

## EFFECTO DE LAS PLANTACIONES DE *Eucalyptus* sp. SOBRE EL RECURSO SUELO EN URUGUAY

Delgado, S.1; Alliaume, F.;García Préchac, F.; Hernández, J.

Recibido: 06/03/06 Aceptado: 25/10/06

### RESUMEN

Se sintetiza el conocimiento sobre el impacto de las plantaciones de *Eucalyptus* Sp. sobre algunos suelos de Uruguay (Acrisoles, Luvisoles, Argisoles, Inceptisoles), generados en trabajos del Dpto. de Suelos y Aguas de la FA-UDELAR. En 12 casos estudiados los suelos forestados presentaron menor pH, más aluminio intercambiable y menor saturación en bases que los que permanecen bajo las pasturas previas. En siete casos estudiados, el carbono orgánico mostró una tendencia a la disminución en la parte superior del horizonte A. En otros horizontes no surgen resultados claros, aunque en algunos sitios se observó una tendencia hacia el aumento de carbono orgánico en la base del A o inicio del B en los suelos forestados, comparados con los que permanecen bajo la pastura original. Si bien estos cambios de distribución vertical podrían no determinar cambios en el contenido de carbono del perfil, la presencia del mantillo (horizonte O) en los suelos forestados permitiría concluir que en las plantaciones forestales ocurre un aumento en la cantidad total de carbono orgánico del suelo. En un monitoreo de cinco años, el contenido de agua del suelo forestado fue siempre menor que bajo pastura: en verano, por la mayor evapotranspiración, y en invierno por la menor capacidad de retención de agua. Dos ensayos mostraron que el estado de degradación del suelo por su uso previo impactó significativamente en la productividad. Si se logra buen control químico de la vegetación preexistente y de las malezas, el laboreo de los suelos respecto al no-laboreo, no arroja diferencias para la plantación de eucaliptos, independientemente del uso previo.

**PALABRAS CLAVE:** *Eucalyptus*, calidad de suelos, propiedades del suelo.

### SUMMARY

## THE EFFECTS OF *Eucalyptus* sp. PLANTATIONS ON URUGUAY NATURAL RESOURCES. PART II: SOILS

Knowledge about *Eucalyptus* Sp. plantations on Uruguayan soils, generated in research projects by the Soils and Water Dept. of the Fac. of Agronomy-UDELAR is synthesized.

Based on 12 cases studied, forested soils presented lower pH, higher exchangeable aluminium, and lower base saturation than soils under the previous grassland. Based on seven cases studied, soil organic carbon tended to decrease in the upper A horizon. Although there was no clear result for other horizons, in some cases organic carbon tended to increase in the lower A or the upper B under trees, compared with the soil under grasses. Even though this changes in vertical distribution could determine no change in the total carbon content of the profile; the presence of the O horizon on the forested soils would allow to conclude that the plantations increase total organic carbon in the soil. Five years of soil water content monitoring in the same soil under forest and under the previous grassland, showed lower values under trees all the time. During summer this was due to higher evapotranspiration under trees and during winter it was due to lower soil water holding capacity of soils under eucalyptus. Soil degradation by former land use showed negative impact on productivity in two experiments. If good control of previous vegetation and weeds is achieved using herbicides, based on 4 experiments, it is concluded that tillage is not needed in eucalyptus plantations, independently of previous soil use.

**KEY WORDS:** *Eucalyptus*, Soil quality, Soil properties.

<sup>1</sup>Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas, Garzón 780, C.P. 12.900. Montevideo, Uruguay.

## INTRODUCCIÓN

Se presenta una síntesis del estado del conocimiento sobre el impacto de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. sobre los suelos de Uruguay, en base a los trabajos realizados en el Departamento de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía de la UDELAR (DSA-FA-UDELAR<sup>2</sup>). En ellos se han comparado varias propiedades de los mismos suelos bajo plantación y bajo la vegetación previa a las plantaciones, que mayoritariamente han sido campos naturales o pasturas regeneradas naturalmente. También se presenta una síntesis de los resultados de experimentos de intensidad de laboreo para la plantación de eucaliptos, ya que la misma influye en las propiedades de los suelos. Los resultados que se presentan a continuación se obtuvieron en los siguientes proyectos:

1. DSA-FA e Inst. de Mecánica de los Fluidos e Ing. Ambiental de la Fac. de Ingeniería (IMFIA-FING<sup>3</sup>) de la UDELAR, para la Dir. Forestal del MGAP, financiado por Banco Mundial sobre 7 suelos en todo el país (Durán *et al.*, 2001; Pérez Bidegain *et al.*, 2001a).
2. Estudio complementario a ensayo del INIA-Tacuarembó en La Magnolia, 1999 (Pérez Bidegain *et al.* 2001b).
3. Estudio en Proyecto de SURESA<sup>4</sup> en suelos de Piedras Coloradas, Paysandú. 1998-2000 (García Préchac *et al.*, 2001).

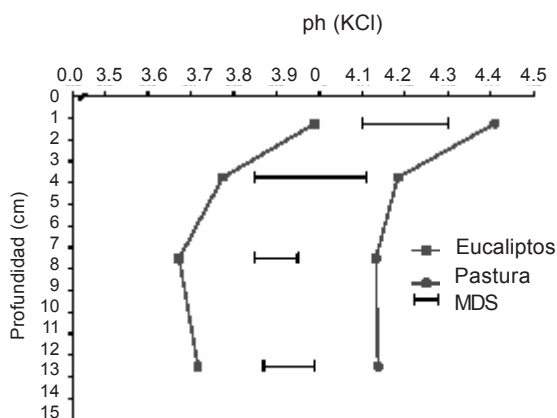
4. Los Piques S.A. y CSIC<sup>5</sup>-UDELAR (Sector Productivo) en Buena Unión, Rivera. 2001-2006 (Delgado *et al.*, 2004; Hill *et al.*, 2004).

5. Forestal Oriental S.A.-Facultad de Agronomía (CSIC I+D), en la localidad de Algorta (Hernández *et al.*, 2004).

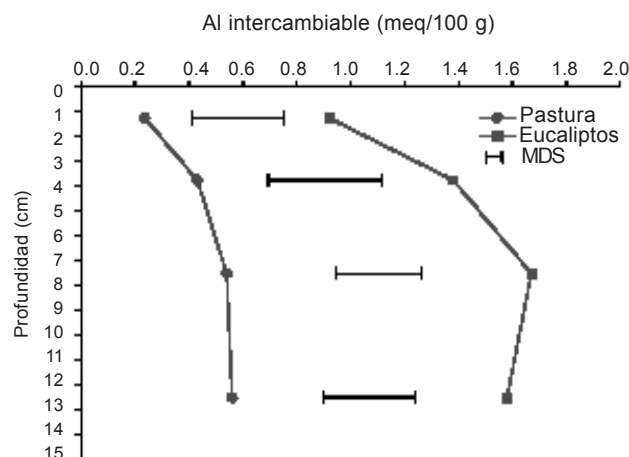
## ACIDEZ Y BASES INTERCAMBIABLES

Se ha encontrado, sistemáticamente, que los suelos plantados con *Eucalyptus* Sp. presentan menor pH, más acidez intercambiable y menor saturación en bases que los que permanecen bajo la vegetación previa a la plantación.

En el primer estudio la atención se concentró en el horizonte A de siete suelos, tres de la zona del Litoral (Paysandú y Río Negro), dos de Tacuarembó, uno de Rivera y uno de Lavalleja. Las plantaciones en estos casos tenían entre 6 y 10 años de edad. En cada sitio se tomaron tres pares (monte-pradera) de muestras compuestas a las profundidades 0-2.5, 2.5-5, 5-10 y 10-15 cm, determinando en ellas el pH en KCl 1M y en H<sub>2</sub>O, así como la acidez intercambiable extraída con KCl 1M. En todos los sitios y profundidades muestreadas, el valor de pH medido en KCl fue menor y la acidez intercambiable fue mayor bajo *Eucalyptus* sp. (Pérez Bidegain *et al.*, 2001a), el pH medido en H<sub>2</sub>O no mostró diferencias. En las Figuras 1 y 2 se indica el valor promedio correspondiente a los siete sitios para pH en KCl 1M y



**Figura 1.** Promedio de los valores de pH en KCl hasta los 15 cm de profundidad para siete suelos bajo plantaciones de *Eucalyptus* Sp. de 6 a 7 años, y bajo pastura alledaña. (Pérez Bidegain *et al.*, 2001).



**Figura 2.** Promedio de los valores de acidez intercambiable hasta los 15 cm de profundidad para siete suelos bajo plantaciones de *Eucalyptus* Sp. de seis a siete años y bajo pastura alledaña. (Pérez Bidegain *et al.*, 2001).

<sup>2</sup>DSA-FA-UDELAR, Dirección de Suelos y Aguas – Facultad de Agronomía-Universidad de la República.

<sup>3</sup>IMFIA-FING, Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental- Facultad de Ingeniería.

<sup>4</sup>SURESA, Shell Uruguay Renewable Energy S.A.

<sup>5</sup>CSIC, Comisión Sectorial de Investigación Científica.

acidez intercambiable. Las diferencias de pH fueron del orden de 0.5 unidades a todas las profundidades muestreadas, mientras que las diferencias en acidez fueron del orden de 0.5 a 1.2  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  de suelo.

Según Hernández (comunicación personal), en el que se evaluaron plantaciones de más de 15 años en suelos del Dpto. de Rivera, se compararon los valores de diferentes parámetros químicos en los horizontes A y B (Figura 3). Se observó que el aumento en la acidificación y la disminución de bases totales intercambiables (BT) ocurrieron en toda la profundidad de suelo estudiada. Las diferencias son del orden de 0.5 y 0.4 unidades promedio en el pH en agua para los horizontes A y B respectivamente, mientras que el pH en KCl disminuye 0.3 y 0.2 unidades promedio en el horizonte A y B, respectivamente. En concordancia con estos resultados, la acidez intercambiable es mayor bajo monte (0.8 y 1.4  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  de diferencia en los horizontes A y B, respectivamente). Bajo monte, las bases totales disminuyen 1  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  promedio en ambos horizontes.

En plantaciones de *Eucalyptus grandis* de tres a cinco años de edad, sobre Acrisoles (Hapludultes) y Luvisoles (Hapludalfes) de la Unidad Rivera, se muestrearon perfiles hasta los 60 cm de profundidad, (García Préchac *et al.*, 2004a). En las plantaciones de cinco años, los valores de pH en KCl, fueron significativamente menores que en la pastura adyacente para todas las profundidades muestreadas, excepto para los primeros 2.5 cm, y de 45 a 60 cm. Asociado con esto, la acidez intercambiable del suelo bajo monte fue mayor, siendo significativa de 2.5 hasta 15 cm (Figura 4).

En las plantaciones de tres años, se observó menor pH en el monte, siendo significativas las diferencias sólo hasta los 10 cm de profundidad, mientras que los valores de acidez intercambiable fueron significativamente mayores bajo monte a todas las profundidades evaluadas. Estas diferencias se hacen mayores con la profundidad, lo que no se debería al cambio de uso, ya que difícilmente puedan ser explicadas en la profundidad, y menos aún en el caso de una plantación de tan corta edad. En este caso, la acidificación en profundidad constituye una característica del tipo de suelo considerado (Desaturado Lixiviado, Alfisoles y Ultisoles), de acuerdo con Durán (1991), y las diferencias entre usos parecen estar explicadas principalmente por la variabilidad en el tipo de suelo (García Préchac *et al.*, 2004a).

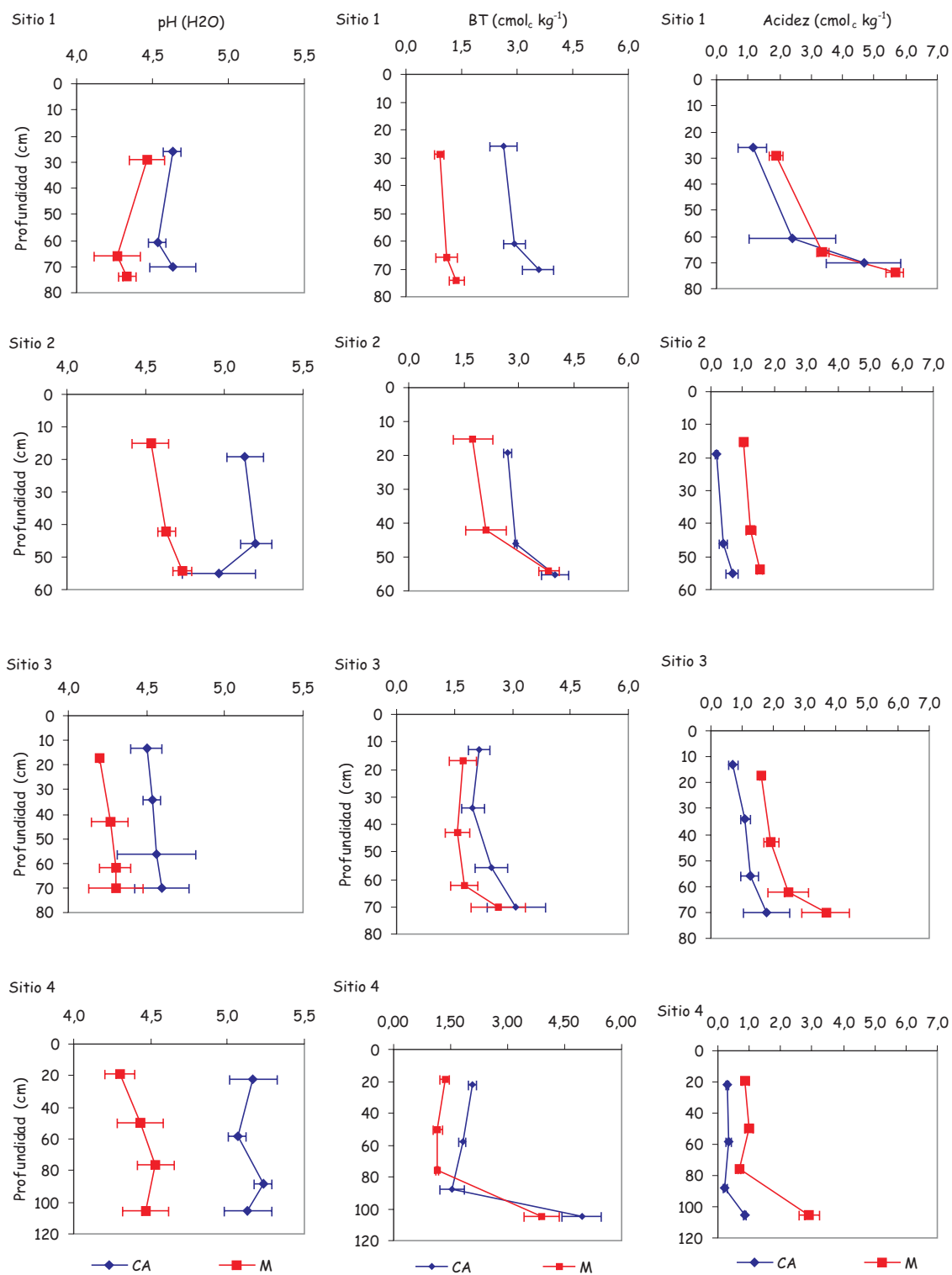
En un Argisol (Hapludalf) bajo plantaciones de *Eucalyptus dunnii* de 3 años de edad, como se menciona en García Préchac *et al.*, 2001, se observa una acidificación significativa, así como independiente de la intensidad de laboreo utilizada. Como se observa en las Figuras 5a y 5b, al com-

parar el pH en KCl, el suelo bajo pastura tuvo un valor de pH significativamente mayor que la media de los tratamientos de laboreo en la fila de plantación a todas las profundidades. En la entrefila de plantación, el pH fue mayor bajo pastura en la mayoría de las profundidades muestreadas. Los autores concluyen que la acidificación sería debida, principalmente, al cambio de vegetación.

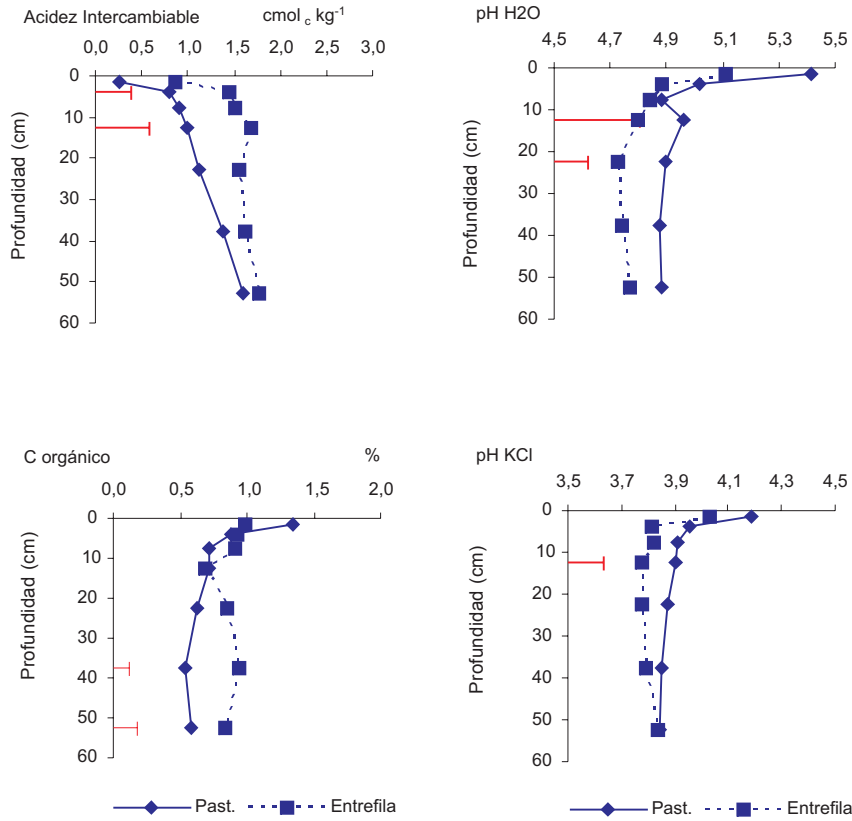
Estos cambios en el suelo, que se han detectado en un corto período siguiente a la plantación, tienen como principal explicación el cambio en los procesos de formación de suelos que se generan por el cambio de vegetación. Como se discute en Foth *et al.* (1972), a diferencia de la vegetación de pastos, que deposita su principal aporte de biomasa dentro del suelo a través de los restos de su sistema radical, los árboles realizan un aporte importante a través de las hojas muertas sobre el suelo. Por las características diferenciales de ambos tipos de residuos, y su sitio de deposición y descomposición, la materia orgánica resultante y su dinámica son diferentes (Goya *et al.*, 1997). En el caso de especies forestales se trata de compuestos orgánicos muy móviles, de cadena corta, ricos en grupos funcionales capaces de ionizar  $\text{H}^+$ , y ser fuente de acidez en el suelo. Su movilidad les permite infiltrar con el agua en el suelo y acumularse a la profundidad en que el movimiento descendente de agua libre es restringido por la aparición del horizonte B. La riqueza en  $\text{H}^+$  que se genera en el suelo sustituye cationes de las posiciones de intercambio y ataca estructuras cristalinas de los minerales, principalmente secundarios, liberando  $\text{Al}^{+3}$ , parte del cual pasa a ser intercambiable. Complementariamente, existe una alta extracción de bases de intercambio, las cuales en parte son exportadas por la cosecha forestal, mientras que otra parte es reciclada a través de los restos de cosecha dejados en superficie. En la medida de considerar sucesivos turnos de plantación, la reducción de las mismas en el suelo se irá acentuando, pudiendo llegar a limitar la producción de futuras replantaciones, situación en la cual haría necesaria su reposición al suelo vía encalado con dolomitas (aportando Ca y Mg) y fertilización con K.

## CARBONO ORGÁNICO

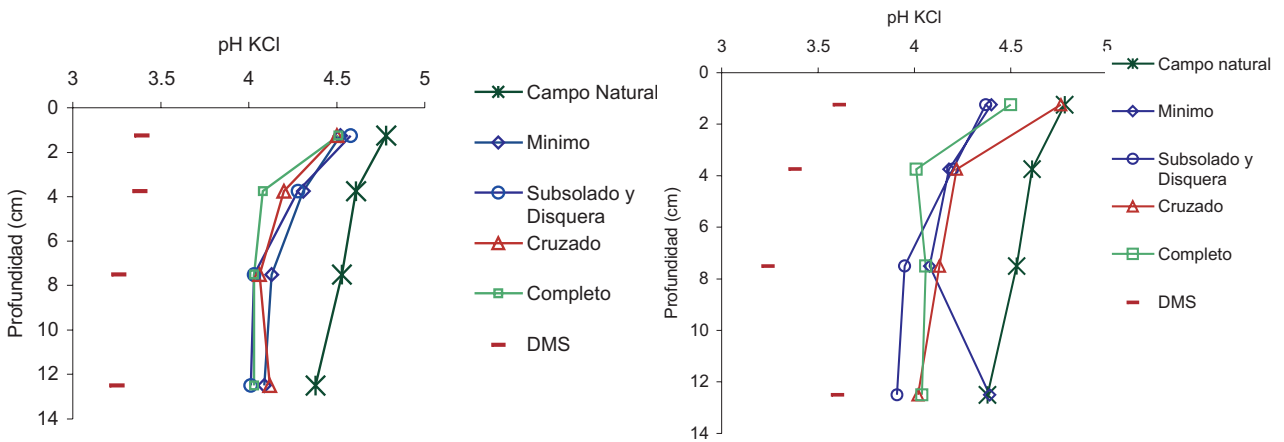
En la discusión precedente se menciona que una de las causas principales de los cambios en las propiedades químicas de suelo está determinada por el cambio en el tipo, lugar de deposición y de descomposición de los residuos vegetales, y por el cambio en el tipo y dinámica de los productos de dicha descomposición. Por lo tanto, es factible que se presenten cambios en la distribución de la materia orgánica del suelo, y eventualmente, en la canti-



**Figura 3.** Valores de pH, suma de bases de intercambio y acidez intercambiable en perfiles bajo *Eucalyptus grandis* de más de 15 años y campo natural adenaño a la plantación. (Cabrera y Cal. 2006, en prensa).



**Figura 4.** Valores de pH, acidez intercambiable y carbono orgánico en función de la profundidad del perfil, para una plantación de *Eucalyptus grandis* de cinco años de edad (entrefila) y la pastura aledaña (campo natural). (García Préchac, *et. al.* 2004a). Referencias: Past.: pastura; Entrefila: es la entrefila del monte; las líneas horizontales corresponden a la DMS cuando  $\alpha < 0.05$ .



**Figura 5.** pH en KCl en la fila (a) y entrefila (b) de plantación según laboreo y profundidad. (García Préchac *et. al.* 2001).

dad de materia orgánica o Carbono Orgánico (CORG) en los diferentes horizontes del suelo, y en el conjunto del suelo (Foth *et al.*, 1972).

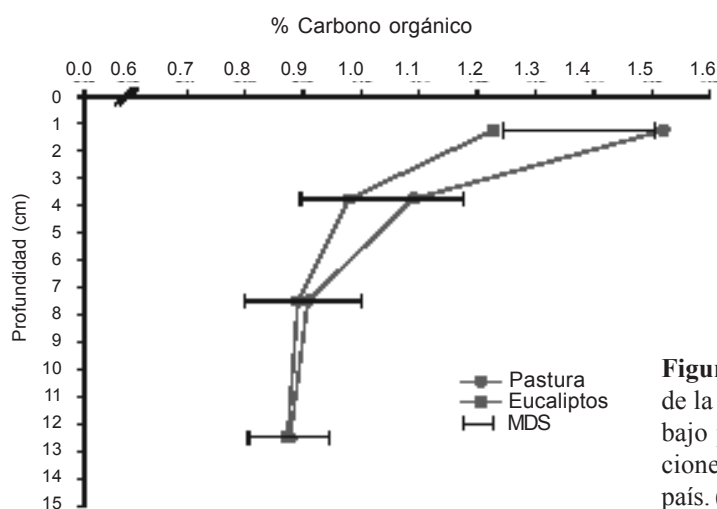
Los primeros resultados surgen del estudio en detalle del horizonte A de siete diferentes suelos del país bajo plantaciones forestales de 6 a 8 años de edad. Considerando que la principal causa de pérdida de CORG en los suelos es el laboreo mecánico, se realizó el muestreo de suelos en la fila de plantación, en la cual siempre fue realizado algún tipo de laboreo. No fueron muestreadas las entrefilas, las cuales variaron en cuanto a su intensidad de laboreo. Los resultados promedio de los siete sitios (Figura 6) muestran una disminución significativa en el CORG hasta los 5 cm de profundidad (Pérez Bidegain *et al.*, 2001a). Para los 15 cm estudiados se observó una disminución de 7,5% del contenido de CORG.

Resultados complementarios surgen de un experimento para evaluar el efecto de la diferente intensidad de laboreo en las filas de plantación, pero sin laboreo en las entrefilas, instalado en un Argisol franco-arenoso (Hapludalf) de la Unidad Algorta. A los 3 años de plantación se observaron diferencias significativas en el contenido de CORG de los primeros 5 cm de profundidad entre las filas del tratamiento con mayor intensidad de laboreo y la pastura original (García Préchac *et al.*, 2001). Los demás tratamientos mostraron una tendencia de disminución, hasta igual profundidad, en función de la intensidad de laboreo realizada, aunque no significativa. Por debajo de 5 cm no se presentaron diferencias significativas en las filas; en las entrefilas no laboreadas no se encontró ninguna diferencia significativa con el suelo que permanecía bajo la pastura original a ninguna profundidad. Esos resultados indican que en

estos primeros años de la plantación todavía no se evidenciaría el efecto del cambio de vegetación, predominando en cambio el efecto del laboreo y su intensidad. Se ha encontrado que los efectos generados por la intensidad de laboreo para la plantación perduran en plantaciones de 9 años (Pérez Bidegain *et al.*, 2001b). El estudio se realizó en otro ensayo de intensidad de laboreo en las filas de plantación sobre un Luvisol (Hapludalf) de la Unidad Tacuarembó. Se encontraron diferencias significativas en los primeros 5 cm entre las filas de plantación con laboreo intensivo o reducido, y el campo natural de las cercanías del ensayo, pero no fue significativa la diferencia entre las filas de plantación cuando no fueron laboreadas (plantación al pozo) y el campo natural.

De lo anterior se puede concluir que en el corto plazo predominan los efectos de la intensidad del laboreo preplantación, como causa de la disminución en el contenido de CORG en horizonte superficial del suelo, y que aunque en el largo plazo puedan ocurrir modificaciones por efecto del cambio de vegetación, si los efectos del laboreo fueron importantes, estos perduran. Metodológicamente, es necesario tener un conocimiento de los sistemas de preparación del sitio de plantación, y su variación entre filas y entrefilas, a los efectos de arribar a conclusiones válidas en cuanto al contenido de CORG.

Estos primeros estudios concentraron su atención en el horizonte superficial del suelo, bajo la hipótesis de encontrar los mayores cambios en los primeros estratos de suelo. Sin embargo, en un estudio posterior realizado en las microcuencas de la zona de Batoví -cuyos resultados parciales se presentaron por Silveira *et al.*, 2006<sup>6</sup>-, se realizaron observaciones en dos de los suelos más importantes



**Figura 6.** Porcentajes de carbono orgánico, en función de la profundidad en el perfil de suelo bajo eucalipto y bajo pastura aledaña. Resultados promedio de plantaciones entre seis y diez años en siete suelos en todo el país. (Pérez Bidegain *et al.*, 2001).

<sup>6</sup>SILVEIRA, L.; ALONSO, J.; MARTÍNEZ, L. 2006. Efecto de las plantaciones forestales sobre los recursos naturales en el Uruguay, parte I. Aguas. Agociencias (en prensa).

de las mismas: un Inceptisol, y un Acrisol de la Unidad Tacuarembó. En ambos suelos fueron muestreados, además de los 15 cm superiores del horizonte A, los horizontes Au2 (la base del A) para el Inceptisol (Distrupt) y el Bt del Acrisol (Hapludult). Los resultados indicaron que en todos los casos el contenido de CORG en los horizontes subsuperficiales, en los que se enlentece el flujo de agua libre por la menor conductividad hidráulica del material de origen (Inceptisol) o del B (Acrisol), tendieron a ser mayores en la cuenca forestada (Durán *et al.*, 2001).

En otro estudio realizado en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de 5 años, sobre Acrisoles (Hapludultes) y Luvisoles (Hapludalfes) de la Unidad Rivera, se muestreó el suelo a varias profundidades en todo el horizonte A, hasta llegar a la parte superior del B a 60 cm. Los resultados ya fueron indicados en la Figura 4, en la cual se compara la distribución de CORG de la entrefila de plantación, donde hubo laboreo para control de malezas en el primer año, con el suelo bajo la vegetación de origen. Se observa que la curva de distribución de CORG indica valores ligeramente menores en superficie bajo árboles, cruzándose entre 10 y 15 cm, a partir de los cuales pasa a tener mayores valores bajo la plantación de *Eucalyptus grandis*, confirmando los resultados de las cuencas de Batoví antes citados.

En trabajos posteriores se realizaron evaluaciones en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de mayor edad en suelos similares formados a partir de areniscas del norte del país (Cabrera & Cal. 2006, en preparación). En este caso se observó la misma tendencia que en los trabajos anteriores, hacia un contenido algo menor de CORG para el horizonte A. No obstante, en los horizontes B, no surgen tendencias claras, y en promedio el contenido fue levemente mayor bajo monte. Es importante aclarar que en estas situaciones el valor correspondiente al horizonte A está referido al promedio de todo el horizonte, en tanto que las del horizonte B, se corresponden con la parte superior del mismo. Esto significa que el tipo de muestreo realizado no permitió evaluar adecuadamente la variación en el contenido de CORG a diferentes profundidades del perfil. Metodológicamente se requiere de un muestreo estratificado, a los efectos de estimar con mayor precisión los cambios que puedan ocurrir en horizontes más profundos de suelo, a los efectos de arribar a resultados más concluyentes.

En relación con la acumulación de carbono en superficie a través del mantillo (horizonte O), se tienen algunos resultados de un estudio en una plantación de *Eucalyptus dunnii* de 9 años para pulpa en la zona de Algorta. Estos

muestran una acumulación de CORG de 18.5 Mg C ha<sup>-1</sup> a través del depósito de hojarasca (Hernández *et al.*, 2004). Este es un nuevo horizonte que se desarrolla en los suelos forestados, que no ocurre en los suelos bajo pasturas. La magnitud de la acumulación de carbono en dicho horizonte es importante, particularmente cuando se la compara con los contenidos presentes en los primeros estratos de suelos bajo otros sistemas, como rotaciones de pasturas y cultivos. En términos comparativos, para un Brunisol Eutrítico Típico (Argiudol) de la Unidad San Manuel, formado a partir de limos de Fray Bentos, (EEMAC-UDELAR, Dpto. de Paysandú), se han determinado contenidos del orden de 40 Mg de CORG ha<sup>-1</sup> en los 12 cm superficiales, en tanto que para los 15 cm superficiales de Argisoles (Argiudoles) de la Unidad Alférez (UEPP<sup>7</sup>, INIA Treinta y Tres), los contenidos fueron del orden de 35 Mg de CORG ha<sup>-1</sup>. En ambos casos se trataba de ensayos de rotaciones de cultivos y pasturas con siembra directa (García Préchac *et al.*, 2004b).

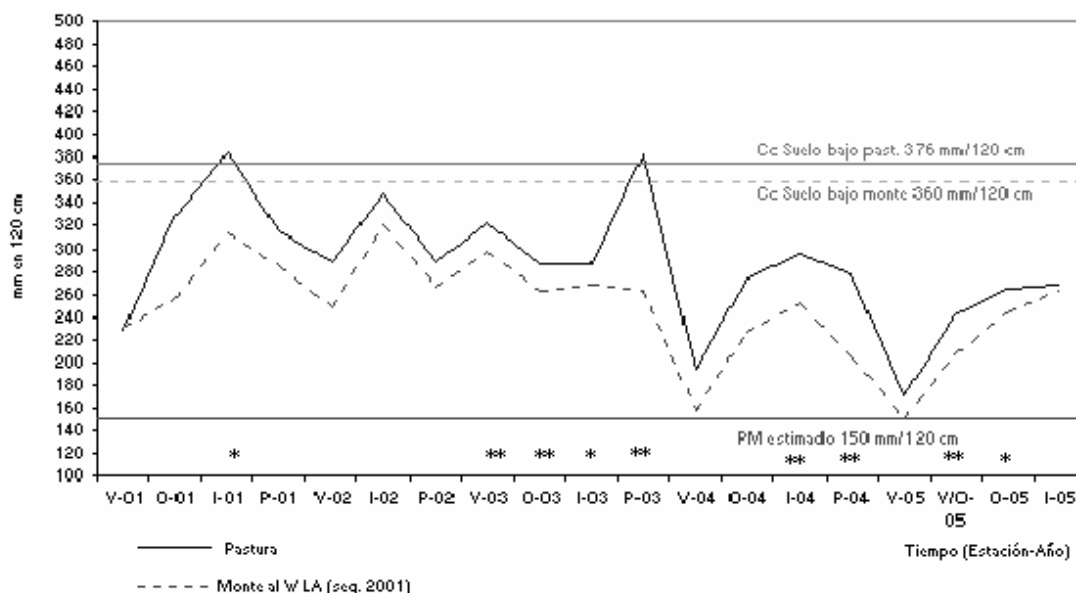
El carbono presente en el mantillo generado en los suelos forestados con Eucalipto podría contrarrestar la disminución de CORG en los primeros centímetros del horizonte A con el laboreo. Sin embargo, desde un punto de vista ambiental, debe considerarse también el secuestro de carbono atmosférico realizado en la biomasa aérea y radicular, lo cual contribuye a reducir la concentración de CO<sub>2</sub> de la atmósfera, uno de los principales gases de efecto invernadero. Queda planteada aún la interrogante acerca de si en su conjunto, el suelo mineral bajo las plantaciones de *Eucalyptus* Sp. aumenta su cantidad total de materia orgánica en toda la profundidad.

## CONTENIDO Y RETENCIÓN DE AGUA EN EL SUELO

En plantaciones de *Eucalyptus grandis* instaladas en 1998 en un Acrisol Típico (Hapludult Típico) de la zona de Buena Unión (Dpto. de Rivera), se determinó el contenido de agua volumétrico hasta 120 cm de profundidad en tres posiciones de la toposecuencia, bajo la plantación forestal, y en la pastura natural aledaña. En la Figura 7 se presentan los datos por estación.

El suelo bajo eucaliptos siempre tuvo menor contenido de agua acumulada hasta 120 cm que bajo pastura. Las diferencias, del orden de 20 a 70 mm, fueron significativas para la mayoría de las estaciones estudiadas. Mientras que bajo pastura se alcanzó un contenido de agua equivalente a la capacidad de campo en dos inviernos, bajo mon-

<sup>7</sup> UEPP: Unidad Experimental de Palo a Pique - INIA Treinta y Tres.



**Figura 7.** Evolución del contenido de agua del suelo hasta 1,2 m de profundidad en una plantación de *Eucalyptus grandis* de cinco años sobre Hapludult Típico. (García Préchac, *et. al.* 2004a).

\*\*  $\infty < 0.05$  \*  $0.05 < \infty > 0.10$

Referencias: Past.: suelo bajo pastura original; Monte: suelo bajo monte de Eucalyptus; Cc: capacidad de campo; PM: punto marchitez.

te, el contenido de agua siempre fue menor que la capacidad de campo del suelo.

El menor contenido de agua bajo eucaliptos en verano es lo esperable, debido a su mayor requerimiento hídrico y a un sistema radicular capaz de explorar un mayor volumen de suelo.

Durante el año 2002 se tomaron muestras imperturbadas de suelo a las profundidades de 5-10 cm, 25-30 cm, y en la parte superior del horizonte B (entre 65-70 cm), para determinar las curvas características de retención de agua. Las curvas obtenidas se presentan en la Figura 8.

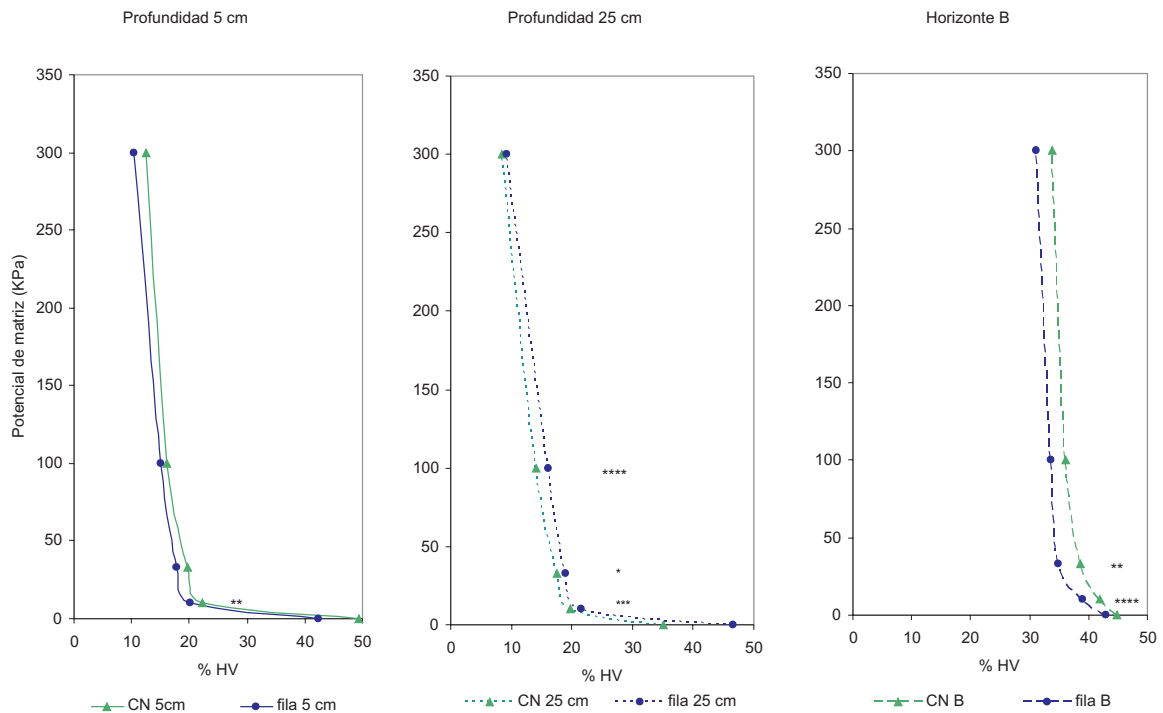
Se observa que el suelo bajo eucaliptos retiene entre 2 y 4 %HV menos agua a capacidad de campo (10 kPa) y a todos los niveles de energía de retención aplicados para obtener los puntos para construir las curvas en los horizontes Bt. En los horizontes A, las diferencias son menores y, según las profundidades muestreadas, los resultados son contradictorios, no obstante, es el horizonte Bt el que define mayormente el volumen de agua retenido en el total del perfil del suelo. La magnitud de esta diferencia estimada en el laboratorio, llevada al conjunto de los 120 cm de profundidad, implica que se retienen 16 mm menos de agua, cifra que se aproxima a la diferencia del contenido de agua al final de los períodos de recarga invernal (Figura

7). Los resultados de Silveira *et al.* (2006) de estimación del contenido de agua del suelo a partir del potencial de matriz medio con tensiómetros, durante su único invierno de medición continua, son totalmente coincidentes con los resultados presentados de nuestros estudios.

Los resultados de retención de agua en el suelo de Buena Unión concuerdan con los de los proyectos ejecutados previamente (Pérez Bidegain *et al.* 2001a y 2001b), en los que solo se había estudiado la profundidad 5-10 cm. En un estudio similar en Sudáfrica (Musto, 1993) se encontraron las mismas diferencias de retención de agua entre suelos forestados y bajo pasturas. El autor lo atribuyó a diferencias en la distribución del tamaño de los poros y a la hidrofobicidad provocada por algunos compuestos orgánicos en descomposición. Las resinas, ceras o aceites aromáticos presentes tanto en eucaliptos como en pinos, así como los productos de su descomposición, son responsabilizados de provocar repelencia al agua de las paredes de los poros del suelo en que se depositan (Doerr *et al.*, 1996 y 2000).

Estos resultados estarían permitiendo comprender ciertos cambios en el ciclo hidrológico, tal como lo discuten Salvo *et al.* (2005) y Durán *et al.* (2001). Considerando que bajo forestación infiltra más agua al suelo en períodos de





**Figura 8.** Curvas características de retención de agua de las profundidades de 5 a 10 cm, 25 a 30 cm y horizonte Bt. (García Préchac, *et al.* 2004a).

\*\*\*\*  $\infty < 0.05$  \*\*\*  $0.05 < \infty > 0.10$  \*\*  $0.10 < \infty > 0.15$  \*  $0.15 < \infty > 0.20$

Referencias: % HV: porcentaje de agua en volumen, CN: suelo bajo pastura original, fila: suelo bajo monte de *Eucalyptus*, correspondiente a la fila de plantación.

Fuente: extraído de Salvo *et al.*, 2005.

exceso (menor escurrimiento), y que el agua es menos retenida por el suelo, es de esperar una mayor magnitud del drenaje profundo al final del período invernal. Por lo tanto, al menos en dicho período existiría mayor recarga de acuíferos subsuperficiales bajo monte. Evidentemente, dicho efecto debe ser cuantificado y comparado con la mayor evapotranspiración anual y menor escurrimiento superficial bajo montes. El trabajo de Silveira *et al.*, 2006, constituye el aporte disponible más avanzado para las condiciones de nuestro país, acerca de los efectos de la forestación sobre el escurrimiento superficial en cuencas de diferentes escalas. Aún no se poseen datos nacionales de evapotranspiración de las plantaciones forestales, los cuales se tornan imprescindibles a los efectos de dilucidar el posible efecto sobre la recarga de acuíferos. Si la magnitud de la disminución de escurrimiento medida y estimada por Silveira *et al.* (2006), fuese comparable con el incremento de la evapotranspiración, no deberían verse afectados los otros términos del balance hídrico, entre los que, a escala temporal anual, predomina ampliamente el drenaje profundo que recarga los acuíferos.

## MANEJO Y CRECIMIENTO

Las técnicas de preparación de suelos empleadas para las plantaciones forestales van desde laboreo de la totalidad del terreno (en las primeras plantaciones realizadas) hasta plantación sin laboreo. La bibliografía sobre la intensidad de laboreo para plantaciones forestales presenta conclusiones contradictorias en cuanto a sus efectos sobre la producción de madera. Algunos concluyen que una preparación intensiva del sitio mejora las tasas de crecimiento y supervivencia (Schönau *et al.* 1981), en tanto otros concluyen que el laboreo reducido es lo adecuado (Norris & Stuart, 1994; Madeira *et al.*, 1999). Esto, sumado a que desde la plantación hasta el cierre del dosel es el período de mayor riesgo de erosión (excluyendo el momento de la corta de los árboles), resalta la importancia de establecer prácticas de manejo de suelos que alcancen niveles de producción adecuados, minimizando el riesgo de erosión (Martino, 1997).

En el ensayo de mayor duración existente en Uruguay, instalado en 1992 (Pérez Bidegain *et al.*, 2001), se encon-

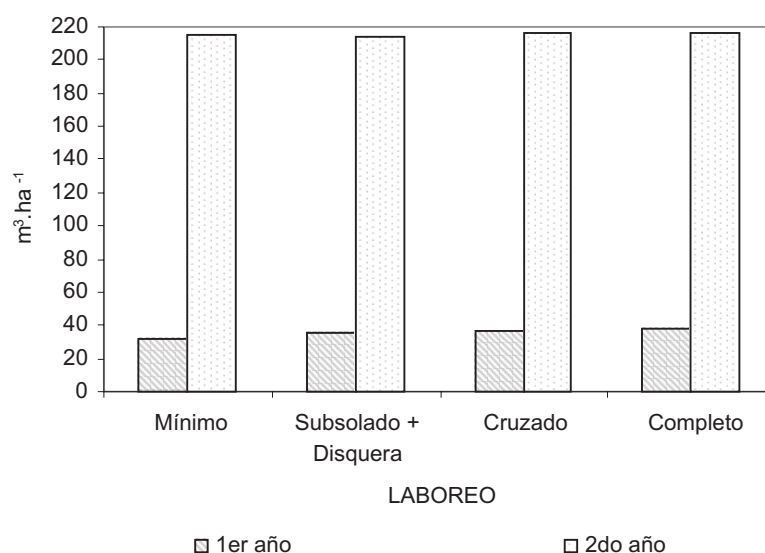
traron diferencias en sobrevivencia y crecimiento de *Eucalyptus grandis* al año de la plantación, pero a los 9 años el volumen total por individuo fue el mismo con independencia de la intensidad de laboreo a la instalación. En este caso, el control químico de malezas en el tratamiento con mínimo laboreo no fue eficiente, atribuyéndosele los efectos iniciales indicados. Sin embargo, en los dos estudios realizados detallados más abajo, que comparan diferentes intensidades de laboreo, no mostraron diferencias en supervivencia y producción, uno de ellos hasta los dos años de la instalación, y en el otro hasta los tres años.

García Préchac *et al.* (2001), trabajaron sobre un ensayo instalado en el campo experimental del proyecto SURESA, en la localidad de Piedras Coloradas, Paysandú. El suelo es un Argisol (Hapludalf) de la unidad Algorta de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (MAP/DSF, 1976). Al inicio del ensayo (1996), el suelo estaba bajo una pastura regenerada, luego de un importante uso agrícola que le había causado erosión y degradación. Las especies dominantes eran las gramíneas C4 que dominan las comunidades vegetales sobre estos suelos, acompañadas por un 35% de *Cynodon dactylon*. Los tratamientos comparados fueron (L1) laboreo mínimo, (L2) subsolador y disquera, (L3) laboreo cruzado y (L4) laboreo completo. L1 consistió en una pasada de cincel a una profundidad inferior a 40 cm en la fila de plantación. L2 tuvo una pasada de subsolador entre 40 y 50 cm de profundidad y luego una pasada de disquera en la fila de plantación. L3 consistió en

dos pasadas idénticas al tratamiento anterior, cruzándose a 90° en los puntos en los que fueron plantados los eucaliptos. El último tratamiento de laboreo, denominado completo (L4), consistió en agregar a lo descrito en L2 una segunda pasada de disquera y una de rotovador. El control químico de las malezas se hizo de manera que éstas no fueran factor limitante del crecimiento inicial ni de diferencia entre los tratamientos, ya que el objetivo era evidenciar si las diferencias entre los mismos tenían efecto diferencial sobre el la instalación y crecimiento de los árboles, independientemente del control de la vegetación y las malezas. Los resultados obtenidos (Figura 9) muestran que al año y a los dos años de instalado el cultivo no se encontraron diferencias significativa en el volumen total.

En septiembre del año 2001, en la zona de Buena Unión (Dpto. de Rivera), se instalaron dos experimentos sobre Acrisoles Típicos (Hapludultes), con horizonte A franco arenoso de alrededor de 60 cm de espesor (Delgado *et al.*, 2004). Los ensayos se instalaron en sitios con uso previo contrastante: campo natural y sobre chacra vieja con suelos degradados por el uso agrícola previo. Los tratamientos aplicados fueron:

- El manejo normal de la empresa (barbecho químico de 4 meses por aplicación de Glifosato, surcador en la línea de plantación y posterior laboreo secundario de la entrefila) (S+E).
- Manejo de la empresa, sustituyendo el laboreo secundario de entrefila por control químico (Glifosato) de vegetación (S+H).



**Figura 9.** Volumen total del árbol expresado en metros cúbicos por hectárea al primer y segundo año discriminado por tipo de laboreo., (Elaborada con datos extraídos de: García Préchac *et al.*, 2001).

- c. El manejo de la empresa, sustituyendo surcador por rotovador (R+E).
- d. El manejo de la empresa, sustituyendo surcador por rotovador y laboreo de la entrefila por control químico (R+H).
- e. Barbecho químico, plantación al pozo y control químico de malezas en las entrefilas (P).

Los resultados obtenidos acerca de la estimación del volumen total de árbol por unidad de superficie (altura x DAP<sup>8</sup> x población) a los 21 y 34 meses, mostraron diferencias significativas entre los dos usos previos del suelo, pero no entre los tratamientos de diferente intensidad de laboreo, (Figura 10).

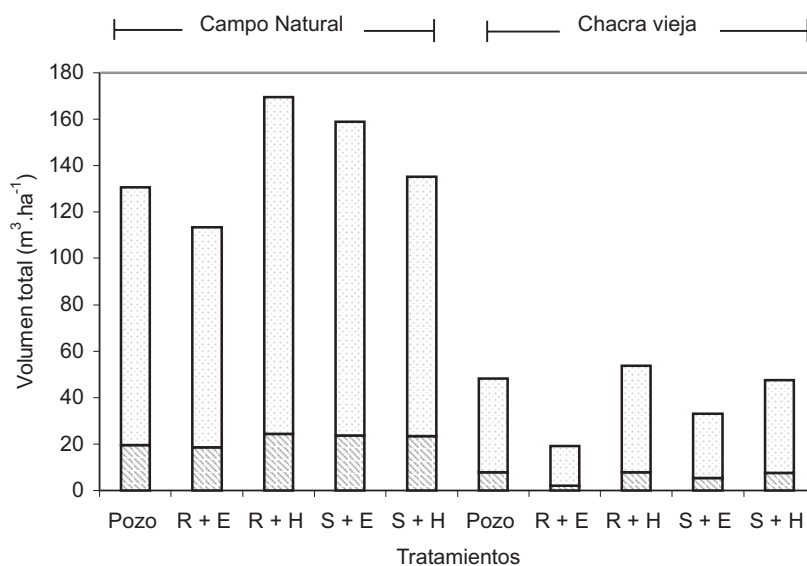
El efecto del uso previo, si bien esperable en su tendencia, sorprendió en este caso por su magnitud. Los de intensidad de laboreo confirman que si se logra un buen

control químico de la vegetación preexistente y las malezas, el laboreo de los suelos no es necesario, independientemente del uso previo. Esto es muy relevante para el manejo y la conservación de los suelos declarados de aptitud forestal, que son más erodables que el promedio de los suelos de Uruguay.

## AGRADECIMIENTOS

A todas las fuentes de financiación de los proyectos desarrollados y en marcha, Dirección Forestal del MGAP, Banco Mundial, Comisión Sectorial de Investigación Científica de la UDELAR, SURESA, Los Piques S.A. y Forestal Oriental S.A.

Bibliotecóloga Sully Toledo, Facultad de Agronomía, por la revisión de las referencias bibliográficas.



**Figura 10.** Volumen total del árbol expresado en metros cúbicos por hectárea para los dos sitios discriminado por tratamientos. (García Préchac, *et. al.* 2004a).

<sup>8</sup>DAP: Diámetro a la Altura del Pecho, es el diámetro de los árboles medido a 1,30 metros desde el suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALTAMIRANO, A. ; DA SILVA, H. ; DURAN, A. ; ECHEVERRÍA, A. ; PANARIO, D. & PUENTES, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay ; clasificación de suelos. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
- DELGADO, S.; AMARANTE, P.; MARIANA HILL, M.; SALVO, L.; CLÉRICI, C.; GARCÍA PRÉCHAC, F. & HERNÁNDEZ, J. 2004. Efecto de la intensidad de laboreo sobre la implantación y crecimiento de *Eucalyptus grandis*. In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (19o., Paraná, Entre Ríos). II Simposio Nacional sobre suelos vertisolicos. Entre Ríos, Universidad Nacional de Entre Ríos. pp. 306.
- DOERR, S. ; SHAKESBY, R. & WALSH, R. 1996. Soil hydrophobicity variations with depth and particle size fraction in burned and unburned *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster* forest terrain in de Agueda Basin, Portugal. *Catena*. 27: 25-27.
- \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2000. Soil water repellency; its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth Science Reviews*. 51: 33-65.
- DURÁN, A. 1991. Los suelos del Uruguay. 2ª. ed. Montevideo, Hemisferio Sur. 398 p.
- DURÁN, P.; SILVEIRA, L.; MARTÍNEZ, L.; CHAMORRO, A.; GONZALEZ, J.C.; ZANETTI, E.; ALONSO, J.; HAYASHI, R.; DURÁN, A.; GARCÍA PRÉCHAC, F.; PEREZ, M.; FRIONI, L.; SICARDI, M.; MOLTERI, C. & BOZZO, A. 2001. Estudio de monitoreo ambiental de plantaciones forestales en el Uruguay; informe final. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. A1-1-B2-32.
- FOTH, H.; TURK, L. 1972. Fundamentals of soils science. Mexico, DF. Compañía Editorial Continental, S.A. 527 p.
- GARCÍA PRÉCHAC, F., PÉREZ BIDEGAIN, M. ; CHRISTIE, S. & SANTINI, P. 2001. Efecto de la intensidad de laboreo para la plantación de *Eucalyptus dunnii* sobre la acumulación de biomasa aérea, el crecimiento radicular y algunas propiedades físicas y químicas del suelo. *Agrociencia*. 5 (1):1-9.
- \_\_\_\_\_.; AMARANTE, P.; DELGADO, S.; SALVO, L.; HILL, M.; CLÉRICI, C.; CALIFRA, A. & PÉREZ BIDEGAIN, M. 2004a. Monitoreo de los efectos sobre el suelo de las plantaciones de Eucaliptos y Pinos y de la intensidad de laboreo para realizarlas. Informe Final Proyecto CSIC-Sector Productivo. Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas. Anexo 3, 61p.
- \_\_\_\_\_.; ERNST, O; SIRI-PRIETO, G.; TERRA, J.A. 2004b. Integrating no-till into cop-pasture rotations in Uruguay (Review). *Soil & Tillage Res.* 77:1-13.
- GOYA, J.; FRANGI, F.; DALLA, T.; MARCO, M. & LARROCCA, F. 1997. Biomasa, productividad y contenido de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus grandis* en el NE de la provincia de Entre Ríos. In: XII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia. Resúmenes de Congreso. pp. iii-1 a iii-19.
- HERNÁNDEZ, J. ; DEL PINO, A.; SALVO, L.; CANO, J.; MARTÍNEZ, M.; REPETTO, C.; MORI, C.; CALIFRA, A.; PERDOMO, C. & SANTOS, C. 2004. Informe de avances sobre la dinámica de los nutrientes, el carbono y las propiedades físicas de suelo de una plantación de eucalipto (*E. dunnii*) en el momento de cosecha y post cosecha. Informe final Proyecto CSIC – Sector Productivo. Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas.
- HILL, M.; DELGADO, S.; SALVO, L.; AMARANTE, P.; CLERICI, C.; GARCÍA PRÉCHAC, F. & HERNÁNDEZ, J. 2004. Cambios en calidad de suelo bajo plantaciones de 3 años de edad de eucalipto y pinos en Uruguay. In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (19o., 2004, Paraná, Entre Ríos). II. Simposio Nacional sobre suelos vertisolicos. Entre Ríos, Universidad Nacional de Entre Ríos. pp. 296.
- MADEIRA, M.; AZEVEDO, A.; SOARES, P. & THOMÉ, M. 1999. Efeito da laboura e da gradagem nas características do solo e na produtividade de plantações de *Eucalyptus globulus* In: 14o Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Temuco. Multimedia Comunicaciones. 1 disco compacto, 8 mm.
- MARTINO, D. ; BENNADJI, Z. ; PAGLIANO, D. & VAN HOFF, E. 1997. La forestación con Eucaliptos en Uruguay ; su impacto sobre los recursos naturales y el ambiente. Montevideo, INIA. 24 p. (Serie Técnica no. 88).
- MUSTO, J. 1993. Impacts of plantation forestry and soil management. In : Institute for Commercial Forestry Research – South Africa. Annual Research Report 1993. pp 102-109.
- NORRIS, C.H. ; STUART, R. 1994. Establishment and regeneration. In : Institute for Commercial Forestry Research – South Africa. Annual Research Report 1994. pp 19-37.
- PÉREZ BIDEGAIN, M. ; GARCÍA PRÉCHAC, F. & METHOL, R. 2001a. Longterm effect of tillage intensity for *Eucalyptus grandis* planting on some soil physical properties in an Uruguayan Alfisol. In : 3rd International Conference on Land Degradation and Meeting of the IUSS Subcommission C- Soil Land Water Conservation. September 17-21, 2001, Rio de Janeiro. Embrapa Solos. 1 disco compacto, 8 mm.

- \_\_\_\_\_. ; \_\_\_\_\_. ; DURÁN, A. 2001b. Soil use change effect, from pastures to *Eucalyptus* sp., on some soil physical and chemical properties in Uruguay. In: 3rd International Conference on Land Degradation and Meeting of the IUSS Subcommission C- Soil and Water Conservation. September 17-21, 2001, Rio de Janeiro. Embrapa Solos. 1 disco compacto, 8 mm.
- SALVO, L. ; DELGADO, S. ; GARCÍA PRÉCHAC, F. ; HERNÁNDEZ, J. ; AMARANTE, P. & HILL, M. 2005. Régimen hídrico de un Ultisol arenoso del noreste del Uruguay bajo plantaciones de *Eucalyptus grandis* vs pasturas. In: Lobo, D.; Gabriels, D. ; Soto, S. eds. Evaluación de parámetros y procesos hidrológicos en el suelo. Paris, UNESCO. pp. 65-70 (Documentos Técnicos en Hidrología no. 71)
- SHÖNAU, A.P.G ; THEMAAT, R.V. & BODEN, D.J. 1981. The importance of complete site preparation and fertilising in the establishment of *Eucalyptus grandis*. S. Afric. For. Jou. 116 : 1-10.

