

Artículo científico

Stock de fósforo, nitrógeno y carbono en suelo del Chaco semiárido con diferentes usos

Phosphorus, nitrogen, and carbon stocks in semi-arid Chaco soil under different land uses

E. Céspedes Flores^{1,2*}; T.S. Rey Montoya^{2,3}; I.P. Mónaco¹; C. Fernández López^{2,3}

¹ INTA EEA Colonia Benítez-Marcos Briolini s/n-Colonia Benítez, CP 3505, Chaco. *E-mail: cespedes.flora@inta.gob.ar

² Facultad de Ciencias Agrarias Sargento Cabral 2131, CP 3400, Corrientes.

³ INTA EEA Ruta 12 km 1008-Sombrerito, CP 3416, Corrientes.

Resumen

Con el objetivo de determinar si el cambio de uso del suelo afecta el stock de carbono, nitrógeno y fósforo, se tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades (0-0,05; 0,05-0,15 y 0,15-0,30 m) en Entisoles del Chaco semiárido con diferentes usos (tratamientos): bosque nativo, sistema silvopastoril, campo agrícola con soja bajo labranza cero y pastura implantada con Gaton panic (*Megathyrsus maximus* cv. Gaton panic). Se concluye que en el período de estudio, para el stock de carbono, cuando el cambio de uso fue de bosque nativo a pastura se generaron cambios significativos hasta los 0,15 m, mientras que con el reemplazo hacia sistemas silvopastoriles o campo agrícola, se produjo un aumento en el stock de carbono, con valores menores a los de la pastura. Los usos de cultivo agrícola y bosque nativo presentaron un menor stock de nitrógeno en superficie, siendo este mayor a mayor profundidad en la pastura implantada. El stock de fósforo de estos suelos sedimentarios manifestó la importancia del uso de bosque nativo en profundidad, ya que en el último estrato evaluado aumentó el valor de este parámetro, indicando una retraslocación de los nutrientes a mayores profundidades. Los resultados exponen la utilidad del carbono orgánico del suelo como parámetro estandarizado para monitorear los usos de la tierra y/o sus cambios en regiones extensas como el Chaco semiárido, donde hay un continuo avance de la frontera agropecuaria.

Palabras clave: Bosque nativo; Pastura; Labranza; Macronutrientes.

Abstract

In order to determine if changes in land use affect carbon, nitrogen and phosphorus stocks, soil samples were taken at different depths (0-0.05; 0.05-0.15; and 0.15-0.30 m) from semi-arid Chaco Entisols under different land uses (treatments): Native forest, Silvopastoral system, Agricultural field planted with soybean under zero tillage, and Pasture implanted with Gaton panic (*Megathyrsus maximus* cv. Gaton panic). It could be concluded that during the study, when land use changed from native forest to pasture, the carbon stock was modified significantly up to 0.15 m. By contrast, when the shift was towards silvopastoral systems or an agricultural crop, there was an increase in carbon stock, but with lower values than those for pasture. The agricultural crop and native forest land uses showed a lower nitrogen stock on the surface, whereas this parameter was higher at a considerable depth in the case of implanted pasture. The phosphorus stock in these sedimentary soils showed the importance of growing native forests at greater depths, since the deepest stratum evaluated presented a higher value of this parameter, thus suggesting that nutrients are relocated at such depths. The results proved soil organic carbon to be a standardized parameter to monitor land uses and/or their changes in large regions like the semi-arid Chaco, where agricultural activities are continuously gaining ground.

Keywords: Native forest; Pasture; Tillage; Macronutrients.

Introducción

En la provincia de Chaco, se observa una marcada expansión del área agrícola de principios de 1990 al presente. Esta expansión se realizó fundamentalmente en el centro y centro-oeste de la provincia. Las áreas cultivadas fueron la base del reemplazo de ambientes naturales, principalmente

áreas de bosque nativo. Esto condujo a la disminución de la cobertura de los suelos en la provincia durante el mismo lapso. En 1998, la superficie de bosques nativos en el Chaco era de 5.107.000 ha y en 2006, se redujo a 4.812.000 ha, lo cual representa unas 37.000 ha deforestadas por año, o una tasa anual de deforestación de 0,65 % (Dirección de Bosques, 2007).

Recibido: 23/08/21; Aceptado 07/12/21.

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

La región chaqueña es una de las más afectadas por la expansión agropecuaria, siendo los principales cultivos la soja, el sorgo granífero, el girasol, el maíz y los cultivos forrajeros. Además, el cambio en el uso de la tierra no planificado fue otro factor que generó una sobreexplotación de los recursos naturales, debido a la expansión de la agricultura de secano y la ganadería no sustentable (Céspedes Flores *et al.*, 2012).

Los cambios en el uso de la tierra (UT) descritos se presentan en una región caracterizada por ambientes frágiles y de altos riesgos agroclimáticos. Esto implica que existen limitantes potencialmente significativos para la producción agrícola en la región. Además, se tiene un marcado desconocimiento sobre las relaciones ecológicas en los ecosistemas que la conforman y sobre los efectos de los cambios en el UT sobre la provisión de servicios ecosistémicos, tales como el stock de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P).

Luego de 5 años, los ensayos de labranza de conservación mostraron un incremento del carbono orgánico del suelo (COS), mientras que en los estudios menores de 2 años no se observaron diferencias significativas en los estratos mayores a los 0,10 m de profundidad (Céspedes Flores *et al.*, 2012; González Molina *et al.*, 2014; Cotler *et al.*, 2016). Se estima que el total de C acumulado en los suelos de todo el mundo es mayor que la suma de este en la atmósfera y en la vegetación (Scharlemann *et al.*, 2014; IPCC, 2014).

La caída del nivel de COS causado por las actividades implicadas en el establecimiento de un cultivo luego de la deforestación generó una disminución de la materia orgánica del suelo (MOS) en los suelos cultivados, principalmente en la capa de suelo labrada, debido a la caída de los aportes de residuos, con el consiguiente aumento de las pérdidas por respiración, la disrupción de agregados y el incremento de la temperatura (Silberman *et al.*, 2015).

Los cambios de UT de bosque nativo (BN) a sistema silvopastoril (SSP) y de este a pastura *Megathyrus* (PM), o de BN a campo agrícola (CA) dentro de la región del Chaco semiárido, representan las principales actividades humanas que modifican el paisaje. Estos UT se analizan reconociendo la heterogeneidad de las prácticas de producción e identificando sus impactos en sitios específicos (Banegas *et al.*, 2019).

Se estima que, con cambios de UT en el Chaco semiárido, el C y el P no se modificarán cuando se

implementen prácticas amigables con el ambiente, como ser pasturas y manejo silvopastoril. Las situaciones prístinas serán siempre la referencia de los sistemas productivos; aunque se minimicen los impactos, los cambios en UT siempre conllevarán una alteración del equilibrio.

En base a lo mencionado anteriormente, el objetivo de este trabajo fue determinar la incidencia del cambio de uso de la tierra sobre el stock de macronutrientes (N y P) y C, y establecer su impacto sobre situaciones prístinas durante 4 años de evaluación en el Chaco semiárido.

Materiales y métodos

Sitio de ensayo y tratamientos

El estudio se llevó a cabo en la zona ubicada en la región oeste de la provincia de Chaco, Argentina, comprendida por las localidades de J. J. Castelli (25°56'S y 60°37'O), Concepción del Bermejo (26°36'S y 60°56'O) y Río Muerto (26°18'S y 61°39'O). En esta área delimitada se seleccionaron 4 sitios de muestreo y cada sitio presentó todos los tratamientos, los cuales fueron evaluados en el mismo momento del año (mes de junio) durante 4 años (Figura 1).

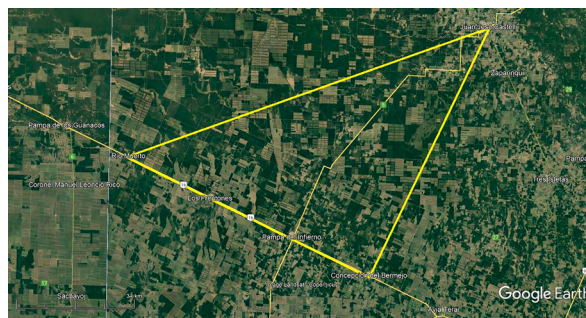


Figura 1. Ubicación del área de ensayo, delimitado en amarillo, en la provincia de Chaco. Fuente: Google Earth (2019).

Los tratamientos fueron los siguientes UT: 1) bosque nativo; 2) pastura cultivada de *Megathyrus maximus* cv. Gatton panic (PM); 3) campo agrícola con cultivo de soja bajo labranza cero (CA); y 4) sistema silvopastoril (SSP) con pastura de *M. maximus* cv. Gatton panic.

El momento de muestreo de suelo de todos los UT coincidió con el fin de la estación de crecimiento de las especies vegetales megatérmicas y la floración, por lo cual la biomasa vegetal y el crecimiento de raíces es mayor; esto permite considerar su contribución a los elementos evaluados. Se analizaron los ciclos 2011 a 2014.

Los BN estudiados poseen una antigüedad de 50 a 70 años, mientras que los demás UT evaluados tienen 15 años aproximadamente (SSP, CA, PM). Los SSP de la zona provienen del raleo de especies debido al aprovechamiento de la madera (Kunst *et al.*, 2014; Silberman *et al.*, 2015; Bravo *et al.*, 2018). La densidad de árboles en el sitio fue de 140 árboles/ha y, en la zona de estudio, los SSP habían sido diseñados de manera mecanizada: a través de un rolado, se había reducido el estrato leñoso bajo y, simultáneamente, se había sembrado la pastura con cajón sembrador (Kunst *et al.*, 2014). Las especies más representativas del bosque nativo son: *Schinopsis lorentzii* Griseb Engler (quebracho colorado santiagueño), *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlectet (quebracho blanco), *Ziziphus mistol* Griseb. (mistol), *Prosopis kuntzei* Harms Kuntze (itín), *Celtis tala* Gillet ex Planchon, syn. (tala), *Acacia praecox* Griseb. (garabato), *Prosopis alba* Grisebach (algarrobo), *Prosopis ruscifolia* Griseb. (vinal) y *Schinus molle* L. (molle) (Kunst *et al.*, 2014; Morello *et al.*, 2018).

Los SSP de esta zona cuentan con árboles de diferentes especies cuando provienen del raleo del BN, y con árboles como *P. alba* cuando es un SSP cultivado. Ambos SSP, natural o cultivado, tienen como pastura acompañante al Gatton panic (*M. maximus*) que es un pasto C₄ perenne de altura media, que comienza a crecer con 30 a 40 mm de lluvia mensual acumulada, y con una temperatura base de 15,3 °C (Cabrera *et al.*, 2015). Los SSP evaluados contaron con una carga animal promedio de la zona de 0,6 UG/ha bajo un manejo de pastoreo rotativo, siendo esta carga considerada como un disturbio y no como un factor a evaluar.

Características del clima y suelo

El clima es subtropical continental, cálido, con estación seca marcada en invierno. La temperatura media anual es de 21,5 °C, con temperaturas máximas en verano de 46 °C y mínimas en invierno de 6 °C. Se destaca una amplitud térmica de unos 30 a 40 °C y una alta evapotranspiración potencial que produce un déficit hídrico (Torres Bruchmann, 1981). Las precipitaciones medias anuales varían entre 700 y 800 mm, con régimen estival (Morello *et al.*, 2018).

El material originario del suelo es de tipo sedimentario, resultante de un transporte mixto eólico-hídrico denominado limo-loésico (Zurita, 2007); es decir, allí se acumularon sedimentos

fluviales y eólicos (loess) durante los períodos terciario y cuaternario. Los suelos formados de la zona se clasifican a escala de Entisoles según el *Soil Taxonomy* (Zurita, 2007; Gardi *et al.*, 2014). Teniendo en cuenta la rigurosidad climática, se presenta una baja tasa de pedogénesis (Pereyra, 2012). El área se encuentra caracterizada como semiárida en base a la distribución de las isohietas medias anuales (Rojas *et al.*, 2017).

Procedimiento de muestreo a campo y análisis de muestras

En los cuatro sitios muestreados anualmente, en cada UT se realizó una transecta diagonal en la parcela de muestreo, donde se cavaron tres (3) prepozos, tomándose muestras simples (n = 384). En cada prepozo, se muestrearon los siguientes estratos: 0-0,05 m; 0,05-0,15 m y 0,15-0,30 m.

Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Química Analítica y Agrícola, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). El pretratamiento de muestras de suelo se realizó según Page *et al.* (1982). Para determinar el contenido de MOS se empleó el método de Walkley-Black. El contenido de nitrógeno total (N) se determinó mediante el método de Kjeldahl, y el fósforo disponible mediante el método de Olsen (Vázquez, 2005), con el espectrofotómetro visible-UV Thermo Spectronic Genesys 20 (Page *et al.*, 1982; Carrero *et al.*, 2015).

Se determinó, además, la conductividad eléctrica (CE) con conductímetro en relación suelo:agua (1:5), utilizando un conductímetro digital portátil marca Altronix, modelo CT-2. El pH se midió con potenciómetro de mano marca Adwa, modelo AD110, en relación suelo:agua neutra (1:2,5).

En los diferentes estratos, se determinó la densidad aparente (Da) por medio del método del cilindro: siguiendo la metodología propuesta por Plà Sentís (1983), se ingresó el mismo en forma vertical en cada estrato del prepozo, en escaleras formadas en cada uno de ellos, de manera que la muestra de suelo obtenida conservara sus propiedades físicas inalteradas. La muestra para determinar la Da fue tomada en la zona media de los horizontes de cada uno de los diferentes estratos.

El stock de los nutrientes evaluados (N y P) y el C se determinaron expresando los resultados en mg/ha. Por ejemplo, el stock de C se calculó con

la siguiente ecuación:

$$COS = \sum_{i=1}^{n-1} COT_i + \left[MT_n - \left(\sum_{i=1}^n MT_i - \sum_{i=1}^n MS_i \right) \right] CO_n$$

Análisis estadístico

El análisis estadístico para cada variable se realizó mediante modelos mixtos, utilizando el programa R a través de la interfaz gráfica desarrollada para Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2018). El modelo analizado posee una estructura anidada con efectos fijos para los años de muestreo, bloques (sitio de muestreo), tratamientos (UT), profundidades de muestreo (0-0,05 m; 0,05-0,15 m y 0,15-0,30 m) y repeticiones. Se especificó, como efecto aleatorio, el año*bloque*repetición, ya que no son factores independientes, sino que están anidados uno en el otro. La comparación de medias se realizó mediante la prueba DGC con un nivel del 5 % de significancia. Se utilizó el software estadístico Infostat, versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

Se comprobó la existencia de interacción significativa entre tratamientos y profundidades de muestreo para el stock de P, no así para los stocks de N y C. Se realizó un análisis de componentes principales para evaluar en forma descriptiva la interacción entre variables y tratamientos.

Resultados y discusión

Los diferentes UT en todas las profundidades muestreadas pueden considerarse neutros según la escala de pH en agua (Dewis y Freitas, 1970),

mientras que los SSP evaluados son levemente ácidos en la escala mencionada (Tabla 1). Según Pérez *et al.* (2020), el pH es la variable más sensible en la manifestación de las diferencias en cambio de uso del suelo. En concordancia con esto y analizando la capa superficial, todos los tratamientos evaluados generaron diferencias significativas.

Los suelos muestreados tienen una baja CE en general (Tabla 1) según la escala clasificatoria de Carter y Gregorich (2008). Una CE menor de 4 dS/ m en todo el perfil indica que no existen limitaciones por salinidad en estos suelos (Richards, 1980).

Desde el punto de vista pedogenético, puede resaltarse que debido al origen aluvial de los suelos estudiados, estos Entisoles presentan una variación de Da que tiende a depender del origen y tamaño de los sedimentos depositados. La Da en los UT evaluados fue menor para los usos de BN y SSP, con diferencias significativas entre ambos: el menor valor correspondió al primero de ellos. Pueden considerarse como suelos semipesados, salvo en el UT de CA, donde en una profundidad de 0,15-0,30 m se presentó un incremento que podría corresponderse con una compactación en el último estrato, posiblemente por el tránsito de maquinaria, aun cuando el lote se encontraba bajo labranza cero (Tabla 1).

Pérez *et al.* (2020) encontraron que en los suelos estudiados que tenían cultivos bajo labranza convencional, los valores de Da en la capa superficial de 0-0,10 m fueron mayores para las dos situaciones de agricultura evaluadas. En la Región Chaqueña, cuando se habilitan las tierras para agricultura o ganadería

Tabla 1. Valores de densidad aparente (Da), pH y conductividad eléctrica (CE) (media ± EE). Valores expresados: Da en g.cm⁻³, pH (actividad) y CE en dS.m⁻¹.

UT*	Profundidad	Da	pH	CE
BN	0-0,05 m	1,07 ± 0,03 c	6,74 ± 0,13 b	189,13 ± 12,01 b
SSP		1,28 ± 0,03 b	6,36 ± 0,13 c	232,75 ± 12,01 a
PM		1,45 ± 0,03 a	6,88 ± 0,13 b	181,33 ± 12,01 b
CA		1,40 ± 0,03 a	7,35 ± 0,13 a	193,75 ± 12,01 b
BN	0,05-0,15 m	1,07 ± 0,03 c	7,38 ± 0,13 a	169,81 ± 12,01 b
SSP		1,27 ± 0,03 b	6,43 ± 0,13 c	131,30 ± 12,01 c
PM		1,45 ± 0,03 a	6,86 ± 0,13 b	138,25 ± 12,01 c
CA		1,40 ± 0,03 a	7,50 ± 0,13 a	142,13 ± 12,01 c
BN	0,15-0,30 m	1,21 ± 0,03 b	7,33 ± 0,13 a	189,75 ± 12,01 b
SSP		1,26 ± 0,03 b	6,57 ± 0,13 c	139,38 ± 12,01 c
PM		1,43 ± 0,03 a	6,85 ± 0,13 b	110,00 ± 12,01 c
CA		1,52 ± 0,03 a	7,13 ± 0,13 a	108,50 ± 12,01 c

*Tratamientos: BN: bosque nativo; SSP: sistema silvopastoril; PM: pastura *Megathyrus*; CA: campo agrícola. Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (p < 0,05) según test de Tukey.

reemplazando los bosques por herbáceas anuales y cultivos agrícolas, se interviene en los atributos funcionales del ecosistema y en los servicios ecosistémicos asociados, tales como el balance de C y la biodiversidad (Rojas *et al.*, 2017). En concordancia con los resultados obtenidos, la Da aumenta al pasar de un uso de BN a un uso ganadero (Kunst *et al.*, 2014; Silberman *et al.*, 2015; Volante *et al.*, 2016).

En la Figura 2, puede observarse que todos los UT evaluados a mayor profundidad presentan un mayor contenido de stock de C. En el estrato más superficial de muestreo, los UT de PM, CA y SSP no se diferenciaron entre sí y presentaron los mayores valores de stock de C, mientras que BN presentó el menor valor significativo. En el estrato de 0,05-0,15 m, PM presentó el mayor valor significativo en comparación con el resto de los UT evaluados. En el último estrato de muestreo, a 0,15-0,30 m, todos los UT tuvieron mayores valores de stock de C, a excepción del BN.

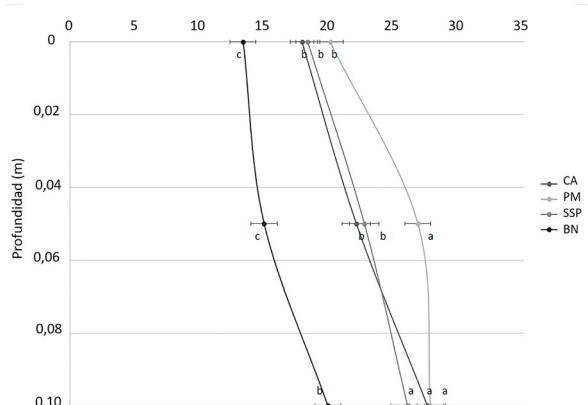


Figura 2. Stock de C (media \pm EE) en suelo a tres profundidades en los diferentes UT (tratamientos) evaluados. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). BN: bosque nativo; SSP: sistema silvopastoril; PM: pastura *Megathyrus*; CA: campo agrícola.

En concordancia con nuestro estudio, Banegas *et al.* (2019) detectaron cambios correlacionados con las características del suelo, especialmente en la capa superficial del mismo; en el estudio de estos autores, el contenido de COS se incrementó en los sistemas ganaderos a base de pastizales y en los usos con cultivo agrícola bajo siembra directa. Estos resultados refuerzan la utilidad del COS como parámetro individual para monitorear sistemas de manejo de la tierra, especialmente en regiones extensas como el Chaco, las cuales están sujetas a continuos procesos de transformación (Banegas *et al.*, 2019).

En la Figura 3, puede observarse que, en el estrato más superficial de muestreo, los UT de BN y CA registraron los menores valores significativos de stock de N, diferenciándose del resto de los UT estudiados, los cuales fueron similares entre sí. En los dos últimos estratos, el uso de PM presentó el mayor valor significativo, diferenciándose de los otros UT.

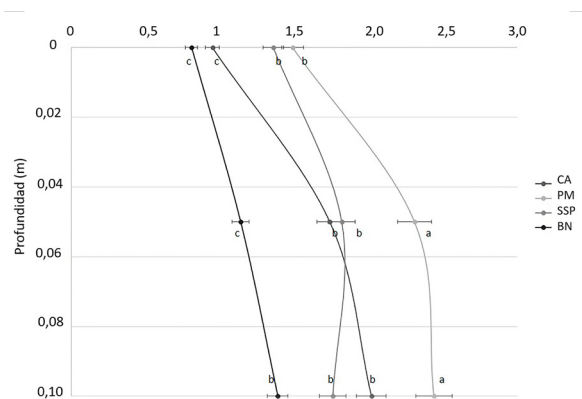


Figura 3. Stock de N (media \pm EE) en suelo a tres profundidades en los diferentes UT evaluados. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Tratamientos: BN: bosque nativo; SSP: sistema silvopastoril; PM: pastura *Megathyrus*; CA: campo agrícola.

De acuerdo a la clasificación de Carter y Gregorich (2008), los sitios de estudio se pueden considerar en un rango de muy pobremente provisto a altamente desprovisto de N. A medida que profundizamos y hasta los 0,15 m, se generaron incrementos en el stock de N (Figura 3), por lo cual en estos suelos, debe considerarse mantener los contenidos de MOS para asegurar un suministro adecuado de N a largo plazo (Silberman *et al.*, 2015).

En la Figura 4, se observa el stock de P en los diferentes usos estudiados. El estrato más superficial, a 0,05 m, presentó los menores valores de este stock en todos los UT evaluados. Con la profundidad, todos estos usos experimentaron un incremento en su stock. El menor valor fue para BN en el primer estrato de muestreo, sin ser este un dato relevante, si se tiene en cuenta que todos los UT presentan valores de P considerados como altos (Vázquez, 2005). En el UT de BN se observa la influencia del sistema radical forestal, que mantiene altos contenidos de stock de P a medida que avanza la profundidad de muestreo, demostrando así la importancia del proceso de traslocación de nutrientes en el sistema de raíces de los árboles (Figura 4).

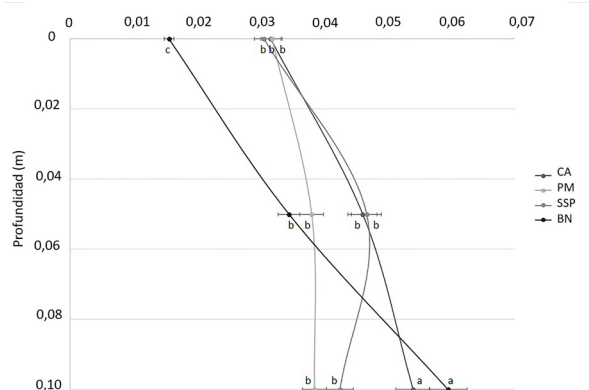


Figura 4. Stock de P (media \pm EE) en suelo a tres profundidades en los diferentes UT (tratamientos) evaluados. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). Tratamientos: BN: bosque nativo; SSP: sistema silvopastoril; PM: pastura *Megathyrus*; CA: campo agrícola.

Los suelos de los UT bajo estudio se ven limitados por la aridez del clima de la zona estudiada, la cual restringe la actividad biológica y, por lo tanto, la fertilidad; los valores obtenidos de algunas variables indican que son suelos pobres con escasos nutrientes (Cotler *et al.*, 2016).

Análisis de componentes principales (ACP)

En el análisis de componentes principales para la profundidad 0-0,05 m (Figura 5), los dos primeros ejes explicaron el 90,8 % de la variabilidad total, permitiendo la representación gráfica de casi todas las propiedades medidas en un mismo plano. La CP1 quedó definida por seis variables: Da; los stocks de N, C y P; pH y CE (Tabla 2). El pH, Da y el stock de P se ubicaron opuestos a CE y a los stocks de C y N. La CP1 separó los usos de suelo de BN de CA, PM y SSP; a su vez, se observó que el tratamiento de CA estaba asociado a la variable pH, mientras que el SSP se asociaba al stock de N y CE. Por último, el uso de PM estuvo asociado a Da, y a los stocks de C y P.

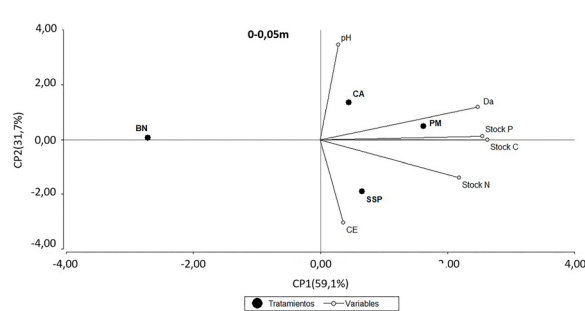


Figura 5. Gráfico biplot del análisis de componentes principales para una profundidad de 0-0,05 m en los diferentes UT evaluados (tratamientos): BN: bosque nativo; SSP: sistema silvopastoril; PM: pastura *Megathyrus*; CA: campo agrícola. Variables: pH: potencial hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; stock de C; stock de N; stock de P; Da: densidad aparente.

En una profundidad de 0,05-0,15 m (Figura 6), las dos componentes principales explicaron el 86,5 % de la variabilidad total. La CP1 separó a BN de CA, SSP y PM (Figura 3). La CP1 explicó el 70,7 % de la variabilidad y quedó definida por el BN asociado a pH y CE, por un lado, y por tres variables de Da y stocks de C y N asociados a CA y PME; por último, el stock de P estuvo asociado a SSP (Tabla 2).

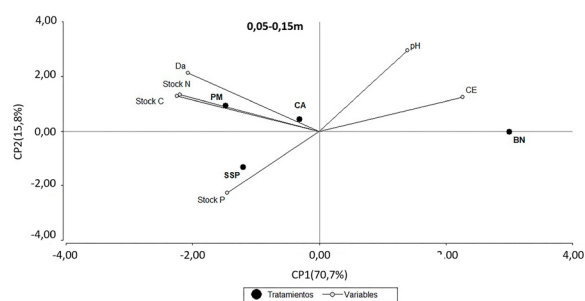


Figura 6. Gráfico biplot del análisis de componentes principales (ACP) para una profundidad de 0,05-0,15 m en los diferentes UT evaluados (tratamientos): BN: bosque nativo; SSP: sistema silvopastoril; PM: pastura *Megathyrus*; CA: campo agrícola. Variables: pH: potencial hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; stock de C; stock de N; stock de P; Da: densidad aparente.

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

Variables	0-0,05 m		0,05-0,15 m		0,15-0,30 m	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Da	0,50	0,24	-0,43	0,44	0,36	0,55
pH	0,06	0,69	0,29	0,61	-0,29	0,64
CE	0,07	-0,62	0,47	0,26	-0,46	-0,20
Stock C	0,53	<0,01	-0,46	0,27	0,47	0,06
Stock N	0,44	-0,28	-0,46	0,28	0,45	0,12
Stock P	0,51	0,03	-0,30	-0,47	-0,38	0,48

*Densidad aparente (Da), stock de carbono (stock C), pH (actividad), conductividad eléctrica (CE), stock de nitrógeno (stock N) y stock de fósforo (stock P).

En el tercer estrato muestreado (Figura 7), el ACP explicó el 95,8 % de la variabilidad total, de la cual un 72,7 % quedó representada en la CP1, definida por DA y los stocks de N y C asociados a CA, PM y SSP. Por otro lado, el BN quedó asociado al stock de P, pH y CE.

Las profundidades de muestreo en este estudio fueron definidas en base a resultados obtenidos por Céspedes Flores *et al.* (2012), quienes no observaron diferencias significativas a mayores profundidades en estudios a corto plazo. A partir de los 0,30 m de profundidad en el perfil de suelo, diversos autores refieren que el C almacenado es menos susceptible a cambios y su modificación se da a largo plazo (IPCC, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015; FAO, 2018).

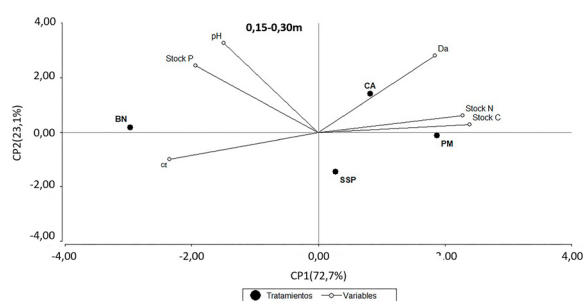


Figura 7. Gráfico biplot del análisis de componentes principales para una profundidad de 0,15-0,30 m en los diferentes UT evaluados (tratamientos): BN: bosque nativo; SSP: sistema silvopastoril; PM: pastura *Megathyrus*; CA: campo agrícola. Variables: pH: potencial hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; stock de C; stock de N; stock de P; Da: densidad aparente.

Conclusiones

El cambio de uso de bosques nativos a pastura *Megathyrus* favoreció el incremento significativo del stock de carbono en la capa superficial de hasta 0,15 m de profundidad en el perfil de Entisoles, bajo un clima subtropical continental cálido; cuando el reemplazo fue hacia sistemas silvopastoriles o campos agrícolas, se produjo un aumento del stock de carbono, con valores menores a los de la pastura en los diferentes estratos muestreados.

El stock de nitrógeno en superficie, en los usos de bosque nativo y campo agrícola fue significativamente menor. A mayor profundidad, la pastura de *Megathyrus* aumentó el stock de nitrógeno de manera significativa con respecto a los demás usos. En general, todos los usos aumentaron el stock de nitrógeno desde los 0,05 m a los 0,15 m de profundidad en la zona estudiada.

El stock de fósforo en estos suelos sedimentarios, altamente provistos de este macronutriente, presentó altos valores a nivel superficial en todos los usos. En el uso de bosque nativo, el stock de fósforo aumentó con la profundidad en el perfil hasta los 0,15-0,30 m, demostrando la importancia de la actividad radical en este uso, debido a la retraslocación de los nutrientes a mayores profundidades. En el presente trabajo, no se constató que, a mayor profundidad en el perfil, el cambio de bosque nativo hacia los otros usos produjera un incremento significativo del stock de fósforo.

Referencias bibliográficas

- Banegas N., Maza M., Viruel E., Nasca J., Canteros F., Corbella R., Dos Santos D.A. (2019). Long-term impact of grazing and tillage on soil quality in the semi-arid Chaco (Argentina). *Spanish Journal of Soil Science Year 9* (1): 24-41.
- Bravo S., Abdala R., del Corro F., Ibáñez-Moro V., Santacruz-García A.C., Loto D., Ojeda F. (2018). Regeneración en especies de leñosas nativas del Chaco de Argentina y su respuesta a disturbios. En: *Los bosques y el futuro. Consolidando un vínculo permanente en educación forestal*. Ed. Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Santiago del Estero, Argentina. Pp. 127-150.
- Cabrera D.C., Sobrero M.T., Chaila S., Pece M. (2015). Germinación y emergencia de *Megathyrus maximus* var. *maximus*. *Planta Daninha, Viçosa-MG* 33 (4): 663-670.
- Carrero A., Zambrano G., Hernández G., Contreras B., Machado D., Bianchi B., Varela D. (2015). Comparación de dos métodos de extracción de fósforo disponible en un suelo ácido. *Avances en Química* 10: 29-33.
- Carter M.R., Gregorich E.G. (2008). *Soil sampling and methods of analysis*. 2nd. Ed. Taylor & Francis Group. LLC. Inc. EEUU.
- Céspedes Flores F.E., Fernández J.A., Gobbi J.A., Bernardis A.C. (2012). Reservorio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35 (1): 79-86.
- Cotler H., Martínez M., Etchevers J.D. (2016). Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: Investigación políticas públicas. *Terra Latinoamericana* 34 (1): 125-138.
- Dewis J., Freitas F. (1970). *Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas*. Boletín sobre Suelos N° 10. FAO. Roma. Italia.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M., Robledo C.W. (2018). *InfoStat versión 2018*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad

- Nacional de Córdoba, Argentina. En: <http://www.infostat.com.ar>.
- Dirección de Bosques (2007). Monitoreo de bosques nativos período 1998-2006. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Argentina.
- FAO (2018). El estado de los bosques del mundo. Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. Italia.
- Gardi C., Angelini M., Barceló S., Comerma J., Cruz Gaistardo C., Encina Rojas A., Jones A., Krasilnikov P., Mendonça Santos Brefin M.L., Montanarella L., Muniz Ugarte O., Schad P., Vara Rodríguez M.I., Vargas R. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Luxemburgo.
- González Molina L., Acosta M., Carrillo A.F., Báez P.A., González C.J. (2014). Cambios de carbono orgánico del suelo bajo escenarios de cambio de uso de suelo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5 (7): 1275-1285.
- IPCC (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis, Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Pachauri R.K., Meyer L.A. (Eds.). IPCC. Ginebra. Suiza.
- Kunst C., Bravo S., Ledesma R., Navall M., Anríquez A., Coria D., Silberman J., Gómez A., Albanesi A. (2014). Ecology and Management of the Dry Forests and Savannas of the western Chaco region, Argentina. En: *Dry Forests: Ecology, Species Diversity and Sustainable Management*. Greer F.E. (Ed.). Nova Science Publ., Inc. EEUU. Pp. 133-189.
- Morello J., Matteucci S.D., Rodríguez A.F., Silva M. (2018). Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. 2da. Edición. Ed. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Argentina.
- Page A.L., Miller R.H., Keeney D.R. (1982). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy. Inc. EEUU.
- Pereyra F.X. (2012). Suelos de la Argentina. *Anales N°50. SEGEMAR-AACS-GAEA* (Ed.), Buenos Aires, Argentina.
- Pérez G.L., Sotelo C.E., Sirio A.A., Carnicer S., Mansilla N.P., Fernández López C., Castelán M.E. (2020). Análisis comparativo de suelos cultivados y de monte de la provincia del Chaco, Argentina. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino* 40 (2): 91-101.
- Plà Sentís I. (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista Alcance* N° 32. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela.
- Richards L.A. (1980). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. 6 ed. Ed. Limusa, México.
- Rodríguez S., Videla C.C., Zamuner E.C., Picone L.I., Pose N.N., Maceira N.O. (2015). Cambios en propiedades químicas de un suelo molisol de la Región Pampeana Argentina con diferente historia de manejo. *Chilean Journal of Agricultural Animal Science* 31(2): 137-148.
- Rojas J.M., Goytía S.Y., Roldán M.F., Mórtoła N.A., Romaniuk R.I., Casco N.L. (2017). Índice de calidad de suelos aplicado a la producción de Cucurbitáceas (Chaco, Argentina). *Spanish Journal of Soil Science* 7 (3): 222-227.
- Scharlemann J.P., Tanner E.V., Hiederer R., Kapos V. (2014). Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management* 5 (1): 81-91.
- Silberman J.E., Anriquez A.L., Domínguez Núñez J.A., Kunst C.G., Albanesi A.S. (2015). La cobertura arbórea en un sistema silvopastoril del Chaco y su contribución diferencial al suelo. *Cienc. Suelo (Argentina)* 33 (1): 19-29.
- Torres Bruchmann E. (1981). Caracterización climática y determinación de las posibilidades de áreas de riesgo santiagueñas. Ed. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Tucumán, Argentina.
- Vázquez S. (2005). Extracción de fósforo asimilable por bicarbonato de sodio. En: *Tecnologías en análisis de suelos*. Marbán L., Ratto S.E. (Eds.). AACS. Argentina. Pp.181-186.
- Volante J.N., Mosciaro M.J., Gavier-Pizarro G.I., Paruelo J.M. (2016). Agricultural expansion in the Semiarid Chaco: Poorly selective contagious advance. *Land Use Policy* 55: 154-165.
- Zurita J.J. (2007). Los suelos del Departamento General Güemes. Provincia del Chaco. Etapa 1. Carta de suelos de la República Argentina. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Sáenz Peña, Chaco, Argentina.