

JORNADAS DE ACTUALIZACIÓN TÉCNICA

10 AÑOS DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCCIÓN FORESTAL

Dpto. de Suelos y Aguas - Facultad de Agronomía

Productividad y preservación de los recursos suelo y agua



- Impacto ambiental de las plantaciones forestales
- Manejo de la nutrición mineral
- Manejo y conservación de suelos y aguas



FACULTAD DE
AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

JORNADAS DE ACTUALIZACIÓN TÉCNICA

10 AÑOS DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCCIÓN FORESTAL

**Dpto. de SUELOS y AGUAS
FACULTAD de AGRONOMÍA**

**Productividad y preservación
de los recursos suelo y agua**

2010
Montevideo - Uruguay



SUELOS DE APTITUD FORESTAL: CRITERIOS PARA SU SELECCIÓN, ÁREA DE DISTRIBUCIÓN, CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS

Ing. Agrs. Álvaro Califra; Artigas Durán

*Facultad de Agronomía – UDELAR Avda. Gral. Eugenio Garzón, 780, CP 12900 –
acalifra@fagro.edu.uy*

Introducción

Los árboles son cultivos que utilizan el ambiente donde han de desarrollarse, incluyendo el suelo, por un período comparativamente prolongado, en relación a otros usos de la tierra. Cambiar de cultivo o rubro no resulta tan fácil como en otros tipos de producción. En la medida que son cultivos que utilizan por más tiempo el espacio, los árboles pueden provocar un impacto más intenso o de mayor duración sobre el ambiente, lo que exige una planificación más cuidadosa de este tipo de producción. La correcta selección del sitio donde desarrollar la producción forestal, incluyendo la cartografía de suelos y la evaluación de tierras se vuelve entonces más necesaria, particularmente con el objetivo de lograr una producción sostenible y amigable con el ambiente. Una utilización inadecuada de los recursos naturales es comparativamente más grave que en otros rubros, dado que la ocupación del espacio es dilatada en el tiempo. Cambiar de cultivo o rubro no resulta tan fácil como en otros tipos de producción. Las razones señaladas suponen una planificación más cuidadosa y esmerada de este tipo de producción.

La carta de suelos y su correspondiente carta interpretativa de aptitud de uso no sólo brindarán información para la correcta planificación, sino que además suele ser un requisito para obtener certificación de calidad de bienes y procesos productivos. Por consiguiente, ello permite acceder a mejores precios y/o a una mayor seguridad en la colocación de sus productos.

El país no posee una extensa trayectoria en este tipo de utilización de la tierra. Tampoco se han observado suficientemente (intensidad y duración) fenómenos e impactos positivos o negativos, provocados por el uso forestal.

Para comprender mejor las complejas y sutiles relaciones que se dan en la naturaleza debemos destinar esfuerzos. Uno de ellos es el inventario de los recursos naturales y su seguimiento o monitoreo. En tal sentido el Departamento de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía – UDELAR viene desarrollando investigaciones en diferentes ambientes, incluyendo su caracterización. En 1999 se emprendieron estudios a través de la tesis “Caracterización de suelos de los departamentos de Río Negro y Rivera y evolución de sus propiedades al pasar del uso pastoril al forestal” (A. Dieste). Luego, a través de distintos proyectos en asociación con empresas forestales se trabajó en la selección de prácticas conservacionistas de instalación de montes, monitoreo temporal del contenido hídrico del suelo, y propiedades químicas y físicas, del contenido de carbono y de la extracción y reciclaje de nutrientes, considerando diferentes coberturas y manejos. Todo ello junto a estudios específicos de cartografía de suelos, están permitiendo caracterizar y conocer mejor los suelos que se utilizan en la producción forestal, así como la evolución de algunas propiedades bajo esa alternativa de uso.

Uso forestal de los suelos en Uruguay

La política forestal vigente se apoya en dos conceptos básicos:

1. APTITUD FORESTAL: definición técnica
2. PRIORIDAD FORESTAL: definición política o administrativa



La segunda se basa en la primera y su objetivo es el ordenamiento de las plantaciones forestales promovidas por la ley en el marco físico del territorio en función de la aptitud del suelo y la reducción de la competencia con usos alternativos.

La ley define los terrenos forestales como aquellos que son:

1. Inadecuados por suelos, aptitud, clima o ubicación para otra explotación permanente y provechosa
2. Calificados como tales por el MGAP en función de su aptitud forestal o por razones de utilidad pública

La primera definición es por la negativa en tanto la segunda lo es por la afirmativa; la primera podría sugerir que todo terreno forestal es marginal o muy poco productivo para otros rubros lo cual no es así en numerosos casos.

El Decreto 452/988 establece que son de aptitud forestal los suelos *que por sus condiciones permiten un buen crecimiento de los bosques, con buena capacidad de enraizamiento, adecuado drenaje y baja fertilidad natural*. La normativa vigente también establece los grupos de suelos CONEAT de prioridad forestal que, de conformidad con la definición de terrenos forestales, poseen aptitud agrícola y ganadera baja o a lo sumo media según lo indica su índice medio de productividad menor de 100 según se ve en el cuadro.

Grupo CONEAT	Índice medio de productividad
2	65
7	67
8	77
9	80
09 y S09	Rango de 26 a 74

Según información de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables del MGAP había al 2004 unas 660 000 ha forestadas. El incremento de la superficie de bosques comerciales fue muy pausado entre 1951 (95 000 ha) y 1990 (186 000 ha) y se aceleró fuertemente a partir de la década de los 90 hasta llegar actualmente a más de 750 000 ha. Alrededor de 80% de las plantaciones se localizaban en 2004 sobre suelos de prioridad forestal, lo que indica que la orientación hacia esos suelos que perseguía la normativa legal fue políticamente eficaz; en ello pesó sin duda el beneficio fiscal y económico que dio la ley.

La superficie de suelos de prioridad forestal era de 1,8 millones de ha en 1971, 2,8 millones en 1988 y el gran incremento se dio en 1993 al extenderse la prioridad a todos los suelos 2.11a y 2.12. El crecimiento del área hasta el presente se debió casi exclusivamente a la extensión de la prioridad a los suelos de la región de sierras cristalinas.

En 2006 varios Decretos modificaron el listado de grupos CONEAT de prioridad forestal. Se incorporó un grupo menor (5.02a, con 40 000 ha), algunos grupos prioritarios pasaron a requerir un aval del MGAP previo a la plantación (totalizan 775 000 ha) y otro conjunto de suelos perdieron la prioridad (unas 320 000 ha). Entre estos se destacan los grupos 9.5 y 9.6 que totalizan 195 000 ha, en tanto que otros ocupan superficies menores y además muchos de ellos están bajo otros usos permanentes (citrus, recreación) u horticultura de primor. La superficie total de suelos de prioridad "pura" más los de prioridad "condicional" (con aval previo) alcanza actualmente a unas 4 420 000 ha y esta cifra supera la de prioridad existente antes de la aprobación de los Decretos de 2006 en más de 250 000 ha.

Es conveniente considerar las propiedades de los suelos de prioridad y aptitud forestal según las principales zonas fisiográficas en que ellos ocurren. Ellas son la Región Sedimentaria



Centro Oeste, la Región Sedimentaria Noreste y las Sierras Cristalinas, las cuales se definen por su sustrato geológico particular, su macro-relieve (geoformas mayores) característico y un conjunto de asociaciones de suelos propio de cada una.

Características edafológicas de los suelos de prioridad forestal

Los suelos de prioridad forestal más comunes se clasifican a nivel de Gran Grupo como Luvisoles, Acrisoles, Brunosoles y Argisoles. En estos dos últimos los suelos pertenecen mayormente a las Clases Dística y Subéutica. Otros suelos de menor extensión son los Inceptisoles, particularmente en la Región Sedimentaria Noreste y en las Sierras Cristalinas.

La evaluación de la calidad de un sitio para la plantación de bosques comerciales debe considerar un conjunto de características del suelo, el sustrato rocoso, la topografía y el clima. Los requerimientos de sitios forestales y su importancia se resumen a continuación:

1. Temperatura (Actividad fisiológica, fotosíntesis, daños por heladas)
2. Nutrición (Crecimiento y desarrollo vegetal)
3. Agua (Evaporación, desarrollo del área foliar, demanda vs. Suministro)
4. Estabilidad mecánica (Profundidad de arraigamiento, anclaje).

En lo que hace al suelo y al subsuelo propiamente dichos, los parámetros clave en la determinación de la calidad del sitio son los siguientes:

- a. Profundidad efectiva de enraizamiento
- b. Textura (Capacidad de almacenamiento de agua)
- c. Naturaleza de la saprolita (Friabilidad, volumen de enraizamiento, espesor acceso al agua almacenada en profundidad)
- d. Drenaje natural (O₂ para un enraizamiento rápido e intensivo).
- e. Nivel de carbono orgánico (N, P, estabilidad del material orgánico)

Las propiedades precedentes son importantes porque aparte de su influencia en el desarrollo de los árboles son permanentes – al menos las propiedades a hasta d – o sea que no pueden ser modificadas a través del manejo por lo que sus efectos no son reversibles en términos prácticos. Su correcta apreciación es por lo tanto un factor clave en la elección y valoración de la calidad de sitio forestal.

A continuación se presentan algunos cuadros que sintetizan parte de la información reunida en el último lustro en las diferentes regiones.

Datos promedio de Horizontes A de suelos profundos del Orden Desaturados-Lixiviados (Luvisoles y Acrisoles)

	pH		(%)				(cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)			(%)
	(H ₂ O)	(KCl)	A	L	Ac	C.O.	Bases	Al	ClCe	SBe
Mín	4,5	3,8	61	2,9	7,9	0,2	1,15	0,1	1,75	64
Máx	5,7	4,7	85	20	19	1,7	5,91	1,3	6,31	100
Media	5	4	79	7,2	14	0,9	2,7	0,7	3,4	78
Devest.	0,3	0,2	5,5	4,4	2,3	0,3	1	0,3	1	10
Mediana	4,9	4	81	5,2	14	0,9	2,41	0,7	3,12	76
n	33	33	23	24	25	31	31	29	31	31

Dentro de la fracción arena dominan la arena fina y muy fina con un promedio de aproximado de 70% y 30% respectivamente.



Datos promedio de Horizontes E de suelos de suelos profundos del Orden Desaturados-Lixiviados (Luvisoles y Acrisoles)

	pH		(%)				(cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)			(%)
	(H ₂ O)	(KCl)	Ar.	L.	Ac.	C.O.	Bases	Al	ClCe	SBe
Mín	4,7	3,9	76	1,4	8,9	-	0,94	0,3	0,94	50
Máx	5,2	4,3	86	13	19	0,46	3,34	1,4	3,84	100
Media	4,9	4,1	82	5,4	13	0,22	1,9	0,8	2,6	73
Devest.	0,2	0,1	3,5	3,4	3,2	0,13	0,6	0,3	0,6	12
Mediana	5	4	82	4,2	11	0,23	1,96	0,7	2,77	70
n	13	13	9	10	10	12	13	12	12	12

Datos promedio de Horizontes Bt de suelos profundos del Orden Desaturados-Lixiviados (Luvisoles y Acrisoles)

	pH		(%)				(cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)			(%)
	(H ₂ O)	(KCl)	A.	L.	Ac.	C.O.	Bases	Al	ClCe	SBe
Mín	4,3	3,6	52	0	13	0,2	2,42	0,6	3,13	38
Máx	5,5	4,2	75	12	43	0,9	11,55	4,9	16,45	100
Media	4,9	3,9	60	5,3	35	0,5	4,6	2,9	7,4	62
Deves.t	0,3	0,1	6,7	3,7	7,1	0,2	2,1	1,2	2,5	15
Mediana	4,9	3,9	59	4,6	36	0,5	4,3	3,2	7,07	61
n	23	23	21	21	20	21	23	22	23	23

Agua potencialmente disponible promedio por cada 10 cm y distribución de la porosidad, en diferentes horizontes de suelos arenosos del Orden Desaturados-Lixiviados formados a partir de areniscas de Tacuarembó

Horizonte	(mm.10cm ⁻¹)	Porcentaje (%)		
	Agua disponible	Porosidad total	Macro.	Micro.
A	9,0	42,0	17,0	25,0
E	9,9	42,0	16,0	25,0
Bt	12,0	43,0	11,0	32,0

Datos promedio de Horizontes A de suelos moderadamente profundos y profundos de los Órdenes: Melánicos, Saturados-Lixiviados y Desaturados-Lixiviados de Sierras Cristalinas

Horizonte	(mm.10 cm ⁻¹)	Porcentaje (%)		
	Agua disponible	Porosidad total	Macro.	Micro.
A	9	42	17	25,0
E	9,9	42	16	25
Bt	12	43	11	32

Las fracciones más gruesas que arena, son frecuentes en todo el perfil.

Dentro de la fracción arena el tamaño más común es la muy gruesa, sin embargo no supera 30%. En orden de importancia le sigue la arena fina con un promedio apenas superior a 25%.



Datos promedio de Horizontes B de suelos moderadamente profundos y profundos de los Órdenes Melánicos, Saturados-Lixiviados y Desaturados-Lixiviados de Sierras Cristalinas

	pH		(%)				(cmol (+) kg ⁻¹)			(%)
	(H ₂ O)	(KCl)	A	L	Ac.	C.O.	Bases	AL	ClCe	SBe
Mín	4,6	3,6	25,1	7,4	21	0,2	1,6	0,6	2,7	40
Máx	5,9	4,1	60,5	28,4	67	2,2	11,2	3,2	12,2	87
Media	5,0	3,9	45,9	12,1	42	1,5	4,0	2	5,4	63
Devest.	0,28	0,14	11,5	5,4	13	0,6	2,9	0,8	2,3	15
Mediana	5,0	3,9	48,1	10,6	41	1,7	3,0	2,0	5,3	59

En los horizontes sub-superficiales los tamaños de arena muy gruesa y gruesa constituyen el 50% de la fracción arena.

El aluminio puede ocupar el 50% de las posiciones de intercambio.

Agua potencialmente disponible promedio por cada 10 cm y distribución de la porosidad, en diferentes horizontes de suelos moderadamente profundos y profundos de los Órdenes: Melánicos, Saturados-Lixiviados y Desaturados-Lixiviados de Sierras Cristalinas

Horizonte	(mm.10 cm ⁻¹)	Porcentaje (%)		
	Agua disponible	Porosidad total	Macro.	Micro.
A	17,5	52	19	33
Bt	11,5	48	12	36

Bibliografía

- Califra, A.; Ruiz, A.; Alliaume, F y Durán, A. "Contribución al estudio de los suelos "Algorta". *Agrociencia* (2007) Vol XI N° 1 pág. 35 - 46.
- Dieste, A. 1999 "Caracterización de suelos de los departamentos de Río Negro y Rivera y evolución de sus propiedades al pasar del uso pastoril al forestal" Tesis Ing. Agr. Fac. Agronomía
- Durán, A. (1987) La cartografía de suelos CONEAT y sus posibilidades de utilización. Código 969. Facultad de Agronomía. Montevideo.
- Durán, A. (1991) Los suelos del Uruguay Editorial Hemisferio Sur, Montevideo. 398 pp.
- Durán, A.; García Préchac, F (2007). Suelos del Uruguay - Origen, clasificación, manejo y conservación. Tomo 1 358 pp y Tomo 2 334 pp.
- Durán, A; Califra, A; Molino, J.H. and Lynn, W. 2005 - Keys to soil taxonomy for Uruguay. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Molino, J.H; Califra, A. Agua disponible de las tierras del Uruguay, Segunda aprox. División Suelos y Aguas - Dirección General de Recursos -Naturales Renovables -MGAP, 2001
- Petraglia, C. Dell'Acqua, M. Actualización de la carta forestal del Uruguay con imágenes satélite, del año 2004. Dirección General de Recursos -Naturales Renovables -MGAP, 2006
- Silva, A., J. Ponce de León, F. García y A. Durán (1988) Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Bol. Inv. N° 10, Facultad de Agronomía. Montevideo.
- Superficie total forestada bajo proyecto, <http://www.forestalweb.com/Descargar-documento/46-Superficie-forestada/>. Último acceso 16 de setiembre 2010.



DINÁMICA DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO Y DEL CONTENIDO DE AGUA EN EL SUELO BAJO FORESTACIÓN

Mario Pérez Bidegain, Leticia Martínez, Fernando García Préchac
Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas. Garzón 780, Montevideo.
email: mperezb@fagro.edu.uy

Introducción

Desde el año 2001 el grupo de Manejo y Conservación de Suelos de la Facultad de Agronomía lleva adelante el monitoreo de propiedades físicas y contenido de agua en el suelo en plantaciones comerciales de Eucalyptus y Pino.

El objetivo de éste trabajo es presentar los principales resultados encontrados al evaluar el efecto generado por plantaciones comerciales de Eucalyptus y Pino sobre el almacenamiento de agua y características físicas de los suelos con respecto al correspondiente valor en sitios no afectados por árboles, campo natural. Los sitios de estudio se encuentran localizados en los departamentos de Tacuarembó y Rivera.

Metodología

Monitoreo del contenido de agua en el suelo

Sitio 1: Plantaciones comerciales de *Eucalyptus grandis* y de *Pinus taeda*, implantados en el año 1998. El ensayo se instaló en 2001 en una ladera de exposición sur, con un 6% pendiente, sobre un suelo arenoso (Typic Hapludult). Se monitoreo el contenido de agua en el suelo en una toposecuencia (en tres posiciones topográficas) en la fila de plantación de cada una de las especies evaluadas, con los correspondientes sitios testigos sobre campo natural.

Sitio 2: Plantación comercial de *Pinus taeda*, implantada en el año 2003. El contenido de agua en el suelo se monitoreo en tres suelos siguiendo una toposecuencia. Los suelos corresponden a un Typic Hapludult (ladera alta) y Humic Hapludult (ladera media y baja). Se consideraron 3 repeticiones por suelo para cada uno de los tratamientos: pastura, pino en la fila, y pino en la entrefila.

El contenido de agua en el suelo se midió mediante termalización de neutrones hasta una profundidad entre 1.2 y 1.3m, registrándose medidas cada 0,2m de profundidad en tubos de acceso instalados en forma permanente, y estacionalmente (cuatro medidas al año). Se lograron rectas de calibración con $R^2 > 0.7$ para cada una de las profundidades de medida en cada suelo.

Curvas de retención de agua

En el Sitio 1, plantaciones de Eucalyptus implantadas en el año 1998, se evaluó la capacidad de retención de agua por parte del suelo bajo uso forestal y pastura en muestras imperturbadas tomadas a fines de 2001. En el suelo forestado el muestreo se realizó en la fila de plantación. Se extrajeron tres muestras por sitio experimental a cada una de las siguientes profundidades: parte superior del horizonte A (5-10 cm), parte inferior A (25-30 cm) y la parte superior del B (65-70 cm). Las mismas fueron acondicionadas en laboratorio y posteriormente, con un extractor de presión, se les determinó el contenido volumétrico de agua en equilibrio con 10; 30; 100 y 300 KPa

Resultados y Discusión

Evolución del contenido de agua en el suelo

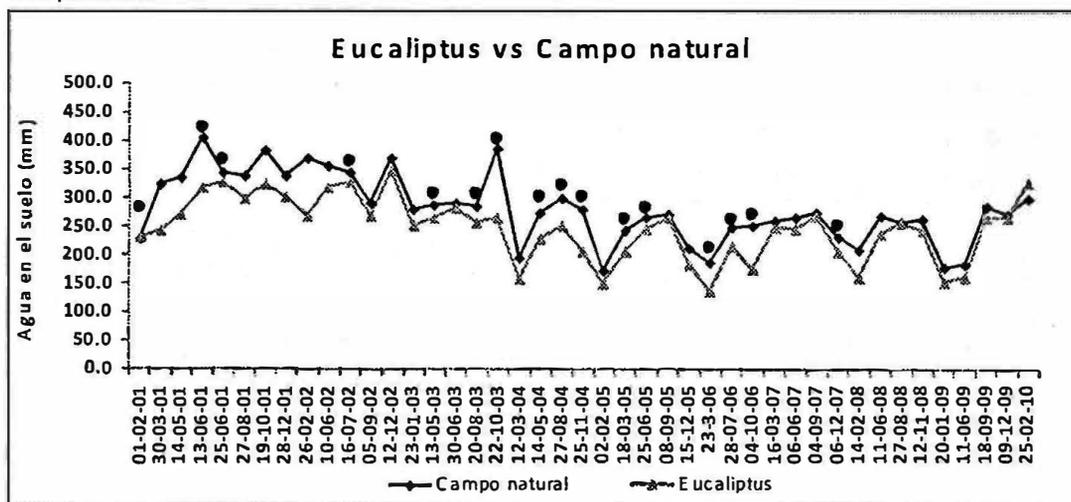
Sitio 1

Las figuras 1 y 2 muestran la evolución en el tiempo del contenido de agua acumulado en el suelo sobre toda la profundidad estudiada (120 cm), discriminado según uso del mismo: pastura



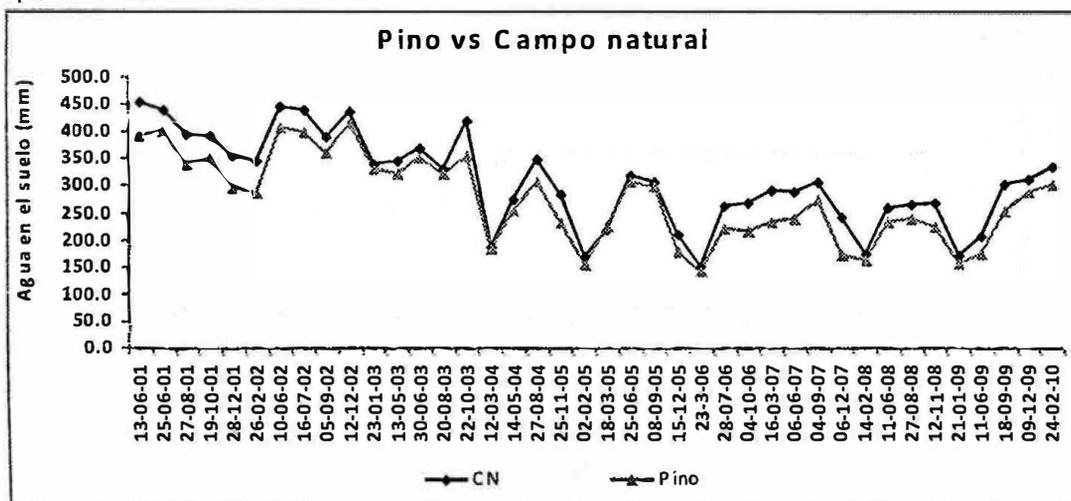
– eucalyptus y pastura - pino Se presentan los datos desde el inicio de las mediciones en el verano de 2001 hasta el verano de 2010.

Figura 1. Contenido de agua en el suelo, bajo cobertura de Eucalyptus y Pastura natural, hasta 120 cm de profundidad.



● Medidas diferentes (ps0.1)

Figura 2. Contenido de agua en el suelo, bajo cobertura de Pino y Pastura natural, hasta 120 cm de profundidad



En el período invierno 2001 - invierno 2007, en 15 de las 28 fechas de muestreo analizadas, el contenido de agua en el suelo bajo eucaliptos, fue menor que bajo campo natural (Figura 1). En el período primavera 2007- verano 2010, el contenido de agua en el suelo fue menor bajo monte de eucaliptos en la primavera de 2007. El contenido de agua en el suelo bajo monte de Pino no presentó diferencias significativas con respecto al contenido bajo pastura en ninguno de los momentos evaluados (Figura 2)

Sitio 2

La Figura 3 muestra la evolución en el tiempo del contenido de agua en el suelo correspondiente a ladera alta, y ladera baja. Se presentan los valores acumulados para la profundidad estudiada (130 cm) en cada uno de los suelos, considerando los dos usos del suelo y posición en la plantación (fila y entrefila). Se presentan los datos desde el inicio de las mediciones en el verano del 2004 hasta el verano de 2010, así como también los valores



estimados de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) para cada uno de los suelos.

Figura 3. Evolución del contenido de agua en el perfil de suelo en la ladera alta por fecha

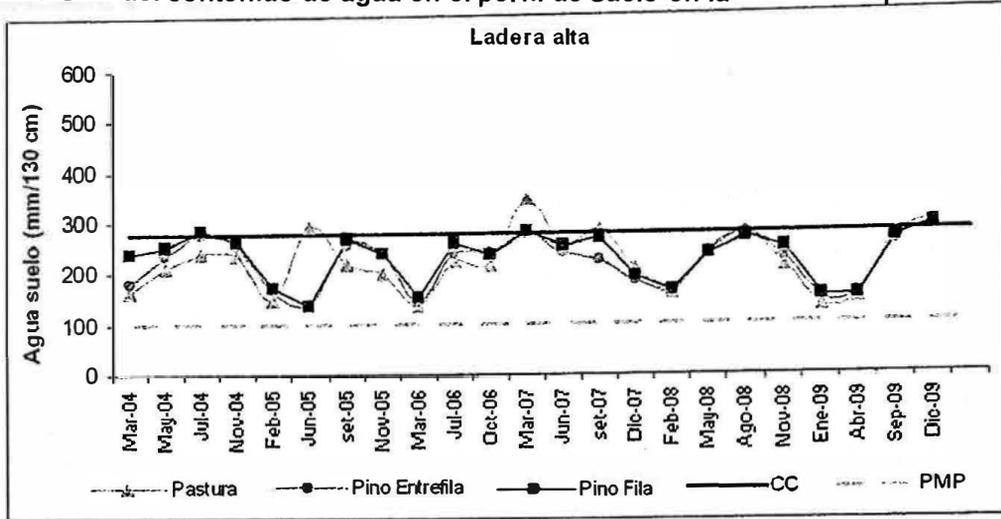
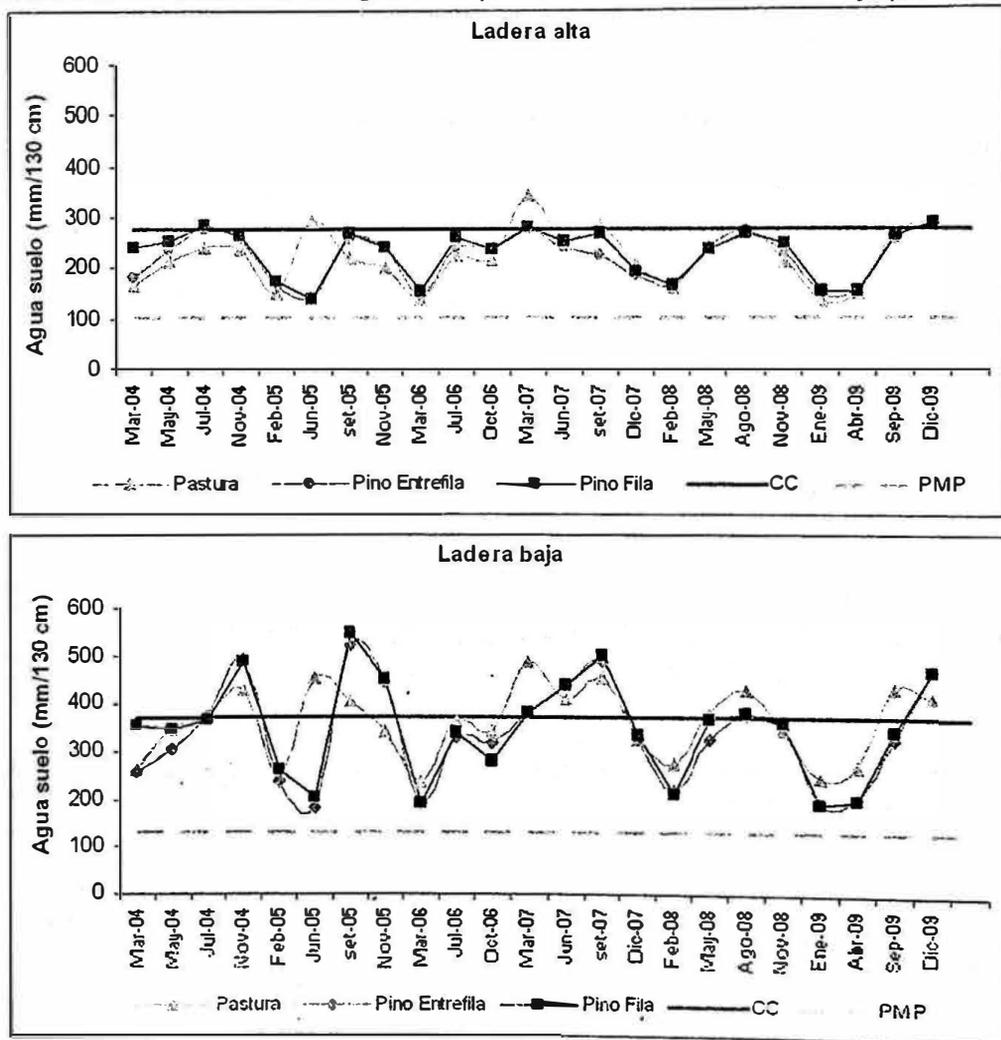


Figura 4. Evolución del contenido de agua en el perfil de suelo en la ladera baja por fecha





El contenido de agua en la entrefila de plantación fue mayor que en el campo, en la ladera alta (Figura 3) en dos momentos (año 2004) y en cinco a la inversa. En la misma posición topográfica en cinco momentos (3 de ellos en 2004) el contenido de agua en la fila de plantación fue mayor que en el campo, y en tres a la inversa ($p < 0.1$)

En la ladera baja (Figura 4) en cuatro momentos (2004 y 2005) el contenido de agua en la entrefila de plantación fue mayor que en el campo y en doce a la inversa (seis de ellos en 2008 y 2009). En seis momentos el contenido de agua fue mayor en la fila que en el campo (5 de ellos en 2004-2005), y diez a la inversa (5 en el período 2008-2009).

Hacia el final del periodo considerado (años 2008-2009) el contenido de agua en el suelo fue mayor en el campo que en el monte, y esta diferencia fue más frecuente en la ladera baja. Por otra parte al comienzo del período estudiado (2004-2005) el contenido de agua en el suelo fue más alto en el monte que en el campo, y esto se atribuye al manejo del laboreo en la fila de plantación realizado con surcador a nivel.

Curvas de retención de agua en el suelo

En la Figura 5 se presentan las curvas características de retención de agua en el suelo bajo Eucalyptus y bajo pastura del sitio 1, puede observarse que el suelo bajo Eucalyptus retiene menos agua a capacidad de campo (10 KPa) tanto para la profundidad de 5 cm como para el horizonte Bt. Estas diferencias, llevadas a 120cm de profundidad, hacen una diferencia de 16 mm menos de retención de agua a capacidad de campo bajo Eucalyptus, valor que es del orden de la diferencia determinada en el campo al final del período de recarga invernal. En el horizonte B, que ocupa la mitad de la profundidad estudiada, donde la diferencia de retención a 10 KPa es mayor, y donde aparecen las mayores diferencias de contenido de agua en el perfil durante el invierno. En investigaciones previas (Pérez Bidegain *et al.*, 2001a y 2001b) ya había sido observada una menor retención de agua en los primeros 5cm de suelo bajo Eucalyptus comparado con suelo bajo pastura, donde de ocho suelos estudiados, seis presentaron dicho comportamiento.

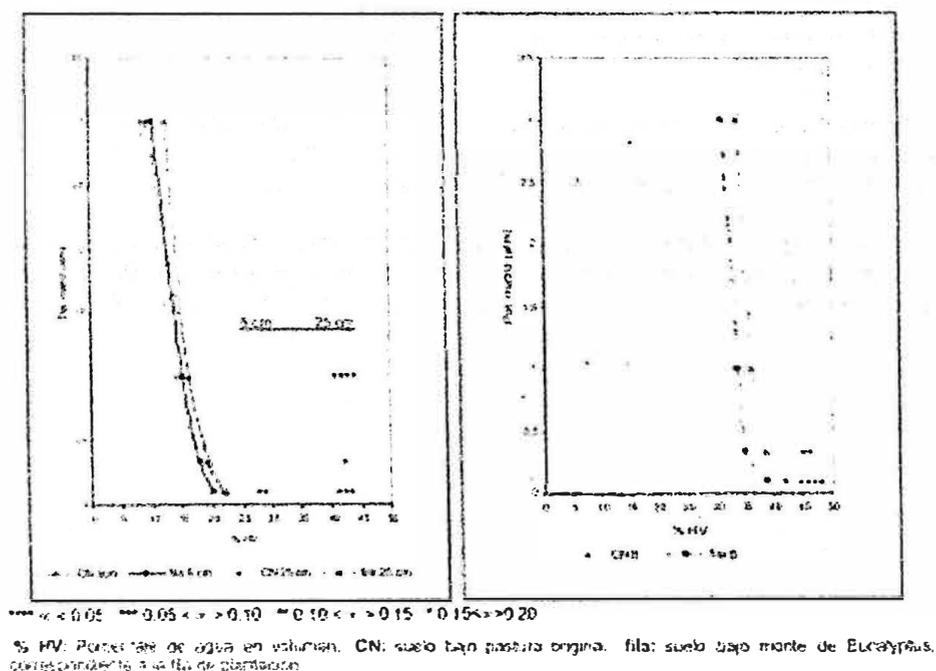


Figura 4. Curvas características de retención de agua en las profundidades de 0 a 10cm, 25 a 30cm y horizonte Bt



Conclusiones

De la información presentada surge que el cambio de uso del suelo de campo a forestación, el tipo de laboreo empleado, así como el suelo en donde se realiza afecta la dinámica del agua. En distintos trabajos se discuten las implicancias de estos cambios (Pérez Bidegain et al, 2001a y 2001b; Salvo et al, 2005; Delgado et al, 2006; Rodríguez et al, 2009 a y b; Pérez Bidegain et al, 2009; Martínez et al; 2010)

Bibliografía

Martínez, L.; Pérez Bidegain, M. ; García Préchac, F. 2010. Monitoreo del contenido de agua en el suelo en plantaciones comerciales de Eucalyptus y Pinos en el norte del Uruguay . Póster presentado en la Reunión Técnica: Dinámica de las propiedades del suelo bajo diferentes usos y manejos. Sociedad Uruguaya de Ciencias del Suelo e International Soil Tillage Research Organization, 12 al 14 de julio de 2010, Colonia del Sacramento, Uruguay

Pérez-Bidegain, M., García Préchac, F and Methol, R.2001a. Long-term effect of tillage intensity for Eucalyptus grandis planting on some soil physical properties in an uruguayan Alfisol In Third International Conference on Land Degradation and Meeting of the IUSS Subcommittee C- Soil and Water Conservation. 17-21 Sept. 2001. Rio de Janeiro-Brazil..

Pérez-Bidegain, M., García Préchac, F and Durán A. 2001b. Soil use change effect, from pasture to Eucalyptus sp., on some soil physical and chemical properties in Uruguay. In Third International Conference on Land Degradation and Meeting of the IUSS Subcommittee C- Soil and Water Conservation. 17-21 Sept. 2001. Rio de Janeiro-Brazil.

Salvo, L; Delgado, S.; García Préchac, F; Hernández, J; Amarante,P.; Hill, M. 2005 Régimen Hídrico de un Ultisol arenoso del noreste de Uruguay bajo plantaciones de *Eucalyptus grandis* vs Pastura.Evaluación de parámetros y procesos hidrológicos en el suelo. PHI-VI Documentos Técnicos en Hidrología N° 71, UNESCO, Paris.

Pérez Bidegain, M.; Martínez, L.; García Préchac, F.; y Hernandez J. 2009. Dinámica del agua en el suelo en plantaciones comerciales de Pinus taeda en Uruguay. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, República Argentina.

Rodríguez, J.; Hernández, J.; Pérez Bidegain, M. 2009a. Comportamiento hidrofóbico de suelos afectados a la forestación con Eucalyptus sp. y su efecto en las propiedades de retención de agua. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, República Argentina.

Rodríguez, J.; Hernández, J.; Pérez, A. 2009b. Comportamiento hidrofóbico de suelos bajo manejo pastoril y forestal (E. grandis y P. taeda) y su relación con la presencia y cantidad de compuestos orgánicos asociados al proceso. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, República Argentina.



EFFECTOS DE LA AFORESTACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DE ESCURRIMIENTO EN UNA CUENCA DEL RÍO TACUAREMBÓ

Patricia Barreto¹, Verónica Piñeiro², George Chescheir³, Carlos Perdomo⁴,
1,2,4 Departamento de Suelos y Aguas, Fac. de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay. Garzón 680, Montevideo, Uruguay
(pbarreto@fagro.edu.uy, chperdom@fagro.edu.uy)
³ Investigador en Ingeniería Agrícola y Biológica, Universidad Estadual de Carolina del Norte

Introducción

En los últimos años el uso tradicional del suelo ha cambiado en algunas zonas de Uruguay, debido al desarrollo de sector forestal, el cual ha sido impulsado por el gobierno nacional a través de leyes específicas (Ley Forestal N° 15.239 de diciembre de 1987). El incremento registrado entre 1990 y 2004 fue de tal magnitud que se pasó de 45.000 has a 750.000 has forestadas (Silveira et al., 2006). A diferencia de otras regiones, estas plantaciones de eucaliptos (474.076 has) y pino (190.033 has) (MGAP, 2005) se han instalado sobre suelos con vegetación de praderas naturales destinados anteriormente a la ganadería extensiva. A partir del año 1999, Weyerhaeuser Uruguay inició un estudio para evaluar el efecto del cambio de uso de la tierra de pastoril a forestal en la sostenibilidad de los recursos naturales en el departamento de Tacuarembó, sobre una rotación de Pino ubicada en una microcuenca del río Tacuarembó. Este proyecto titulado "Efectos de las plantaciones de Pino en la sustentabilidad de los recursos naturales en Uruguay" está siendo desarrollado por investigadores de la Universidad Estadual de Carolina del Norte (Chescheir et al., 2003; Chescheir et al., 2004; von Stackelberg et al., 2007, Chescheir et al., 2008, Chescheir et al., 2009). Nuestro trabajo está enmarcado dentro del mismo como un subproyecto con el propósito de evaluar eventuales cambios en la calidad del agua, el cual se viene desarrollando desde el año 2002. La evaluación de la calidad de las aguas se realiza comparando los valores obtenidos con niveles de concentración de fósforo (P) y nitrógeno (N) de referencia internacional, ya que cuando éstos valores se superan aumenta la posibilidad de proliferación de cianobacterias, algas y plantas, proceso conocido como eutrofización. Por lo tanto, el objetivo fue evaluar el efecto del cambio de uso del suelo sobre la calidad del agua de escorrentía. Este estudio es importante, pues a nivel nacional no hay información publicada referente al impacto de la aforestación sobre la calidad de agua y además existe poca información publicada acerca de la calidad de los recursos hídricos del país.

Materiales y Métodos

Este trabajo se desarrolló en el establecimiento "La Corona", en el departamento de Tacuarembó, Uruguay, durante el período comprendido entre setiembre de 2002 a la fecha. Se utilizaron dos cuencas apareadas con similar topografía, pendiente y suelos, cada una de aproximadamente 100 hectáreas de extensión. Durante el período de evaluación, una de las cuencas (CG) permaneció bajo campo natural con pastoreo de bovinos como testigo, mientras que la otra (CF) permaneció con la vegetación original solo hasta el 30/06/03 (período de calibración) siendo luego plantada con *Pinus taeda* (período de tratamiento), aunque a partir de abril de 2009 también ingresaron bovinos, de acuerdo al manejo estándar de las plantaciones de la empresa. En el cierre de cada cuenca se colectaron muestras de agua superficial y se analizó la concentración de nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), fósforo reactivo disuelto (DRP), cloruros (Cl) y alcalinidad (Alk). Estacionalmente, también se colectaron muestras de agua del Río Tacuarembó en un punto cercano al sitio de estudio. Debido a que la concentración de los nutrientes en agua no se distribuyó en forma normal sino en forma muy asimétrica (valores muy altos poco frecuentes), se presentan los resultados de la mediana y la



desviación absoluta de la mediana (MAD) (ANZECC, 2000). Se realizaron además análisis de varianza (ANOVA) sobre la transformación logarítmica en base 10 (Log_{10}) de los datos. Para el análisis de NT, PT y CI se utilizó un diseño factorial completamente aleatorizado y se evaluó el efecto del cambio del uso de la tierra con un ANOVA donde los tratamientos fueron los periodos y los dos tipos de uso de suelo. Para el análisis de DRP y Alk se utilizó un diseño completamente aleatorizado donde se evaluó el efecto del uso de la tierra con un ANOVA donde los tratamientos fueron los dos tipos de uso de suelo. Esta diferencia en el ANOVA se debió a que los análisis de DRP y Alk se realizaron solo durante PTrat. En éste análisis, se consideraron las diferentes fechas de muestreos como repeticiones. Todos estos análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 1990).

Resultados

Lluvia y Flujo de Agua

Las lluvias variaron durante el período de estudio, siendo muy superiores en el periodo de calibración (PCal) con respecto al periodo de Tratamiento (PTrat). En PCal el promedio semanal de lluvias (42,4 mm) fue superior al promedio histórico (28 mm) de la Estación Meteorológica más cercana (INIA Tacuarembó) para una serie de 30 años, mientras que fue inferior en PTrat (21 mm). Durante PTrat se alternaron años con precipitaciones por debajo del promedio histórico, con años similares a él (Figura 1).

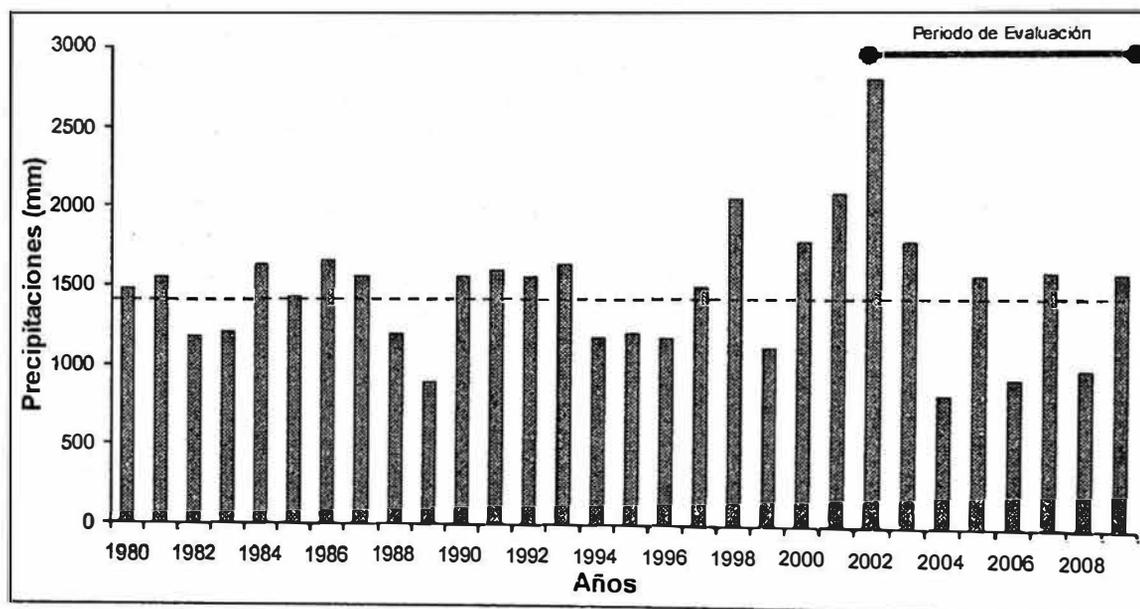


Figura 1: Precipitaciones anuales de la estación meteorología de INIA Tacuarembó (serie de años 1980-2009). La línea punteada representa la precipitación promedio de la serie de 30 años. La línea roja representa el periodo de evaluación (Periodo de calibración + Periodo de Tratamiento).

Durante el período de evaluación el flujo de los cursos de agua reflejó las condiciones climáticas ocurridas, siendo mayor en PCal. El flujo de CF fue consistentemente mayor a la CG durante PCal, debido al mayor flujo base de la cuenca forestada (Chescheir et al., 2009).



Concentración de nutrientes

Cuadro 1. Efecto del periodo y de la cuenca (cambio de uso del suelo) sobre la concentración de algunos parámetros

Fuente de variación	Estadística		
	NT	PT	CI
Periodo	0,0001	0,0085	0,0001
Cuenca	0,0165	NS†	0,0304
Periodo * Cuenca	NS	NS	0,0455

† No difiere significativamente a $P > 0,05$

Para NT y PT existieron diferencias en las medias ajustadas entre periodos, lo cual puede ser consecuencia de la mayor lluvia en PCal que diluyó las concentraciones (Cuadro 1). También existieron diferencias entre cuencas en NT pero no en PT, eso quiere decir que para el promedio de los dos periodos las medias ajustadas de NT fueron mayores en CG, pero fueron similares en ambas cuencas en PT. El resultado más relevante, sin embargo, fue que la interacción Periodo * Cuenca no fue significativa, implicando que el cambio de uso del suelo no afectó las concentraciones de NT y PT de los cursos. Por tanto, el mayor valor de NT en CG durante PTrat (no mostrado) no habría sido debido al cambio de uso del suelo sino a una diferencia entre cuencas que ya existía previo a la forestación.

Los valores de concentración de NT y PT de ambas cuencas superaron el nivel crítico mínimo citado por USEPA (2002) para ríos y arroyos de diversas ecoregiones de EEUU (120 y 10 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente), pero no superaron el nivel crítico máximo (2180 y 128 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente). Esto nos indica que ambos sistemas (ganadero y forestal) presentan niveles de NT y PT por encima de los niveles característicos de las cuencas más prístinas pero por debajo de aquellos encontrados en las cuencas más agrícolas de EEUU. De todas maneras, estas comparaciones no son totalmente válidas ya que además de diferencias de manejo existen obvias diferencias de clima y suelo entre las ecoregiones de Tacuarembó y EEUU. Otros autores sugieren utilizar como referencia la concentración promedio de un río cercano de la misma ecoregión (Birr y Mulla, 2001). Siguiendo ésta metodología, se compararon los resultados de ambas cuencas con la concentración mediana del Río Tacuarembó (504 y 66 $\mu\text{g L}^{-1}$ para NT y PT), y se observó que los valores de NT de ambas cuencas superaron esta referencia en PTrat, pero no lo hicieron en el caso de PT. Este resultado sugiere que el manejo ganadero o forestal del suelo podría incrementar NT en los cursos hídricos con respecto a los característicos del Río, pero esta comparación tampoco es totalmente válida ya que la columna de agua del Río Tacuarembó es de mayor profundidad y el flujo es menos turbulento, lo cual permite una mayor sedimentación que la que ocurre en el caso de los cursos de menor cauce. Estos resultados muestran la necesidad de generar valores de referencia nacionales para comparar los efectos de diferentes sistemas de manejo en la calidad del agua.

A diferencia de NT y PT, en el caso de CI existió una mayor concentración en CG durante PTrat, pero no durante PCal, por lo cual la interacción Cuenca x Período fue significativa. Esta diferencia era esperada, pues las menores concentraciones en CF durante PTrat se deberían a que durante ese período no existieron animales vacunos pastoreando en esa cuenca, ya que las mayores concentraciones de CI estarían asociadas al derivado del estiércol de los animales en CG (Carter, 2001; Townsend, 2005). Este resultado nos permite verificar que la metodología de cuencas utilizada en este trabajo permitió detectar diferencias cuando éstas existieron.



Cuadro 2. Efecto de la cuenca sobre la concentración de algunos parámetros durante el periodo de tratamiento

	DRP	Alk
	$\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{mg CaCO}_3\text{L}^{-1}$
Cuenca Ganadera	13,2†	19,0
Cuenca Forestada	15,8	42,5
Estadística	NS‡	0,003

† Valores de mediana

‡ No difiere significativamente a $P > 0,05$

Durante PTrat, la concentración de DRP no difirió entre cuencas, y fue aproximadamente sólo un tercio de la concentración de PT. Este resultado implica que la erosión fue la principal vía de aporte de P a los cursos de agua, ya que aproximadamente dos tercios del P llegó al agua asociado al movimiento de los sólidos (Cuadro 2). La relación N/P estuvo por encima del óptimo de 10/1, indicando que en ambos sistemas la eutrofización estaría limitada por P y no por N, lo cual es el reflejo de los bajos niveles naturales de P disponible en los suelos de esa región.

La alcalinidad medida durante PTrat fue significativamente menor en CG con respecto a CF (Cuadro 2). Esta tendencia puede deberse a un lavado de bases desde los árboles, las cuales habrían sido parcialmente transportados luego hacia los cursos hídricos por el agua de escurrimiento superficial o subsuperficial (Langusch, 2003; Ten, 2001). Este resultado, sin embargo, contradice reportes de que la aforestación tiende a aumentar la acidez de las aguas superficiales (Farley et al., 2008), aunque es posible que esta diferencia se deba a que nuestros resultados fueron observados en plantaciones jóvenes, mientras que el estudio previamente citado fue realizado sobre plantaciones maduras. Una posible evidencia al respecto sería que en nuestro estudio la diferencia de alcalinidad entre cuencas ha tendido a disminuir a través de los años, por lo cual no se descarta que la misma pueda en el futuro llegar a revertirse.

Conclusiones

Los resultados encontrados revelan que en la cuenca del Río Tacuarembó no existen evidencias de un impacto negativo de la aforestación sobre la calidad del agua superficial de cursos hídricos con respecto a la de zonas ganaderas. Sin embargo, independientemente del tipo de uso del suelo, las concentraciones de NT y PT superaron los niveles característicos de zonas prístinas de EEUU (USEPA, 2005), lo cual podría interpretarse como que cualquiera de estos dos manejos serían en alguna medida polutantes. No obstante, estos valores internacionales de referencia no son completamente extrapolables a esta zona de Uruguay, ya que existen obvias diferencias ecológicas entre nuestras ecoregiones y las de EEUU. Por tanto, mientras no se posea información local sobre los valores característicos de NT y PT de cursos superficiales en situaciones prístinas, no será posible inferir si la ganadería o la forestación causan algún impacto negativo en la calidad del agua superficial.

Bibliografía

- ANZECC, 2000. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, vol. 1. The Guidelines. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, Canberra, Australia
- Birr, A.S.; Mulla, D.J. 2001. Evaluation of the phosphorus index in watersheds at the regional scale. *J. Environ. Qual.* 30:2018–2025.
- Carter, J. 2001. Livestock and Water Quality. (en línea). Verificado 15 de setiembre de 2010. Disponible en http://www.westernwatersheds.org/reports/grazeWQ_JCarter/WQWWP.doc
- Chescheir, G.; Skaggs, W.; Amatya, D. 2008. Hydrologic Impacts of Converting Grassland to Managed Forestland in Uruguay. 21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment Conference Proceedings, 29 March - 3 April 2008, Concepcion, Chile 701P0203c.d.
- Chescheir, G.; Skaggs, W.; Amatya, D. 2009. Quantifying the Hydrologic Impacts of Afforestation in Uruguay: A Paired Watershed Study. XIII World Forestry Congress Buenos Aires, Argentina 18 – 23 October 2009.



- Chescheir, G.M.; Amatya D.M.; Skaggs, R.W. 2003. Effects of afforestation on the hydrologic behavior of a basin in the Tacuarembó River. Progress report for 2002-03 submitted to Weyerhaeuser Foundation. Raleigh, N.C.: North Carolina State University, Department of Biological and Agricultural Engineering.
- Chescheir, G.M.; von Stackelberg, N.O.; Amatya, D.M.; Skaggs, R.W. 2004. Effects of afforestation on the hydrologic behavior of a basin in the Tacuarembó River. Progress report for 2003-04 submitted to Weyerhaeuser Foundation. Raleigh, N.C.: North Carolina State University, Department of Biological and Agricultural Engineering.
- Farley, K. A.; Piñeiro, G.; Palmer, S.M.; Jobbágy, E.G.; Jackson, R.B. 2008. Stream acidification and base cation losses with grassland afforestation, *Water Resour. Res.*, 44, W00A03
- Langusch, J.-J.; Borken, W.; Armbruster, M.; Dise, N. B.; Matzner, E. 2003. Canopy leaching of cations in Central European forest ecosystems – a regional assessment. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 166: 168–174.
- MGAP. 2005. Boletín estadístico. (en línea). Verificado 15 de setiembre de 2010. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/Forestal/DGF.htm>
- SAS Institute. 1990. SAS/STAT user's guide. Versión 6. 4th ed. Vol.1. SAS Inst., Cary, N.C.
- Silveira, L., J. Alonso, y L. Martínez. 2006. Efecto de las plantaciones forestales sobre el recurso agua en el Uruguay. *Agrociencia* 10:75–93.
- Teng-Chiu Lin; Hamburg, S.P.; Yue-Joe Hsia; Hen-Biau King; Lih-Jih Wang; Kuo-Chuan Lin. 2001. Base cation leaching from the canopy of a subtropical rainforest in northeastern Taiwan. *Can. J. For. Res.* 31(7): 1156–1163
- Townsend, M. A. 2005. Sources of Nitrate at McPherson County Feeders, McPherson County, Kansas. Kansas Geological Survey, Open-file Report 2005-35.
- U.S.E.P.A. 2002. Water quality standards. (en línea). Verificado 15 de setiembre de 2010. Disponible en http://water.epa.gov/scitech/swguidance/waterquality/standards/criteria/aqlife/pollutants/nutrient/ecoregions_index.cfm
- U.S.E.P.A. 2007. The nutrient criteria technical guidance manual: rivers and streams (en línea). Verificado 15 de setiembre de 2010. Disponible en http://water.epa.gov/scitech/swguidance/waterquality/standards/criteria/aqlife/pollutants/nutrient/upload/2009_04_22_criteria_nutrient_guidance_rivers_rivers-streams-full.pdf
- von Stackelberg, N.O.; Chescheir, G.M.; Skaggs, R.W. 2007. Simulation of the hydrologic effect of afforestation in the Tacuarembó River basin, Uruguay. *Trans ASABE*, 50:455–468.



EVOLUCIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS DE SUELOS BAJO FORESTACIÓN: ACIDEZ, BASES, MATERIA ORGÁNICA

Jorge Hernández
jhernan@fagro.edu.uy

Introducción

Las plantaciones forestales de eucalipto y pino en nuestro país han significado un cambio en el uso del suelo, desde su antiguo uso ganadero y/o agrícola al forestal. Los suelos destinados a la producción forestal en el Uruguay presentan una gran aptitud para el desarrollo de especies como *Eucalyptus sp.* y *Pinus sp.* Sin embargo, son considerados marginales para la producción agrícola, debido a su baja fertilidad, u otras limitantes (rocosidad o pedregosidad asociada). Químicamente se trata de suelos ácidos a muy ácidos, con bajos niveles de bases, texturas medias a livianas, y bajos contenidos de materia orgánica. Esto determina una baja disponibilidad de nutrientes. Esta baja oferta de nutrientes por parte del suelo se contrapone a una relativamente alta demanda por parte de las especies, lo cual puede estar generando cambios en las propiedades químicas del suelo. Existe, sin embargo, cierto reciclaje de los nutrientes durante el período de crecimiento del monte, por deposición de restos que constituyen el mantillo (hojarasca, acículas y corteza). En las producciones para aserrío, también ocurre el reciclaje a través de la descomposición de los restos de podas y raleos.

Acidez y Bases de Intercambio

Los trabajos realizados en nuestro país (Dieste, 1999; Durán et al., 2000; Hill, 2004; Cal y Cabrera, 2007; Delgado et al., 2007; Varela, 2009) han confirmado una tendencia hacia la acidificación del suelo, constatado por una disminución del pH y aumento de la acidez intercambiable del suelo forestado, respecto a su homólogo bajo uso pastoril. En el Cuadro 1 se presenta parte de esta información, contrastando el uso pastoril con el forestal, para dos géneros y en suelos diferentes.

Los datos del Cuadro 1 muestran que tanto en plantaciones de turnos cortos (10 años) como en las de turnos largos (> 15 años) fue observada una disminución del pH del suelo en los horizontes A y B. Dicho efecto fue constatado tanto en plantaciones de eucalipto como en plantaciones de pino. Por otra parte, dicho efecto fue igualmente observado en suelos derivados de materiales de origen diferente (basamento cristalino y areniscas). Este efecto está asociado al bajo poder buffer de los suelos (bajo contenido de arcilla y materia orgánica). Dicha disminución del pH estuvo acompañada, en consecuencia, de un aumento en la acidez intercambiable del suelo (fundamentalmente aluminio). Esta información está de acuerdo con trabajos realizados por otros autores para diferentes materiales de origen y clima (Jenny, 1941; Jobbágy y Jackson, 2003).

Con respecto al contenido de bases de intercambio, el cambio de uso del suelo de pastoril a forestal determinó una disminución en el contenido de bases en el horizonte A de los suelos bajo *Eucalyptus sp.* En el horizonte B de dichos suelos sólo fue observado en plantaciones de edades más avanzadas. Con respecto a plantaciones de *Pinus taeda*, dicha disminución en las bases de intercambio no fue constatada, aun en plantaciones de edad superior a los 15 años. Sin embargo, en términos relativos fue posible observar un menor porcentaje de saturación en bases bajo *P. taeda* con respecto a las pasturas naturales. Para las plantaciones de *Eucalyptus sp.* la tendencia fue la misma. En evaluaciones realizadas en plantaciones de menores edades de pino y eucalipto (< 10 años), dichos cambios no resultaron aun significativos (García et al., 2004). Sólo se constató un aumento de la acidez del suelo en plantaciones de eucalipto cuando se realizó el muestreo en la fila de plantación, en la cual existió algún tipo de laboreo previo (Pérez Bidegain et al., 2001).



Cuadro 1. Evolución de parámetros químicos de suelos para tres especies forestales de diferentes edades y en diferentes sitios de producción. Datos promedio para los horizontes A y B de los suelos. Los valores de uso forestal corresponden a la entrefila de plantación.

Especie/ Edad/ N° sitios/ CONEAT suelos	Horiz.	Uso	pH	Ca (†)	Mg	K	Na	B.T.	A.I.	C.I.C.	S.B.	Corg	
					cmol _c kg ⁻¹							%	g kg ⁻¹
E. globulus 10 años-7 sitios 2.11, 2.12 (1)	A	Pastoril	5.1	2.72	1.57	0.41	0.34	5.03	0.65	5.67	88	17.0	
	A	Forestal	4.9	2.16	1.51	0.38	0.40	4.45	1.47	5.92	75	18.4	
	B	Pastoril	5.3	4.37	3.67	0.42	0.58	9.03	1.13	10.16	83	9.48	
	B	Forestal	5.4	5.38	4.64	0.42	0.72	11.15	1.68	12.84	79	9.30	
E. grandis 15 años-4 sitios 7.32 (2)	A	Pastoril	4.9	1.25	0.49	0.23	0.39	2.35	0.52	2.88	83	11.7	
	A	Forestal	4.4	0.59	0.3	0.15	0.30	1.34	1.29	2.62	51	11.0	
	B	Pastoril	4.8	2.05	1.01	0.36	0.41	3.82	1.87	5.69	71	8.3	
	B	Forestal	4.5	1.40	0.87	0.19	0.36	2.82	3.21	6.04	48	8.5	
P. taeda 15 años-5 sitios 7.32 (2)	A	Pastoril	4.8	0.66	0.27	0.18	0.35	1.45	0.61	2.05	71	11.2	
	A	Forestal	4.5	0.81	0.29	0.15	0.35	1.59	0.93	2.52	63	9.9	
	B	Pastoril	4.7	2.33	1.06	0.38	0.37	4.14	2.03	6.17	68	9.5	
	B	Forestal	4.5	2.35	1.03	0.36	0.43	4.17	3.13	7.30	62	10.5	

Nota: (†) Ca, Mg, K y Na intercambiables; B.T.: Bases Totales; A.I.: Acidez Intercambiable; C.I.C.: Capacidad de Intercambio Catiónico a pH del suelo; S.B.: Saturación en bases a pH del suelo; Corg: Carbono orgánico
(1) Varela (2009); (2) Cal y Cabrera (2007)

Si bien las tendencias generales observadas en el perfil de suelo fueron las anteriormente mencionadas, se han observado variaciones destacables en los primeros estratos del horizonte A de los suelos (del Pino et al. no pub.). La Figura 1 muestra dicho comportamiento para los primeros 20 cm de un Acrisol de la Unidad Rivera, en el cual se contrastaron tres usos del suelo: pastoril, forestal con *P. taeda* (16 años) y forestal con *E. grandis* (23 años). Con respecto a los parámetros de acidez fueron encontradas diferencias entre los tres manejos. En el suelo bajo pino el pH fue más ácido en los 20 cm, mientras que en superficie el eucalipto mostró valores superiores a los correspondientes al campo natural, aunque luego dicha tendencia se invierte. Dicho comportamiento está asociado a diferencias en la distribución de las bases de intercambio. Para la plantación de eucalipto se observó un mayor contenido de bases en superficie (particularmente Ca, y en menor medida Mg), explicado por la descomposición de un mantillo con alto contenido en estos nutrientes. El mantillo de pino resulta más pobre en cuanto al contenido de nutrientes.

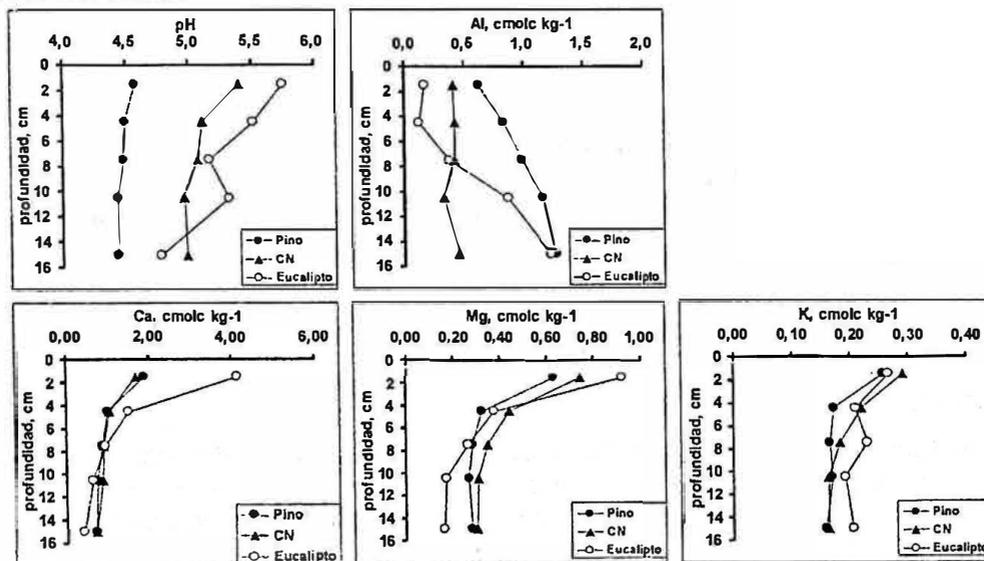


Figura 1. Distribución del pH, acidez intercambiabile y bases (Ca, Mg y K) en los primeros 20 cm del horizonte A de un Acrisol de la Unidad Rivera, bajo tres manejos diferentes: pastoril, forestal con *P. taeda* (16 años) y forestal con *E. grandis* (23 años).



Materia orgánica

Los trabajos realizados en diferentes plantaciones de eucalipto y pino (Cuadro 1) mostraron un comportamiento poco claro en cuanto a la ganancia o pérdida de COS. No obstante se ha observado una estratificación importante en el contenido de COS bajo plantaciones forestales de *E. grandis* y *P. taeda* de más de 15 años, en comparación al suelo bajo pasturas (Figura 2). La presencia de un mantillo forestal explica el mayor porcentaje de COS observado que para el manejo bajo pasturas (Hernández et al, 2008). A mayores profundidades no existieron diferencias significativas en el porcentaje de COS entre los tres manejos, aunque, mediante el uso de técnicas isotópicas de análisis con ^{13}C se ha podido comprobar un efecto de sustitución en el tipo de materia orgánica acumulada en el suelo a mayores profundidades, como resultado de la nueva vegetación de bosque.

Trabajos realizados por Pérez Bidegain et al. (2001) mencionaron una reducción en el contenido de COS de 7.5% para los primeros 15 cm de suelo en la fila de plantación, por efecto del laboreo y el cambio de uso del suelo de pasturas a plantaciones de eucalipto. Sin embargo, estas reducciones resultaron menores a las reportadas para suelos similares bajo agricultura con laboreo, los cuales oscilaron entre 33 y 53% (Pérez Gomar y Bemhaja, 1992). En otro estudio realizado por Hernández y Salvo (2006) en una plantación de *E. dunnii* de 9 años, instalada en un Argisol de la Unidad Algorta del litoral del país (bajo uso agrícola muy intenso durante el pasado) se ha encontrado que de los 99.1 Mg C ha⁻¹ acumulados en los 80 cm de suelo, un 8.5% correspondió a la nueva vegetación de eucalipto. Adicionalmente, en 9 años de la plantación forestal se han logrado acumular 8 Mg C ha⁻¹ en el mantillo forestal.

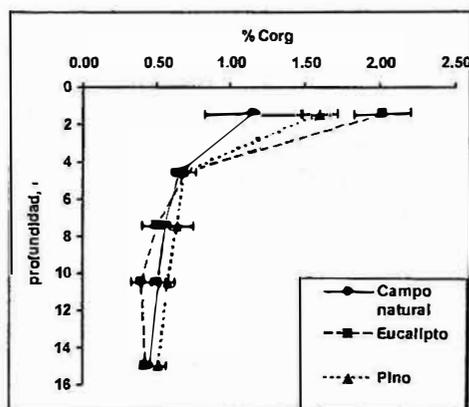


Figura 2. Porcentaje de carbono orgánico en los primeros 20 cm del horizonte A de un Acrisol de la Unidad Rivera bajo tres manejos diferentes: pastoril, forestal con *P. taeda* (16 años) y forestal con *E. grandis* (23 años).

Otro tipo de estudios fueron dirigidos a estudiar los cambios en los compuestos orgánicos o proporción de ellos bajo plantaciones de *Eucalyptus sp.* o *Pinus sp.* (Rodríguez, 2009). Se ha comprobado la mayor presencia de compuestos orgánicos hidrofóbicos, es decir, con cierto grado de repelencia al agua. Esto repercute en las propiedades hídricas de suelo, determinando reducciones en la infiltración y retención de agua por el suelo bajo manejo forestal.

Conclusiones

- Se ha constatado un proceso de acidificación de los suelos bajo uso forestal (*Eucalyptus sp.* y *Pinus sp.*), evidenciado por la reducción en el pH y aumento de la acidez intercambiable del suelo. Dicho proceso está asociado al cambio de uso del suelo, aunque no se descarta la contribución realizada por el laboreo del suelo.
- El proceso de acidificación se encuentra asociado a una disminución en el contenido de bases del suelo, principalmente Ca y Mg. Dicho efecto ha sido constatado particularmente en especies del género *Eucalyptus sp.*



- Se ha observado una estratificación en las bases de intercambio del suelo, con una mayor acumulación de ellas en los primeros estratos de suelo, principalmente Ca y Mg. Dicho efecto es consecuencia del reciclaje de las bases por la descomposición del mantillo.
- Se ha observado un cambio en los patrones de distribución de materia orgánica del suelo en profundidad. No obstante, no es claro asegurar la tendencia en los cambios en el contenido de COS en el suelo mineral.
- La constatación de los cambios operados en las propiedades químicas de suelo luego de la inclusión de especies forestales de los géneros *Eucalyptus* y *Pinus* conduce a la necesidad de realizar un plan de monitoreo de suelos, con el objetivo de cuantificar la intensidad de dichos cambios y realizar las medidas correctivas necesarias para mantener la productividad del suelo y cumplir con las normas de certificación de los productos obtenidos.

Referencias bibliográficas

- Cabrera, M. y Cal, A. 2007. Cambios en propiedades físicas y químicas de suelos de la Unidad Rivera al pasar de uso pastoril a forestal con *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) y *Pinus taeda* L. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo. 96p.
- Delgado, S.; Alliaume, F.; García Préchac, F.; Hernández, J. 2007. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. Sobre los recursos naturales en Uruguay. Parte II: Suelos. *Agrociencia* 10:95-107.
- Dieste, A. (1999) Caracterización de suelos de los departamentos de Río Negro y Rivera y evolución de sus propiedades al pasar del uso pastoril al forestal. Tesis. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo. 102 pp.
- Durán A., García F. y Perez Bidegain M. (2000) Informe de avance a la División Forestal –MGAP del componente “Suelos” del Proyecto de Monitoreo del Efecto de la Forestación con *Eucalyptus*.
- García, F.; Hernández, J.; Amarante, P.; Delgado, S.; Salvo, L. y Clérici, C. 2004. Informe Final del Proyecto “Monitoreo de los efectos sobre el suelo de las plantaciones de Eucaliptos y Pinos y de la intensidad de laboreo para realizarlas”. Programa de la UDELAR de apoyo y vinculación con el sector productivo, CSIC, Modalidad 1, con la Empresa Los Piques S.A.
- Hernández J.; Salvo L. 2007. Contribución de rotaciones de cultivos y pasturas sin laboreo, y sistemas forestales al carbono orgánico del suelo, mediante el uso de técnicas isotópicas. En: Lazzari, M.A.; y Vidiella, C. *Isótopos Estables en Agroecosistemas*. Editorial Universidad Nacional del Sur (Bs. As., Argentina). ISBN: 9789871171682
- Hernández, J. 2008. Informe final del Proyecto CSIC-Sector Productivo: “Impacto de las plantaciones comerciales de Eucalipto y Pino en la productividad y sostenibilidad del recurso suelo”. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. 33pp.
- Hernández, J.; del Pino, A.; Salvo, L.; Arrarte, G. 2009. Nutrient export and harvest residue decomposition of an *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in Uruguay. *Forest Ecology and Management* 258:92-99.
- Hill, M.; Delgado, S.; Salvo, L.; Amarante, P.; Clérici, C.; García, F. y Hernández, J. 2004. Cambios en calidad de suelo bajo plantaciones de 3 años de edad de eucaliptos y pinos en Uruguay. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná- Entre Ríos. 10p
- Jenny, H. 1941. *Factors of soil formation*. McGraw Hill, New York.
- Jobbágy, E.G. and Jackson, R.B. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grassland to forests. *Biogeochemistry*, 64: 205-229.
- Pérez Bidegain, M.; García Préchac, F. y Methol, R.. 2001. Long term effect, of tillage intensity for *Eucalyptus grandis* planting, in some soil physical properties in an Uruguayan Alfisol- In 3rd International Conference on Land Degradation, Río de Janeiro. En CD-ROM.
- Pérez Gomar, E. y Bemaha, M. 1992. Caracterización y perspectivas de las rotaciones en los suelos arenosos del Noreste del Uruguay *In Rev.INIA Inv.Agr.* N°1, Tomo II p.: 205-213.
- Rodríguez, J. 2008. Caracterización del proceso de hidrofobicidad en suelos afectados a la forestación con *Eucalyptus* sp. y *Pinus* sp.”. Primera aproximación. Tesis Lic. Biología. Instituto de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo. 82p.
- Varela, S. 2009. Cuantificación de la extracción de nutrientes por trozas comerciales de *Eucalyptus globulus* en suelos de basamento cristalino de la zona este del país. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo. 84p.



CUANTIFICACIÓN DE LA EXTRACCIÓN Y RECICLAJE DE NUTRIENTES EN EUCALIPTO

Jorge Hernández, Amabelia del Pino, Gimena Arrate

jhernan@fagro.edu.uy

Introducción

La gran expansión que ha tenido la forestación en los últimos años en Uruguay ha planteado interrogantes acerca de la demanda de nutrientes que realiza este sistema, y en qué medida esto repercute en la sostenibilidad del recurso suelo. En tal sentido, ha sido motivo de preocupación el conocer la magnitud de las extracciones de nutrientes realizadas por las especies forestales comerciales (*Eucalyptus sp.* y *Pinus sp.*). Uno de los primeros aspectos radica en conocer la exportación real de nutrientes con una cosecha forestal, o con un raleo comercial. En segunda instancia, surge también la interrogante de conocer la velocidad con la cual se descomponen los restos que quedan en el sitio luego de la cosecha forestal, y con qué velocidad y eficiencia los nutrientes contenidos en ellos retornan al suelo y quedarán disponibles para una futura re-plantación del sitio.

Extracción de nutrientes por especies forestales

Las especies del género *Eucalyptus* mayoritariamente plantadas en nuestro país son *E. grandis*, *E. globulus* y *E. dunnii*. En las plantaciones para fabricación de celulosa, cada 10 años ocurre una exportación de nutrientes del sitio, y un reciclaje de parte de ellos con los restos de cosecha, mientras que en las destinadas a la producción de madera existen eventos parciales de similares características, espaciados en los 20 años de duración de la plantación. Se han observado variaciones en la exportación de nutrientes por trozas comerciales de eucalipto, las cuales están asociadas a la producción total de biomasa, la especie, la densidad de plantación, y el material de origen del suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción promedio de biomasa de madera y exportación de nutrientes en trozas comerciales de diferentes especies de eucalipto (entre 9 y 11 años de edad) en diferentes sitios de producción. (Los valores entre paréntesis se refieren al desvío standard).

Especie	CONEAT Suelos	Ejemplares/Sitios	Nº Árb. por ha	Biomasa Mg ha ⁻¹	N	P	K kg ha ⁻¹	Ca	Mg
<i>E. grandis</i> (1)	9.1, 9.3, 09.3	8/5	1030	189(34)	117(45)	8.9(3.3)	80(37)	284(93)	32(11)
<i>E. globulus</i> (2)	2.11, 2.12	7/5	810	100(38)	68(27)	5.4(2.4)	26(10)	70(31)	16(8)
<i>E. globulus</i> (3)	9.5	24/1	970	107(28)	44(15)	5.4(1.1)	35(7)	138(25)	26(5)
<i>E. maidenii</i> (3)	09.3	24/1	1050	199(65)	91(36)	12.9(3.2)	65(15)	322(87)	49(8)
<i>E. dunnii</i> (4)	9.3	6/1	1200	144(3)	132(33)	19(6.7)	86(27)	240(92)	98(11)

Nota: (1) Giosa (2009); (2) Varela (2009); (3) González (2008); (4) Hernández et al., (2009)

Los datos del Cuadro 1 muestran una producción de biomasa más baja para *E. globulus* en suelos de la zona este del país, derivados de la alteración de basamento cristalino (CONEAT 2.11 y 2.12), en gran parte asociado a densidades de plantación menores (Varela, 2009). La misma especie, evaluada en suelos CONEAT 9.5 del litoral, presentó bajos rendimientos, aunque asociados en gran parte a factores genéticos y posiblemente ambientales (González, 2008). En los suelos derivados de la alteración de basamento cristalino se encontró una mayor exportación de N, probablemente asociada a una mayor disponibilidad de N por ser plantaciones realizadas en sitios con uso previo ganadero bajo campo natural. El suministro de bases de estos suelos, no obstante, fue reducido, dados los bajos niveles de estos suelos, lo que se traduce en menores exportaciones en las trozas. Para otras especies, como *E. grandis* y *E. maidenii*, evaluadas en plantaciones de mayor densidad (en promedio 1000 árboles ha⁻¹), en suelos del litoral (CONEAT 9.1, 9.3 y 09.3), se encontraron producciones de biomasa



superiores, las cuales repercutieron en una mayor exportación de nutrientes del sitio (Giosa, 2009; González, 2008). La especie *E. dunnii*, si bien presentó valores intermedios de producción de biomasa, mostró exportaciones de nutrientes más elevadas, siendo superiores a las correspondientes a *E. grandis* y *E. maidenii* para P y Mg (Hernández et al., 2009).

La cosecha de una tala rasa de *E. grandis* para la producción de madera (turno final: 130 árboles ha⁻¹) en suelos CONEAT 7.32 (desarrollados a partir de areniscas de la zona norte del país) mostró una producción de biomasa de 148 Mg ha⁻¹, determinando exportaciones de nutrientes en las trozas comerciales de 117, 5, 25, 176 y 28 kg ha⁻¹ para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente (Hernández et al., 2008). Comparando estos valores con los observados para la misma especie plantada en suelos del litoral, se observa que la exportación de cationes como K, Ca y Mg resultó inferior en suelos del norte. Sin embargo, este resultado corresponde a la tala rasa, y no considera otras intervenciones comerciales en la plantación, con las cuales también fueron retirados nutrientes en raleos comerciales previos.

Incidencia del método de cosecha en la exportación de nutrientes del sitio

Un aspecto importante a considerar en la magnitud de la exportación de nutrientes del sitio está referido al método de cosecha. En plantaciones de *Eucalyptus sp.*, en la medida de no retirar la corteza del sitio, ocurre una devolución importante de nutrientes, dada la alta concentración de ellos en este componente de cosecha. Si la troza se retira con corteza, la exportación de nutrientes pasa a ser entre un 50% más para P, a casi 4 veces más para Ca (Cuadro 2). En términos de cantidades exportadas, las situaciones más críticas son para los cationes del suelo (Ca, K y Mg).

Cuadro 2. Proporción de los nutrientes extraídos que es exportado del sitio según el método de cosecha realizado. Datos promedio para *E. maidenii* y *E. globulus* (González, 2008) y *E. dunnii* (Hernández et al., 2009).

Manejo	N	P	K	Ca	Mg
			% extraído		
Sin Corteza	28	41	18	17	34
Con Corteza	48	67	60	76	73

Descomposición de restos de cosecha

A posteriori de la cosecha forestal, quedan en el sitio diferentes componentes de la biomasa aérea, los cuales inician un proceso de descomposición, cuya intensidad depende de características de los restos (estructuras físicas y químicas de mayor o menor resistencia a la descomposición), de las condiciones climáticas (temperatura y humedad) y del tiempo.

En la Figura 1 se indica la evolución de la descomposición de restos de cosecha de *E. dunnii* (corteza, hojas, ramas, despuntes y mantillo) durante los 24 meses que siguieron a la cosecha de la plantación. Las hojas fueron la componente con mayor tasa de descomposición, alcanzando una pérdida del 83% de su biomasa a los dos años de la cosecha (Hernández, 2009). Las restantes componentes (ramas, corteza y madera no comercial) mostraron tasas menores, alcanzándose una descomposición promedio del 35% para las ramas, 33% para la madera no comercial y 22% para la corteza, siendo esta última el componente más estable dentro de los restos evaluados. El promedio ponderado determina que cerca del 40 % del total de los restos se degradó en los dos años posteriores a la cosecha.

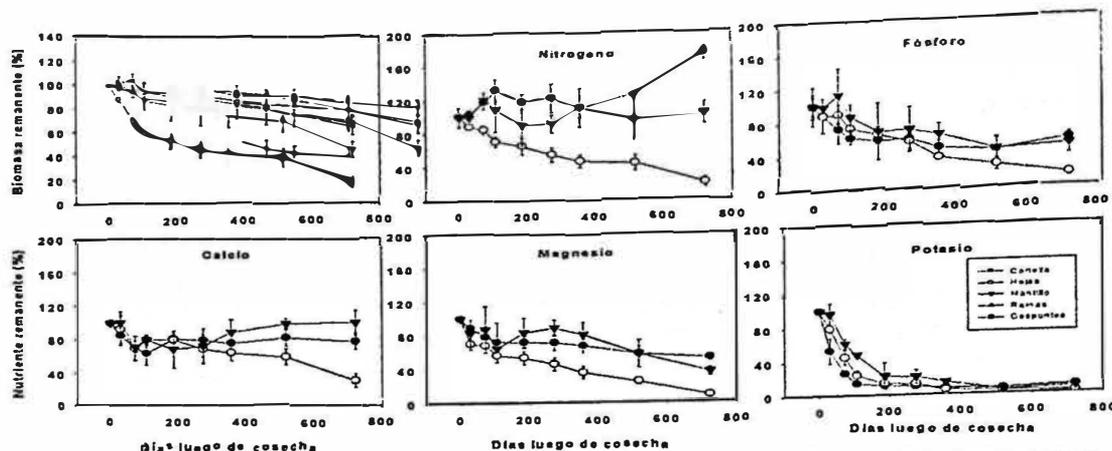


Figura 1. Proporción de la biomasa de restos de cosecha de *E. dunnii* que permanece aun sin descomponer, y de nutrientes en la biomasa (N, P, Ca, Mg y K) para diferentes fechas de muestreo durante un periodo de 24 meses postcosecha.

Una primera explicación a la descomposición diferencial de los restos radica en sus diferencias en tamaño, observándose que los componentes con mayor tamaño (corteza, despuntes, ramas finas) son los de más lenta descomposición. La mayor pérdida de peso que sufrieron las hojas en los seis primeros meses estaría relacionada, además, con la degradación de sus componentes más inestables, como compuestos de estructura química más lábil para la degradación microbiana. Similares resultados fueron obtenidos en un estudio realizado en *E. globulus* (González et al., 2008). Otro estudio realizado en condiciones controladas con diferentes restos de cosecha de tres especies de eucalipto indicó que la mayor tasa de descomposición en las hojas estuvo más asociada al contenido de C y N soluble de los restos, en tanto que el contenido de lignina y polifenoles no llegó a explicar dicha descomposición (Sánchez, 2009). La corteza siempre mostró la menor tasa de descomposición, así como una mayor perdurabilidad de todos los restos de *E. globulus* respecto a otras especies (*E. grandis*, *E. dunnii*).

Reciclaje de nutrientes

El reciclaje de nutrientes al suelo a medida que los restos de cosecha se descomponen es variable, dependiendo del nutriente en consideración, así como el resto del cual proviene. En la Figura 1 se indica la proporción del N, P, K, Ca y Mg que aún permanece en los restos luego de una cosecha de *E. dunnii*, para diferentes fechas de muestreo, durante un período de evaluación de 24 meses (Hernández, 2009).

En términos generales se observa una disminución de las cantidades de P, K y Mg en los restos en el primer año, mientras que para N y Ca dicha disminución resultó ser algo menor y variable según el tipo de resto considerado. Respecto al N, las hojas tuvieron los contenidos más altos de N de todos los restos de cosecha, y la relación C:N más baja, mostrando un mayor porcentaje de descomposición. Por el contrario, en corteza la tendencia resultó contraria, incrementando la cantidad total de N, lo que indica que estaría ocurriendo inmovilización neta de N operada por los microorganismos del suelo, dada su relación C:N más elevada (Figura 1). Dichos resultados son coincidentes con los observados por Rezende et al. (2001) y González (2008). Para el P, mientras tanto, se observa una lenta disminución en su contenido en los restos en el primer año en casi todas las fracciones, lo cual estaría explicado por una ligera disminución en la concentración de P por pérdida de compuestos solubles (González, 2008). Las pérdidas de este nutriente de los restos se explican, en general, por la propia degradación de la fracción. Las pérdidas de cationes a partir de los restos marcaron diferencias entre ellos. La pérdida de K de todas las fracciones fue muy rápida, perdiéndose alrededor del 80 % del K presente en hoja y corteza en los cuatro primeros meses, siendo que sólo el 11% del K inicial



permaneció en el total de restos al término de los 24 meses. Similares resultados se obtuvieron para *E. globulus* (González, 2008). Dicha facilidad para ser liberado de los restos radica en no formar parte de estructuras orgánicas en las plantas (O'Connell y Grove, 1996). El Ca, por el contrario, se encuentra en los vegetales formando parte de estructuras (Marshner, 2003), lo cual explica sus elevados contenidos en los restos a lo largo de los 24 meses de evaluación (Figura 2), destacándose particularmente su elevada concentración en la corteza (27 g kg^{-1}). Todas las fracciones mantuvieron o aumentaron ligeramente sus concentraciones con el pasar del tiempo, indicando esto que la pérdida de este nutriente fue menor comparada con la pérdida de biomasa. En promedio, el 72% del Ca inicialmente presente en los restos de cosecha aún se encuentra en ellos al término de los 24 meses de degradación. Por último, las mayores concentraciones de Mg se encontraron en la corteza. Para todos los residuos, la pérdida de Mg ocurrió en forma bastante constante a partir de la cosecha, y acompañó la pérdida de biomasa (Figura 1). Este comportamiento se explica porque las concentraciones de las distintas fracciones permanecen más o menos constantes en el tiempo (González, 2008).

Conclusiones

- Un alto porcentaje de los nutrientes extraídos por una plantación forestal se encuentra presente en los restos de cosecha (hojas/acículas, corteza y ramas) y el mantillo, lo que asegura su permanencia en el sitio.
- La magnitud de la exportación de nutrientes con la cosecha de *Eucalyptus* sp. es altamente dependiente del método de cosecha utilizado y/o utilización de los restos.
- La cantidad de nutrientes reciclados a partir de los restos es variable en función del tiempo, según el nutriente y el tipo de resto considerado. Para los cationes y el P puede asegurarse un retorno al suelo, sin embargo para el N, es incierto asegurar que la cantidad liberada retorne al suelo, dada la existencia de pérdidas gaseosas durante el período de descomposición de restos.
- La no incorporación de los restos al suelo enlentece los procesos de descomposición, y por consiguiente, el retorno de los nutrientes al suelo y su disponibilidad para la futura replantación. No obstante, aun no incorporando los restos al suelo, a los 24 meses de la cosecha se encuentra un incremento en los contenidos de Ca, Mg y K intercambiables en los primeros 12 cm de suelo, como consecuencia del reciclaje a partir de la descomposición de restos de cosecha (Hernández et al., 2009).
- La extracción total de restos del sitio con fines energéticos tiene un impacto altamente negativo desde el punto de vista de los nutrientes, afectando su disponibilidad futura por parte del suelo, y la preservación del recurso.

Referencias bibliográficas

- Giosa, R. 2009. Cuantificación del contenido de nutrientes en trozas comerciales de *Eucalyptus grandis* con destino a la fabricación de pulpa y su relación con el tipo de suelo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Facultad de Agronomía 73p.
- González, A. 2008. Extracción y reciclaje de nutrientes por cosecha de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. 57pp.
- Hernández, J. 2008. Informe final del Proyecto CSIC-Sector Productivo: "Impacto de las plantaciones comerciales de Eucalipto y Pino en la productividad y sostenibilidad del recurso suelo". Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. 33pp.
- Hernández, J.; del Pino, A.; Salvo, L.; Arrarte, G. 2009. Nutrient export and harvest residue decomposition of an *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in Uruguay. *Forest Ecology and Management* 258:92-99.
- Marshner, H. 2003. Mineral nutrition of higher plants. pp 229-299. Academic Press, London.
- O'Connell, A.M. and Grove, T.S. Biomass production, nutrient uptake and nutrient cycling in the Jarrah (*Eucalyptus marginata*) and Karri (*Eucalyptus diversicolor*) forests of South-Western Australia. In *Nutrition of Eucalypts*. CSIRO Publishing. Australia. pp 155-189.



- Rezende, J.L.P.; Garcia, Q.S. and Scotti, M.R. 2001. Laboratory decomposition of *Dalbergia nigra* All. ex Benth and *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden leaves in forest and eucalypt plantation soils. *Acta Bot. Bras.* 15:305-312.
- Sánchez, G.; del Pino, A.; Hernández, J. 2009. Decomposition of harvest residues of *Eucalyptus* sp. in Uruguay. ISTRO 18th. Triennial Conference, Izmir, Turkey.
- Varela, S. 2009. Cuantificación de la extracción de nutrientes por trozas comerciales de *Eucalyptus globulus* en suelos de basamento cristalino de la zona este del país. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Universidad de la República, Facultad de Agronomía. 84p.



DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE *PINUS TAEDA* EN URUGUAY

Amabelia del Pino, Jorge Hernández, Gimena Arrarte,

Dpto. de Suelos y Aguas – Facultad de Agronomía – Garzón 780. Montevideo, Uruguay.
amabelia@fagro.edu.uy

Introducción

Debido a que la producción forestal en Uruguay ha tenido un aumento importante, grandes extensiones de bosques serán cosechadas en los próximos años, cobrando especial importancia el manejo de los residuos. Sin embargo son aún escasos los estudios de manejo de residuos forestales, así como su potencial aporte de nutrientes a las nuevas plantaciones.

La descomposición de residuos forestales presenta peculiaridades. Por un lado los residuos generalmente no son incorporados y mezclados con el suelo (Pérez Batallón et al, 2001). Muchas veces son de gran tamaño, lo que implica una barrera física para los organismos encargados de la descomposición (Garret et al, 2007). La baja concentración de nutrientes, especialmente en los residuos de madera, sumado al alto contenido de lignina, sustancia resistente a la degradación, y la baja concentración de carbonatos solubles, fácilmente degradables, ofrecen un ambiente poco propicio para la actividad de los organismos del suelo (Berg y McClaugherty, 1989). Los factores climáticos (temperatura y la humedad) influyen sobre la forma física de los residuos y sobre los organismos encargados de la descomposición. El conocimiento de los patrones de descomposición de los diferentes residuos forestales, los factores que los afectan y la liberación de nutrientes potencialmente utilizables por la plantación, permiten la implementación de prácticas de manejo de residuos que optimicen el uso de estos nutrientes. Este conocimiento también brindará información útil sobre la sostenibilidad del sistema, así como para plantear las necesidades de fertilización o agregado de enmiendas.

Se estudió la extracción de nutrientes, y su exportación con las trozas, así como la descomposición de residuos de cosecha de *Pinus taeda* L. para conocer la velocidad del proceso, y los patrones de liberación de los nutrientes, comparando dos rodales con diferente edad y modalidad de cosecha.

Materiales y Métodos

Cuadro 1. Características químicas de los suelos de los sitios

Sitio	Prof.	MO	pH	Ca	Mg	K	Na	Al
	(cm)	(%)		(cmol _c kg ⁻¹)				
Tres Pinos A	0-18	1.3	4.5	0.67	0.19	0.13	0.41	N/D
	18-40	0.9	4.5	0.50	0.08	0.10	0.41	N/D
	40-60	0.6	4.5	0.50	0.15	0.09	0.46	N/D
Gaire	0-23	1.16	4.55	0.81	0.21	0.16	0.40	1.01
	23-80	0.96	4.48	0.69	0.21	0.16	0.40	1.97
	80-99	0.69	4.52	0.73	0.17	0.19	0.46	2.16
	99-120	1.14	4.39	1.32	0.63	0.28	0.59	6.89

Sitios y experimentos – Los sitios correspondían a tala rasa de *P. taeda* de 22 años, (Tres Pinos A, Rivera Uruguay, S1) y raleo comercial a los 12 años (Gaire, Rivera, Uruguay S2) (Cuadro 1). En cada sitio se cosecharon 10 árboles representativos, pesando las trozas comerciales, trozas no comerciales, ramas y acículas de cada uno. En S1 se colectó además mantillo (restos de acículas, rama y corteza). En S1 se había llegado a una densidad de 200 árboles/ha luego de varios raleos. Debido a que en S1 las extracciones previas no fueron cuantificadas no se evaluó la producción total, ni la extracción total de nutrientes. Se estudió la descomposición in situ, colocando 100 g de acículas, mantillo o ramillas (diámetro < 1 cm) en



bolsas de malla sobre el mantillo. Las muestras de ramas (diámetro > 1 cm) se pesaron, y colocaron en bandejas de tejido. Se realizaron tres repeticiones en el terreno.

Muestreo y análisis - Los residuos se muestrearon a los 3, 6, 9, 12, 18 y 24 meses en S1 y a los 1, 3, 4, 6, 9 y 12 y 18 meses en S2. Luego del secado y molido (< 0.5 mm) se analizó el contenido total de N, P, K, Ca y Mg de cada fracción.

Cálculos y Modelo de descomposición - La biomasa de cada componente se calculó a partir de las proporciones de las diferentes fracciones (promedio de 10 árboles). La biomasa remanente se basó en la tasa de descomposición entre dos muestreos. Se ajustó un modelo de descomposición exponencial: $W_t = W_0 \exp(-k t)$, donde W_t es residuo remanente al tiempo t , W_0 es residuo inicial y k es la constante de descomposición (en año^{-1}). Se aplicó para dos períodos: Los primeros 4 meses y período final desde los 6 meses hasta el fin de los experimentos.

Resultados y Discusión

Extracción de biomasa aérea y nutrientes

Las cantidades de nutrientes extraídas se relacionan directamente a las características de las plantaciones, siendo obviamente menores en S2 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Biomasa y extracción de nutrientes en la tala rasa de una plantación de *P. taeda* de 22 años y raleo comercial de una plantación de 12 años de edad

	Biomasa	N	P	K	Ca	Mg
	Mg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹				
<i>P. taeda</i> - Tala rasa						
Trozos	190	157	31	56	106	35
Ramas	48	206	20	93	149	28
Acículas	9	97	8	45	16	7
Total residuos	57	303	28	137	166	35
Total árboles	246	460	59	194	272	70
Exportación (%)	77	34	52	29	39	50
<i>P. taeda</i> - Raleo						
Trozos	33	44	1.1	15	25	7
Ramas y trozas no comerciales	22	36	1.7	14	39	6
Acículas	4	46	2.8	18	12	3
Total residuos	26	82	4.5	32	51	9
Total árboles	59	126	5.6	47	77	17
Exportación (%)	56	35	20	32	32	41

Aunque las trozas representaban la mayoría de la biomasa aérea, la proporción de nutrientes exportados fue menor, permaneciendo la mayoría en los residuos. Esto se debe a la mayor concentración de nutrientes de las acículas, ramas y ramillas, en comparación con la madera. En cuanto a extracción de nutrientes se observaron las mismas proporciones extraídas en S1 y S2, con predominancia de N, luego Ca y menor cantidad de K, Mg y P. No se descortezó en el campo, lo cual podría mejorar la proporción de nutrientes a reciclar en el sitio (Goya et al, 2006).

Descomposición de residuos

La descomposición de las ramas en ambos sitios fue rápida en los primeros meses, enlenteciéndose luego, mientras que las acículas presentaron altas tasas hasta el final, especialmente en S1 (Figuras 1 y 2). Esto coincide con lo reportado por otros autores (Ouro et al., 2001) y con las constantes de descomposición calculadas en el modelo (Cuadro 3). Las acículas son el componente de menor tamaño, con mayor contenido de humedad, nutrientes y C soluble, por lo tanto más fácilmente colonizable por la microflora. Por el contrario su alto contenido de polifenoles (Figura 2) y cubierta cerosa pueden ser una barrera para la



colonización por los microorganismos, lo cual podría explicar que en S1 las tasas de descomposición inicialmente fueran menores en acículas que en ramas (Cuadro3).

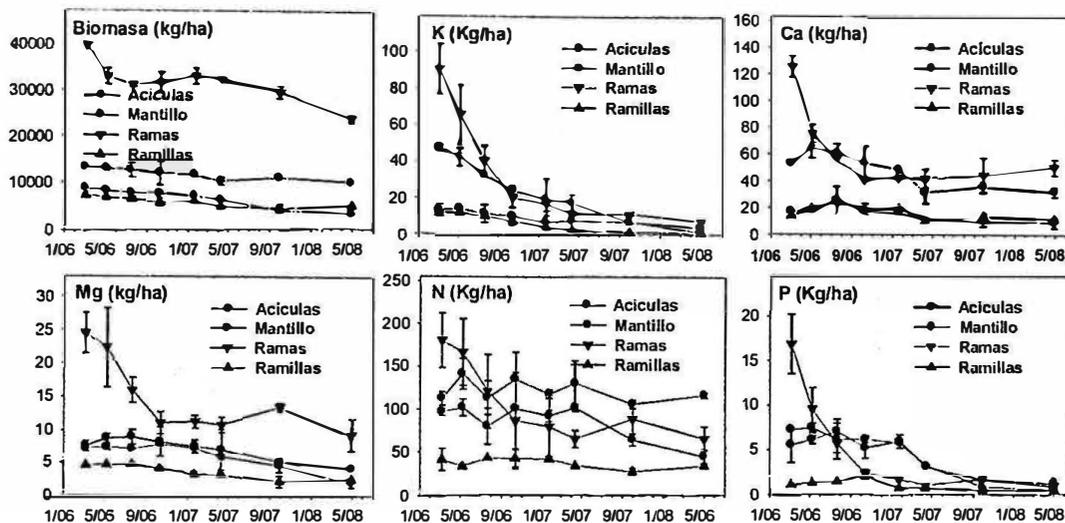


Figura 1. Evolución de la biomasa remanente y contenido de nutrientes (K, Ca, Mg, N y P) en los residuos de tala rasa de una plantación de *P. taeda* de 22 años

Las diferencias entre S1 y S2 en los patrones de descomposición de acículas se pueden deber a que la tala rasa se realizó en otoño (marzo), y el raleo a principios de verano (diciembre). El efecto positivo de la temperatura sobre la descomposición (Dalias et al., 2001; Garret et al., 2007), explicaría la menor tasa inicial de S1 respecto a S2. En el segundo año en S1 se aceleró la descomposición, lo que puede deberse a que los residuos de tala rasa permanecieron expuestos, sin la protección del bosque, con incidencia directa la luz solar, y sometidos a variaciones diarias de temperatura. Los residuos de raleo (S2) en cambio estaban bajo una cubierta vegetal densa, menos expuestos a los factores climáticos y por lo tanto presentaron tasas de descomposición muy bajas en el segundo año (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros del modelo exponencial a la pérdida de biomasa de residuos de cosecha. k_1 y k_2 representan las constantes de descomposición de los primeros 4 meses desde el 6° mes hasta el final respectivamente.

	<i>P. taeda</i> Tala rasa				<i>P. taeda</i> Raleo			
	K_1 (año ⁻¹)	R^2	K_2 (año ⁻¹)	R^2	K_1 (año ⁻¹)	R^2	k_2 (año ⁻¹)	R^2
Acícula	0.38	0.99	0.56	0.94	1.18	0.98	0.06	0.47
Rama	0.71	0.89	0.21	0.81	0.39	0.87	0.05	0.51
Ramilla	0.35	0.99	0.14	0.45	0.34	0.69	0.03	0.25
Mantillo	0.13	0.99	0.08	0.61				

El Cuadro 3 muestra las constantes de descomposición calculadas a partir del modelo de decrecimiento exponencial. En el primer período la descomposición de acículas fue notablemente más acelerada en el raleo, enlenteciéndose luego, al contrario que en S1. En ambos sitios las ramas y ramillas presentaron mayores tasas en el primer período enlenteciéndose luego. En el segundo período de S2 se destaca las bajas tasas de descomposición y pocas diferencias entre componentes.

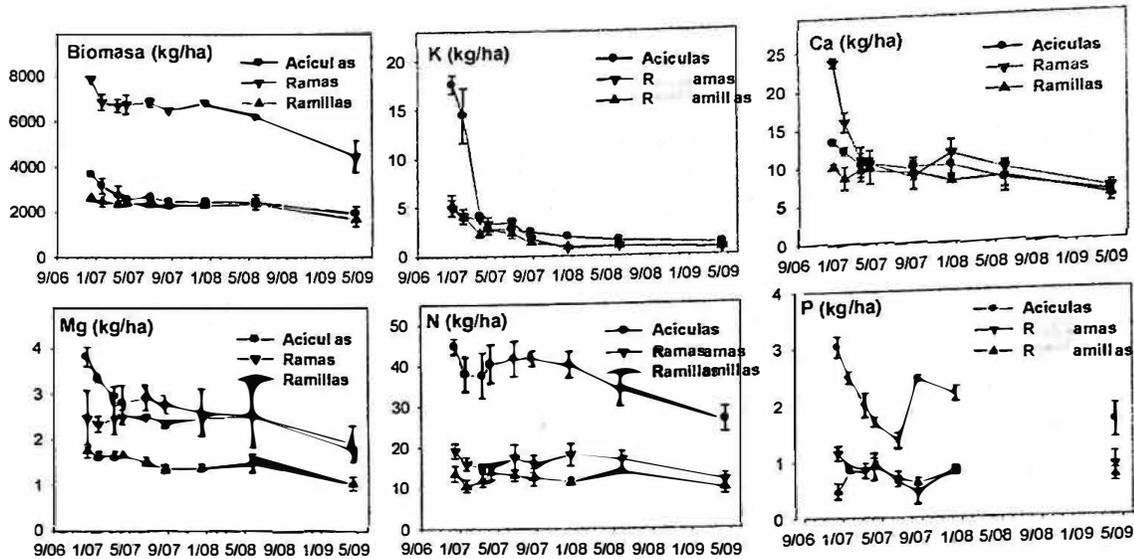


Figura 2. Evolución de los nutrientes remanentes en los diferentes restos de raleo comercial de una plantación de *P. taeda* de 12 años.

La evolución de los contenidos de polifenoles y C soluble de los residuos vegetales en S1 muestra que las ramas presentaron los menores valores en ambos casos, en tanto que las acículas presentaban altos contenidos (Figura 3). En las ramillas el contenido de polifenoles era comparable al de acículas, en tanto que el contenido de C soluble era intermedio entre acículas y ramas.

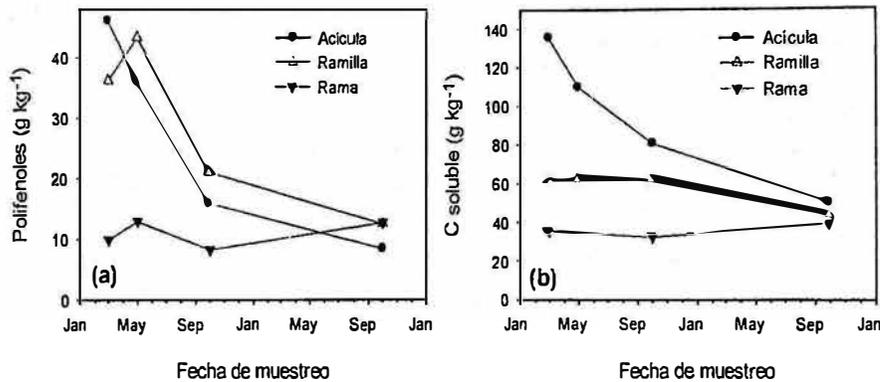


Figura 3. Evolución de los contenidos de polifenoles (a) y C soluble (b) en los diferentes restos de cosecha de una plantación de *P. taeda* de 22 años.

Liberación de nutrientes de los residuos

En ambos sitios, hubo rápida liberación de K (Figuras 1 y 2), quedando al final solamente el 11 y 9% del K inicial en S1 y S2 respectivamente. La concentración de K en todas las fracciones disminuyó continuamente. Esto es coincidente con los resultados en residuos de eucalipto reportados por Hernández *et al.* (2009)

La pérdida de Ca fue muy lenta, en contraste con el K, permaneciendo en los restos el 50 % del Ca inicial a los 24 meses en S1 y 60 % en S2, coincidente con Ouro *et al.* (2001). La mayor parte del Ca perdido en el primer año correspondió a las ramas. El aumento en la concentración de Ca de mantillo, acículas, y ramilla a medida que se descomponían indica que la descomposición de biomasa se realizó a un ritmo mayor que la de los compuestos ricos en Ca (fundamentalmente paredes celulares). El comportamiento del Mg fue similar al del Ca, con



pérdidas importantes de las ramas en el primer año y graduales de los demás componentes. Al final del estudio aún estaba presente en los restos de S1 el 44 % y en S2 el 41 % del Mg inicial.

Se observaron aumentos de concentración de N en los residuos, especialmente al principio que indicarían su inmovilización. Tan marcado fue este hecho que en S1 mantillo y ramilla no registraron liberación de N a lo largo de todo el experimento. Las pérdidas mayores se produjeron rama el primer año en S1 y de las acículas en forma paulatina a lo largo del estudio en ambos sitios. El P total en los residuos representaba una cantidad muy pequeña, de todos modos se observó una liberación relativamente rápida durante la descomposición en S1, especialmente del P contenido en las ramas e indicaciones de inmovilización en S2.

Conclusiones

- La exportación de nutrientes por la explotación comercial de las plantaciones de *P. taeda* fue minoritaria respecto al potencial reciclaje y utilización de los nutrientes extraídos, tanto en los residuos de tala rasa como de raleo comercial.
- La descomposición de los residuos dependió tanto de su composición como de las condiciones ambientales a las que estuvieron expuestos.
- La liberación de nutrientes fue muy lenta, salvo en el caso del K que se liberó en forma prácticamente total durante el período de estudio

Bibliografía

- Berg, B., and McLaugherty, C., 1989. Nitrogen and phosphorus release from decomposing litter in relation to the disappearance of lignin. *Can. J. Bot.* 67:1148-1156
- Dalias, P., Anderson, J.M., Bottner, P. y Couteaux, M.M. 2001. Temperature responses of carbon mineralization in conifer forest soils from different regional climates incubated under standard laboratory conditions. *Global Change Biology.* 6: 181-192
- Garret, L, Davis, M. y Graeme, O., 2007. Decomposition of coarse debris, and methods for determining decay rates. *New Zea. J. For. Sc.* 37:227-240
- Goya, J.F., Pérez, C., Frangi, J.L. y Fernández, R. 2006. Impacto de la cosecha y destino de los residuos sobre la estabilidad del capital de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. *Ecolgia Austral* 13:139-150
- Hernández J, del Pino A, Salvo S, Arrarte G. (2009). Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. *For. Ecol. Manage.* 258, 92-99.
- Kraus, T., Dahlgren, R.A. y Zasoski, R.J., 2003. Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems-a review. *Plant Soil* 256:41-66
- Ouro, G., Pérez Batallón, P. y Merino, A., 2001. Effects of silvicultural practices on nutrient status in a *Pinus Radiata* plantation: Nutrient export by tree removal and nutrient dynamics in decomposing logging residues. 2001. *Ann. For. Sci.* 58:411-422
- Pérez-Batallón P, Ouro G, Macías F, Merino A 2001 Initial mineralization of organic matter in a forest plantation soil following different logging residue management techniques. *Ann For Sci* 58:807-818



PATRONES DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE UN SUELO BAJO VEGETACIÓN DE EUCALIPTO, PINO Y PASTURA

Gimena Arrarte, Amabelia del Pino; Jorge Hernández

Dpto. de Suelos y Aguas – Facultad de Agronomía – Garzón 780. Montevideo, Uruguay.
garrarte@fagro.edu.uy

Introducción

El cambio en el uso del suelo, desde su antiguo uso ganadero y/o agrícola al forestal con inclusión de especies de rápido crecimiento y gran producción de biomasa puede generar cambios en la demanda de nutrientes y agua del suelo, así como en su pool de la materia orgánica (MO). Esto se debe a que los residuos de la nueva vegetación son distintos, tienen mayor relación C/N y diferente contenido de lignina, polifenoles, celulosa y ceras (Carrasco et al. 2004). Se asume generalmente que la mineralización es parcialmente regulada por el tamaño, actividad específica y composición de la biomasa microbiana. El paradigma establecido es que la población de microorganismos autóctonos metaboliza la fracción recalcitrante de la MO, reproduciéndose lentamente, mientras que una población de zimógenos metaboliza la MO lábil. Esta población aumenta sólo cuando el sustrato fresco está disponible y permanece latente cuando el sustrato fresco se agota (Kemmit et al., 2008). El contenido de agua y la temperatura del suelo tienen una gran influencia en la mineralización de la MO del suelo. El conocimiento de las relaciones cuantitativas involucradas es esencial como base para predecir las cantidades de N mineral liberadas por el suelo bajo determinadas condiciones climáticas (Standford, 1974).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la vegetación sobre la MO del suelo y su mineralización. En particular, se pretende determinar si la calidad de la MO del suelo se ve afectada por esta variación en la vegetación y su relación con otros factores, como la humedad del suelo, la temperatura y la biomasa microbiana. El estudio fue llevado cabo mediante estimación de mineralización de N *in situ* e incubaciones en laboratorio.

Materiales y métodos

Experimento de mineralización en el campo. El suelo es un Acrisol ócrico, de Rivera (31°01' S – 55°43' W), bajo tres manejos: pastura natural, una plantación de *Eucalyptus grandis* de 23 años y una plantación de *Pinus taeda* de 17 años. La pastura natural se encontraba en un cortafuego entre ambas plantaciones y estaba compuesta fundamentalmente de gramíneas estivales.

En cada vegetación se seleccionaron 3 áreas de muestreo. La incubación *in situ* consistente en enterrar en cada vegetación 6 tubos de PVC, de 5 cm de diámetro y 15 cm de largo conteniendo en la base una bolsa de malla con una mezcla de resinas de intercambio catiónico y aniónico (5 g de Dowex 50W-X8 y 5 g de Amberlite IRA-400). Se selló la base del tubo con yeso, dejando un orificio para permitir el drenaje. Los tubos se extrajeron y cada 85 días aproximadamente. Se usaron registradores automáticos de temperatura en cada vegetación (7,5 cm de profundidad). El período estudiado fue desde junio de 2006 a noviembre de 2008.

Muestreo de suelos y análisis. Inicialmente se realizaron análisis de pH, C y N total en suelo. Al momento del cambio de tubos en cada vegetación se tomaron muestras compuestas de 15 tomas con calador a 0-15 cm. En cada muestreo se determinó el contenido de agua de los suelos. Se analizó el N mineral (N-NH₄ + N-NO₃) contenido en las resinas del suelo que encontraba dentro de los tubos y de las muestras de suelo alrededor a los tubos o muestras de referencia. En dos momentos diferentes se tomaron muestras para determinar parámetros biológicos (julio 2007 y marzo de 2008). Se analizó el C en la biomasa microbiana por



fumigación-extracción (Brookes, et al. 1985). Se determinó la respiración microbiana durante 24 días y se calculó el cociente metabólico qCO_2 (C respirado/C en biomasa microbiana). Para estimar el N mineralizado se incubaron los suelos a 25°C y 70% de capacidad de campo, muestreándose cada 15 días para analizar el N mineral.

Resultados

Evolución de la temperatura y humedad del suelo

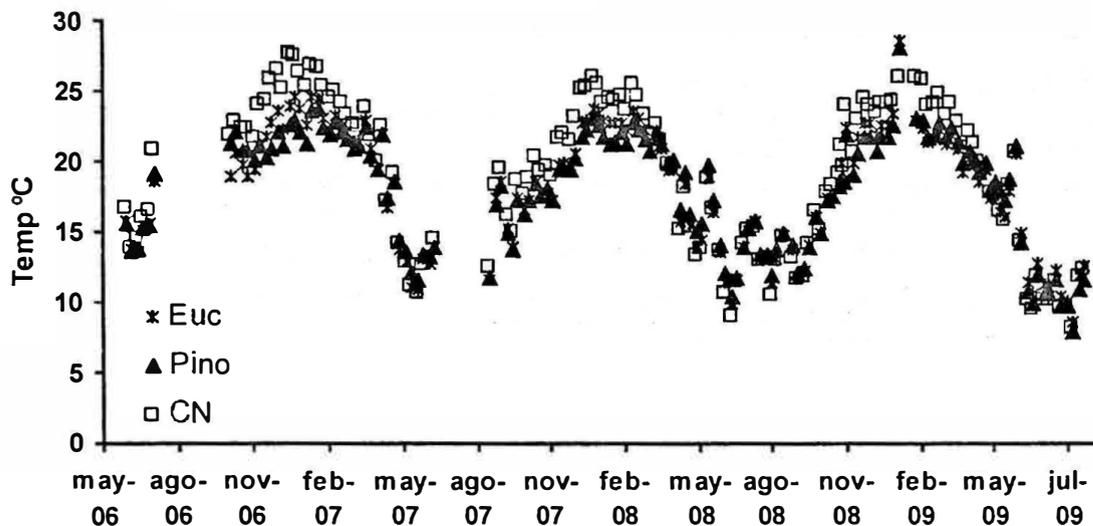


Figura 1. Temperatura del suelo (0-15cm) entre julio 2006-agosto de 2009 bajo vegetación de pino, eucalipto y campo natural.

La temperatura del suelo presentó variaciones estacionales marcadas y entre vegetaciones (Figura 1). Los valores más extremos correspondían a campo natural, con las mayores temperaturas en el verano y las menores en el invierno. El suelo bajo pino presentó las menores variaciones, y eucalipto tuvo un comportamiento intermedio. El campo natural presentó las mayores variaciones diarias (mínimos menores y máximos mayores), comparado con los suelos bajo bosque. Esto se debió probablemente al sombreado de los árboles y protección frente a los vientos.

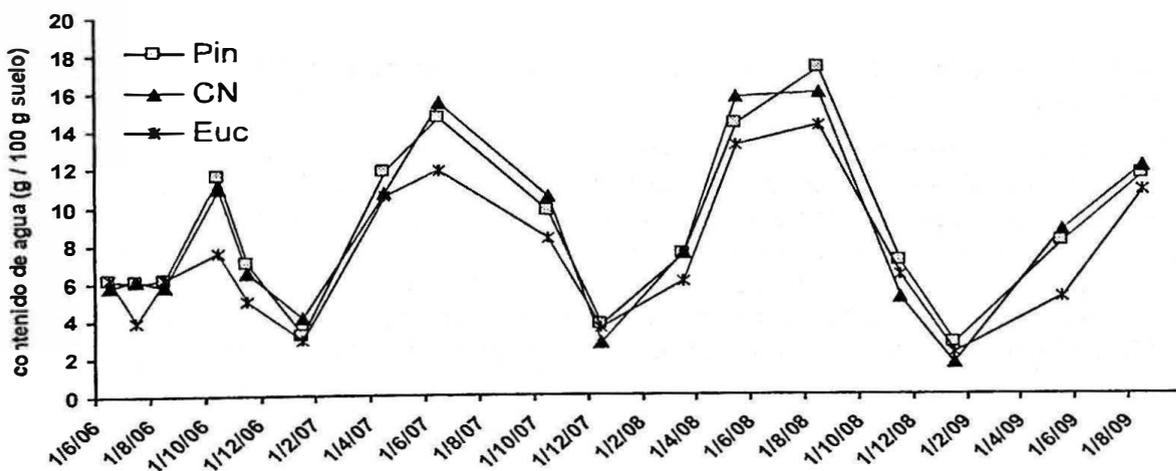


Figura 2. Contenido gravimétrico de agua en el suelo (0-15cm) entre julio 2006-agosto de 2009 bajo vegetación de pino, eucalipto y campo natural.



La humedad del suelo también presentó variaciones marcadas, con el menor contenido durante el verano (Figura 2). A diferencia del caso anterior, la humedad no se monitoreó, sino que se presentan los resultados puntuales de los muestreos. Los suelos bajo pino y campo natural no presentaron, en general, diferencias significativas entre sí, en tanto que eucalipto se mantuvo con menor contenido, especialmente en el invierno. Esto podría deberse a mayor consumo de agua por los eucaliptos o a fenómenos de hidrofobicidad en el monte de eucalipto (Ferreira et al., 2000).

Propiedades químicas del suelo bajo diferentes vegetaciones

El pH del suelo (0-15cm) fue más alto bajo vegetación de eucalipto y campo natural, y menor bajo pino (Cuadro 2). Es posible que el bosque de pino promoviera la acidificación del suelo mediante la producción de ácidos orgánicos. Otra hipótesis es que la cantidad de bases recicladas por el bosque mediante el mantillo es menor en pino que en eucalipto y campo natural.

	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C total suelo ---g kg ⁻¹ ---	N total suelo ---g kg ⁻¹ ---	C/N
Eucalipto	5.36 a	4.34 a	7.75 b	0.56 a	13.9
Pino	4.65 b	3.78 b	8.54 ab	0.61 a	14.2
Campo natural	5.35 a	4.21 a	9.63 a	0.62 a	15.5

Cuadro 2. pH del suelo medido en KCl 1M y en H₂O (1:2.5 suelo: solución) y contenido de C y N total en el suelo bajo pino, eucalipto y campo natural (0-15cm).

Al comparar el C total en los suelos, se observó el mayor contenido en la pastura natural, y el menor en eucalipto. Esto puede deberse a las diferencias en el sistema radicular de las diferentes especies y su posterior descomposición. También el menor contenido de agua bajo eucalipto puede haber producido menor acumulación de MO en los suelos. Por el contrario no hubo diferencias significativas entre vegetaciones en el N total del suelo, lo que indica diferencias en la calidad de la MO. La relación C/N se encontró entre los valores esperados para suelos de la región.

Mineralización de N medida en el experimento de campo (incubación in situ)

Se observó un aumento del N mineralizado en la primavera tardía y una disminución durante el invierno (Figura 4). En forma similar en otros países las tasas de mineralización de N han sido frecuentemente relacionadas con los regímenes de humedad y temperatura del suelo (Owen et. al, 2003). El suelo bajo pino presentó una tendencia estacional más clara, no obstante debido a la alta variabilidad en las cantidades de N mineralizado, no siempre las diferencias fueron significativas.

El suelo bajo pino produjo mayores cantidades de N mineralizado acumulado que el suelo bajo campo natural, y este más que el suelo bajo eucalipto (267, 246 y 209 mg N/kg de suelo respectivamente). Esta tendencia se observó también en la mayoría de los muestreos. De acuerdo al tipo de suelo y su baja fertilidad, llama la atención la alta mineralización acumulada a lo largo del período, especialmente bajo vegetación de pino. La baja mineralización en el suelo bajo eucalipto se relaciona con el menor contenido de agua, así como los menores contenidos de MO. Por otro lado, la mayor mineralización de N en los suelos bajo pino no parece haber producido una disminución del contenido de MO, lo cual podría ser en parte explicado por los bajos valores de qCO₂ encontrado para este suelo. Otro elemento a tener en cuenta es que el pH bajo vegetación de pino fue menor. Se ha observado que el pH del suelo está correlacionado con la composición de la comunidad bacteriana (Owen et. al, 2003), lo que explicaría las diferencia entre vegetaciones.

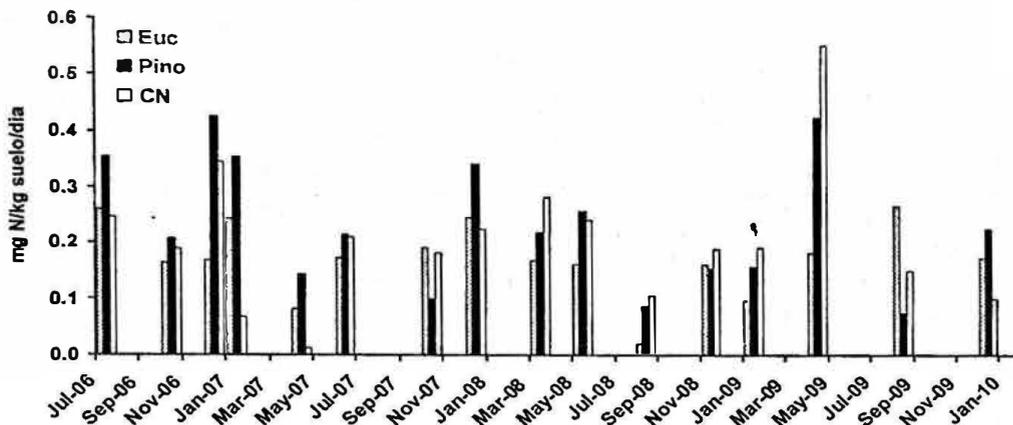


Figura 3. Evolución del N mineralizado en los suelos bajo forestación de eucalipto, pino y campo natural en el período de julio 2006-diciembre 2009.

Experimentos en condiciones controladas: Biomasa microbiana y mineralización de MO de los suelos

En la evolución de C-CO₂ del suelo no hubo diferencias significativas entre los tres manejos, con mayores valores bajo campo natural, seguido de los suelos bajo eucalipto y pino (Figura 4). EL N mineral mostró las mismas tendencias que el C, mineralizando más el suelo con vegetación de campo natural y una ligera superioridad de pino con respecto a eucalipto. El mayor contenido de MO en los suelos bajo pastura natural y el pH más alto, (condiciones más favorables para la actividad microbológica) justificarían los datos obtenidos. Inesperadamente estos resultados discrepan con los de mineralización de N en incubaciones in situ. Una posible explicación es que en el laboratorio se igualan los factores ambientales, temperatura y humedad, por lo que la mineralización de MO se relaciona directamente con su abundancia, siendo mayor en el campo natural.

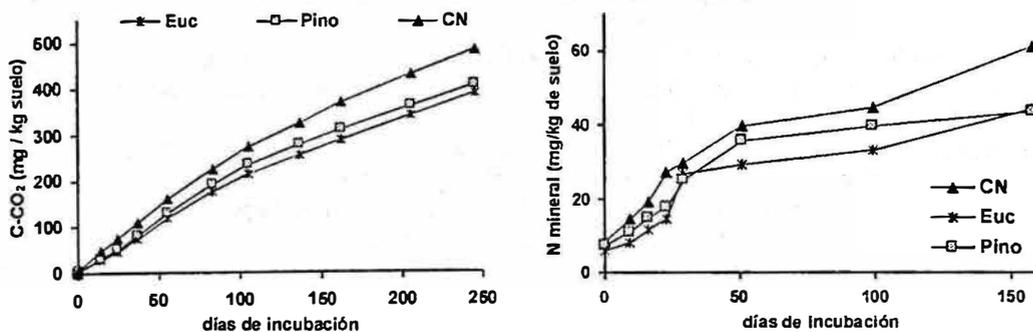


Figura 4. Evolución del C-CO₂ (izq) y del N mineral en los suelos bajo forestación de eucalipto, pino y campo natural incubados a 25°C.

El C de la biomasa microbiana mostró valores mayores en el suelo bajo pino, y el menor en eucalipto (Cuadro 2). Estas tendencias se mantuvieron en las 2 estaciones, aunque la cantidad fue ~2 veces mayor en invierno que en verano; donde la temperatura era mayor pero el contenido de agua tuvo su mínimo. El qCO₂ es una medida de la eficiencia microbiana, por lo que la biomasa microbiana de campo natural, pese a no tener el mayor tamaño y estar sometida a extremos de temperatura, fue la más eficiente en su actividad. En cambio el suelo bajo pino tuvo la biomasa microbiana con menor eficiencia. Esto podría deberse a la diversidad de vegetación presente en el suelo bajo pasturas naturales, mientras el monocultivo presente en los suelos bajo pino podría afectar negativamente el qCO₂ del mismo



	C biomasa microbiana --- mg kg ⁻¹ ---		CO ₂ -C respirado ---mg C kg ⁻¹ h ⁻¹ ---		Cociente metabólico ---µgC mgCb ⁻¹ h ⁻¹ ---	
	4/7/2007	13/3/08	4/7/2007	13/3/08	4/7/2007	13/3/08
EUC	163.7 b	76.8 b	0.077 b	0.050 a	0.47ab	0.92 ab
PINO	201.9 a	129.6 a	0.086 ab	0.058 a	0.43b	0.45 b
CN	177.0 ab	70.9 b	0.127 a	0.071 a	0.74a	1.01 a

Cuadro 2. C de la biomasa microbiana, C-CO₂ respirado y cociente metabólico del suelo bajo forestación de eucalipto, pino y campo natural en dos estaciones. Las letras indican diferencias significativas entre vegetaciones

Conclusiones

Hubo una alta mineralización, medida *in situ*, en relación al bajo contenido de MO de los suelos. La vegetación presente tuvo un efecto marcado en la mineralización neta de N. Los valores obtenidos para C de la biomasa y cociente metabólico para las distintas vegetaciones pueden relacionarse con la humedad, temperatura y pH del suelo, siendo coherentes con la mineralización observada *in situ*.

Se observaron grandes diferencias entre la mineralización de los suelos encontrados en el campo y en el laboratorio. Estas discrepancias se pueden atribuir a cambios en la composición de la comunidad microbiana bajo las condiciones de laboratorio con respecto a las del campo, y a la uniformidad de temperatura y humedad entre otras. Es necesario más estudio en este punto de manera de poder explicar las diferencias.

Bibliografía

- Brookes, P.C., A. Landman, G. Pruden and D.S. Jenkinson. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen; a rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.* 17:837-842.
- Carrasco-Letelier, L., Eguren, G., Castiñeira, C., Parra, O., and Panario D. 2004. Preliminary Studies of prairies forested with Eucalyptus sp. At the Northwestern Uruguayan soils. *Environmental Pollution.* 127: p. 49-55.
- Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Walsh, R.P.D., Shakesby, R.A., Ceballos, A. and Doer, S.H. 2000. Hidrological implications of soil water-repellency in Eucalyptus globulus forests, north-central Portugal. *Journal of Hidrology.* 231: p. 165-177.
- Kemmit, S.J., Lanyon, C.V., Waite, I.S., Wen, Q., Addiscott, T.M., Bird, N.R.A., O'Donnell, A.G., P.C., 2008. Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass—a new perspective *Soil biology and biochemistry.* 40: p. 61-73.
- Owen, J.S., Wang, M.K., Sun, H.L., King, H.B., Wang, C.H. and Chuang, C.F. 2003. Comparison of soil nitrogen mineralization and nitrification in a mixed grassland and forested ecosystem in central Taiwan. *Plant and Soil.* 251: p. 167-174
- Stanford, G.1974. Nitrogen mineralization-water relations in soils. *Soil.Sci. Soc. Amer.J.*, 38: p. 103-107.



TECNOLOGÍAS DE LABOREO Y USO DE HERBICIDAS EN PLANTACIONES , Y SU
EFECTO EN LA EROSIÓN DE SUELOS

Mario Pérez Bidegain, Silvana Delgado, Fernando García Préchac

Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas. Garzón 780, Montevideo.

email: mpérezb@fagro.edu.uy

Introducción

En Uruguay las plantaciones forestales ocupan un 6 % del territorio nacional. Las técnicas de preparación de suelos empleadas para las plantaciones forestales han evolucionado desde laboreo de la totalidad del terreno hasta plantación sin laboreo. La bibliografía nacional (García Préchac et al, 2001; Pérez Bidegain et al., 2001; Resquin et al, 2010) e internacional (Schönau et al. 1981; Norris y Stuart, 1994; Madeira et al., 1999) sobre la intensidad de laboreo para plantaciones forestales presenta conclusiones contradictorias en cuanto a sus efectos sobre la producción de madera. El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de intensidades de laboreo para la implantación de *Eucalyptus grandis* sobre su crecimiento y producción.

Metodología

En el año 2001 se instalaron dos ensayos sobre un Typic Hapludult (Acrisol ocrico) ubicado en el departamento de Rivera. El uso previo del suelo correspondió a campo natural, y chacra vieja, respectivamente. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos comprendieron plantación al pozo (P), surcador en fila de plantación, con control de malezas en la entrefila con herbicida (S+H) o con excéntrica (S+E), y rotovador en la fila con control de malezas en la entrefila con herbicida (R+H), o con excéntrica (R+E). Se determinó altura de plantas, diámetro a la altura del pecho. Así mismo se realizaron medidas de erodabilidad de suelo empleando un microsimulador de lluvias.

Resultados

El sistema el uso previo y la intensidad de laboreo afectaron la erodabilidad del suelo (Cuadro 1). El uso anterior del suelo determinó una muy importante diferencia de potencial productivo a favor del suelo virgen (campo natural) a los 93 meses de instalado el monte en altura (Figura 2, $P \leq 0.0151$), DAP (Figura 3, $P \leq 0.0701$), y volumen de madera producida (Figura 4, $P \leq 0.0112$)

Cuadro 1. Erodabilidad del suelo por uso previo e intensidad de laboreo

	Campo Natural	Chacra Vieja
Tratamiento	K (Mg /MJ.mm.h)	
Sit. original	0.027	0.039
Excéntrica	0.093	0.155
Herbicida	0.092	0.156
Pozo	0.119	0.086
Rotovador	0.076	0.127
Surcador	0.212	0.333



Figura 1. Altura de los árboles por uso previo del suelo e intensidad de laboreo

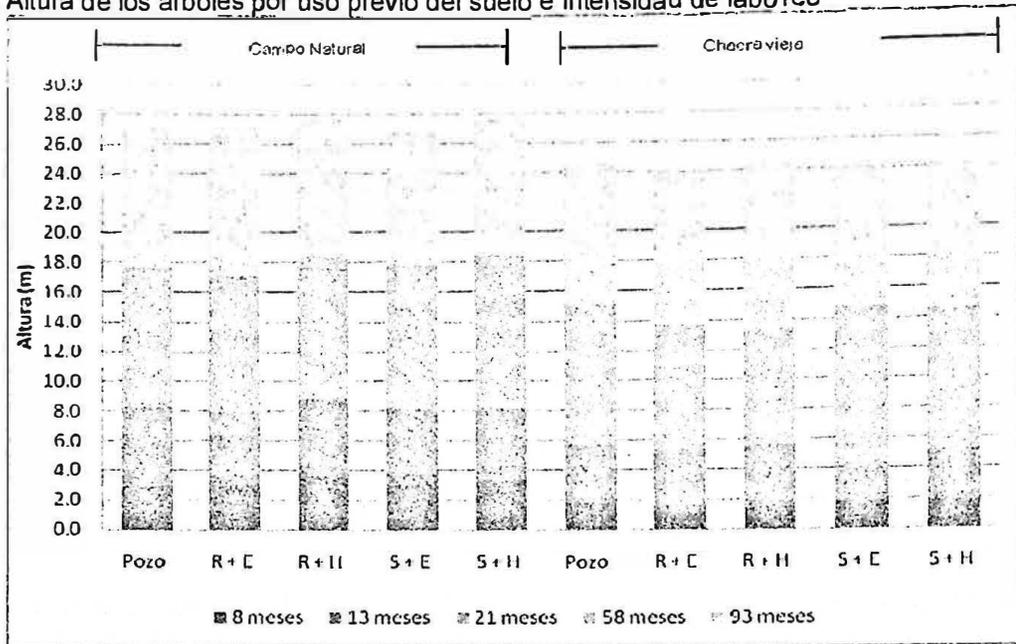


Figura 2. Diámetro a la altura del pecho por uso previo del suelo e intensidad de laboreo

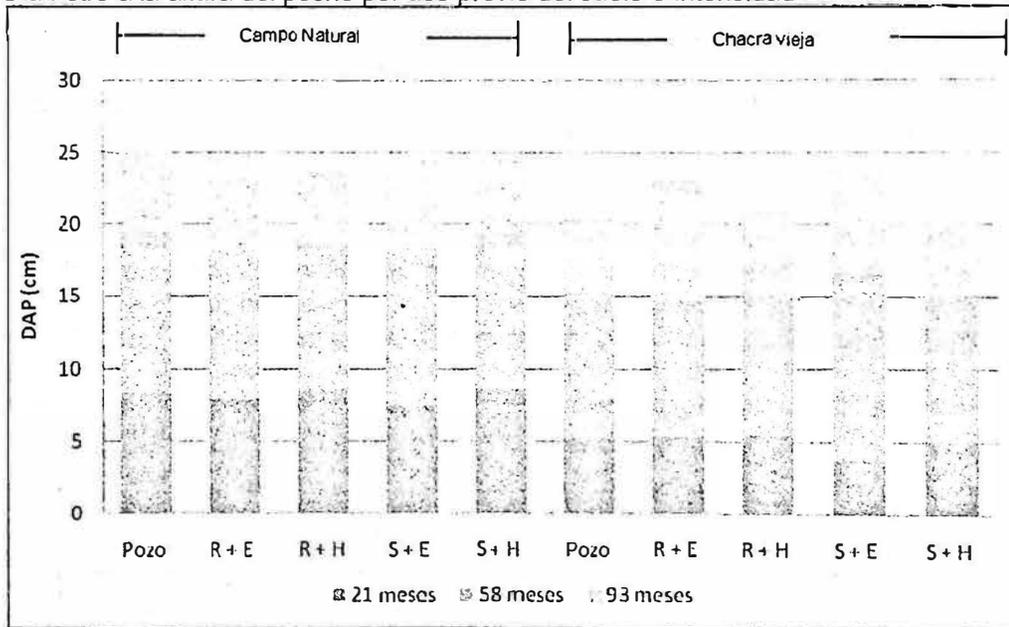
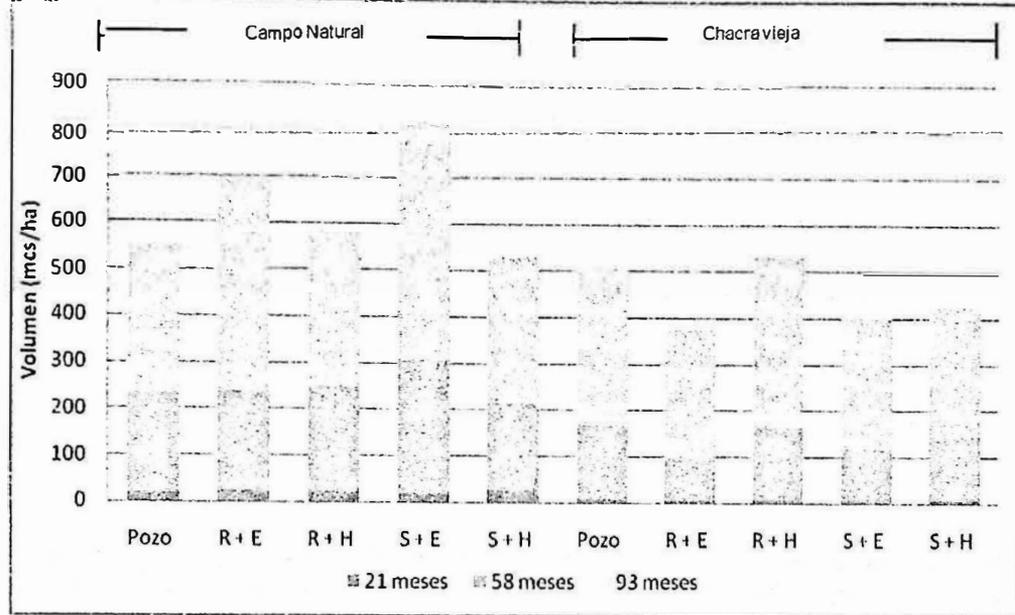




Figura 3. Volumen de madera por uso previo del suelo e intensidad de laboreo



Discusión y conclusiones

La calidad del sitio tuvo un impacto significativo en los parámetros de crecimiento (altura y DAP) del monte a ocho años de su instalación, sin embargo la intensidad de laboreo no los afectó. Es importante aclarar que existió un efecto importante no evaluado en este trabajo que es el efecto de la sequía en el período de estudio que tuvo como consecuencia un ataque importante de *Phoracantha* sp. en estas plantaciones, afectando la producción de madera. Es esperable que la producción de madera sea independiente de la intensidad de laboreo utilizada para la plantación, siempre y cuando el control de la vegetación residente y de las malezas, por medios químicos, sea efectivo.

Referencias

- GARCIA PRÉCHAC, F.; PÉREZ BIDEGAIN, M.; CHRISTIE, S. Y SANTINI, P. 2001. Efecto de la Intensidad de Laboreo en el Crecimiento Áereo y Radicular de *Eucalyptus dunnii* y sobre algunas Propiedades Físicas y Químicas del Suelo. *Agrociencia, Rev. Científica Fac. Agr. (UDELAR)*, Uruguay 5(1): 1-9.
- MADEIRA, M.; AZEVEDO, A.; SOARES, P. Y THOMÉ, M. 1999. Efeito da laboura e da gradagem nas características do solo e na produtividade de plantaões de *Eucalyptus globulus* In: CD: 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Temuco-Chile
- NORRIS C.H. Y STUAR R. 1994. Establishment and regeneration In : ICFR Annual Research Report South Africa pp 19-37
- PÉREZ BIDEGAIN, M., F. GARCÍA PRÉCHAC Y RICARDO METHOL. 2001. Long-term effect of tillage intensity for *Eucalyptus grandis* planting on some soil physical properties in an uruguayan Alfisol. In 3rd International Conference on Land Degradation, Rio de Janeiro, en CD-ROM.
- RESQUIN, F.; RACHID C. Y PÉREZ BIDEGAIN, M. 2010. Efecto del laboreo y fertilización sobre algunas propiedades del suelo y productividad de *E. grandis* plantado en la zona Norte de Uruguay. En. *Jornada Técnica Forestal Zona Norte*. INIA-Tacuarembó. 43-55 pp-
- 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. J.* 116 : 1-10



ALGUNAS CONSIDERACIONES GENERALES EN RELACIÓN AL TEMA “FERTILIZACIÓN DE EUCALIPTOS”

Ing. Agr. José P. Zamalvide zamal@fagro.edu.uy
Ing. Agr (MSc) Marcelo Ferrando mferrand@fagro.edu.uy

En esta presentación se pretende aportar algunos conceptos e informaciones que serán de utilidad para un mejor entendimiento de los resultados experimentales sobre fertilización de Eucaliptos. También serán de utilidad para los técnicos que deben decidir el manejo de la fertilización en predios productivos. Por un lado se analizarán algunas particularidades de los suelos del Uruguay utilizados para forestación y por otro se expondrán en forma resumida algunos resultados de trabajos que aportan información sobre el estado nutricional de los montes comerciales y de algunas herramientas para su diagnóstico.

Diferencias entre suelos forestales de otras zonas del mundo y los suelos de “prioridad forestal” del país

Dentro de los suelos del país, los declarados de prioridad forestal están entre los de menor fertilidad natural. Esto se refleja, en comparación con el resto de nuestros suelos por un bajo nivel de bases de intercambio, bajo pH, frecuente presencia de Al intercambiable, mineralogías asociadas a alta meteorización y las formas “frágiles” de su materia orgánica.

Sin embargo, cuando estos se comparan con suelos de otros países, de los cuales se suele tomar información tecnológica, las diferencias son notorias. Un primer elemento a tener en cuenta es que nuestros suelos se desarrollaron sobre vegetación natural de praderas, situación poco frecuente en otras zonas forestales, y que en términos generales está asociado a una mayor fertilidad natural.

En los cuadros 1, 2 y 3 se muestran datos de análisis químicos de suelos representativos de zonas forestales de Brasil y de algunos de los suelos de prioridad forestal del Uruguay.

Como se observa, a pesar de que los suelos de prioridad forestal del país son de los de menor fertilidad, comparados con los de Brasil aparecen como notoriamente más fértiles. Los niveles de bases intercambiables son del orden de 10 veces mayores y la saturación en bases del orden de 5 veces mayor.

La muy baja fertilidad de los suelos de Brasil, combinado con las muy buenas condiciones de otros factores de producción, y altos potenciales productivos, hace que como situación más probable allí existan respuestas al agregado de numerosos nutrientes y hasta dosis muy altas. Esa información no puede ser extrapolada para nuestras condiciones en las cuales el aporte natural de nutrientes del suelo es notoriamente más alto y los potenciales productivos normalmente más bajos.

En términos generales es de esperar en nuestro país menor número de nutrientes limitantes y cuando existen, se observará respuesta hasta dosis menores.



Cuadro 1. Características químicas de algunos suelos forestales a la profundidad de 0-20 cm

Local	Fonte	pH	MO	P-resina	K	Ca	Mg	CTC	V	P
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol dm ⁻³ -----			-%-	kg ha ⁻¹	
Neossolo Quartzarénico										
Itatinga/SP	1	3,7	12	9	0,5	3	1,5	37	13	18
Lençóis Paulista/SP	1	3,8	14	4	0,4	4	1,0	34	15	8
Bofeta/SP	1	3,6	17	3	0,2	2	1,0	45	7	6
Luíz Antônio/SP	2	4,0	21	5	0,3	4	2,0	54	11	10
Latossolo Vermelho não férrico										
Lençóis Paulista/SP	1	3,9	21	4	0,4	1	1,0	-	-	8
Guataparã/SP	2	4,1	24	10	0,6	7	3,0	72	15	20
São Miguel Arcanjo/SP	4	4,0	47	3	0,6	2	3,0	141	4	6
Latossolo Vermelho férrico										
Capão Bonito/SP	1	3,8	38	4	0,3	2	1,0	101	3	8
Latossolo Vermelho Amarelo										
Itatinga/SP	1	3,4	19	5	0,6	3	2,0	70	9	10
Prata/SP	3	3,6	17	4	0,3	1	1,0	35	6	8
Angatuba/SP	4	3,9	10	2	0,2	1	1,0	62	4	4
Itapetininga/SP	4	3,7	19	7	0,1	1	1,0	54	4	14
Paraibuna/SP	4	3,7	33	3	0,6	1	1,0	97	3	6
Argissolo Amarelo										
Sul da Bahia	5	4,3	15	3	0,7	12	2,0	44	33	6
Espodosolo										
Sul da Bahia	5	4,2	11	3	0,4	2	1,8	31	14	9
Média		3,85	21	4,6	0,41	3,0	1,6	63	10	9,8

Fontes: ¹Silveira et al. (1995c); ²Silveira et al. (2003); ³Silveira et al. (2001); ⁴Santana et al. (1999); ⁵Silveira (2000).

Cuadro 2. Valores promedio de algunas características de los suelos del cuadro anterior expresados en las unidades usadas en Uruguay

pH	MO	P	K	Ca	Mg	CIC	Sat
en agua	%	ppm	----- meq/100g suelo-----			%	
4.3?	1.6	2?	0.03	0.23	0.12	4.8	10

Cuadro 3. Valores usuales de algunas características químicas de suelos de prioridad forestal en Uruguay

	pH	MO	P	K	Ca	Mg	CIC	Sat
	en agua	%	ppm	----- meq/100g suelo-----			%	
Luvisol sobre Cristalino (zona 2)	5.0	3.8	3	0.45	4.5	2.1	11.1	55
Acrisol sobre Tacuarembó (zona 7)	5.2	1.7	4	0.30	0.9	0.5	3.0	53
Argisol Cretácico(zona 9)	5.5	2.5	6	0.30	3.6	1.0	7.7	65

Condiciones de manejo previo de los suelos al momento de ser forestados

Los suelos declarados de prioridad forestal son de baja fertilidad y con severas limitantes para su uso en agricultura, e inclusive para producciones ganaderas intensivas. Por lo anterior la mayoría de los suelos con plantaciones forestales iniciales, provienen de campo natural. Los suelos de cretácico con mejor aptitud agrícola fueron recientemente retirados de la categoría de prioridad forestal.

El hecho de realizar plantaciones en suelos provenientes de pasturas en campo natural tiene implicancias en el comportamiento de algunos nutrientes. En el caso del N al realizarse una roturación del suelo, este tiende a mineralizar gran cantidad de nitrógeno. Este proceso se



concentrará en un tiempo corto por ser su MO frágil. Los laboreos excesivos liberaran cantidades de N que no aprovecharán los árboles y se perderán.

En el caso del P los contenidos naturales de nuestros suelos son bajos y la posible existencia de niveles medios o altos en los análisis de suelo, deriva de la residualidad de fertilizaciones anteriores. Los pocos casos observados de suelos forestados con niveles medios de P se concentraban en los suelos de mayor aptitud agrícola de Cretácico. Por otro lado debe tenerse en cuenta que la mineralización de materia orgánica puede estar aportando cierta cantidad de P en formas asimilables.

La mayoría de los suelos forestados en el país presentan contenidos medios a altos de K intercambiable. La mayoría presenta además una reserva significativa de este nutriente en formas no intercambiables. En otros rubros productivos se han comenzado a manifestar algunos casos de deficiencias de K, normalmente cuando se combinan suelos con pocas reservas con altas extracciones por los cultivos. Este proceso es posible que dentro de cierto tiempo se comience a visualizar en casos de muchos años de forestación en ciertas zonas con menores reservas de K, como algunos suelos de Cretácico.

Estudios de variación estacional para definir momentos de muestreo foliar

Entre marzo de 2005 y junio de 2006 se realizó un estudio de la variación estacional del contenido de nutrientes en la última hoja totalmente desarrollada a mitad de copa de dos ensayos de E. Grandis y dos de E. Globulus. En el ensayo se instalaron en primavera de 2004 seis tratamientos contrastantes en los aportes de N, P, K y B. Mensualmente se muestrearon 40 hojas de cada parcela, en doce a catorce fechas de muestreos, y se analizaron macro y micronutrientes. A continuación se muestra como ejemplo del trabajo los resultados de la variación en el contenido de potasio para E. Grandis (FOSA y Colonvade) y E. Globulus (Eufores y Grupo Forestal).

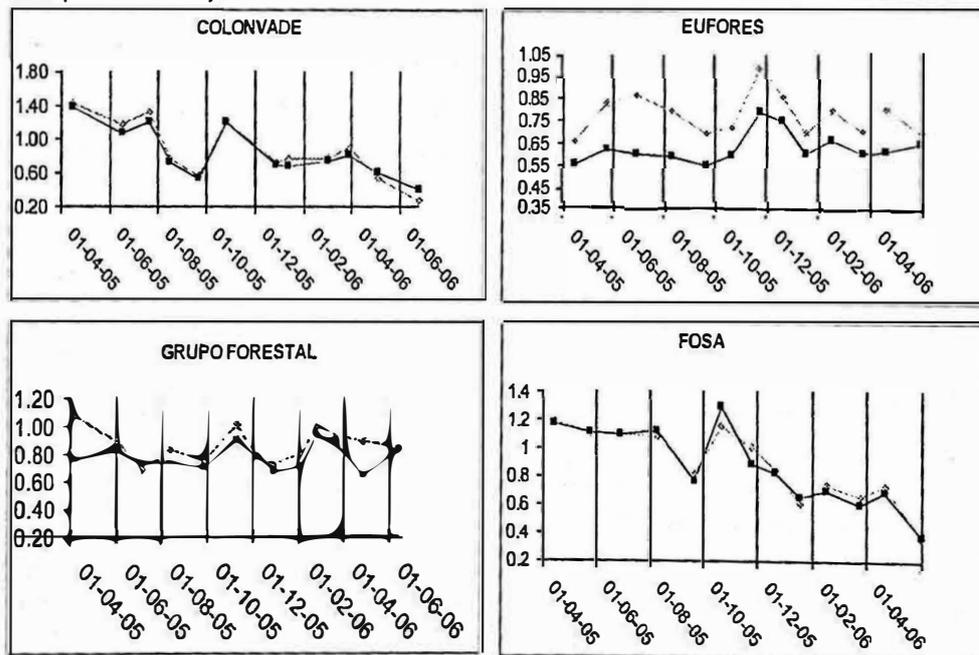


Figura 1. Variación mensual del contenido de potasio en E. Grandis (Colonvade y FOSA) y E. Globulus (Eufores y Grupo Forestal)

Los resultados muestran que la época de mayor estabilidad en contenido de nutrientes es fin de verano-principios de otoño a los 18 meses de las plantas. A partir de los resultados obtenidos se recomienda que los muestreos foliares de Eucaliptos para diagnóstico del estado



nutricional se realicen en el período marzo-abril en plantas de dos crecimientos primavera-verano.

Estado nutricional de plantaciones comerciales. Relevamiento nutricional

Durante marzo - abril de 2007 se muestrearon 30 sitios de plantaciones forestales comerciales de E. Grandis y E. Globulus de las principales zonas de producción del país. En cada sitio, con plantas de aproximadamente 18 meses de edad, se seleccionó un área representativa, de 0.5há con suelo y plantas uniformes. En cada sitio se observó el suelo para asociarlo a una unidad y se tomaron muestras para su análisis.

Se tomaron muestras de hojas, última totalmente desarrollada a media copa, en los cuatro puntos cardinales, para su análisis. En las hojas se analizó N, P, K, Ca Mg, Fe, Mn. Cu Zn y B. Los resultados fueron interpretados con dos criterios: Niveles críticos y Análisis por el método DRIS.

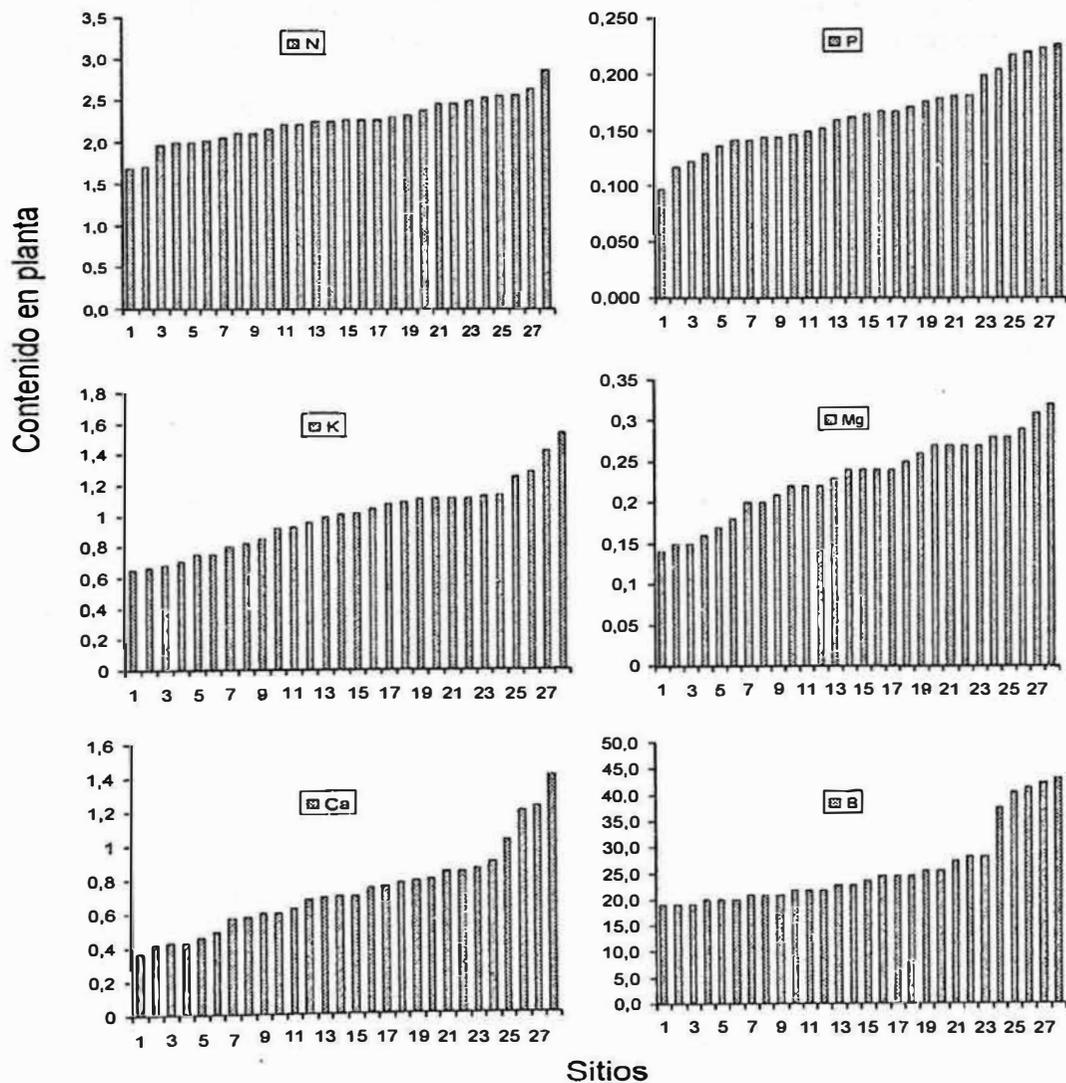


Figura 2. Distribución de los resultados de contenidos foliares de nutrientes en el relevamiento. N, P, K, Mg y Ca expresados en %; B en ppm



En la bibliografía no existe acuerdo en cuanto a la definición de niveles críticos de nutrientes en hojas de Eucaliptos. Por ejemplo para N podría manejarse el nivel crítico en el entorno de 1,2 a 1.8 %, el de P de 0.08 a 0.12 %, y el de potasio de 0.6 a 0.8 %.

Manejando esos entornos de niveles críticos se podría concluir que en prácticamente ninguno de los sitios aparecen niveles de nutrientes como una clara limitante del crecimiento (Figura 2). Algunos pocos casos aparecen en niveles bajos, manejando los datos más altos de posibles niveles críticos.

En el análisis por el método DRIS, ningún sitio de muestreo aparece con resultados que se asociarían a deficiencias de macronutrientes (Figura 3). Esta forma de interpretación de los resultados marca al Boro como el nutriente con más probabilidad de ser limitante. En el caso del Fe, se evidenció que las pautas de Brasil, desarrolladas en suelos muy fuertemente ácidos, parecen no adaptarse para nuestras condiciones.

Otro resultado destacable es que los niveles de Mg aparecen como más limitantes que los de potasio, lo que debe hacer pensar con cuidado la posible fertilización con este último.

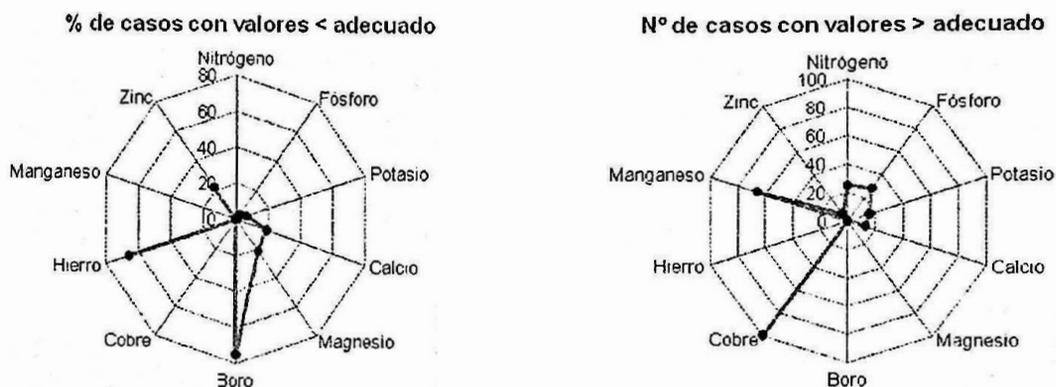


Figura 3. Resumen de los resultados del análisis de los resultados por el método DRIS



RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN LA PLANTACIÓN DE EUCALIPTOS

Ing. Agr. José P. Zamalvide zamal@fagro.edu.uy
Ing. Agr (MSc) Marcelo Ferrando mferrand@fagro.edu.uy

Introducción

Al comenzar los trabajos del Departamento de Suelos y Aguas en la temática de fertilización de Eucaliptos la información nacional en el tema era muy escasa. Se había tomado conciencia de la necesidad de incluir la fertilización en el paquete tecnológico del rubro pero no existían criterios claros para decidir cómo realizarla. Se habían realizado unos pocos ensayos aislados, generalmente sin una metodología adecuada y sin cubrir las distintas situaciones de producción existentes en el país.

Las fertilizaciones se realizaban, en muchos casos, basadas en recomendaciones del exterior, ajustadas para otras condiciones de suelos y producción.

Para generar la información que permitiera desarrollar un sistema de recomendaciones adecuado para el país, se instalaron dos series de ensayos en los períodos 2000-2002 y 2008-2009. En total se instalaron 23 ensayos para cubrir diferentes situaciones de suelo y especies de Eucaliptos.

Ensayos período 2000-2002

Materiales y métodos.

Para los ensayos de respuesta a P se utilizaron diseños sencillos repetidos en muchos sitios. Los ensayos buscan aportar información sobre respuesta y localización del fertilizante. Los suelos utilizados fueron Luvisoles/Acrisoles sobre Areniscas de Tacuarembó, Brunosoles y Argisoles sobre Cretácico y Luvisoles sobre Sierras del Cristalino: Los ensayos se instalaron entre primavera de 2000 y primavera de 2001 En estos ensayos se trabajó con E. Grandis y E. Globulus.

El diseño experimental fue un factorial en parcelas divididas, en bloques. Los tratamientos de parcela grande consistieron en el agregado de 0 o 20 g de Superfosfato triple por metro de fila laboreada (de aproximadamente 1 m de ancho) enterrado con disquera antes del transplante. Los tratamientos de la parcela chica consistieron en el agregado de 0, 60 o 120 g de Superfosfato triple/planta localizado al costado de la planta, al momento de trasplante.

Medidas realizadas

Se midió la altura de todos los árboles centrales de cada parcela al primer y segundo año de edad, y el diámetro a la altura del pecho (DAP), a los dos y tres años de edad.

Se realizaron muestreos de suelo previo a la instalación de los ensayos a una profundidad de 0-20cm. En ellas se determinó pH en agua y en KCl, Materia orgánica, P asimilable por el método Bray N° 1, y Bases intercambiables Ca, Mg, K y Na.

Se realizaron muestreos foliares en marzo-abril, tomándose la última hoja totalmente desarrollada, en ramas de media altura del árbol. Cada muestra se compuso con aproximadamente 40 hojas en diferentes orientaciones del árbol.

En las muestras de hojas se determinaron los contenidos totales de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn y B.



Resultados de medidas en plantas

A fin de hacer los resultados comparativos entre los diferentes sitios, los resultados se expresan como valores relativos, tomando el testigo como 100. Los resultados se expresan en promedios de altura de los árboles de cada tratamiento y como sumatoria de las alturas. La sumatoria está más relacionada al rendimiento pues tiene en cuenta el efecto de plantas faltantes.

Los resultados para altura al primer año y sumatoria de alturas de cada parcela, para el análisis conjunto de todos los sitios, mostraron un significativo incremento por el agregado de P (figura 1). El agregado de fósforo en la banda, a igual dosis localizada, produjo siempre una mayor altura para el promedio de los sitios.

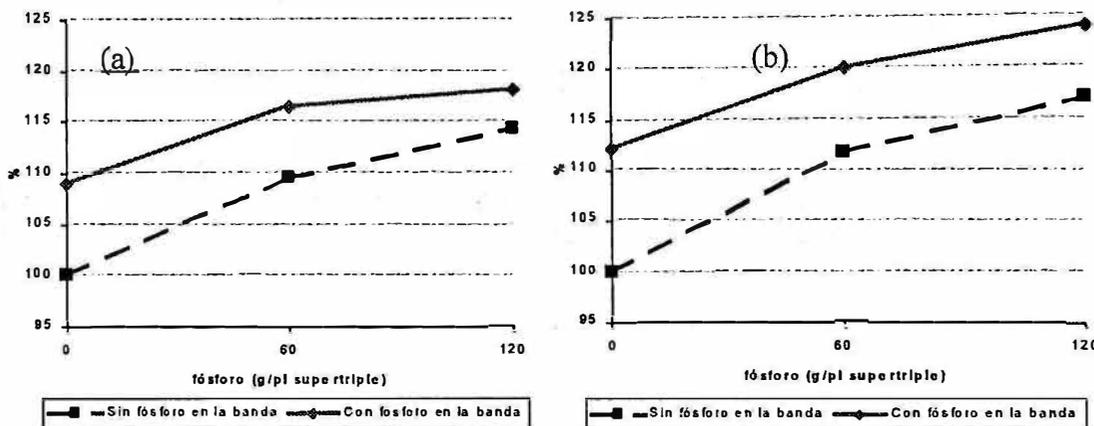


Figura 1: Respuesta en rendimiento relativo de la altura promedio(a) y la sumatoria de alturas (b) al primer año, en función del fósforo agregado, en gramos de supertriple, para todos los sitios. Testigo = 100%.

Del ANOVA conjunto realizado para promedio de alturas para todos los sitios, surge que la respuesta al agregado de P, tanto localizado como en la banda, fue muy significativa, no existiendo interacción entre una u otra forma de aplicación, siendo la respuesta diferente entre sitios (cuadro 1). La interacción triple es significativa lo que indica que la interacción simple es diferente entre sitios.

Fuente	Probabilidad
Sitio	<0.01
P-Banda	<0.01
P-Localizado	<0.01
Banda * Localizado	0.36
Sitio*Banda * Localizado	0.06

Cuadro 1. Resultados del ANOVA conjunto para todos los sitios para el promedio de alturas.

Considerando la respuesta de la altura promedio al fósforo agregado por planta independiente de la forma (banda más localizado), la misma llegó al 18% (figura 2).

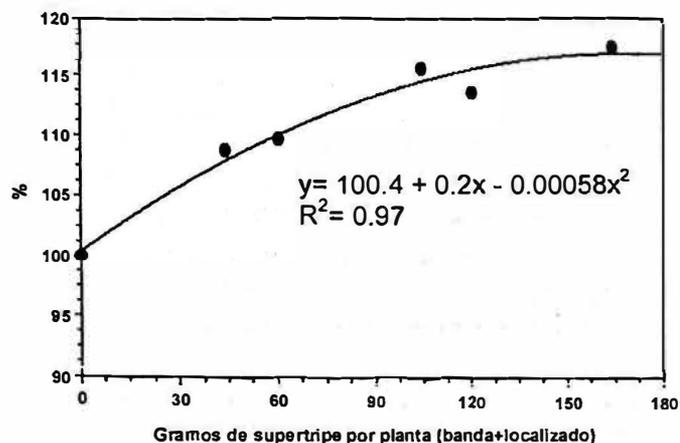


Figura 2: Respuesta en altura relativa al primer año en función del fósforo agregado por árbol (banda más localizado), en gramos de supertripe, para todos los sitios. Testigo = 100%.

Al segundo año, para el análisis conjunto de todos los sitios, el promedio de altura, DAP y volumen estimado por parcela, presentaron aumentos significativos por el agregado de P en forma localizada al costado del árbol, (cuadro 2), siendo significativas las diferencias por agregado en la banda laboreada, solamente para el DAP.

Fuente	Altura	DAP	Volumen
Sitio	<0.01	<0.01	<0.01
P-Banda	ns	0.11	ns
P-Localizado	0.04	0.02	0.02
Banda * Localizado	ns	ns	ns
Sitio*banda*localizado	0.04	ns	ns

Cuadro 2. Resultados del ANOVA conjunto para todos los sitios para el promedio de alturas, DAP y Volumen.

Los incrementos relativos en volumen por el agregado de fósforo (banda más localizado), mostraron un comportamiento similar a la altura al primer año, alcanzando aumentos de hasta un 28% en las dosis mayores (figura 3)

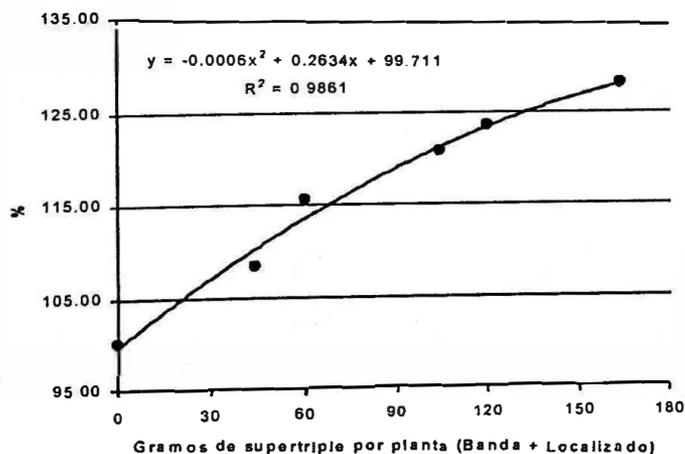


Figura 3: Respuesta en volumen relativo al segundo año en función del fósforo agregado por árbol, en gramos de supertripe, para todos los sitios. Testigo = 100%.



Ensayos instalados en 2008-2009

Entre la primavera de 2008, otoño de 2009 y primavera de 2009 se instaló una nueva serie de 11 ensayos de respuesta al agregado de P en instalación de montes de Eucaliptos. Con esta nueva serie de ensayos se buscaba complementar la información proveniente de los ensayos anteriores con incorporación de la especie E Dunii, el uso de fosforitas reactivas como fertilizante e inclusión de suelos poco estudiados anteriormente.

En términos generales este período de instalación y crecimiento de las plantaciones de eucaliptos, presentó limitantes importantes para obtener poblaciones uniformes de buen crecimiento, motivado por condiciones climáticas y sanitarias.

A los suelos estudiados en la serie anterior se agregaron sitios sobre basalto y Tres Islas. Los diseños utilizados fueron de parcelas divididas en bloques. En parcela grande los tratamientos fueron 0 o 60 g de fosforita reactiva por m. lineal de franja laboreada y en parcela chica 0, 55 o 110 g de Supertriple localizado al costado de las plantas. En el suelo de Basalto se agregó un tercer tratamiento enterrada en la franja laboreada, utilizado una fuente parcialmente soluble de P. Las medidas realizadas en planta fueron: altura a los 6 meses, 1 año y 2 años y DAP a los 2 años. Se tomaron muestras de suelo previo a la siembra y de hojas a los 6 meses y 1 año.

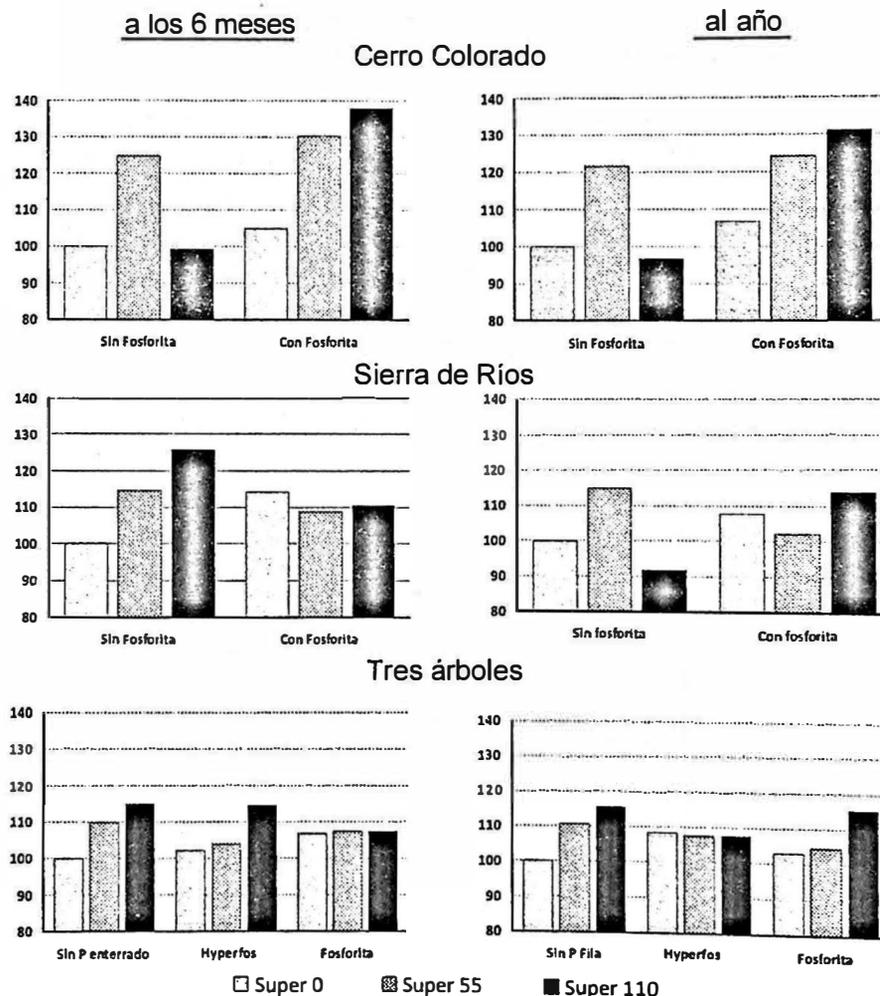


Figura 4: Respuesta al agregado de fósforo en sumatoria relativa de alturas (testigo = 100), para tres sitios, a los 6 meses y 1 año de edad de las plantas.



La información relevada se encuentra en proceso. A título de ejemplo, en la figura 4 se muestran los resultados de medidas en plantas a los 6 meses y 1 año de tres de los ensayos instalados en primavera de 2008.

A pesar de que la información relevada es parcial y no está totalmente procesada, los resultados primarios permiten hacer algunos comentarios. En términos generales la respuesta a P se presenta como similar a la obtenida en la serie de ensayos anteriores, con expectativas de respuesta más frecuentes entre el 10 y 15 % de incrementos de altura en los mejores tratamientos. El uso de fosforita presenta en etapas iniciales de crecimiento una menor respuesta respecto a las fuentes solubles.

Conclusiones generales preliminares:

Para el conjunto de todos los suelos y períodos estudiados, existe una alta probabilidad de obtenerse una respuesta al agregado de P en la instalación de plantaciones de Eucaliptos.

Los incrementos máximos en altura más frecuentes en los primeros años, se encuentran en el rango del 10 al 20% con dosis de fertilización del orden de 50g de P_2O_5 /planta.

La aplicación de P enterrada en la franja laboreada utilizando fuentes solubles puede sustituir, en algunas situaciones, a la aplicación localizada.

La utilización de fosforitas en dosis medias debería complementarse con P soluble localizado, y encararse dentro de un manejo integral de la fertilización.

Los análisis foliares en plantas de 18 meses no suelen mostrar deficiencias claras de P ni diferencias en el estado nutricional entre tratamientos, lo cual indicaría que en esos estadios el aporte de P del suelo aportaría los requerimientos de las plantas.

No existe información suficiente para realizar recomendaciones diferenciales de dosis de acuerdo al nivel inicial de P en el suelo, pues la gran mayoría de las situaciones productivas están en niveles de P muy bajos.



RESPUESTA DE PLANTACIONES DE EUCALIPTOS A LA FERTILIZACION NITROGENADA

Carlos H. Perdomo¹ y Mariana Crucci².

¹Departamento de Suelos y Aguas, Fac. de Agronomía, Universidad de la República Oriental del Uruguay. Garzón 680, Montevideo, Uruguay (chperdom@fagro.edu.uy)

² Ing. Agr, Uruguay.

Introducción y objetivos

El ajuste de la fertilización nitrogenada en eucaliptos debería realizarse en base a indicadores de suelo ó planta, que permitan identificar las situaciones de deficiencia donde sería rentable el agregado de fertilizante. El uso de estos indicadores evita además el agregado de nitrógeno (N) en situaciones de suministro excesivo por el suelo, donde sería más probable la ocurrencia de pérdidas con los consiguientes problemas de polución ambiental que esto ocasiona. Los trabajos anteriores realizados en plantaciones de un año ó seis meses por este autor en proyectos anteriores indicaron que la respuesta a la fertilización nitrogenada dependió del status nutricional de cada plantación, y que el valor de concentración de N foliar puede ser utilizado con éxito para detectar las situaciones con deficiencia (Perdomo et al.2007).

En esta fase del trabajo se extendió esta investigación a plantaciones de 2 años, etapa en la cual de acuerdo a la bibliografía los árboles ya acumularon un alto porcentaje del N total que necesitan para el resto de su crecimiento, y donde por ende existe menor posibilidad de respuesta. A diferencia de la investigación previa, se estudió también la existencia de otras deficiencias nutricionales aparte del N, ya que estas podrían enmascarar la respuesta a este nutriente. La identificación de estas deficiencias se realizó por diversas técnicas de diagnóstico nutricional, con valores o relaciones críticas generadas en otras condiciones de suelo y clima. En estos trabajos se pretendió además determinar que porción del árbol (superior ó inferior) sería más apropiado para realizar el diagnóstico foliar de N y otros nutrientes.

Materiales y métodos

Área de estudio y muestreo.

Se seleccionaron 7 rodales de *Eucalyptus grandis* de dos años de plantación, cuatro perteneciente a la empresa Weyerhaeuser y tres a Forestal Oriental S.A. (Cuadros 1 y 2). Al momento de la plantación, estos rodales habían sido fertilizados con aproximadamente 20 kg/ha de N y 100 kg/ha P. El término rodal se utiliza en lugar de sitio, debido a que algunos ensayos fueron instalados en distintas áreas de un mismo sitio, y el término rodal es usado comúnmente en el ámbito forestal con ese sentido.

En cada uno de estos rodales se seleccionaron en el momento de la instalación 15 árboles (5 por bloque), y de cada árbol se extrajeron al azar 5 hojas jóvenes completamente desarrolladas tanto del tercio superior como del inferior. Seguidamente se instaló un ensayo de respuesta al N (aplicado como Nitrato de Amonio), con un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones, pero con tres dosis de N (0, 50 y 100 Kg/Ha) en los sitios para producción de madera (Weyerhaeuser) y con cuatro (0, 30, 60, 90) en los de pulpa (FOSA). La razón de esta diferencia se debió a que en los sitios destinados a madera el área de las parcelas fue muy superior (900 versus 100 m² en sitios para pulpa), ya que se debe compensar con mayor área la pérdida de árboles por raleo. Este mayor tamaño de parcela, sin embargo, limita el número de dosis a emplear, ya que en algunas predios no es posible encontrar rodales lo suficientemente extensos como para instalar cuatro tratamientos. De todas maneras el rango de dosis de N utilizado fue similar en ambos grupos de sitios.



A los 6 meses de la instalación de los ensayos se hizo un segundo muestreo foliar, en el que se seleccionaron al azar por tratamiento y bloque cinco árboles, seleccionado nuevamente de cada árbol 5 hojas jóvenes completamente desarrolladas del tercio inferior y del superior. A los 12 meses se realizaron en todos los árboles de cada parcela mediciones de altura con un hipsómetro y de diámetro del tronco a la altura del pecho (dap) con una cinta diamétrica. Las fechas de muestreo foliar se resumen en el Cuadro 3.

Los datos de relevamiento nutricional presentados en este informe fueron extraídos de una Tesis de grado realizado dentro de este proyecto por Mariana Crucci. Los datos de rendimiento que aquí se presentan no formaron parte de esta Tesis.

Nuevos ensayos instalados: En la primavera de 2008 se instalaron 3 nuevos ensayos de respuesta a N en sitios de Rocha, Minas y Mercedes. Posteriormente en otoño de 2009 se instalaron en estos mismos sitios 3 ensayos de respuesta a los nutrientes más limitantes según DRIS. Estos resultados se están procesando y algunos de ellos serán presentados en la conferencia.

Cuadro 1. Ubicación y caracterización de los rodales estudiados.

Rodal	Nombre	Dept.	Empresa	Ubicación	Fert. siembra	Marco Plantación
1	Cerro Ponta	Rivera	Weyerhaeuser	31°25'20.20"S 55°42'27.50"W	Por planta	4 x 2.5
2	La Gruta	Rivera	Weyerhaeuser	31°20'43.00"S 55°42'19.70"W	Por planta	4 x 2.5
3	Mangeira	Rivera	Weyerhaeuser	31° 9'45.10"S 55°23'43.50"W	Por planta	4 x 2.5
4	Mª Elvira	Paysandú	Weyerhaeuser	31°45'29.10"S 57°35'47.20"W	Por planta	4 x 2.5
6	Pandule 6	Paysandú	FOSA	32°22'36.00"S 57°26'57.60"W	Por planta	4 x 1.8
7	Pandule 7	Paysandú	FOSA	32°22'36.00"S 57°27'09.00"W	Por planta	4 x 1.8
8	Pandule 8	Paysandú	FOSA	32°21'37.00"S 57°26'12.30"W	Por planta	4 x 1.8

Cuadro 2; Datos analíticos de los suelos de los rodales experimentales.

Rodal	Asoc. De suelo	K	Na	Ca	Mg	MO	Clase Textural
		----- meq/100g-----				%	
1	Tb	0,51	0,32	0,59	0,30	1,85	ArF
2	Tb	0,72	0,42	0,59	0,40	1,55	ArF
3*	Rv	sd	sd	sd	Sd	1,00	ArF/Ar
4	Ch	0,65	0,35	3,3	1,00	2,13	ArF/FAr
6	Alg	0,22	0,32	1,3	0,50	1,63	FAr
7**	Alg	sd	sd	sd	sd	sd	FAr
8	Alg	0,29	0,34	1,89	0,69	1,37	FAr

* Suma de Ca, Mg, Na y K= 0.6 meq/100g.
**Datos similares al Rodal 6.
Fuente: Noble, 2008.

Análisis foliar.

Luego del muestreo foliar las hojas se secaron dentro de bolsas de tela en una estufa de aire forzado a 70°C durante 3 días, molidas y mantenidas en bolsas de nylon hasta el momento de su análisis. Previo al mismo las muestras se secaron nuevamente en estufa a 60 °C durante 2



horas. A una porción de las mismas se le realizó una digestión por vía seca (cenizas) y luego se determinó la concentración de P y B por colorimetría y de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn por Absorción ó Emisión Atómica. En otra porción de las muestras se determinó N por el método Kjeldahl,

Cuadro 3: Fechas en que se muestrearon los distintos rodales estudiados

Rodal	Fecha 1º muestreo (Sin Fertilizar)	Fecha 2º muestreo (Fertilizado)
1	16 de marzo de 2006	31 de agosto de 2006
2	15 de marzo de 2006	31 de agosto de 2006
3	30 de noviembre de 2006	No se muestreo
4	11 de mayo de 2006	29 de noviembre de 2006
6	28 de setiembre de 2006	No se muestreo
7	28 de setiembre de 2006	No se muestreo
8	28 de setiembre de 2006	No se muestreo

Análisis estadísticos.

Para comparar el efecto de la altura de muestreo de copa, se consideró cada posición como tratamiento, aunque obviamente este factor no fue sorteado. La diferencia de concentración de nutrientes entre las hojas de abajo y de arriba (efecto posición) fue analizado por ANAVAs con un diseño de bloques completos al azar, evaluándose además el efecto promedio de la posición (ANAVA conjunto para todos los rodales). En todos lo nutrientes evaluados, el ANAVA prefertilización (momento de la instalación) se basó en las concentraciones originales de los rodales comerciales. El ANAVA post fertilización nitrogenada se basó en las concentraciones de los tratamientos que habían recibido 100 kg/ha de N. Los datos de volumen se analizaron por ANAVAs por rodal y conjunto para todos los rodales (efecto promedio), pero en forma separada para los sitios destinados a la producción de madera y de pulpa. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa estadístico SAS (SAS Institute, 1985). Se realizaron además análisis de regresión puntuales.

Diagnostico nutricional.

Se utilizaron tres técnicas de diagnóstico, niveles críticos, DRIS y relación N/P. La metodología de nivel crítico considera un solo nutriente por vez, distinguiendo las situaciones nutricionales suficientes de las insuficientes en base a un valor límite de concentración. Esta metodología no permite en principio identificar excesos. La metodología DRIS se basa en cambio en establecer relaciones entre todos los nutrientes evaluados, y permite establecer un ranking de insuficiencia a exceso dentro de una plantación. Si se encuentran nutrientes en exceso, no es posible corregir esta situación, en el caso contrario se puede corregir por fertilización. El análisis DRIS fue hecho con el programa Software DRIS versión 1.0 beta experimental disponible en www.potafos.org. La relación N/P es una forma abreviada de DRIS, y se utiliza en regiones como Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica donde la información previa permite asumir que estos son los nutrientes más deficientes, y es una alternativa de bajo costo con respecto al DRIS.

Resultados y discusión

Variaciones de Concentraciones Foliares de Nutrientes

Previo a la aplicación de los tratamientos, la concentración de foliar (NF) en el promedio de los rodales fue mayor en el tercio superior de las hojas, pero luego de la fertilización estos valores aumentaron en ambas posiciones, no siendo diferentes (Cuadro 4). Este resultado indica que, al contrario de lo sugerido en la bibliografía, las hojas de abajo serían mejores indicadores del status nutricional del N, ya que estas muestran indican más claramente la deficiencia, lo que sería esperable ya que este nutriente es móvil dentro de la planta. De todas



maneras, existió una clara relación entre la NF de ambos tercios, tanto pre como post-fertilización (Fig. 1).

Cuadro 4. Concentración de nitrógeno (N) en función de la posición de las hojas en la copa de *E. grandis* pre y post fertilización con N. La fertilización se realizó 2 años post-plantación, y el segundo muestreo 6 meses post-fertilización.

Rodal	Posición de la hoja en la copa			
	Pre fertilización con N		Post fertilización con 100 kg/ha de N	
	Tercio inferior	Tercio superior	Tercio inferior	Tercio superior
	-----N (%)-----			
1	0.89 a	1.26 b	1.94 a	2.10 a
2	1.19 a	1.09 a	2.02 a	2.29 a
3	1.65 a	1.66 a	SD	SD
4	1.03 a	0.91 a	1.70 a	1.58 a
6	1.26 a	1.51 a	SD	SD
7	1.35 a	1.69 b	SD	SD
8	1.67 a	1.69 a	SD	SD
Promedio	1.29 a	1.40 a†	1.89 a	1.99 a†

Letras distintas en la misma fila significan diferencias significativas a $P= 0.05$;
Letras iguales seguidas de † denotan diferencias significativas a $P= 0.10$.
La interacción rodal x tratamiento no fue significativa.

Los patrones de variación que mostraron los otros nutrientes con la posición de muestreo y con la fertilización nitrogenada fueron disímiles, pero en general se observó que los nutrientes inmóviles tendieron a mostrar mayores concentraciones en las posiciones inferiores, y los móviles en las superiores. Por consiguiente, en principio no sería recomendable utilizar el mismo procedimiento de muestreo para diagnósticos nutricionales de diferentes nutrientes.

Diagnostico nutricional

Luego de la fertilización nitrogenada, las deficiencias de N desaparecieron, excepto en el Rodal 4, en el cual de acuerdo tanto al nivel crítico como a la relación N/P dicha deficiencia se mantuvo. En la mayoría de los rodales se observó que luego de la fertilización con N el K fue el nutriente mas deficiente, tanto según el DRIS como de acuerdo al nivel crítico. También se observó que luego de dicha fertilización los rodales estuvieron mas balanceados nutricionalmente. Estos resultados indican que tanto el nivel crítico como el DRIS producen resultados similares, siendo cualquiera de los dos en principio adecuados para identificar deficiencias nutricionales, y que en una primera instancia los límites críticos generados en otras zonas del mundo serían aplicables a Uruguay.

A pesar de la diferencia observada en los valores absolutos de concentración (nutrientes x rodales), los resultados del diagnostico nutricional del tercio inferior del árbol no difirieron mayormente de los del tercio superior. Esto señala que se podrían utilizar las hojas nuevas completamente expandidas del tercio inferior para hacer todos los diagnósticos nutricionales, lo que presenta indudables ventajas prácticas.

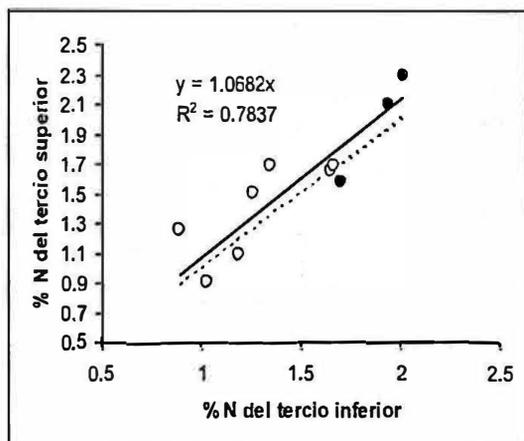


Figura 1. Relación entre la concentración de N de las hojas de tercio inferior y superior de la copa. Los círculos blancos representan todos los rodales antes de la re-fertilización, mientras que los círculos negros representan la concentración de N para la dosis de 100 kg/ha de los rodales 1,2 y 4 luego de la re-fertilización. La línea entera representa la recta de regresión entre ambos tercios, mientras que la línea punteada es la relación 1:1.

Respuesta de los rodales a la fertilización nitrogenada

La respuesta a la fertilización nitrogenada de los rodales destinados a la producción de madera se estudió en forma separada de los destinados a la producción de pulpa, ya que como fue mencionado previamente se usaron conjuntos de dosis de N diferentes en cada grupo y la población también fue diferente.

En los rodales destinados a producción de madera se observó que no existió respuesta al agregado de N cuando se analizó cada sitio en forma individual, excepto en el Rodal 3, en el cual la fertilización tuvo un efecto depresivo de los rendimientos (Cuadro 5). Cuando se analizaron todos los rodales agrupados (efecto promedio de la dosis para este grupo de sitios) tampoco existió respuesta promedio al N. En los rodales destinados a la producción de pulpa tampoco se observó respuesta al agregado de N, ni cuando se consideraron los experimentos en forma individual ni en conjunto (Cuadro 6).

Cuadro 5. Respuesta de rodales de *E. grandis* a la fertilización nitrogenada agregada dos años post instalación. Todos los rodales estaban destinados a la producción de madera.

Rodal	Volumen por N en kg ha ⁻¹			Estadística† (N=efecto nitrógeno, C=contraste)		
	0	50	100	N	C-0-vs-Resto	C-Lineal
	----- (m ³ ha ⁻¹) -----			----- valor de P -----		
1	53,3	53,4	59,0	NS	NS	NS
2	62,0	63,4	62,8	NS	NS	NS
3	67,9	56,7	55,9	NS	0,0487	0,0657
4	49,9	54,4	55,9	NS	NS	NS
Media	58,3	57,0	58,4	NS	NS	NS
Media sin Rodal 3	55,1	57,1	59,2	NS	0,093	0,062

† Los valores de P mayores a 0,10 fueron considerados no significativos (NS). En los ANOVA conjuntos la interacción Rodal x Dosis no fue significativa.

Relación entre la respuesta de los rodales a la fertilización nitrogenada y la concentración de nitrógeno foliar previa a la fertilización.

La relación entre la respuesta en volumen al N y NF se evaluó tanto en términos absolutos (Incremento de Rendimiento) como relativos (Rendimiento Relativo). Los resultados indican que contrariamente a los resultados de los ANAVAs, existió una clara relación entre NF y Respuesta. Además, la mayor respuesta se observó en los sitios con menor NF. Esta relación se observó tanto para las hojas de abajo como las de arriba, pero la misma fue más fuerte con las de abajo. Estas tendencias se observaron tanto en los sitios de pulpa como de madera, pero las formas de las mismas fueron diferentes en cada grupo (Fig. 2). Las razones de estas



diferencias entre grupos posiblemente se deban a que las mayores poblaciones de los rodales destinados a pulpa provocaron una mayor competencia entre árboles por N, lo que derivó de que el rango de NF entre tratamientos fuera mayor en estos sitios. Estos resultados indican de que la concentración de N de las hojas inferiores constituyen un buen índice de respuesta al agregado de N, lo que ya había sido observado en trabajos anteriores (Perdomo et al., 2007).

Cuadro 6. Respuesta de rodales de *E. grandis* a la fertilización nitrogenada agregada dos años post instalación. Todos los rodales estaban destinados a la producción de pulpa.

Rodal	Volumen por N en kg ha ⁻¹				Estadística (N=efecto nitrógeno, C=contraste)			
	0	30	60	90	N	C-0-vs-Resto	C-Lineal	C-Cuadrático
	----- (m ³ ha ⁻¹) -----				----- valor de P -----			
6	90,3	106,4	108,1	107,7	NS†	NS	NS	NS
7	64,5	61,2	71,8	66,7	NS	NS	NS	NS
8	76,5	75,9	71,8	69,1	NS	NS	NS	NS
Media	77,1	81,2	83,9	81,2	NS	NS	NS	NS
Media sin Rodal 8	77,4	83,8	87,2	89,9	NS	NS	NS	NS

† Los valores de P mayores a 0,10 fueron considerados no significativos (NS). E los ANOVA conjuntos la interacción Rodal x Dosis no fue significativa.

Coincidentemente, los dos sitios con tendencias decrecientes de volumen ante el agregado de N fueron aquellos que tenían la concentración más alta de este nutriente (Rodaletos 3 y 8). Por lo tanto, este decrecimiento sería la consecuencia de un agregado excesivo de N. Cuando se eliminaron estos sitios de los ANAVAs conjuntos correspondientes, se observó que en aquellos con destino a madera la respuesta promedio pasó a ser positiva y significativa, mientras que en aquellos destinados a pulpa la significación estadística aumentó pero no llegó a ser significativa (Cuadros 5 y 6). El incremento promedio observado cuando se eliminaron estos dos rodaletos fue de 8% en el caso de los sitios para madera y de 16% para aquellos destinados a pulpa. Estos incrementos pueden parecer bajos, pero en otros países se ha observado que la respuesta a una aplicación simple de N tiende a aumentar con el crecimiento de los árboles, incluso hasta la edad de cosecha (10 ó más años).

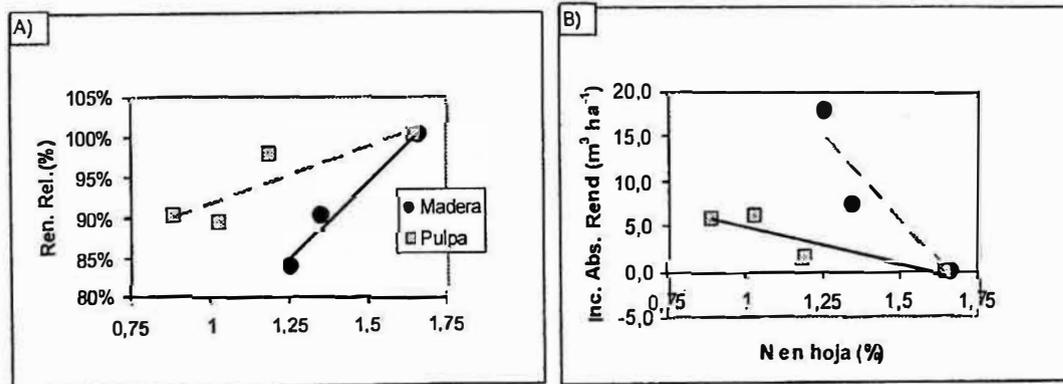


Figura 2. Relación entre la concentración de N en las hojas inferiores de *E. grandis* y la respuesta relativa (A) ó absoluta (B) de volumen al agregado de N 2 años post-instalación. La respuesta relativa se estimó con el Rendimiento Relativo (Ren. Rel.) y la absoluta con el Incremento Absoluto de Rendimiento (Inc. Abs. Rend.).

Conclusiones

De acuerdo a lo esperado, los valores de concentración de los nutrientes inmóviles fueron mayores en las posiciones inferiores de la copa del árbol, y los de los móviles en las superiores. Por consiguiente, no sería recomendable utilizar la misma zona de muestreo para realizar



determinaciones de diferentes nutrientes. Sin embargo, si por razones prácticas se debe hacerlo, sería preferible utilizar el tercio inferior.

Los diagnósticos nutricionales realizados identificaron que la mayoría de los sitios como deficientes en N, pero luego de la fertilización nitrogenada estas deficiencias desaparecieron mayormente, lo que demuestra el valor de estos índices. Se observó además que luego de esta fertilización la mayoría de los rodales estuvieron nutricionalmente más balanceados. Las diferentes metodologías de diagnóstico foliar evaluadas produjeron en general resultados concordantes, aunque existieron algunas excepciones

En los ensayos de respuesta realizados, se observó que de acuerdo a los ANAVA's, ninguno de los rodales respondió positivamente en volumen al N, y que el único rodal con respuesta significativa mostró una caída del rendimiento por la fertilización. Sin embargo, los análisis de regresión indicaron que cuando se agruparon los sitios con respuesta positiva ésta fue significativa en el grupo destinado a madera y casi significativa en el grupo destinado a pulpa. Los incrementos de rendimientos fueron respectivamente de 8% y 16% en cada caso. De acuerdo a lo esperado, los sitios con respuesta negativa fueron los que tuvieron los valores superiores de NF. Además, los análisis de regresión realizados indicaron que aun en esta etapa tardía existió una relación clara entre los valores de NF y respuesta, por lo que este índice podría ser usado con éxito en plantaciones comerciales para identificar situaciones donde podría justificarse el agregado de este nutriente.

Referencias

- Crucci, M. 2007. Evaluación de DRIS y nivel crítico en el diagnóstico nutricional de *Eucalyptus grandis*. Tesis de Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay.
- Noble, K. 2008. Efecto de la fertilización nitrogenada en el pH y en aluminio intercambiable del suelo en plantaciones de eucaliptos. Tesis de Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay.
- Perdomo, C; J. Durán y P. Llovet. 2007. Soil and plant indices for predicting eucalypt response to nitrogen in Uruguay. Soil Science Society of American Journal. 71: 1708-1718.



FERTILIZACIÓN BORATADA DE EUCALYPTUS

Ing. Agr. (M.Sc) Marcelo Ferrando, Ing. Agr. José Zamalvide
Facultad de Agronomía – UDELAR. Av. E. Garzón 780. Montevideo, Uruguay
mferrand@fagro.edu.uy

Introducción

Los eucaliptos en Uruguay ha presentado un buen crecimiento y adaptación a las condiciones edafoclimáticas del país. No obstante, en algunas situaciones (especialmente en suelos desarrollados sobre Basamento Cristalino, Areniscas Cretácicas y Areniscas de Tacuarembó), se han observado síntomas de deficiencias de boro (B).

El B es un oligoelemento esencial para el desarrollo de las plantas, su deficiencia es más común que la deficiencia de cualquier otro micronutriente, y ha sido reportada en 132 cultivos comerciales en más de 80 países (Shorrocks, 1997). Al igual que otros micronutrientes, se requieren bajas concentraciones de B para el crecimiento de las plantas, pudiendo el mismo ser tóxico cuando las concentraciones son altas. Si bien es esencial para las plantas superiores y algunas algas, el B no es necesario para los animales, los hongos, o los microorganismos.

Una adecuada nutrición boratada es necesaria no sólo para obtener altos rendimientos, sino también, en algunos casos, para evitar pérdida de calidad de los cultivos. La falta de B causa cambios anatómicos, fisiológicos y bioquímicos, la mayoría de los cuales tiene además efectos secundarios en el crecimiento de las plantas. También ha sido demostrado que la aplicación de B aumenta la resistencia a las heladas (Cooling y Jones, 1970).

La deficiencia de B en árboles ha sido asociada tanto a las características de los suelos como a factores climáticos. La poca retención del ácido bórico en el suelo, baja reutilización en la mayoría de las plantas, movimiento interno muy dependiente de la transpiración, entre otros, dificultan la prevención y la corrección de las deficiencias. El conocimiento y entendimiento de los factores que afectan la disponibilidad de B en los suelos y su dinámica en suelo y planta, es imprescindible para lograr un manejo adecuado de este nutriente en cada situación específica. Para un manejo adecuado de la nutrición boratada, es necesario considerar además, los diferentes contenidos y solubilidad de los fertilizantes boratados (dependiendo de su origen, presentación y del suelo sobre el que se aplica) en relación a suelos y cultivos.

Un manejo adecuado de la fertilización (tipo de fertilizante, forma y dosis de aplicación), ayudaría a minimizar los problemas que se pueden presentar en momentos coyunturales como: baja evapotranspiración con alto crecimiento, épocas de sequía o períodos posteriores a lluvias muy lixiviantes. El uso de fertilizantes de liberación lenta permitiría mantener niveles de B en la solución del suelo por más tiempo y disminuir dichos problemas, a la vez de tener un menor costo que los productos de síntesis, altamente solubles. Se presenta un resumen de distintos trabajos realizados a partir del año 2005 con el objetivo de evaluar los cambios de disponibilidad en el tiempo del B proveniente de diferentes fuentes (SB: Solubor®; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 20,5% B; y LBF50: borato base ulexita, $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, 17,6% B), dosis y formas de aplicación de fertilizante boratado, a través de los cambios en los contenidos foliares, disponibilidad en el suelo e indicadores rendimiento de *E.globulus* [*Eucalyptus globulus* (Labille)], *E.grandis* [*Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden)], y *E.dunni* [*Eucalyptus dunni* (Maid)], en distintas situaciones de suelos y manejo.

Ensayos instalados y trabajos realizados

Durante el año 2005, en 8 sitios experimentales del Uruguay (zonas de Rivera, Tres Bocas, Algorta, Paso Palmar y Rocha), se instalaron 12 experimentos de campo de tres diferentes tipos: **1)** comparación entre fuentes boratadas (SB vs LBF50), aplicadas en cobertura, a árboles



con 6 meses de transplantados; **2)** respuesta a la aplicación de LBF50 en dosis de 0, 2, 4, 6 y 8 g de B por planta, en cobertura, en árboles con 6 meses de transplantados; y **3)** respuesta a la aplicación de LBF50 en dosis de 0, 3, 6, 9 y 12 g de B por metro lineal, incorporado en la faja laboreada previo al transplante.

Se evaluaron los contenidos foliares de B a los 6, 12 y 24 meses de la fertilización en los experimentos tipo 1 y 2, y a los 6 y 18 meses de la fertilización en los experimentos tipo 3. Se midió también altura al 1^{er} y 2^o año, y diámetro a la altura del pecho (DAP) al 2^o año, estimándose con estos datos el volumen de madera.

A partir del año 2008, en una segunda etapa de investigación en este tema, se instalaron 9 nuevos experimentos, en este caso de evaluación de la residualidad de las fuentes de liberación lenta (Ulexita con 12% de B), con o sin refertilizaciones. Los sitios se encuentran en las zonas de Tres Árboles, ruta 3 y 20, Greco y cercanías de Algorta (Río Negro), Cerro Colorado (Florida), Rivera, Sierra de Ríos (Cerro Largo), y Zapicán (Lavalleja). En cada uno de estos sitios se instalaron ensayos de estrategia de manejo de la fertilización boratada con diseños en bloques completos al azar con 4 repeticiones. Los tratamientos incluyen distintos momentos de fertilización boratada (con y sin fertilización al transplante, refertilizaciones anuales, refertilizaciones bianuales), con dosis de 4 kg/ha de B.

Los trabajos realizados hasta el momento en estos nuevos experimentos incluyen: muestreo de suelo a la instalación y a los 6, 12 y 18 meses; muestreos foliares a los 6, 12 y 18 meses del transplante y medida de altura a los 12 meses. Se realizaron además ajustes de metodologías de análisis de contenido de B en fertilizantes y de disponibilidad de B en suelos. Se prevé continuar muestreando hoja y suelo, medir altura y DAP a los 2 y 3 años, y evaluar daño por deficiencia de B.

Resultados y Discusión

En la primera etapa (2005-08) no se encontraron contenidos foliares en el rango considerado como de deficiencia de B ($<10 \text{ mg.kg}^{-1}$ para *E. globulus*, $<8 \text{ mg.kg}^{-1}$ para *E. grandis*, árboles de 1-5 años, Boardman et al., 1997), lo que podría deberse a que en el período de estudio no se habrían dado condiciones que favorecieran su aparición.

Comparación de fuentes: Solubor contra LBF50

Si bien los contenidos foliares de B en los tratamientos fertilizados disminuyen con el tiempo, en el promedio de todos los sitios/muestreo, las plantas fertilizadas tenían significativamente más B que los testigos (figuras 1 y 2). Comparando entre fuentes, en el promedio de todos los sitios/muestreo se observa una tendencia (aunque no significativa) a mayores contenidos foliares en las plantas fertilizadas con U respecto a las que recibieron SB.

Los contenidos de B en las plantas de los tratamientos fertilizados con este nutriente, indicarían que ambas fuentes presentaron una buena disponibilidad para las plantas en los dos años posteriores a la aplicación, con contenidos que tienden a ser mayores cuando se aplicó U. Contrariamente a lo esperado, esta fuente se comportó de manera similar a SB en cuanto a solubilidad. Probablemente la acidez de los suelos ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ entre 5,33 y 4,45) influyó de manera importante en la solubilización de la fuente menos soluble. De todos modos, los contenidos foliares mayores (aunque no siempre significativos) en las plantas fertilizadas con U pueden ser relacionados a una liberación más continua en el tiempo. La residualidad de la U (evaluada a partir de los contenidos foliares), sería similar al SB, concordando con lo expresado por Shorrocks (1997) respecto a la solubilidad de las ulexitas en los suelos de Brasil.

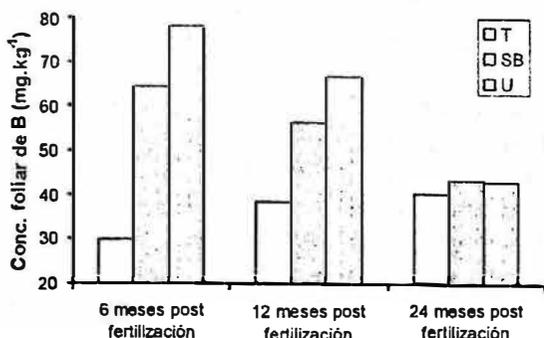


Figura 1. Concentración foliar de boro promedio de todos los sitios, en tres momentos de muestreo. T: Testigo; SB: Solubor y U: LBF50.

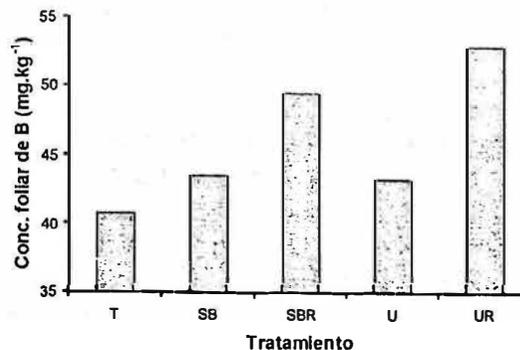


Figura 2. Concentración foliar de boro promedio de todos los sitios a los 24 meses post fertilización y 12 post refertilización. T: Testigo; SB: Solubor; SBR: Solubor Refertilizado; U: LBF50; UR: LBF50 Refertilizado

En el análisis conjunto de las concentraciones foliares en el tercer muestreo (para los sitios 1, 2 y 4), se observó un aumento significativo por la refertilización realizada a los 12 meses de la instalación.

Las medidas realizadas de altura y DAP al segundo y tercer año no presentaron diferencias significativas que pudieran asociarse a los tratamientos.

Respuesta a la aplicación de LBF50

El análisis conjunto de todos los sitios mostró incrementos lineales y significativos en los contenidos foliares de las plantas fertilizadas en función de la dosis, para las distintas fechas de muestreo (figuras 3 y 4). El comportamiento de U similar a una fuente soluble, se evidenció en los aumentos de los contenidos foliares en todos los experimentos, aún cuando la aplicación fuera realizada en cobertura (experimentos Tipo 1 y Tipo 2). Posiblemente la existencia de diferente granulometría dentro del fertilizante hizo que existiera diferente solubilidad. El aumento lineal de los contenidos foliares de B en función de las diferentes dosis de fertilizante a los pocos meses de la aplicación, permite ver la rápida disponibilidad de este nutriente en esta fuente y la facilidad de absorción por parte de las plantas.

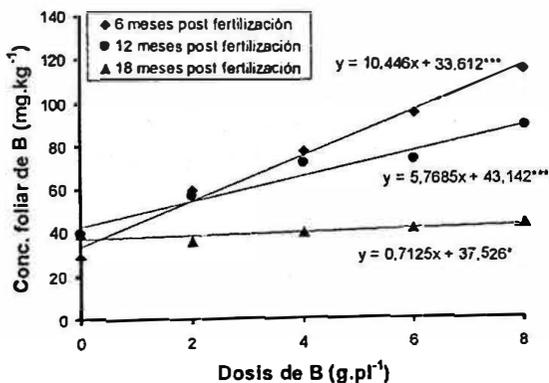


Figura 3. Concentración foliar de boro en función de la dosis agregada para el promedio de los sitios, en tres diferentes momentos (experimento tipo 2).

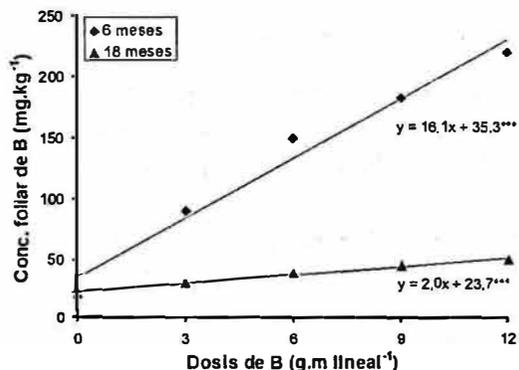


Figura 4. Concentración foliar de boro en función de la dosis agregada, para el promedio de los sitios, en dos momentos de muestreo (experimento tipo 3).



En todos los casos se observó un aumento lineal en los contenidos foliares con las diferentes dosis de B aplicadas, no mostrando caída aún con las dosis mayores. Las dosis más bajas (entre 2 y 6 g de B por planta dependiendo del tipo de experimento) parecerían ser suficientes para alcanzar niveles foliares que podrían considerarse de suficiencia (12 a 50 mg.kg^{-1} y 15 a 30 mg.kg^{-1} para *E. globulus*, y *E. grandis* respectivamente, para árboles de 1-5 años, según Boardman et al., 1997). Las plantas con altos contenidos foliares de B (mayores a 80 a 100 mg.kg^{-1}) mostraron claros síntomas de toxicidad, llegándose a observar muerte de árboles. Al año del trasplante, si bien disminuyeron los contenidos foliares, todavía se observó residualidad de la fertilización. Luego de 24 meses de la aplicación, los contenidos foliares de los tratamientos fertilizados disminuyeron hasta valores que no se diferenciaron significativamente de los testigos, manteniéndose igualmente dentro del rango de suficiencia.

En sitios con bajos contenidos foliares, se observó una tendencia a incrementar el volumen de madera al 2º año ($P < 0.10$) hasta una dosis cercana a los 5 g B por pl, luego de lo cual caería el rendimiento. Para el resto de los sitios las diferencias en altura y/o volumen no fueron significativas. Altos contenidos foliares, se asociaron con disminuciones en la altura y volumen promedio de los árboles al 2º año.

Manejo de la fertilización

A diferencia del período anterior, en algunos sitios experimentales instalados en 2008 (Rivera y Sierra de Ríos) se constataron contenidos foliares que podrían considerarse de deficiencia.

Los resultados obtenidos hasta el momento muestran que una aplicación anual mantendría niveles aceptables en los contenidos foliares (figura 5).

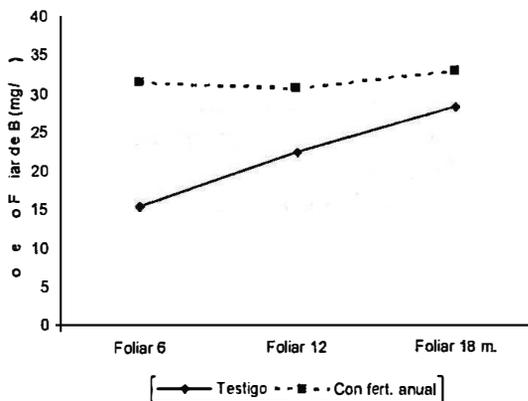


Figura 5. Concentración foliar de boro para dos tratamientos. Promedio de 7 sitios, en tres momentos de muestreo.

En el sitio Rivera se volvió a alcanzar contenidos foliares muy elevados (cerca de 100 mg.kg^{-1}) con la aplicación inicial (al trasplante). Esto redundó en menores alturas al 1º año y hasta muerte de árboles. Aparentemente, la dosis utilizada sería aún alta para este tipo de suelos.

Las diferencias en contenidos foliares de B entre testigos y parcelas fertilizadas fueron significativas en los 2 primeros muestreos. A los 18 meses del trasplante, en todos los sitios, los contenidos foliares de los testigos serían similares a los contenidos de las parcelas fertilizadas.

Esto estaría en concordancia con lo reportado por Savory (1962), quien afirma que si la deficiencia no es muy severa, la planta puede retomar su crecimiento normal. Los aumentos de los contenidos foliares de B en las parcelas testigo posiblemente son debidos a una mayor exploración radicular luego de que la planta adquiere un cierto tamaño y al reciclaje de B a través de las hojas muertas. De confirmarse estas tendencias iniciales, podría ser suficiente una aplicación inicial para mantener cierto nivel en el suelo hasta que el árbol logre una exploración



importante del suelo. Debe tenerse en cuenta que las deficiencias (aún cuando sean momentáneas), como producen deformaciones permanentes, pueden ocasionar pérdidas importantes en rendimiento y calidad, especialmente en montes para aserrado (Bell et al., 2002).

Referencias Bibliográficas

- BELL, R.W.; DELL, B.; HUANG, L. (2002). Boron requirements of plants. En: Boron in Plant and Animal Nutrition. New York, USA: Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp.63-85.
- BOARDMAN, R.; CROMER, R.N.; LAMBERT, M.J. and WEBB, M.J. 1997. Forest Plantations. En: Plant analysis, an interpretation manual. 2ª ed. D. J. Reuter, J. B. Robinson (ed.). Collingwood: CSIRO, Australia. pp 505-561.
- COOLING, E.N.; JONES, B.E. 1970. The importance of boron and NPK fertilizers to Eucalyptus in the Southern Province, Zambia. East African Agricultural and Forestry Journal 36(2): 185-194.
- SAVORY, B.M. 1962. Boron deficiency in Eucalyptus in Northern Rhodesia. Empire Forestry Review 41(2): 118-26.
- SHORROCKS, V. M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. Plant and Soil 193:121-148.