Composición del tejido vegetal y su relación con variables de crecimiento y niveles de nutrientes en el suelo en cultivos comerciales de menta (*Mentha spicata* L.)

Mineral composition of plant tissue in relation to growth variables and soil nutrients levels in commercial crops of mint (*Mentha spicata* L.)

Rafael Pedraza[1] y Martha C. Henao[2]

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la composición química del tejido vegetal en menta y su relación con la concentración de nutrientes en el suelo. Se evaluaron parámetros de crecimiento y la concentración de elementos de la parte aérea de la planta al momento de la cosecha, en 35 cultivos comerciales ubicados en el departamento de Cundinamarca (Colombia). Paralelamente se determinaron las propiedades químicas del suelo en que crecían las plantas. La concentración de macroelementos en el tejido vegetal mostró el siguiente orden (% de materia seca): K (1,07-7,23) > N (1,57-4,74) > Ca (0,66-1,36) > P (0,24-0,64) > Mg (0,14-0,60); para los microelementos (mg·kg^{-1}) fue: Fe (89-596) > Mn (19-303) > Zn (47-134) > B (16-108) > Cu (8-13). No se encontraron relaciones significativas entre los nutrientes en el suelo y la planta que permitieran explicar las variables de crecimiento. Se presentaron correlaciones significativas entre Mg y P en el suelo y sus concentraciones en la planta (r=0,65** y 0,60*, respectivamente) y del Mg en el suelo y el Mn en la planta (r=-0,60*). La mejor correlación se presentó entre la relación K/Mg en el suelo y el Mg en el tejido vegetal (r=-0,73**), poniendo de manifiesto el antagonismo entre ambos nutrientes y la importancia del balance catiónico K-Mg en el suelo. En general se puede afirmar que los suelos cultivados con menta no presentaron limitaciones en la disponibilidad de nutrientes, muy probablemente por el manejo intensivo de la fertilización.

Palabras clave: nutrición vegetal, análisis de tejido vegetal, análisis de suelo.

ABSTRACT

The objective of this study was characterizing the chemical composition of plant tissue in mint and its relation to the mineral concentration in soil. The fresh weight, dry weight, height and number of knots, and the elemental concentration in aerial part of plants from 35 commercial crops at the time of harvesting were evaluated, as well as the soil chemical properties. The concentration of macronutrients in the plant tissue of mint showed the next order (% dm): K (1.07-7.23) > N (1.57-4.74) > Ca (0.66-1.36) > P (0.24-0.64) > Mg (0.14-0.60), and that one for the microelements (mg·kg^{-1}): Fe (89-596), Mn (19-303), Zn (47-134), B (16-108), Cu (8-13). No significant relations between the nutrients in soil and plant that permit to explain, in some degree, the growth variables were found. We would find significant correlations between Mg and P in soil and their concentrations in plants (r=0,65** y 0,60* respectively) and between Mn in soil and its concentration in plant (r=-0,60*). The best correlation was found between the K/Mg ratio in soil and Mg in plant tissue (r=-0,73**) making these clear the antagonism between both nutrients and importance of cation balance in soil. The concentration of nutrients in mint was similar to the one reported in the other crops. In general, we can say that soils cultivated with mint don't show limitations in regards to nutrient availability, probably, due to the intensive management of fertilization.

Key words: plant nutrition, plant analysis, soil analysis.

Introducción

La producción de hierbas aromáticas para exportación en fresco ha mostrado en Colombia un notable crecimiento durante los últimos años, tanto en área cultivada como en número de toneladas producidas. El departamento de Cundinamarca es el mayor productor de hierbas aromáticas en el país, según información disponible para el período 1997-2005 (Portilla, 2007).

Dentro de las especies de hierbas aromáticas que se cultivan para exportación, la menta (*Mentha spicata* L.) ocupa un

Fecha de recepción: 18 de febrero de 2008. Aceptado para publicación: julio 10 de 2008

[1] Ingeniero agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. rapedrazar@unal.edu.co
[2] Profesora asociada, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. mchenaoto@unal.edu.co

AGRONOMIA 26-2 -PROFE194).indd 186 06/10/2008 19:39:58

puesto importante (Echeverri y Forero, 2007); incluso en Cundinamarca, corresponde a una de las hierbas aromáticas de mayor venta en el mercado interno.

La producción de menta con calidad de exportación requiere la adopción de buenas prácticas agrícolas, que involucran el manejo sostenible de los recursos para la producción del cultivo, incluidos los aspectos de agua, suelo y fertilización.

La menta es una planta perenne de la familia Lamiaceae, originaria del sur de Europa y norte de África. Entre las especies de menta se destacan *M. spicata* L. (yerbabuena o *spearmint*) y *M. piperita* L. (*peppermint*), por su uso en culinaria y en las industrias farmacéutica y cosmética. El cultivo es herbáceo con una alta densidad poblacional y al inicio un metro cuadrado puede contener aproximadamente 25 plantas. La propagación se hace a través de esquejes en siembra directa al suelo. El cultivo empieza a producir 6 semanas después de la siembra y, a partir de ese momento, se pueden hacer cortes cada 6-7 semanas bajo invernadero ó cada 9 semanas a libre exposición. Al cabo de 3 meses la formación de estolones es tan prolífica que no se pueden diferenciar las plantas madre (Bareño y Clavijo, 2006). La producción total es de 2.000 $g \cdot m^{-2}$, aunque, una vez seleccionado el material tipo exportación, puede disminuir a 1.200 $g \cdot m^{-2}$ (Bareño y Clavijo, 2006).

Un manejo adecuado de nutrientes es esencial para el desarrollo de biomasa del cultivo, ya que si el suministro de nutrientes es bajo, los rendimientos del cultivo se reducen. La menta requiere 250-300 $kg \cdot ha^{-1}$ de N, 55-110 $kg \cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 y cerca de 375 $kg \cdot ha^{-1}$ de K_2O para obtener altos rendimientos (Brown *et al*., 2003).

Ozcan (2003) encontró en el tejido en hojas y flores de *M. spicata* obtenidas de un mercado local en Turquía: 0,22% de P; 2,47% de K; 1,13% de Ca; 0,5% de Mg; 0,31% de S; 414 $mg \cdot kg^{-1}$ de Fe; 97,6 $mg \cdot kg^{-1}$ de Mn; 18,7 $mg \cdot kg^{-1}$ de Zn; 47,6 $mg \cdot kg^{-1}$ de B y 8,48 $mg \cdot kg^{-1}$ de Cu.

Hart *et al.* (2003) evaluaron la acumulación de biomasa y nutrientes en *M. piperita* durante tres años en seis lugares diferentes, obteniendo los siguientes rangos de la máxima absorción de cada elemento: 3,85-4,41% de N; 0,40-0,63% de P; 3,65-4,77% de K; 0,36-0,48% de S; 0,88-1,52% de Ca; 0,28-0,45% de Mg; 20,4-27,8 $mg \cdot kg^{-1}$ de B; 1,25-19,4 $mg \cdot kg^{-1}$ de Cu; 77,5-119,9 $mg \cdot kg^{-1}$ de Mn y 28,0-45,6 $mg \cdot kg^{-1}$ de Zn, para un rendimiento de 4-6 $t \cdot ha^{-1}$.

Wolf (1996) reportó como valores de nutrientes en el tejido vegetal de menta: 4,0-6,0% de N; 0,3-0,7% de P; 2,0-6,0% de K; 1,0-2,0% de Ca; 0,2-0,7% de Mg; 7-25 $mg \cdot kg^{-1}$ de Cu; 60-200 $mg \cdot kg^{-1}$ de Fe; 30-200 $mg \cdot kg^{-1}$ de Mn; 50-200 $mg \cdot kg^{-1}$ de Zn y 20-70 $mg \cdot kg^{-1}$ de B.

Rodríguez *et al.* (2004) encontraron en *M. piperita* el máximo contenido de aceite 95 días después de la siembra (dds), que corresponde a los niveles de nutrientes en tejido foliar: 3,72% de N; 0,39% de P; 2,12% de K; 0,38% de Mg; 0,3% de S; 323 $mg \cdot kg^{-1}$ de Fe; 145 $mg \cdot kg^{-1}$ de Mn; 22 $mg \cdot kg^{-1}$ de Zn; 35 $mg \cdot kg^{-1}$ de B y 8 $mg \cdot kg^{-1}$ de Cu.

Entre los factores limitantes para la producción en Colombia de menta con calidad de exportación está la falta de conocimiento sobre el manejo tecnológico del cultivo, lo que no permite mantener unos volúmenes constantes de producción con altos estándares de calidad, bajo las normas de las buenas prácticas agrícolas. Entre los principales problemas figuran el poco conocimiento sobre la nutrición del cultivo y el manejo de la fertilización.

Los análisis de suelos y foliares son herramientas importantes de monitoreo del estado nutricional y para la posterior planificación de la fertilización. La utilidad de los análisis de tejido vegetal, según Havlin *et al.* (1999) y Reuter y Robinson (1986), radica, entre otros aspectos, en que sirve para: identificar síntomas de deficiencia; determinar que nutrientes están en niveles insuficientes antes de que aparezca la deficiencia; predecir las deficiencias de nutrientes en ciclos posteriores del cultivo; evaluar la cantidad de nutrientes removidos en los residuos de cosecha, con el propósito de restituirlos y mantener la fertilidad del suelo, y estudiar la relación entre el estado nutricional de la planta y el rendimiento del cultivo.

El análisis foliar es un indicador de la fertilidad, pues se parte de la premisa de que la concentración del elemento en la planta es proporcional a la disponibilidad del nutriente en el suelo y, por lo tanto, es un índice de fertilidad (Sims, 2001).

El objetivo de la presente investigación fue determinar la composición química del tejido vegetal de la parte aérea de plantas de menta (*M. spicata*) tomadas de cultivos comerciales en el departamento de Cundinamarca. Se exploró la posible presencia de deficiencias, toxicidades o desbalances, de acuerdo con la apariencia del cultivo y la relación con algunas variables de crecimiento de la planta y los nutrientes disponibles en el suelo, interpretados con la ayuda de los niveles generales de referencia para otros cultivos hortícolas reportados en la literatura. Este objetivo obedece a la dificultad actual para interpretar los análisis foliares en este cultivo, a causa de la escasa información de referencia.

AGRONOMIA 26-2 -PROFE194).indd 187 06/10/2008 19:39:58

Materiales y métodos

Zona de estudio

Se seleccionaron 35 cultivos comerciales establecidos en lotes homogéneos por tipo de suelo y relieve, localizados en el departamento de Cundinamarca, en una zona comprendida entre 4° 25' 45" y 5° 05' 38" latitud norte y 73° 39" 3' y 74° 20' 42" longitud oeste. La región está caracterizada por una temperatura media anual de 12-18 °C y una precipitación anual de 1.000-2.000 mm. Los municipios incluidos en el muestreo y el número de muestras tomadas por municipio se presentan en la tabla 1.

La zona comprende dos tipos de paisaje geomorfológico: 1) planicie fluvio-lacustre, constituida por llanuras de inundación y terrazas del río Bogotá, con pendientes menores de 5% y suelos formados a partir de depósitos de sedimentos, con influencia de cenizas volcánicas en algunos sectores; los suelos corresponden a Entisoles, Inceptisoles, Andisoles y Alfisoles, profundos a superficiales, bien a imperfectamente drenados, texturas finas a moderadamente gruesas y 2) montaña, con relieves ondulados y materiales parentales, en su mayoría sedimentarios con mantos de espesor variable de cenizas volcánicas; los suelos corresponden a Inceptisoles, Molisoles y Andisoles, en general bien drenados, profundos y de texturas variables (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2000).

Muestreos

En cada cultivo se recogió una muestra de tejido vegetal compuesta por 20 plantas obtenidas de una cama escogida al azar y tomadas de manera sistemática en línea recta, cada 50 cm, de la parte central de la cama; la longitud muestreada por cada cama fue de 10 m. Se tomaron únicamente tallos en estado vegetativo (sin flores) y listos para cosechar, de acuerdo al criterio de cada productor; es decir, que el estado de desarrollo alcanzado correspondió al punto de corte.

TABLA 1. Relación de las muestras de tejido vegetal tomadas en 35 cultivos comerciales de menta por municipio, departamento de Cundinamarca (Colombia).

Municipio	Altitud (msnm)	Número de muestras
Chía	2.519-2.581	3
Chipaque	2.333-2.672	11
Chocontá	2.453	1
Cota	2.586-2.577	3
Bogotá	2.600	2
El Rosal	2.629	2
Granada	2.359	2
Madrid	2.543-2.629	9
Tenjo	2.582	1
Zipaquirá	2.578	1

La muestra de suelo también fue de carácter compuesto, constituida igualmente por 20 submuestras tomadas cada 50 cm junto a las plantas previamente muestreadas, empleando un barreno tubular de 3 cm de ancho, a una profundidad de 0-20 cm, con el fin de cubrir la zona de raíces de la planta.

Análisis de laboratorio

Los análisis de tejido vegetal se realizaron sobre una muestra secada a 60 °C y molida de acuerdo con los métodos empleados en Cenicafé (Centro Nacional de Investigaciones de Café) para el análisis foliar (Carrillo *et al.*, 1994). Se determinó el nitrógeno total por el método micro-Kjeldahl con valoración volumétrica. A partir de la muestra calcinada a 475 °C, se midieron los contenidos totales de Ca, K, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn por espectrofotometría de absorción atómica y de P y B por colorimetría. Adicionalmente, se evaluó el porcentaje de humedad y de cenizas.

A los suelos secos a 30 °C y pasados por tamiz de 2 mm se les analizó: pH (lectura en potenciómetro, relación suelo/agua de 1:1, con base a peso/volumen); conductividad eléctrica (lectura en conductivímetro en el extracto de saturación a 25 °C); carbono orgánico (método de Walkley y Black, valoración volumétrica); Ca, K, Mg y Na intercambiables (extracción con acetato de amonio 1 M, pH 7, valoración por absorción atómica); capacidad de intercambio catiónico (desplazamiento del NH_4^+ intercambiado con NaCl 1 M, valoración volumétrica); acidez de cambio (extracción con KCl 1 M, valoración volumétrica); fósforo disponible (método de Bray II, valoración colorimétrica); Cu, Fe, Mn y Zn disponibles (extracción con ácido dietilen triamino pentaacético [DTPA], valoración por absorción atómica); boro disponible (extracción con fosfato monobásico de calcio, valoración colorimétrica); porcentajes de arcilla (Ar), limo (L) y arena (A) (método de Bouyoucos, previa dispersión con hexametafosfato de sodio); textura (triángulo de clasificación textural, USDA [United States Department of Agriculture]); nitratos y amonio (extracción con KCl 2 M, destilación y valoración volumétrica).

Variables de crecimiento

De las 20 plantas seleccionadas en cada cultivo para el análisis de tejido vegetal, se tomaron registros de peso fresco, altura y número de nudos. Se determinó el peso seco de la muestra a 60 °C y, para calcular el peso seco promedio de

AGRONOMIA 26-2 -PROFE194).indd 188 06/10/2008 19:39:58

cada planta, éste se dividió por el número total de tallos que conformaron la muestra.

Análisis de datos

Se efectuó un análisis estadístico descriptivo para obtener niveles de referencia y observar además la variabilidad de los datos. Se efectuó correlación simple y múltiple entre los niveles individuales y relaciones entre nutrientes, tanto en el suelo como en el tejido vegetal, y las variables de crecimiento. Luego, para los modelos de regresión se estimó el parámetro VIF (siglas en inglés de factor de inflación de la varianza), para determinar si hay dependencia o correlación entre las variables independientes que intervienen en el modelo (multicolinealidad); cuando es mayor de 10 hay multicolinealidad y por lo tanto se estarían inflando las varianzas de los coeficientes estimados (Neter *et al*., 1989).

Los análisis se efectuaron con el paquete estadístico SAS (*Statistical Analysis System*) versión 8.

Resultados y discusión

Los cultivos de menta en la zona de estudio corresponden por lo general a áreas menores de 1 ha, en donde 76% está establecido a libre exposición y dispuesto en camas de 1-4 m de ancho, aunque en algunos lugares no hay espaciamiento definido. Los cultivos bajo invernadero están dispuestos en camas de 1,0-1,2 m de ancho.

De los cultivos considerados, sólo 49% cuenta con sistemas de fertirriego y recibe por lo general aplicaciones de Ca, Mg, K y NH_4^+ en forma de nitratos, además de ácido fosfórico y elementos menores en formas solubles, tales como quelatos. Los demás cultivos se manejan con fertilización edáfica, que se realiza después de cada corte con fuentes fertilizantes, como 15-15-15, 13-26-6, 25-15-0 y urea.

El tiempo de corte estuvo entre 45-90 dds, presentándose los tiempos más largos entre cortes en los cultivos de tecnología baja; se evidencia en este último caso que el criterio general para la cosecha es dependiente de la oferta y demanda del producto, cuyas ventas van dirigidas principalmente al mercado bogotano, como ocurre con los cultivos de Chipaque (Cundinamarca).

Variables de crecimiento y composición del tejido vegetal

El comportamiento de las variables de crecimiento entre cultivos se presenta en la tabla 2; cada dato resulta de promediar 20 observaciones por cama. La variación dentro del cultivo fue tan alta como entre cultivos, ya que se presentaron coeficientes de variación de 9%-23% en la altura, 26%-52% en el peso fresco y 10%-31% en el número de nudos entre las 20 plantas tomadas dentro de una misma cama.

TABLA 2. Variables de crecimiento de los cultivos de menta, considerando los valores promedio de las 35 camas muestreadas en Cundinamarca (Colombia).

Valor	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Altura (cm)	Número de nudos
Mínimo	4,75	0,42	17,93	4
Máximo	21,49	2,97	52,38	12
Media	10,50	1,36	32,75	8
CV (%)	38	46	25	23

CV, coeficiente de variación

En todo el material vegetal muestreado, los diagramas de frecuencia indican que más de 80% de las plantas cosechadas presentó una longitud entre 15 y 45 cm, un peso menor de 15 g y tallos con un número de nudos entre 5 y 10 (figura 1) .

De las diferencias observadas entre peso fresco y peso seco, se pudo estimar que el contenido de humedad de la parte área de la planta varió entre 76% y 92%.

Con relación al aspecto nutricional, en términos generales se puede afirmar que las plantas de menta llevadas al laboratorio para el análisis de elementos totales no presentaban estados visibles de clorosis, necrosis, acortamiento de la distancia entre nudos, ni ningún otro síntoma visual que se pudiera relacionar con una deficiencia. En los cultivos en el campo tampoco se observaron deficiencias generalizadas ni localizadas de algún elemento.

En la tabla 3 se presenta la composición promedio del tejido vegetal, indicando una alta variabilidad, en especial para los microelementos Cu, Fe y Mn. En general se halló que el elemento que se encuentra en mayor concentración en el tejido vegetal de la planta de menta es K, seguido, en su orden, por N, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Zn, B y Cu. Estos resultados no coinciden con los reportados para cultivos de menta establecidos en Irán (Zeinali *et al*., 2003), en donde el elemento predominante en el tejido foliar fue Mg seguido por Fe, con contenidos de K notablemente menores. A causa de la escasa información reportada en la literatura sobre rangos de concentración de elementos en toda la parte aérea de especies de menta, no es posible establecer comparaciones adicionales entre los datos obtenidos bajo condiciones similares.

Al comparar las concentraciones de elementos en las plantas de menta muestreadas, se evidenció que se encuentran

AGRONOMIA 26-2 -PROFE194).indd 189 06/10/2008 19:39:59

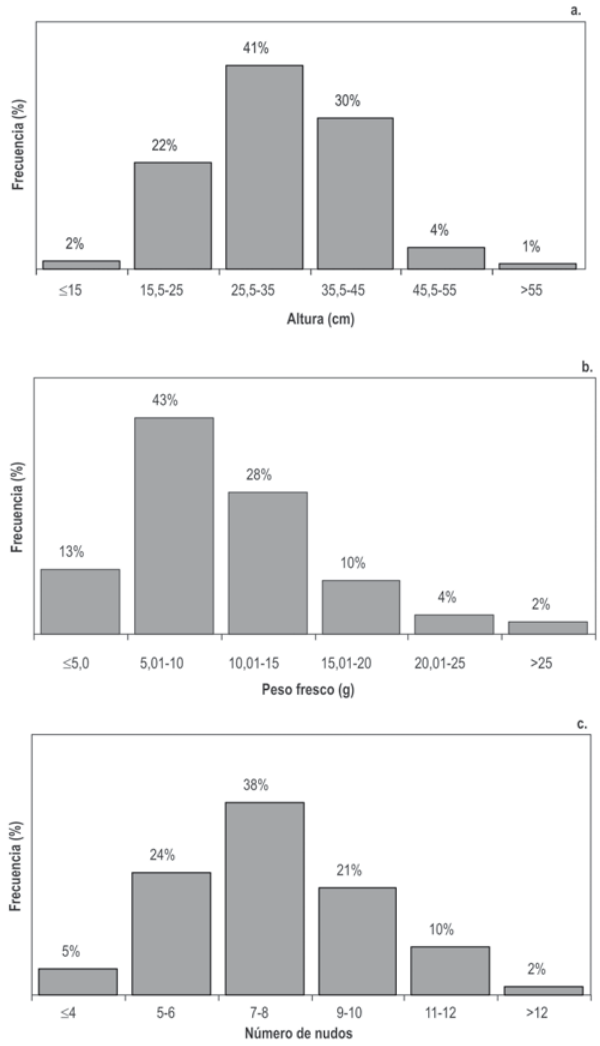


FIGURA 1. Distribución de frecuencias de las variables de crecimiento: a) altura de la planta; b) peso fresco de la planta y c) número de nudos; considerando 686 tallos de plantas de menta recolectadas en Cundinamarca (Colombia).

en magnitudes similares a las de otras especies hortícolas (Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 1982).

En el caso del N, los niveles por debajo de 2%, que corresponden solamente a 9% de las muestras, resultan deficientes comparados con las concentraciones reportadas como normales para otros cultivos. Incluso valores de N entre 2% y 3% de la masa seca resultan bajos en comparación con el rango de suficiencia reportado en la mayoría de hortalizas (Reuter y Robinson, 1986). Sin embargo, en esas muestras no se detectaron hojas amarillas relacionadas con deficiencia de N.

El rango de variación del K resultó mucho más amplio que el del N, y niveles por debajo de 3% de la masa seca de K se encontraron sólo en 9% de las muestras. Según Havlin *et al.* (1999), la concentración de este elemento en el tejido vegetal puede variar entre 0,5% y 6% de la masa seca. La relación K/N en el tejido vegetal varió predominantemente entre 1:1 y 2:1.

Con respecto al Ca, 80% de las muestras tienen niveles entre 0,8% y 1,2%, similares a los reportados para otras variedades de menta. Havlin *et al.* (1999) mencionan una variación en el Ca en el tejido vegetal entre 0,2% y 1,0%.

De los microelementos, el Cu fue el de mayor variabilidad; sin embargo, 70% de las muestras presentan valores por debajo de 20 $mg \cdot kg^{-1}$, del mismo orden que los reportados por Havlin *et al.* (1999). Lo mismo ocurre con el Fe, para el que 80% de las muestras presentan valores por debajo de 250 $mg \cdot kg^{-1}$. Valores de Cu y Fe por encima de 20 y 250 $mg \cdot kg^{-1}$, respectivamente, podrían reflejar la aplicación de agroquímicos por vía foliar y corresponderían, por lo tanto, a datos atípicos para el cultivo de menta.

De acuerdo con Fageria *et al.* (2002), ninguno de los cultivos presentaron niveles tóxicos de microelementos, aunque

TABLA 3. Composición mineral de las muestras de tejido vegetal de menta tomadas en 35 cultivos comerciales en Cundinamarca (Colombia).

Valor	Cenizas	N	P	Ca	K	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	B
			%						$mg \cdot kg^{-1}$		
Mínimo	5,95	1,57	0,24	0,66	1,07	0,14	7,8	89	19	47	16,4
Máximo	15,68	4,74	0,64	1,36	7,23	0,60	91,7	596	303	134	107,7
Media	11,65	3,38	0,41	0,99	4,35	0,34	25,1	177	111	83	54,4
CV (%)	21	26	22	17	30	34	87,1	64	69	27	34

CV, coeficiente de variación

AGRONOMIA 26-2 -PROFE194).indd 190 06/10/2008 19:40:00

se encontraron niveles de Mn por encima de 300 $mg \cdot kg^{-1}$, concentraciones tóxicas para las plantas.

Suelos

En la tabla 4 se recoge la estadística descriptiva de las variables químicas de los suelos bajo cultivo. Las muestras presentan de manera predominante texturas medias a gruesas, correspondientes a suelos francos a franco-arenosos. Los suelos cubren todo el rango de pH de los suelo agrícolas: 11% evidencian una reacción fuertemente ácida (pH <5); 60%, moderadamente ácida (pH 5-6) y el 29% restante, ligeramente ácida a ligeramente alcalina (6,1-7,8). El predominio es de suelos que no presentan aluminio intercambiable. Cerca de la mitad de las muestras poseen pH entre 5,5 y 6,5, rango adecuado para la producción agrícola (Havlin *et al*., 1999). Los suelos más ácidos se localizan en el municipio de Chipaque, manejados con frecuencia a través de la sola aplicación de enmiendas calcáreas.

Los suelos cubren un rango amplio con respecto a los niveles de materia orgánica (3%-30%), presentándose los más altos en los municipios de Madrid y El Rosal (Cundinamarca). En general todos los suelos presentan niveles medios a altos de materia orgánica, interpretados así de acuerdo a la altitud y, por consiguiente, a la condición de clima frío de los sitios donde se localizan los cultivos (Instituto Colombiano Agropecuario, 1992)

Ninguno de los suelos presentó condiciones de salinidad, ya que casi la totalidad de los valores de conductividad eléctrica estuvieron por debajo de 2 $dS \cdot m^{-1}$, rango que se considera no problemático para los cultivos (Mengel y Kirkby, 1982). Un estudio sobre la tolerancia a las sales de *M. piperita* variedad *officinalis* (Tabatabaie y Nazari, 2007), en el que se evaluó su crecimiento en soluciones nutritivas con diferentes conductividades eléctricas, mostró una disminución en el peso fresco y el peso seco a partir de 1,4

TABLA 4. Características químicas de los suelos cultivados en menta en 35 cultivos comerciales en Cundinamarca (Colombia).

Variable	Unidades	Valor			
		Mínimo	Máximo	Promedio	CV (%)
pH		4,40	7,52	5,71	12,7
C orgánico	%	1,60	17,42	7,35	61,6
Conductividad eléctrica	$dS \cdot m^{-1}$	0,15	4,07	0,88	92,8
Ca intercambiable	$cmol_c \cdot kg^{-1}$	4,18	34,91	15,92	47,7
K intercambiable		0,26	2,61	0,91	60,9
Mg intercambiable		0,46	10,37	3,39	72,7
Na intercambiable		0,11	3,65	0,43	148,8
Acidez intercambiable		0,00	1,84	0,24	201,0
CIC		17,15	61,90	36,44	38,2
NO_3^-	$mg \cdot kg^{-1}$	18,45	65,41	34,93	34,6
NH_4^+		21,54	79,92	32,43	37,7
P		12,58	112,00	67,31	52,4
Cu		0,20	21,55	4,89	90,4
Fe		33	471	237	63,2
Mn		1,22	67,37	15,67	103,6
Zn		0,28	36,98	11,18	73,7
B		0,13	1,66	0,53	64,7

CIC, capacidad de intercambio catiónico; CV, coeficiente de variación

AGRONOMIA 26-2 -PROFE194).indd 191 06/10/2008 19:40:00

$dS \cdot m^{-1}$. En este muestreo, los dos cultivos que se encontraban en suelos con conductividad eléctrica entre 3 y 4 $dS \cdot m^{-1}$ no evidenciaron un efecto aparente de las sales.

Los suelos presentan alta fertilidad catiónica, indicada por la saturación de bases, la capacidad de intercambio catiónica efectiva (>5 $cmol_c \cdot kg^{-1}$) y los niveles individuales de Ca (>10 $cmol_c \cdot kg^{-1}$), K (>0,4 $cmol_c \cdot kg^{-1}$) y en menor grado de Mg. En casi todos los suelos cultivados, los niveles de Ca y P resultaron medios a altos, predominando la condición de suficiencia. El Mg es el elemento que resultó deficiente en más casos, principalmente en los suelos de Chipaque, con niveles por debajo de 1,5 $cmol_c \cdot kg^{-1}$.

La relación Ca/K en el suelo varió entre 5 y 63. Según los criterios de interpretación de análisis de suelos (Instituto Colombiano Agropecuario, 1992), si la relación es más amplia de 6 indica un desbalance. Los desbalances más pronunciados se presentaron en especial en los cultivos de la Sabana de Bogotá que reciben fertirriego.

La relación Mg/K varió entre 0,6 y 18,6. El Instituto Colombiano Agropecuario (1992) considera que la relación normal es de 4:1. En más de la mitad de los suelos la relación puede resultar inapropiada, por cuanto los niveles de K tienden a exceder a los de Mg.

La relación Ca/Mg se considera muy estrecha cuando alcanza un valor de 1:1 ó demasiado amplia cuando excede 4:1. Aunque esta relación varió entre 2,3 y 24,5, la tendencia de los suelos muestreados fue la de presentar una relación amplia, siendo los niveles de Ca 5-25 veces más altos que los de Mg.

El P resultó alto en la mayoría de los suelos, por lo general mayor de 40 $mg \cdot kg^{-1}$, valor para el que no se recomienda su aplicación para casi ningún cultivo, de acuerdo al Instituto Colombiano Agropecuario (1992).

En relación con los microelementos disponibles, se considera que los suelos no tienen tendencia a presentar deficiencias, aun cuando no se encuentren bajo condiciones de acidez, condición que favorece la mayor la solubilidad de éstos en el suelo (Instituto Colombiano Agropecuario, 1992). El Cu se presentó bajo, menor de 1 $mg \cdot kg^{-1}$, solamente en 10% de las muestras. Ningún suelo se puede considerar deficiente en Fe, incluso 90% presenta altos contenidos del elemento (>50 $mg \cdot kg^{-1}$). En el caso del Mn, menos de 25% de las muestras mostró niveles bajos (inferiores a 5 $mg \cdot kg^{-1}$) y sólo 3 de ellas presentaron valores muy altos, por encima de 40 $mg \cdot kg^{-1}$, que incidieron en la alta dispersión de los datos. El Zn se mostró deficiente en 11% de las muestras.

Relación entre variables

La relación entre las variables de crecimiento se presenta en la tabla 5. La correlación más baja entre la altura de la planta y el peso fresco puede resultar de la inclusión en el muestreo de plantas con algún grado de ramificación.

TABLA 5. Coeficientes de correlación entre las variables de crecimiento en menta en 35 cultivos comerciales en Cundinamarca (Colombia).

Variable	Coeficientes de correlación (*r*)		
	Peso fresco	Peso seco	Altura
Peso seco	0,72**		
Altura	0,61**	0,38	
Número de nudos	0,54*	0,85**	0,44

* diferencias significativas ($P<0,05$); ** diferencias altamente significativas ($P<0,01$)

Para evaluar el efecto del grado de crecimiento de la planta, se establecieron correlaciones entre la edad de la planta (días después de corte) con la altura, el peso fresco y el peso seco, para los casos en los que se dispuso de información confiable (n=9). Se presentó una leve relación entre edad y peso seco (r=0,59*), pero no con la altura (r=0,1). Una mejor correlación se manifestó entre días después de corte y concentración de K (r =-0,78**).

No se encontró relación entre los niveles de nutrientes en el tejido vegetal y las variables de rendimiento, como peso fresco y peso seco de la planta. Todos los coeficientes de correlación estuvieron por debajo de 0,54 y ninguno resultó significativo.

Aunque se conoce ampliamente que entre los factores que afectan la concentración de nutrientes se encuentra la edad de los tejidos (Reuter y Robinson, 1986), y ante la imposibilidad de obtener información completa de los cultivadores –algunas veces por su reserva y otras por falta de registros–, es posible que la ausencia de correlación se deba a que el estado de crecimiento al momento del muestreo no fue el mismo en todos los casos.

A pesar de las limitaciones propias del muestreo, el que se esté analizando toda la parte área de la planta implica que dentro de la muestra se están mezclando tejidos de diferente edad. Reuter y Robinson (1986) consideran que analizar muestras constituidas por diferentes órganos de la planta y, a su vez, por tejidos de diferentes edades fisiológicas, resulta adecuado para elementos móviles, como N, P, K y Mg, tanto en condiciones de deficiencia como de suficiencia, pero inadecuado para elementos de movilidad limitada.

AGRONOMIA 26-2 -PROFE194).indd 192 06/10/2008 19:40:00

Según estos autores, aunque este tipo de muestras inciden en la pérdida de sensibilidad del método de diagnóstico, minimizan los errores de tomar muestras en una etapa fenológica inapropiada o en un órgano de la planta que no sea el más correcto para indicar el estado nutricional.

La ausencia de correlación entre la concentración de nutrientes en la parte aérea y las variables de crecimiento puede resultar semejante a lo obtenido por Van Erp y Van Beusichem (1998), quienes indican que la determinación del contenido de nutrientes en la planta entera no siempre es un buen indicador del estado nutricional, ya que se estaría analizando una proporción sustancial del nutriente que no es metabólicamente activa o que no está incorporada a las estructuras celulares.

Por otra parte, tampoco se evidenciaron antagonismos o sinergismos entre los elementos en el tejido vegetal, al ser comparados de manera individual. En la planta no se presentó ningún caso de correlación de elementos entre sí.

En general, no se presentaron relaciones evidentes entre las variables de crecimiento y las características químicas del suelo. Tampoco hubo evidencia de relaciones estrechas entre la concentración de nutrientes extraídos por la planta y los elementos nutritivos disponibles en el suelo, y las pocas que se hallaron resultaron débiles (tabla 6). Esto podría ser en parte un indicio de que los métodos analíticos empleados para extraer la porción disponible de los elementos nutritivos en el suelo no fueron los más adecuados en el caso del cultivo de menta.

Las mejores correlaciones entre los contenidos de nutrientes fueron positivas para Mg y Ca en el suelo, frente al de Mg en el tejido vegetal, y para P disponible, frente al P en el tejido vegetal, en tanto que fueron negativas para Mg en el suelo, frente al de Mn en el tejido vegetal (figuras 2 y 3). El análisis de regresión lineal simple muestra que el Mg y el P en el tejido presentaron una tendencia a aumentar en función de sus niveles en el suelo (figura 2). El antagonismo Mg-Mn se ha reportado gracias a la competencia de ambos cationes divalentes por los sitios de enlace en los coloides del suelo y en las membranas dentro de la planta (Mengel y Kirkby, 1982; Merhaut, 2007).

La relación entre el Mg y el Mn se presenta a través de una regresión simple (figura 3). Su mejor ajuste corresponde a un modelo de tipo potencial, en el que el aumento de Mg en el suelo incide en una disminución abrupta del Mn hasta un cierto nivel, a partir del cual los niveles tienden a estabilizarse.

Al igual que es importante considerar la concentración de los elementos en los tejidos de la planta *per se* para su adecuada nutrición, también es necesario hacerlo con las relaciones ente éstos (Malavolta, 1994). Al comparar las diferentes relaciones iónicas, tanto en la planta como en el suelo, con las variables de crecimiento (altura, peso seco, peso fresco y número de nudos), no se encontraron correlaciones significativas. Al comparar las relaciones entre elementos en el suelo con su concentración en la planta, se encontró significancia en la relación K/Mg en el suelo y la concentración de Mg en la planta (r=-0,73**) (figura 4), lo que indica que un incremento en la disponibilidad de K frente a Mg en el suelo puede inhibir la absorción de éste en la planta. La relación antagónica entre K y Mg es ampliamente conocida y está reportada en la literatura para muchos cultivos (Merhaut, 2007). Tuma *et al.* (2004) encontraron una disminución en la concentración de Mg en las hojas de *Phaseolus vulgaris* en respuesta a aplicaciones crecientes de K, relacionada con los mecanismos de toma de ambos nutrientes en el suelo.

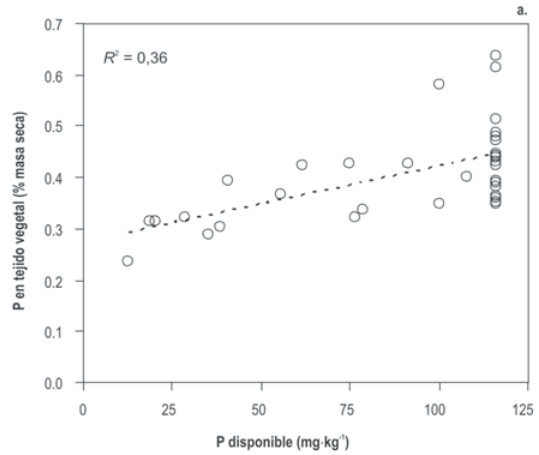
En la tabla 7 se muestran las regresiones múltiples para las que se obtuvieron los mayores coeficientes de determinación. Según el mejor modelo obtenido, la acumulación de peso seco está relacionada de manera negativa con los niveles de P, K y Mg en el tejido vegetal. La ecuación de regresión múltiple obtenida explica 53% de la variación del peso seco. El bajo valor de VIF indica que las variables son independientes entre sí. Esta relación entre peso seco y P y K en el tejido vegetal estaría de acuerdo con lo planteado por Van Erp y Van Beusichem (1998), respecto a que la concentración de nutrientes tales como N, P, K y S en la planta entera o en los tejidos tiende a disminuir cuando se

TABLA 6. Coeficientes de correlación entre la concentración de algunos nutrientes en la parte aérea de plantas cultivadas de menta y los elementos disponibles en el suelo, en Cundinamarca (Colombia).

Variable		Coeficientes de correlación (r)			
		N	P	Mg	Mn
$N\text{-}NO_3^-$		0,46	0,42	-0,03	0,36
$N\text{-}NH_4^+$		0,37	0,15	-0,14	0,07
Cationes intercambiables	Ca	0,32	0,14	0,60*	-0,32
	K	-0,03	-0,01	-0,08	-0,06
	Mg	0,09	-0,10	0,65*	-0,60*
P disponible		0,22	0,60*	-0,04	0,25
Fe disponible		-0,01	0,60*	-0,17	0,38

* Correlaciones altamente significativas (P<0,01)

AGRONOMIA 26-2 -PROFE194).indd 193 06/10/2008 19:40:01



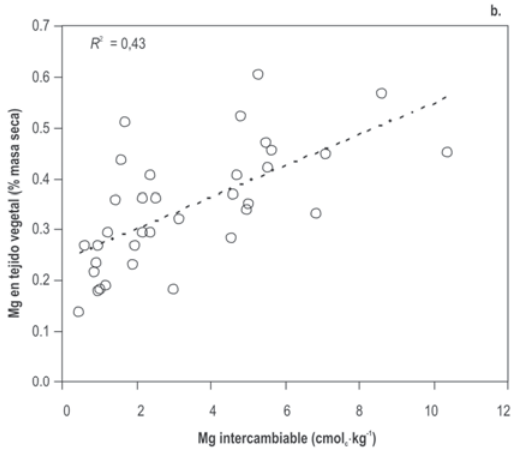


FIGURA 2. Variación de los niveles de: a) fósforo y b) magnesio en la parte aérea de plantas de menta, con relación a los niveles disponibles de cada uno de estos elementos en el suelo, en Cundinamarca (Colombia).

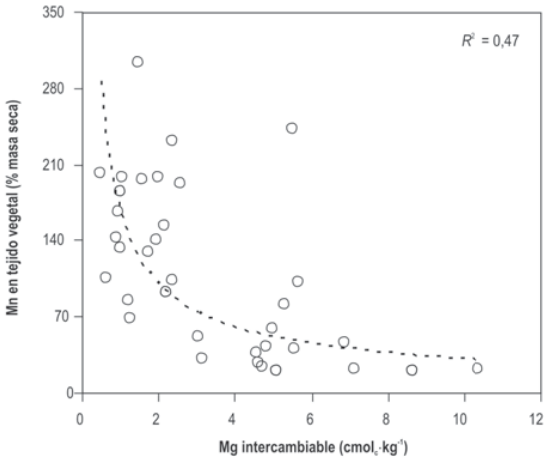


FIGURA 3. Variación de los niveles de magnesio en la parte aérea de plantas de menta, con relación al magnesio intercambiable en el suelo, en Cundinamarca (Colombia).

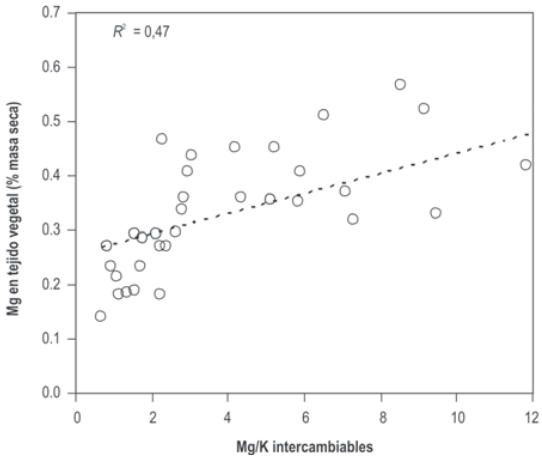


FIGURA 4. Variación de los niveles de magnesio en la parte aérea de plantas de menta, con relación a la concentración de magnesio con respecto a la de potasio intercambiables en el suelo, en Cundinamarca (Colombia).

acumula la materia seca, pero no la de Mg, que tendería a incrementarse o a permanecer constante.

Se observa que el N en la planta está influenciado directamente por los contenidos de nitratos y el porcentaje de C orgánico en el suelo; esto puede deberse a que el nitrato es a menudo una fuente preferencial de N para el desarrollo de los cultivos, que lo absorben principalmente en forma de NO_3^-, incluso cuando se aplican fertilizantes amoniacales, a causa de la oxidación microbiana del NH_4^+. La tasa de absorción de NO_3^- es muy alta, ya que las plantas requieren grandes cantidades de N; además, la absorción de NO_3^- se da más rápido en suelos con pH bajo (Mengel y Kirkby, 1982).

Las cenizas que quedan después de calcinar el tejido vegetal a 425 °C están relacionadas positivamente por el contenido de K y N que la planta absorbe y acumula. El modelo obtenido explica 85% de la variación.

Conclusiones

La alta variabilidad de los datos debida a factores como el manejo agronómico y la oferta ambiental (factores climáticos y edáficos), entre otros, no permitieron observar relaciones significativas entre la concentración de los nu-

AGRONOMIA 26-2 -PROFE194).indd 194 06/10/2008 19:40:02

TABLA 7. Análisis de regresión múltiple para algunas de las variables evaluadas en plantas cultivadas de menta en Cundinamarca (Colombia).

Variable dependiente	Variables	Parámetro estimado	*P*>t	VIF
Peso seco	Intercepto	4,11	<0,0001	0
Pr>F = 0,0001	P foliar	-3,48	0,0014	1,06
R^2 = 0,52	K foliar	-0,15	0,036	1,06
	Mg foliar	-1,99	0,009	1,00
Número de nudos	Intercepto	13,52	<0,0001	0
Pr>F = 0,0001	K foliar	-0,78	0,0002	1,00
R^2 = 0,49	Mg foliar	-6,88	0,0022	1,00
Cenizas	Intercepto	2,73	0,0001	0
Pr>F = 0,0001	K foliar	1,43	<0,0001	1,25
R^2 = 0,85	N foliar	0,77	<0,0001	1,25
Nitrógeno en el tejido vegetal	Intercepto	0,01	0,9887	0
Pr>F = 0,0001	Nitratos	0,04	0,0006	1,10
R^2 = 0,50	C orgánico	1,47	0,0004	1,53
	P en suelos	0,01	0,0039	1,49

VIF, factor de inflación de la varianza

trientes en la planta y las variables de crecimiento, como altura, peso seco y peso fresco.

Los niveles de nutrientes hallados en el material vegetal son similares a los encontrados por diferentes autores en otros cultivos; sin embargo, cabe destacar la mayor absorción de K que tiene la menta, con respecto al N, y la evidencia del antagonismo entre K y Mg en el suelo, con respecto a la absorción del Mg.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Nacional de Colombia por el apoyo económico para la realización de los muestreos y la ejecución de los análisis de laboratorio, a través de la convocatoria Hermes 2006; también, a los propietarios y administradores de los cultivos de menta por permitirles la toma de muestras y compartir con ellos la información sobre el manejo del cultivo.

Literatura citada

Alloway, B. 2004. Zinc in soil and crop nutrition. Zinc in plant nutrition. International Zinc Association, Bruselas. 128 p.

Bareño, P. 2006. Hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco, manejo agronómico, producción y costos. pp. 65-72. En: Últimas tendencias en hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco. Curso de extensión. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Brown, B., J.M. Hart, M.P. Wescott y N.W. Christensen. 2003. The critical role of nutrient management in mint production. Better Crops, 87(4), 9-11.

Carrillo, I.F., B. Mejía y H.F. Franco. 1994. Manual de laboratorio para análisis foliares. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café. 52 p.

Echeverri, C. y L.E. Forero. 2007. Exportación de hierbas aromáticas y culinarias a Estados Unidos. Aspectos fitosanitarios. pp. 73-74. En: Perspectivas del agronegocio de hierbas aromáticas culinarias y medicinales. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá..

Fageria, N. K., V.C. Baligar y R.B. Clark. 2002. Micronutrients in crop production. Adv. Agron. 77, 185-268.

Hart, J., N. Christensen, M. Mellbye y G. Gingrich. 2003. Nutrient and biomass accumulation of peppermint. Western nutrient management conference. Vol. 5. Salt Lake City, UT. pp. 63-70.

Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale y W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 6th ed. Prentice-Hall, Inc., Saddle River, NJ.

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de asistencia

AGRONOMIA 26-2 -PROFE194).indd 195 06/10/2008 19:40:02

técnica Nº 25. Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá. 64 p.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. 2000. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca. Tomo II. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, 450 p.

Marschnner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press Limited, Londres. 889 p.

Mengel, K. y E. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Berna (Suiza). 655 p.

Merhaut, D.J. 2007. Magnesium. pp. 145-183. En: Barker, A.D.J. Pilbean (eds).Handbook of plant nutrition. Taylor & Francis Group y CRC Press, Boca Raton, FL.

Neter, J., W. Wasserman y M.H. Kutner. 1989. Applied linear regression models. 2nd ed. Richard D. Irwin, Homewood, IL.

Ozcan, M. 2004. Mineral contents of some plants used as condiments in Turkey. Food Chem. 84, 437-440.

Portilla, A. 2007. Entorno de la cadena productiva de las plantas aromáticas, medicinales y condimentarias en Colombia. Plan Hortícola Nacional (CCI, Asohofrucol, Ministerio de Agricultura). pp.11-26. En: Perspectivas del agronegocio de hierbas aromáticas culinarias y medicinales. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Reuter, D.J. y J.B. Robinson. 1986. Plant analysis: an interpretation manual. Inkata Press, Sydney. 218 p.

Rodriguez, C., V. Faquin, D. Trevisan, J.E. Pinto, S. Bertolucci y T. Michlovská. 2004. Nutrição mineral, crescimento e teor de óleo essencial da menta em solução nutritiva sob diferentes concentrações de fósforo e épocas de coleta. Horticultura Brasileira, 22(3), 573-578.

Sims, J.T. 1999. Soil fertility evaluation. En: Sumner, M.E. (ed.). Handbook in soil science. First ed. CRC Press, Boca Raton, FL. 2148 p.

Snyder, C.D. 1998. Plan tissue analysis a value nutrient management tool. News and news. A regional newsletter published by the Potash & Phosphate Institute (PPI) and the Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC). 4 p.

Tabatabaie, S.J. y J. Nazari. 2007. Influence of nutrient concentrations and NaCl salinity on the growth, photosynthesis, and essential oil content of peppermint and lemon verbena. Turkish J. Agr. For. 31, 245-253.

Van Erp, P. y M. van Beusichem. 1998. Soil and plant testing programs as tool for optimizing fertilizer strategies. pp. 53-79. En: Rengel, Z. (ed.). Nutrient use in crop production. Food Products Press, Binghamton, NY.

Wolf, B. 1996. Diagnostic techniques for improving crop production. Food Products Press, Binghamton, NY. 426 p.

Zeinali, H., K. Razmjo y A. Arzani. 2003. Diversity among Iranian mints in relation to yield and mineral content. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 34(15), 2203-2217.

AGRONOMIA 26-2 -PROFE194).indd 196 06/10/2008 19:40:03