

Variación de la concentración foliar de nutrimentos en *Vochysia guatemalensis* J.D Smith en plantaciones de las zonas norte y caribe de Costa Rica.

Yorleny Badilla-Valverde¹
Olman Murillo-Gamboa²
Alfredo-Alvarado³

Resumen

Vochysia guatemalensis conocido en Costa Rica como chanchoblanco, es una especie nativa con buen desarrollo en plantaciones forestales. En Costa Rica es una de las especies nativas más utilizada en reforestación, pero no se cuenta con el paquete tecnológico suficiente para plantarla a gran escala. Uno de los factores necesarios para poder aumentar su tasa de reforestación, es conocer las concentraciones foliares de nutrimentos óptima para la especie. En el presente estudio se realizó un muestreo foliar de 35 árboles en donde se analizó la relación entre la variación de la concentración foliar de nutrimentos según la clase diamétrica y la posición de la hoja en la rama. Se encontró que según clase diamétrica los macronutrientes disminuyen en el siguiente orden $N > K > Ca > Mg > S > P$, excepto para la clase diamétrica de 5,1-10,1 cm, en la que invirtieron la posición el K y Ca. Las concentraciones foliares de K, Fe y Mn, tienen

Abstract

Vochysia guatemalensis (chanchoblanco) is a native tree species with a good growth rate and development in plantation. Nowadays it is the native tree species most utilized in reforestation in Costa Rica; however, there is not enough knowledge in order to support a larger scale of plantations. One of necessary factors to enhance an increase in its plantation rate is information about optimal nutrients foliage concentration. In this investigation 35 trees were sampled for foliar nutrient concentration analysis and later on, related to its diameter class and leaf position within the branch. According to diameter class, macronutrients decrease in the order $N > K > Ca > Mg > S > P$, with the exception in diameter class from 5.1 to 10.1 cm, where K and Ca inverted their positions. K, Fe and Mn foliage concentrations, exhibited a low increase in relation to an increase in diameter class. Meanwhile Fe and Mn foliage concentrations varied

1. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal; yorlenybadilla@yahoo.es

2. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal; olmuga@yahoo.es

3. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias; aalvarado@ucr.ac.cr

un leve aumento al incrementar la clase diamétrica. Mientras que las concentraciones foliares de Fe y Mn difieren según la clase diamétrica. Sus valores más altos se encontraron en la primera clase diamétrica (5,1-10,1 cm). La concentración foliar de N, es la única que se vio afectada por la posición de la hoja (follaje) en la rama. Los niveles críticos foliares propuestos para la especie coinciden con los reportados en otras especies. En futuras investigaciones es importante aumentar el tamaño de muestra, ya que el coeficientes de variación en todos los nutrimentos fue mayor al 10%.

Palabras clave: macronutrientes, micronutrientes, niveles foliares

Introducción

El análisis foliar refleja la disponibilidad de nutrientes en el suelo y el grado en el que los árboles son capaces de usarlos Brockley (2001). El estado nutricional de las especies arbóreas puede ser evaluado por medio de análisis foliares o de estudios de absorción en los tejidos como hojas, ramas, corteza, madera, raíces, sin embargo, la hoja es mayormente el órgano que refleja el estado nutricional de las plantas ya que se requiere una determinada concentración de cada nutrimento para el normal desarrollo productivo (Bertsch, 1998). Los síntomas del estado nutricional son claramente visibles y el propósito del análisis foliar es determinar que nutriente se requiere para abreviar los síntomas causados (Van den Driessche, 1974). Según Judd, T.S., Bennett, L.T., Weston, C.J., Attiwill, P.M., & Whiteman, P.H. (1996), la concentración foliar de nutrientes es sensible a cambios en la fertilidad del sitio y es el más importante en la identificación de deficiencias nutricionales y desbalances. De hecho, el nitrógeno y el fósforo en el follaje responden, en forma muy especial, al estado nutricional del suelo y a la adición de fertilizantes.

Para que el análisis foliar sea confiable se debe de tener métodos de muestreo rígidamente establecidos ya que la concentración de nutrientes varía con la edad del tejido, posición dentro de la corona o copa, época de recolección de la muestra y la procedencia (Cornejo, 1982). Para la interpretación de los resultados de los análisis foliar, es conveniente contar con niveles de referencia establecidos a partir de determinaciones en arboles de diferente situación nutricional (González, 1994).

Para hacer un manejo integral de una plantación forestal, se debe de llevar un seguimiento nutricional a lo largo de la rotación combinado con control de malezas, esquemas de manejo como podas y raleos y uso de residuos de manera que conocer las concentración de nutrimentos

according to diameter class. The highest values were registered in the first diameter class (5.1 to 10.1 cm). N foliage concentration was the only one affected by leaf position within the branch. Critical foliage values were then proposed for this tree species, which were similar to others reported in literature. It is important for future investigations to increase the number of sampled trees and the number of samples within trees, since variation coefficients in all nutrients were over 10%.

Key words: macronutrients, micronutrients, foliar levels.

es indispensable para el bueno manejo silvicultural de una plantación (Aparicio, J., Gerding, V., Schlatter, J., & Grez, R., 2001).

En Costa Rica, *V. guatemalensis* (chanchito blanco) se planta a pequeña escala en la zona norte y caribe del país con buena aceptación y desarrollo aceptable en el ambiente de plantación (Alfaro y Barrantes, 1995; Chávez y Araya, 1992 ; Arias, 1993 ; Rodríguez, 1995). Esta especie ha demostrado adaptarse bien a sitios con suelos degradados, con pH ácido y de textura arcillosa, de fertilidad de media a baja (COSEFORMA, 2001), pero hasta la actualidad solamente se han desarrollado trabajos en cuanto a la concentración de nutrimentos en hojas y raíces de plántulas provenientes de vivero (Arias, 1994), en plantaciones de 58 meses y 7 años de edad en un ensayo plantado en suelos ácidos de La Selva, Costa Rica en 1990 (González y Fisher, 1997).

Por la importancia que tiene *V. guatemalensis* en el ámbito nacional para la producción de madera y la falta de conocimientos en cuanto a la concentración foliar que ayude al manejo nutricional de la especie en plantación, se desarrolló el siguiente estudio en donde se determinó sus niveles críticos foliares.

Materiales y métodos

La determinación de los niveles críticos foliares de *V. guatemalensis* se realizó en árboles muestreados en plantaciones de productores asociados a FUNDECOR (ONG local) en el Área de Conservación de la Cordillera Volcánica Central (ACCV). Estas plantaciones se localizan en el cantón de Sarapiquí, donde la temperatura media anual es de 24°C y una precipitación de 3500-4000 mm anuales. Aunque en menor cantidad, algunas muestras foliares se tomaron también en plantaciones localizadas en la universidad EARTH, Guácimo, Limón.

Table 1. Foliar nutrient micro-element concentrations by tree diameter size in *V. guatemalensis* plantations, north and Caribbean regions, Costa Rica.

Clase diamétrica (cm)	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Al
	%					mg kg ⁻¹						
5,1-10,1	2,49	0,14	0,76	0,30	0,74	0,26	71	5	14	118	21	20336
10,1-15,1	2,51	0,15	0,88	0,33	0,88	0,25	67	5	18	98	25	21921
15,1-20,1	2,57	0,18	0,93	0,31	1,13	0,25	54	65	16	83	27	20589
20,1-25,1	2,75	0,17	0,80	0,31	1,04	0,30	50	5	15	78	27	20090
>25,1	2,38	0,17	0,86	0,31	1,34	0,23	42	4	18	75	18	21259

En todos los casos los árboles fueron derribados y las muestras se tomaron con el árbol en el suelo.

Efecto del diámetro de los árboles

Se tomaron muestras foliares de árboles por clase diamétrica, para estimar su variación en el contenido foliar de nutrimentos. Se muestrearon al menos 35 árboles de diferente clase diamétrica, ubicados en sitios diferentes y de edades diferentes. El conjunto de árboles muestreados se dividió en 4 clases diamétricas cada 5 cm y una clase >25 cm, sin tomar en cuenta la edad de la plantación.

Se procuró que se colectaran hojas apicales de la periferia de la copa. Cada muestra fue de aproximadamente un kilo (peso fresco), se identificaron y se transportaron al Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. En laboratorio, las muestras se secaron al horno hasta peso constante, y se fragmentaron en un molino de martillos utilizando una criba de 1 mm. Posteriormente, se volvieron a fragmentar en un molino para tejido foliar donde, se volvieron a tamizar. A cada tejido se le realizó una digestión húmeda, siguiendo la metodología descrita por Operation Manual, Microwave Accelerated Reaction System (2001) y Manual Digestión Application Notes (2001) para luego determinar su contenido de N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn, Cu, Al y Fe.

Con los datos se verificó si existían diferencias entre las concentraciones según su clase diamétrica. Dada la muestra tan pequeña, se aplicó una prueba de Chi² con la fórmula $x^2 = (\text{Valor observado} - \text{Valor esperado})^2 / \text{Valor esperado}$, bajo la hipótesis nula de que todas las concentraciones eran iguales.

Efecto de la posición de la hoja dentro de la rama

Para estimar el efecto de movilidad de los nutrimentos dentro del follaje, se tomaron muestras foliares de las hojas ubicadas en la parte distal de la rama (zona meristematica) y muestras de hojas de la parte media de la rama. Se procuró que las muestras procedieran de ramas localizadas en la periferia iluminada de la sección

media de la copa. La muestra se tomó de 35 árboles localizados en distintas fincas y de edades diferentes. Cada muestra colectada fue de un kilo aproximadamente, se identificó y se transportó al Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica. En laboratorio, se siguió el mismo procedimiento que con las muestras del efecto del diámetro de los árboles, descrito anteriormente.

A los resultados se les realizó un análisis de varianza (paquete estadístico SAS, procedimiento GLM) para determinar la existencia de diferencias significativas en las concentraciones foliares con respecto al diámetro, edad y posición de la hoja dentro de la rama. También se determinó el valor promedio aritmético, la desviación estándar (D.E.) y el coeficiente de variación (CV %), para las concentraciones de macro y micronutrimentos por árbol sin distinción de la posición dentro de la rama o clase diamétrica. Finalmente, con los datos se construyó una tabla de concentraciones foliares para la especie, donde se definió el valor promedio, el valor bajo (una desviación estándar hacia abajo del valor medio) y el valor alto (una desviación estándar hacia arriba del valor medio).

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se muestran las concentraciones de macro, micronutrimentos y aluminio en árboles plantados de *V. guatemalensis*, en las zonas norte y caribe de Costa Rica. Como se puede observar en el cuadro 2, solamente las concentraciones de Fe y Mn, registraron diferencias significativas al aumentar la clase diamétrica. Todos los demás elementos no evidenciaron cambios importantes en la concentración con el aumento en diámetro o en edad. Los valores de Fe y Mn mostraron una clara disminución inversamente proporcional con el aumento en la clase diamétrica lo que sugiere que a mayor edad, disminuye su concentración foliar, lo que implica una menor tasa de reciclaje vía follaje del Fe y el Mn. Por tanto, al momento de las cosechas, probablemente ocurrirá una mayor extracción de estos dos micronutrimentos del sistema. (Segura, M., Castillo, A., Alvarado, A., y Blanco, F., 2005) encontraron el

Cuadro 2. Valores de Chi² para concentración foliar de nutrimentos según clase diamétrica del árbol de plantación de *V. guatemalensis*, en las zonas norte y caribe de Costa Rica.

Table 2. Chi-square values for foliar micro-nutrient concentration by tree diameter size in *V. guatemalensis* plantations, north and Caribbean regions, Costa Rica.

Nutrimento	Valor de χ^2
N	0,060
P	0,013
Ca	0,040
Mg	0,004
K	0,162
Al	0,049
Mn	18,948*
Zn	0,777
S	0,021
Cu	0,193
Fe	13,711*
B	1,726

χ^2 tabular = 9,49

mismo comportamiento para Mn en plantaciones de *Alnus acuminata* en plantaciones del Valle Central de Costa Rica, en donde atribuyen la disminución al efecto de dilución de este elemento al aumentar el diámetro de los árboles y a la baja concentración del elemento en los suelos muestreados.

Según la prueba de Chi² (Cuadro 2), solamente las concentraciones foliares de Fe y Mn disminuyen significativamente al aumentar la clase diamétrica. Las concentraciones foliares de los macronutrimentos registran el siguiente orden, de mayor a menor N>K>Ca>Mg>S>P, excepto para la clase diamétrica de 5,1-10,1 cm, donde el K y el Ca invirtieron su posición. La concentración de P es la más baja en el follaje y por tanto la que tiene la menor posibilidad de reciclaje vía foliar en el sistema. En los micronutrimentos la concentración foliar registrada siguió el siguiente orden, Mn>Fe>B>Zn>Cu. La concentración foliar de Al en este estudio, es similar a la reportada para la especie por otros autores (Foy et al., 1978, citado por Pérez 1993) donde se reporta que *V. guatemalensis* es considerada una especie acumuladora de Al.

Para poder tener un patrón de comparación de las concentraciones foliares y proponer un manejo silvicultural para esta especie, se debe tener presente la movilidad de los nutrimentos dentro del follaje. Por lo tanto, los métodos de muestreo deben ser establecidos en forma precisa, ya que la concentración de nutrientes varía con la edad del tejido, posición dentro de la copa, época de recolección de la muestra y la procedencia (Cornejo, 1982). Sin embargo, en el muestreo realizado para ver el efecto de la posición de la hoja dentro de la rama, registró que existen diferencias de concentración

foliar de N, y en menor grado de P y S (Cuadro 3). Estos resultados en el N pueden considerarse como esperados, ya que entre las muestras de los meristemos de la rama y las de hojas de la parte media de la rama, deben encontrarse diferencias en concentración debido a la alta movilidad que usualmente se reporta para el elemento en casi todas las especies (Bertsch, 1998). El S y el P, aunque a un valor probabilístico menor, registraron un patrón de variación atribuible a la edad de la hoja de manera que a mayor edad de la hoja, menor concentración de nutrimentos. Futuros estudios en esta dirección podrán ampliar el conocimiento en este tema del efecto de la edad de la hoja en la concentración y movilidad de nutrimentos en esta especie.

En el cuadro 4 se muestran los niveles críticos foliares preliminares propuestos para macro y micro nutrimentos de árboles plantados de *V. guatemalensis*, en las zonas norte y caribe de Costa Rica.

En árboles adultos de *V. guatemalensis* (Byard, R., Lewis, K., & Montagnini, F., 1996) y González y Fisher (1997) encontraron valores para muestras foliares inferiores en N (1,43) y K (0,43), superiores en Ca (1,39) y Mg (0,47), mientras que el P (0,14) se encuentra en el rango medio propuesto en este estudio (Cuadro 4).

En plantaciones de 7 años de edad González y Fisher (1997), registraron valores P (0,12-0,58%), Mg (0,14-0,30), Ca (0,98-1,63%) y K (0,54-0,94%) con intervalos amplios, que incluyen los niveles propuestos en este trabajo. En las concentraciones foliares de los micronutrimentos el Fe (23-129 mg kg⁻¹) registra un ámbito menor, Cu (6-14 mg kg⁻¹) y Mn (236-607 mg kg⁻¹), presenta valores más altos, el Zn (13-126 mg kg⁻¹) está entre el intervalo propuesto en este estudio pero tiene valores mucho más altos en el límite superior y el Al (18300-24700 mg kg⁻¹) coincide con los niveles críticos propuestos en este estudio.

Di Stefano y Fournier (1998) reportan concentraciones foliares para plantaciones de esta especie a los 4 años de edad, donde el N (2,1%) y el Ca (0,17%) registran valores más bajos que los propuestos en este trabajo, el P (0,17%), Mg (0,31%) y K (1,08%) se encuentran dentro de los valores encontrados para un valor medio.

Arias (1994) estudió la variación de la concentración de nutrimentos en hojas y raíces de plántulas provenientes de los viveros de la Estación Experimental Las Cruces, Coto Brus, zona sur de Costa Rica. Los valores que se reportan para el N (1,23-1,63%) Mg (0,15-0,21) menores a los sugeridos como medios en este estudio. Mientras que el P (0,12-0,17%), Ca (0,77-1,25%) y K (0,80-1,08%) registran valores similares y dentro del ámbito promedio. Los micronutrimentos Fe (245-384 mg kg⁻¹), Cu (6-10 mg kg⁻¹), Zn (24-34 mg kg⁻¹) y Mn (132-304 mg kg⁻¹), registran valores dentro de las cifras encontradas en este estudio.

Cuadro 3. ANDEVA de la concentración de micronutrientes según la posición de la hoja dentro de la rama en árboles plantados de *V. guatemalensis*, en las zonas norte y caribe de Costa Rica.

Table 3. ANOVA for micro-nutrient concentrations by leaf position in branches of planted *V. guatemalensis* trees, north and Caribbean regions, Costa Rica.

Nutrientos	Valor de F	Pr>f
N	6,22	0,017*
P	3,00	0,090
Ca	0,75	0,392
Mg	1,70	0,199
K	0,62	0,434
S	3,34	0,075
Fe	0,08	0,778
Cu	0,01	0,928
Zn	1,83	0,183
Mn	1,51	0,226
B	0,03	0,854
Al	0,62	0,435

Otras especies plantadas a pequeña escala, adaptadas también a suelos con pH ácido, de textura arcillosa y de fertilidad de media a baja, son *Hieronyma alchorneoides* y *Vochysia ferruginea*, las cuales presentan concentraciones foliares de 1,81 y 1,39% para N; 0,15 y 0,13% de P; 1,02 y 1,14% para Ca; 0,40 y 0,25 para Mg; y 0,71 y 0,43 para K; respectivamente (Horn y Montagnini, 1999). Puede concluirse, que los niveles críticos planteados en esta investigación coinciden con los reportados por otros autores. Sin embargo, se considera que en futuros trabajos será necesario aumentar las muestras foliares en un mayor número de árboles, ya que los valores de los coeficientes de variación para todos los nutrientes fue mayor al 10%.

Conclusiones

Las concentraciones según clase diamétrica disminuyen en el siguiente orden para los macronutrientes N>K>Ca>Mg>S>P, excepto para la clase diamétrica de 5,1-10,1 cm, en la que invirtieron la posición el K y Ca.

Las concentraciones foliares de K, Fe y Mn, tienen un leve aumento al incrementar la clase diamétrica.

Las concentraciones foliares de Fe y Mn difieren según la clase diamétrica y los valores más altos para éstos dos micronutrientes se encuentran en la primera clase diamétrica (5,1-10,1 cm).

La concentración foliar de N, es la única que se ve afectada por la posición de la hoja (follaje) en la rama.

Cuadro 4. Niveles críticos foliares preliminares de macro y micro nutrientes y aluminio en árboles plantados de *Vochysia guatemalensis*, en las zonas norte y caribe de Costa Rica.

Table 4. Preliminary critic foliar micro and macro-nutrient levels and aluminum in planted *V. guatemalensis* trees, north and Caribbean regions, Costa Rica.

Nutriente	Alto1	Medio	Bajo1
N	2,80	2,53	2,25
P	0,21	0,16	0,11
Ca	1,08	0,85	0,63
Mg (%)	0,37	0,32	0,26
K	1,46	1,00	0,55
S	0,30	0,26	0,21
Al	24656	21033	17411
Fe	83	59	34
Cu mg kg ⁻¹	6,5	5,1	3,6
Zn	23,6	16,8	9,9
Mn	134	92	504
B	32	24	16

1 Valores a partir de una desviación estándar superior al valor medio (Alto), y 2) una desviación estándar inferior al valor medio (Bajo).

1 Values from a standard deviation higher to mean value (High), and 2) a standard deviation lower to mean value (Low).

Los niveles críticos propuestos, coinciden con los encontrados por otros autores, pero se considera necesario aumentar las muestras foliares, ya que los valores de coeficientes de variación para todos los nutrientes fue mayor al 10%

Agradecimientos

A la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR) por el financiamiento, así como el apoyo en la recolección de muestras de esta investigación. A la Universidad EARTH por el apoyo en el muestreo de las plantaciones. A todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la realización de esta investigación.

Referencias

- Alfaro, CM., y Barrantes, P. (1995). Estudio de adaptabilidad preliminar de 15 especies de altura en la zona sur de Costa Rica. (Práctica de Especialidad. B.Sc). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Departamento de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 151 p.
- Aparicio, J., Gerding, V., Schlatter, J., y Grez, R. (2001). Dinámica de elementos nutritivos en la biomasa de *Eucalyptus Nitens* al cuarto año de crecimiento, en un suelo rojo arcilloso del sur de Chile. Simposio IUFRO. Desarrollando El Eucalipto Del Futuro, Valdivia, Chile. 12 p.

- Arias, D. (1993). Informe final del proyecto "Establecimiento de ensayos de comportamiento para cinco especies forestales nativas de la Región Huetar Norte de Costa Rica". Instituto Tecnológico de Costa Rica - Cooperación en los Sectores Forestal y Maderero: Cartago, Costa Rica.
- Arias, W. (1994). Efecto de cinco sustratos en el crecimiento de *Vochysia guatemalensis* y censo de la reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. (Informe de Práctica de Especialidad). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 53 p.
- Bertsch, F. (1998). La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). 157 p.
- Brockley, R. (2001). Foliar analysis as a planning tool for operational fertilization. Proceedings of enhanced forest management. Fertilization & Economics Conference March 1 & 2, pp 66-67.
- Byard, R., Lewis, K., & Montagnini, F. (1996). Leaf litter decomposition and mulch performance from mixed and monospecific plantations of native tree species in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 58(2/3), 145-155.
- Chaves, E., y Araya, J. (1992). Ensayos de aclareo y crecimiento en plantaciones forestales. Congreso Nacional Forestal (II, 1992, Alajuela, C. R.), San José, Costa Rica.
- Cornejo, B. (1982). Respuesta de una plantación de *E. globulus* (Labill) a la fertilización con urea y superfosfato triple en la comuna de Litueche en la sexta Region. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 92p.
- COSEFORMA. (2001). Cebo en la zona norte de Costa Rica (1era ed.). San José Costa Rica. 40 p.
- Di Stéfano, J.F., y Fournier, L.A. (1998). Biomasa aérea, concentración de nutrimentos y daños en arboles de *Vochysia guatemalensis* en un monocultivo de cuatro años, Tabarcia, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 22(2), 235-241.
- González, C. (1994). Evaluación de un ensayo de fertilización en *Eucalyptus globulus* (Labill) en las dunas de Chanco, Séptima Región. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 99 p.
- González, E., & Fisher, R.F. (1997). Variation in foliar elemental composition in mature wild trees and among families and provenances of *Vochysia guatemalensis* in Costa Rica. *Silvae Genetica* 46(1): 45-50.
- Judd, T.S., Bennett, L.T., Weston, C.J., Attiwill, P.M., & Whiteman, P.H. (1996) The response of growth and foliar nutrients to fertilizers in young *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantations in Gippsland southeastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 82, 87-101.
- Manual digestion application notes. (2001). Milestone, Microwave Laboratory System, USA.
- Operation Manual. (2001). Microwave accelerated reaction system. CEM Corporation Innovators in Microwave Technology. USA.
- Pérez, J., Bornemisza, E., y Sollins, P. (1993). Identificación de especies forestales acumuladoras de aluminio en una plantación experimental ubicada en Sarapiquí, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 17(2), 99-104.
- Rodríguez, L. (1995). Resultados preliminares del Proyecto de Investigación sobre Manejo y Comportamiento de seis especies forestales nativas en la Región Huetar Norte de Costa Rica. III Taller Nacional De Investigación Forestal y Agroforestal, Cañas, Guanacaste.
- Segura, M., Castillo, A., Alvarado, A., y Blanco, F. (2005). Extracción de nutrimentos en plantaciones de Jaúl (*Alnus acuminata*) en la cuenca del Río Virilla, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(2), 109-120.
- Van den Driessche, R. (1984). Nutrient storage, Retranslocation and Relationship of Stress to Nutrition. *Nutrition of Plantations Forest*. En: Bowen, G.D. & Nambiar, E.K.S. (Eds). *Nutrition of Plantations Forest*. Academic Press, USA. pp 181-211.