# EFECTO DE LOS RESIDUOS VEGETALES PROVENIENTES DE DOS TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS EN UNA PLANTACIÓN DE Pinus radiata D. DON SOBRE LOS CAMBIOS ESTACIONALES DE LAS ACTIVIDADES **BIOLÓGICAS DEL SUELO**

Effects of vegetal residues from two sylvicultural treatments in *Pinus radiata* D. Don plantation on seasonal changes of the biological activities of soil

> Marvsol Alvear, Marcia Astorga, Francisco Reves Universidad de La Frontera, Casilla 54-D, Temuco, Chile Correspondencia: alvear.marysol@gmail.com

**Keywords:** Sylvicultural treatments, microbial biomass, enzyme activities, *Pinus radiata*.

#### Abstract

The impact of plant residues of sylvicultural treatments on nutrient dynamic in forest soils is not well known. It is necessary to determine the effect of prunning and thinning residues left on soil surface because it has direct effects on physical-chemical properties and microbial activities. The aim of this study was to quantify and compare the effect of prunning and thinning treatment of a plantation of *Pinus radiata* D. Don on biological activities measured after 10 year of managements in winter and spring time. This was conducted on an Ultisol and the following measuring was conducted: Fluorescein diacetate hydrolysis (FDA), microbial biomass carbon (CBM), microbial biomass nitrogen (NBM) and the enzymes carboxymethyl-cellulase (CMC-ase), β-glucosidase (βG-ase) and acid phosphatase (AP-ase). The results showed that the FDA and NBM were significantly greater (p< 0.05) in pruning than in thinning in winter time. However, CBM as well as CMC-ase and BG-ase did not present differences either with the exception of AP-ase. because of P availability and pH favored the phosphatase activity. In spring, CMC-ase, βG-ase and AP-ase did not present significant differences in prunning treatment considering seasonal changes, as not well as thinning treatment. Between sylvicultural treatments, were significantly greater (p<0.05) in prunning than thinning treatment. Soil moisture and litter accumulation were determinant for regulatory control of biological activities. However other factors should be considered. Sylvicultural waste managements in this type of ecosystem require further study considering various environmental and anthropic effects.

Palabras clave: manejos silvícolas, biomasa microbiana, actividades enzimáticas, Pinus radiata.

#### Resumen

El impacto de los residuos vegetales provenientes de manejos silvícolas sobre la dinámica de nutrientes en suelos forestales es aún desconocida. Es necesario determinar el efecto de los residuos provenientes de la poda y el raleo dejados sobre la superficie del suelo, ya que tienen un impacto directo sobre las propiedades físico-químicas y en las actividades microbianas del suelo. El objetivo de este estudio fue cuantificar y comparar el efecto de residuos vegetales provenientes de dos tratamientos silvícolas (poda y raleo) sobre algunas actividades biológicas medidas después de 10 años de manejo en invierno y en primavera. Este fue realizado en un Ultisol plantado con *Pinus radiata* D. Don. Nosotros determinamos: la hidrólisis de la fluoresceína diacetato (FDA), el carbono y nitrógeno biomásico (CBM y NBM, respectivamente) y la actividad de las enzimas carboximetilcelulasa (CMC-asa) y β-glucosidasa (βG-asa), ambas involucradas en el ciclo del C, y fosfatasa ácida (P-asa), involucrada en el ciclo del fósforo (P). Los resultados demuestran que la hidrólisis de la FDA y el NBM fueron significativamente mayores (p<0,05) en invierno en el rodal sometido a poda (RSP). Sin embargo, el CBM no presentó diferencias significativas, así como la actividad CMC-asa y βfG-asa no tuvieron diferencias significativas (p>0,05) entre tratamientos, con excepción de la P-asa ácida, favorecida por la mayor disponibilidad de P y el pH del suelo. En primavera, las actividades enzimáticas evaluadas no presentaron diferencias significativas (p> 0.05) en el RSP, a diferencia del rodal sometido a raleo (RSR), considerando la estacionalidad. Entre manejos sí hubo diferencias significativas (p < 0.05), siendo mayores los niveles de actividad en el RSP.

La humedad del suelo y la acumulación de residuos silvícolas fueron determinantes en el control de las actividades biológicas Sin embargo, otros factores podrían ser considerados. El manejo de los residuos provenientes de faenas silvícolas en este tipo de ecosistemas requieren de un mayor estudio, considerando que existen varios factores medioambientales y antrópicos.

### INTRODUCCIÓN

El patrimonio forestal de Chile se compone de alrededor de 13,4 millones de hectáreas de bosque nativo y sobre 2 millones de hectáreas de plantaciones, constituidas en un 71% por Pinus radiata D. Don. El sector forestal es el segundo sector productivo de Chile y Pinus radiata la especie con mayor establecimiento y manejo, lo que genera gran cantidad de residuos. El rápido crecimiento y el alto volumen de producción del pino radiata (15 a 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año), han sido factores claves en la masificación de la especie (SIF, 2005), generando una gran cantidad de residuos vegetales, correspondientes a acículas, ramas, ramillas, corteza y madera principalmente. La generación de residuos provenientes de distintos tratamientos silvícolas puede generar graves problemas ambientales, además de incertidumbre al no saber qué hacer con estos residuos. Sin embargo, hoy los residuos forestales se están visualizando como una alternativa económica para mantener la fertilidad del suelo e incrementar la productividad (FAO, 2000). El manejo de los residuos sobre el suelo genera un incremento en los niveles de carbono orgánico (CO), mejorando las propiedades químicas del suelo (Ouro et al., 2001), físicas y microbiológicas (Waldrop et al., 2003). La poda y el raleo durante el desarrollo de los árboles son tratamientos silvícola capaces de proveer gran cantidad de residuos vegetales. La poda corresponde a la extracción de ramas con el fin de obtener madera libre de nudos v el raleo, la eliminación de individuos sin las características fenotípicas comerciales para evitar la competencia excesiva por nutrientes, agua y luz. A medida que se acumulan los residuos en el suelo se genera una mayor proliferación de microorganismos por un microambiente favorable en el mantillo (Keenan et al., 1996; Martín et al., 1997). No obstante, las cantidades de residuos para cada manejo son variables y en plantaciones comerciales en Chile la biomasa por unidad de superficie usualmente no es medida.

Los cambios estacionales en la humedad, temperatura, pH y disponibilidad de sustratos por la entrada de CO al suelo provenientes de los residuos vegetales impactan la biomasa microbiana (BM) y la actividad enzimática edáficas (Boerner et al., 2005; Ouro et al., 2001; Mendham et al., 2002; Smithwick et al., 2005). Las actividades biológicas del suelo son consideradas altamente sensibles a los cambios en la calidad del suelo cuando en éste varían las condiciones medioambientales, además de ser indicadores tempranos del impacto de las prácticas de manejo de los sistemas agroforestales (Alvear et al., 2007 a,b; Joergensen y Emmerling, 2006 y Alvear et al., 2005). Nannipieri et al. (1995) agrupó las actividades biológicas en generales y específicas. Las primeras, tales como el CBM y NBM permiten determinar el tamaño de la comunidad microbiana presente en el suelo junto a las funciones ecosistémicas (Franzleubbers et al., 1999: Smith et al., 1992; Alvear et al., 2005; 2007a, b; Joergensen y Emmerling, 2006). En tanto que la hidrólisis de la FDA, permite determinar la biota viva (Green et al., 2006, Alvear et al., 2007a). Por su parte, las específicas están referidas a enzimas hidrolíticas relacionadas con los ciclos biogeoquímicos. Específicamente, CMCasa y G-asa presentan sinergismo en la

degradación de compuestos carbonados asimilados por el suelo; ya que ambas están involucradas en la degradación de compuestos celulósicos y hemicelulósicos. Por su parte, la G-asa, por ser una celobiasa, tiene importancia en la degradación final de la celulosa, consecuentemente aporta D-(+)-glucosa, que sirve como fuente de energía para los microorganismos del suelo. En tanto que la CMC-asa, es la encargada de la degradación inicial de la celulosa, dejando disponible el sustrato que necesita la G-asa (Armas et al., 2007). Por otra parte, la P-asa ácida es capaz de hidrolizar P orgánico a formas inorgánicas, haciéndolo asimilable para las plantas (Yadav y Tarafdar, 2003).

La hipótesis de este trabajo es que el manejo forestal de poda y raleo son factores determinantes en el nivel de actividad biológica. Los volúmenes de biomasa medidos sobre la base de los niveles de cobertura sobre la superficie del suelo pueden ser un buen indicador de las actividades biológicas y enzimáticas. El presente trabajo tiene por objetivos: 1) determinar el impacto de los distintos volúmenes de residuos silvícolas sobre las actividades biológicas y enzimáticas del suelo v 2) explorar como fluctúan los niveles de actividades biológicas y enzimáticas en invierno y primavera.

#### MÉTODOS MATERIALES Y

#### Características del sitio

El área de estudio corresponde a un predio ubicado en el fundo La Envidia, propiedad de Forestal Mininco S.A. (38° 38' L. S. y 72° 34' L. O) en exposición este. La elevación va desde los 150 hasta los 634 msnm. En 1996 se estableció una plantación comercial de 10 ha de Pinus radiata D. Don bajo dos manejos silvícolas; rodal sometido a poda (RSP) de 4 ha con una densidad residual de 1360 árboles ha<sup>-1</sup>. La poda se efectuó cada dos años a partir del cuarto año desde plantación y consistió en la eliminación parcial de las ramas inferiores de los árboles para obtener madera libre de nudo. El segundo tratamiento fue un rodal sometido raleo (RSR) de 6 ha con una densidad residual de 1120 árboles ha<sup>-1</sup>. Este tratamiento consistió en la extracción de los árboles defectuosos para mejorar las características de la masa residual. Los raleos se realizaron cada tres años a partir del tercer año de establecimiento. En ambos tratamientos se dejaron residuos sobre la superficie del suelo. En el RSP los residuos fueron mezclados una vez al año a partir de la última poda con el fin de oxigenar las pilas para su rápida degradación. En el caso de los residuos dejados por el raleo, una fracción de la biomasa fue extraída para disminuir su volumen y el resto se mezclo para apurar la descomposición de las pilas. Estos manejos están recién incorporándose en Chile como alternativas sustentables para la producción (FAO, 2000). La plantación se estableció sobre un suelo Ultisol (Soil Survey Staff, 1996) con niveles de MO de 5 % y pendiente entre el 20 y 30 %. Estos suelos se encontraban bajo altos niveles de erosión (CIREN, 2001) al momento de la plantación. El clima del sector es de tipo templado-húmedo con influencia mediterránea. La precipitación media anual alcanza los 1.400 mm y la temperatura media anual los 12°C. Las lluvias se distribuyen principalmente en invierno, dejando 1 ó 2 meses de seguía en el verano.

#### Estimación del volumen de residuos

El volumen de los residuos fue estimado a partir de 40 observaciones en terreno para el RSP y de 60 para RSR. Para esto se estableció una grilla regular en transectos de 100 m en dirección Este y de 10 m en dirección Sur, de manera que por cada 25 m<sup>2</sup> (5 x 5m) se realizó una observación. La cobertura se estimó en forma visual entre 0 y 100 % con el apoyo de fotografía digital en cada cuadrante de la grilla. La cobertura correspondió al valor promedio de todas las observaciones. El porcentaie de cobertura medido para RSP fue de 70  $\pm$ DS % v para  $RSR < 30 \pm DS$  %.

## Recolección de las muestras de suelo v diseño experimental

Se recolectaron diez muestras de suelo, en cada maneio v por cada estación de invierno y primavera de 2005. Esto se logró a través de un muestreo aleatorio dirigido, ya que fue posible identificar individualmente a todas las unidades de la población teniendo en consideración que la selección de las unidades son representativas de ésta, en un diseño factorial de 2 x 2. Los factores correspondieron a la acumulación de residuos provenientes de los dos manejos silvícolas y la estacionalidad. Las muestras fueron tomadas 0-15 cm de profundidad en las dos estaciones y luego fueron tamizadas por 2 mm y guardadas a 4° C hasta su posterior análisis. Para la determinación de humedad del suelo, se realizó a partir de las muestras de suelo, en 10 puntos dentro de cada rodal, las que se hicieron en duplicado, de manera tal de obtener un resultado lo más representativo de éste parámetro físico del suelo, para cada tratamiento, debido a su rápida variación y/o dispersión. Todos los resultados fueron expresados sobre la base de peso seco 105 °C. A cada muestra se le realizó tres repeticiones.

El análisis químico de los suelos se realizó según la Norma Chilena descrita por Sadzawka et al. (2004). Algunas propiedades se muestran en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis químico de un Ultisol bajo una plantación de Pinus radiata, 0-15 cm de profundidad, dos tratamientos silvícolas en dos estaciones.

Table 1. Chemical Analysis of an Ultisol under a pine plantation (Pinus radiata), 0-15 cm depth soil, under two sylvicultural treatments and seasonal changes.

	RSP		RSR	
	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera
P (mg/kg)	8	9	4	3
K (mg/kg)	386	414	300	234
S (mg/kg)	7	8	9	9
$pH(H_2O)$	5,1	5,6	4,8	5,2
MO (%)	17,6	19,2	7,9	8,5
K (cmol+/kg)	0,99	1,06	0,77	0,60
Na (cmol+/kg)	0,15	0,14	0,15	0,12
Ca (cmol+/kg)	5,4	6,4	3,8	4,5
Mg (cmol+/kg)	1,47	1,35	1,54	1,61
Al (cmol+/kg)	0,11	0,04	0,40	0,27
Saturación Al (%)	1,4	0,4	5,9	3,8
CICE (cmol+/kg)	8,1	9	6,9	7,1
Suma de Bases (cmol+/kg)	7,9	8,9	6,3	6,8
Humedad (%)	68,7	38,6	75,6	24,7

Se hicieron las siguientes determinaciones analíticas:

#### Hidrólisis de la FDA

Se realizó según la metodología descrita por Alvear et al. (2007a). Se incubaron 1,5 g de suelo a 25° C durante 60 min. Luego de filtrar se midió en el espectrofotómetro a 490 nm. Los resultados se expresaron como µg fluoresceína g-1, ya que éste compuesto químico se genera por hidrólisis de lipasas y esterasas provenientes de los microorganismos vivos (Schnürer y Roswall, 1982).

## Carbono y nitrógeno biomásico

Se midió según el procedimiento de fumigación-extracción de Vance et al. (1987). El flujo de nitrógeno asociado a la biomasa se determinó de forma general a partir del nitrógeno reactivo a ninhidrina, siguiendo la técnica colorimétrica de Joergensen v Brookes (1990). Se levó a una absorbancia de 570 nm.

### Actividad carboximetilcelulasa

Se utilizó el método de Schinner y von Mersi (1990), empleando carboximetilcelulosa como sustrato. La actividad de la carboximetilcelulasa se expresó en umoles de glucosa g-1 suelo.

#### Actividad \( \beta\)-glucosidasa

Se evaluó según Alvear et al. (2007a). Un g de suelo se hizo reaccionar con pnitrofenil-β-glucopiranósido, para medir espectrofotométricamente El p-nitrofenol (PNF) liberado en la reacció n a 400 nm. La actividad de la enzima se expresó en umoles PNF g-1 h-1.

#### Actividad fosfatasa ácida

Para esta evaluación se procedió de acuerdo al método descrito por Álvear et al. (2007a). utilizando como sustrato de la reacción p-nitrofenilfosfato, el producto de la reacción PNF, se determinó espectrofotométricamente a 400 nm. La actividad de la enzima se expresó como umoles de PNF g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

#### Análisis Estadístico

Las variables de estudio fueron sometidas a la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov para verificar supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. A las variables que presentaron tales supuestos se les realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar si existían diferencias significativas entre las actividades biológicas de acuerdo con los factores considerados, con un nivel de significancia de p<0,05. Los datos que no cumplieron con tales supuestos fueron transformados mediante la función de logaritmo natural y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para determinar si existían diferencias significativas con un nivel de significancia p<0.05. El nivel de correlación entre las actividades biológicas se hizo mediante la prueba de Pearson con un nivel de significancia de 95% (p<0.05) y de 99% (p<0,01). Para realizar los cálculos para el análisis estadístico se utilizó la versión de prueba del software estadístico SPSS 11.0 para Windows.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características generales

Después de 10 años de manejo intensivo, el suelo bajo ambos rodales presentaron diferencias significativas en sus contenidos de MO, considerando que ambos tratamientos presentaron 5 % MO inicial (Espinosa)<sup>1</sup>. Así, el RSP presentó un contenido de MO entre 17 y 19 %, mientras que el RSR presentó un contenido de MO entre 8 v 9 %. Los valores de pH en ambos rodales indicaron que son suelos moderadamente ácidos. Aun cuando los niveles de humedad fueron medidos solamente cuando se tomó la muestra (Cuadro 1) la acumulación de residuos en el RSP v la humedad de invierno, favorecerían la actividad de los hongos y la secreción de enzimas provenientes de los mismos. Lo anterior se constató a simple vista por una mayor proliferación de hifas por la observación del mantillo en terreno. En general, los suelos en ambos tratamientos presentaron similares valores de suma de bases, porcentaies de saturación de aluminio. contrastando los niveles de humedad. situación similar a la descrita por Elfstrand et al. (2007).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Comunicación personal

### Biomasa microbiana y actividad hidrolítica de la FDA

Para el contenido de CBM, se obtuvieron valores similares en ambos tratamientos (RSP y RSR), en invierno; sin embargo, en primavera los valores obtenidos disminuveron en alrededor de un 30% para el tratamiento con poda y un 48% para el tratamiento con raleo (Cuadro 2). Al evaluar la estacionalidad, tanto en el RSP como en el RSR se observaron diferencias significativas (p<0.05). En tanto, el contenido de NBM en invierno presentó valores más altos en el RSP, mientras que

en primavera los valores para ambos rodales disminuveron, alrededor de un 58%, lo que sugiere un rango similar de reserva de NBM. La hidrólisis de la FDA en invierno, fue superior en el RSP y en primavera disminuyó alrededor de un 85%. Por el contrario, en el tratamiento con raleo no se observaron diferencias significativas (p>0.05) entre estaciones. Ăl comparar ambos tratamientos, hubo diferencias significativas (p<0.05) tanto en invierno como en primavera.

Cuadro 2. Hidrólisis de la FDA, CBM, NBM y relación C:N de la BM de un Ultisol bajo una plantación de Pinus radiata, 0-15 cm de profundidad, bajo dos tratamientos silvícolas v estaciones.

Table 2. FDA hydrolysis, MBC, MBN and C:N biomass ratio of an Ultisol under a pine plantation (Pinus radiata), 0-15 cm depth under two sylvicultural treatments and seasonal changes.

	RSP		RSR	
-	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera
FDA (μg Fluoresceína g <sup>-1</sup> )	8,1 aA	1,2 bA	2,8 aB	2,4 aB
C-biomásico (mg C kg <sup>-1</sup> )	2038 aA	1449 bA	2100 aA	1120ьВ
N-biomásico (mg N kg <sup>-1</sup> )	177 aA	67 bA	123 aB	56 bA
C:Nbiomásico	11 bA	21 aA	17 aB	19 aA

Letras minúsculas distintas en una misma fila y para un mismo tratamiento indican diferencias significativas (p<0,05). Las letras mayúsculas distintas en una misma fila entre tratamientos indican diferencia significativa (p<0,05).

Valores medios de la BM (n = 20)

La extracción de los residuos y/o volteo de éstos genera una disminución en el nivel de cobertura sobre el suelo, permitiendo una mayor incidencia de la radiación solar, un incremento de la temperatura y una mayor evapo-transpiración del suelo, previo al muestreo de primavera. Todo lo anterior, provoca un descenso de la humedad del suelo, disminuvendo significativamente (p<0,05) las actividades biológicas generales evaluadas, resultados que concuerdan con lo reportado por Grayston & Prescott (2005) y Anderson & Domsch (1980). La cantidad de sustratos provenientes de los residuos redujeron, a su vez, significativamente el NBM y el suministro de C que requieren los microorganismos en primavera lo que se refleja en un una disminución de la BM y un aumento en la relación C:N (Cuadro 2) (Li et al., 2004; Li et al., 2003 y Ohtonen et al., 1992). Es posible que las tasas de degradación de la MO se vieran afectadas por esta situación, estableciéndose que una mayor pérdida de la cubierta del suelo genera un descenso de la población fúngica (Singh et al., 1989; Chapela et al., 2001; Grayston y Prescott, 2005) por la alteración de las condiciones microclimáticas y la disponibilidad de C (Hagerman et al., 2001; Kranabetter et al., 2002). En las coníferas la mayoría de las raíces se desarrollan en los horizontes superficiales del suelo (Imbert et al., 2004). Hendrickson v Robinson (1984), sugieren que gran parte del C disponible se encuentra en las raíces finas, en los exudados radiculares y la BM asociada a la rizósfera, por lo que este nutriente disminuye significativamente con una menor cantidad de biomasa radicular y BM activa, principalmente fúngica. Por otra parte, Nsabimana et al. (2004), señalan que al ir degradándose los residuos, se liberan una serie de compuestos, derivados de la celulosa y hemicelulosa, dentro de los cuales se encuentran compuestos fenólicos, los que van siendo incorporados al suelo, y actúan como inhibidores de la actividad microbiana, según las cantidades generadas.

Por último, Zeller et al. (2001), indican que la actividad microbiana está regulada por el pH, el contenido de MO, junto con el transporte de nutrientes y la asimilación de sustratos por parte de los microorganismos en el suelo. En los tratamientos RSP como RSR se evidencia una mayor actividad microbiana en invierno, va que predomina una mayor masa fúngica, favorecida por el pH ácido (Fioretto et al., 2007).

#### Otras actividades enzimáticas

En las tres actividades biológicas específicas evaluadas en cada tratamiento (CMC-asa, βG-asa y P-asa ácida), se observaron diferencias significativas (p< 0.05) entre estaciones (Cuadro 3), obteniéndose valores mayores en el tratamiento RSP.

Las actividades CMC-asa y G-asa en invierno no presentaron diferencias significativas (p>0,05) entre los tratamientos con poda y raleo. No obstante, en primavera, los niveles de ambas actividades enzimáticas. sí descendieron significativamente (p<0,05) en ambos tratamientos evaluados, lo que podría explicarse por los menores contenidos de humedad encontrados en el suelo, lo que provocaría una disminución en la proliferación de hongos micorrícicos y por ende de la secreción de éstas enzimas del ciclo del C. Por otra parte, al mezclar los residuos se favoreció una mayor actividad de CMC-asa y \( \beta \)G-asa, ya que algunos microorganismos celulolíticos están sólo disponibles para degradar la celulosa cuando la lignina ha sido removida (Haider, 1999). Al inicio del proceso de descomposición de la MO, las enzimas celulolíticas aumentarían su actividad, tal como se aprecia en invierno en ambos tratamientos, y después disminuiría con la reducción de la concentración del sustrato hacia primavera (Cuadro 3); vale decir, cuando la celulosa se va degradando y los productos de la reacción van siendo utilizados por la biota del suelo, la actividad enzimática tiende a disminuir (Kourtev et al., 2002).

Cuadro 3. Actividades enzimáticas de un Ultisol bajo una plantación de Pinus radiata, 0-15 cm de profundidad, bajo dos tratamientos silvícolas y estaciones.

**Table 3**. Enzymatic activities of an Ultisol under a pine plantation (Pinus radiata), 0-15 cm depth, under two sylvicultural treatments and seasonal changes.

	RSP		RSR		
	Invierno	Primavera	Invierno	Primavera	
Carboximetilcelulasa (μg glucosa g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	25,9 aA	7,3 bA	23 aA	2,8 bB	
βG-asa (μmol PNF g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	0,08 aA	0,03 bA	0,06 aA	0,02 bB	
Fosfatasa ácida (μmol PNF g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	22,1 aB	18,4 bA	26,2 aA	13,4 bB	

Letras minúsculas distintas en una misma fila y para un mismo tratamiento indican diferencias significativas (p<0,05). Las letras mayúsculas distintas en una misma fila entre tratamientos indican diferencia significativa (p<0,05).

Valores medios de la BM (n = 20)

En cambio, la actividad P-asa ácida es mayor significativamente (p<0,05) en invierno en el RSR, dado que presenta valores de fósforo disponible del orden de un 50% más bajo que lo encontrado en el tratamiento sometido a poda y al existir una menor aporte de sustratos ricos en fosfatos se induce una mayor actividad enzimática, la que además es favorecida por una mayor humedad, resultados que concuerdan con lo encontrado por Criquet et al. (2002); Mendham et al. (2002); (Kähkönen, 2003) y Smithwick et al. (2005). Además, el pH del suelo resultó ser un factor determinante sólo en la P-asa ácida, la que alcanza su mayor actividad entre pH 4.5 a 5.0 en suelos forestales (Vepsälärnen y Nienni, 2002).

La mayor acumulación de residuos en el RSP, establece que los microorganismos y enzimas se concentran en los restos orgánicos de la superficie del suelo y la fracción más fina de éste (Miller et al., 1998), va que es en esta zona donde prevalecen las hifas de hongos y se desarrolla una mayor interacción, pudiendo aumentar la disponibilidad de nutrientes con la mayor secreción enzimática, la que acelera la descomposición de la MO y la mineralización, como por ejemplo la relación existente entre la P-asa ácida y el P orgánico (Imbert et al., 2004).

#### Correlaciones entre variables biológicas

La correlaciones obtenidas entre las actividades biológicas evaluadas, fueron significativas (r 0,63, p 0,01; Cuadro 4), y similares a las descritas por Jiménez *et al*. (2002) y Alvear et al. (2005).

En el proceso de descomposición de la

Cuadro 4. Correlación entre algunas actividades biológicas y enzimas de un Ultisol, 0-15 cm de profundidad en una plantación de *Pinus radiata* D Don, bajo dos tratamientos silvícolas en dos estaciones.

**Table 4.** Correlation coefficients between microbial biomass and some enzymatic activities of an Ultisol under a pine plantation (Pinus radiata D Don), 0-15 depth under two sylvicultural treatments and seasonal changes.

	FDA	СВМ	NBM	CMC-asa	βG-asa	P- asa
FDA	1	n.s.	0.87*	0.69*	0.63*	n.s.
CBM			0.70*	0.82*	0.69*	0.98**
NBM			1	0.86*	0.78*	n.s.
CMC-asa				1	0.79*	n.s.
βG-asa					1	0.73**
P-asa						1

<sup>\*</sup> Correlación de Pearson con un nivel de significancia del 99% (p 0,01).

MO, tanto en el RSP como en el RSR, se van liberando compuestos que son degradados, principalmente, por hongos (Berg y McClaugherty, 2003; Kourtev et al., 2002), lo que sumado a las características de clima y acumulación de residuos, generó una condición de humedad más favorable en RSP, durante el invierno. favoreciendo una mayor síntesis y/o actividad de enzimas por parte de los microorganismos activos, lo que concuerda con la significativa correlación entre las enzimas evaluadas, de origen predominantemente fúngico, y la hidrólisis de la FDA. La P-asa ácida no se correlacionó con la biota activa del suelo, lo que concuerda con lo reportado por Kähkönen (2003), quien señala que la actividad de la fosfatasa es independiente

de la actividad microbiana (Cuadro 4).

La relación C:N de la BM en el RSP indicaría una mayor cantidad de biomasa fúngica (Anderson v Domsch, 1980) v una mayor disponibilidad de N, proveniente de los residuos, lo que tiene directa incidencia en las actividades enzimáticas, principalmente &G-asa (Hayano y Tubaki, 1985), lo que concuerda, a su vez, con la correlación encontrada entre CBM y las enzimas evaluadas (Cuadro 4).

Por otro lado, se observó que el efecto de retroinhibición de los productos de la degradación de la celulosa disminuve la disponibilidad de sustratos. Ambas enzimas del ciclo del C están relacionadas, lo que concuerda con la alta correlación encontrada (r=0,79, P0,01; Cuadro 4).

<sup>\*\*</sup> Correlación de Pearson con un nivel de significancia del 95% (p 0,05).

### CONCLUSIONES

En invierno, existe un mayor aporte de nutrientes al suelo, proveniente de la acumulación de residuos de tratamientos silvícolas, lo que concuerda con los mayores valores obtenidos en las actividades biológicas evaluadas.

En el tratamiento sometido a poda, se generan condiciones medioambientales más favorables para la interrelación entre los microorganismos y la cantidad de sustratos que pueden ser aprovechables.

En primavera, la mayoría de las actividades biológicas evaluadas en ambos tratamientos. disminuyeron significativamente.

El uso de residuos provenientes de tratamientos silvícolas requiere de un mayor estudio, considerando que pueden ser usados como enmiendas orgánicas y pueden tener un efecto beneficioso sobre la dinámica de nutrientes v sustratos para los microorganismos del suelo. Por ello, se requiere continuar con futuras investigaciones, para asegurar una gestión ecológicamente sostenible, preservar la biodiversidad v mantener los procesos ecológicos esenciales, encaminado todo hacia la conservación del recurso suelo, dado el incremento de plantaciones exóticas que hay hoy en día en Chile.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el financiamiento otorgado por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad de La Frontera a través del Proyecto DIDUFRO Nº 120316. A Forestal Mininco S.A. por facilitar las muestras de suelo

# **BIBLIOGRAFÍA**

- ALVEAR M, A ROSAS, JL ROUANET v F BORIE (2005) Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. Soil and Tillage Research. 82:195-202.
- ALVEAR, M., FREYES, A MORALES, C ARRIAGADA y M REYES (2007a) Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-Sur de Chile con perturbación antrópica. Ecología Austral. 17: 113-122.
- ALVEAR, M., C URRA, R HUAIOUILAO, M ASTORGA v F REYES (2007b) Actividades biológicas y estabilidad de agregados en un suelo del bosque templado chileno bajo dos etapas sucesionales v cambios estacionales. Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal. 7(3): 38-50.
- ANDERSON J y K DOMSCH (1980) Ouantities of plant nutrients on the microbial biomass of selected soils. Soil Science. 130:211-216.
- ARMAS CM, SANTANA B, MORA JL, NOTARIO JS, ARBELO CD v RODRIGUEZ-RODRIGUEZ A. (2007) A biological quality index for volcanic Andisols and Aridisols (Canary Islands, Spain): Variations related to the ecosystem degradation. Article In Press. Science of the Total Environment doi:10.1016/j.scitotenv.2007.01.053

- BERG B y C McCLAUGHERTY (2003) Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration. Springer-Verlag, Berlin, pp 1-279.
- BERGER AL, KJ PUETTMANN v GE HOST (2004) Harvesting impacts on soil and understory vegetation: the influence of season of harvest and within-site disturbance patterns on clearcut aspen stands in Minnesota. Canadian Journal of Forest Research 34:2159-2168.
- BOERNER REJ, JA BRINKMAN y A SMITH (2005) Seasonal variations in enzyme activity and organic carbon in soil of a burned and unburned hardwood forest. Soil Biology and Biochemistry 37:1419-1426.
- CIREN (Centro de Investigaciones de Recursos Naturales), (2001) Descripciones de Suelo Materiales y Símbolos. Estudio Agrológico, X Región, Santiago, Chile, p. 408.
- CHAPELA IH, LJ OSHER, TR HORTON y MR HENN (2001) Ectomycorrhizal fungi introduced with exotic pine plantations induce soil carbon depletion. Soil Biology and Biochemistry. 33:1733-1740.
- CORTINA J y VR VALLEJO (1994) Effects of clearfelling on forest floor accumulation and litter decomposition in a radiata pine plantation. Forest Ecology Management. 70:299-310.
- CRIQUET S, S TAGGER, G VOGT y J LE PETIT (2002) Endoglucanase and β-glucosidase activities in an evergreen oak litter: annual variations and regulating factors. Soil Biology and Biochemistry. 34:1111-1120.
- S, ELFSTRAND BATHMARTENSSON A. (2007) influence of various forms of green manure amedment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek. Applied Soil Ecology. 36:70-82.
- FAO (2000) Global forest resources assessment. Rome, Italy. 357 p. (FAO Forestry Paper N° 140).

- FIORETTO A, PAPA S, PELLEGRINO A, FUGGI A (2007) Descomposition dynamics of Myrtus communis and Ouercus ilex leaf litter: Mass loss. microbial activity and quality change. Applied Soil Ecology. 36: 32-40.
- GRAYSTON SJ y CE PRESCOTT (2005) Microbial communities in forest floors under four tree species in coastal British Columbia. Soil Biology and Biochemistry. 37:1157-1167.
- HAGERMAN SM, SM SAKAKIBARA v DM DURALL (2001) The potential for woody understory plants to provide refuge for ectomycorrhizal inoculum at an Interior Douglas-fir forest after clearcut logging. Canadian Journal of Forest Research 31:711-721.
- HAIDER K (1999) Von der toten organischen substanz zum humus. Z Planzenernaehr Bodenkd. 162:363-371.
- HAYANO K v K TUBAKI (1985) Origin and proporties of  $\beta$ -glucosidase activity of tomato field soil. Soil Biology and Biochemistry. 17:553-557.
- HENDRICKSON OQ y JB ROBINSON (1984) Effects of roots and litter on mineralisation processes in forest soil. Plant and Soil 80:391-405.
- IMBERT JB, JA BLANCO y F CASTILLO (2004) Capitulo 17: Gestión forestal v ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante. Editorial Valladares, España. 479-506
- INIA (1985) Suelos Volcánicos de Chile. Editor: Juan Tosso. Santiago. Chile. 657 pp
- JIMÉNEZ M, DE LA PAZ, AM DE LA HORRA, L PRUZZO y RM PALMA (2002) Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. Biology Fertility of Soils. 35:302-306.
- JOERGENSEN R y P BROOKES (1990) Ninhydrin-reactive measurements of microbial biomass in 0,5 M K2SO4 soil extracts. Soil Biology and Biochemistry. 22:1023-1028.

- JOERGENSEN R v C EMMERLING (2006) Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agricultural soils. Plant Nutrition Soil Science, 169:295-309.
- KÄHKÖNEN M (2003) Biodegradation activities in coniferous forest soils and freshwater sediments. University of Helsinki, Department of Applied Chemistry and Microbiology, 80 s.
- KEENAN R, C PRESCOTT, J KIMMINS. J PASTOR v B DEWEY (1996) Litter decomposition in western red cedar and western hemlock forest on northern Vancouver Island, British Columbia. The Canadian Journal of Botany. 74:1626-1634.
- KOURTEV PS, JG EHRENFELD y WZ HUANG (2002) Enzyme activities during litter decomposition of two exotic and two native plant species in hardwood forests of New Jersey. Soil Biology and Biochemistry. 34:1207-1218.
- KRANABETTER JM, R TROWBRIDGE, A MACADAM, D MCLENNAN y J FRIESEN. (2002) Ecological descriptions of pine mushroom (Tricholoma magnivelare) habitat and estimates of its extent in northwestern British Columbia. Forest Ecology and Management 158:249-261.
- LI O, HL ALLEN v AG WOLLUM II (2004) Microbial biomass and bacterial functional diversity in forest soils: effects of organic matter removal, compaction, and vegetation control. Soil Biology and Biochemistry 36:571-579.
- LI Q, HL ALLEN y CA WILSON (2003) Nitrogen mineralisation dynamics following the establishment of a loblolly pine plantation. Canadian Journal of Forest Research. 33:364- 374.

- MARTÍ N A, J GALLARDO y I SANTA REGINA (1997) Long-term decomposition process of leaf litter from Ouercus pyrenaica forests across a rainfall gradient. Annals Forest Science 54:191-202.
- MENDHAM DS, KV SANKARAN, AM O'CONNELL y TS GROVE (2002) Eucalyptus globulus harvest residue management effects on soil carbon and microbial biomass at 1 and 5 years after plantation establishment. Soil Biology and Biochemistry. 34:1903-1912.
- MILLER M, A PALOJÄRVI, A RANGGER, M REESLEV v A KJOLLER (1998) The use of fluorgenic substrates to measure fungal presence and activity in soil. Applied Environment Microbiology. 64:613-617.
- NANNIPIERI P, L LANSI y L BADALUCCO (1995) La capacità metabolica a la qualità del suolo. Agronomía. 29:312-316.
- NSABIMANA D, R HAYNES y FM WALLIS (2004) Size, activity and catabolic diversity of soil microbial biomass as affected by land use. Applied Soil Ecology. 26:81-92.
- OHTONEN R, A MUNSON y D BRAND (1992) Soil microbial community response to silvicultural intervention in coniferous plantation ecosystems. Ecological Applications. 2:363-375.
- OURO G, P PÉREZ-BATALLÓN y A MERINO (2001) Effects of silvicultural practices on nutrients status in a Pinus radiata plantation: Nutrient export by tree removal and nutrients dynamics in decomposing logging residues. Annual Forest of Science, 58:411-422.

- SADZAWKA A, M CARRASCO, R GREZ y ML MORA (2004) Métodos de análisis recomendados para suelos chilenos. Comisión de Normalización y acreditación (CNA) para análisis de suelos v tejidos vegetales, Chile. (http://alerce.inia.cl/docs/presentacio nes/DOC027ASR.pdf)
- SCHINNER F v W VON MERSI (1990) Xylanase, Carboxymethylcellulase and invertase activity in soil and improved method. Soil Biology Biochemistry, 16:511-516.
- SCHNÜRER J y T ROSSWALL (1982) Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. Applied Environment Microbiology. 43:1256-1261.
- SIF S.A. (SOCIEDAD INVERSORA FORESTAL) (2005) Financiamiento estructurado. En: www.fitchratings.cl
- SINGH J. A RAGHUBANSHI. R SINGH y S SRIVASTAVA (1989) Microbial biomass acts as a source of plants nutrients in dry tropical forest and savanna. Nature. 338:499-500.
- SMITHWICK EHA, MG TURNER, KL METZGER y TC BALSER (2005) Variation in NH4+ mineralisation and microbial communities with stand age in lodgepole pine (Pinus contorta) forests, Yellowstone National Park (USA). Soil Biology and Biochemistry. 37:1546-1559.
- SMITH J, R PAPENDICK, D BEZDECEZ v J LYNCH (1992) Soil organic matter dynamics and crop residue management. Meeting, B. (editor) Soil Microbial Ecology. Marcel Dekker, New York, United States. Pp 65-94.

- SOIL SURVEY LABORATORY STAFF (1996) Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report, vol. 42. USDA SCS, Washington DC, USA.
- VANCE F, P BROOKES v D JENKINSON (1987) Microbial biomass measurements in forest soils: The use of the cloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. Soils Biology and Biochemistry. 19:697-702.
- VEPSÄLÄRNEN M v RM NIENNI (2002) pH optima of enzyme activities in different soils. Proceedings of 17th World Congress of Soil Science. Thailand. Pp. 2028.
- WALDROP MP, JG MCCOLL v RF POWERS (2003) Effects of forest postharvest management practices on enzyme activities in decomposing litter. Soil Science Society American Journal. 67:1250-1256.
- YADAV RS y JC TARAFDAR (2003) Phytase and phosphatase producing fungi in arid and semi-arid soils and their efficiency in hydrolyzing different organic P compounds. Soil Biology and Biochemistry. 35:745-751.
- ZELLER V, RD BARDGETT y U TAPPEINER (2001) Site and management effects on soil microbial properties of subalpine meadows: A study of land abandonment along northsouth gradients in european alps. Soil Biology and Biochemistry. 33:639-649.