

## VARIACIÓN DEL CONTENIDO FOLIAR DE NUTRIMENTOS DE *Alnus acuminata*<sup>1/</sup>

Manuel Segura<sup>\*\*</sup>, Álvaro Castillo<sup>\*</sup>, Alfredo Alvarado<sup>2/\*\*</sup>, Fabio Blanco<sup>\*\*\*</sup>

**Palabras clave:** Jaúl, muestreo foliar, análisis foliar, niveles críticos, *Alnus acuminata*

**Keywords:** Alder, leaf sampling, foliar analysis, critical levels, *Alnus acuminata*

Recibido: 24/05/05

Aceptado: 31/08/05

### RESUMEN

Se encontró que la posición de las muestras en la copa provenientes de árboles de 3 y 5 años de *A. acuminata* no afecta la concentración foliar para la mayoría de los nutrientes de manera significativa. La única excepción la constituye el Ca en árboles de 5 años, cuya concentración en la parte alta fue menor que en la parte media de la copa. Aunque no significativa, se observó que la concentración de Fe, Mn y Zn tiende a ser mayor en la sección alta externa de la copa a los 3 años; mientras que, a la edad de 5 años tiende a ser mayor en la parte media externa de la copa. No se observó diferencias significativas en la concentración foliar de los nutrientes con la edad de la plantación entre 2 y 8 años, en ninguna de las épocas comparadas, excepto para el Mn, elemento que tiende a disminuir con la edad de las plantaciones (86 a 26 mg kg<sup>-1</sup>). La concentración foliar de Mg, Fe, Zn, Mn, Cu y B fue mayor durante la época seca que durante la época lluviosa, mientras que los contenidos foliares de N y P fueron más elevados durante la época lluviosa y no se observó variación alguna en las concentraciones foliares de Ca, K y S de la época de muestreo. Con base a lo encontrado, se define en forma tentativa los niveles críticos foliares para la especie *A. acuminata*.

### ABSTRACT

**Variability of the foliar nutrient concentration of *Alnus acuminata*.** The position of the samples in the canopy in *A. acuminata* trees of 3 and 5 years of age does not significantly affect the foliar concentration for most of the nutrients. The only exception is Ca in 5 year-old trees, whose concentration in the upper part was less than in the middle part of the crown. Although not significant, it was observed that the concentration of Fe, Mn and Zn tends to be greater in the external upper section of the crown at the age of 3; while the concentration tends to be higher in the external middle part of the crown at the age of 5. No significant differences due to age of plantation were observed in the foliar concentration of the nutrients from 2 to 8 year-old, in none of the compared seasons, except for the Mn, which tends to diminish with the age of the plantations (86 to 26 mg kg<sup>-1</sup>). The foliar concentration of Mg, Fe, Zn, Mn, Cu and B was higher during the dry season than during the rainy season, while the foliar concentration of N and P was higher during the rainy season and no variation was observed in the foliar concentration of Ca, K and S due to the sampling season. Based on these findings, the foliar critical levels for all elements analyzed in *A. acuminata* are presented.

1/ Este trabajo forma parte de la tesis de M.Sc. del primer autor. Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: alfredo@carriari.ucr.ac.cr

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

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

\*\*\* Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

## INTRODUCCIÓN

El análisis foliar, en conjunto con otras variables del sitio, ayuda a diagnosticar o a validar la presencia de síntomas visuales de deficiencias de nutrimentos, antes de que sean de importancia económica (Aldrich 1973 y Boardman *et al.* 1997). Este tipo de análisis también se utiliza como una herramienta para determinar el progreso de programas de fertilización y nutrición en plantaciones forestales (Munson y Nelson 1973, Jayamadhavan *et al.* 2000). El proceso de diagnóstico a través del análisis de tejidos puede hacerse (1) comparando las concentraciones de tejidos afectados y no afectados, (2) la relación entre el estado nutricional (concentración en los tejidos) y el crecimiento de los árboles, (3) balance de nutrimentos en los tejidos calculados a través de relaciones entre ellos y (4) el desarrollo de técnicas que emplean reacciones bioquímicas en los tejidos (Dell *et al.* 2001).

Debido a la escasez de información de análisis foliar en *A. acuminata* es importante mejorar y estandarizar el procedimiento de muestreo, manejo del tejido y análisis foliar. Para este efecto, debe emplearse técnicas apropiadas tratando de eliminar todos los factores no nutricionales que causan variación (Steenbjerg 1954, Aldrich 1973), tales como la contaminación ambiental, las enfermedades, las quemaduras por herbicidas, etc. Si la muestra de tejido foliar no es representativa de la plantación que se analiza, todo el cuidado y costo de trabajo en el subsiguiente análisis podría ser desechado debido a que los resultados no son válidos (Jones y Steyn 1973, Dell *et al.* 2001).

De acuerdo con varios autores (Leaf 1973, Drechsel y Zech 1991, Mills y Jones 1996, Boardman *et al.* 1997), la variación de la concentración de los nutrimentos en los tejidos del árbol varía según la especie, la edad de la planta, la posición del tejido muestreado en el copa (tercio superior, medio y bajo), la posición de la hoja en la rama muestreada (hoja 1,2,3.... a partir del ápice terminal), el estado fisiológico del crecimiento del árbol, la disponibilidad de los nutrimentos y del agua en el suelo y la época de muestreo (aspecto climático). Otros aspectos igualmente importantes son

la selección de los árboles por clase diamétrica, su estado nutricional (árboles deficientes o suficientes en nutrimentos), el número de árboles a muestrear o la ocurrencia de árboles dominantes o codominantes cercanos para reducir el tiempo de escalar los árboles, cuando se requiera de efectuar esta práctica.

En silvicultura de plantaciones existen estudios sobre muestreo foliar de varias especies (Vidal *et al.* 1984, Brunck 1987, Jayamadhavan *et al.* 2000, Dell *et al.* 2001), así como de la forma de interpretar los resultados del análisis de tejidos (Drechsel y Zech 1991, Mills y Jones 1996, Boardman *et al.* 1997). Sin embargo, la información disponible para el género *Alnus* (Dawson *et al.* 1980, Rodríguez *et al.* 1984) y en particular para *A. acuminata* es mínima.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de definir el efecto de la época de muestreo, la edad del árbol y la posición del tejido en la copa, el efecto de exposición de la rama a la luz y de la posición de la hoja en la rama terminal sobre el contenido foliar de *A. acuminata* y con base en los datos generar criterios preliminares sobre niveles adecuados de concentración foliar para plantaciones de jaúl en la cuenca alta del río Virilla, Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio de estudio

Los sitios de estudio se ubican en los cantones Vásquez de Coronado y Goicoechea, en Andisoles con relieves planos o con ondulaciones de moderadas a fuertes, en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB), a una elevación entre 1542 y 2062 msnm. La precipitación promedio anual es de 2500 mm y la temperatura media ambiente oscila entre 12 y 22,5°C. La humedad relativa de la zona es alta y la neblina es frecuente, con vientos leves (Montoya 1999). El estudio se realizó en plantaciones de *A. acuminata* de 2, 3, 4, 5, 7 y 8 años cultivadas en suelos Typic Udivitrands y Entic Udivitrands consideradas como de crecimiento excelente,

según los criterios desarrollados por Camacho y Murillo (1986).

### **Muestras foliares**

El muestreo foliar se llevó a cabo en plantaciones de *A. acuminata* de crecimiento óptimo. En total se tomaron 23 muestras de hojas jóvenes sanas suficientes para estudiar los efectos de la posición de las hojas en la copa, la edad de la plantación y la época de muestreo. Para el caso del efecto de la exposición a la luz y de la posición de la hoja en la rama terminal (primera, segunda y tercera hojas desarrolladas a partir del ápice), se recolectó 3 muestras foliares compuestas iluminadas y 3 a la sombra en cada uno de los 4 árboles por sitio y en 2 sitios.

Las muestras se transportaron al Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica donde se analizaron para N total, P, Ca, Mg, K, S, Fe, Cu, Zn, Mn, y B por combustión húmeda, siguiendo la metodología descrita por Operation Manual, Microwave Accelerated Reaction System (2001) y Manual Digestion Application Notes (2001).

### **Posición en la copa**

El efecto de la posición en la copa del árbol se evaluó empleando un total de 20 muestras foliares compuestas, recolectadas en árboles de 3 años (12 muestras compuestas provenientes de 3 árboles) y 5 años (8 muestras compuestas provenientes de 2 árboles). Para realizar esta operación se separó la parte superior y media de la copa de cada árbol, así como la parte externa y media de cada una de las ramas muestreadas, hasta obtener muestras compuestas de la parte alta externa, alta interna, media externa y media interna de la copa de los árboles.

### **Edad de la plantación y efecto de la época de muestreo**

El efecto de la edad de la plantación y su interacción con la estación de lluvias (seca vs. lluviosa) se realizó empleando un total de 23 muestras, de las cuales 9 se tomaron en la estación seca en árboles de 2, 4, y 7 años (durante el verano del

2002) y 14 muestras de árboles de 3, 5 y 8 años durante la estación lluviosa (durante la época de invierno del 2003). La variación en edad, se da debido a que los muestreos se realizaron en forma sucesiva en el tiempo, cuando los árboles ya eran más viejos en el último caso.

### **Determinación de los niveles críticos**

Para la determinación del nivel crítico foliar de la concentración de los diferentes elementos en árboles de jaúil, se conformó una base de datos con todas las muestras analizadas en el presente trabajo, más otro tanto de otras plantaciones bajo estudio en la misma región para un total de 198 muestras. A los valores se les realizó un histograma de frecuencia con 7 columnas de intervalo equidistante; cuando las clases así generadas alteraban el resultado por un valor extremo (3 casos), las muestras se eliminaron de la base de datos. Así, para cada elemento, se consideró como adecuado el rango de valores que agrupara más del 85 % del total de las muestras y los valores en los extremos inferior y superior se utilizaron para definir los rangos ligeramente bajo y ligeramente alto.

### **Análisis estadístico**

Se realizó el análisis de varianza para las variables de la parte alta externa, alta interna, media externa y media interna de la copa de los árboles y su interacción. También se realizó un análisis de varianza para determinar la influencia de la época, el efecto de la edad, la exposición a la luz del tejido foliar y la posición de las hojas en la rama terminal en la concentración foliar de los nutrimentos de *A. acuminata*.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Variación de la concentración foliar de nutrimentos debida a la sección de la copa de *A. acuminata***

No se observó diferencias significativas ( $p>0,0946$ ) en la concentración foliar para la

mayoría de los nutrimentos en árboles de *A. acuminata* de 3 y 5 años, debidas a la posición de las muestras en la copa (sección alta externa o interna vs. la sección media externa o interna de la copa). Varios factores influyen en este hecho, entre ellos: el escaso número de ramas de la copa, el tamaño mediano o pequeño de las hojas, la pérdida de follaje durante todo el año (más acentuada en la época seca), la autopoda de la especie, la poda y el raleo de los árboles según el plan de manejo de las plantaciones. Todos estos factores confluyen para que la mayoría de las hojas del árbol mantengan un nivel de luminosidad similar durante todo el año, lo que mantiene el árbol fotosintéticamente activo y disminuye el efecto de la posición de la copa en el contenido de los nutrimentos.

La única excepción a lo mencionado, la constituye la concentración de Ca en árboles de 5 años, cuya concentración en la parte alta fue menor que en la parte media de la copa ( $p=0,0186$ ), indiferentemente de si las muestras se toman de las ramas internas o externas de los

árboles (Cuadro 1). Este hecho podría atribuirse a que el Ca es un elemento poco móvil y por lo tanto tendería a acumularse más en los tejidos más viejos de la parte media de la copa, en una zona en la cual la deficiencia del elemento no es importante.

Aunque no significativa, también se observó una tendencia en la concentración de Fe y Zn, pues es mayor en la sección alta externa de la copa en la plantación de 3 años, mientras que a la edad de 5 años la cantidad de Fe, Mn y Zn tiende a ser mayor en la parte media externa de la copa (Cuadro 1). Mills y Jones (1996) mencionan que estos nutrimentos no son traslocados a las hojas jóvenes y se acumulan en las hojas maduras. La concentración de estos nutrimentos tiende a ser mayor con la edad de los árboles y en la sección media externa, la cual se caracteriza por poseer un tejido foliar más maduro que la parte alta de la copa. Debido al poco efecto de la posición de la copa del árbol sobre la concentración foliar y para facilitar el muestreo foliar, se considera adecuado tomar las muestras de la parte externa de

Cuadro 1. Concentración foliar de nutrimentos en diferentes secciones de la copa de *A. acuminata* con edades de 3 y 5 años.

Sección de la copa	N	P	Ca	Mg	K	S					
							%			mg kg <sup>-1</sup>	
3 años de edad											
Alta Externa	2,91	0,28	0,47	0,18	1,05	0,14	102	14	39	54	19
Alta Interna	3,04	0,25	0,45	0,16	1,02	0,12	98	13	36	51	19
Media Externa	3,11	0,27	0,49	0,17	1,02	0,13	84	12	33	52	18
Media Interna	3,09	0,26	0,50	0,16	1,05	0,13	91	13	29	52	17
Promedio	3,03	0,26	0,47	0,17	1,03	0,13	94	13	34	52	18
Pr >F*	0,78	0,35	0,44	0,33	0,95	0,11	0,39	0,81	0,62	0,96	0,27
5 años de edad											
Alta Externa	3,06	0,25	0,41	0,14	1,01	0,13	102	17	29	47	17
Alta Interna	3,28	0,24	0,42	0,14	1,00	0,13	102	14	21	48	15
Media Externa	3,27	0,26	0,53	0,14	0,97	0,12	122	13	33	56	15
Media Interna	3,14	0,26	0,53	0,15	1,00	0,12	105	15	25	47	15
Promedio	3,19	0,26	0,47	0,14	0,99	0,12	108	15	27	50	15
Pr >F*	0,79	0,73	0,02	0,85	0,96	0,34	0,36	0,28	0,62	0,43	0,39

Pr >F\* significa que los valores en una misma columna son o no son estadísticamente significativos.

las ramas del tercio medio de la copa. Observaciones de campo al momento de efectuar la toma de muestras, indican que el número y el peso de las hojas de la muestra es más del doble cuando se toman de ramas iluminadas que en el caso de muestras provenientes de ramas a la sombra, factor a considerar cuando se tratan aspectos económicos del manejo de la plantación.

**Variación de la concentración foliar de nutrimentos debido a la exposición a la luz de las ramas intermedias del dosel y de la posición de la hoja en la rama terminal de *A. acuminata***

El contenido foliar de la mayoría de los elementos es superior en las hojas iluminadas al encontrado en las hojas a la sombra ( $p=0,0001-0,019$ ), excepto para los elementos Fe, B y Al ( $p=0,2064-0,8418$ ). Bajo condiciones de sombra, el contenido foliar de N, Mg, Fe, B y Al no varía significativamente ( $p=0,1229-0,5594$ ), mientras que bajo condiciones de luz no varían los contenidos de Fe, B y Al ( $p=0,735-0,6848$ ). Por estas razones, es preferible tomar muestras de hojas expuestas al sol (Cuadro 2). Se encontró que los elementos N, P, K Cu y Zn son móviles ya que su concentración es mayor en los tejidos fotosintéticamente más activos, por lo que su concentración disminuye de la hoja 1 a la 3; los elementos Ca, Fe y Mn son inmóviles y presentan una mayor concentración en las hojas maduras y sombreadas; los elementos Mg, S, B y Al no se pueden catalogar en ninguno de los grupos anteriormente mencionados.

En relación al efecto de la posición de la hoja en la rama terminal, el contenido foliar de los elementos P, Ca, K, S, Cu, Zn y Mn varía significativamente ( $p=0,0001$ ), y en menor magnitud, lo mismo sucede con el N, Mg y Al ( $p=0,0138-0,0355$ ); los elementos Fe y B, no se ven afectados por la posición de la hoja en la rama terminal ( $p=0,3908-0,9035$ ). Lo dicho es particularmente cierto para las hojas 1 y 2 tomadas a partir del ápice terminal, las cuales se ven más afectadas en su concentración por efecto de la exposición a la luz que la hoja 3. En el último caso, la concentración de N, P, Mg, Fe, Mn, B y Al ( $p=0,1349-0,5654$ ) no varía estadísticamente por efecto de la exposición a la luz o la sombra, mientras que sí varían significativamente los contenidos de Ca, K, S y Cu ( $p=0,0003-0,3140$ ). De esta manera, queda claro que para observar cambios en la concentración foliar de jaúl debido a tratamiento, es preferible tomar muestras de las hojas 1 y 2 totalmente expuestas al sol.

Otra razón para tomar tejido foliar de ramas iluminadas, es que la cantidad que se obtiene de ellas es mayor que la que recolectada de ramas a la sombra. Indiferentemente de la edad de la plantación la relación entre el peso de tejido foliar muestreado bajo ambas condiciones es de 2,8, mientras que el número de hojas que se recoge de ramas iluminadas es 2,0 veces más elevado que el proveniente de ramas no iluminadas (Cuadro 3). Por ambas razones, el costo de muestreo en términos de mano de obra requerida es menor cuando se toma muestras de ramas iluminadas, además de que se requiere maltratar menos número de árboles debido al muestreo.

Cuadro 2. Efecto de la exposición a la luz y de la posición de la hoja en la rama terminal sobre la concentración de nutrimentos de *A. acuminata*.

Condición	Hoja	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Al
		%							mg kg <sup>-1</sup>				
Iluminada	1	4,15	0,45	0,29	0,20	1,65	0,23	78	33	57	26	17	19
	2	4,05	0,34	0,36	0,20	1,49	0,23	72	27	42	31	17	28
	3	3,74	0,23	0,50	0,21	1,21	0,21	78	21	35	44	19	28
Sombreada	1	3,70	0,38	0,46	0,21	1,56	0,21	89	27	47	33	19	23
	2	3,74	0,31	0,51	0,21	1,37	0,21	88	21	36	39	19	20
	3	3,66	0,22	0,62	0,22	1,09	0,20	73	18	32	46	17	35

Cuadro 3. Efecto de la exposición a la luz sobre el peso y el número de hojas a muestrear en plantaciones de *A. acuminata* de 4 y 6 años de edad.

Edad	Peso fresco de hojas árbol (g) <sup>-1</sup>			Número de hojas árbol <sup>-1</sup>			
	Plantación	iluminadas	No iluminadas	ilum/No ilum	iluminadas	No iluminadas	ilum/No ilum
4		40	14	2,8	68	34	2,0
6		55	19	2,8	124	50	2,5

### Efecto de la edad sobre la concentración de nutrimentos del tejido foliar del jaúl

No se observó diferencias significativas ( $p>0,08$ ) en la concentración foliar de los nutrimentos con la edad de la plantación, en ninguna de las épocas comparadas, excepto para el Mn, cuya concentración disminuyó significativamente con la edad (Cuadro 4). La poca variación con la edad puede ser producto del efecto de una adecuada disponibilidad de nutrimentos aportada por el suelo a través de los años, en relación a las necesidades de la plantación (Mills y Jones 1996), así como de la forma de la copa del jaúl, que permite una adecuada luminosidad sobre

todo el tejido, se renueva constantemente y mantiene una edad fisiológica similar en el tiempo a las edades comparadas. En muchas especies forestales la concentración de los nutrimentos en las hojas y en otros tejidos se mantiene constante o con cambios ligeros conforme aumenta la edad (Munson y Nelson 1973, Mills y Jones 1996).

### Efecto de las épocas seca y lluviosa sobre la concentración de nutrimentos del tejido foliar del jaúl

En el Cuadro 4 se observa que la concentración foliar de Mg, Fe, Zn, Mn, Cu y B fue mayor durante la época seca que durante la época

Cuadro 4. Efecto de la edad y la precipitación pluvial sobre la concentración foliar de *A. acuminata* en Costa Rica.

Edad años	N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	%						mg kg <sup>-1</sup>				
	Época seca										
2	2,58	0,20	0,56	0,22	0,94	0,15	114	25	53	86	19
4	2,64	0,18	0,56	0,14	1,08	0,14	160	21	45	31	15
7	2,36	0,22	0,53	0,19	1,04	0,13	136	21	54	37	11
Promedio	2,53	0,20	0,55	0,18	1,02	0,14	137	22	51	51	15
Pr >F*	0,21	0,5	0,68	0,35	0,47	0,25	0,62	0,2	0,74	0,05	0,09
Época lluviosa											
3	3,27	0,27	0,48	0,18	1,07	0,14	87	16	34	42	20
5	3,22	0,27	0,62	0,14	1,02	0,11	89	17	34	39	15
8	3,26	0,29	0,52	0,19	1,00	0,14	84	21	25	26	18
Promedio	3,25	0,28	0,54	0,17	1,03	0,13	87	18	31	36	18
Pr >F*	0,92	0,29	0,56	0,76	0,23	0,03	0,85	0,08	0,19	0,2	0,19

Pr >F\* significa que los valores en una misma columna son o no son estadísticamente significativos.

lluviosa ( $p < 0,037$ ), mientras que los contenidos foliares de N ( $p = 0,0001$ ) y P ( $p = 0,0002$ ) fueron más elevados durante la época lluviosa y no se observó variación alguna en las concentraciones foliares de Ca, K y S debidas al efecto de la época de muestreo ( $p > 0,082$ ). Al respecto, varios autores (Aldrich 1973, Vidal *et al.* 1984, Mills y Jones 1996, Boardman *et al.* 1997) mencionan que la concentración de los nutrimentos cambia con la época del año y para muchas especies forestales la diferencia de concentración entre estaciones es alta. Los elementos móviles como el N, P y K se encuentran en bajas concentraciones en la época seca, mientras que los elementos poco móviles como el Ca y el Al se acumulan en los tejidos a través de la estación de lluvias o de crecimiento (Nambiar 1984).

La menor concentración foliar de Mg, Fe, Zn, Mn, Cu y B durante la época lluviosa se debe a un efecto de dilución ya que durante esta época aumenta el metabolismo de los árboles, los cuales crecen y aumentan sus estructuras de almacenamiento con respecto a la época seca. Boardman *et al.* (1997) mencionan que la concentración de nutrimentos en el tejido foliar es mayor en el período del año en que la tasa de crecimiento es más baja.

Los mayores contenidos foliares de N y P observados durante la época lluviosa concuerdan con lo encontrado por Rodríguez *et al.* (1984) y Dawson *et al.* (1980) en *A. glutinosa*, quienes atribuyen el hecho a una mayor actividad en los nódulos de *Frankia* durante la estación lluviosa, con lo que aumenta la fijación y translocación de N y por asocio de P (Cervantes y Rodríguez 1992).

Los contenidos de N, P, Ca, Mg, K, S, Fe, Zn y B se mantienen dentro del ámbito de los niveles críticos determinados para otras especies de *Alnus* (Rodríguez *et al.* 1984, Sharma 1993, Mills y Jones 1996). Sin embargo, se observó que el contenido foliar de Mn, tanto en la época seca como en la lluviosa, se encuentra en concentraciones por debajo de los niveles de referencia ( $130-1114 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y el Cu en las 2 épocas evaluadas se encuentra por encima de los niveles críticos ( $3-10 \text{ mg kg}^{-1}$ ) encontrados por los mismos

autores en otras especies del género *Alnus*. Los contenidos foliares obtenidos en esta investigación se consideran óptimos para el crecimiento de *A. acuminata*, ya que los árboles analizados, además de ser dominantes y representativos de las plantaciones, estaban plantados en sitios excelentes para el crecimiento de esta especie y no mostraban síntomas de deficiencia alguna.

Las variaciones de concentración foliar en jaúil debidas al efecto de época de recolección de tejido, obligan a definir una época de muestreo de compromiso, como sería el momento de estabilización de la época lluviosa, en la cual se puede maximizar las concentraciones de N y P, sin disminuir significativamente las de Mg, Fe, Zn, Mn, Cu y B, momento indiferente para elementos como Ca, K y S que no se ven afectados por la época de muestreo.

En la estación seca el contenido foliar de Mn en jaúil es mayor que el encontrado durante la época de lluvias y entre los árboles de diferente edad en la época seca, se encontró diferencias significativas en la concentración de este nutrimento ( $p = 0,047$ ).

Se observó que la cantidad foliar de S ( $p = 0,03$ ) en el jaúil tiende a disminuir en la época lluviosa (efecto de dilución) en plantaciones de menos de 8 años y aumenta en plantaciones más adultas (Cuadro 4); el último comportamiento puede ser ocasionado por un efecto de sitio ya que la disponibilidad de este elemento aumenta con el incremento de la materia orgánica (Fox 1974), el cual es menor en la plantación de 5 años (Segura *et al.* 2005).

### Determinación de niveles críticos

En el cuadro 5, se incluye los valores preliminares de rango adecuado para cada uno de los elementos analizados en el presente trabajo, con una clase de valores ligeramente baja y otra ligeramente alta, definidas en función de la distribución de frecuencia de valores (Figuras 1 y 2). La forma de agrupamiento natural de los datos, no permitió definir valores ligeramente bajos para P, Fe, Mn, Cu, Zn y B, ni ligeramente

Cuadro 5. Niveles críticos foliares preliminares de macro y micro nutrientes en *A. acuminata*.

Elemento	Concentración foliar		
	Ligeramente baja	Adecuada	Ligeramente alta
N %	2,20-2,81	2,82-4,07	4,08-4,38
P %		0,17-0,35	0,36-0,48
K %	0,76-0,92	0,93-1,39	1,40-1,87
Ca %	0,24-0,33	0,34-0,61	0,62-0,89
Mg %	< 0,15	0,15-0,27	0,28-0,34
S %	0,09-0,18	0,19-0,25	
Fe mg kg <sup>-1</sup>		51-133	134-194
Mn mg kg <sup>-1</sup>		12-79	80-123
Cu mg kg <sup>-1</sup>		10-30	31-37
Zn mg kg <sup>-1</sup>		19-40	41-70
B mg kg <sup>-1</sup>	5-11	12-21	22-28

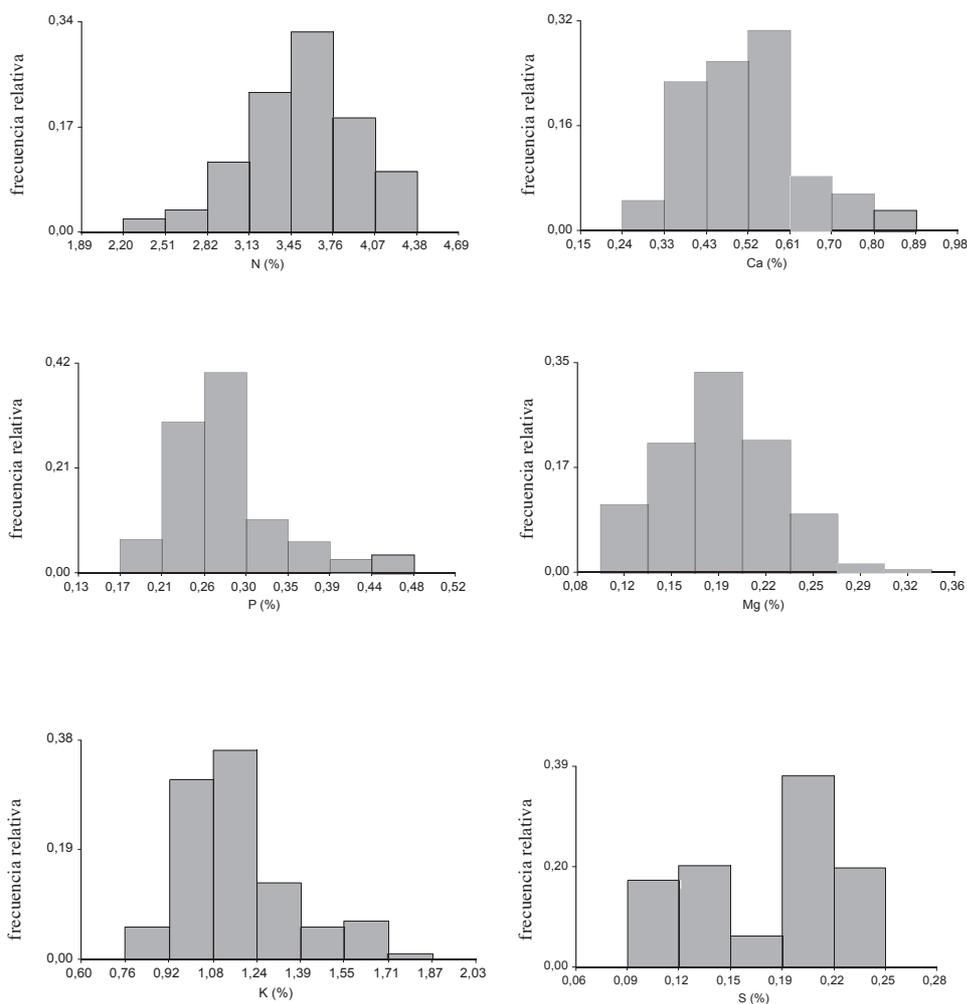


Fig. 1. Histogramas de concentración foliar de N, P, K, Ca, Mg y S en 5 plantaciones de jaúl en la cuenca alta del Rio Virilla (n=195).

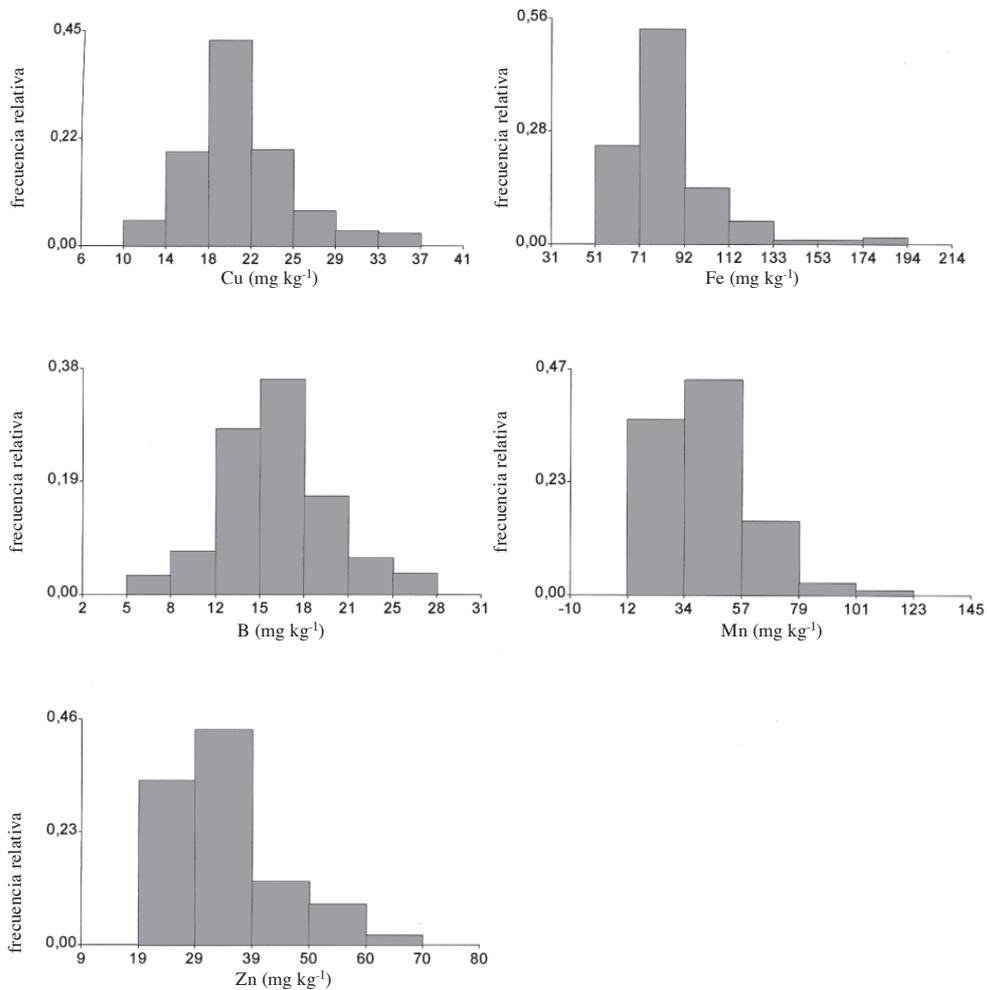


Fig. 2. Histogramas de concentración foliar de Cu, B, Zn, Fe y Mn en 5 plantaciones de jaúl en la cuenca alta del Río Virilla (n=195).

altos para S, situación considerada como normal para plantaciones de crecimiento ideal, como las empleadas en el presente estudio.

Al comparar los datos de los cuadros 1 y 4 con los niveles críticos del cuadro 5, se nota que todos los valores de S de las plantaciones estudiadas tienen niveles foliares de S ligeramente bajos (0,12-0,15%), mientras que los de los demás elementos se encuentran en un nivel adecuado. Los valores del cuadro 2, permiten

determinar que la concentración foliar de Ca en hojas totalmente iluminadas son ligeramente bajos (0,29%), lo que indica que el suelo podría estar limitando el crecimiento de los árboles. Además, todos los valores de N foliar (Cuadro 5) medidos durante la época seca (2,36-2,64%) se pueden considerar como ligeramente bajos, lo que se atribuye a una menor actividad de fijación biológica del elemento y a una menor absorción de N por falta de agua.

## CONCLUSIONES

- No hubo diferencias significativas en la concentración foliar para la mayoría de los nutrimentos provenientes de árboles de 3 y 5 años de *A. acuminata* debidas a la posición de las muestras en el copa (parte alta o media o parte externa o interna de la copa).
- La concentración foliar de los nutrimentos en *A. acuminata* no varía en edades comprendidas entre 1 y 8 años, en ninguna de las épocas comparadas, excepto para el Mn.
- La concentración foliar de Mg, Fe, Zn, Mn, Cu y B fue mayor durante la época seca que durante la época lluviosa, mientras que los contenidos foliares de N y P fueron más elevados durante la época lluviosa y no se observó variación alguna en las concentraciones foliares de Ca, K y S debidas al efecto de la época de muestreo.
- Las muestras foliares se deben tomar en el momento de estabilización de la época lluviosa, en la cual se puede maximizar las concentraciones de N y P sin disminuir significativamente las de Mg, Fe, Zn, Mn, Cu y B, y que no afecta la concentración de otros elementos como Ca, K y S.
- Las muestras deben tomarse en ramas iluminadas, procurando incluir solamente la primera hoja totalmente desarrollada y el ápice de crecimiento.
- Con los datos obtenidos fue posible definir en forma preliminar los niveles críticos foliares para la especie.
- Es importante continuar con los estudios de muestreo y análisis foliar en árboles de jaúl de mayor edad a los de este ensayo (8 años) y hasta el período establecido de

corta (15 años) con el objeto de determinar si la concentración crítica de los nutrimentos del tejido foliar varía a edades mayores.

## AGRADECIMIENTOS

A la Compañía Nacional de Fuerza y Luz por el financiamiento de esta investigación y al personal del vivero de su departamento de Recursos Naturales por la colaboración en la determinación de las variables de crecimiento.

## LITERATURA CITADA

- ALDRICH S.R. 1973. Plant Analysis: Problems and Opportunities. *In*: L.M. Walsh, J.D. Beaton (eds). Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. p. 213-222.
- BOARDMAN R., CROMER R.N., LAMBERT M.J., WEBB M.J. 1997. Forest Plantations. *In*: D.J. Reuter, J.B. Robinson (eds.). Plant analysis and interpretation manual. CSIRO Publishing. Australia. p. 1-2.
- BRUNCK F. 1987. Tropical forest species. *In*: P. Martin-Prével, J. Gagnard y P. Gautier (eds.). Plant analysis as a guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops. N.Y. USA. Lavoisier Publishing Inc. p. 479-487.
- CAMACHO P., MURILLO O. 1986. Algunos resultados preliminares de la epidometría del jaúl *Alnus acuminata* (H.B.K.) O. Kundze. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. p.i.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1984. Especies para leña: Arbustos y árboles para la producción de energía. Trad. VA de Fernández. Turrialba, Costa Rica. p. 126-127.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1986. Silvicultura de especies promisorias para la producción de leña en América Central. Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico no.86. p. 49-53.
- CERVANTES E., RODRÍGUEZ C. 1992. Relationships between the mycorrhizal and actinorhizal symbioses in non-legumes. *Methods in Microbiology* 24:417-431.

- DAWSON J.O., FUNK D.T., FITTON R.R., GERTNER G.Z. 1980. Seasonal changes in leaf nitrogen concentration of *Alnus glutinosa*, *A. rugosa*, and *A. Serrulata*. In: H.E. Garrett, G.S. Cox (eds). Central hardwood forest conference III. Missouri University. Columbia. p. 190-201.
- DELL B., MALAJCZUL N., XU, D.; GROVE, T.S. 2001 Nutrient disorders in plantation eucalypts. 2ª. ed. Camberra, Australia, ACIAR Monograph No 74. 188 p.
- DRECHSEL P., ZECH W. 1991. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: a tabular review. Plant and Soil 131:29-46.
- FOX R.L. 1974. Examples of anion and cation adsorption by soils of tropical America. Tropical Agriculture 51:200-210.
- HENRÍQUEZ C., BERTSCH F., SALAS R. 1995. Fertilidad de suelos: Manual de laboratorio. Asociación Costarricense Ciencias del Suelo. San José, Costa Rica. 64 p.
- JAYAMADHAVAN A., SUDHAKARA K., WASHID P.A. 2000. Methods of leaf sampling in teak (*Tectona grandis*) for nutrient Analysis. Journal of Tropical Forest Science 12(2): 227-237.
- JONES J.B., STEYN W.J.A. 1973. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. In: L.M. Walsh, J.D. Beaton (eds.). Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. p. 249-270.
- LANG C.E. 1971. Contenidos de manganeso en los forrajes del Valle de Orosí y su efecto sobre la concentración en el pelo y la reproducción en vacas lecheras. Tesis Ing. Agr, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 54 p.
- LEAF A.L. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing forests. In: L.M. Walsh, J.D. Beaton (eds). Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. p. 427-454.
- MANUAL DIGESTION APPLICATION NOTES. 2001. Milestone, Microwave Laboratory Systems. USA.
- MILLS H.A., JONES J.B. 1996. Plant analysis handbook II. MicroMacro Publishing. Athens, Georgia, USA. 180 p.
- MONTOYA A. 1999. Plan de reforestación para la plantación de Dorval S.A. FUNDECOR. San José, Costa Rica. 233 p.
- MUNSON R.D., NELSON W.L. 1973. Principles and practices in plant analysis. In: L.M. Walsh, J.D. Beaton (eds). Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. p. 223-248.
- NAMBIAR E.K.S. 1984. Plantation forests: their scope and a perspective on plantation nutrition. In: G.D. Bowen, E.K.S. Nambiar (eds). Nutrition of plantation forests. Academic. London. p. 1-15.
- OPERATION MANUAL. MICROWAVE ACCELERATED REACTION SYSTEM. 2001. MARS 5. CEM Corporation Innovators in Microwave Technology. USA.
- RODRÍGUEZ C., MIGUEL C., SUBRAMANIAM P. 1984. Seasonal fluctuations of the mineral concentration of alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) from the field. Plant and Soil 78:201-208.
- ROJAS F. 1981. Especies forestales más utilizadas en proyectos de reforestación en Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal, ITCR. Cartago, Costa Rica. 131 p.
- SHARMA E. 1993. Nutrient dynamics in Himalayan alder plantations. Annals of Botany 72:329-336.
- SEGURA M., CASTILLO A., ALVARADO A., BLANCO F. 2005. Extracción de nutrimentos en plantaciones de jaúl (*Alnus acuminata* (H.B.K.) O. Kuntze) en la cuenca del río Virilla, Costa Rica. Agronomía Costarricense 29(2): 109-120.
- SMITH F.W., LONERAGAN J.F. 1997. Interpretation of plant analysis: Concepts and principles. In: D.J. Reuter, J.B. Robinson (eds). Plant analysis an interpretation manual. CSIRO Publishing, Australia. p. 1-33.
- STEENBERG F. 1954. Manuring, plant production and the chemical composition of plants. Plant and Soil 5:226-242.
- VIDAL I., FERRADA R., RIQUELME E. 1984. Evolución estacional de nutrimentos en *Pinus radiata* D. Don en Chile. Turrialba 34(3):261-266.

