

Nota técnica

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE CAL A PLANTACIONES DE JAÚL (*Alnus acuminata*) EN ANDISOLES DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO VIRILLA, COSTA RICA

Marlon Salazar*, Gilberto Cabalceta¹*, Alfredo Alvarado*, Manuel Segura**, Álvaro Castillo**

Palabras clave: Encalado, jaúl, *Alnus acuminata*, Andisoles.

Keywords: Liming, alder, *Alnus acuminata*, Andisols.

Recibido: 12/05/10

Aceptado: 25/01/11

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el impacto de adicionar cal a plantaciones de jaúl (*Alnus acuminata* (H.B.K.) O. Kuntze) en Andisoles de la cuenca alta del río Virilla, Costa Rica, se realizó el presente trabajo en 2 localidades: 1) Finca Hospicio: Ubicada en la localidad de Vista de Mar, cantón de Goicoechea, a una altitud de 1542 msnm; el suelo se clasificó como *Typic Udivitrands* y la plantación se estableció en el 2002. 2) Finca Dorval: Ubicada en la localidad de Las Nubes, cantón de Vásquez de Coronado, a una altitud de 1925 msnm; el suelo se clasificó como *Thaptic Udivitrands* y la plantación se estableció en 1997. Los tratamientos aplicados fueron 0 (testigo), 750, 1500 y 2250 kg.ha⁻¹ de carbonato de calcio y magnesio (Dolomita), 1500 kg.ha⁻¹ de carbonato de calcio (Calcita) y 1500 kg.ha⁻¹ de sulfato de calcio (Yeso). Se midieron el diámetro a la altura del pecho (DAP) a 1,3 m, la altura total de los árboles (m) y se estimó el volumen (V) mediante la fórmula: $V(m^3) = 2,71828^{-10,0557 + \ln(d)*2,0369 + 0,927718 * \ln(h)}$ propuesta por Segura et al. (2005), en la cual d es el DAP en cm y h es la altura total en m. Al comparar las mediciones del diámetro a la altura del pecho, incremento medio anual en diámetro (IMA-DAP), altura total, incremento

ABSTRACT

Effect of liming alder plantations (*Alnus acuminata*) in Andisols of the Virilla River upper watershed, Costa Rica. This experiment was conducted to evaluate the response of alder trees (*Alnus acuminata* (H.B.K.) O. Kuntze) to liming in Andisols of 2 sites of the Virilla River upper watershed, Costa Rica. The first experiment was set up in 2002 at the Hospicio farm, Vista de Mar, Goicoechea County, at 1542 masl; on a soil classified as *Typic Udivitrands*. A second experiment was carried out in 1997 at Dorval farm, Las Nubes, Vásquez de Coronado County, at 1925 masl, on a soil classified as *Thaptic Udivitrands*. Liming treatments were: 0 (check), 750, 1500 y 2250 kg.ha⁻¹ of calcium and magnesium carbonate (Dolomite), 1500 kg.ha⁻¹ of calcium carbonate (Calcite) and 1500 kg.ha⁻¹ of calcium sulfate (Gypsum). Dendrometric variables measured were diameter at breast height (DBH) at 1.3 m, total height of trees, and volume was estimated using the formula: $V(m^3) = 2,71828^{-10,0557 + \ln(d)*2,0369 + 0,927718 * \ln(h)}$ as proposed by Segura et al. (2005), where d represents DBH (cm) and h is total height (m). None of the liming treatments significantly affected DBH annual increment, total height, average height annual

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: gilberto.cabalceta@ucr.ac.cr

* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

** Compañía Nacional de Fuerza y Luz. San José, Costa Rica.

medio anual en altura (IMA-ALT), volumen total e incremento en volumen total, por dosis y fuentes de cal aplicada, se observó que ningún tratamiento causó diferencias estadísticas, en estas variables en ninguna de las 2 fincas comparadas ni entre épocas de medición. La adición de fuentes y niveles de cal no afectó significativamente las variables diámetro, altura y volumen. La falta de respuesta a las diferentes enmiendas comparadas demuestra que el suelo proporcionó suficiente Ca, Mg y S para asegurar el crecimiento óptimo del jaúl. Tampoco se encontró que los suelos mostraran problemas de acidez de magnitud tal que afectaran negativamente el crecimiento del jaúl.

increment, total volume and total volume annual increment in any of the 2 farms. Nor liming affected any tree growth variable by season (dry vs. wet season). No significant differences were found among dasometric variables due to the addition of different liming sources. The lack of response to the soil amendments compared demonstrates that the soil available Ca, Mg and S was enough to provide these nutrients in quantities that allow alder optimum growth. None of the soils studies showed acidity problems large enough to adversely affect alder tree growth.

INTRODUCCIÓN

La silvicultura de plantaciones de altura es una actividad reciente en Costa Rica. Surge como opción para satisfacer necesidades de bienes y servicios que durante muchos años brindaron los bosques nativos, pero que por falta de previsión en su manejo, se agotan como fuente de recursos en un futuro cercano (Rojas 2001).

La mayoría de las plantaciones forestales se encuentran en regiones tropicales bajas, debido principalmente a que el mayor número de especies seleccionadas para este fin provienen de este tipo de regiones y son de crecimiento rápido. Las plantaciones de altura, normalmente son de coníferas (*Pinus* y *Cupressus*), con la posibilidad de explotar en este piso altitudinal otras especies como *Alnus* y *Cedrela*.

En el manejo de cuencas, las plantaciones forestales de altura tienen un papel importante, ya que ayudan a mejorar el paisaje y a disminuir la cantidad de sedimentos que se acumulan en los cauces de agua, represas y otras obras de ingeniería (Segura et al. 2005). Con este propósito se inició un proyecto de protección de la cuenca del río Virilla, en la Dirección Ambiental

de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S. A. (CNFL). A partir de 1990 se planteó como objetivo sembrar en la cuenca alta hasta 1000 ha de jaúl (*Alnus acuminata*), especie que por sus características de rápido crecimiento, hoja pequeña (poco propicia a provocar erosión) y capacidad de fijar nitrógeno, es adecuada para planes de recuperación en las zonas altas de Costa Rica. Esta especie se puede usar además en combinación con pastos para corta y pastoreo (CATIE 1984, Budowski y Russo 1997).

El jaúl, es una de las especies principales para la reforestación de áreas comprendidas entre los 1500 y 2600 m de elevación. Debido a su sistema radical lateral, extendido y al crecimiento acelerado de los árboles, se comporta muy bien en suelos de ladera, donde se utiliza para controlar la erosión, restaurar y repoblar áreas muy deterioradas y sostener los cortes de caminos (Tarrant y Trappe 1971, CATIE 1984, Cervantes y Rodríguez 1992, Budowski y Russo 1997). Las especies de *Alnus* generalmente crecen en ambientes considerados como de baja fertilidad y de estrés, tales como condiciones climáticas extremas o áreas disturbadas periódicamente (orillas de lagos y ríos, terrenos sometidos a

deslizamientos frecuentes, etc.), los cuales a menudo tienen pH bajo, baja capacidad tampón y deficiencias de N y P (Grime 1992).

Esta especie presenta un buen desarrollo en suelos bien drenados, limo arcillosos, de origen aluvial o volcánico, aunque también crece en suelos pobres y pedregosos; su desarrollo se ve severamente disminuido en lugares con aguas estancadas o superficiales (Muñoz 1998). Según Sánchez (1985) y Muñoz (1998), el jaúl crece bien en un rango amplio de características edáficas, que incluye las siguientes: pH (agua) 4,7-6,4, capacidad de intercambio de cationes 0,4-18,7 cmol(+).l⁻¹, materia orgánica 0,6-28,1%, Mg intercambiable 0,1-6,5 cmol(+).l⁻¹, Na intercambiable 0,2-8,8 cmol(+).l⁻¹, N 0,01-1,5% y relación C/N 1,4-38,9.

Las zonas de crecimiento de jaúl en Costa Rica, se ubican en suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles), tales como los de la cuenca del río Virilla, parte alta del cantón de Coronado, en la Cordillera Volcánica Central. En Costa Rica, estos suelos se han clasificado principalmente en 2 grandes grupos, Udivitrands y Hapludands. Los Hapludands contienen el mayor contenido de bases y los Udivitrands cantidades medias. Los contenidos de P, S, B y arena disminuyen, mientras que la fracción fina y materia orgánica aumentan desde Udivitrands hasta Hapludands, esto se debe a la mineralogía de las cenizas y al grado de meteorización de estos suelos (Canessa et al. 1986).

La mayoría de los suelos donde la CNFL estableció estas plantaciones son recientes y de origen volcánico, con altos niveles de Fe, Mn y Al total. Cuando están disponibles, dichos elementos pueden producir daños en las raíces y por ende reducir una absorción adecuada de elementos esenciales para el crecimiento de los cultivos (Sánchez y Salinas 1983). Además, es característico de este tipo de suelos la deficiencia de elementos como P, B, Ca y Mg, en particular después de varios años de uso en agricultura (Alvarado et al. 2001).

El jaúl es un árbol capaz de fijar N atmosférico en asociación simbiótica con el actinomiceto

Frankia; en adición, su sistema radical puede estar infectado por hongos endomicorrízicos que forman una asociación simbiótica tripartita entre *A. acuminata*, *Frankia* y la micorriza vesículo arbuscular (Rondón y Hernández 1987).

Estudios realizados en plantaciones de diferente edad de *Alnus nepalensis* y *Alnus rubra* (Franklin et al. 1968, Sharma et al. 1985, Sharma 1993), demuestran que la liberación de parte N fijado por estas especies, puede causar un aumento de N y P en el suelo, mientras que el contenido de Ca intercambiable y el pH disminuyeron en el tiempo y hasta una profundidad de 40 cm. Este efecto se debe a la acumulación y humificación de residuos, la acumulación de nitratos, el lavado de nutrientes por efecto de ión acompañante y de la absorción de cationes por los árboles. Para compensar este problema, sería necesario realizar encalados del suelo cada cierto tiempo, para mantener la sostenibilidad de estos sistemas de producción. Sin embargo, los autores no trabajaron en Andisoles, suelos reconocidos por su alta capacidad tampón, por lo que los procesos de acidificación mencionados, probablemente no son tan importantes en el presente trabajo.

Una nutrición inadecuada o toxicidad puede conllevar a un crecimiento pobre y a un aumento en la susceptibilidad del árbol hacia el ataque de alguna plaga (p.e. *Scolytodes alni*) o enfermedad, provocando así rendimientos bajos (Espinoza 2002) y que correlacionó de manera positiva con el contenido de Fe en el suelo. Para reducir los niveles de Fe disponible, algunos especialistas recomiendan la aplicación de cal en las plantaciones como recomendación del Ing. Agr. Edgar Vargas (q.d.D.g), quien atribuyó el mal a una toxicidad de Fe y Mn (Castillo Á. 1999. Comunicación personal). Sin embargo, la respuesta al encalado en cultivos agrícolas sembrados en Andisoles de Costa Rica, a sido positiva (Hardy y Bazán 1963, Fassbender y Molina 1969, Morelli et al. 1971, Bertsch 1982, Chaves y Alvarado 1994, Henríquez y Bertsch 1997, Molina 1998), atribuible a mejoras en la disponibilidad de Ca y Mg, reducciones en la cantidad de acidez

intercambiable e incrementos en la producción de los cultivos.

Una de las mejores técnicas para contrarrestar la toxicidad de Fe, Mn y Al es la utilización de enmiendas (cales) (Espinosa y Molina 1999, Sánchez y Salinas 1983, Alvarado et al. 2001, Espinoza 2002, Zapata 2003), ya que forma precipitados que los hacen no disponibles y los mantiene en un nivel no tóxico para las plantas por períodos prolongados. Las enmiendas pueden además suplir la falta de elementos base, ya que poseen cantidades considerables de Ca y S (carbonato de calcio y sulfato de calcio) y de Ca y Mg (Dolomita) (Espinosa y Molina 1999). En regiones no tropicales, se han realizado estudios sobre fertilidad y nutrición en el género *Alnus* spp. (Sharman y Ambasht 1987, Zou et al. 1995, Sharman et al. 2002), pero no se ha encontrado información del efecto de enmiendas sobre el crecimiento de *A. acuminata*.

La necesidad de cal en plantaciones forestales de regiones tropicales es importante, cuando los suelos son ácidos y las especies empleadas no son tolerantes a la acidez; sin embargo, para el caso de los Andisoles, la respuesta a la aplicación de cal no está aun bien dilucidada. Para determinar la necesidad de cal se deben conocer 4 factores: 1) la tolerancia de la planta a la acidez, 2) el contenido de acidez del suelo, 3) la calidad del producto encalante a utilizar y 4) los aspectos de manejo del producto involucrados en la aplicación del mismo (al voleo, en banda, incorporado, etc.).

Algunos autores han desarrollado modelos matemáticos que permiten calcular la necesidad de cal a utilizar para neutralizar la acidez del suelo, al considerar los factores mencionados (Cochrane et al. 1980, Espinosa y Molina 1999, Soil Management C.R.S.P. 2002), en ambos casos se asume que la neutralización de la acidez del suelo puede explicarse con modelos lineales, siendo la principal diferencia que en el primer caso se entiende que este mecanismo tiene la misma intensidad, independientemente del grado de acidez del suelo, mientras que en el segundo, se utiliza la combinación de 2 ecuaciones lineales con diferente pendiente asume que la

neutralización de la acidez del suelo es más difícil a niveles bajos de saturación de Al. Para realizar el cálculo de la necesidad de cal al aplicar las ecuaciones anteriormente mencionadas, es necesario conocer el grado de saturación de aluminio que tolera la especie a cultivar, por lo que se han desarrollado cuadros con estos valores (Bertsch 1995).

Para el caso de las especies forestales de importancia, no se conocen valores de tolerancia a la acidez del suelo. Sin embargo, se sabe que *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis* toleran valores elevados de saturación de Al (Pérez et al. 1993); en este caso, al igual que sucede con otras especies como *Hieronymia alchorneoides*, *Terminalia amazonia* y *Calophyllum brasiliense*, la respuesta al encalado puede ser hasta negativa (Calvo et al. 1995).

Cuando las especies a considerar crecen naturalmente en suelos derivados de materiales calcáreos o en suelos aluviales fértiles, tales como *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Cordia alliodora* y *Bombacopsis quinata*, la situación es diferente ya que estas especies si responden al encalado y se ven favorecidas por contenidos elevados de bases cambiables en el suelo (Delgado et al. 1991, Vallejos 1996, Montero 1999).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de adición de fuente y dosis de cal sobre las variables de crecimiento de jaíl en plantaciones establecidas en Andisoles de la Cuenca Alta del río Virilla, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Variabales ambientales

El estudio se realizó en 2 plantaciones. Finca Hospicio (4 años de edad): se ubica en la localidad de Vista de Mar, cantón de Goicoechea, a una altitud de 1542 msnm (Segura et al. 2005). Tiene una extensión de 1,5 ha. El terreno posee una parte alta plana, una intermedia con pendiente del 30% y una parte baja también plana, el suelo se clasifica como Typic Udivitrands. La plantación se estableció en el 2002. Finca Dorval

(9 años de edad): se ubica en la localidad de Las Nubes, cantón de Vásquez de Coronado, a una altitud de 1925 msnm (Segura et al. 2005). Tiene una extensión de 11 ha. El terreno es ondulado con una pendiente promedio del 25%, el suelo se clasificó como Thaptic Udivitrands. La plantación se estableció en 1997. Las características químicas y físicas de los suelos pueden verse en el Cuadro 1. El muestreo de suelo se realizó con barreno, para 5 submuestras por parcela al azar entre los 0 y 20 cm de profundidad. Las submuestras se colocaron en un recipiente en el cual se uniformizaron y cuartearon para tomar una muestra compuesta de medio kg. Se tomó muestras al inicio del experimento (antes de la aplicación de los tratamientos) y a los 6 y a los

20 meses después del primer muestreo. A las muestras recolectadas se le efectuó análisis de laboratorio en el CIA/UCR. Las muestras se les analizó por pH en agua, acidez intercambiable, Ca y Mg en KCl 1N; P, K, Zn, Cu, Mn y Fe en Olsen Modificado (Díaz-Romeu y Hunter 1978). La materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black (1938). A todas las muestras se les realizó la disolución selectiva de aluminio, hierro y manganeso en oxalato ácido de amonio de acuerdo con el procedimiento descrito por Blakemore et al. (1987). Sobresale el hecho de que los suelos son ligeramente ácidos (pH), bajos en bases, P y S, con una reacción al NaF que indica que los suelos contienen materiales amorfos.

Cuadro 1. Características de fertilidad de los suelos en las fincas Dorval y Hospicio al inicio del experimento.

Variable	Unidades	FINCA DORVAL			FINCA HOSPICIO		
		Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
pH	H ₂ O	5,2	5,6	5,4	5,5	5,7	5,6
Ca		1,71	3,41	2,44	2,17	4,90	3,62
Mg		0,71	1,31	0,96	0,47	1,04	0,78
K	cmol(+).l ⁻¹	0,13	0,22	0,17	0,15	0,41	0,24
ACIDEZ		0,11	0,22	0,15	0,11	0,16	0,13
CICE		2,85	5,01	3,71	2,96	6,18	4,77
P		7	15	9	4	7	5
Cu		13	21	17	12	17	15
Fe		172	424	284	88	149	105
Mn	mg.l ⁻¹	2	4	3	1	3	2
Zn		1	4	3	2	4	3
B		1	2	1	1	1	1
S		6	11	8	6	10	8
Al		0,26	1,02	0,49	0,95	1,86	1,46
Fe	% Amorfos	0,50	0,86	0,69	0,79	1,33	1,01
Mn		0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02
NaF	pH	10,0	10,9	10,4	10,5	11,0	10,8
M. O.	%	4,8	13,1	6,3	5,7	12,9	7,2

¹ Las unidades están expresadas en m/vol (cmol(+).l⁻¹, %=g.100ml⁻¹, mg.l⁻¹).

² Procedimiento: pH en agua, en relación suelo:solución 1:2,5; acidez, Ca y Mg en KCl 1M, 1:10; P, K, Zn, Fe, Mn y Cu en Olsen Modificado (NaHCO₃ 0,5M, EDTA disódica 0,01M, Superfloc 127, pH 8,5), 1:10. Acidez por titulación (CIA-SC09-01-02-P04)*, P por Espectrofotometría UVV (CIA-SC09-01-02-P06)* y el resto por Espectrofotometría de AA (CIA-SC09-01-02-P05) (tomado de www.eca.or.cr ,Laboratorio de suelos y foliares, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica).

Ambas fincas se ubican dentro de la zona de vida Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB) (Holdridge 1978). La precipitación promedio anual es de 2500 mm, con una temperatura promedio anual que oscila entre 12 y 22,5°C (Segura et al. 2005). La humedad relativa de la zona es alta y la neblina es frecuente, con vientos leves (Montoya 1999, Arce 1999). En ambos sitios los árboles se encuentran plantados a una distancia de 3,5 x 3,5 m, para una densidad inicial de 816 árboles.ha⁻¹.

Diseño experimental de los tratamientos

En cada finca se estableció un diseño de bloques completos al azar de 6 tratamientos con 3 repeticiones (36 parcelas experimentales en total, 18 por finca). Cada parcela útil estuvo constituida por 36 árboles, lo que representó un área de 441 m². En algunos casos se utilizó una parcela de 4 x 10 árboles (490 m²), esto debido a las condiciones del terreno. En las parcelas de 6 x 6 se evaluó una parcela útil de 4 x 4 árboles (196 m²), mientras que para las parcelas de 4 x 10 se evaluó una parcela útil de 2 x 8 árboles (196 m²). Los bloques se conformaron con base en la posición en el terreno (partes alta, pendiente y baja).

Los 6 tratamientos aplicados fueron 0 (testigo), 750, 1500 y 2250 kg.ha⁻¹ de carbonato de calcio y magnesio (Dolomita), 1500 kg.ha⁻¹ de carbonato de calcio (Calcita) y 1500 kg.ha⁻¹ de Sulfato de calcio (Yeso). Las cales se aplicaron al voleo sobre la totalidad del área de la parcela, incluyendo los bordes. Los niveles de cal dolomita se propusieron con el fin de permitir calcular la necesidad del producto a aplicar para disminuir la acidez hasta valores tolerables de la especie cuando los suelos son deficientes en calcio y/o magnesio, sin que existan problemas de acidez, caso común en Andisoles de Costa Rica (Cuadro 1). El problema puede resolverse a través de fertilización de estos 2 elementos y en este caso se acostumbra utilizar cantidades de producto mucho menores que las empleadas cuando se trata de encalado para reducir la acidez (1500 kg.ha⁻¹ de carbonato de calcio, de sulfato de calcio y de dolomita).

Cada parcela se identificó en el campo con una placa metálica colocada cerca del árbol N°. 1, con la información del tipo de tratamiento aplicado y número de bloque. Los árboles de la parcela útil se numeraron con pintura especial y se marcó con una línea continua el lugar donde debía medirse el diámetro a la altura del pecho (DAP). Los tratamientos se aplicaron una sola vez al inicio de la evaluación.

Variables de crecimiento de los árboles

Se midieron el diámetro a la altura del pecho (1,3 m), con una cinta diamétrica en cm, y la altura total de los árboles medidos en m con vara telescópica para árboles menores de 20 m de altura e hipsómetro láser para árboles mayores de 20 m; además se estimó el volumen (V) mediante la formula: $V (m^3) = 2,71828^{-10,0557 + \ln(d)} * 2,0369 + 0,927^{718 * \ln(h)}$ propuesta por Segura et al. (2005), en la cual *d* es el DAP en cm y *h* es la altura total en m. Los valores de volumen que se reportan representan el valor promedio por tratamiento. Todas las mediciones se realizaron antes de aplicar los tratamientos, a los 6 y 20 meses después de la aplicación de los productos. No se realizó mediciones a los 12 meses debido a que a los 6 meses no hubo respuesta la aplicación de las cales.

Análisis de los tratamientos

Para cada variable y finca evaluada se realizó un análisis gráfico de los resultados para observar diferencias o tendencias según los tratamientos, y se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y comparación de medias de Tukey, esto para cada variable. Así, se trató de determinar el tratamiento más adecuado para cada finca

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los tratamientos con cal sobre el diámetro a altura de pecho (DAP)

Al comparar las mediciones del DAP según las dosis y fuentes de cal aplicada, se observó: 1) que ningún tratamiento causó diferencias

estadísticas, en esta variable en ninguna de las 2 fincas comparadas y 2) tampoco entre épocas de medición (Figura 1). Sin embargo, en la finca Dorval el mayor DAP se observó con la adición

de 750 y 1500 kg.ha⁻¹ de dolomita, mientras que en la finca Hospicio ocurrió con el tratamiento de 1500 kg.ha⁻¹ de yeso.

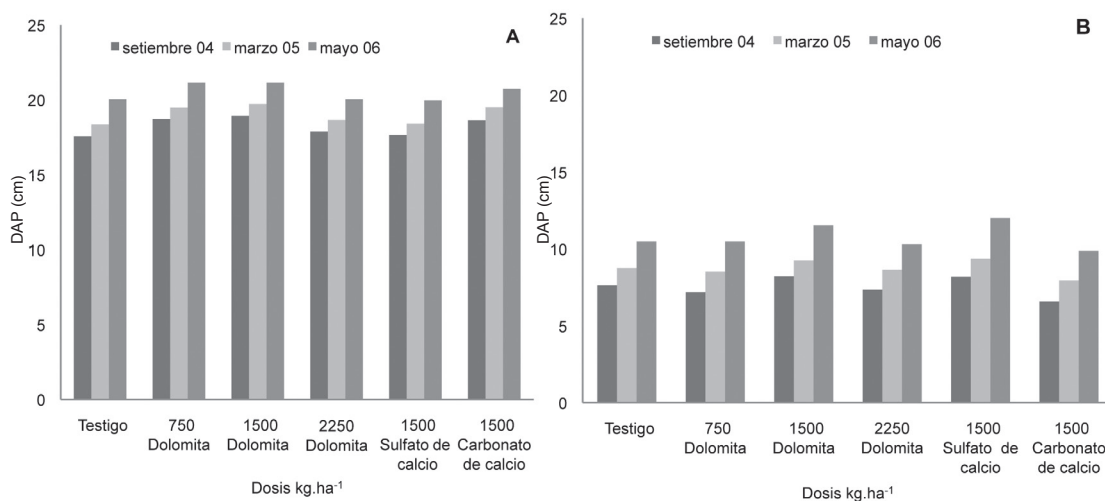


Fig. 1. Efecto de los tratamientos sobre el diámetro de *A. acuminata* a la altura del pecho (DAP) y su variación durante el tiempo de evaluación en las fincas Dorval (A) y Hospicio (B).

Lo encontrado, implica que a pesar de los bajos niveles de Ca, Mg y S, y la baja saturación de acidez, la adición de cales no afectó el diámetro de los árboles, probablemente debido a que la especie soporta bajos niveles de los elementos mencionados en el suelo, por los métodos de análisis utilizados. La poca o nula respuesta de varias especies al encalado en Andisoles es común en la literatura (Fassbender y Molina 1969, Chaves y Alvarado 1994), aunque ocurre cuando los suelos son deficientes en Mg (Alfaro 1998, Molina 1998).

Las diferencias que se notan entre las fincas Hospicio (4 años) y Dorval (7 años), se

deben a su diferencia de edad. Los incrementos en DAP con la época de medición en cada una de las fincas, también son un reflejo del crecimiento normal de los árboles y los incrementos son similares a los encontrados por otros autores para la especie (Segura et al. 2005). Con el análisis de varianza se verifica que no hubo diferencias en el DAP debido a la aplicación de los tratamientos (Cuadro 2), tanto para la finca Dorval ($p=0,8965$), como la finca Hospicio ($p=0,3037$).

Cuadro 2. Análisis de varianza para la variable diámetro a la altura del pecho de *A. acuminata* en función de los tratamientos en las fincas Dorval y Hospicio.

Finca	Tratamiento (kg.ha ⁻¹)					
	Testigo	750 Dol.**	1500 Dol.	2250 Dol.	1500 Yeso	1500 Calcita
Dorval (cm)	20,03 A	21,13 A	21,13 A	20,03 A	19,97 A	20,73 A
Hospicio (cm)	10,47 A	10,47 A	11,53 A	10,30 A	12,00 A	9,87 A

*Letras diferentes implican diferencias estadísticas del 95% entre tratamientos, según prueba de Tukey.

**Dol.: dolomita.

Efecto de la adición de cal sobre el incremento del DAP

El incremento medio anual en diámetro (IMA-DAP) corresponde a la diferencia en diámetro entre la lectura al inicio del trabajo y la última, efectuada 20 meses después. De acuerdo con las curvas de crecimiento de la especie

(Segura et al. 2005), los mayores incrementos ocurren a edades tempranas, por lo que el hecho de que en la finca Hospicio el incremento sea mayor que en la finca Dorval se considera normal (Figura 2). Sin embargo, el análisis de varianza corrobora que las diferencias entre los tratamientos en las fincas Dorval ($p=0,2646$) y Hospicio ($p=0,9634$) no son significativas.

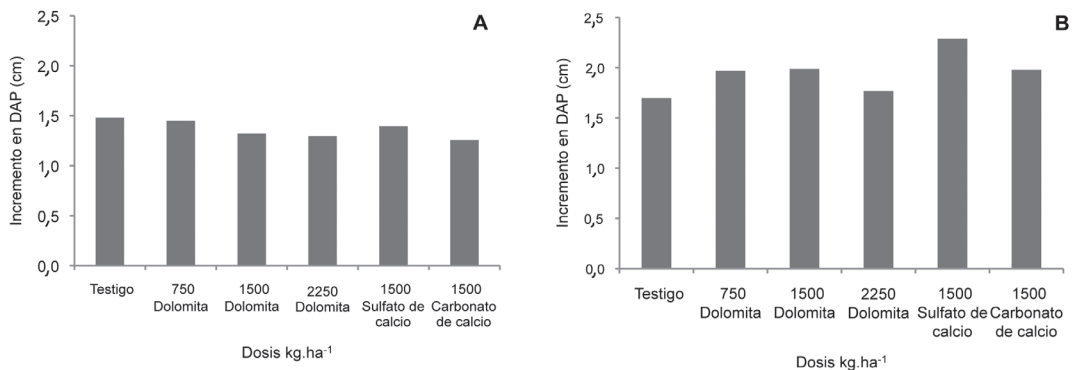


Fig. 2. Efecto de los tratamientos sobre el incremento medio anual del diámetro a la altura del pecho (IMA-DAP) de *A. acuminata* en las fincas Dorval (A) y Hospicio (B) a los 20 meses de aplicada la cal.

Durante el período de evaluación, el DAP en la finca Dorval creció en promedio 2,28 cm, mientras que en finca Hospicio aumentó 3,25 cm. Si los valores se estiman como IMA-DAP, la finca Dorval tiene un valor de 1,37 cm, mientras que en la finca Hospicio es de 1,95 cm. Segura et al. (2005) encontraron que, para fincas entre 3,6 y 4,5 años de edad de la misma región, el IMA-DAP

varía entre 3,40 y 3,17 cm y para fincas entre 4,5 y 7,5 años varía entre 3,17 y 2,76 cm, por lo que los incrementos encontrados en el presente trabajo se consideran inferiores a los de los autores mencionados. Al menos en el caso de la finca Hospicio, el bajo incremento diamétrico se puede explicar como causa de un efecto negativo fuerte del viento sobre el crecimiento de los árboles.

Efecto del encalado sobre la altura total

La altura total de los árboles no varió significativamente con la adición de fuentes y niveles de cal (Figura 3). Al igual que con el DAP, la diferenciación entre los tiempos de medición se debe al crecimiento normal de los árboles sin que se observe que en algún caso sea por efecto de tratamiento. En la finca Hospicio, debido a su

mayor velocidad de crecimiento se presentan las mayores alturas entre tiempos de medición que en la finca Dorval.

El análisis de varianza realizado a la altura total de los árboles de jaúl corrobora que, para finca Dorval ($p=0,2684$) o para la finca Hospicio ($p=0,8486$), no se encontró diferencias estadísticas entre tratamientos (Cuadro 3).

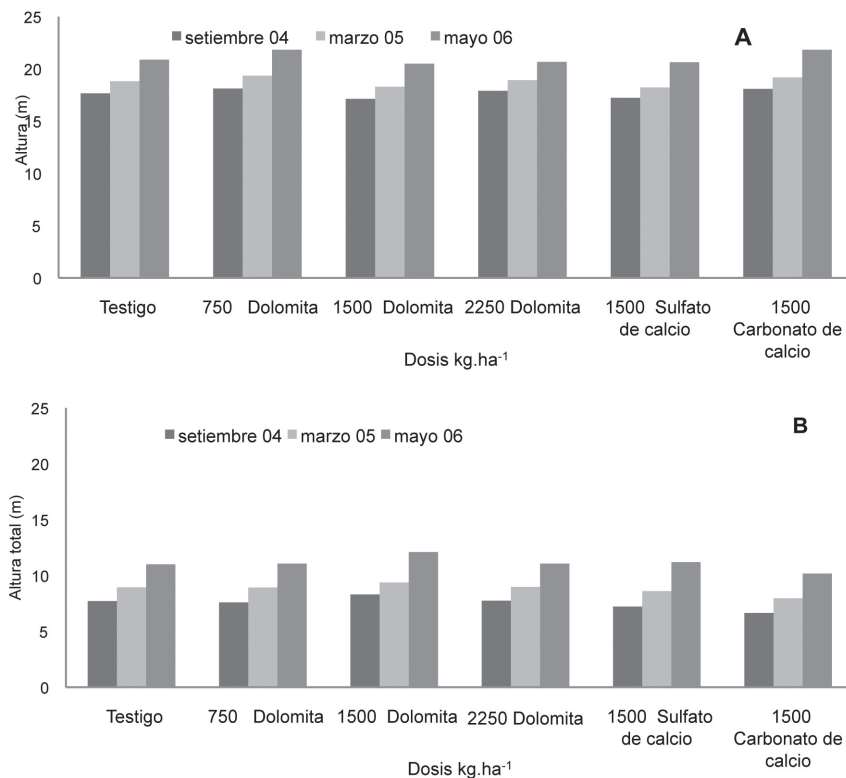


Fig. 3. Efecto de los tratamientos de encalado sobre la altura total de los árboles de *A. acuminata* y su variación durante el tiempo de evaluación del ensayo en la finca Dorval (A) y en la finca Hospicio (B).

Cuadro 3. Análisis de varianza de la altura total de los árboles de *A. acuminata* en función de los tratamientos en las fincas Dorval y Hospicio.

Finca	Tratamiento (kg.ha ⁻¹)					
	Testigo	750 Dol.**	1500 Dol.	2250 Dol.	1500 Yeso	1500 Calcita
Dorval (m)	21 A	22 A	21 A	21 A	21 A	22 A
Hospicio (m)	11 A	11 A	12 A	11 A	11 A	10 A

*Letras diferentes implican diferencias estadísticas del 95% entre tratamientos, según prueba de Tukey.

**Dol.: dolomita.

Efecto de la adición de cal sobre el incremento de la altura total

En la finca Dorval los mayores incrementos en altura se observaron en el tratamiento de 750 kg.ha⁻¹ de dolomita, mientras el tratamiento

de 1500 kg.ha⁻¹ de yeso fue ligeramente superior al resto de los tratamientos en la finca Hospicio (Figura 4). En ninguna de las 2 fincas se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados (Dorval $p=0,8431$ y Hospicio $p=0,9943$).

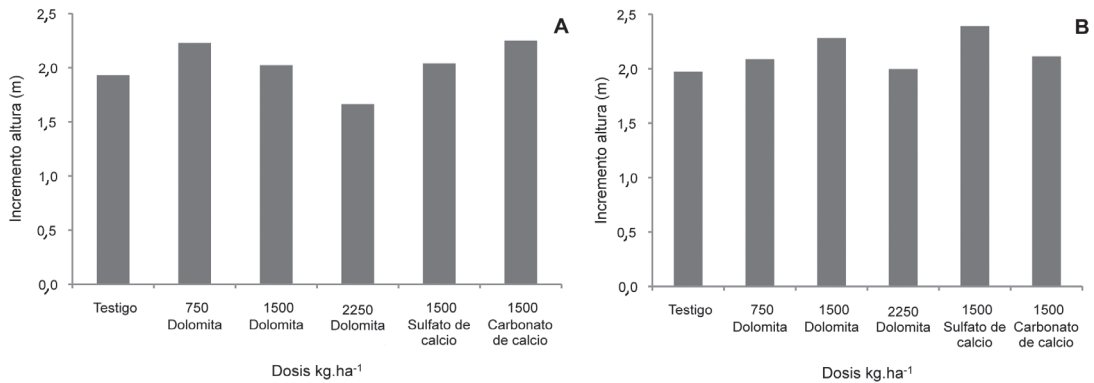


Fig. 4. Efecto de los tratamientos sobre el incremento de la altura total de los árboles de *A. acuminata* en la finca Dorval (A) y en la finca Hospicio (B) después de 20 meses de la aplicación de las cales.

El incremento en altura observado en ambas fincas durante la evaluación del ensayo fue similar (Dorval=3,37 m; Hospicio=3,57 m), por lo que el incremento medio anual (IMA-ALT) para finca Dorval (2,02 m) es prácticamente igual al del Hospicio (2,14 m). Segura et al. (2005) menciona que, para el caso de plantaciones entre 3,6 y 4,5 años, el IMA-ALT se encuentra entre 3,33 y 3,15 m, y para el caso de fincas entre los 4,5 y 7,5 años entre 3,15 y 2,72 m. Según los criterios de Camacho y Murillo (1986), las plantaciones de

Dorval corresponden a sitios de crecimiento alto y las de Hospicio a crecimiento medio.

Efecto de la adición de enmiendas sobre el volumen total

Aunque se dieron variaciones normales marcadas en volumen entre los períodos de evaluación, no se observaron diferencias debidas a los tratamientos aplicados en ninguna de las 2 fincas (Figura 5).

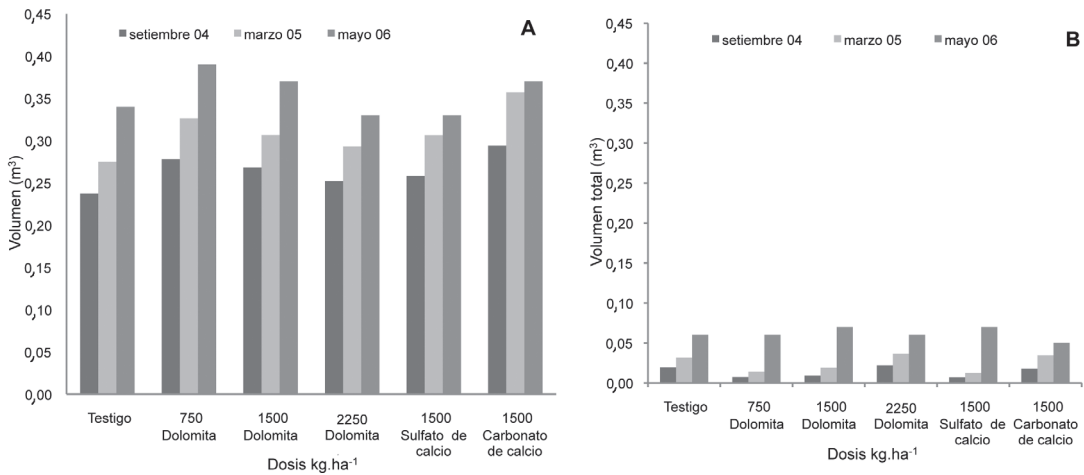


Fig. 5. Efecto de los tratamientos de encalado sobre el volumen total de los árboles de *A. acuminata* y su variación durante el tiempo de evaluación del ensayo en la finca Dorval (A) y en la finca Hospicio (B).

Es muy notoria la diferencia entre los volúmenes de ambas fincas, ya que Dorval tiene 7 años y Hospicio 4 (Cuadro 4). Estos datos corroboran lo mencionado por Camacho y Murillo (1986), al emplear como criterio el IMA-ALT.

El análisis de varianza realizado a la variable volumen, tampoco refleja diferencias estadísticas entre tratamientos tanto para finca Dorval ($p=0,8721$), como para finca Hospicio ($p=0,6495$) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza de la variable volumen total (m^3) de los árboles en función de los tratamientos en 2 fincas de *A. acuminata*.

Finca	Tratamiento ($kg \cdot ha^{-1}$)					
	Testigo	750 Dol.**	1500 Dol.	2250 Dol.	1500 Yeso	1500 Calcita
Dorval (m^3)	0,34 A	0,39 A	0,37 A	0,33 A	0,33 A	0,37 A
Hospicio (m^3)	0,06 A	0,06 A	0,07 A	0,06 A	0,07 A	0,05 A

*Letras diferentes implican diferencias estadísticas del 95% entre tratamientos, según prueba de Tukey.

**Dol.: dolomita.

El volumen total promedio en finca Dorval (7 años) se calculó en $0,36 m^3$, mientras que para finca Hospicio (4 años) el volumen total promedio fue de $0,06 m^3$. Segura et al. (2005) reporta que para una finca de 4 años encontró un volumen de $0,13 m^3$, mientras que para una de 7 años el volumen promedio fue de $0,35 m^3$.

Efecto de los tratamientos de encalado sobre el incremento del volumen

El incremento de volumen del período evaluado (Figura 6) no mostró diferencias debido a los tratamientos en la finca Dorval ($p=0,6366$) ni en la finca Hospicio ($p=0,4441$). Las diferencias

observadas se dan por efecto de las edades de las fincas Dorval (a 7 años promedio $0,05 \text{ m}^3$) y Hospicio (a los 4 años promedio $0,03 \text{ m}^3$). Sin embargo, el hecho de que en la finca más joven los incrementos sean menores que

en la finca de mayor edad implica que hay factores de sitio que afectan negativamente el incremento en volumen (probablemente exceso de viento y/o el efecto de las taltuzas sobre el crecimiento radical).

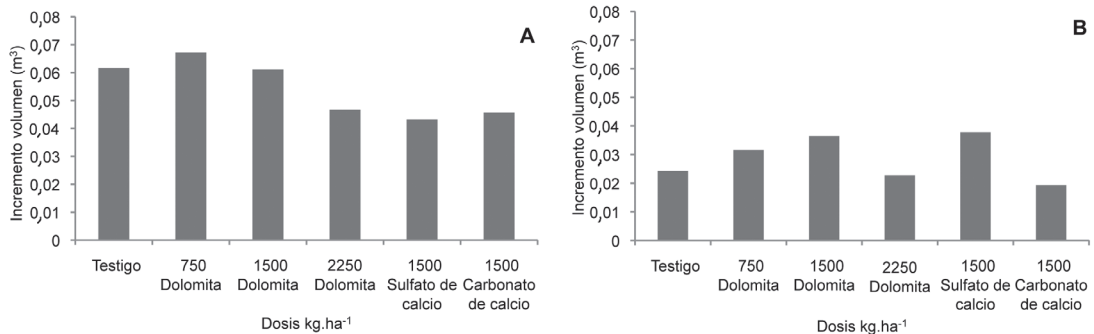


Fig. 6. Efecto de los tratamientos de encalado sobre el incremento del volumen total de los árboles (IMA-ALI) de *A. acuminata* en la finca Dorval (A) y en la finca Hospicio (B) después de 20 meses de la aplicación de las cales.

Al comparar los valores del incremento corriente anual (ICA) de volumen del presente estudio con los mencionados por Segura et al. (2005), se encontró que para Dorval (7 años) el ICA es de $0,05 \text{ m}^3$ y en el estudio anteriormente mencionado, los valores de ICA para volumen en plantaciones entre 4,5 y 7,5 oscilan entre $0,05$ y $0,08 \text{ m}^3$. Para finca Hospicio (4 años) el ICA se calculó en $0,03 \text{ m}^3$ y, según el estudio de Segura et al. (2005), los valores de ICA para sitios entre los 3,6 y 4,5 años, están entre $0,049$ y $0,048 \text{ m}^3$. Se observa entonces que el ICA para Dorval está dentro de los rango observados por los autores mencionados anteriormente, mientras que para finca Hospicio el ICA esta muy por debajo de los rangos reportados.

CONCLUSIONES

La adición de fuentes y niveles de cal no afectó significativamente ninguna de las variables dasométricas estimadas (diámetro, altura, volumen).

En este sentido, lo mismo da adicionar calcita, que dolomita o yeso, pues se obtienen

resultados similares, lo que demuestra que los suelos en las fincas bajo estudio tenían suficiente Ca, Mg y S disponible para el crecimiento del jaúl.

Tampoco se encontró que los suelos mostraran problemas de acidez de magnitud tal que afectaran negativamente el crecimiento del jaúl, lo que explica la no respuesta a la adición de las enmiendas comparadas e impide determinar niveles críticos de acidez del suelo o de tolerancia a la acidez para esta especie.

El efecto nulo de la adición de enmiendas se dio tanto en plantaciones de 4 (Hospicio) como de 7 (Dorval) años.

Las diferencias observadas entre las fincas comparadas se deben a su edad y permiten determinar que en el caso de Hospicio el crecimiento es medio, mientras que en Dorval es alto.

RECOMENDACIONES

Los resultados permiten recomendar que se suspendan las aplicaciones de cal en las plantaciones de jaúl, dado que la aplicación no causa efectos positivos sobre las variables de

crecimiento y por el contrario elevan los costos de mantenimiento de las mismas.

AGRADECIMIENTOS

Por la ayuda logística, en especial al personal del vivero de Vista de Mar por su valiosa ayuda en la aplicación de los tratamientos y medición de las variables de crecimiento. A la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR) por el financiamiento de esta investigación. A la empresa Abonos Agro, por la donación del yeso empleado como enmienda. Al personal del Laboratorio de Suelos y Foliare del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica por su colaboración en el procesamiento y análisis de las muestras y todas las personas que de alguna manera aportaron para la realización de este proyecto.

LITERATURA CITADA

- ALFARO R. 1998. Fuentes y épocas de aplicación de magnesio en café (*Coffea arabica*). In Memorias III Seminario Resultados y Avances de Investigación 1997. ICAFE. San José, Costa Rica. pp. 87-89.
- ALVARADO A., BERTSCH F., BORNEMISZA E., CABALCETA G., FORSYTHE W., HENRÍQUEZ C., MATA R., MOLINA E., SALAS R. 2001. Suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 111 p.
- ARCE M. 1999. Estudio de la reforestación para la plantación de lechería experimental de altura S. A. San José, Costa Rica. 120 p.
- BERTSCH F. 1982. Fertilidad de nueve suelos clasificados como Typic Dystrandepts en Costa Rica. Tesis de maestría, CATIE-UCR, Turrialba, Costa Rica. 122 p.
- BERTSCH F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- BLAKEMORE L.C., SEARLE P.L., DALY B.K. 1987. Method for chemical analysis of soil. Soil Boureau Scientific, Nº. 2. p. 45-46.
- BUDOWSKI G., RUSSO R. 1997. Nitrogen fixing trees and nitrogen fixation in sustainable agriculture: research challenges. *Soil Biol. Biochem.* 29(5/6):767-770.
- CALVO J., ARIAS D., SIBAJA A. 1995. Resultados de un ensayo de encalado y fertilización en plantaciones de *Terminalia amazonia* en una suelo Ultisol en Buenos Aires de Osa. Proyecto "Recuperación de tierras degradadas para el manejo productivo: reforestación con especies nativas en la zona sur de Costa Rica". OET-ITCR-DUKE-USAID. Documento de trabajo. San José, Costa Rica. pp. 61-65.
- CAMACHO P., MURILLO O. 1986. Algunos resultados preliminares de la epidimetría del jaíl *Alnus acuminata* (H.B.K.) O. Kundze. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. p.i.
- CANESSA J., SANCHO F., ALVARADO A. 1986. Retención de fosfatos en Andepts de Costa Rica. I. Relaciones entre la retención de fosfatos, el pH en NaF y el aluminio activo. *Turrialba* 36(4):431-438.
- CATIE. 1984. Especies para leña: arbustos y árboles para la producción de energía. Trad. V. Argüello de Fernández. Turrialba, Costa Rica. pp. 126-127.
- CERVANTES E., RODRÍGUEZ C. 1992. Relationships between the mycorrhizal and actinorhizal symbioses in non-legumes. *Methods in Microbiology* 24:417-431.
- CHAVES M.A., ALVARADO A. 1994. Manejo de la fertilización en plantaciones de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en Andisoles de ladera de Costa Rica, pp. 353-372. In: 15 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Volume 7a: Commission VI: Symposia. Acapulco, México
- COCHRANE T., SALINAS J., SANCHEZ P. 1980. An equation for liming acid mineral soil to compensate crop aluminium tolerance. *Tropical Agriculture* 57:133-140.
- DELGADILLO R., ALDUNATE J., ALVARADO A. 1991. Situación de la agroforestería en el subtrópico húmedo de la región del Chapare, Bolivia, pp. 257-263. In: T.J. Smyth, W.R. Raun y F. Berth (eds.). Manejo de suelos tropicales en latinoamérica. NCSU/CIMMYT/UCR/USAID. San José, Costa Rica.
- DÍAZ-ROMEAU R., HUNTER A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.

- ESPINOSA J., MOLINA E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Canadá, INPOFOS –CIA/UCR. 42 p.
- ESPINOZA D. 2002. Evaluación fitosanitaria de las plantaciones de jaíl (*Alnus acuminata* spp. arguta (Schlectendal) Furlow) del proyecto Plama–Virilla. Informe de Práctica de Especialidad. Cartago, Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 91 p.
- FASSBENDER H.W., MOLINA R. 1969. Influencia de las enmiendas calcáreas y silicatadas sobre El efecto de La fertilizantes fosfatados en suelos derivados de cenizas volcánicas en Costa Rica. In. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, CATIE, pp. c. 2.1-c.2.12.
- FRANKLIN J., DYRNESS C., MOORE D., TARRANT R. 1968. Chemical soil properties under coastal Oregon stands of alder and conifer, pp. 157–172. In: J.M. Trappe, J.F. Franklin, R.T. Tarrant, G.H. Hansen (eds.) Biology of alder. Portland, Oregon, USA. USDA.
- GRIME J. 1992. Ecological strategies of trees. In: J.E. Milner (ed), The Tree Book. Collins and Brown. London. pp. 117–119.
- HARDY F., BAZÁN R. 1963. Preliminary liming pot tests with soils of Costa Rica: I Birrisito series. Inter-American Institute of Agricultural Sciences. Turrialba, Costa Rica. 9 p.
- HENRÍQUEZ C., BERTSCH F. 1997. Comportamiento de Ca, Mg y K en respuesta a la aplicación de fertilizante potásico y de cal dolomítica en un andisol de la Zona Sur de Costa Rica. Agronomía Costarricense 21(2):239-248.
- HOLDRIDGE L. 1978. Ecología basada en las zonas de vida. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 216 p.
- LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES, CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS. UNIVERSIDAD DE COSTA RICA. 2007. Consultado 2007. Disponible en <http://www.eca.or.cr>.
- MOLINA E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 45 p.
- MONTERO M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis de maestría, Universidad Austral de Chile, Valdivia/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- MONTOYA A. 1999. Plan de reforestación para la plantación de Dorval S. A. San José, Costa Rica. FUNDECOR. 233 p.
- MORELLI M., IGUE K., FUENTES R. 1971. Efecto del encalado en el complejo de cambio y movimiento de Ca y Mg. Turrialba 21(3):317-322.
- MUÑOZ F. 1998. Propiedades y usos de las maderas de jaíl y melina. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. s. p.
- PÉREZ J., BORNEMISZA E., SOLLINS P. 1993. Identificación de especies forestales acumuladoras de aluminio en una plantación experimental ubicada en Sarapiquí, Costa Rica. Agronomía Costarricense 17(12):99–104.
- ROJAS F. 2001. Plantaciones forestales. 2 ed. San José, Costa Rica, EUNED. 260 p.
- RONDON J., HERNANDEZ G. 1987. Efectos de la aplicación de nitrato de sodio, sulfato de amonio y urea sobre el crecimiento, ondulación y contenido de nitrógeno en *Alnus acuminata* H. B. K. Revista Forestal Venezolana 31:79–91.
- SÁNCHEZ P., SALINAS J. 1983. Low input technology for managing Oxisol and Ultisol in tropical America. Advances Agronomy 34:279–406.
- SÁNCHEZ V. 1985. Raleos iniciales en una plantación de *Alnus acuminata* (H. B. K.) Oktze en Cascajal de Coronado. Práctica de especialidad. Departamento de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. s. p.
- SEGURA M., ETXALEKU N., CASTILLO A., SALAZAR M., ALVARADO A. 2005. Respuesta a la fertilización con P en plantaciones de jaíl (*Alnus acuminata*) en Andisoles de la cuenca de río Virilla, Costa Rica. Agronomía Costarricense 29(2):121-134.
- SHARMA, E. 1993. Nutrient dynamics in Himalayan alder plantations. Annals of Botany 72:329–336.
- SHARMA T., AMBASHT R., SING M. 1985. Chemical soil properties under five age series of *Alnus nepalensis* plantations in the Estern Himalayas. Plant and Soil 84:105–113.
- SHARMAN E., AMBASHT R.S. 1987. Litterfall, descomposition and nutrient release in an age sequence of *Alnus nepalensis* plantation stand in

- the Eastern Himalaya. *Journal of Ecology* 75(4):997-1010.
- SHARMAN G., SHARMAN R., SHARMAN E., SINGH K.K. 2002. Performance of series of *Alnus*-cardamom plantations in the Sikkim Himalaya: Nutrient dynamics. *Annals of Botany* 89:273-282.
- SOIL MANAGEMENT C.R.S.P. 2002. Nutrient management support system (NuMaSS) version 2.0 (beta). Cornell, Hawaii, N.C. State University, Texas A&M. North Carolina, USA. Disco compacto.
- TARRANT R., TRAPPE J. 1971. The role of *Alnus* in improving the forest environments. *Plant and Soils* (special issue), pp. 335–348.
- VALLEJOS B. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafomórficas y foliares para *Tectona grandis* L.F., *Bombacopsis quinata* (jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica. Tesis de maestría, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 147 p.
- WALKLEY A., BLACK C.A. 1938. An examination of Degtjareff's method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- ZAPATA R. 2003. La química de la acidez del suelo. Medellín, Colombia, Facultad de Ciencias, Escuela de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia. 170 p.
- ZOU X., BINKLEY D., CALDWELL B.A. 1995. Effects of dinitrogen – fixing trees on phosphorus biogeochemical cycling in contrasting forests. *Soil Science Society America Journal* 59(5):1452-1458.