

Estado nutricional de árboles de manzano 'Anna' durante la estación de crecimiento en los altiplanos Colombianos: II. Relaciones e interacciones entre nutrientes

Nutritional status of 'Anna' apple trees during the growing season in the Colombian highlands: II. Nutrient interactions and ratios

Fanor Casierra-Posada¹, Luz Marina Lizarazo² y Galdino Andrade Filho³

Resumen: La nutrición es uno de los factores de influencia más efectiva sobre la productividad de los árboles frutales. Al contrario del análisis de suelo, el análisis foliar o de tejidos vegetales reúne todos los factores que influyen sobre la disponibilidad de los nutrientes. Un alto contenido de un nutriente en el árbol puede reflejar el suplemento inadecuado de otro nutriente. Las relaciones sinérgicas y antagónicas entre los nutrientes se deben tener en cuenta al interpretar el análisis de tejidos vegetales. El crecimiento del árbol es una función de dos variables de nutrición, la intensidad y el balance. Por tanto, en este ensayo se evaluaron mensualmente las relaciones e interacciones entre los nutrientes en hojas y frutos de árboles de manzano 'Anna', cultivados en un suelo ácido en los altiplanos tropicales. Las evaluaciones se hicieron desde 16 días después de plena floración (ddpf) hasta la cosecha. El contenido de nutrientes en ramas se evaluó antes y después de la temporada de crecimiento, al momento de defoliar y en la época de cosecha, respectivamente. Los resultados dependen claramente del estado de desarrollo de los árboles. El valor de la relación N/P en las hojas se incrementó entre 46 y 81 días después de plena floración (ddpf). De igual manera, las relaciones P/Zn, P/Fe y P/Cu en hojas ascendieron desde 16 hasta 46 ddpf y luego su valor se redujo hasta el momento de la cosecha. En este estudio se analizan y discuten otras relaciones entre nutrientes en ramas, hojas y frutos, dada la cantidad de interacciones encontradas.

Palabras clave: *Malus domestica* Borkh., nutrientes, relación sinérgica y relación antagónica.

Abstract: Nutrition represents one of the most effective ways of influencing fruit-tree productivity. Leaf or tissue analysis integrates all circumstances influencing nutrient availability, contrasting with just soil analysis. High content for one nutrient in a tree may reflect another nutrient's inadequate supply. Synergistic or antagonistic relationships between nutrients must also be taken into account when interpreting plant tissue analysis. Tree growth represents two nutrition variables (intensity and balance) function. Monthly leaf and fruit nutrient interaction and ratio of 'Anna' apple trees growing in acid soil in the Colombian highlands was thus evaluated from 16 days following full bloom to harvest time. Nutrient content in shoots was evaluated both before (at defoliation time) and after (at harvest time) their season. N/P ratio in leaves increased between 46 and 81 days after full bloom (dafb). The results clearly depended on the trees' growing stage. P/Zn, P/Fe and P/Cu ratios in leaves increased from 16 to 46 dafb but declined after 46 dafb to harvest time. Other relationships between nutrients in shoots, leaves and fruits are discussed in this study, given the number of interactions found.

Key words: *Malus domestica* Borkh., nutrient elements, synergistic relationship and antagonistic relationship.

Fecha de recepción: 08 de septiembre de 2004.

Aceptado para publicación: 01 de diciembre de 2004.

1 Profesor Asociado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. e-mail: fanor@gmx.net

2 Profesora Asociada, Escuela de Biología, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. e-mail: lulizarazo@tunja.uptc.edu.co

3 Profesor, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Brasil. e-mail: andrade@uel.br

Introducción

FAUST (1989) ARGUMENTA que la concentración elevada de un elemento nutritivo en los tejidos de una planta puede ser el reflejo del suministro inadecuado de otro elemento. Cuando el crecimiento se reduce por esta razón, algunos nutrientes se pueden acumular en una cantidad mayor que cuando el crecimiento sigue su curso normal. Por el contrario, cuando las plantas crecen a un ritmo acelerado, algunos nutrientes se pueden diluir más de lo esperado con un ritmo normal de crecimiento.

Existe una gran cantidad de interacciones entre los elementos minerales que afectan considerablemente el contenido crítico de un elemento específico en los vegetales (Robson y Pitman, 1983). Nogueira (1985) y Contreras (1986) coinciden en reportar que en árboles frutales caducifolios se presentan antagonismos entre N/K, N/B, P/Cu, K/Mg, Cu/Fe y, por último, calcio y oligoelementos con excepción del molibdeno. Por otro lado, se presentan sinergismos entre NO_3/Mg , Mg/P , y K/Fe . Por su parte, Bergmann (1986) cita otras relaciones antagonicas entre NH_4/K , NH_4/Ca , NH_4/Mg , K/Ca , K/Na , K/B , Ca/Mg , Ca/Al , Mg/Al , Mg/Zn , P/Fe , P/Zn , P/Al , Cu/Mn , Cu/Mo , Mn/Mg , Mn/Fe , Mn/Mo , Fe/Zn , Fe/Ni , Fe/Cr , Fe/Co y Mo/SO_4 .

Marschner (1995) anota que las interacciones entre dos elementos minerales son importantes cuando el contenido de cada uno se encuentra cerca del rango de deficiencia. Cuando se adiciona uno de los elementos de la relación se puede estimular el crecimiento de la planta; sin embargo, es posible también inducir deficiencia del otro elemento por efecto de dilución.

Una relación N/S alrededor de 17 se considera adecuada para el contenido de azufre en *Triticum aestivum* (Rasmussen *et al.*, 1977) y en *Glycine max* (Bansal *et al.*, 1983); sin embargo, los rangos óptimos de la relación N/S considerados por separado, sin tener en cuenta la concentración absoluta de cada uno de los elementos, son insuficientes para un diagnóstico nutricional del vegetal, pues el contenido de cada uno de los elementos involucrados en la relación pudo haber sido determinado cuando ambos minerales se encontraban en niveles de deficiencia.

Las interacciones específicas son de gran ayuda para la evaluación de contenidos tóxicos de algún elemento. Es el caso del manganeso, cuyo nivel de toxicidad difiere

según la especie y el cultivar; pero en el mismo cultivar la diferencia depende del contenido de silicio en los tejidos. En hojas, el contenido crítico de toxicidad por manganeso puede incrementarse de 100 a 1.000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, en materia seca en ausencia de silicio, y por un factor de diez en presencia del mismo en *Phaseolus vulgaris*; y por un factor de tres a cuatro en diferentes genotipos de *Vigna unguiculata*, según Horst y Marschner (1978) y Horst (1983).

Con miras a la determinación de los diferentes rangos de toxicidad durante el desarrollo de los vegetales, dada la importancia de las relaciones nutricionales, se desarrolló el Beaufils's Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS), basado en la colección de un sinnúmero de datos de posibles contenidos de elementos minerales; y, además, utiliza las relaciones nutricionales entre los mismos, como reporta Summer (1977). Sin embargo, este sistema debe ser ajustado de acuerdo con las condiciones locales del cultivo. Para citar un ejemplo, en el caso de hojas jóvenes de *Zea mays* la relación normal N/P tiene un valor de 10,13 en promedio, pero este valor se reduce a 8,91 en Sudáfrica y se incrementa a 11,13 en el suroriente de los Estados Unidos, según estudios de Walworth y Sommer (1988).

El ritmo máximo de crecimiento en los vegetales tiene lugar cuando coinciden los niveles nutricionales óptimos con el balance entre los nutrientes, según Faust (1989). Este concepto adquiere vital importancia cuando se aplica al almacenamiento de frutas. Con una relación N/Ca alrededor de diez en pulpa de manzana, con base en peso seco, se puede almacenar la fruta con buenos resultados por un período prolongado; pero cuando esta relación se incrementa a un valor de 30, las manzanas son sensibles al "breakdown" y no pueden ser almacenadas. Del mismo modo, Schulz (1996) reporta un valor de 33 para la relación K/Ca, por encima del cual se presenta "bitter pit" en manzanas.

Un valor alto de la relación $\text{Ca}+\text{Mg}/\text{K}$, puede tener como consecuencia una toxicidad por boro; pero un valor elevado en la relación $\text{K}+\text{Mg}/\text{Ca}$ tendrá pocas implicaciones en la aparición de síntomas de toxicidad por boro, incluso a la misma concentración de este elemento que en la relación anterior, según Faust (1989).

De acuerdo con la importancia que revisten las relaciones entre los elementos nutritivos en cualquier cultivo, el objetivo del presente estudio es discutir y dar

a conocer el comportamiento de las interacciones de los elementos nutritivos en el manzano 'Anna' cultivado en los altiplanos colombianos, para que así los futuros interesados en el tema puedan tomar esta información como referencia para extrapolarla a otras regiones del territorio colombiano y de esta manera se disponga de la suficiente documentación para manejar con mayor eficiencia y precisión la fertilización de esta variedad de manzano en el país.

Materiales y métodos

Localidad y material vegetal. En el ensayo fueron utilizados 21 árboles de siete años de manzano 'Anna' (Golden Delicious x Adassim Red) sobre patrón MM106, plantados a una distancia de 2 x 3,5 m, en la granja Tunguavita en Paipa (Boyacá), propiedad de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, ubicada a una altura de 2.470 msnm. La localidad presenta 13,8° C de temperatura en promedio anual y 74% de humedad relativa, con régimen bimodal de lluvias que aportan 835 mm de precipitación al año.

El suelo sobre el que crecían los árboles fue clasificado taxonómicamente como ustropept. El análisis del suelo arrojó el siguiente resultado: textura: franco-arenosa; carbono orgánico: 2,4%; nitrógeno total: 0,16%; fósforo (Bray II): 89 ppm; pH: 4,9; conductividad eléctrica: 0,93 ds·m⁻¹; potasio: 1,08 meq·100 g⁻¹; Calcio: 7,48 meq·100 g⁻¹; Magnesio: 1,27 meq·100 g⁻¹; Sodio: 0,12 meq·100 g⁻¹; aluminio: 0,57 meq·100 g⁻¹; azufre: 58 ppm; hierro: 239 ppm; manganeso: 24 ppm; cobre: 3,3 ppm; zinc: 6,4 ppm; boro: 0,65 ppm. La profundidad de muestreo fue 30 a 35 cm, dado que según Díaz y Romo (1988), a esa profundidad se encuentra la mayor concentración de raíces.

Metodología. La unidad experimental estuvo representada por siete árboles y se hicieron tres repeticiones, para un total de 21 árboles. Los árboles fueron manejados según la técnica para la obtención de cosechas continuas (rest avoidance technique), descrita por Casierra-Posada (1993) y Fischer y Lüdders (1995). Cada planta fue fertilizada con 65 g de urea, 53 g de fosfato diamónico, 237 g de nitrato de potasio, 100 g de roca magnésica y 40 g de un producto comercial con la siguiente composición: N total: 1,7%; N amoniacal: 1,75%; S: 12,3%; CaO: 10%; MgO: 7,2%; Cu: 0,6%; Zn: 5,4%; B: 2,1% y Fe: 1,7%. La fertilización se hizo al suelo, después de la cosecha, según la metodología

propuesta por ICA (1992). Según esta metodología, se pretende establecer un equilibrio entre los elementos de acuerdo con los rangos de bajo, medio o alto. El suministro de riego se hizo con los parámetros propuestos por Castro (1993). La defoliación fue manual, tres semanas después de la cosecha. La poda consistió en eliminar un tercio del crecimiento de la temporada pasada. Una semana después de la poda se aplicó Dormex 1,5%, suplementado con Triona 3% e Inex 3,0%, como compensador de frío.

Toma y análisis de muestras. El muestreo de ramas se hizo sólo en dos ocasiones durante todo el ensayo. Se tomó una muestra en el momento de la defoliación y otra al momento de la cosecha, de la parte media de ramas que habían crecido en la temporada anterior.

Las muestras de hojas se tomaron a los 16, 46, 81, 109 y 139 días después de plena floración (ddpf), para lo cual se tomaron hojas ubicadas en el tercio medio de las ramas que estaban a su vez en el tercio medio del árbol.

Las muestras de frutos se tomaron a los 46, 81, 109 y 139 ddpf, con el mismo procedimiento seguido para la toma de muestras de hojas.

Las muestras de tejidos de cada unidad experimental (seis árboles) se secaron en una mufla a 65° C y se mezclaron para el análisis de minerales, el cual se hizo mediante espectrofotometría de absorción atómica en cenizas, en las instalaciones de Coljap (Bogotá).

Análisis estadístico. Cada unidad experimental se replicó tres veces y con la información de la concentración de los elementos en los tejidos, obtenida en el ensayo, se hizo un análisis de correlación entre los elementos involucrados en cada una de las relaciones nutricionales estudiadas. Estas fueron seleccionadas según los reportes en la literatura, y mediante el análisis de correlación se determinó la estrechez de la relación entre los elementos nutritivos.

Resultados y discusión

Con miras a un mejor entendimiento de la información presentada en este trabajo, es importante resaltar que los niveles de elementos encontrados en los diferentes órganos muestreados fueron reportados con anterioridad en Casierra-Posada *et al.* (2003).

Relaciones nutricionales en ramas

En las ramas de las especies caducifolias las relaciones entre los elementos no tendrían tanta importancia como en los frutos y en el tejido foliar, con miras a la determinación del estado nutricional de los árboles; esto porque a pesar de que las ramas cumplen con una función de gran relevancia en el proceso de almacenamiento de materiales nutritivos y de reserva, no son los únicos órganos que cumplen con esta función en el árbol, por tanto, la concentración de minerales en sus tejidos depende del estado de desarrollo en que se encuentre el árbol y de la migración de materiales desde otros órganos de la planta hacia los sitios en crecimiento, o hacia los órganos vertedero, como lo reportan Faby y Naumann (1987a y 1987b). Por esta razón se hicieron sólo dos muestreos (al defoliar los árboles y a la cosecha) para análisis de elementos en estos órganos.

En el presente ensayo se presentó en las ramas un incremento en las relaciones N/S y N/K en las muestras tomadas al momento de la cosecha, con respecto al valor encontrado en muestras tomadas al momento de la defoliación; por el contrario, los valores de las relaciones N/P, N/B y N/Ca fueron bajos en el mismo período, como se muestra en la Tabla 1. Llama la atención que las relaciones nutricionales con el cobre, como P/Cu y Cu/Mn, presentan variaciones bastante amplias entre los valores encontrados al inicio y al final de la temporada, sin que se hubiera presentado una diferencia muy grande en la concentración de Cu en las ramas, analizado de manera individual, y discutido en la primera parte de este reporte (Casierra-Posada *et al.*, 2003). Con respecto a la concentración de cobre en los tejidos, Iwasaki *et al.* (1990) encontraron que en plantas a las cuales se les han aplicado grandes cantidades de cobre, el contenido de este elemento en las raíces está proporcionalmente por encima de su concentración en el medio externo, puesto que su transporte a los brotes es altamente restringido. Por tanto, en plantas con aplicaciones de concentraciones elevadas de cobre, por encima de 60% de la concentración total de cobre en las raíces estaría unido a las paredes celulares y a la interfase pared celular-membrana plasmática. Como consecuencia, en las condiciones del presente ensayo, el cobre pudo acumularse especialmente en las raíces y luego migrar hacia los órganos vertedero, después de la brotación de las yemas, y acumularse en las hojas y especialmente en los frutos, como ya se reportó en la primera parte de esta publicación.

Tabla 1. Relaciones nutricionales en ramas de manzano 'Anna' al momento de la defoliación (antes del inicio de la temporada de crecimiento) y al momento de la cosecha, en los altiplanos colombianos.

Relaciones nutricionales	Valores promedio de las relaciones nutricionales en las ramas	
	Al defoliar ¹	A la cosecha ²
N/S	15,05	18,37
N/P	7,5	5,8
N/K	0,18	0,97
N/Ca	0,81	0,76
N/B	212,73	210,00
P/Zn	23,94	27,88
P/Fe	13,99	10,92
P/Cu	147,33	81,60
K/Fe	88,64	65,62
K/Ca	0,68	0,78
K/Mg	3,97	5,92
K/Na	72,24	655,08
K/B	179,68	216,18
K+Mg/Ca	0,86	0,91
% sat. K	36,87	40,85
Ca/Mg	5,81	7,57
Ca/B	262,5	276,56
% sat. Ca	53,86	52,26
Mg/P	1,59	1,01
% sat. Mg	9,28	6,90
Cu/Fe	0,09	0,13
Cu/Mn	0,13	0,48
Mn/Mg	331,25	252,55
Mn/Zn	1,26	0,71
Fe/Zn	1,71	2,55
Fe/Mn	1,35	3,57

¹ 21 a 30 días antes de plena floración; ² 139 días después de plena floración.

Otra relación que sobresale por presentar valores considerablemente diferentes entre los encontrados antes y después de la temporada, es la relación K/Na. El incremento en el valor de esta relación se debió a la marcada reducción en el contenido de sodio en las ramas al momento de la cosecha, efecto que se presentó también hacia el final del desarrollo de hojas y frutos, dada la alta movilidad del elemento en los tejidos vegetales, reportada por Malavolta (1998).

Relaciones nutricionales en las hojas

Relaciones con el nitrógeno. La interacción del nitrógeno con otros elementos nutritivos es de gran importancia, en especial con el fósforo y el potasio. El valor de la relación N/P se incrementa considerablemente entre 46 y 81 ddpf y luego decrece un poco hasta alcanzar un valor de 11,39 al momento de la cosecha (Tabla 2). Estos cambios en la relación de debieron más a la reducción en la concentración del fósforo a partir de 46 ddpf, que a un efecto directo del nitrógeno sobre el fósforo, a pesar de que a menudo la concentración de fósforo en los tejidos foliares es más dependiente de la cantidad de nitrógeno, que de la cantidad disponible del fósforo mismo; pues el fósforo es un antagonista

Tabla 2. Relaciones nutricionales promedio en hojas de manzano ‘Anna’ durante la estación de crecimiento en los altiplanos colombianos.

Relaciones nutricionales	Valores promedio de las relaciones nutricionales en las hojas					Correlación r
	Días después de plena floración					
	16	46	81	109	139	
N/S	4,13	6,38	15,56	15,08	13,03	0,71 ns
N/P	3,13	2,21	12,81	12,18	11,39	0,70 ns
N/K	0,35	1,47	1,18	1,29	0,88	-0,52 ns
N/Ca	2,28	2,94	2,34	2,20	1,22	0,61 ns
N/B	546,88	117,65	1025,00	653,41	348,48	0,66 ns
P/Zn	64,81	118,93	62,50	17,19	37,57	0,60 ns
P/Fe	10,00	71,07	26,08	13,56	7,76	-0,05 ns
P/Cu	991,67	2054,17	27,20	30,39	31,80	-0,47 ns
K/Fe	88,92	106,61	283,69	128,44	100,38	0,04 ns
K/Ca	6,48	2,00	1,99	1,71	1,39	-0,009 ns
K/Mg	14,82	5,30	8,27	8,85	9,29	-0,42 ns
K/Na	418,35	304,52	476,97	176,37	1132,81	-0,75 ns
K/B	1556,25	79,96	870,00	507,95	395,45	-0,63 ns
K+Mg/Ca	6,92	2,38	2,23	1,91	1,54	0,72 ns
Ca/Mg	2,29	2,65	4,16	5,16	6,68	0,88 *
Ca/B	240	39,97	437,65	296,47	284,49	0,74 ns
Mg/P	0,60	0,28	1,32	1,07	1,39	0,89 *
Cu/Fe	0,01	0,03	0,96	0,45	0,24	-0,84 *
Cu/Mn	0,03	0,07	0,98	0,62	0,49	-0,77 ns
Mn/Mg	502,86	247,88	285,76	494,00	464,54	0,008 ns
Mn/Zn	1,96	0,83	2,35	0,91	2,43	0,71 ns
Fe/Zn	6,48	1,67	2,40	1,27	4,84	-0,07 ns
Fe/Mn	3,31	2,00	1,02	1,39	1,99	0,63 ns

* Significativo al nivel de 5%, ** Significativo al nivel de 1%, ns: no significativo.

débil del nitrógeno, pero este tiene un efecto bastante marcado sobre la concentración de fósforo en las hojas, como lo describe Rodríguez (1978). Salvo en las dos primeras lecturas, la relación N/P se mantuvo dentro del rango sugerido por Hudska (1990).

De manera similar al caso anterior, el valor de la relación N/K se incrementa entre 16 y 46 ddpf y luego decrece, con algunas oscilaciones en su valor hasta el momento de la cosecha (Tabla 2). A pesar de las variaciones en el valor de esta relación, su valor se mantuvo en el rango normal sugerido por Hudska (1990), quien recomienda que esté por debajo de 1,4. Su comportamiento se debió a la reducción en la concentración de nitrógeno en las hojas a partir de 46 ddpf. Al respecto, Rodríguez (1978) comenta que los factores que conducen a una concentración alta de alguno de estos dos elementos, tienden a reducir en los tejidos el contenido del otro; sin embargo, bajo condiciones de nivel bajo de calcio es posible tener niveles moderadamente altos de nitrógeno y de potasio en la misma hoja. Por tanto, es posible que en el presente ensayo, el contenido de calcio en el tejido foliar, y en especial el porcentaje de saturación de calcio (Figura 1) y magnesio (Figura 2) con respecto al total de bases (Ca, Mg y K) (Tabla 2), hayan tenido un efecto directo sobre los niveles de potasio y, por ende, sobre las relaciones e interacciones del potasio con otros elementos en las hojas.

Los valores encontrados para la relación N/Ca en las hojas se reducen a partir de 46 ddpf, como consecuencia de la reducción en la concentración de nitrógeno y al incremento no sólo del contenido de calcio en los tejidos foliares, sino al aumento en el porcentaje de saturación de calcio con respecto al total de bases (Ca, Mg y K) en las hojas, a partir de 46 ddpf (Figura 1). Con respecto a esta relación y a sus componentes, Rodríguez (1978) comenta que en condiciones de suelos ácidos, el

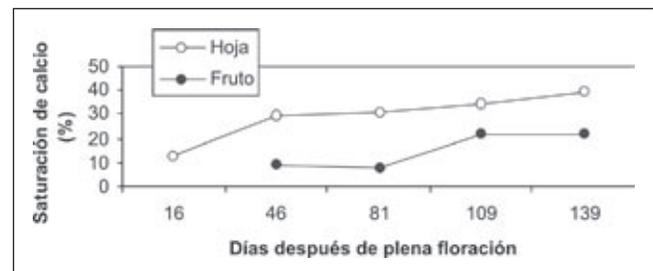


Figura 1. Porcentaje de saturación de calcio con respecto al total de bases (Ca, Mg y K) en hojas y frutos de manzano ‘Anna’, cultivado en los altiplanos colombianos.

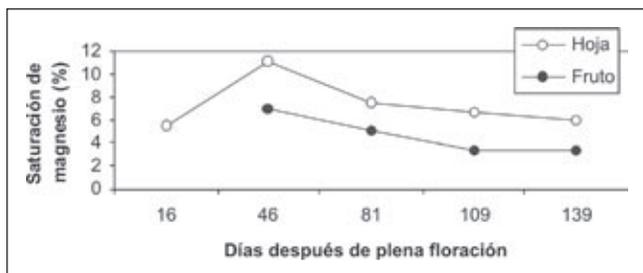


Figura 2. Porcentaje de saturación de magnesio con respecto al total de bases (Ca, Mg y K) en hojas y frutos de manzano 'Anna', cultivado en los altiplanos colombianos.

calcio suministrado no tiene un efecto marcado sobre los contenidos de calcio y nitrógeno en las hojas; sin embargo, niveles bajos de nitrógeno conducen a concentraciones altas de calcio en las hojas. Por otro lado, el incremento en el suministro de nitrógeno tiene poco efecto sobre el calcio, independientemente de las condiciones de suelo ácido o calcáreo.

El valor encontrado para la relación N/B se modifica a lo largo de la temporada de crecimiento, debido más a las marcadas fluctuaciones en la concentración del boro en las hojas que al contenido de nitrógeno, dado que según Faust (1989) el transporte de boro hacia las hojas y frutos es proporcional al grado de desarrollo de los mismos.

Relaciones con el fósforo. Un patrón común para los valores encontrados en las relaciones P/Zn, P/Fe y P/Cu es que alcanzan su punto máximo de 46 ddpf y luego decrecen hasta el momento de la cosecha; además, se presentan valores bastante amplios para cada una de las relaciones a lo largo de la temporada (Tabla 2). Loneragan *et al.* (1982) encontraron que la toma de zinc no se ve afectada por el incremento en el suministro de fósforo en la solución externa; sin embargo, en ausencia de zinc o en bajas concentraciones de él, el contenido de fósforo en la materia seca de los brotes es muy alto. Con base en este planteamiento es posible justificar las oscilaciones en la concentración de zinc, que tuvieron como consecuencia variaciones en el valor de la relación P/Zn, mientras la concentración de fósforo en las hojas permanecía casi constante.

Se encontró un valor muy bajo en la relación P/Cu, entre 81 y 139 ddpf, como consecuencia de la disminución del contenido de fósforo y del incremento en la cantidad de cobre en ese lapso de tiempo. Con respecto a la concentración de cobre en el tejido foliar, Díaz y

Romo (1988) y Stiles (1999) reportan que los niveles del elemento son altos al inicio de la temporada de crecimiento, pero luego se reducen; por el contrario, en la primera parte de este estudio, reportada por Casierri-Posada *et al.* (2003), las concentraciones del elemento son muy bajas al inicio de la temporada y luego permanecen en un nivel por encima de los valores normales, lo cual se puede atribuir a las concentraciones tan elevadas de productos cúpricos, como el sulfato de cobre, el hidróxido de cobre y el oxiclورو de cobre utilizados en dosis superiores a 2% en estado de reposo como defoliantes o con el fin de prevenir enfermedades. El cobre contenido en estos productos se puede acumular en el suelo y puede ser absorbido por la planta posteriormente, como reportan Scheffer y Schachtschabel (1992)

Relaciones con el potasio. El valor de la relación K/Ca en las hojas se reduce entre 16 y 46 ddpf a causa del incremento en el contenido de calcio en las hojas y a la reducción del de potasio en ese periodo; posteriormente, el valor de la relación se estabiliza, lo que coincide con la estabilización de la saturación de potasio con respecto al total de bases (Ca, Mg y K) (Figura 3), mientras la saturación de calcio (Figura 1) continúa en ascenso entre 46 y 139 ddpf; lo cual es posiblemente una consecuencia de que entre calcio y potasio existe un fuerte antagonismo, de tal manera que no son compatibles contenidos elevados de ambos elementos en la misma hoja; además, Rodríguez (1978) reporta que el desplazamiento de alguno de estos dos elementos es a menudo estequiométrico en un rango considerable de concentraciones en las hojas. En todas las observaciones hechas, el valor de la relación K/Ca estuvo por encima del rango sugerido por Hudaska (1990).

En cuanto a la relación K/Fe, su valor se incrementa hasta 81 ddpf y luego decrece hasta la época de cosecha, lo cual se debe a los cambios en la concen-

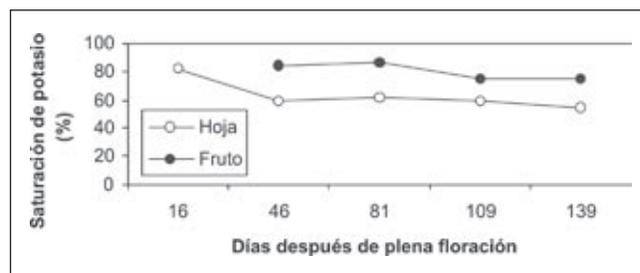


Figura 3. Porcentaje de saturación de potasio con respecto al total de bases (Ca, Mg y K) en hojas y frutos de manzano 'Anna', cultivado en los altiplanos colombianos.

tracción del hierro en los tejidos foliares. A pesar de que Contreras (1986) reporta sinergismo entre ambos elementos, no se observó una marcada influencia de alguno de estos elementos sobre el contenido del otro en las hojas.

Es de anotar que los valores de las relaciones K/Ca, K/Mg, K+Mg/Ca (Tabla 2) y el porcentaje de saturación de potasio con respecto al total de bases (Ca, Mg y K) (Figura 3) presentan pocas variaciones entre 46 y 139 ddpf, lo que implica pocas variaciones en el contenido de potasio a partir de 46 ddpf. A los 46 ddpf, el valor de la relación K/Mg estuvo dentro del rango normal recomendado por Hudska (1990), pero en las demás observaciones su valor fue alto.

Basso y Wilms (1988) encontraron diferencias en el contenido de potasio en tejido foliar de manzano proveniente de diferentes localidades del sur de Brasil; por tanto, es de esperarse que el contenido de potasio analizado en otra localidad colombiana, no concuerde con el comportamiento de este elemento a lo largo de la temporada y de sus relaciones reportados en este estudio.

Relaciones con el calcio. El normal incremento en la concentración de calcio en las hojas durante toda la temporada, causó a su vez el ascenso en el valor del porcentaje de saturación de calcio con respecto al total de bases (Ca, Mg y K) (Figura 1) y en el de la relación Ca/Mg, a pesar de lo cual el valor de esta relación sólo alcanza un valor en el rango de lo normal (6-7, recomendado por Hudska, 1990), a los 136 ddpf. Con respecto a la relación Ca/Mg se presentó una correlación alta, significativa en el nivel de 5%. Este comportamiento en las relaciones con el calcio es una consecuencia de la acumulación de calcio en los tejidos diferenciados como respuesta a la muy baja movilidad del calcio a través del floema. Por otra parte, el antagonismo entre calcio y magnesio juega un papel importante en el contenido de estos elementos en tejidos vegetales, pues Faust (1989) reporta cierto antagonismo entre calcio y magnesio en árboles de manzano, de tal manera que cuando ambos elementos se encuentran en concentraciones insuficientes en el suelo, la adición de magnesio ayuda a incrementar el contenido de calcio en el tejido foliar; sin embargo, cuando el calcio se encuentra en concentración relativamente alta en el suelo, el suministro de magnesio reduce la acumulación de calcio en las hojas.

Relaciones nutricionales en los frutos

Relaciones con el nitrógeno. La correlación entre las relaciones N/S, N/P y N/K fue positiva con un coeficiente mayor de 0,5 (Tabla 3), lo que implica que en las condiciones en que se hizo el estudio, estos elementos presentaron una interrelación mutua. En los tres casos se presentó un descenso en el valor de la relación, hasta 109 ddpf, y luego el valor de la relación de incrementó al momento de la cosecha, lo cual se debió a un descenso en la concentración de nitrógeno, mientras los contenidos de azufre, fósforo y potasio en los frutos sufrieron poca alteración. Las relaciones N/Ca y N/B mostraron un coeficiente de correlación muy bajo, lo cual es índice de poca interacción entre el nitrógeno con el calcio y el boro.

Relaciones con el fósforo. Las relaciones P/Fe y P/Cu mostraron poca relación del fósforo con el hierro y el cobre, lo que se ve reflejado en el bajo coeficiente de correlación. La relación P/Cu muestra valores bastante distantes a lo largo de la temporada, pues como se explicó anteriormente para el tejido foliar, se hacen aspersiones con productos a base de cobre en dosis muy elevadas en estado de reposo, lo que trae como consecuencia que el cobre llegue a concentraciones muy elevadas en los frutos (alrededor de 400 ppm de Cu entre 109 y 139 ddpf), como reportan Casierri-Posada *et al.* (2003).

Las relaciones P/Zn y Mg/P mostraron una correlación alta, significativa en el nivel de 5% (Tabla 3); por tanto, estas dos relaciones revisten gran importancia en cuanto a un posible comportamiento sinérgico del fósforo con el zinc y el magnesio en los frutos, a pesar de que el fósforo y el zinc hayan sido reportados como antagonísticos (Bergmann, 1986) y el fósforo y el magnesio como sinérgicos (Contreras, 1986).

Relaciones con el potasio. Se encontró un bajo coeficiente de correlación en la relación K/Fe. Las relaciones K/B, K/Na y K/Mg mostraron una correlación alta, y esta última relación mostró incluso significancia en el nivel de 5% (Tabla 3). El valor negativo de la relación K/B encontrado en este estudio, concuerda con el reporte de Cakmak *et al.* (1995), quienes encontraron un comportamiento antagonístico de estos dos elementos, posiblemente influenciado por reacciones metabólicas definidas inducidas por el boro, en las cuales la oxidación de fenoles conduce al ataque de los radicales libres de oxígeno o afecta los canales del potasio.

Tabla 3. Relaciones nutricionales en frutos de manzano ‘Anna’ durante la estación de crecimiento en los altiplanos colombianos.

Relaciones nutricionales	Valores promedio de las relaciones nutricionales en los frutos				Correlación r
	Días después de plena floración				
	46	81	109	139	
N/S	10,63	10,42	3,94	11,51	0,81 ns
N/P	4,41	7,29	2,78	7,56	0,71 ns
N/K	0,88	0,61	0,18	0,46	0,61 ns
N/Ca	8,17	6,89	0,61	1,59	- 0,23 ns
N/B	416,67	101,74	50,00	135,42	- 0,29 ns
P/Zn	36,89	69,44	30,24	28,71	0,97 *
P/Fe	94,44	22,22	6,35	6,05	0,15 ns
P/Cu	963,33	283,33	1,81	1,73	0,36 ns
K/Fe	475,00	264,44	100,63	99,29	0,28 ns
K/Ca	9,32	11,24	3,48	3,44	0,62 ns
K/Mg	12,03	17,39	22,34	22,33	0,95 *
K/Na	508,93	135,23	2120,54	2039,93	- 0,83 ns
K/B	475,00	166,05	285,00	293,75	- 0,93 ns
K + Mg + P/Ca	11,94	12,83	3,85	3,80	0,56 ns
K + Mg/Ca	10,09	11,89	3,64	3,60	0,58 ns
Ca/Mg	1,29	1,55	6,42	6,48	0,36 ns
Ca/B	50,98	14,77	81,88	85,29	- 0,86 ns
Mg/P	0,42	0,68	0,71	0,73	0,98 *
Cu/Fe	0,10	0,08	3,51	3,51	0,97 *
Cu/Mn	0,16	0,22	68,21	70,15	- 0,97 *
Mn/Mg	155,38	233,85	114,38	112,48	0,04 ns
Mn/Zn	0,24	1,11	0,25	0,24	- 0,34 ns
Fe/Zn	0,39	3,13	4,76	4,74	0,37 ns
Fe/Mn	1,63	2,81	19,41	19,99	- 0,99 **

* Significativo al nivel de 5%, ** Significativo al nivel de 1%, ns: no significativo.

Relaciones con el calcio. Con excepción de las relaciones Ca/Mg y N/Ca, las del calcio con otros elementos presentaron coeficientes de correlación por encima de 0,5. El coeficiente de correlación más elevado entre los valores de las relaciones de los elementos con el calcio, la presentó Ca/B ($r = -0,86$) (Tabla 3). Al respecto, Yamauchi *et al.* (1986) y Goldbach *et al.* (2000) discuten la importancia de la relación Ca/B, de tal manera que bajo las condiciones de pH del apoplasta radicular el ácido bórico no disociado se une a compuestos como la apiosa, permitiendo la formación de complejos de boro cargados negativamente; y el número de cargas negativas de la pared celular se reduciría bajo condiciones de deficiencia de boro, lo cual reduciría la pro-

porción de calcio unido a las paredes celulares. A pesar de estas consideraciones, en el presente estudio no se observaron síntomas aparentes de deficiencia de boro o de calcio. Las relaciones K+Mg+P/Ca y K+Mg/Ca mostraron una tendencia descendente entre 81 ddpf y la época de cosecha, lo cual se debió a la reducción en los contenidos de potasio, magnesio y fósforo, así como al incremento en la concentración de calcio en ese período de tiempo.

Otras relaciones nutricionales en frutos. Las relaciones Cu/Fe, Cu/Mn y Fe/Mn presentaron coeficientes de correlación bastante altos, significativos en el nivel de 5% para las dos primeras, y en el nivel de 1% para la última (Tabla 3).

La importancia del reporte de estas relaciones nutricionales en frutos en una variedad de manzano ampliamente sembrada en nuestro país, radica en que es bien conocido que el contenido de minerales en los frutos tiene un efecto directo sobre el comportamiento y la calidad de los frutos en poscosecha (Durán, 1983); por tanto, es posible predecir su comportamiento en poscosecha, mediante análisis de minerales en frutos en pre-cosecha. Además, según reporte de Marcelle (1990), el único método para conocer el contenido de minerales en la fruta es a través de análisis de tejidos, en lugar de deducir la concentración de elementos a partir de los resultados de análisis foliares. Si bien es cierto que la manzana ‘Anna’ tiene una escasa duración y un mal comportamiento en poscosecha, cuando se cultiva en los altiplanos colombianos existe la posibilidad de mejorar su comportamiento en poscosecha, si se tiene un balance nutricional adecuado en los frutos; para lo cual se hace necesario hacer predicciones del comportamiento en poscosecha de los frutos, con base en los contenidos de minerales en los tejidos vegetales, con la inclusión de un factor de corrección inherente a la localidad y previamente determinado mediante un monitoreo de los elementos en los tejidos, durante un período representativo (Marcelle, 1990 y Hudska, 1990).

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Germán Peñaloza, Departamento Técnico de Coljap, por su colaboración en el análisis de las muestras de tejido vegetal y de suelo, así como al personal de la granja “Tunguavita”, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Paipa, por el apoyo para llevar a cabo este ensayo.

Bibliografía

- Bansal, K. N.; D. P. Motiramani y A. R. Pal. 1983.** Studies on sulphur in vertisols. I. Soil and plant tests for diagnosing sulphur deficiency in soybean (*Glycine max* (L.) Merr). Plant and Soil 70, 133-140.
- Basso, C. y F. W. W. Willms. 1988.** Nutritional status of apple orchards in southern Brazil. Acta Horticulturae 232, 187-192.
- Bergmann, W. 1986.** Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, Jena (Alemania). 306 p.
- Cakmak, I.; H. Kurz y H. Marschner. 1995.** Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in deficient leaves of sunflower. Physiologia Plantarum 95, 11-18.
- Casierra-Posada, F. 1993.** Protección y nutrición para cosechas continuas en manzano 'Anna'. Agro-Desarrollo 4(1-2), 46-49.
- Casierra-Posada, F.; L. F. Coetés; J. Ramírez y H. Castro. 2003.** Estado nutricional de árboles de manzano 'Anna' durante la estación de crecimiento en los altiplanos colombianos. I. Contenido de elementos minerales. Agronomía Colombiana 21(1-2), 75-82.
- Castro, J. 1993.** Consideraciones generales del riego en frutales caducifolios en el altiplano. Agro-Desarrollo 4(1-2), 201-213.
- Contreras, P. 1986.** El suelo y su fertilización en el cultivo de frutales caducifolios. Ciencia y Agricultura 1(1), 53-69.
- Díaz, D. y R. Romo. 1988.** Nutritional status and root system of Anna apple under alkaline soil in warm dry climate of Mexico. Acta Horticulturae 232, 177-186.
- Durán, S. 1983.** Frigoconservación de la fruta. Editorial Aedos, Barcelona. 369 p.
- Faby, R. y W. D. Naumann. 1987a.** Die Bedeutung der Einlagerung von Reservestoffen im Herbst bei Apfelbäumen, dargestellt an Entblätterungsversuchen. I. Stickstoffhaltige Reservestoffe. Erwerbsobstbau 29(2), 51-56.
- Faby, R. y W. D. Naumann. 1987b.** Die Bedeutung der Einlagerung von Reservestoffen im Herbst bei Apfelbäumen, dargestellt an Entblätterungsversuchen. II. Mineralstoffe und Kohlenhydrate. Erwerbsobstbau 29(2), 57-60.
- Faust, M. 1989.** Physiology of temperate zone fruit trees. John Wiley and Sons, Nueva York. pp. 53-132.
- Fischer, G. y P. Lüdders. 1995.** Der Apfelanbau im Hochland Kolumbiens. Erwerbsobstbau 37(2), 58-62.
- Goldbach, H. E.; M. A. Wimmer y P. Findeklee. 2000.** Discussion paper: Boron – How can the critical level be defined?. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163, 115-121.
- Horst, W. J. 1983.** Factors responsible for genotypic manganese tolerance in cowpea (*Vigna unguiculata*). Plant and Soil 72, 213-218.
- Horst, W. J. y H. Marschner. 1978.** Effect of silicon on manganese tolerance of beanplants (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant and Soil 50, 287-303.
- Hudska, G. 1990.** Determination of standard values of elements in the leaves of fruit species and their relation to productivity of trees and soil management. Acta Horticulturae 274, 195-199.
- ICA. 1992.** Fertilización en diversos cultivos: Quinta aproximación. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Subgerencia de Investigación, Sección de Recursos Naturales. Manual de asistencia técnica No. 25. Centro de Investigación Tibaitatá, Bogotá. 64 p.
- Iwasaki, J. D.; K. Sakurai y E. Tekahashi. 1990.** Copper binding by the root cell walls of Italian ryegrass and red clover. Soil Science and Plant Nutrition 36, 431-440.
- Loneragan, J. F.; D. L. Grunes; R. M. Welch; E. A. Aduayi; A. Tengah; V. Lazar y E. E. Cary. 1982.** Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. Soil Science Society of America Journal 46, 345-352.
- Malavolta, E. 1998.** Aspectos de la aplicación foliar de micronutrientes. En: Silva M., F. (ed.). Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá. pp. 67-90.
- Marcelle, R.D. 1990.** Comparison of the mineral composition of leaf and fruit in apple and pear cultivars. Acta Horticulturae 274, 315-320.
- Marschner, H. 1995.** Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londres. pp. 461-479.
- Nogueira, D. J. P. 1985.** Nutrição das fruteiras. Informe Agropecuario 11(125), 12-31.
- Rasmussen, J. B.; R. E. Ramig; L. G. Ekin y C. R. Rhode. 1977.** Tissue analyses guidelines for diagnosing sulfur deficiency in white wheat. Plant and Soil 46, 153-163.

- Robson, A. D. y M. G. Pitman. 1983.** Interactions between nutrients in higher plants. En: A. Läuchli y R. L. Bieleski (eds.). Encyclopedia of plant physiology, New Series. Vol 15a. Springer, Berlín. pp. 147-180.
- Rodríguez, J. M. 1978.** Diagnóstico de la fertilidad del suelo. I. Análisis fitoquímico. Cidat, Serie Suelos y Clima, material de enseñanza SC-20. Mérida, Venezuela. 137 p.
- Scheffer, F y P. Schachtschabel. 1992.** Lehrbuch der Bodenkunde. Verlag Enke, Stuttgart. pp. 280-284.
- Schulz, H. 1996.** Äußere und innere Eigenschaften lagerner heimischer Fruchtarten. En: Osterloh, A.; G. Ebert; W. H. Held; H. Schulz y N. E. Urban (eds.). Lagerung von Obst und Südfrüchten. Verlag Ulmer, Stuttgart. pp. 19-90.
- Stiles, W. C. 1999.** Effect of nutritional factors on regular cropping of apple. HortTechnology 9(3), 328-331.
- Summer, M. E. 1977.** Application of Beaufils's diagnostic indices to maize data published in the literature irrespectively of age and conditios. Plant and Soil 46, 350-360.
- Walworth, J. L. y M. E. Sommer. 1988.** Foliar diagnosis: A review. En: Tinker, B. y Läuchi, A. (eds.). Advances in plant nutrition. Vol. 3. Praeger, Nueva York. pp. 193-241.
- Yamauchi, T.; T. Hara e Y. Sonoda. 1986.** Distribution of calcium and boron in the pectin fraction of tomato leaf cell wall. Plant Cell Physiology 27(4), 729-732.