbial respiratory activity of the soil and quantification of easily extractable glomalin were determined. Analysis of variance, Tukey's test ( $\alpha = 0.05$ ) was performed, yielding statistically significant differences in most of the variables, being positive the values from the native vegetation soils. In addition, a principal component analysis was performed. The most determining variables were: apparent density, mechanical resistance to penetration, pH, organic carbon and easily extractable glomalin.

**Keywords:** Land use change; Physical variables; Chemical variables; Biological variables; Environment.

Recibido: 18/05/20; Aceptado: 20/10/20.

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Introducción

Los principales problemas que afectan al bosque nativo en la provincia del Chaco, Argentina, son el desmonte o deforestación, debido al avance de la frontera agropecuaria y al desplazamiento de la ganadería hacia el norte de la provincia, y la degradación del bosque por la pérdida de biomasa, además de la degradación del suelo (REDAF, 2018). Actualmente se encuentra vigente la ley nacional de presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos (N° 26.331/2007) y su adecuación provincial (Ley 6.409/2009). Esta ley nacional establece el Ordenamiento de los Bosques Nativos existentes en su territorio de acuerdo a los criterios de sustentabilidad, estableciendo las diferentes categorías de conservación en función del valor ambiental de las distintas unidades de bosque nativo y de los servicios ambientales que éstos presten. Unos de los requisitos de la ley 26.331 para autorizar los desmontes de bosques nativos de la categoría III, es un Plan de Aprovechamiento del Cambio de Uso del Suelo, el cual deberá contemplar condiciones mínimas de producción sostenida a corto, mediano y largo plazo y el uso de tecnologías disponibles que permitan el rendimiento eficiente de la actividad que se proponga desarrollar. Esto muestra la importancia de evaluar en el tiempo el Potencial de sustentabilidad agrícola (la ley lo define como: análisis cuidadoso de la aptitud que tiene cada sector para ofrecer sustentabilidad de la actividad agrícola a largo plazo).

A partir de estas definiciones, es necesario estudiar indicadores de calidad de suelo que permitan evaluar el impacto del uso agrícola como base para inferir el grado de sustentabilidad de la actividad. Bajo esta realidad se plantea la necesidad de monitorear los suelos para conocer cuál es su tendencia y entre las herramientas disponibles para tal fin está el empleo de indicadores de calidad de suelo. Éstos permiten expresar la condición actual o estado del recurso y su tendencia, la que será positiva o negativa dependiendo de una condición de referencia (Aciar, 2011). En otros países, los estudios revelaron que la conversión a largo plazo de vegetación nativa a usos agrícolas de la tierra (es decir, pastos, labranza cero / sistema integrado de cultivo y ganado, o caña de azúcar) redujo la calidad del suelo evaluada. Sin embargo, los sistemas conservacionistas, por ejemplo la labranza cero, asociada o no al sistema integrado cultivo-ganado, son una alternativa prometedora para me-

jorar la calidad del suelo al aumentar el contenido de carbono y la fertilidad química en comparación con los pastos degradados o el cultivo convencional de caña de azúcar (Bonini da Luz *et al.*, 2019). En este sentido debemos señalar que son escasos los estudios realizados en la Provincia del Chaco referidos a la evaluación de indicadores sensibles al cambio de uso de la tierra.

Giuffré *et al.* (2008) definen a los indicadores como aquellas propiedades edáficas con mayor sensibilidad a los cambios en las funciones del suelo. También señala, que éstos no son universales, sino que difieren según el objetivo de manejo, tipo de suelo, clima y ecosistema evaluado.

Entre los indicadores están los que evalúan las propiedades biológicas del suelo, que involucran a la fracción viva de la materia orgánica, la que funciona en el ambiente físico-químico determinado por los demás componentes del suelo y por la numerosa y compleja comunidad de organismos que lo habitan (Sikora *et al.*, 1996). Los indicadores biológicos describen los principales procesos metabólicos que ocurren en el suelo y son importantes para evaluar la calidad edáfica ya que son sensibles y permiten anticipar los cambios que se producen en el suelo a causa del manejo, incluso antes que se evidencien en las propiedades físicas y químicas (Nunes *et al.*, 2020; Pérez-Brandán *et al.*, 2014; Ferreras *et al.*, 2009; Albanesi *et al.*, 2003). Por ejemplo, la cuantificación de glomalina (glicoproteína segregada por los hongos micorrízicos arbusculares) podría reflejar cambios en el sistema suelo según numerosos autores (Nichols y Wright, 2005; Rillig *et al.*, 2003; Rillig *et al.*, 2002; Wright y Upadhyaya, 1996). Wall *et al.* (2011) evaluaron la respuesta de las buenas y malas prácticas agrícolas, comparándolas con un sitio de referencia, determinando que las propiedades biológicas muestran diferencias significativas en cada tratamiento.

La calidad física le confiere al suelo características en cuanto a resistencia mecánica, transmisión y de almacenamiento de fluidos que proveen las proporciones correctas de agua, nutrientes disueltos, y el aire, permitiendo el óptimo rendimiento de los cultivos y la mínima degradación ambiental (Topp *et al.*, 1997). Entre las variables físicas que se utilizan como indicadores, se encuentran la densidad aparente, la porosidad y la capacidad de retención de agua del suelo (Reynolds *et al.*, 2002).

Por lo expuesto, es importante realizar un estu-

dio exploratorio sobre las variables edáficas como base para jerarquizar aquéllas con mayores posibilidades de utilización como indicadores de calidad en el marco del manejo sustentable de este recurso aplicables a la zona de habilitación de suelos para el uso agrícola de la provincia del Chaco.

El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de la acción antrópica sobre variables químicas, físicas y biológicas de los suelos en dos sitios, y jerarquizar las variables medidas en base a la magnitud del efecto antrópico evidenciado.

## Materiales y métodos

### *Caracterización del lugar*

El área de estudio se encuentra en el sector oeste de la provincia del Chaco, Argentina. De acuerdo a los registros de la estación meteorológica de INTA Las Breñas (Herrera, 2009) el promedio anual de precipitaciones es de 946 mm, con un notable descenso en los promedios mensuales desde mayo a septiembre. En estos cinco meses se registra sólo el 14 % del total anual. La variabilidad de precipitaciones entre años es muy notable y esto hace que los valores oscilen entre 513 mm (año 2008) y 1550 mm (año 1986).

Las temperaturas máximas promedian los 28,1 °C anuales y las mínimas unos 14,9 °C, dando una temperatura media anual de 21,1 °C. En verano las temperaturas son muy elevadas, llegando la máxima absoluta a 44,8 °C el 10 de diciembre de 1970, y en invierno son muy bajas, con una mínima absoluta de -7,5 °C registrada el 20 de julio de 1957. El período libre de heladas agrometeorológicas es de 256 días, con fechas medias para la primera helada el 31 de mayo y para la última helada el 3 de septiembre, y fechas extremas el 15 de abril y el 6 de octubre respectivamente.

### *Sitios productivos*

Los sistemas productivos estudiados fueron: en primer lugar, un suelo desmontado hace 10 años el cual se destinó inicialmente al cultivo de sorgo y luego girasol, maíz y soja bajo sistema de siembra directa. Esta situación corresponde al campo del productor Vicentín (AV) el cual tiene una cortina con monte de especies nativas (MV) con poca o nula incidencia del hombre. Por estas características el suelo de esta situación fue utilizado como referencia para contrastar los efectos de la actividad agrícola.

El establecimiento productivo se encuentra ubicado en el Departamento Almirante Brown con una coordenada de referencia a 26° 19' 43,83" S de latitud y 61° 34' 23,68" O de longitud. El sitio de muestro pertenece a la Serie Luz (Haplustol Óxico) que se encuentra en lomas medias tendidas de relieve normal.

En segundo lugar se seleccionó un lote perteneciente al establecimiento Martín (AM) ubicado en una coordenada de referencia a 26° 42' 16,00" S de Latitud y Longitud: 61° 04' 39,60" O. El mismo cuenta 80 años de actividad agrícola mayormente bajo sistema de labranza convencional y monocultivo de algodón. En los últimos siete años el productor adoptó el sistema productivo conservacionista de labranza cero. En el mismo se realizan cultivos de soja, sorgo, maíz y muchos años atrás algodón. Como en el caso anterior se comparó este tipo de uso del suelo con un monte aledaño (MM) como situación cercana a la original. Pertenece a la Serie Flecha (Ustocrept Fluvéntico).

### *Datos meteorológicos*

En base a los datos de la Estación Meteorológica convencional INTA de Las Breñas (SIGA 2020) en el período de muestreo (2013-2014) se registraron 335 mm de precipitaciones con una temperatura promedio de 24 °C para el primer muestreo y 753 mm y 24 °C para el segundo.

### *Muestreo y análisis de suelos*

En cada establecimiento se tomaron muestras de suelo del lote agrícola y el lote de monte lindero. Esto se realizó en otoño de dos años consecutivos. En cada situación las muestras fueron recolectadas a dos profundidades, de 0 - 10 cm y de 10 - 20 cm en 4 estaciones por lote, compuestas por 5 submuestras basado en la homogeneidad de los sitios.

Las variables químicas y fisico-químicas determinadas fueron: Carbono orgánico oxidable, (CO) Escala semi-micro - Método de Walkley y Black (IRAM - SAGPyA 29571-2); Nitrógeno total (Nt), método Kjeldahl modificado Escala semi-micro (IRAM - SAGPyA 29572:2009); fósforo extraíble (P) por el método de Bray Kurtz 1 modificado (Norma IRAM - SAGPyA 29570-1, 2010); pH en solución acuosa relación suelo:agua 1:1,25 (IRAM - SAGPyA 29574:2009).; Conductividad eléctrica (CE) en solución acuosa relación suelo:agua 1:5. IRAM - SAGPyA21322:2006; Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio intercambiables (Ca, Mg, K

y Na), en extracto con acetato de amonio, 1M a pH 7;  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ , determinados por complejometría con EDTA; potasio y sodio, por fotometría de llama (Sparks *et al.*, 1996).

Las variables físicas evaluadas fueron: Densidad aparente (Dap), para la cual se realizaron 4 mediciones por el procedimiento del cilindro (Klute, 1986) en cada situación, en las dos profundidades. Además, se midió la resistencia mecánica a la penetración (Rmp) para lo cual se realizaron 16 mediciones por situación (el suelo estaba a capacidad de campo), utilizando un penetrómetro de impacto. Las características del mismo son punta cónica (ángulo de  $30^\circ$ ), un vástago de 50 cm y un martillo cilíndrico de 2 kg (Nacci, 1992).

Las variables biológicas determinadas fueron: glomalina fácilmente extraíble (GFE) siguiendo el método de extracción de Wright (1996) y determinado por espectrofotometría mediante el método de Bradford (Bradford, 1976).

También se determinó actividad respiratoria microbiana mediante técnicas de incubación (Schinner y Sonleitner, 1996), colocando 30 g de suelo humedecido y tamizado (2 mm). El dióxido de carbono liberado se recogió en hidróxido de sodio y se tituló con ácido clorhídrico 0,5 N y fenolftaleína como indicador, los controles fueron realizados a los 7, 14 y 21 días. Las comparaciones se realizaron por semana entre sitios.

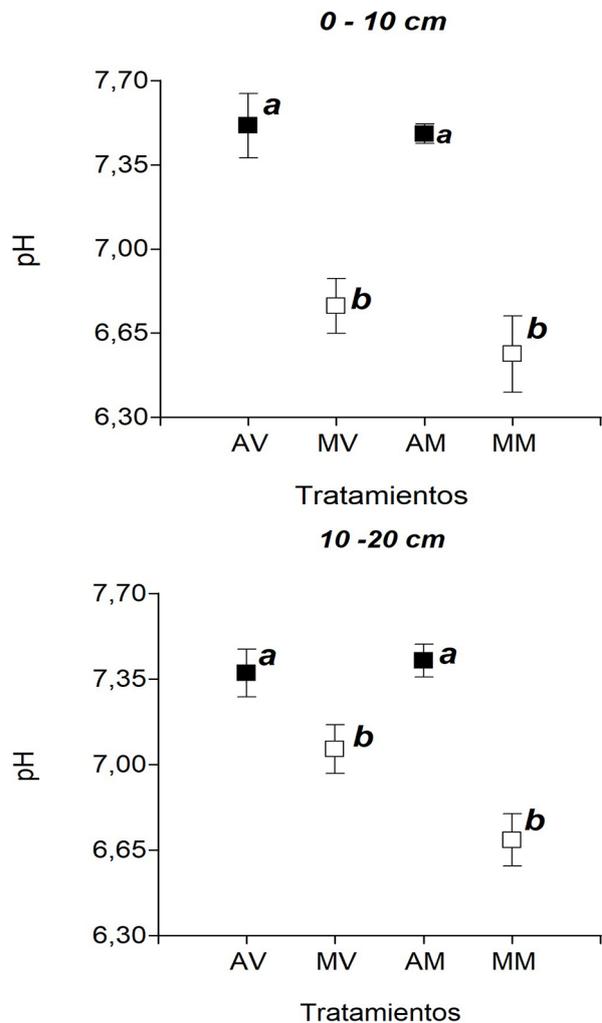
#### Análisis estadístico

El diseño utilizado fue completamente aleatorizado, se analizaron mediante análisis de la varianza y prueba de Tukey para comparación de los promedios ( $\alpha = 0,05$ ), además se realizó análisis de componentes principales con el fin de dar respuesta a los objetivos planteados con los procedimientos incluidos en el software INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2012). Para la mayoría de las variables se combinaron los años estudiados para las dos profundidades ya que las condiciones climáticas, dentro del promedio de la zona no ameritaron que se trabajaran por separado. La variable Rmp se analizó mediante análisis de la varianza y prueba de Tukey por profundidad entre los cuatro sitios.

## Resultados y discusión

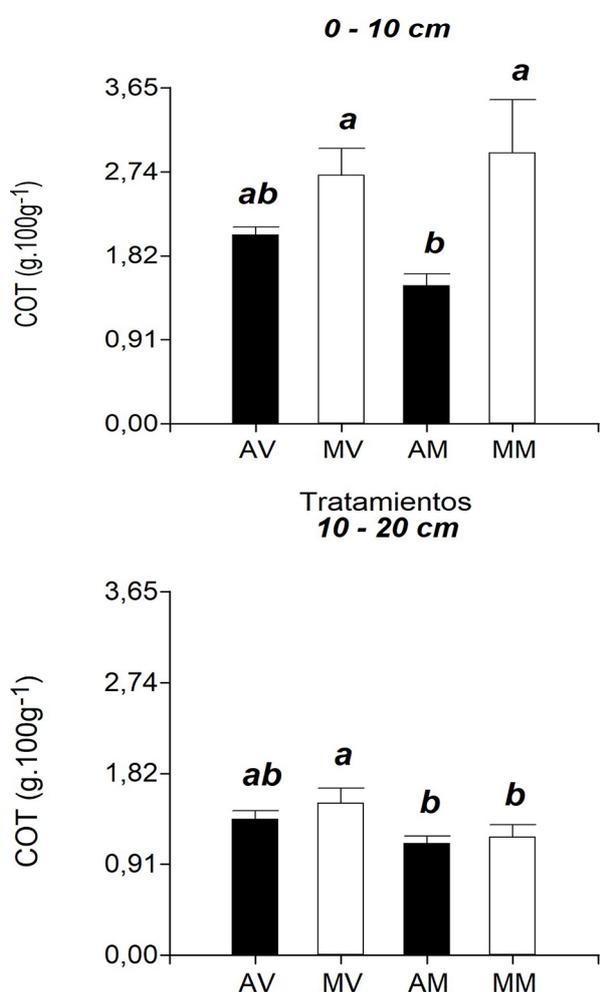
Como se puede apreciar en la Figura 1, los valores de pH de 0 a 10 cm, mostraron diferencias significativas entre los manejos de ambos estable-

cimientos, correspondiendo los valores más bajos a las situaciones de referencia. En la profundidad de 10 a 20 cm, en el establecimiento Vicentín no hay diferencia estadística, en contraposición del establecimiento Martín en el cual hubo una elevación significativa de pH en comparación con el monte. Se puede evidenciar que los suelos de los lotes agrícolas sufrieron un aumento de pH en comparación con los valores de sus respectivos testigos lo que concuerda con lo hallado por Campitelli *et al.* (2010). Estos suelos en situación pseudoprístina no solamente son acidificados por exudados radicales sino que además son protegidos de la salinización potencial que subyace en sus horizontes (Zurita, 2007). Rojas *et al.* (2016) plantean el aumento de pH en lotes productivos de la zona favorecido probablemente por el tipo de sales presentes en el suelo.



**Figura 1.** pH (actividad) en suelo a dos profundidades en los distintos lotes. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Situaciones evaluadas: AV: Agricultura Vicentín; MV: Monte Vicentín; AM: Agricultura Martín; MM: Monte Martín. Las barras indican el error estándar de las medias.

El contenido de carbono orgánico presentó diferencias significativas en la capa superficial evidenciando los valores más altos en los suelos de MV y MM (Figura 2).



**Figura 2.** Contenido de carbono en g.100g<sup>-1</sup> de suelo a dos profundidades en los distintos lotes. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Situaciones evaluadas: AV: Agricultura Vicentín; MV: Monte Vicentín; AM: Agricultura Martín; MM: Monte Martín. Las barras indican el error estándar de las medias.

Estas diferencias del contenido de CO entre los suelos de monte y agrícolas, son similares a las encontradas por otros autores (Ferrerías *et al.*, 2009; Urricariet *et al.*, 1999). Como es de esperar, los suelos de monte tienen mayor contenido de CO debido al constante aporte de materia orgánica. La falta de diferencia entre AV y MV, se debe principalmente a que el lote agrícola fue desmontado recientemente (7 años), y a que la actividad agrícola que se realiza es bajo un sistema conservacionista.

Por el contrario, en el sitio Martín las acentuadas diferencias entre los valores de CO, pueden estar relacionadas con la historia del lote agrícola, con 80 años de agricultura convencional, y 7 años de labranza conservacionista.

En la capa subsuperficial el contenido de CO fue significativamente mayor en MV con respecto a MM. Ello se debería a las condiciones de escasa intervención humana en ese monte a diferencia de MM que tiene menor densidad arbórea debido a la extracción selectiva.

El nitrógeno total, fuertemente relacionado a la materia orgánica, presentó un comportamiento similar: en la capa superficial los dos suelos de referencia presentaron valores significativamente mayores. En la capa subyacente, al igual que con CO, el mayor contenido corresponde a MV, difiriendo significativamente de AM y MM.

Si bien el fósforo y el contenido de bases intercambiables son muy importantes para la nutrición vegetal, en este estudio no serán analizados en profundidad debido a que presentan altos valores (Tabla 1). Las magnitudes de estos valores se corresponden con la descripción de las cartas de suelo (Zurita, 2007; Ledesma y Zurita, 1995), inclusive superando los valores de referencia.

Un suelo es clasificado como salino cuando presenta una conductividad eléctrica mayor 4 dS.m<sup>-1</sup>

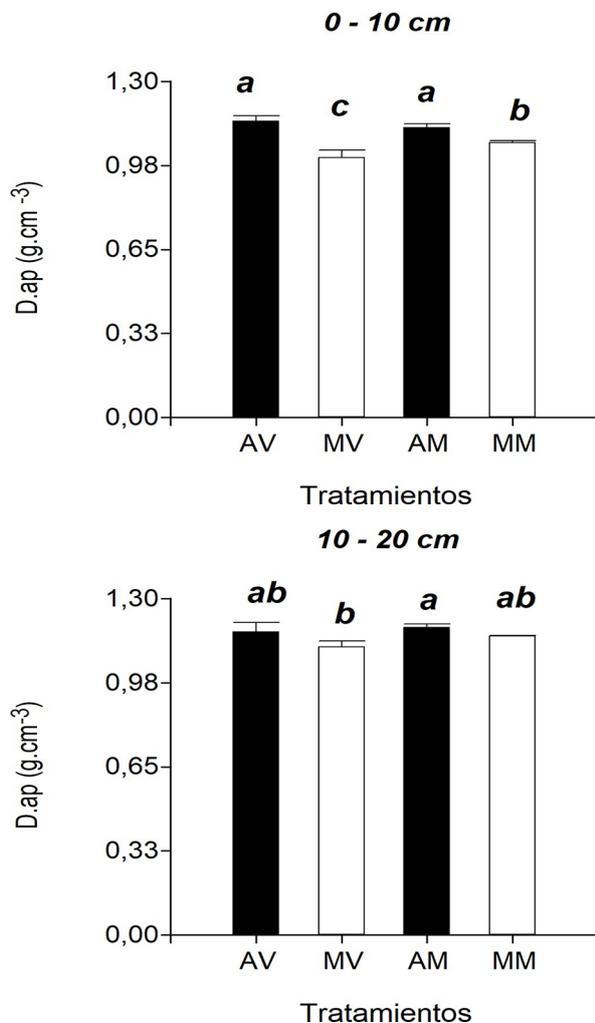
**Tabla 1.** Valores de calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na) y conductividad eléctrica (CE) (media  $\pm$  error estándar) para los dos establecimientos a dos profundidades. Ca, Mg, K y Na están expresados en cmol (+).kg<sup>-1</sup>, CE en dS.m<sup>-1</sup>

Sitio*	Profundidad	Ca	Mg	K	Na	CE
AV	0-10 cm	21,7 $\pm$ 1,26 a	4,39 $\pm$ 0,31 a	2,2 $\pm$ 0,11 a	0,06 $\pm$ 0,01 b	0,09 $\pm$ 0,01 ab
MV		20,5 $\pm$ 1,26 ab	3,78 $\pm$ 0,31 b	1,9 $\pm$ 0,11 a	0,06 $\pm$ 0,01 b	0,10 $\pm$ 0,01 a
AM		15,7 $\pm$ 1,26 bc	3,53 $\pm$ 0,31 b	1,9 $\pm$ 0,11 a	0,05 $\pm$ 0,01 b	0,05 $\pm$ 0,01 b
MM		14,7 $\pm$ 1,26 c	3,22 $\pm$ 0,31 b	0,1 $\pm$ 0,11 b	0,10 $\pm$ 0,01 a	0,08 $\pm$ 0,01 ab
AV	10-20 cm	20,2 $\pm$ 1,30 a	3,95 $\pm$ 0,28 a	1,7 $\pm$ 0,11 a	0,05 $\pm$ 0,01 b	0,06 $\pm$ 0,01 a
MV		18,8 $\pm$ 1,30 ab	3,35 $\pm$ 0,28 a	1,8 $\pm$ 0,11 a	0,06 $\pm$ 0,01 b	0,07 $\pm$ 0,01 a
AM		14,5 $\pm$ 1,30 bc	3,20 $\pm$ 0,28 a	1,6 $\pm$ 0,11 ab	0,07 $\pm$ 0,01 ab	0,05 $\pm$ 0,01 a
MM		11,9 $\pm$ 1,30 c	2,97 $\pm$ 0,28 a	1,3 $\pm$ 0,11 b	0,1 $\pm$ 0,01 a	0,06 $\pm$ 0,01 a

\*Tratamientos: AV: lote agrícola Vicentín, MV: lote de monte Vicentín; AM: lote agrícola Martín; MM: lote de monte Martín. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según test de Tukey.

y un porcentaje de sodio intercambiable menor a 15 (Richards, 1954). Según el grado de tolerancia de los cultivos, se considera que con 2-5 dS.m<sup>-1</sup> algunos cultivos presentan restricciones, 5-8 dS.m<sup>-1</sup> supone restricciones para muchos cultivos y por encima de 8 dS.m<sup>-1</sup> todos los cultivos disminuyen sus rendimientos (Benlloch-Gonzalez *et al.*, 2005). En el presente trabajo los valores de conductividad fueron bajos y no son limitantes para la producción. En la primera profundidad, los valores más altos se obtuvieron en MV seguidos de AV, MM y finalmente AM siendo este último diferente significativamente del primero.

Los valores de densidad aparente de 0 a 10 cm fueron mayores para las dos situaciones de agricultura presentando AV un incremento del 14 % con respecto a su testigo y un incremento de 5,6 % entre AM y MM (Figura 3).



**Figura 3.** Densidad aparente en suelo a dos profundidades en los distintos lotes. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Situaciones evaluadas: AV: Agricultura Vicentín; MV: Monte Vicentín; AM: Agricultura Martín; MM: Monte Martín. Las barras indican el error estándar de las medias.

Estos resultados son similares a los encontrados por Ferreras *et al.* (2007) y Campitelli *et al.* (2010) en los cuales los lotes destinados a la producción agrícola presentaron un incremento de densidad aparente con respecto a su situación de referencia.

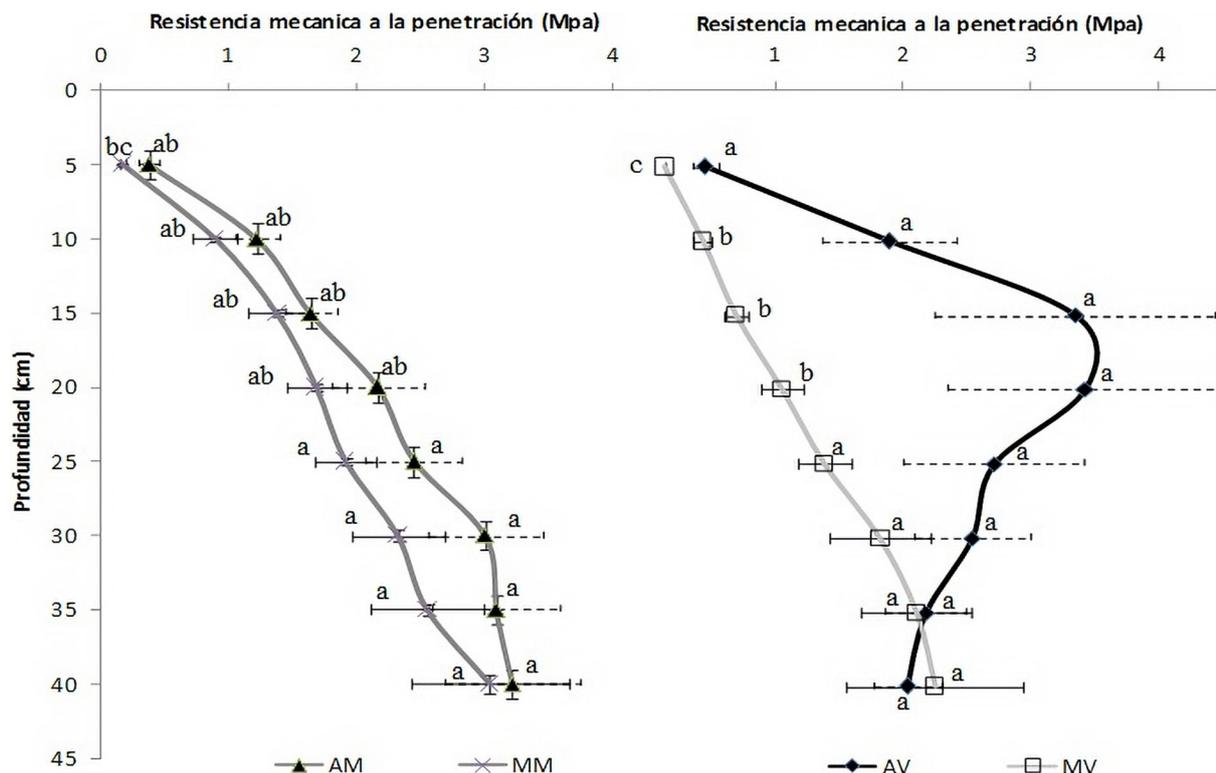
Para la profundidad de 10 a 20 centímetros los valores de densidad aparente no difirieron estadísticamente entre cada lote agrícola y su suelo de referencia.

Como se puede ver en la Figura 4, las diferencias estadísticas de resistencia mecánica a la penetración ajustadas a la humedad de muestreo (Barik *et al.*, 2014) se dan en general hasta los 15 cm entre AV y MV lo cual indica que la falta de laboreo de suelo desde la habilitación del lote no mantuvo el suelo en valores cercanos a la del suelo original, lo que podría deberse al ingreso de la maquinaria con suelo húmedo o la alta presión de los neumáticos (Botta *et al.*, 2004). El valor crítico de 2 Mpa (Gupta y Allmaras, 1987) para crecimiento de raíces, abastecimiento de agua y nutrientes fue notablemente superado en AV entre 15 y 20 cm.

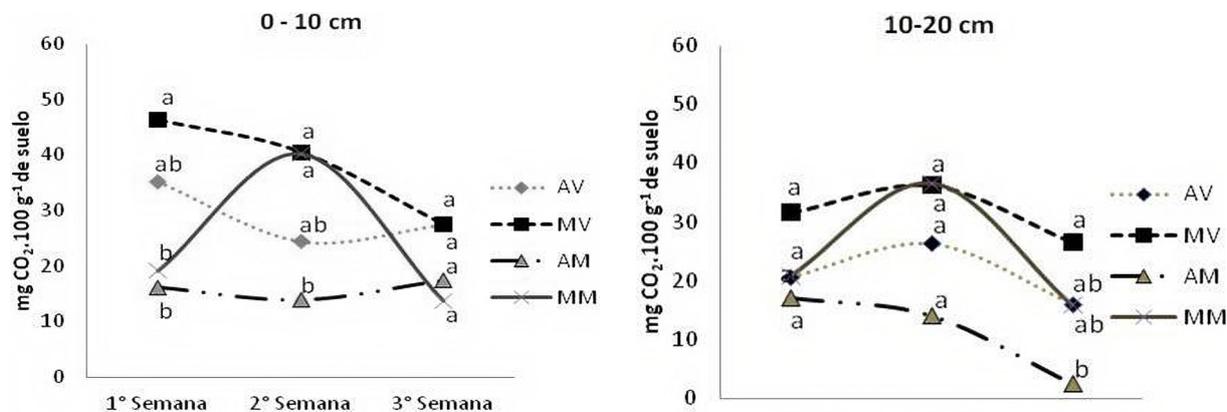
La Rmp en el lote AV tuvo un incremento del 30 % frente a MV, evidenciando un deterioro en las propiedades físicas. Esto no se corresponde con la diferencia estadística presentada en los valores de densidad aparente debido a que la Rmp se relaciona solo en parte con la variación de Dap, un 60 % según los encontrado por Blanco (2009), atribuyendo el resto de la variación a otros factores como la plasticidad y la adhesividad.

La actividad respiratoria microbiana (ARM) inicial de la primer profundidad fue superior para el caso de MV diferenciándose estadísticamente de los lotes de Martín (Figura 5) pudiendo deberse a la historia de cada tratamiento y la disponibilidad de nutrientes. En la segunda medición MM presentó un pico de actividad igualando a MV diferenciándose estadísticamente de AM. Esto se relaciona con la cantidad de materia orgánica ya que esta sirve de sustrato para los microorganismos al hacer una incubación con temperatura y humedad óptima (Álvarez-Solís, 2000).

Para la siguiente profundidad, sólo manifestaron diferencias significativas a la tercera semana siendo superior MV y el de menor actividad el lote AM. Este desarrollo se aproxima a lo determinado por Di Ciocco *et al.* (2014) donde se determinó la ARM en suelos con distintos tipos de uso obteniendo los valores más bajos en los lotes de uso agrícola en comparación con un suelo de pastizales sin incidencia del hombre.



**Figura 4.** Resistencia mecánica a la penetración promedio de los dos años para los dos establecimientos. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). AV: Agricultura Vicentín; MV: Monte Vicentín; AM: Agricultura Martín; MM: Monte Martín.

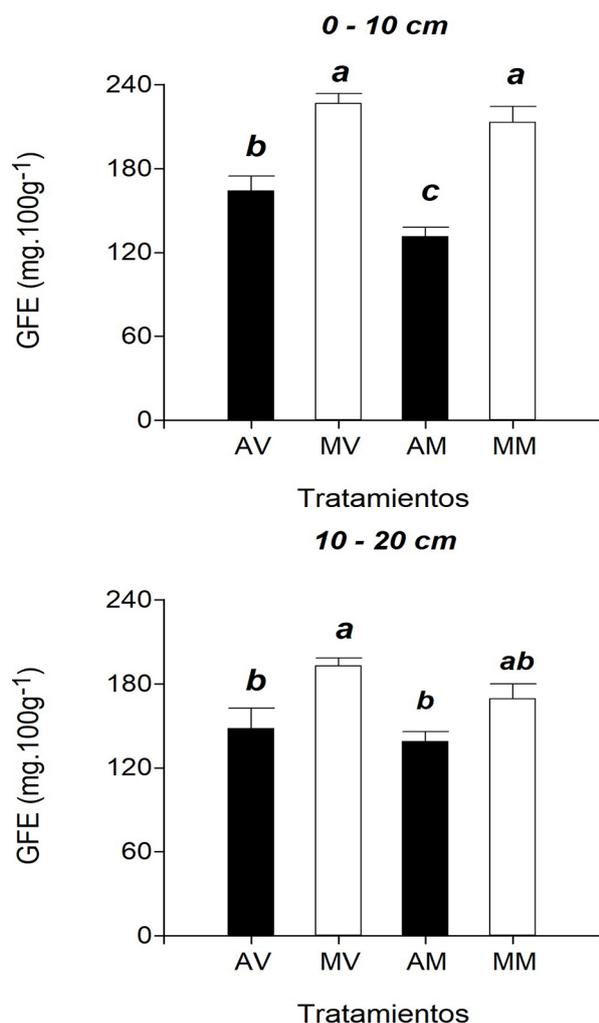


**Figura 5.** Actividad respiratoria microbiana promedio de dos años a dos profundidades medida cada siete días en mg CO<sub>2</sub>.100g<sup>-1</sup> de suelo. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Situaciones evaluadas: AV: Agricultura Vicentín; MV: Monte Vicentín; AM: Agricultura Martín; MM: Monte Martín.

Como se puede apreciar en la Figura 6, el contenido de GFE a los 10 cm es mayor en los suelos de los lotes testigos obteniéndose una diferencia de 27,4 % para el caso del campo de Vicentín y una de 38,5 % para el campo de Martín. Cabe resaltar que al analizar los lotes agrícolas se evidencia un mayor contenido GFE frente a los suelos de referencia.

A los 20 cm la mayoría de los lotes experimentó una disminución con respecto a la capa superficial manteniendo tendencias similares.

Varios trabajos indican una relación positiva entre la actividad biológica y la glomalina. Entre ellos Wright y Upadhyaya (1998) encontraron una correlación de  $r = 0,61$  para el contenido de carbono total y GFE de 37 suelos. Rilling *et al.* (2003) encontraron valores de correlación entre CO y GFE de  $r = 0,70$  para suelos de uso agrícola y  $r = 0,71$  para suelos de referencia. Para este caso los valores de correlación de estas mismas variables fueron menores:  $r = 0,57$  para la primera profundidad y  $r = 0,44$  para la segunda.



**Figura 6.** Contenido de GFE en mg.100g<sup>-1</sup> en suelo a dos profundidades en los distintos lotes. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Situaciones evaluadas: AV: Agricultura Vicentín; MV: Monte Vicentín; AM: Agricultura Martín; MM: Monte Martín. Las barras indican el error estándar de las medias.

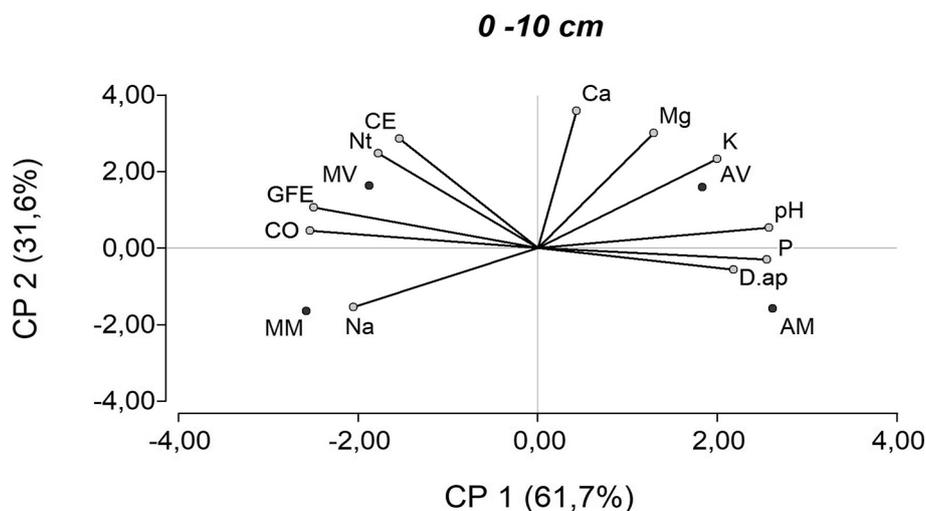
### Análisis de componentes principales

En el análisis de componentes principales para la profundidad de 0 a 10 cm, los dos primeros ejes explicaron el 93 % de la variabilidad total permitiendo la representación gráfica de casi todas las propiedades medidas en un mismo plano. La CP1 quedó definido por cinco variables (Tabla 2), pH CO, P, Dap y GFE.

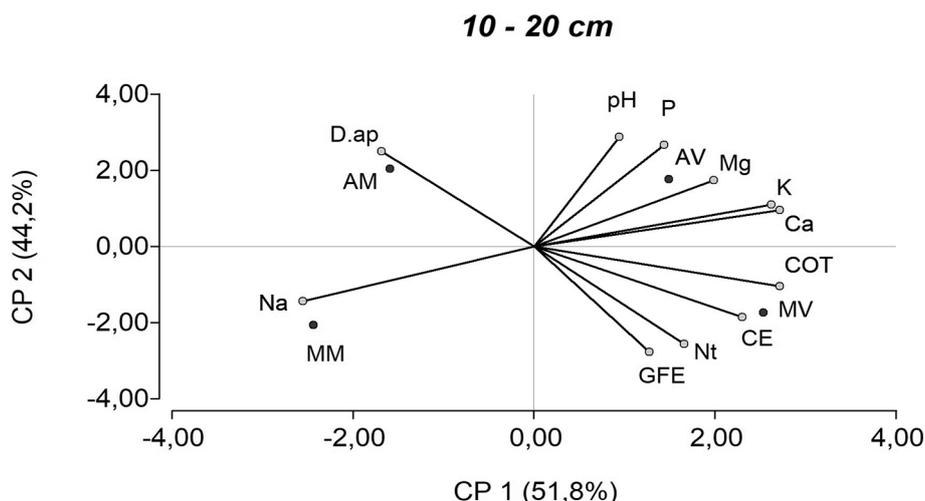
**Tabla 2.** Autovectores de los parámetros analizados para las dos componentes principales (CP1 y CP2) a dos profundidades.

Variables	0 - 10 cm		10 - 20 cm	
	CP1	CP2	CP1	CP2
pH	0,38	0,08	0,14	0,42
CE	-0,23	0,42	0,33	-0,27
Nt	-0,26	0,36	0,24	-0,37
CO	-0,37	0,07	0,39	-0,15
P	0,38	-0,04	0,21	0,39
Ca	0,06	0,53	0,39	0,14
Mg	0,19	0,44	0,29	0,25
Na	-0,30	-0,23	-0,37	-0,21
K	0,29	0,34	0,38	0,16
Dap	0,32	-0,08	-0,24	0,36
GFE	-0,37	0,16	0,18	-0,40

Además, asociando las componentes a las variables vemos que el pH, P y Dap son opuestas a CO y GFE. La CP1 dividió los suelos de monte de los agrícolas; a su vez, se pudo observar como el tratamiento MV se encuentra asociado a las variables CE, Nt, CO y GFE. Por otra parte, MM se encuentra asociado al Na. El tratamiento AV se relacionó más con Mg, K, P y pH mientras que AM se encuentra más asociado a Dap (Figura 7). El CP2 está definido por los cationes intercambia-



**Figura 7.** Gráfico biplot de análisis de componentes principales para una profundidad de 0 a 10 cm de los sitios agricultura Vicentín (AV), monte Vicentín (MV), agricultura Martín (AM), monte Martín (MM) con las variables pH: potencial hidrogeno; CE: conductividad eléctrica, Nt: Nitrógeno total, CO: carbono orgánico, P: Fósforo extractable; Cationes intercambiables (Ca: calcio; Mg: Magnesio; Na: sodio; K: potasio); Dap: Densidad aparente; GFE: Glomalina fácilmente extraíble.



**Figura 8.** Gráfico biplot de análisis de componentes principales para una profundidad de 10 a 20 cm de los sitios agricultura Vicentín (AV), monte Vicentín (MV), agricultura Martín (AM), monte Martín (MM) con las variables pH: potencial hidrogeno; CE: conductividad eléctrica, Nt: Nitrógeno total, CO: carbono orgánico, P: Fósforo extractable; Cationes intercambiables (Ca: calcio; Mg: Magnesio; Na: sodio; K: potasio); Dap: Densidad aparente; GFE: Glomalina fácilmente extraíble.

bles Ca, Mg y K, y por el contenido de Nt y la CE; variables todas propias de cada suelo, reflejándose la separación entre los sitios Vicentín y Martín.

En la profundidad de 10 a 20 cm los dos componentes principales explican el 96 % de la variabilidad total. El CP1 separa los establecimientos productivos explicando el 51,8 % de la variabilidad. Esto puede atribuirse a que son distintas series de suelo. Como se ve en la Figura 8, AM se encuentra asociado a Dap y MM a Na. Por otra parte, el resto de las variables se encuentran asociadas a los lotes de Vicentín. Las variables pH, P, Mg, K y Ca se encuentran asociadas al lote agrícola y CO, CE, Nt, y GFE se encuentran asociadas al monte de este establecimiento. El CP1 queda definido por cinco variables: Ca, K, CO, CE y Na, siendo esta última opuesta a las primeras (Tabla 2). El CP2 separa el monte de la agricultura y queda definida por Dap, pH, Nt, GFE, Dap y P poniendo en evidencia el efecto del uso del suelo. Las variables pH, P y Dap son contrarias a Nt y GFE.

## Conclusiones

El pH fue la variable más sensible para manifestar las diferencias en cambio de uso del suelo analizando la capa superficial.

Las variables CO y GFE evidencian diferencias entre los suelos de monte y agrícola. Por otra parte, ambas tuvieron los mayores pesos en la determinación del CP1 en el análisis de componentes principales para el primer horizonte junto al pH.

Las variables físicas evidenciaron un notable detrimento de cualidades edáficas en profundidad

para uno de los campos estudiados (AV).

La actividad respiratoria microbiana no evidenció cambios a corto plazo en el cambio de uso de suelo. Sin embargo, la glomalina fácilmente extraíble sí fue una variable sensible al cambio de uso de suelo en corto tiempo.

Este trabajo permitió explorar el impacto del uso agrícola sobre propiedades edáficas de interés para el monitoreo de la calidad de suelos en dos sitios de la Provincia del Chaco. Se requiere mayor número de investigaciones en un gradiente ambiental más amplio como para poder establecer indicadores de calidad de suelos de interés para la evaluación y monitoreo de suelos tendientes a un uso responsable del recurso.

## Agradecimientos

A la Secretaria General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste por el financiamiento del proyecto. Al personal del Instituto Agrotécnico de la UNNE y de la Dirección de Suelos y Agua Rural. A los productores Ing. Agr. Lucas Vicentín y José María Martín por permitir realizar los estudios en sus campos.

## Referencias bibliográficas

- Aciar L.M., Mercado Cárdenas G.E., Sanchez D.C., Arzeno J.L. 2012. Uso de Indicadores de calidad de suelo para el monitoreo de lotes tabacaleros en Salta. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo - XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 16 al 20 de abril de 2012. Mar del Plata, Argentina. P. 461.

- Ahlgren I.F., Ahlgren C.E. (1960). Ecological effects of forest fires. *The Botanical Review*. 26: 483-533. En: *Applied Soil Ecology* 27 (2004) 125-133.
- Albanesi A., Anriquez A., Kunst C., Lopez C. (2003). Calidad de suelo. Propiedades biológicas y evaluación en ecosistemas semiáridos. En: *Microbiología Agrícola. Un aporte de la investigación argentina – 2da ed.* Albanesi A. (Ed.). Magna Publicaciones. Argentina. Pp. 1-27.
- Álvarez C.R., Taboada M.A. (2008). Indicadores de la fertilidad física del suelo. En: *Fertilidad Física de los suelos*, 2da ed. Taboada M.A., Álvarez C.R. (Eds.). Editorial Facultad de Agronomía UBA. Argentina. Pp. 155-180.
- Álvarez-Solís J.A. (2000). Actividad microbiana en tepetate con incorporación de residuos orgánicos. *Agrociencia* 34 (5): 523-532.
- Anderson J.P.E. (1982). Soil respiration. Part II. 2nd ed. *Agronomy* 9. En: *Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties*. Page A.L., Miller R.M., Kenny D.R. (Eds.). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, EEUU.. Pp 831-871.
- Barik K., Aksakal R.L., Islam K.R., Sari S., Angin I. (2014). Spatial Variability in Soil Compaction Properties Associated with Field Traffic Operations. *Catena* 120: 122-33.
- Blanco R. (2009). La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia* 43: 231-239.
- Benlloch-Gonzalez M., Fournier J., Ramos J., Benlloch M. (2005). Strategies underlying salt tolerance in halophytes are present in *Cynara cardunculus*. *Plant Science* 168: 653-659.
- Bonini da Luz F., Rodrigues da Silva V., Kochem Mallmann F.J., Bonini Pires C.A., Debiassi H., Franchini J.C., Cherubin M.R. (2019). Monitoring soil quality changes in diversified agricultural cropping systems by the Soil Management Assessment Framework (SMAF) in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 281: 100-110.
- Botta G.F., Jorajuria D., Balbuena R., Rosatto H. (2004). Mechanical and cropping behavior of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max L.*) yields. *Soil and Tillage Research* 78 (1): 53-58.
- Bradford M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.
- Brookes P.C., Landman A., Pruden G., Jenkinson D.S. (1985). Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen. *Soil Biology Biochemistry* 22: 725-727.
- Campitelli P., Aoki A., Gudelj O., Rubenacker A., Sereno R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 28 (2): 173-178.
- Di Ciocco C., Sandler R., Falco L., Coviella C. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico-químicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo* 46 (1): 73-85.
- Di Rienzo J.A., Balzarini M., Casanaves F., González L., Tablada M., Robledo C.W. (2012). *Infostat Profesional. Versión 2012*. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Ferraras L., Magra G., Besson P., Kovalevski E., García F. (2007). Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 25 (2): 159-172.
- Ferreras L., Toresani S., Bonel B., Fernández E., Baccigaluppo S., Faggioli V., Beltrán C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 27: 103-114.
- Gallardo A., Schlesinger W.H. (1990). Estimating microbial biomass nitrogen using the fumigation-incubation and fumigation-extraction methods in a warm-temperate forest soil. *Soil Biology Biochemistry* 22: 927-932.
- Giuffrè L., Ratto S., Romaniuk R. (2008). Indicadores Ambientales. En: *Agrosistemas: Impacto Ambiental y Sustentabilidad*. Lidia G. (Ed). Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Argentina. Pp. 1-17.
- Gupta S.C., Allmaras R.R. (1986). Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. En: *Advances in Soil Science*. Stewart B.A. (Ed.) Vol. 6: Pp. 65-100.
- Herrera A.G. (2009). *Parámetros Climáticos – Estación meteorológica: EEA INTA Las Breñas*. Argentina. Pp. 1-10.
- IRAM S. (2006). Norma IRAM 21322:2006. Determinación de conductividad eléctrica en soluciones acuosas.
- IRAM S. (2009). Norma IRAM- SAGPyA 29571-2:2009. Determinación de materia orgánica en suelos. Parte 2- Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, escala semi-micro.
- IRAM S. (2009). Norma IRAM- SAGPyA 29572:2009. Determinación de nitrógeno en suelo por el método Kjeldahl modificado.
- IRAM S. (2009). Norma IRAM- SAGPyA 29574:2009. Determinación del pH en suelo para uso agropecuario.
- IRAM S. (2010). Norma IRAM- SAGPyA 29570-1: -2010. Determinación de fósforo extraíble en suelos. Parte 1- Método BrayKurtz 1 modificado (Extracción con solución de fluoruro de amonio-ácido clorhídrico).
- Klute A. (1986). *Methods of Soil Analysis: Part 1— Physical and Mineralogical Methods*. SSSA Book

- Series 5.1. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. EEUU.
- Ledesma L., Zurita J. (1995). Los suelos de la Provincia del Chaco. Primera etapa. Carta de suelos del Departamento General Belgrano. INTA-Ministerio de la Producción de la Provincia del Chaco. Argentina.
- Ley 26331 (2007) -<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26331-136125>, consulta: octubre 2020.
- Nunes M.R., Karlen D.L., Veum K.S., Moorman T.B., Cambardella C.A. (2020). Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. *Geoderma* 369: 114335.
- Nacci S., Pla Sentis I. (1992). Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país. *Agronomía Tropical* 42 (1-2): 115-132.
- Nichols K.A., Wright S.F. (2005). Comparison of glomalin and humic acid in eight native U.S. Soils. *Soil Science* 170 : 985-997.
- Page A.L. (1982). Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. EEUU.
- Pérez-Brandán C., Arzeno J., Huidobro J., Conforto C., Grümberg B., Hilton S., Bending G., Meriles J., Vargas-Gil S. (2014). The effect of crop sequences on soil microbial, chemical and physical indicators and its relationship with soybean sudden death syndrome (complex of *Fusarium* species). *Spanish Journal of Agricultural Research* 12 (1): 252-254.
- Red Agroforestal Chaco Argentina (REDAF). (2018). Observatorio de Tierras, Recursos Naturales y Medioambiente. 2018. Monitoreo de Deforestación en los Bosques Nativos de la Región Chaqueña Argentina. Bosque Nativo en la provincia del Chaco. Análisis de deforestación y situación del Bosque chaqueño en la provincia. En: <http://redaf.org.ar/wp-content/uploads/downloads/2019/03/Documeto-Final-Chaco-Sep.-2018.pdf>, consulta: noviembre 2020.
- Reynolds W.D., Bowman B.T., Drury C.F., Tana C.S., Lu X. (2002). Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma* 110: 131-146.
- Richards L.A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *Agriculture Handbook* 60, USDA. Washington D.C. EEUU.
- Rillig M.C., P.W., Sherri M., Eldor AP. (2003). Glomalin, an Arbuscular-Mycorrhizal Fungal Soil Protein, Responds to Land-Use Change. *Plant Soil* 253: 293-299.
- Rillig M.C., Sara F.W., Valerie T.E. (2002). The Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Glomalin in Soil Aggregation : Comparing Effects of Five Plant Species. *Plant Soil* 238: 325-333.
- Rojas J.M., Prause J., Sanzano G.A., Arce O.E.A., Sanchez M.C. (2016). Soil Quality Indicators Selection by Mixed Models and Multivariate Techniques in Deforested Areas for Agricultural Use in NW of Chaco, Argentina. *Soil and Tillage Research* 155: 250 - 262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.08.010>.
- Schinner F., Sonnleitner R. (1996). *Bodenökologie: Microbiologie und Bodenenzymatic*. Springer Verlag. Alemania.
- SIGA (2020). Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica – INTA. En: <http://siga2.inta.gov.ar/>, consulta: noviembre 2020.
- Síkora L., Yakovchenko V., Cambardella C., Doran J. (1996). Assessing soil quality by testing organic matter. En: *Soil organic matter: Analysis and Interpretation*. Magdoff F., Tabatabai M., Hanlon Jr. E. (Eds.) Soil Science Society of America Special Publication N° 46, 5: 41-50.
- Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H. (1996). *Methods of Soil Analysis Part 3 - Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book Series 5.3. EEUU.
- Topp G.C., Reynolds W.D., Cook F.J., Kirby J.M., Carter M.R. (1997). Physical attributes of soil quality. En: *Soil quality for crop production and ecosystem health*. Developments in Soil Science, Gregorich E.G., Carter M.R. (Eds.) Elsevier, EEUU. 25: 21-58.
- Urricariet S., Lavado R. (1999). Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 17 (1): 37-44.
- Vance F., Brookes P., Jerkinson D. (1987). Microbial biomass measurements in forest soils: the use of the cloroformo fumigation - incubation method in strongly acid soils. *Soil Biology & Biochemistry* 19: 697-702.
- Wall L.G. (2011). The biospas consortium: soil biology and agricultural production. En: *Handbook of molecular microbial ecology I: Metagenomics and complementary approaches*. 1st Edition. de Bruijn F.J. (Ed.). 34: 299-306.
- Wright S.F., Upadhyaya A. (1996). Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science*. 161 (9): 575-586.
- Zurita J. (2007). Los suelos de la Provincia del Chaco., Primera etapa. Carta de suelos del Departamento General Güemes. INTA - Ministerio de la Producción de la Provincia del Chaco, Argentina.