
La Reforestación con Coníferas y sus Efectos sobre la Acidificación, Podsolización y Pérdida de Fertilidad de los Suelos

Byron Urrego*

Introducción

“**Sembrar pinos acidifica y esteriliza el suelo**”. Opiniones como esta, sin fundamento técnico alguno, ocupan decenas de páginas en periódicos y revistas “especializadas” en temática ambiental. Presentado de esta forma, pareciera que la acidificación de los suelos fuese un proceso **negativo, artificial y generado exclusivamente por las coníferas**. Sin embargo, estos comentarios no son más que una prolongación de rumores que circulaban ya en el siglo XIX en Europa en contra de los coníferas (Toro 1993), y que se propagaron por E. U., Canadá, Nueva Zelandia, Australia, Chile y más recientemente, Colombia. Según Toro (1993), el origen del mito se atribuye al naturalista europeo Evelyn, quien en sus escritos de 1665 mencionaba que todo tipo de vegetación arbórea, incluyendo los árboles frutales, producían daños al suelo cuando se mantenían en el mismo terreno por mucho tiempo.

Las primeras afirmaciones sobre el deterioro de la fertilidad del suelo causado por coníferas surgen cuando se inicia la conversión de bosques mixtos a bosques de *Picea*, *pinus* y *Pseudotsuga* durante la revolución industrial (Francke, 1991). Investigadores dasométricos y de productividad como Wiedemann y Miehllich informan sobre claras disminuciones de productividad entre primeras y segundas rotaciones, no obstante reconocen que dichas reducciones no se deben exclusivamente a los árboles, sino también a las prácticas y uso anterior del suelo. Pero no fue sino hasta mediados de 1900, cuando se inició la plantación extensiva de coníferas, que comenzaron a circular opiniones adversas y generalizadas de que las coníferas acaban con los suelos, por cuanto producían acidificación, lo que impedía el desarrollo de cualquier otro tipo de vegetación.

El primero en advertir la necesidad de aclarar estas creencias fue el científico neocelandés Graham Will, quien en 1984 rescató los trabajos de Wiedemann y Miehllich, e hizo manifiesto que el deterioro de los suelos europeos no fue causado por las especies forestales, sino por las prácticas habituales de la época, las cuales redujeron en forma paulatina la productividad de los bosques. Según Will, estas prácticas consistían en el retiro periódico de la hojarasca que se acumulaba bajo el bosque, para preparar las pesebreras en donde estabulaban animales. La revisión hecha por Will en 1984, también demostró que en ese entonces, como ahora, los detractores de las coníferas apoyaban más sus tesis en argumentos emocionales que en fundamentos técnicos o trabajos científicos.

La acidez en los suelos, su entendimiento e interpretación

La acidez de un suelo cualquiera es la expresión de la predominancia de los iones hidrógeno (H^+) sobre los iones hidróxido (OH^-), en una muestra acuosa del suelo (Garrido, 1994). La expresión numérica de la acidez o alcalinidad de una solución de suelo fue establecida por Sorens en 1909 y es conocida como pH. Un pH de 7.0, indica que la concentración de iones H^+ es igual a la concentración de iones OH^- y en consecuencia el pH es neutro. Valores de pH inferiores a 7.0 indican que la concentración de iones H^+ es mayor que la concentración de iones OH^- y que estos suelos son ácidos, o que tienen una reacción ácida. Así mismo, valores de pH superiores a 7.0 caracterizan suelos alcalinos, o suelos de reacción básica.

* El Ing. Byron Urrego es jefe de investigación forestal. Smurfit, Cartón de Colombia S. A. A. A. 6574. Cali, Colombia.

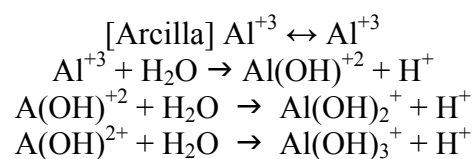
Si bien el valor del pH indica de la predominancia de dos tipos de iones, lo que resulta verdaderamente importante es conocer, cómo y por qué, la actividad de esos iones influencia las funciones vitales de los organismos, la disponibilidad de nutrientes, y las propiedades químicas de los suelos.

En que consiste la acidificación del suelo?

El suelo nace de la meteorización de una roca madre (material parental) que a través del tiempo está expuesto a la acción del clima y de los organismos vivos. Los procesos que intervienen en la formación del suelo son los mismos en todos los climas, sin embargo, en las regiones tropicales húmedas las tasas de meteorización son mayores que las tasas de erosión, lo que permite la formación de perfiles altamente meteorizados (Bohn et al., 1985). Cuando joven, el suelo tiene un pH cercano a la neutralidad, sin embargo, con el tiempo, los contenidos de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), y sodio (Na) se reducen y el suelo pasa a adquirir cierto grado de acidez (Brady, 1984). El proceso de acidificación de un suelo toma cientos o miles de años para llegar aun estado de equilibrio y es el resultado de varios mecanismos.

Uno de estos mecanismos es el generado por el agua lluvia que, al moverse hacia las capas inferiores del suelo, arrastra consigo cantidades de Ca, K, Mg y Na que han sido desprendidas de la superficie de arcillas y otros coloides. Los espacios dejados por los cationes removidos por el agua son entonces ocupados por H^+ que al aumentar en concentración en el suelo, comienza a impartir a éste características ácidas. Por lo tanto, el grado de acidez que se desarrolla en un determinado suelo dependerá del material parental y del régimen y cantidad de lluvias.

El segundo mecanismo responsable por la acidificación de los suelos es el proceso de la hidrólisis del aluminio (Al) (Bohn et al., 1985). El proceso se inicia con el ion aluminio trivalente (Al^{+3}) al que se le van neutralizando sus cargas positivas gracias a la hidrolización del agua ($H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$). Durante este proceso, el ion Al^{+3} , una vez removido de la superficie de las arcillas, reacciona con el agua presente en el suelo dando como resultado compuestos hidratados de Al así como iones libres de H^+ que al ser liberados a la solución del suelo incrementan la acidez. La presencia en solución de los diferentes tipos de iones de Al está determinada por el pH del suelo. El ion Al^{+3} que se encuentra solo representa a valores de pH inferiores a 4.7, el $Al(OH)^{+2}$ entre 4.7 y 6.5, y el $Al(OH)_3$ entre 6.5 y 8.0. En forma simplificada, el proceso es como sigue:



Un tercer mecanismo que influye en la acidificación de los suelos es la actividad radicular, más concretamente la absorción de nutrientes. Todas las plantas sin excepción, coníferas o no, nativas o exóticas, agrícolas o forestales, extraen del suelo cationes básicos (Ca^{++} , K^+ , Mg^{++}) para emplearlos en la producción de biomasa. Durante el proceso de absorción de estos nutrientes (interfase raíz/suelo) el balance de cargas al interior de la raíz debe mantenerse, de modo que cuando se absorben Ca^{++} , K^+ y/o Mg^{++} , se liberaran a la solución del suelo H^+ para restablecer, al interior de la raíz, el balance eléctrico (Bohn et al., 1985). Los H^+ liberados entran en solución del suelo incrementando su concentración y aumentando la acidez.

Un cuarto mecanismo responsable por la acidificación del suelo es la nitrificación. Dado que las plantas solo se nutren de elementos químicos que se encuentren en el suelo en forma iónica, los complejos compuestos orgánicos ricos en nitrógeno (N) deben sufrir alteraciones hasta llegar a su

expresión química más simple, la forma mineral. El proceso de conversión de amonio (NH_4^+) a nitrato (NO_3^-) se conoce como nitrificación ($2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} + \text{energía}$). Como subproducto de este proceso se producen iones H^+ que contribuyen a aumentar la acidez del suelo.

El quinto mecanismo responsable por la acidificación del suelo es accionado por la acumulación de la materia orgánica sobre la superficie del suelo mineral. Una vez depositada, la materia orgánica entra en descomposición formando ácidos orgánicos (COOH) que al desplazarse al interior del suelo liberan H^+ ($\text{COOH} \rightarrow \text{COO}^- + \text{H}^+$). Este H^+ reemplaza a los cationes básicos (Ca^{++} , K^+ y Mg^{++}) en las superficies de las arcillas, propiciando un ambiente más ácido.

Los cinco mecanismos antes descritos actúan simultáneamente, transformando paulatinamente el ambiente químico del suelo, alcanzando con el tiempo un estado de equilibrio dinámico en donde el pH se estabiliza dentro de ciertos límites de acidez. Como ya se mencionó, estos límites varían con el material parental, el tipo de suelo, el clima y la cantidad de lluvias.

En la **Tabla 1** se presentan las características químicas de los tres grupos de suelos que constituyen el 90% de las 484 millones de hectáreas encontradas en la región amazónica (Cochran y Sánchez, 1982). En términos de acidez, los ultisoles presentan valores de pH entre 3.5 y 4.0, seguidos por los Oxisoles con valores entre 4.3 y 4.6, y finalmente por los Entisoles con pH entre 4.8 y 5.1.

Tabla 1. Características químicas de los mayores grupos de suelos de la amazonía. Oxisoles, Ultisoles y Entisoles (Tomado de Cochran y Sánchez, 1982).

Profundidad cm	Arena ----- %	Arcilla ----- %	pH (H_2O)	CO %	Al -----	Ca	Mg meq/100g	K -----	CICE -----	Sat Al %
Oxisol ¹										
0-8	15	76	4.6	2.9	1.1	1.7	0.3	0.19	3.29	33
8-22	12	80	4.4	0.9	1.1	0.2	0.2	0.09	1.39	79
22-50	8	84	4.3	0.7	1.2	0.2	0.2	0.07	1.47	82
50-125	7	88	4.6	0.3	1.0	0.2	0.2	0.04	1.24	81
Ultisol ²										
0-7	67	15	4.0	1.5	0.8	1.6	0.1	0.12	2.62	31
7-48	57	23	3.5	0.5	3.2	1.6	0.1	0.08	4.96	64
48-67	57	25	3.5	0.5	4.4	0.8	0.1	0.08	5.38	82
67-157	57	29	3.5	0.4	5.3	0.6	0.1	0.08	6.08	87
Entisol ³										
0-20	30	41	4.8	1.2	1.5	0.7	0.9	0.2	2.67	57
20-70	38	38	4.9	0.5	0.9	0.6	0.7	0.1	2.30	39
70-130	31	66	5.1	0.5	0.2	1.0	1.4	0.3	2.63	76

1. Tropeptic Haplustox km 308.8 carretera transamazónica, Manabá Brasil perfil N°3. Ruinzani, 1978.

2. Tepic paleudult (serie yurimaguas) perfil Y-6. Sánchez y Buol, 1974.

3. Fluvanquent planice inundable del Rio Cupix, Amapá Brasil perfil p. 146. FAO – UNESCO, 1974.

Más allá de los niveles de acidez que caracterizan los suelos amazónicos, se quiere resaltar que las 484 millones de hectáreas que conforman la región han estado, por cientos de años, cubiertas por selva húmeda tropical sin que por ello se escuche decir que las especies que constituyen este tipo de bosque sean las responsables directas de la acidificación de estos suelos.

La intención de este artículo no es hacer una revisión completa de los estudios realizados sobre la química de los suelos tropicales, sino más bien demostrar, contrariamente a las opiniones populares, que el proceso de acidificación de los suelos no es un proceso artificial exclusivo de las coníferas. La acidificación de los suelos es un proceso natural que ocurre en terrenos cubiertos por bosques, sean estos naturales o plantados, independiente de que las especies empleadas sean nativas o exóticas.

La reforestación con coníferas y la acidificación de los suelos

Contrario a lo que algunas veces se comenta en Colombia, no se ha destruido bosque natural para establecer plantaciones comerciales. Según las cifras del Departamento Nacional de Planeación (1994), en Colombia se deforestan entre 400.000 y 600.000 hectáreas por año.

No es preciso entrar a analizar las causas de la deforestación para afirmar que las tierras ganadas a los bosques se abandonan cuando la fertilidad del suelo se ha reducido de tal forma que las prácticas agrícolas y ganaderas son marginales y antieconómicas. Son en algunos de estos suelos, para entonces erodados, compactados, y de limitada productividad, en los que se establecen las plantaciones comerciales de coníferas y eucaliptos.

Determinar cuales son los efectos que las plantaciones de coníferas tienen sobre las propiedades físicas y químicas del suelo no es fácil y son varios los motivos que dificultan su estudio. Primero, los parámetros físicos del suelo como densidad aparente, macro y micro porosidad y capacidad de retención de humedad, y los parámetros químicos como saturación de bases, capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica y pH, entre otros, tienen su propia dinámica y sufren modificaciones que son difíciles de medir con precisión. Segundo, se requiere de períodos de tiempo relativamente largos para poder observar cambios significativos en la química del suelo forestal. Tercero, los suelos forestales son difíciles de muestrear sin una cuidadosa y bien diseñada metodología. Cuarto, los métodos que permiten determinar profundidad de raíces, disponibilidad de nutrientes, tasas de meteorización mineral y pérdidas de nutrientes por lixiviación no están aun bien desarrollados.

Limitaciones como las anteriores hacen difícil conocer con certeza los efectos de las plantaciones comerciales de coníferas sobre los suelos, independiente de como estos suelos llegaron al estado de deterioro que los caracteriza cuando se reforestaron. Además de las dificultades antes mencionadas, también existen limitaciones en la evaluación y análisis de los datos.

En 1985, Sánchez y sus colaboradores publicaron un artículo donde se analizaron los estudios realizados sobre el efecto de las plantaciones forestales en los suelos. En ese artículo se reporta que las investigaciones tendientes a determinar los efectos de las plantaciones forestales sobre los suelos se basan en dos tipos de estudios. El primer tipo (I) agrupa aquellas investigaciones en donde los datos referentes a la dinámica del suelo provienen de un solo sitio que es evaluado a través del tiempo. Esta clase de trabajos son ideales pero son los más escasos. El segundo tipo (II) agrupa estudios que emplean datos de sitios distintos y edades diferentes, evaluados una vez en el tiempo. Si bien estos últimos trabajos son los más frecuentes, presentan serias limitaciones que comprometen la claridad de los resultados. Las principales limitaciones reportadas por Sánchez et al. (1985) para los estudios tipo II son: (i) el mezclar variaciones espaciales (sitios distintos) con variaciones temporales (diferentes edades) y (ii) asumir que las diferencias en los valores de las características en estudio solo reflejan los efectos del tiempo, la especie y el manejo silvicultural, y no diferencias preexistentes en las propiedades del suelo.

No obstante las dificultades, son varios los trabajos que aportan evidencias del efecto del cultivo de coníferas sobre la acidez de los suelos. En Australia y Nueva Zelandia ha existido una preocupación permanente por los efectos que *P. radiata*, como especie introducida, podría tener sobre el suelo. Por ejemplo, en Australia (donde existen 2 millones de hectáreas plantadas con pino), Keeves en 1966, denunció que existían zonas en las cuales el crecimiento en área basal se había reducido en un 25% entre la 1ra y 2da rotación. Se sugirió como causa de la reducción en productividad la acidificación del suelo. Sin embargo, Will (1984) comprobó que las pérdidas de productividad en dichas áreas no se debieron a un aumento de la acidez, sino a que las plantaciones se establecieron en sitios de baja fertilidad (sabanas abandonadas), donde las propiedades físicas y químicas del suelo eran poco favorables para mantener bosques productivos.

En Nueva Zelandia, donde las plantaciones de *P. radiata* se han establecido desde comienzos de siglo, en suelos cuyo pH fluctúa entre 4.8 y 5.5, se ha determinado, después de 40 a 60 años (dos a tres rotaciones), que los valores de pH no solo se han mantenido, sino que cuando éstos han sido inferiores a 4.0 la especie es capaz de aumentar estos valores atenuando la acidez existente (Wil 1984).

Sparling y sus colaboradores (1994) compararon, en Nueva Zelandia, las cantidades de carbono (C), N y fósforo (P) extraíbles y totales, así como la estabilidad de los agregados del suelo en las capas H, F y hasta 20 cm de profundidad de un mismo tipo de suelo bajo bosque nativo (*Nothofagus truncata*), plantación forestal (*P. radiata*), rastrojo (*Ulex europaeus*) y pastizales. Los resultados indican que existen diferencias en la estabilidad de los agregados del suelo entre coberturas, pero que estas diferencias fueron no significativas, y posiblemente causadas por las diferencias en la conformación y arquitectura de los sistemas radiculares de las distintas coberturas. Los contenidos de C microbial fluctuaron entre 1.1 ton/ha en *P. radiata* hasta 1.3 ton/ha en rastrojo, mientras que las cantidades de N y P fueron similares para todos. Los autores concluyen indicando que el establecimiento de plantaciones comerciales de *P. radiata* en suelos abandonados por la agricultura no producen efectos diferentes en el suelo a los que producen los otros usos de la tierra. Situaciones similares se reportaron en Chile (Garrido, 1994), donde el *P. radiata* crece en suelos con valores de pH entre 4.2 y 5.8 sin que después de tres rotaciones se hayan detectado incrementos en la acidez de los suelos, o disminuciones en su productividad.

Los resultados de las experiencias Australianas, Neocelandesas y Chilenas, con relación al efecto del *P. radiata* sobre la acidez de los suelos, no son sorprendentes. El *P. radiata* en su lugar de origen, Suroeste de USA y Norte de México, después de ocupar el sitio por miles de años, crece sobre suelos cuyos valores de pH varían entre 4.5 y 5.8. Resultados similares a los reportados en Chile y Nueva Zelandia se podrían esperar en Colombia, si se considera que la especie de mayor uso en reforestación comercial, el *P. patula*, es originario de México y evolucionó al igual que el *P. radiata* en condiciones de pH entre 4.5 a 6.0.

Las experiencias en Colombia son escasas, dado que los pocos estudios que existen no tienen aun la edad suficiente para mostrar si los cambios sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos han sido causados por las especies que se plantan comercialmente (*P. caribaea*, *P. oocarpa*, *P. kesiya*, *P. pautu* y *C. lussitanica*), o solo obedecen a cambios propios de la dinámica del suelo.

En general, son varios los artículos que reportan incrementos en la acidez de los suelos que son reforestados con coníferas (Whyte, 1973; Evans 1976; Webler 1978; Hopmann et al., 1980; Francke, 1990 y 1991). En la mayoría de los casos, las reducciones en el pH fueron temporales y los valores de acidez regresaron a sus niveles previos poco tiempo después de ser establecida la segunda rotación. En los casos restantes, se reportan resultados de ensayos tipo II (diferentes sitios y diferentes edades) siendo difícil establecer si las diferencias se deben a condiciones de suelo preexistentes, o al efecto de las coníferas.

Papel de las coníferas en el proceso de podsolización de los suelos

La creencia de que las coníferas causan la podsolización del suelo sobre el cual crecen proviene, probablemente, de la generalización que se hace del hecho de que vastas zonas del norte de Canadá, Europa y Asia están cubiertas en su mayoría por bosques de coníferas, y que en algunas de estas áreas se han reportado la presencia de suelos podsólicos. Sin embargo, los bosques boreales no son los únicos bosques bajo los cuales se desarrollan procesos de podsolización. En los estados de Massachusetts y Nueva York en los estados Unidos, y en el norte de Francia, Pritchett y Fischer (1979), reportan la presencia de suelos podsólicos bajo bosques mixtos de Maple (*Acer sp.*) y Roble (*Oak sp.*). Estos mismos autores también reportan la presencia de podsoles gris-marrón en los pastizales de los estados de Dakota del norte y del Sur, y en la región norte de Kansas.

Entre 1972 y 1978, el proyecto RADAMBRASIL identificó vastas áreas de suelos podsólicos desarrollados bajo cobertura selvática a lo largo del nacimiento del Río Negro en el Amazonas Brasileño (Cochran y Sánchez, 1982). Más al oriente, cerca de Manaus, estos mismos autores reportan una segunda zona de suelos podsólicos identificada por Klinge en 1978. En Colombia, uno de los podsoles más conocidos es el de Sabana de Torres en Santander, formado bajo vegetación tropical. Como puede verse, la evidencia indica que la podsolización, al igual que la acidificación, es un fenómeno que ocurre bajo diferentes tipos de coberturas y condiciones medio ambientales, y que en el caso de las coberturas boscosas, ocurre tanto bajo especies latifoliadas como coníferas.

Los podsoles típicos se forman bajo condiciones de vegetación boscosa, alta precipitación y en suelos con horizontes arcillosos que subyacen bajo horizontes predominantemente arenosos. La materia orgánica al descomponerse produce compuestos orgánicos hidrosolubles que al lixiviarse remueven, no solo cationes básicos y arcillas, sino también óxidos de Al y Fe, que luego son depositados en un horizonte de acumulación (horizonte iluvial). En la región del río Negro, en el Amazonas Brasileño, el proceso de podsolización es el responsable por el nombre del río, ya que el agua al pasar a través del suelo arrastra ácidos orgánicos dando al río su color característico.

Según Cochran y Sánchez (1982), existen en la amazonía cerca de 10.5 millones de hectáreas de suelos podsólicos. Si bien estos podsoles solo ocupan el 2.2% de la superficie amazónica, y su importancia económica es poco significativa, si constituyen evidencias que la podsolización no es un fenómeno inducido exclusivamente por las coníferas.

Se puede resumir diciendo que el proceso de podsolización es el resultado de un conjunto de factores bióticos (cobertura), climáticos (alta precipitación) y edáficos (texturas arenosas) interactuando en el tiempo. Prueba de ello es que es posible predecir, con base a la presencia de los tres factores, dado el tiempo suficiente, donde se podrían presentar procesos de podsolización.

Las coníferas como una herramienta útil en la recuperación de suelos degradados

Antes de discutir este aspecto, se debe aclarar que bajo ninguna circunstancia se pretende insinuar que se deban talar los bosques naturales para hacer espacio a las plantaciones comerciales de coníferas. Todo lo contrario, lo que se pretende demostrar es que las coníferas tropicales pueden contribuir a preservar lo que queda de nuestros bosques naturales.

En 1978, Lundgren publica en la revista de ecología de la Universidad de Uppsala en Suecia, una muy completa revisión de estudios sobre el establecimiento de plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento y sus efectos sobre la dinámica de la materia orgánica, los nutrientes y la densidad aparente de los suelos en ecosistemas forestales del trópico y subtropico. Basándose en la

información recopilada, Lundren propone un modelo conceptual sobre lo que sería el efecto de las plantaciones forestales sobre los suelos. Si bien el modelo no sugiere el mejoramiento general de todas las propiedades de los suelos, no descarta que bajo cultivos forestales ciertas condiciones químicas y físicas de los suelos se mejoran, reconociendo además las bondades de las especies forestales de rápido crecimiento como una alternativa viable en la recuperación de suelos.

Tabla 2. Cambios en propiedades químicas de un Ultisol Arenoso en Jari Pará Brasil, a diferentes edades después del aclareo del bosque natural, y el posterior establecimiento de una plantación *P. caribaea*. Tomado de Sánchez et al., 1985, (Las muestras de suelo se tomaran en Julio 1981 de diferentes rodales en diferentes sitios).

Propiedad	Años después de la quema	Bosque natural	Tumba y Quema	<i>P. caribaea</i> Jovén		<i>P. caribaea</i> Maduró	Pino 2 ^{da} Rotación	# Mínimo Significativo
			1	0.5	1.5	10.5	14	
	Profundidad (cm)							
pH	0-20	3.9	3.9	4.7	4.3	4.1	4.6	0.6
	20-50	4.1	4.2	4.3	4.2	4.0	4.2	0.2
	50-100	4.1	4.0	4.1	4.1	4.0	4.2	0.3
Sat Al (%)	0-20	67	60	33	47	74	37	29
	20-50	75	78	70	70	80	68	10
	50-100	64	74	64	62	79	64	13
Ca (meq/100g)	0-20	0.20	0.29	0.64	0.60	0.29	0.67	0.45
	20-50	0.21	0.21	0.24	0.26	0.22	0.30	0.09
	50-100	0.23	0.21	0.20	0.21	0.22	0.29	0.10
Mg (meq/100g)	0-20	0.06	0.09	0.56	0.39	0.04	0.36	0.28
	20-50	0.06	0.04	0.07	0.08	0.04	0.09	0.04
	50-100	0.06	0.04	0.05	0.08	0.01	0.06	0.05
K (meq/100g)	0-20	0.03	0.04	0.06	0.04	0.02	0.03	0.02
	20-50	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01
	50-100	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	ns
P (meq/100g)	0-20	5.4	3.3	4.0	4.1	4.0	3.4	ns
	20-50	2.5	1.8	2.1	1.0	3.9	1.7	1.5
	50-100	2.7	2.4	1.2	0.7	2.6	1.6	ns
C (%)	0-20	0.75	0.87	1.16	1.20	0.82	1.04	ns
	20-50	0.55	0.56	0.40	0.54	0.67	0.72	0.18
	50-100	0.28	0.28	0.25	0.23	0.28	0.38	0.09

En la **Tabla 2** se presentan los resultados de un estudio realizado en Brasil y reportado por Sánchez et al. (1985). En este estudio se monitorearon los cambios en las propiedades químicas de un Ultisol arenoso que después de ser despojado de su cobertura (bosque natural) fue plantado con *P. caribaea*. Como en este trabajo se emplearon datos tipo II (provenientes de estudios en distintos rodales), se hizo necesario verificar la similitud entre los suelos con el propósito de determinar diferencias preexistentes y considerarlas al momento de analizar los resultados. Para hacerlo se empleó la textura como variable indicadora de que tan similares o diferentes eran los suelos, dado que ésta es una propiedad que no cambia con el tipo de manejo o el tiempo. En la **Tabla 3** se muestran la distribución de la textura a lo largo del perfil, así como los valores iniciales de densidad aparente de los rodales involucrados.

Se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las propiedades del suelo (0 a 20 cm) bajo bosque natural y la segunda rotación de *P. caribaea*. Estas diferencias incluyen disminución en la acidez (3.9 a 4.6) y la saturación de Al (67% a 37%) así como incrementos de un 300% y 600% en Ca y Mg intercambiables respectivamente. Por otro lado, no se encontraron diferencias importantes en C, P disponible, ni en las propiedades físicas de las capas inferiores del suelo.

Tabla 3. Textura y densidad aparente de tres ultisoles arenosos muestreados en Jari, Pará, Brasil (Tomado de Russel, 1983).

Propiedad	Profundidad (cm)	Bosque nativo	<i>P. caribaea</i> joven 1.5 años	<i>P. caribaea</i> Maduro 10.5	Significancia
Arena (%)	1	94	93	93	ns
	30	84	83	81	ns
	100	79	80	80	ns
Arcilla (%)	1	5	5	6	ns
	30	15	15	16	ns
	100	20	16	17	ns
Densidad Aparente (g/cm ³)	1	1.22	0.98	1.23	ns
	30	1.62	1.61	1.58	ns
	100	1.70	1.79	1.60	ns

Estudios en Malasia, Nigeria, Costa de Marfil y Perú, reportados por Sánchez et al. (1983), mostraron tendencias similares en cuanto a reducciones en la acidez, saturación de Al e incrementos en los contenidos de bases intercambiables en el suelo, ocurridas después de una o más rotaciones de plantaciones forestales.

Conclusiones finales

Existen varios factores que hacen de las coníferas una especie idónea para la conservación de suelos. Antes de continuar, se debe tener en mente que los suelos que requieren de conservación son suelos erodados, compactados, pobres en materia orgánica y nutrientes, donde toda actividad agrícola y ganadera pasó a ser marginal y antieconómica. En suelos limitados como estos, las coníferas pueden crecer a ritmo acelerado y en pocos años controlan la erosión proporcionando cobertura (Douglas y Castro, 1994), recuperan el suelo aportando materia orgánica (Prescott et al., 1993), regulan caudales de arroyos y quebradas reduciendo la escorrentía y mejorando la infiltración (Bosh y Hewlett, 1982). Además, en el proceso de crecimiento, capturan en promedio 1.5 ton CO₂/ton de madera lo que reduce el efecto invernadero (Luke, 1990), generan empleo (14 ha de plantación manejada técnicamente genera un empleo permanente y siete empleos indirectos) (Acofor, 1986; Mondragon y Trujillo, 1986). En el corto plazo, pueden ser fuente de leña y carbón, en el mediano plazo, de materia prima para procesos industriales, y en el largo plazo, de madera para construcción y productos sólidos.

Existen también especies nativas que tienen un potencial similar al de las coníferas como recuperadoras de suelos. Sin embargo, se diferencian en que son más exigentes en la calidad del suelo, crecen más lentamente, no se comportan bien en rodales homogéneos, no se conoce lo suficiente acerca de sus requerimientos silviculturales y con frecuencia su utilidad es muy limitada.

Resulta evidente, a la luz de la información aquí presentada, que las especies de coníferas plantadas comercialmente distan mucho de ser **el enemigo público número uno del medio ambiente**. Por el contrario, las coníferas son especies con mucho potencial que pueden satisfacer buena parte de las necesidades que hasta ahora han satisfecho los bosques naturales. Su cultivo en plantaciones ayuda a disminuir la presión sobre los bosques nativos, recupera para la economía y la producción tierras abandonadas por otras actividades agropecuarias, y sirve como un elemento irremplazable de lucha contra la degradación del suelo. Además, durante este proceso, las coníferas contribuyen a la generación de empleo y al mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural involucrada en el cultivo y cuidado de los bosques.

Literatura Citada

Acofore. Propuestas para la reactivación del sector forestal en: Congreso Nacional de Reforestación (2º 1986: Bogotá).

Brady, M.C. The nature and properties of soils. 9ª Ed. New York: Mc Millan publishing, 1984.

Boch, J. M. and Hemlett, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. En: Journal Hyd. Vol. 55, 1982. P. 3-23.

Bohn, H.L. Mc Neai and O'Connor G.A. Soil Chemistry. New York. John Willy and Sons. 1995.

Cochrane, T.T. and Sánchez, P.A. Land Resources, soil and their management in the Amazon Region: State of Knowledge Report. p. 137-210. En: Hecht, S.B. (de.) Amazonia: agriculture and land use Research Cali: Centro Internacional de Agricultura tropical. Cali, Colombia, 1982.

Departamento Nacional de Planeación. El plan de Acción Forestal para Colombia en la Revolución Pacífico 1990-1994. Bogotá: 1994. 60 p.

Douglas, C. y Castro C. El cultivo forestal y el cultivo agrícola desde el punto de vista de la protección del suelo contra la erosión. Corma. Marzo/abril (1994). P. 26-32.

Evelyn, J. Sylva or Discourse on forest trees. Hunter's Edition of 1775 York 1801. 1665.

Evans, J. Plantations: productivity and prospects. En: Australian Forestry. Vol. 39. 1976. P. 150-163.

Francke, S. Efectos del manejo de residuos de explotación en el suelo y crecimiento inicial de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don: en las series de suelo coreo (zona arenales) y caliza (zona arauco). En: Revista Chile Forestal CONAF: Documentos técnicos No. 51 y 52. (1991).

Francke, S. Efectos del tratamiento de residuos de explotación en el suelo y el crecimiento inicial de *Pinus radiata*. En: Revista Ciencia e Investigación Forestal. Vol. 4, No. 1 (1990). P. 1-33.

Garrido, F. Comentarios sobre la acidez de los suelos forestales. En: Bosques y Futuro. 11 (Enero/Abril). P. 18-19.

Keeves, A. Some evidence of loss productivity with successive rotations of *Pinus radiata* in the South East of South Australia. En: Australian Forestry. Vol. 30, No. 1 (1996). p. 51-63

-
- Luke, J.A. Good Neighbors: Industry steward ship and the Environment. Tappi Journal Vol. 73, N.G. June 1990.
- Lundgren, B. Soil conditions and nutrient cycling under natural and plantation forests in Tanzanian higlands. En: Reports on Forest Ecology and Forest Soils. No. 31 Uppsala: Swedish University of Agricultural Science (1978).
- Mondragon y Trujillo. Compilación comentada de normas sobre asistencia técnica forestal, incentivos tributarios y administración de plantaciones . Bogotá: Inderena, 1986. 48 p.
- Prescott, C. E., Taylor, B. R., Parsons, W. F., Durall, D.M. and Pakirson, D. Nutrient release from decomposition litter in rocky mountain coniferous forest. En: Can. Jour. For. Res. Vol. 23, No. 8 (1993). P. 1576-1586.
- Proyecto Radambrazil. Levantamiento da regioa Amazónica. Vols. 1-12. Ministerio das Minas e Energia. Departamento Nacional de Producao Mineral. Rio de Janeiro, Brazil. 1972-1978.
- Sánchez, P. A., Palm, C. A., Davey, C. B., Szott. L. T., and Russet, C. E. Tree crops as soil improvers in the humid tropics ? p. 327-358. En: Cannell M.G. and Jackson as crop plants. Huintingdon U.K. Inst. Terrest. Ecology, National Env. Res Council, 1985.
- Sánchez, P.A.; Villachica, J.H. and Brady D.E. Soil fertility dynamics after cleaning a tropical rain forest in Peru. En : Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 47 (1983). P. 1171-1178.
- Sparling, et al., A comparison of soil and microbial Carbon, Nitrogen and Phosphorus content, and migro-aggregate stability of soil under native forest and after clearence for pastures and plantation forest. En: Biology and fertility of soils. Vol 12, No. 2 (1994) p. 91-100.
- Toro, J. El *Pinus radiata* y la acidificación del suelo. Santiago fundación Chile, 1993. 25 p.
- Will, G.M. Monocultures and site productivity. P. 473-487. En: IUFRO proceedings and productivity of fast growing plantations.A.D. Schonan; C. Schutz Editores.
- Webler, B. Potential increase in nutrient requirements of *Pinus radiata* under intensified management. En: N.Z.Gl. For. Sci. Vol. 8 No. 1 (1978). P. 146-159.
- Whyte, A.G. Productivity of first and second crops of *Pinus radiata* on the montere gravel soil of Nelson. En: N.Z.Gl. For. Vol. 18, No. 1 (1973). P. 87-103.
-