ITEA (2004), Vol. **100V N.° 2,** 118-131

EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL BOSQUE NATIVO POR PLANTACIONES DE PINO Y EUCALIPTO SOBRE EL HORIZONTE ORGÁNICO EN CONCEPCIÓN (CHILE)

Pedro Manzanares N.*, R.M. Navarro Cerrillo,[1]**

* Fundación STICHTING STOAS-AGRPROJECTS, Chile, Ongolmo n.° 196, piso 3, Concepción, Chile

** Departamento de Ingeniería Forestal-Universidad de Córdoba, Apartado 3048, 14080 Córdoba, España

RESUMEN

Se estudió la influencia de la sustitución de bosque nativo por *Pinus radiata* D. Don, y de éste por *Eucalyptus globulus,* sobre el desarrollo del horizonte orgánico (O) y las propiedades químicas del horizonte mineral de un suelo granítico (Asociación San Esteban; Dystric Xerochrepts) en Concepción (Chile).

La sustitución de las cubiertas forestales no afectó significativamente a la formación del horizonte orgánico. Sin embargo, la acumulación de detritus orgánico y el espesor del horizonte O fueron mayores bajo pino.

El comportamiento de la relación C/N parece confirmar estos resultados. Los valores más altos de esta relación correspondieron a las capas de hojarasca y de material fermentado (66 y 55, respectivamente) bajo pino. Mientras que bajo bosque nativo y bajo eucalipto los valores C/N correspondientes a las mismas capas fueron considerablemente menores (49 y 32; 45 y 33, respectivamente).

El valor de pH, el contenido de Ca y el valor de la relación C/N, en la capa hojarasca, sugieren una mayor calidad del humus formado bajo bosque nativo y eucalipto que en el formado bajo pino.

En cuanto a las propiedades químicas, del suelo mineral, los resultados muestran evidencias de diferencias significativas entre los tres tratamientos. Se concluye que, bajo las condiciones de experimentación, la sustitución de bosque nativo por pino contribuyó a mejorar el estado nutricional del suelo mineral, mientras que la influencia de la sustitución de pinos por eucalipto afectó negativamente a las propiedades químicas estudiadas.

Palabras clave: Cubierta vegetal, Horizonte orgánico y mineral, Materia orgánica, Humificación, Propiedades químicas.

SUMMARY

HORIZONT DEVELOPMENT AND VEGETAL COVER SUBSTITUTION

The influence of substituting native forest by *Pinus radiata* D. Don and this one by *Eucalyptus globulus* on the O-horizont and some chemical properties of a Dystric

1. Autor para la correspondencia

Xerochrepts soil was studied. The site is located in southern Chile, near Concepcion city.

Substitution of the forest covers did not significantly affect the formation of the O-horizont. However, total accumulation of organic detritus and the thickness of the O-horizont were higher under pine. Humification is the dominant process, given the amount of organic detritus, 67% and 55% accumulated at the H layer, under pines and eucalyptus, respectively. While, under pine this figure amounted 47%. The C/N values confirm these figures, suggesting a more fresh condition of detritus under pines (55-66) and an intensive humification under native (49-32) and eucalyptus (45-33). However, the humus formed under native forest seems to be of higher quality with regard to pH, the Ca content and the C/N values. Related to the mineral soil, these results show that the replacement of the native cover significantly reduced acidity and increased, both, the ECEC and V. Whereas, the substitution of pines by eucaliptus increased the acidity and reduced the ECEC and V. The organic matter content of soil was not significantly affected by the treatments tested. It is concluded that, under the experimental conditions tested, the substitution of native forest by pines clearly improved the nutritional status of the soil. Whereas, the substitution of pines by eucalyptus affected the studied chemical properties negatively.

Key words: Vegetal cover, Organic and mineral horizont, O.M., Humification, Chemical properties.

Introducción

Las cubiertas vegetales juegan un papel importante en el desarrollo y productividad de los suelos (PAGE, 1974; FÖLSTER y KHANNA, 1997). En la selvicultura de plantaciones de especies de rápido crecimiento, como pino y eucalipto, que demandan intensivamente nutrientes y agua, la reducción de la productividad de los suelos tras sucesivas rotaciones es un hecho frecuente y reconocido (SANKARAN, 1993; LUGO *et al.*, 1990). El fenómeno de degradación de la fertilidad de los suelos forestales ha sido una preocupación permanente en los países de tradición silvícola y se atribuye a causas diversas, entre las que se mencionan: las "quemas de limpieza" (FLINN *et al.*, 1979), la pobreza del material parental (WOODS y RAISON, 1983), el uso de suelos marginales y tierras altas y/o degradadas (EVANS, 1992; MORRIS, 1992), aprovechamiento muy intensivo del bosque, manejo inadecuado de los residuos, compactación y erosión del suelo (ALARCÓN y PRADO, 1990).

En Chile, el tema de la reducción de la productividad en bosques y plantaciones forestales ha recibido atención desde mediados de los años 80 y se ha entendido como una consecuencia de impactos de operaciones mecanizadas y muy estrechamente asociada a suelos pobres y marginales (FRANCKE, 1993). Consecuentemente, el foco de la investigación sobre este fenómeno y las prácticas de manejo para aminorar sus efectos se han dirigido hacia aspectos tales como técnicas de preparación del suelo y de manejo de residuos de aprovechamiento; estrategias de fertilización y de control de malezas, y sistemas de cosecha adecuados a sitios y objetivos productivos específicos.

La literatura más reciente sobre el tema, además de ofrecer abundante información que confirma las visiones ante expuestas, sugiere que la disminución de la productividad de los sitios resulta también de efectos más complejos y específicos de las plantaciones mismas sobre propiedades químicas del suelo. Se sugiere que la reducción de la productividad podría estar asociada a la acidificación del suelo (TURNER y LAMBERT, 1988) y al agotamiento de éste, como consecuencia del bloqueo de la oxidación de la materia orgánica (RICHTER *et al.*, 1994; O'CONNELL y SANKARAN, 1997) y/o la lixiviación de nutrientes (UNDA y RAVERA, 1994; SCHLATTER y OTERO, 1995; SEYEDBAGHERI, 1996). Respecto de *Pinus* y *Eucaliptus*, específicamente, se sostiene que muchas de sus especies presentan una muy alta eficiencia de uso de los nutrientes y producen un mantillo relativamente pobre, de modo que el cultivo de estas especies, particularmente bajo régimen de rotaciones cortas, afectaría negativamente a las reservas y flujos de nutrientes disponibles para las plantaciones (SANKARAN, 1993; GUNADI, 1994). LUGO, *et al.* (1990) tienden a confirmar lo anterior, indicando que tras comparar los efectos del cultivo de diez especies sobre propiedades químicas del suelo, encontraron que pino y eucalipto disminuyeron el contenido de C orgánico y las bases intercambiables.

En esta misma línea de razonamiento, se reconoce que la tasa de descomposición de la materia orgánica y la de liberación de nutrientes, pueden variar ampliamente en función de las características físicas y bioquímicas de los residuos aportados por las cubiertas vegetales (SUKARDJO y YAMADA, 1992; FISHER y BINKLEY, 2000). Consecuentemente, se acepta que la sustitución de cubiertas vegetales puede afectar las tasas de acumulación y descomposición del mantillo y modificar la tasa de formación y acumulación de materia orgánica en el suelo mineral; afectando la circulación biogeoquímica de los nutrientes (MAILLY y MARGOLIS, 1992; SIGH *et al.*, 1993; TOKY y SIGH, 1993; BINKLEY, 2001). Concordando con lo anterior, KHANNA (1994) sostiene que tanto la dinámica de la materia orgánica como la de los nutrientes minerales, descansa críticamente en la descomposición del mantillo, ya que ella alimenta simultáneamente la formación de la materia orgánica y la circulación de los nutrientes en el suelo mineral.

DE SALAS (1987) sostiene que, para una localización específica, las tasas de acumulación y descomposición de la materia orgánica y el balance entre estos procesos, dependerán del tipo de cobertura (cantidad y calidad de los restos vegetales), de la reacción del medio y de la disponibilidad de nutrientes (N y Ca, particularmente) y la relación C/N. Ésta última es considerada como una expresión que refleja bastante fielmente la intensidad de la descomposición, la humificación y la calidad del humus formado, no sólo en el horizonte orgánico sino también en el suelo mineral (DONOSO, 1997; BINKLEY, 1993).

La bibliografía revisada destaca la importancia de diversos factores que controlan la descomposición del "mantillo" y la humificación. Además del tipo de cubierta vegetal, se menciona el tipo de suelo y las condiciones iniciales de éste; el clima, el manejo del suelo y del rodal (KHANNA, 1994; O'CONNELL y SANKARAN, 1997).

La presente investigación tiene por objetivo estudiar los efectos de la sustitución de bosque nativo por plantaciones de pino (*Pinus radiata* D. Don) y de éste por eucalipto *Ecucaliptus globulus*, sobre el desarrollo del horizonte orgánico y propiedades químicas básicas del suelo mineral, tras 35 y 14 años después del reemplazo, respectivamente.

Materiales y métodos

Descripción del área de trabajo

El estudio se realizó en la finca "El Guindo y la Cantera", ubicado en los alrededores de la ciudad de Concepción (36° 50" LS y 73° 03"LW). El clima es templado cálido, con marcada estacionalidad; con inviernos húmedos y veranos secos. La precipitación media anual es de 1197 mm (INIA, 1999). Conforme a CIREN (1999), el tipo de suelo es Dystric Xerochrepts (Soil Survey Staff, 1999) (Inceptisol, Asociación San Esteban) y se ha formado "in situ", a partir de materiales graníticos ricos en cuarzo. El perfil natural es profundo, pudiendo alcanzar hasta 2 m. Con la profundidad, la textura varía desde franco-arcillosa en superficie a franco-arenosa y la estructura desde bloques subangulares gruesos en superficie, a masiva en profundidad. Los poros, finos y medios, son abundantes en todo el perfil. La consistencia es plástica y muy adhesiva. Presenta una topografía de cerros, con pendientes que oscilan entre 30% y 50%, su capacidad de uso es VII y su aptitud es preferentemente forestal (CIREN, 1999).

El análisis químico del perfil tipo indica que se trata de un suelo de baja fertilidad natural, a juzgar por la baja capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE; 3,9-1,3 cmol(+)/kg) y bajo contenido de bases intercambiables (3,6–1,0 cmol(+)/kg). La saturación de Al es muy baja (6,5%) en el horizonte superficial (0-26 cm), aumentando hasta 49%, con la profundidad. La reacción del suelo es débilmente ácida (pH al agua 1:2,5 5,9-6,2). El contenido de C orgánico alcanza el 2,18% en el horizonte superficial y disminuye progresivamente con la profundidad, alcanzando 0,45% a los 60 cm. En el cuadro 1 se presenta las propiedades fisicoquímicas del perfil tipo correspondiente a la Asociación San Esteban.

La vegetación natural corresponde a bosque de transición, entre la zona higromórfica y mesomórfica. Las cubiertas vegetales estudiadas corresponden a un rodal de bosque nativo, uno de *Pinus radiata* (2ª rotación) y otro de *Eucalyptus globulus* (1ª rotación). La cubierta conformada por bosque nativo no ha sido objeto de manejo ni de aprovechamiento, al menos durante los últimos 40 años, y se ha mantenido constituyendo áreas de protección, e incluye especies latifoliadas, principalmente: *Peumus boldus* (boldo), *Cryptocaria alba* (peumo), *Quillaja saponaria* (quillay), *Persea lingue* (lingue), *Embothrium coccineum* (notro) y *Nothofagus obliqua* (roble). El sotobosque incluye *Lapageria rosea* (copihue), *Chusquea quila* (quila) y regeneración natural de peumo y lingue.

La cubierta de pino corresponde a un rodal de 4,9 ha de superficie con una densidad de 1225 árboles/ha, con un abundante sotobosque en el que predominan: *Teline monspessulana* (retamillo), *Rubus ulmifolius* (zarzamora) y *Aristotelia chilensis* (maqui). Se trata de un rodal establecido tras una clara del bosque nativo, manejado con poda y raleo.

La cubierta de eucalipto consiste en un rodal de 3,9 ha de superficie con una densidad de 1.520 árboles/ha, establecido en una parcela de suelo liberado del cultivo de pino, mediante cosecha semimecanizada, con retiro de los residuos gruesos. La plantación tiene una edad de 14 años. En el sotobosque predominan especies como *Teline monspessulana*, *Rubus ulmifolius* y *Acacia melanoxylon* (aromo australiano).

Muestreo y determinaciones

Cada cubierta vegetal constituyó un tratamiento. Para estudiar los efectos de las

Cuadro 1. Propiedades físico-químicas del suelo (asociación): San Esteban (xerands). Perfil tipo: ortofoto nº 3.743 - 7.249, a 5.286,4 km. Lat. UTM., a 690,9 km. Log. UTM. (CIREN, 1999)

Profundidad, cm	0-26	26-62	62-113	113-160	160-200	200-250
Granulometría						
> 0,05 mm	57,1	51,9	47,6	63,0	77,7	84,8
0,05-0,002 mm	23,8	17,9	16,8	10,6	9,1	8,1
< 0,002 mm	19,1	30,2	35,5	26,4	13,2	7,1
Textura (USDA)[1]	F	FQcAn	QcAn	FAn	FAn	AnF
Densidad aparente, g/cm^3	1,31	1,23	1,17	1,15	1,09	1,18
Humedad retenida 1/3 atm., %	24,2	20,0	24,4	21,8	21,0	18,1
Humedad retenida 15 atm. %	11,2	12,4	16,0	15,0	8,5	7,5
Humedad aprovechable, %	13,0	7,6	8,4	6,8	12,5	10,0
Carbono orgánico, %	2,18	0,45	0,37	0,21	0,10	0,07
pH H_2O (1:2,5)	6,0	6,0	5,9	5,9	6,0	6,0
Complejo de cambio, (cmol +/kg)						
Ca	2,66	2,11	1,17	1,29	0,80	0,70
Mg	0,46	0,44	0,40	0,36	0,22	0,16
K	0,46	0,32	0,25	0,16	0,09	0,06
Na	0,03	0,03	0,03	0,06	0,08	0,10
Al	0,25	0,35	1,77	1,09	0,58	0,32
Suma de bases	3,61	2,90	1,85	1,87	1,19	1,02
Capacidad total de intercambio (CIC)	13,9	14,2	14,7	7,0	4,2	3,4
CICE (CIC efectiva)	3,86	3,25	3,62	2,96	1,77	1,34
Saturación por bases, %	26	20	13	27	29	30
Saturación por Al, %	6,5	10,8	48,9	36,8	32,8	23,9

(1) F: Franco; Qc: Arcilla; An: arena.
Resultados expresados sobre peso seco al aire.

cubiertas sobre el horizonte-O ("mantillo"), se trazó un transecto de 50 m (perpendicular a la máxima pendiente), en el que se procedió a demarcar 10 casillas de 0,1 m^2, cada 5 m. En cada una se identificaron las capas L, F y H (formadas por hojarasca, material fermentado y material humificado, respectivamente) y se midió el espesor de éstas, con regla graduada al mm. Luego, se recogió material, de cada capa, para obtener una muestra compuesta para cada tratamiento, en la que se determinó la masa seca acumulada (105 °C durante 24 h).

La tasa de descomposición del "mantillo" se determinó mediante ensayo de terreno, según método descrito por Pérez (1995). Básicamente, se recolectó hojarasca fresca, bajo cada cubierta vegetal. Tras su secado a peso constante (24 h a 105 °C) se prepararon muestras de 10 g., cada una, en bolsas de malla plástica (tamiz de 2 mm), que se instalaron bajo la correspondiente cubierta, sobre la superficie del suelo, cubiertas con hojarasca. Se instalaron 32 bolsas, bajo cada una de las cubiertas y la incubación misma duró 16 semanas; de modo que cada semana

se retiraron dos bolsas de cada ubicación, para determinar la pérdida de peso, mediante gravimetría.

Para la recogida de material de suelo mineral, se procedió a identificar, bajo cada rodal, tres lugares similares desde el punto de vista de la altitud, la pendiente, la posición y exposición, en la parte media de las laderas, donde se abrió una pequeña calicata (0-35 cm), en la que se realizó un muestreo aleatorio, recogiendo submuestras hasta completar alrededor de un kilo de material, por cada nivel de profundidad (0-15 cm y 15-30 cm), del cual se obtuvieron las muestras para el análisis químico. Éste incluyó las determinaciones y métodos siguiente: pH (H_2O, 1:2,5), materia orgánica (dicromato de potasio), N total (semi-micro Kjeldahl), Ca y Mg (extracción con ¿?? y determinación mediante espectrometría de absorción atómica, AAS), K y Na (extracción con ¿? y determinación mediante espectrofotometría de emisión, FES) y Al de intercambio (extracción con KCl). Las determinaciones fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, conforme a procedimientos estandar (VIDAL, 1991).

Análisis estadístico

Una vez realizada la comprobación de la normalidad y la homogeneidad de varianzas de los datos, se procedió a un análisis de la varianza (ANOVA) para la determinación de la existencia de diferencias significativas de las variables seleccionadas entre los distintos tipos de cubiertas. En caso de ser significativa la diferencia de medias (F de Fischer), se realizó un análisis comparativo de las mismas, empleando el método de Tukey para comparaciones múltiples con un nivel de significación del 95% (LITTLE y HILLS, 1978). Los datos fueron almacenados en hojas de cálculo del programa *Microsoft Excel 2000*. El análisis estadístico descriptivo de los datos se realizó con el paquete estadístico *SPSS 8.0*.

Resultados

Formación del horizonte orgánico

Características físicas del mantillo

Los resultados de este estudio muestran que el horizonte O presentó un desarrollo comparable, bajo las tres cubiertas vegetales, lo que se expresa en un considerable espesor (7-8 cm) y una clara diferenciación morfológica reflejada en la presencia de las capas típicas del horizonte orgánico (L, F y H) y una importante acumulación de restos y detritus orgánicos, que varió entre 46.000 y 53.544 kg m.s./ha. Aunque los tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas, se observaron variaciones entre suelos (cuadro 2).

Bajo la cubierta de pino se presentó el mayor espesor del horizonte O (8 cm) y la mayor acumulación de materia orgánica (53.544 kg m.s./ha), seguido por el horizonte orgánico formado bajo bosque nativo. El menor espesor (6.9 cm) y la menor acumulación (46.586 kg m.s./ha) correspondieron al mantillo formado bajo eucalipto. Estos resultados parecen confirmar que la acumulación de detritus orgánicos está asociada al tipo de vegetación que constituye la cubierta vegetal, como sostiene DE SALAS (1987).

Al analizar el comportamiento del espesor y de la acumulación por capas, en cada tratamiento, se constata que ambos parámetros tienden a aumentar con la profundidad de horizonte-O. Bajo nativo y eucalipto, la

Cuadro 2. Caracterización física y química del horizonte orgánico(O) (L = hojarasca, F = material fermentado, H = material humificado) desarrollado bajo el bosque nativo, el *Pinus radiata* D. Don, y el *Eucalytus globulus* Labill

Capas de horizonte O	Bosque nativo	Pinus radiata	Eucalyptus globulus
Espesor (cm)	7,0	8,1	6,9
L	1,9	2,4	1,5
F	1,8	3,4	2,5
H	3,5	2,3	2,9
Acumulación (m.s. kg/ha)	50.438,0	53.573,0	46.586,0
L	6.040,0	10.552,0	8.288,6
F	10.556,0	17.586,7	12.556,0
H	3.842,0	25.435,0	25.742,0
Descomp. (pérdida de peso, en %)	3 a	24 ab	20 c
	Relación C/N		
L	49	66	45
F	32	55	33
H	28	23	32
Acumulación de N (kg/ha.)	352	429	253
L	50	76	41
F	108	266	105
H	194	87	107
	Acumulación de Ca (cmol +/kg)		
H	20,67	7,74	7,82
	Reacción del suelo (pH)		
L	4,78	4,63	4,19
F	5,90	4,96	5,33
H	6,75	4,76	6,27

capa H alcanza el mayor espesor (3,5 cm y 2,9 cm, respectivamente) y la mayor acumulación (33.842 y 25.742 kg m.s./ha, respectivamente). Esto es, 67% del material orgánico acumulado bajo bosque nativo y 55% de la masa acumulada bajo eucalipto se concentra en la respectiva capa H.

En el mantillo formado bajo pino, sólo el 47% del material se acumula en la capa H, mientras que el 53% lo hace en las capas superficiales (L y F), indicando que bajo pino el material se encuentra en un estado más fresco, mientras que bajo bosque nativo el mantillo se encuentra más descompuesto.

Características químicas del mantillo

El comportamiento de los parámetros químicos (C/N, pH y contenidos de N y C), escogidos para evaluar el efecto de las cubiertas vegetales sobre el desarrollo del horizonte O, es consistente con el patrón de acumulación encontrado y con los criterios

que sobre este aspecto proporciona la bibliografía consultada (Donoso, 1997; Binkley, 1993) (cuadro 2). Los mayores valores C/N ocurren en el horizonte O formado bajo pino (capas L y F); mientras que los valores de C/N para bosque nativo y eucalipto son claramente menores y comparables entre sí. Bajo cada cubierta vegetal la relación C/N disminuye, desde la capa L a la H. El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre los valores de C/N correspondientes a pino y eucalipto, y también entre pino y bosque nativo. El análisis químico del material constituyente del "mantillo" muestra diferencias importantes respecto del contenido de nutrientes (Ca y N) y del pH. El N se acumula en mayor cantidad bajo pino, especialmente en la capa F. Mientras que bajo bosque nativo la acumulación de N fue bastante menor, y se concentró principalmente en la capa H. Bajo eucalipto, la acumulación de N fue muy inferior a la registrada bajo las otras dos cubiertas, y se registró en las capas F y H (cuadro 2).

Respecto al Ca los resultados mostraron que la acumulación de este nutriente fue casi tres veces mayor bajo bosque nativo, comparada con la registrada bajo las otras dos cubiertas. En cuanto al pH, los resultados indican que bajo las tres cubiertas la reacción fue ácida, variando desde muy fuertemente ácida bajo pino; a fuertemente ácida bajo eucalipto, y ligeramente ácida bajo bosque nativo (cuadro 2). Se encontraron diferencias entre los valores de pH del mantillo bajo bosque nativo respecto al de pino y eucalipto. La diferencia fue mas acusada al comparar los valores correspondientes al bosque nativo con el mantillo de pino, salvo para la hojarasca, y mucho menores al comparar el mantillo de bosque nativo con el correspondiente a las plantaciones de eucalipto. Estos resultados confirman la importancia de las cubiertas vegetales respecto del comportamiento de la acidez en los pisos forestales. Los resultados que se refieren a la acumulación de materia seca en la capa H, la relación C/N y los contenidos de N y Ca, sugieren que la descomposición y la humificación serían los procesos predominantes bajo las tres cubiertas estudiadas. Los resultados de pH parecen confirmar que las coníferas tiendan a producir un mantillo más ácido y menos lábil. Lo cual resulta concordante con el hecho, generalmente aceptado, de que las coníferas tienden a acidificar el piso del bosque, debido al bajo contenido de Ca de sus acículas (FASSBENDER, 1994; DONOSO, 1997).

Efectos sobre el suelo mineral

Reacción del suelo

Los resultados muestran diferencias significativas de pH ($p < 5\%$), entre el suelo bajo cubierta nativa y el suelo bajo cubiertas de exóticas (cuadro 3). Comparando el valor medio de pH bajo las tres cubiertas, se verifica que existen diferencias significativas, presentándose la mayor acidez, promedio (pH 5,07) bajo bosque nativo, mientras que bajo eucalipto y pino el valor promedio de pH fue claramente mayor (pH 5,81 y 5,65 respectivamente); no existiendo diferencia significativas entre estas últimas. Bajo cada cubierta vegetal la acidez aumentó con la profundidad; el mayor se incremento se produjo bajo eucalipto y el menor bajo pino.

En el suelo mineral, el comportamiento del Al de intercambio es consistente con el de la acidez y de la CICE, bajo cada cubierta. En términos de pH, la sustitución de bosque nativo por pino no incrementó la acidez, sino que la redujo, medida 35 años después de sustitución, en la segunda rotación. Coherentemente, incrementó la CICE, disminuyó

Cuadro 3. Efectos de la sustitución de cubiertas vegetales sobre el pH, Al de intercambio, Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE), bases de intercambio y contenido de materia orgánica (MO) sobre un suelo desarrollado a partir de material granítico (Dystric Xerochrepts, Inceptisol)

Cubierta vegetal y profundidad	Reacción (pH)	Al de intercamb. (cmol+/kg)	CICE (cmol +/kg)	Bases interc. (cmol +/kg)	MO (%)
Nativo					
0 - 15 cm	5,15	1,59	3,77	2,17	7,55
15 - 30 cm	4,99	2,44	2,17	0,84	4,37
Promedio	5,07a*	2,01a	2,97a	1,51a	5,96a
Pino					
0 - 15 cm	5,86	0,22	10,29	6,59	5,85
15 - 30 cm	5,77	0,47	7,91	4,46	3,51
Promedio	5,81b	0,35b	9,10b	5,53b	4,68a
Eucalipto					
0 - 15 cm	5,82	0,74	4,53	2,41	5,42
15 - 30 cm	5,49	1,39	3,34	1,33	4,11
Promedio	5,65b	1,07ab	3,94a	1,87a	4,77a

(*) Prueba de Tukey para comparaciones múltiples, diferentes letras denotan diferencia significativa ($P < 5\%$).

drásticamente el porcentaje de saturación de Al y se elevó el valor de pH. El análisis estadístico indicó diferencias significativas para el contenido de Al de intercambio de los suelos bajo las cubiertas vegetales de nativo y pino, solamente. El contenido de Al, prácticamente se duplicó al pasar del estrato superficial al subsuperficial, bajo las tres cubiertas vegetales.

Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y bases de intercambio

En el cuadro 3 se aprecia que la CICE varió considerablemente entre las cubiertas y con la profundidad, en el suelo (0-15 y 15-30 cm). Como en el caso de la acidez, las diferencias fueron mayores entre cubiertas que entre estratos. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de CICE correspondiente a los suelos bajo la cubierta de pino respecto a las otras, que no difieren entre si.

Considerando que la CICE del perfil modal del suelo varía entre 3,86 y 3,25 cmol(+)/kg (CIREN, 1994), se puede afirmar que el suelo bajo bosque nativo presentó un nivel normal de CICE (2,97 cmol(+)/kg), y que la sustitución de la cubierta nativa por pino incrementó fuertemente el valor de la CICE (9,10 cmol(+)/kg). Al contrario, la sustitución del pino por el eucalipto redujo la CICE a prácticamente a la mitad (3,94 cmol(+)/kg); reducción que también fue estadísticamente significativa. El efecto de la sustitución sobre las bases de intercambio es similar a aquel sobre la CICE, ya que este parámetro se calculó como la suma de las bases de intercambio. En todos los casos, los cationes predominantes fueron Ca y Mg. El análisis estadístico reveló diferencias signifi-

cativas respecto del Ca solamente, entre los suelos bajo bosque nativo y pino y entre éste y el suelo bajo eucalipto.

Materia orgánica (MO)

La mayor acumulación de MO se produce en el horizonte mineral superficial bajo bosque nativo (7,55%), siendo menores y similares entre si bajo cubierta de pino y eucalipto (5,85 y 5,42%, respectivamente). Los resultados revelaron que la sustitución de la cubierta de bosque nativo por pino redujo considerablemente el contenido de MO, mientras que la sustitución de la cubierta de pino por eucalipto redujo muy levemente el contenido de MO en el estrato superficial, y favoreció la acumulación de MO en el estrato subsuperficial. Sin embargo, los contenidos de MO, del suelo bajo las tres cubiertas vegetales no fueron significativamente diferentes, a pesar de la tendencia a una mayor acumulación en el estrato superficial del suelo mineral.

Discusión

La acumulación de materia orgánica bajo las cubiertas de especies exóticas en comparación con aquella bajo bosque nativo parece indicar que la sustitución de especies nativas por pino favorece la formación de "mantillo"; al menos bajo las condiciones climáticas y edáficas en que se realizó este estudio, mientras que la sustitución de pino por eucalipto tiende a disminuir dicha acumulación. Respecto del efecto de la cubierta de pino, se debería tener presente la posible influencia del manejo del rodal de pino (poda y raleo) y de la riqueza del sotobosque bajo esta cubierta. En cuanto al efecto de la sustitución de pino por eucalipto sobre la acumulación de materia seca se explicaría por un menor aporte de restos de las latifoliadas, así como por el material vegetal mismo, que es más lábil frente a la descomposición (O'CONNELL y SANKARAN, 1997).

La mayor acumulación de materia orgánica bajo la cubierta de pino, seguida por el horizonte orgánico formado bajo bosque nativo, puede deberse a que los procesos de descomposición y humificación suelen ser más intensos en medios ricos en nutrientes, como aquellos que se generan bajo bosques de caducifolias, y menos intensos bajo bosques de coníferas, donde abundan tejidos leñosos ricos en compuestos fenólicos (lignina y celulosa, principalmente) resistentes a la biodegradación (CAREY *et al.*, 1982; DE SALAS, 1987; PERRY, 1994).

El comportamiento de los parámetros químicos (C/N, pH, N y Ca) escogidos para evaluar el efecto de las cubiertas vegetales sobre el desarrollo del horizonte O, es consistente con el patrón de acumulación ya discutida y con los criterios proporcionados por la bibliografía, ya citados (BINKLEY, 1993; DONOSO, 1997). La descomposición es mayor bajo bosque nativo y eucalipto, lo que se refleja en los valores relativamente bajos de la C/N, en las capas L y F. Por el contrario, la tasa más baja de descomposición corresponde al mantillo formado bajo pino, que presenta una mayor proporción de material fresco y fermentado (capas L y H). Sin embargo, el valor más bajo de la relación C/N se encuentra en la capa H bajo pino. Hecho que se explicaría, en alguna medida, por la eventual presencia de humus estable proveniente del bosque nativo o a un eventual efecto de la acidez sobre la mineralización del humus (SINGER y MUNNS, 1992).

Interpretando los resultados que se refieren a la acumulación de materia seca en la

capa H, la relación C/N y la acumulación de N y Ca, se infiere que la humificación sería el proceso predominante bajo las tres cubiertas estudiadas. Los resultados parecen confirmar, también, que las coníferas tienden a producir un mantillo más ácido. En efecto, bajo pino se ha generado un ambiente ácido, mientras que bajo eucalipto la acidez es moderada y débil para bosque nativo (capas F y H). Los tres tratamientos generaron una capa de hojarasca fuertemente ácida. Respecto de este resultado, cabe recordar que la tendencia de las coníferas a acidificar el piso del bosque resulta del escaso contenido de Ca de las acículas, asociado a su historia evolutiva (FASSBENDER, 1994; DONOSO, 1997). Si se considera que el suelo tipo sobre el que se realiza el estudio es débilmente ácido, estos resultados sugieren que el reemplazo de la cubierta de bosque nativo por cubierta de pino redujo la acidez, lo que confirma los valores de pH moderadamente ácidos encontrados bajo pino en suelos rojo arcillosos (SÁEZ, 1991). El comportamiento de la acidez, del suelo mineral, fue concordante con el del Al de intercambio.

Contrariamente a las propuestas de autores como LUGO *et al.* (1990), estos resultados muestran que la sustitución del bosque nativo por el de pino estuvo asociada a una acumulación de bases de intercambio y al incremento de la CICE. Estos hecho se explican, probablemente, por el hecho de que la CICE habría incrementado vía desarrollo de carga negativa del humus como consecuencia de la reducción de la acidez operada en el suelo mineral (BOHN *et al.*, 1979; BRADY, 1990), que se incrementó en más de una unidad de pH, entre la capa H y el suelo mineral, bajo pino. Estos resultados coinciden con los de CAREY *et al.* (1982), que al estudiar 41 rodales de pino radiata de primera rotación y 7 de segunda, encontraron que los últimos contenían "el doble de nutrientes que los primeros", Sin embargo, no procede formular mayores conclusiones sobre el comportamiento de la CICE, puesto que depende de un conjunto complejo de variables, no consideradas en el presente estudio.

Los resultados del presente trabajo permiten concluir, en general, que el cambio de cubierta vegetal influye tanto en la formación del horizonte orgánico como en las propiedades químicas del suelo mineral. Después de 35 años de haber sustituido el bosque nativo por el pino y tras 14 años de la sustitución de éste por el eucalipto, las cubiertas de especies exóticas se mostraron tan efectivas como el bosque nativo respecto a la formación del horizonte orgánico. No obstante, el mantillo formado bajo el pino presentó el mayor espesor y la mayor acumulación de materia seca. La descomposición de los restos vegetales acumulados en las capas L y F, de los horizontes orgánicos formados bajo el bosque nativo y el eucalipto tiene similar intensidad, mientras que parece ser muy lenta en las capas L y F del horizonte orgánico formado bajo el pino, a juzgar por los altos valores C/N y la baja tasa de descomposición de los materiales que las componen.

El ambiente es moderado a levemente ácido bajo el bosque nativo y el eucalipto, y ácido bajo pino. Los resultados sugieren que el humus formado bajo el pino presenta un estado nutricional bajo comparado con el humus sintetizado bajo el bosque nativo y bajo el eucalipto, a juzgar por los valores de la relación C/N, el contenido de Ca y el pH. Sin embargo, y desde un punto de vista de manejo de la nutrición de la zona, se considera el humus formado bajo el pino tan adecuado como el formado bajo el bosque nativo, atendiendo a que aquel contiene la mayor la

reserva de N y exhibe el menor valor de la relación C/N.

La sustitución de bosque nativo por pino parece no tener efectos negativos en la formación del horizonte orgánico. La sustitución del bosque nativo por el pino influye positiva y significativamente en las propiedades químicas asociadas al estatus nutricional del suelo, mediante la reducción de la acidez, el aumento de la CICE y del contenido de bases intercambiables, especialmente Ca. Al contrario, la sustitución del pino por el eucalipto afectó positiva y significativamente a la CICE, reduciéndola a la mitad. La sustitución del bosque nativo por el pino afectó negativamente a la acumulación de MO, y lo mismo que la sustitución del pino por el eucalipto, el contenido de MO bajo las plantaciones fue menor que el correspondiente bajo el bosque nativo. El contenido de MO no estuvo asociado a la acidez, a la CICE ni a las bases de intercambio.

Los resultados sugieren que la sustitución de bosque nativo por pino tuvo efectos mejoradores, más que degradantes, respecto a la formación del horizonte orgánico y de las propiedades químicas consideradas en este estudio. La sustitución de pino por eucalipto no produjó efectos significativos, excepto respecto de la CICE, cuya reducción fue significativa estadísticamente.

Conclusiones

La sustitución de las cubiertas forestales no afectó significativamente a la formación del horizonte orgánico. Sin embargo, la acumulación de detritus orgánico y el espesor del horizonte orgánico fueron mayores bajo pino. El comportamiento de la relación C/N parece confirmar estos resultados. Los valores más altos de esta relación correspondieron a las capas de hojarasca y de material fermentado bajo pino. Mientras que bajo bosque nativo y bajo eucalipto los valores C/N correspondientes a las mismas capas fueron considerablemente menores. El valor de pH, el contenido de Ca y el valor de la relación C/N, en la capa hojarasca, sugieren una mayor calidad del humus formado bajo bosque nativo y eucalipto que en el formado bajo pino.

En cuanto a las propiedades químicas, del suelo mineral, los resultados muestran evidencias de diferencias significativas entre los tres tratamientos. Se concluye que, bajo las condiciones de experimentación, la sustitución de bosque nativo por pino contribuyó a mejorar el estado nutricional del suelo mineral, mientras que la influencia de la sustitución de pinos por eucalipto afectó negativamente a las propiedades químicas estudiadas.

Bibliografía

ALARCÓN C., PRADO J.A., 1990. Efecto del manejo de residuos de explotación *Pinus radiata* en los procesos de erosión. Ciencia e Investigación Forestal 4(1): 35-48.

BINKLE D., 1993. Nutrición forestal. Prácticas de manejo. Limusa, México.

BINKLE D., 2001. Soil fertility and nutrient management for forestry in Hawaii: In soil site productivity for forestry in Hawaii, J.B. Friday (ed.) CTAHR, University of Hawaii, Manoa.

BOHN L.H., MCNEAL B.L., O'CONNOR G.A., 1979. Soil Chemistry. John Willey & Sons Inc.. New York, USA. 317 p.

BRADY N.C., 1990. The nature and properties of soils. Macmillan publishing Company. Tentnh Ed. London, England. 514 p.

CAREY M.L., HUNTER I.R., ANDREW I., 1982. Pinus radiata forest floor: factors affecting organic matter and nutrient dynamics. Journal of Forestry Science 12 (1): 36-48. Forest Research Institute. Rotorua. New Zealand.

CIREN, 1999. Descripción de suelos, materiales y símbolos. Estudio Agrológico. VIII Región. Tomo II. Santiago, Chile. 281-537 p.

DE SALAS G., 1987. Suelos y ecosistemas forestales. IICA. San José. Costa Rica.

DONOSO Z.C., 1997. Ecología Forestal: el bosque y su medio ambiente. Editorial Universitaria. Santiago, Chile, 410 p.

EVANS J., 1992. Plantation forestry in the tropics. 2nd Ed. Clarendon Press, Oxford. 403 p.

FASSBENDER H.W., 1994. Química de Suelos. Con énfasis e América Latina. IICA-OEA, San José, Costa Rica. 365 p.

FISHER R.F., BINKLEY D., 2000. Ecology and management of forest soils. Whiley, New York. 489 p.

FLINN D.W., HOPMANS P., FARRELL P.W., JAME J., 1979. Nutrient loss from the burning of *Pinus radiata* logging residue. Australian Forest Research 9: 17-23.

FÖLSTER H., KHANNA P.K., 1997. Dynamics of nutrient supply in plantation soils. In: Nambiar, E.K.S. and A.G.Brown (eds) Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forest. ACIAR, Monograph N° 43, Canberra, Australia. 339-371.

FRANCKE C.S., 1993. Efecto de las plantaciones forestales en el suelo. Chile Forestal. Documento técnico N° 70. CONAF. Santiago, Chile. 54 p.

GUNADI B., 1994. Literfall, litter turnover and soil respiration in two-pine forest in central Java, Indonesia. J. of Tropical Forest Science 6: 310-322.

INIA, 1999. Áreas agroclimáticas y sistemas productivos de la VII y VIII regiones. Chillán, Chile. 83 p.

KHANNA P.K., 1994. Chemical properties of ash components derived from Eucalyptus litter and its effect on forest soil. Forest Ecology and Management. 66: 107-125.

LITTLE M.T., HILLS F.J., 1978. Agricultural experimentation. Design and analysis. Jhon Willey & Sons Inc. USA. 345 p.

LUGO A.E., CUEVAS E., SÁNCHEZ M.J., 1990. Nutrient and mass and topsoil of ten tropical tree plantations. Plant and Soil 125: 263-280.

MAILLY D., MARGOLIS H.A., 1992. Forest floor and mineral soil development in *Casuarina equisetifolia* plantations on the coastal sand dunes of Senegal. Forest Ecology and Management 55: 259-278.

MORRIS A.R., 1992. Dry matter and nutrients in the biomass of an age series of *Pinus patula* plantation in the Usutu. Forest, Swaziland. South African Forestry J. 163: 5-11.

O'CONNELL A.M., SANKARAN K.V., 1997. Organic matter accretion, decomposition and mineralization. In: E. K. S. Nambiar, and A.G.Brown (eds) Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forest. ACIAR, Monograph N° 43, Canberra, Australia. 443-481.

PAGE G., 1974. Effects of forest cover on the properties of some Newfoundland forest soils. Canadian Forestry Service Publication N° 1332. Ottawa, Canada. 32 p.

PÉREZ C., 1995. Los procesos de descomposición de la materia orgánica, en bosques templados costeros: interacción entre suelo, clima y vegetación. En Ecología de los Bosques Nativos de Chile. Ed. Juan J. Armesto, Carolina Villagrán y Kalin Arroyo. Editorial Universitaria. Santiago, Chile, pp 301-316.

PERRY D.A., 1994. Forest Ecosystems. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, United States of America,

RICHTER D.D., MARKEWITZ D., WELLS C.G., ALLEN H.L., APRIL R., HEINE P.R., URREGO B., 1994. Soil chemical changes during three decades in an old-field loblolly pine (*Pinus taeda* L.) ecosystem. Ecology 75: 1463-1473.

SÁEZ M., 1991. Biomasa y contenido de nutrientes de renovales no intervenidos de roble-raulí (*Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst - *Nothofagus alpina* (Poepp. et Endl, Oerst) en suelos volcánicos de la precordillera andina, IX Región. Tesis Ing. Forestal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile.

SANKARAN K.V., 1993. Decomposition of leaf litter of albizia (*Paraserianthes falcataria*), eucalypt (*Eucalyptus tereticornis*) and teak (*Tectona grandis*) in Kerala, India. Forest Ecology and Management 56: 225-242.

SCHLATTER J., OTERO L., 1995. Efecto de *Pinus radiata* sobre las características químico-nutritivas del suelo mineral superficial. Bosque 16(1): 29-46.

SEYEDBAGHERI K.A., 1996. Idaho forest best management practices: compilation of research on their effectiveness. United States Department of Agriculture. Forest Service. General Technical Report INT-GTR-339. Washington, DC. United States of America.

SIGH O., SHAREMA D.C., RAWAT J.K., 1993. Production and decomposition of leaf litter in sal, teak, eucalyptus and poplar forest in Uttar Pradesh. Indian Forester 119: 112-121.

SINGER J.M., MUNNS D.N., 1992. Soils an Introduction. Macmillan Publishing Company. Second. Ed. New York, USA. 461 p.

SOIL SURVEY STAFF, 1999. Keys to soil taxonomy. Disponible en http://www.statlab.iastate.edu/soils/keytax.

SUKARDJO S., YAMADA I., 1992. Biomass and productivity of *a Rhizosphora mucronata* plantation in Tritih, Central Java, Indonesia. Forest Ecology and Management 49: 195-209.

TOKY O.P., SIGH V., 1993. Litter dynamics in short-rotation high-density tree plantation in an arid region of India. Agriculture, Ecosystems and Environment 45: 129-145.

TURNER J., LAMBERT M., 1988. Soil properties as affected by *Pinus radiata* plantations. New Zealand J. of Forest Sciences 18(1): 77-91.

UNDA A., RAVERA F., 1994. Efectos provocados en el sitio por las plantaciones de Pino radiata y Eucalipto. Informe final. Instituto Forestal, Unidad de Medio Ambiente. Santiago, Chile.

VIDAL I., 1991. Naturaleza y propiedades del suelo. Manual de laboratorio. Departamento de Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

WOODS P.V., RAISON R.J., 1983. Decomposition of litter in subalpine forest of *Eucalyptus delegatensis*, *Eucalyptus pauciflora* and *E. dives*. Australian Journal of Ecology 8: 287-293.

(Aceptado para publicación el 20 de abril de 2004).