

## *Eucalyptus viminalis* L. EN EL ÁREA DE VENTANIA: EFECTOS SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES EDAFICAS SUPERFICIALES

ERICA SUSANA SCHMIDT<sup>1\*</sup>; DOMINGO FEDERICO BOLLO<sup>1</sup>, MAXIMILIANO GARAY<sup>1</sup>

Recibido: 8/10/2018

Recibido con revisiones: 13/4/2019

Aceptado: 13/4/2019

### RESUMEN

La implantación de especies forestales en ambientes carentes de árboles contribuye a la mitigación del cambio climático global, debido a que constituye un método efectivo de captura de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, también puede tener un impacto ambiental negativo generando una pérdida de calidad del suelo. Los objetivos de este trabajo fueron: i) evaluar algunas propiedades físicas y químicas de los horizontes minerales superficiales de los suelos (0-20 cm) del área de Ventania bajo montes de *Eucalyptus viminalis* L. (EV) y vegetación natural gramínea (situación de referencia, PN), y ii) determinar si las variaciones en las propiedades del suelo dentro de los rodales se asocian a la influencia circular de los árboles individuales. Bajo EV se observaron valores de 30,0 g kg<sup>-1</sup> y 12,1 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgánico total (COT) y particulado grueso (COPg), mientras que en PN los mismos fueron 12,0 g kg<sup>-1</sup> y 3,6 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Por otra parte, en relación a los valores obtenidos para PN, bajo los árboles se produjo una disminución significativa de pH (5,8 vs 6,4) y aumentos de fósforo extractable (Pe) (37,7 vs 2,7 mg kg<sup>-1</sup>). No se detectaron efectos de la forestación sobre la estabilidad estructural del suelo. Además, en esta investigación se observó que los árboles individuales dentro del monte forestal dan lugar a una variabilidad espacial de las propiedades del horizonte superficial del suelo, con un aumento progresivo y significativo en los contenidos de COT y Pe desde los 2 m hacia el eje de los árboles, y disminuciones en el pH y en las relaciones COT/COPg en la misma dirección. En la región, la forestación con eucaliptos tuvo un impacto positivo sobre el secuestro de C en los suelos en el mediano-largo plazo. Sin embargo, las alteraciones del pH observadas en los horizontes superficiales señalan la necesidad de continuar con el monitoreo de los efectos negativos de su implantación sobre el recurso suelo.

**Palabras clave:** Cambio en el uso de la tierra, pH, materia orgánica del suelo, estabilidad estructural.

## *Eucalyptus viminalis* L. IN VENTANIA: EFFECTS ON SOME SURFACE SOIL PROPERTIES

### ABSTRACT

The implementation of forest species in environments without trees contributes to the mitigation of global climate change, because it is an effective method of capturing CO<sub>2</sub>. However, it can also have a negative environmental impact generating a loss of soil quality. The objectives of this work were: i) to evaluate some physical and chemical properties of the superficial mineral horizons of the soils (0-20 cm) of the Ventania area under forest stands of *Eucalyptus viminalis* L. (EV) and natural gramineous vegetation (situation of reference, PN), and ii) determine whether variations in soil properties within the stands are associated with the circular influence of the individual trees. Under EV we observed values of 30.0 g kg<sup>-1</sup> and 12.1 g kg<sup>-1</sup> of total organic carbon (COT) and organic carbon bound to the coarse fraction (COPg), while in PN they were 12.0 g kg<sup>-1</sup> and 3.6 g kg<sup>-1</sup>, respectively. On the other hand, in relation to the values obtained for PN, under the trees there was a significant decrease in pH (5.8 vs 6.4) and increases in extractable phosphorus (Pe) (37.7 vs 2.7 mg kg<sup>-1</sup>). No effects of afforestation were detected on the structural stability of the soil. In addition, in this research it was observed that the individual trees within the forest stands give rise to a spatial variability of the properties of the superficial surface of the soil, with a progressive and significant increase in the contents of COT and Pe from the 2 m towards the axis of the trees, and decreases in pH and in the COT/COPg ratios in the same direction. In the region, afforestation with eucalyptus had a positive impact on the sequestration of C in the soils in the medium-long term. However, the alterations of the pH observed in the superficial horizons indicate the need to continue with the monitoring of the negative effects of its implantation on the soil resource.

**Key words:** Changes in land use, pH, soil organic matter, structural stability.

<sup>1</sup> Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur (UNS), San Andrés 800, Bahía Blanca 8000, Buenos Aires, Argentina

\* Autor de contacto: eschmidt@criba.edu.ar

## INTRODUCCIÓN

Las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (GEI) han aumentado significativamente desde la revolución industrial, contribuyendo en más del 90% del calentamiento climático antropogénico (Lavoie *et al.*, 2013; Marín-Muñoz *et al.*, 2015). En la actualidad, uno de los más importantes tópicos ambientales es la búsqueda de estrategias para reducir los niveles de GEI. En septiembre de 2016, Argentina promulga la ley 27270 mediante la cual aprueba el Acuerdo de París. Este convenio fortalece el rol de los bosques en la mitigación del cambio climático global (Vallejo *et al.*, 2016), incentivando el desarrollo de proyectos de forestación.

Los distintos usos y manejos de la tierra tienen un gran impacto en el flujo de GEI en la superficie del suelo. La implantación de especies forestales en ambientes carentes de árboles, modifica la producción primaria y la estructura del ecosistema conduciendo a un nuevo equilibrio entre la vegetación introducida y el suelo, fundamentalmente, a partir de un cambio cuantitativo y cualitativo de los residuos orgánicos aportados (Jobbágy *et al.*, 2006a; Vassallo *et al.*, 2013).

La forestación puede constituir un método efectivo de captura de CO<sub>2</sub> atmosférico en el mediano a largo plazo debido al almacenamiento de carbono (C) que se produce tanto en la biomasa viva y muerta de los árboles como en los horizontes orgánicos y en la materia orgánica asociada a la fracción mineral (Liao *et al.*, 2009; Paustian *et al.*, 2016). El C orgánico del suelo (COT) representa aproximadamente tres veces la cantidad de C presente en la vegetación y el doble de la cantidad en la atmósfera (Scharlemann *et al.*, 2014). Globalmente se ha estimado que la conversión de tierras de cultivo en áreas forestadas tiene el potencial de aumentar el COT en un 1,9% por año (Paul *et al.*, 2002). Las forestaciones logran entonces mayores ganancias de C que los pastizales que reemplazan y esto, posiblemente, es uno de los incentivos y oportunidades ecológicas más relevantes de la forestación (Jobbágy & Jackson, 2000; Tang & Li, 2013).

El género *Eucalyptus*, nativo de Australia y representado por más de 700 especies es uno de

los productores de madera para pasta más extensamente plantados, superando las 20 millones de ha en todo el mundo (Forrester & Smith, 2012), de las cuáles 313.800 ha corresponden a nuestro país (MA, 2017). A escala global, diferentes estudios sobre las consecuencias de la forestación con dicha especie han reportado tanto incrementos en el COT (Laik *et al.*, 2009; Tang & Li, 2013) como disminuciones (Céspedes - Payret, 2012; Sandoval *et al.*, 2012), o incluso algunos autores señalan que no habría cambios en su contenido (Berthrong *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2016). Estas discrepancias observadas en la literatura reflejan diferencias en cuanto a clima (particularmente las precipitaciones), tipo de suelo, edad de los rodales y uso previo de la tierra (Eclesia *et al.*, 2012) señalando la necesidad de contar con datos regionales para esclarecer la tendencia en el comportamiento del COT y así desarrollar estrategias que contribuyan a la mitigación del cambio climático (Litton *et al.*, 2007; Lal, 2015).

La sustitución de la vegetación natural por una cubierta de especies forestales también puede tener un impacto ambiental negativo generando una pérdida de calidad del recurso suelo (Amiotti *et al.*, 2000; Wang & Cao, 2011; Garay *et al.*, 2015). Diversas investigaciones realizadas respecto a las consecuencias de la forestación con eucaliptos han reportado una importante disminución de la saturación con bases y de la capacidad de intercambio catiónico asociados a incrementos en la acidez del suelo (Jobbágy & Jackson, 2003; Delgado *et al.*, 2006; Durán & García Préchac, 2007). También se citan incrementos en la relación C/N, indicador potencial de una menor calidad de la materia orgánica del suelo (MO) (Dou *et al.*, 2016) y disminuciones en la capacidad de retención de humedad en los horizontes superficiales (Pérez Bidegain *et al.*, 2001).

En la región pampeana, la vegetación original de pastizales ha sido destinada al pastoreo y/o reemplazada por la implantación de cultivos anuales y pasturas. A pesar de estas profundas transformaciones, casi todo el territorio ha mantenido una fisonomía predominantemente herbácea hasta el presente. Sistemas basados en pasturas situados en clima templado, como los que caracterizan a esta región, han sido señalados como áreas claves para la fores-

tación (Hoogmoed *et al.*, 2012). Aquí, la inclusión de especies arbóreas tiene poco más de un siglo de antigüedad y sólo recientemente se han implantado superficies suficientemente grandes como para que pueda suponerse un impacto notorio sobre los servicios ambientales que proveen los ecosistemas (Jobbágy *et al.*, 2006b).

Estudios realizados en el área de Ventania mostraron que la introducción de *Pinus radiata*, además de incrementos de COT, provocó una notoria acidificación del horizonte superficial, disminuciones de la saturación con bases, e incrementos del contenido de  $H^+$  y  $Al^{3+}$  en el complejo de cambio (Amiotti *et al.*, 2000, 2007; Garay *et al.*, 2015). Dentro del bosque, Amiotti *et al.* (2000) también describen un incremento en la heterogeneidad espacial en las propiedades de los horizontes superficiales como resultado del efecto circular de los árboles individuales. Este concepto descrito por Zinke en 1962 demuestra que las propiedades del suelo varían de manera predecible en relación a la distancia al tronco y el borde de la copa de los árboles y/o arbustos, y fue validado por otros autores en diferentes partes del mundo (Boettcher & Kalisz, 1990; Binkley, 1995; Bochet *et al.*, 1999; Gallardo, 2003).

Resultados preliminares obtenidos para horizontes minerales superficiales en Molisoles forestados con *Eucalyptus viminalis* en el área de Ventania señalan una alta eficiencia de secuestro de C respecto al pastizal natural adyacente, un menor impacto sobre el pH y un incremento de la heterogeneidad espacial del COT y el fósforo extractable (Pe) (Amiotti *et al.*, 2004).

Considerando que distintos estudios muestran que el conjunto de efectos registrados en los suelos como resultado de la implantación de eucaliptos alcanza su mayor expresión en el horizonte mineral superficial (Céspedes Payret, 2007; Turner & Lambert, 2016), este trabajo se centra en el análisis de los primeros 20 cm del perfil. En base a los antecedentes recabados, se plantea la hipótesis de que el reemplazo de la vegetación natural por *Eucalyptus viminalis* L. conducirá a cambios significativos en las propiedades de los horizontes superficiales de los suelos del área de Ventania. Se espera que el pH disminuya, mientras que los contenidos de COS, el Pe y la estabilidad estructural bajo los árboles sean más

elevados que en la vegetación gramínea. Por otra parte, se postula que dentro del ecosistema forestal habrá un incremento en la variabilidad espacial de esas mismas propiedades.

En este contexto se plantea como primer objetivo evaluar algunas propiedades físicas y químicas de los horizontes superficiales minerales de los suelos bajo montes de eucaliptos y vegetación natural gramínea. Además, nos proponemos determinar si las variaciones en las propiedades del suelo dentro de los rodales se asocian a la influencia circular de los árboles individuales, a fin de validar el concepto enunciado por Zinke (1962) para esta especie en la región.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización del área de estudio

El área de estudio se sitúa en el Sistema de Ventania, localizado en el SO de la provincia de Bs As, Argentina. Específicamente, los sitios experimentales se ubican en relieves planos (pendiente  $< 1\%$ ) dentro del valle intraserrano Abra de la Ventana ( $38^{\circ} 4' S$ ,  $62^{\circ} 1' O$ ). El clima es templado húmedo con una temperatura media anual de  $14,0^{\circ}C$  y una precipitación media anual de 900 mm (Campo *et al.*, 2012). Fitogeográficamente el área se encuentra dentro del distrito Pampeano Austral, siendo la estepa de gramíneas la vegetación natural representativa (Cabrera, 1971). Hasta principios del siglo XIX, los árboles estaban prácticamente ausentes de la región (Zalba & Villamil, 2002). A mediados del siglo XX se introdujeron varias especies leñosas exóticas en el área (*Pinus spp*, *Eucalyptus spp*, *Populus spp*, etc.) principalmente para fines paisajísticos. Los suelos dominantes en la región pertenecen al orden Molisol (Argiudoles y Hapludoles típicos y líticos), que evolucionan a partir de sedimentos loésicos puros o mezclados con detritos de rocas (Vargas Gil & Scoppa, 1973; Soil Survey Staff, 2010).

### Tratamientos, muestreo y determinaciones analíticas

El trabajo se realizó considerando dos tratamientos: montes forestales de *Eucalyptus viminalis* (EV) establecidos a fines de la década de 1940

y suelos adyacentes que sostienen vegetación de pastizal natural, los que constituyeron la situación de referencia (PN). Dentro de dos montes forestales se seleccionaron al azar seis árboles, los que presentaron un diámetro a la altura del pecho promedio de 2,20 m. El muestreo se realizó mediante transectas tomadas en diferentes direcciones, desde el tronco hacia la periferia de la copa. Las distancias consideradas fueron tronco (0 m), 1 m y 2 m. En cada una de ellas y en seis puntos seleccionados al azar dentro de PN, apareados a cada uno de los montes de eucaliptos, se tomaron muestras disturbadas (0-20 cm) provenientes de los horizontes minerales superficiales, previa remoción del litter en el caso de EV. En laboratorio, las mismas fueron secadas al aire y tamizadas por 2000  $\mu\text{m}$ . La textura de los horizontes superficiales muestreados en ambos ecosistemas fue franco arenosa, con un promedio de 81 g  $\text{kg}^{-1}$  de arcilla y 635 g  $\text{kg}^{-1}$  de limo. Las determinaciones efectuadas incluyeron: pH en suspensión suelo:  $\text{H}_2\text{O}$  y suelo: KCl (1 N) (relación 1:2.5, potenciométrico); carbono orgánico total por el método de Walkley & Black (COT, Nelson & Sommers, 1996) y fósforo extractable (Pe, método de Bray & Kurtz, 1945). Se efectuó además el fraccionamiento del suelo por tamizado en húmedo (Galantini, 2005) cuantificándose el contenido de carbono orgánico particulado en la fracción gruesa obtenida (0,1 – 2 mm) (COPg):

$$\text{COPg (\%)} = (\% \text{ C fracción gruesa} * \% \text{ fracción gruesa}) * 100-1$$

Esta fracción, parte del COP total, representa la fracción más activa del COT (Galantini, 2005). Se tomaron además muestras sin disturbar del horizonte mineral superficial (0-5 cm) en EV y PN, a las que se les determinó la estabilidad estructural (EE) a partir del cambio en el diámetro medio de los agregados (CDMP) en seco y en húmedo (método de De Leenheer & De Boodt modificado por Silenzi *et al.*, 1987).

### Análisis estadístico

El efecto de la influencia circular de los árboles sobre las propiedades edáficas fue testado con ANOVA de medidas repetidas (InfoStat; Di Rienzo *et al.*, 2018), considerando una estructura de la covarianza autorregresiva y la prueba DMS de

Fisher para la comparación de los valores medios de cada variable en las tres distancias consideradas. Para evaluar los efectos del reemplazo del PN por eucaliptos se consideraron los 18 valores obtenidos en EV (tres puntos de muestreo por árbol/6 árboles), los que fueron contrastados con PN (n=6) mediante ANOVA simple y DMS.

## RESULTADOS

### Efectos del reemplazo de la vegetación natural por montes de Eucaliptos

Los resultados indicados en la **Tabla 1** muestran que los suelos bajo los árboles presentan horizontes superficiales con una reacción moderadamente ácida (5,8), mientras que bajo PN se observaron valores de pH más elevados, ligeramente ácidos (6,4). Este proceso de acidificación en suelos bajo *Eucalyptus* spp. respecto a situaciones apareadas con vegetación natural resulta ampliamente citado por la bibliografía (Condrón & Newmann, 1998; Jobbágy & Jackson, 2003; Carrasco-Letelier *et al.*, 2004). La misma diferencia de valores entre tratamientos se detectó en el análisis del pH potencial, presentando los suelos forestales una reacción fuertemente ácida (5,0) en relación a PN (5,6). Este comportamiento resultó similar a lo reportado por Pérez Bidegain *et al.* (2001) para suelos de Uruguay.

También se detectaron aumentos significativos en los contenidos de COT y COPg bajo EV, llegando casi a triplicar a los obtenidos en PN ( $p < 0,001$ ). Sin embargo, y a pesar de estas diferencias detectadas en la cantidad y calidad del C, no se encontraron variaciones significativas en las relaciones COPg/COT entre ecosistemas ( $p > 0,05$ ), si bien se aprecian aumentos en esta variable bajo los árboles. Respecto de PN, el incremento relativo de la concentración de COT en el horizonte superficial de los suelos en EV es del 150%, en tanto que el COPg aumentó un 240%. Indudablemente dentro del ecosistema forestal existe un mayor aporte de material vegetal y condiciones favorables para la humificación, que contribuyen al incremento del C en el suelo (Cavagnaro *et al.* 2016).

La introducción de montes de eucaliptos en la región también produjo un notorio incremento en

los niveles de Pe. En los horizontes superficiales de los suelos del tratamiento EV se observó un incremento relativo promedio de  $35 \text{ mg Kg}^{-1}$  en relación a aquellos que sostienen al ecosistema del pastizal natural.

Respecto al análisis de la EE a través del CDMP de los agregados (**Figura 1**), en este trabajo no se detectaron cambios en el estado de agregación de la superficie de los suelos comparados (EV: 0,70 mm, PN: 0,66 mm).

### Efecto de los árboles individuales sobre el suelo

La **Tabla 2** muestra los resultados obtenidos en el análisis de la variabilidad espacial de las propiedades del horizonte superficial del suelo en el microambiente de los árboles individuales. Los valores promedio de pH (tanto actual como potencial) son fuertemente ácidos en las adyacencias al tronco y aumentan significativamente en el punto extremo de la transecta ( $p < 0,05$ ). A la inversa, desde la distancia de 2 m hacia el metro y tronco de los eucaliptos se produjeron incrementos en los contenidos de COT. Por otra parte, el análisis del COPg no mostró diferencias al comparar las distintas distancias evaluadas ( $p = 0,45$ ).

Los resultados obtenidos señalan una disminución ( $p = 0,03$ ) en la relación COPg/COT en el eje de los eucaliptos y el metro respecto a la determinada en la distancia de 2 m, lo que indicaría una mayor eficiencia en el proceso de humificación a medida que nos acercamos a los troncos.

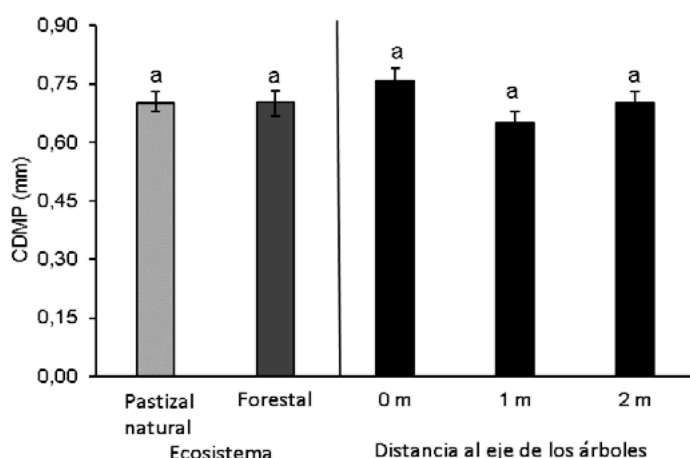
También los contenidos de Pe se incrementan de manera significativa, en un 51%, desde los 2 m hacia el eje de los eucaliptos.

Por el contrario, la distancia al eje de los árboles parece no ejercer influencia sobre la EE del horizonte mineral superficial del suelo ( $p = 0,86$ ) siendo los valores medios del CDMP de  $0,76 \pm 0,09 \text{ mm}$  (0 m),  $0,65 \pm 0,06 \text{ mm}$  (1 m) y  $0,70 \pm 0,06 \text{ mm}$  (2 m).

### DISCUSIÓN

Numerosas investigaciones señalan como rasgo distintivo de las plantaciones de eucaliptos fuera de su área de dispersión natural, un cambio en las propiedades físicas y químicas edáficas. En general se citan cambios en la dinámica de la MO e incrementos de la acidez del suelo, particularmente bajo el dosel de las plantas individuales (Pérez Bidegain *et al.*, 2001; Delgado *et al.*, 2006). En concordancia con la bibliografía, aquí se aprecian disminuciones significativas del pH en los horizontes minerales superficiales de EV. La magnitud de la modificación de la reacción del suelo cuantificada en este trabajo fue similar a la reportada por Berthrong *et al.* (2009) (0,7 unidades de pH), y menor a la encontrada por Jobbágy & Jackson (2003) para suelos de la región pampeana (1 unidad de pH).

Si se observan los valores de pH obtenidos bajo los árboles (**Tabla 2**) podría afirmarse que existe la posibilidad de que los suelos de la región



**Figura 1.** Valores medios del cambio en el diámetro medio de los agregados (CDMP, mm) en el horizonte superficial de los suelos bajo los dos ecosistemas comparados.

**Figure 1.** Mean values of change in mean weight diameter of aggregates (CDMP, mm) in the superficial horizon of the soils under the two compared ecosystems.

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ecosistemas o entre distancias al eje de los árboles. Las barras indican el error estándar de las medias.

Different letters indicate significant differences ( $p < 0,05$ ) between ecosystems or between distances to the axis of trees. The bars indicate the standard error of the means

vean incrementada su acidez en el futuro debido a una pérdida de bases. Esto conduciría a la aparición de  $Al^{3+}$  intercambiable, si los valores de pH disminuyen significativamente por debajo de 5,5, condición de solubilización de este elemento (Presutti *et al.*, 2016).

En la literatura se encuentran varios factores responsables de la acidificación bajo los eucaliptos. Para la región pampeana, Jobbágy & Jackson (2003) exponen que la principal causa se relaciona con la absorción de cationes, su acumulación en la biomasa viva de los árboles y su redistribución vertical en el suelo. Otro posible mecanismo responsable de la disminución del pH en esta especie es descrito por Calvo de Anta (1996), quien expresa que cuando el agua de lluvia toma contacto con la cubierta forestal sufre una acidificación significativa, resultando incluso el proceso más acusado si se analiza el agua que resbala en contacto con el tronco. Otras causas que contribuirían al decrecimiento del pH están asociadas al mayor aporte y a las características acidificantes del litter producido por los árboles (Delgado *et al.*, 2006; Ortiz Torres *et al.*, 2018).

En este estudio, los incrementos en el COT particularmente en las cercanías al tronco (**Tabla 2**), se correlacionaron con la reducción del pH del horizonte superficial de los suelos ( $r: -0,72$ ,  $p < 0,01$ ,  $N: 24$ ) contribuyendo a incrementar la acidez debido a la presencia de los grupos carboxílicos y fenólicos propios de la MO.

La sustitución de una cubierta de plantas herbáceas anuales por una única especie arbórea, incide no sólo sobre la cantidad sino también sobre la calidad y distribución en el tiempo de los residuos aportados, lo que afecta, entre otras propiedades, el balance de MO del suelo (Cavagnaro *et al.* 2016). Comprender la diferente estabilidad de las fracciones del C en el suelo bajo monte, es importante para predecir las tasas de secuestro a largo plazo y la resiliencia de las reservas de COT frente al cambio climático (England *et al.*, 2016). En este trabajo se observó una ganancia de COT y COPg bajo EV respecto a PN, así como un incremento de su variabilidad espacial dentro del monte.

En horizontes de textura moderadamente gruesa, como los descritos en este trabajo, la proporción de

carbono orgánico más fácilmente mineralizable respecto del COT resulta más elevada que en aquellos de textura más fina (Duval *et al.*, 2013). Los valores observados en esta relación variaron entre 0,30 en el pastizal natural y 0,44 a los 2 m del tronco dentro de EV, evidenciando que la mayoría del C se encuentra como MO humificada. Si bien las diferencias no resultaron estadísticamente significativas, bajo EV la relación COPg/COT resultó más baja en PN. El valor obtenido en la situación de referencia resultó similar al informado por Duval *et al.* (2013) en suelos con horizontes superficiales de textura franco arenosa de la región subhúmeda bonaerense (0,22). Por otra parte, Noellemeyer *et al.* (2006) en ecosistemas con vegetación natural en La Pampa, reportó valores de 0,39 en dicho parámetro. Los resultados observados en EV responderían al mayor aporte de biomasa que existe en este ecosistema respecto a PN y/o a su carácter más recalcitrante (Jobbágy & Jackson, 2000; Amiotti *et al.*, 2012). Las relaciones COPg/COT obtenidas bajo los árboles en este trabajo, resultaron similares a las reportadas por Riestra (2012) en evaluaciones realizadas bajo suelos de similares características texturales a las aquí descritas que sostienen eucaliptos.

Los contenidos de Pe se incrementaron significativamente desde los 2 m hacia el tronco de los eucaliptos (**Tabla 2**) y, en promedio, los valores registrados en EV fueron 14 veces más elevados que en PN (**Tabla 1**). Otros trabajos también citan aumentos marcados en los niveles de este nutriente bajo los árboles. Para el área de estudio, Garay *et al.*, (2015) describen que las condiciones de acidez generadas por la implantación de *Pinus* podrían favorecer la desorción de fosfatos, incrementando su concentración en la solución del suelo. Esta situación explicaría, al menos en parte, los altos valores de Pe encontrados en los suelos dentro de EV. En este sentido, los resultados obtenidos demuestran que existe una correlación significativa entre el pH y la disponibilidad de P para el área de estudio ( $r: -0,80$ ;  $p < 0,001$ ;  $N: 24$ ).

Algunos autores citan además otros procesos responsables de los incrementos en el Pe, entre ellos, aumentos de la tasa de mineralización de P orgánico bajo los árboles y/o un mayor aporte de hojarasca rica en fracciones lábiles de P inorgánico (Belton *et al.*, 1995; Cavelier & Tobler, 1998). Tam-

**Tabla 1.** Valores medios de pH, carbono orgánico total (COT) y particulado grueso (COPg), relaciones COPg/COT y contenidos de fósforo extractable (Pe) en el horizonte superficial de los suelos bajo los dos ecosistemas comparados.

**Table 1.** Mean values of pH, total organic carbon (COT) and coarse particulate organic carbon (COPg), COPg/COT ratios and extractable phosphorus contents (Pe) in the superficial horizon of the soils under the two compared ecosystems.

Ecosistema		pH actual	pH potencial	COT (g kg <sup>-1</sup> )	COPg (g kg <sup>-1</sup> )	COPg/COT	Pe (mg kg <sup>-1</sup> )
Forestal	Media	5,8 a	5,0 a	30,0 b	12,1 b	0,41 a	37,7 b
	EE	0,06	0,09	0,77	0,35	0,02	2,3
Pastizal natural	Media	6,4 b	5,6 b	12,0 a	3,6 a	0,30 a	2,7 a
	EE	0,03	0,02	1,43	0,60	0,05	0,4
p-valor		<0,001	<0,05	<0,001	0,0001	0,15	<0,001

EE: Error estándar de la media.

Valores medios seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre ecosistemas. Los valores de probabilidad obtenidos en el análisis estadístico se muestran debajo (p-valor).

EE: Standard error of the mean.

Mean values followed by different letters indicate significant differences between ecosystems. Probability values obtained in the statistical analysis are shown below (p-valor).

**Tabla 2.** Valores medios de pH, carbono orgánico total (COT) y particulado grueso (COPg), relaciones COPg/COT y contenidos de fósforo extractable (Pe) en el horizonte superficial de los suelos bajo las transectas dentro del ecosistema forestal.

**Table 2.** Mean values of pH, total organic carbon (COT), coarse particulate organic carbon (COPg), COPg/COT ratios and extractable phosphorus contents (Pe) in the superficial horizon of the soils in the points along the transects within the forest ecosystem.

Distancia al tronco		pH actual	pH potencial	COT (g kg <sup>-1</sup> )	COPg (g kg <sup>-1</sup> )	COPg/COT	Pe (mg kg <sup>-1</sup> )
0 m	Media	5,6 a	4,9 a	30,1 b	12,1 a	0,40 a	45,3 b
	EE	0,08	0,1	1,3	0,8	0,01	3,0
1 m	Media	5,8 b	5,1 ab	32,0 b	12,0 a	0,38 a	38,0 ab
	EE	0,08	0,1	1,3	0,8	0,01	3,0
2 m	Media	6,1 c	5,4 b	27,4 a	12,1 a	0,44 b	30,0 a
	EE	0,08	0,1	1,3	0,8	0,01	3,0
p-valor		0,003	0,035	0,028	0,45	0,03	0,009

EE: Error estándar de la media.

Valores medios seguidos de letras diferentes indican diferencias significativas entre distancias al tronco de los árboles. Los valores de probabilidad obtenidos en el análisis estadístico se muestran debajo (p-valor).

EE: Standard error of the mean

Mean values followed by different letters indicate significant differences between tree trunk distances. Probability values obtained in the statistical analysis are shown below (p-valor).

bién procesos vinculados a la actividad de fosfatasas ácidas son mencionados en la literatura como responsables del incremento de la disponibilidad de P en el suelo mineral superficial (Ferrero Cerrato & Alarcón, 2001). Por otro lado, Jobbágy & Jackson (2004) describieron un efecto de “bombeo de nutrientes” cuando eucaliptos fueron introducidos en tierras de pastizales naturales. Este mecanismo resultó en una redistribución de nutrientes, entre ellos el P, modificando su patrón vertical al reducir sus concentraciones en las profundidades intermedias e incrementarlas en la superficie de los suelos.

La implantación de árboles en áreas de pastizales naturales no tuvo un efecto significativo sobre la EE del horizonte superficial. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Álvarez *et al.* (2008), quienes indicaron similares valores de EE en los suelos bajo eucaliptos y vegetación natural. En cambio, Johnson-Maynard *et al.* (2002) aseveran que el efecto de la forestación sería positivo sobre la EE, mientras que Hernández-Hernández *et al.* (2008) establecieron que la reforestación con pinos y eucaliptos en Venezuela produjo un deterioro en dicha variable.

## CONCLUSIONES

La conversión de pastizales naturales en montes de *Eucalyptus viminalis* modificó significativamente las propiedades químicas de los horizontes minerales superficiales del suelo en el área de Ventania, con incrementos significativos en los contenidos de COT y COPg en un lapso de 65 años respecto a la situación de referencia (PN). Por otra parte, bajo EV se produjo una disminución significativa en los valores de pH actual y potencial, y aumentos de Pe en relación a los valores obtenidos para PN.

En esta investigación los árboles individuales dentro del monte forestal dan lugar a una variabilidad espacial de las propiedades del horizonte superficial del suelo. Se observó un aumento progresivo y significativo en los contenidos de COT y Pe desde los 2 m hacia el eje de los árboles, y disminuciones en el pH y en las relaciones COPg/COT en la misma dirección.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que el reemplazo del pastizal natural por árboles en el área de Ventania tuvo un impacto positivo sobre el secuestro de C en los suelos en el mediano-largo plazo. Por otra parte, en las situaciones estudiadas, las alteraciones del pH observadas en los horizontes superficiales señalan la necesidad de continuar con el monitoreo de los efectos negativos de la implantación de *Eucalyptus viminalis* sobre el recurso suelo, incrementando el número de casos de estudio en la región.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la SGCyT – UNS por aportar los fondos para realizar la presente investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, MF; M Osterrieth; V Laborde & L Montti. 2008. Estabilidad, morfología y rugosidad de agregados de Argiudoles típicos sometidos a distintos usos: su rol como indicadores de calidad física en suelos de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 26: 115-129.

Amiotti, N; P Zalba; L Sánchez & N Peinemann. 2000. The impact of single trees on properties of loess-derived grassland soils in Argentina. *Ecology* 81: 3283-3290.

Amiotti, N; P Zalba; R Poletti & N Peinemann. 2004. Variabilidad espacial de propiedades edáficas asociadas a la introducción de *Eucalyptus viminalis*. *Actas II Reunión Binacional de Ecología*. Mendoza, 31/10 – 5/11 de 2004. Pág. 239.

Amiotti N; O Bravo; P Zalba & N Peinemann. 2007. Effect of landscape position on the acidification of loess-derived soils under *Pinus radiata*. *Austral Ecol* 32: 534-540.

Belton, M; K O'Connor & A Robson. 1995. Phosphorus levels in topsoils under conifer plantations in Canterbury high country grasslands. *J. For. Sci.* 25: 265-282.

Amiotti, N; V Villalba; P Zalba & E Schmidt. 2012. Cantidad y calidad de la materia orgánica en ecosistemas forestales antrópicos. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII CACS. Mar del Plata, 16 al 20/04 de 2012. Trabajo completo en CD-R. 6 pág.

Berthrong, ST; EG Jobbágy & RB Jackson. 2009. A global meta-analysis of soil exchangeable cations, pH, C and N with afforestation. *Ecol. Appl.* 19: 2228-2241.

Binkley, D. 1995. The influence of tree species on forest soils: processes and patterns. In: Mead, D & I Cornforth (Eds.). *Proc. of the trees and soil workshop*, 1-33.

Bochet, E; JL Rubio & J Poesen. 1999. Modified topsoil islands within patchy Mediterranean vegetation in SE Spain. *Catena* 38: 23 – 44.

Boettcher, SE & PJ Kalisz. 1990. Single-tree influence on soil properties in the mountains of Eastern Kentucky. *Ecology* 71: 1365-1372.

Bray, R & L Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.

Cabrera, AL. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Bol. Soc. Argentina de Botánica* 14: 1-42.

Calvo de Anta, R. 1996. Manejo de suelos en cultivo de eucalipto: un ejemplo de estudio de la influencia de la vegetación sobre las propiedades del suelo. Pp. 181-193. En: *Evaluación y Manejo de Suelos*. J. Aguilar Ruiz; A Martínez. Raya & A Roca Roca (Ed.). Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Univer. de Granada.

Campo, M; P Rosell; G Benedetti & V Gil. 2012. Geografía física del suroeste bonaerense. Guía de observaciones de campo. IX Jornadas Nac. de Geografía Física. Bahía Blanca, 19/4-21/4 de 2012. Depto. de Geografía y Turismo, UNS.

Carrasco-Letelier, L; G Eguren; C Castiñeira; O Parra & D Parrario. 2004. Preliminary study of prairies forested with *Eucalyptus* sp. at the north-western Uruguayan soils. *Environmental Pollution* 127: 49-55.

Cavagnaro, TR; SC Cunninghamb & S Fitzpatrickd. 2016. Pastures to woodlands: changes in soil microbial com-



- munities and carbon following reforestation. *Appl. Soil Ecol.* 107: 24 – 32.
- Cavelier, J & A Tobler. 1998. The effect of abandoned plantations of *Pinus patula* and *Cupresses lusitanica* on soils and regeneration of a tropical montane rain forest in Colombia. *Biodivers. Conserv.* 7: 335-347.
- Céspedes-Payret, C. 2007. Dinámica de la materia orgánica y de algunos parámetros fisicoquímicos en Molisoles, en la conversión de una pradera a cultivo forestal en la región de Piedras Coloradas-Algorta (Uruguay). Tesis de maestría. Institut National Polytechnique de Toulouse. 272 pp.
- Céspedes-Payret, C. 2012. Plantación de Eucalipto en Bioma de Pradera Templada. EAE (Ed.). 316 pp.
- Condron, LM & RH Newmann. 1998. Chemical nature of soil organic matter under grassland and recently established forest. *Eur. J. Soil Sci.* 49: 597-603.
- Delgado, S; F Alliaume; F García Préchac & J Hernández. 2006. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. sobre el suelo en Uruguay. *Agron.* 10: 95-107.
- Di Rienzo, J; F Casanoves; M Balzarini; L González; M Tablada & C Robledo. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, UN de Córdoba, Argentina.
- Dou, X; X Xuc; X Shua; Q Zhanga & X Cheng. 2016. Shifts in soil organic carbon and nitrogen dynamics for afforestation in central China. *Ecol. Engin.* 87: 263-270.
- Durán, A & F García Préchac. 2007. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. Vol. 2, 358 pp.
- Duval, ME; JA Galantini; JO Iglesias; S Canelo; JM Martínez & L Wall. 2013. Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res.* 131: 11-19.
- Eclesia, R; EG Jobbágy; RB Jackson; F Biganzoli & G Piñeiro. 2012. Shifts in soil organic carbon for plantation and pasture establishment in native forests and grasslands of South America. *Global Change Biology* 18: 3237-3251.
- England, JR; KI Paul; SC Cunningham; DB Madhavane; TG Bakere; Z Readf; BR Wilson; TR Cavagnaro; T Lewisi; MP Perringj; T Herrmann & PJ Polglaseb. 2016. Previous land use and climate influence differences in soil organic carbon following reforestation of agricultural land with mixed-species plantings. *Agric., Ecos. & Environ.* 227: 61 – 72.
- Ferrero Cerrato, R & A Alarcón. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum.* 8: 173-183.
- Forrester, D & R Smith. 2012. Faster growth of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus pilularis* in mixed-species stands than monocultures. *For. Ecol. Manag.* 286: 81-86.
- Galantini, J. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. Capítulo IV parte 2. Pp. 95-106. En: Marbán, L & S Ratto (Ed.). Manual "Tecnología en análisis de suelos: Alcance a laboratorios agropecuarios". AACs.
- Gallardo, A. 2003. Effect of tree canopy on the spatial distribution of soil nutrients in a Mediterranean dehesa. *Pedobiología* 47: 117-125.
- Garay, M; N Amiotti & P Zalba. 2015. Potencial riesgo de polución biológica asociado a la introducción de *Pinus radiata* en tierras de pastizales. *Phyton* 84: 280-287.
- Hernández- Hernández, RM; E Ramírez; I Castro & S Cano. 2008. Cambios en indicadores de calidad de suelos de ladera reforestados con pinos (*Pinus caribaea*) y eucaliptos (*Eucalyptus robusta*). *Agron.* 42: 253-266.
- Hernández, J; A del Pino; ED Vance; A Califra; F del Giorgio; L Martínez & P González Barrios. 2016. Eucalyptus and Pinus stand density effects on soil carbon sequestration. *For. Ecol. Manag* 368: 28-38.
- Hoogmoed, M; S Cunningham; J Thompson; P Baker; J Beringer & T Cavagnaro. 2012. Does afforestation of pastures increase sequestration of soil carbon in Mediterranean climate? *Agr. Ecosyst. Environ.* 159: 176-183.
- Jobbágy, E & R Jackson. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl.* 10: 423-436.
- Jobbágy EG & RB Jackson. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. *Biogeochemistry* 54: 205-229.
- Jobbágy, E & R Jackson. 2004. The uplift of soil nutrients by plants: biogeochemical consequences across scales. *Ecology* 85: 2380-2389.
- Jobbágy, EG; M Vasallo; K Farley; G Piñeiro; M Garbulsky; M Nosetto; R Jackson & JM Paruelo. 2006 (a). Forestación en pastizales: Hacia una visión integral de sus oportunidades y costos ecológicos. *Agron.* 10:109-134.
- Jobbágy E. G., M. D. Nosetto, J. M. Paruelo, G. Piñeiro. 2006 (b). Las forestaciones rioplatenses y el agua. *Ciencia Hoy*. Volumen 16 N° 95.
- Johnson-Maynard, JL; RC Graham; L Wu & PJ Shouse. 2002. Modification of soil structural and hydraulic properties after 50 years of imposed chaparral and pine vegetation. *Geoderma* 110: 227-240.
- Laik, R; K Kumar; DK Das & OP Chaturvedi. 2009. Labile soil organic matter pools in a calciorthent after 18 years of afforestation by different plantations. *Appl. Soil Ecol.* 42: 71-78.
- Lal, R. 2015. Carbon sequestration in soil. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 15: 79-86.
- Lavoie, M; L Kellman & D Risk. 2013. The effects of clear-cutting on soil CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O flux, storage and con-

- centration in two Atlantic temperate forests in Nova Scotia, Canada. *For. Ecol. Manag.* 304: 355-369.
- Liao, QL; XN Zhang; ZP Li; GX Pan; P Smith; Y Jin & XM Wu. 2009. Increase in soil organic carbon stock over the last two decades in China's Jiangsu Province. *Glob. Change Biol.* 15: 861-875.
- Litton, C; J Raich & M Ryan. 2007. Carbon allocation in forest ecosystems. *Glob. Change Biol.* 13: 2089-2109.
- MA, 2017. Inventario nacional de plantaciones forestales por superficie. Disponible en: <https://datos.agroindustria.gob.ar/dataset/72ca69b6-32a8-4210-9b48-4a77852d2995/archivo/147acbc6-2048-4d2b-9cd7-df13efe328fa>. Acceso 31/7/2018.
- Marín-Muñiz, JL; ME Hernández & P Moreno- Casasola. 2015. Greenhouse gas emissions from coastal freshwater wetlands in Veracruz Mexico: effect of plant community and seasonal dynamics. *Atmos. Environ.* 107: 107-117.
- Nelson, D & L Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 961-1010. In: Sparks, D *et al.* (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* SSSA. Book Series 5. SSSA and ASA, Madison, WI, USA.
- Noellemeyer, E; A Quiroga & D Estelrich. 2006. Soil quality in three range soils of the semi-arid Pampa of Argentina. *J. Arid Env.* 65: 142-155.
- Ortiz Torres, C; J Gómez Díaz, F Domínguez Álvarez & A Villanueva Morales. 2018. Influencia de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh y *Opuntia ficus-indica* L. Mill en las propiedades físicas y químicas del suelo. *Terra Latinoamericana* 36: 275-285.
- Paul, KI; PJ Polglase; JG Nyakuengama & PK Khanna. 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecol. Manag.* 168: 241-257.
- Paustian, K; J Lehmann; S Ogle; D Reay; P Robertson & P Smith. 2016. Climate-smart soils. *Nature* 532: 49-57.
- Pérez Bidegain, F; F García Préchac & A Durán. 2001. Soil use change effect from pastures to *Eucalyptus sp.*, on some soil physical and chemical properties in Uruguay. In 3<sup>o</sup> International Conference on Land Degradation, Rio de Janeiro.
- Presutti, M; D Bennardi; M García; C Serafino & M. Vázquez. 2016. Regionalización de la capacidad buffer y necesidad de enmienda calcárea en provincia de Buenos Aires. XXV CACS, Río Cuarto. 27/06 al 01/07/2016.
- Riestra, D. 2012. Efectos de la forestación sobre carbono orgánico y propiedades físicas de Molisoles y Entisoles de la Región semiárida pampeana. Tesis Doctor en Agronomía. UNS. 124 pp.
- Sandoval, DM; J Goya; M Arturi; S Burns & C Pérez. 2012. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) sobre el contenido de carbono en suelos en el NE de la provincia de Entre Ríos. XV Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. 7, 8 y 9 de Junio de 2012 -Eldorado, Misiones, Argentina.
- Scharlemann JP; EV Tanner; R Hiederer & V Kapos. 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Manag* 5(1):81-91
- Silenzi, J; A Moreno & L Lucero. 1987. Variaciones temporales de la estabilidad estructural de un suelo no disturbado. *Ciencia del Suelo* 5:1-7.
- Soil Survey Staff - USDA. 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11<sup>o</sup> ed. USDA-NRCS, Washington, DC.
- Tang, G & K Li. 2013. Tree species controls on soil carbon sequestration and carbon stability following 20 years of afforestation in a valley-type savanna. *For. Ecol. Manag.* 291: 13-19.
- Turner, J. & M Lambert. 2016. Pattern of carbon and nutrient cycling in a small *Eucalyptus* forest catchment, NSW. *For. Ecol. Manag.* 372: 258-268.
- Vallejo, C; M Chacón & M Cifuentes. 2016. Sinergias entre adaptación y mitigación del cambio climático (SAM) en los sectores agrícola y forestal: Concepto y propuesta de acción. Boletín técnico N° 79. 1<sup>o</sup> Ed. Turrialba, Costa Rica: CATIE. 41 pp.
- Vargas Gil, J & C Scopa. 1973. Suelos de la Sierras de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de Investigaciones Agropecuarias. Serie 3, X:* 57-79.
- Vassallo, MM; HD Dieguez; MF Garbulsky; EG Jobbágy & JM Paruelo. 2013. Grassland afforestation impact on primary productivity: a remote sensing approach. *Appl. Veg. Sci.* 16: 390-403.
- Wang, Y & S Cao. 2011. Carbon sequestration may have negative impacts on ecosystem health. *Environ. Sci. Technol.* 45: 1759-1760.
- Zalba, SM & CB Villamil. 2002. Woody plant invasion in relictual grasslands. *Biol. Inv.* 4: 55 – 72.
- Zinke, PJ. 1962. The pattern of influence of individual forest trees on soil properties. *Ecology* 43: 130-133.