

**DEFICIENCIAS DE MICRONUTRIENTES,  
OCURRENCIA, DETECCIÓN Y CORRECCIÓN:  
“El éxito de la experiencia brasileira”<sup>1</sup>**

Dr. Tsuioshi Yamada  
Potafos, CC Nº 400, CEP 13400-970, Piracicaba, SP, Brasil  
[yamada@potafos.com.br](mailto:yamada@potafos.com.br)

<sup>1</sup> Traducción del trabajo presentado en el Simposio Internacional de Micronutrientes. IFA. Nueva Delhi, India. 23-25 Febrero 2004.

## **1. Introducción**

Desde los años 50', trabajos realizados por el Instituto de Investigación IRI-IBEC (apoyado por la Fundación Rockefeller) y por el Instituto Agronómico de Campinas (IAC) ya habían detectado respuestas de cultivos a los micronutrientes en Brasil. En la década del 70', dos eventos tuvieron una gran influencia en la comprensión del nivel de micronutrientes en los suelos brasileiros: 1)\_ creación del EMBRAPA (Instituto de Investigación Agropecuaria en Brasil), y 2)\_ primer relevamiento completo sobre la fertilidad de suelos de la región de los Cerrados, a cargo de A. Scheid Lopes, quien muestreó y analizó 518 muestras de la superficie del suelo virgen en los estados de Minas Gerais, Goiás y Tocantins.

En la década del 90', la expansión del área sembrada con soja en los Cerrados (caracterizada por suelos de baja fertilidad) y el trabajo de algunos consultores agrícolas de mucha experiencia y de gran influencia hicieron que se renueve el interés en estudios de fertilización balanceada. Fundaciones privadas, mantenidas por productores de semilla y por agricultores de punta, fueron las que estimularon la búsqueda de altas producciones económicas.

No cabe duda que la adopción de la siembra directa, junto con otras prácticas de manejo, semillas mejoradas y fertilización balanceada fueron las principales causas de aumento de la productividad en la agricultura brasileira.

## **2. Ocurrencia**

Según Fageria et al. (2002), la deficiencia de micronutrientes esta muy generalizada (por todo el mundo) debido a:

1. Aumento en la demanda de micronutrientes por prácticas de manejo intensivas, adaptación de cultivares altamente productivos, pudiendo tener mayores exigencias en micronutrientes;
2. Aumento de la producción de cultivos en suelos marginales con bajos niveles de nutrientes esenciales;
3. Uso de fertilizantes con mayor pureza, con menor cantidad de contaminación por micronutrientes;
4. Disminución del uso de estiércol animal, compostajes y residuos de cultivos;
5. Uso de suelos con baja reserva nativa de micronutrientes y;
6. Conjunción de factores naturales y antrópicos que limitan la adecuada disponibilidad para las plantas y crean desequilibrios entre los nutrientes.

En una revisión actualizada por Lopes y Abreu (2000), se menciona la ocurrencia de deficiencias de micronutrientes desde la década del 50' y 60' en maíz, soja, pasturas, algodón y café, principalmente en zinc (Zn). También son una importante fuente de información sobre el tema los Anales del Simposio sobre Micronutrientes en la Agricultura Brasileira (Borket y Lantmann, 1988), Ferreira y Cruz (1991) y Ferreira et al. (2001).

En la Tabla 1 se observa la extensión de las deficiencias de micronutrientes en Brasil. Para cada cultivo hay un número que expresa en forma aproximada la frecuencia. En una escala 1:10, por ejemplo en café, boro (B) y Zn representan la mayor frecuencia de deficiencia y molibdeno (Mo) la menor. Se puede observar que las deficiencias de B y Zn son las más comunes en la agricultura brasilera. Las deficiencias de manganeso (Mn) se observan en zonas con exceso de calcio (Ca). El Mo es importante en cultivos de leguminosas, junto con la fijación biológica de nitrógeno (N), y también para el coliflor y el repollo. El cobre (Cu) es importante para prevenir andro-esterilidad en trigo.

**Tabla 1.** Frecuencia relativa de deficiencias de micronutrientes en Brasil ordenando por cultivo y por elemento. Escala de menor (1) a mayor (10) frecuencia de deficiencia (Malavolta, 1994).

Cultivo	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Algodón	3	0	0	0	0	3
Ajo	7	3	0	0	0	3
Ananá	3	0	10	0	0	0
Arroz	2	2	0	0	0	10
Banana	3	0	0	0	0	3
Cacao	5	0	3	0	0	6
Café	10	8	3	2	1	10
Caña de Azúcar	3	8	2	4	0	n
Cebolla	1	4	0	0	0	0
Cítricos	6	7	0	10	1	10
Coliflor	10	0	0	0	10	0
Durazno	0	0	0	0	0	4
Eucalyptus	4	0	0	0	0	4
Girasol	3	0	0	0	0	2
Lechuga	5	3	0	0	2	0
Maíz	1	0	0	0	0	7
Maní	3	0	0	0	1	0
Manzana	3	0	0	0	0	3
Melón	0	0	1	0	3	0
Palma	4	4	0	0	0	4
Papa	5	0	0	0	0	0
Pasturas leguminosas	3	0	0	0	2	n
Pera	0	0	0	0	0	4
Poroto	3	0	0	2	3	0
Soja	3	2	0	2	4	6
Sorgo	0	0	7	0	0	7
Trigo	3	10	0	0	0	8
Tomate	5	0	0	0	0	6
Uva	4	0	0	0	0	2

Zanahoria	2	0	0	0	0	0
n = valor desconocido						

### 3. Detección

#### 3.1 Análisis de suelo

En la práctica, el análisis de suelo es la herramienta más importante para el diagnóstico de las deficiencias de micronutrientes. Como se mencionó anteriormente, uno de los primeros trabajos que reveló con claridad el estado de fertilidad de los suelos de la región de los cerrados fue el de Alfredo Scheid Lopes, investigador de la Universidad Federal de Lavras, en la década del 70'. Lopes recolectó 518 muestras de la superficie de suelos vírgenes de los Cerrados, región central de Brasil, y observó que el 95% de estos suelos eran deficientes en Zn, un 70% en Cu y 35% en Mn (Tabla 2).

Galvão (2002) menciona que la recomendación de micronutrientes en base al análisis de suelo era muy limitada debido a los pocos estudios de calibración para esos nutrientes. Tentativamente, en la Tabla 3 se presentan los niveles críticos para la región de los Cerrados, usando Mehlich 1 como extractante. Para los estados sureños de Río Grande do Sul y de Santa Catarina, el extractante utilizado para Cu y Zn fue Ácido Clorhídrico HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> (Tabla 4). En el estado de San Pablo, se usó DTPA como extractante para Cu, Fe, Mn y Zn (Tabla 5). Todas estas regiones usan el agua caliente como extractante de B.

**Tabla 2.** Resumen del contenido de algunos micronutrientes de 518 muestras extraídas de la superficie de suelos vírgenes de los cerrados, región central de Brasil.

Micronutriente	Nivel crítico	Debajo del Nivel crítico	Rango promedio	
	mg dm <sup>-3</sup>	%	mg dm <sup>-3</sup>	
Cobre	1.0	70	0.0-9.7	0.6
Zinc	1.0	95	0.2-2.2	0.6
Manganeso	5.0	37	0.6-92.2	7.6
Hierro	-	-	3.7-74.0	32.5

Fuente: Lopes y Cox (1977); Lopes (1983) citado por Lopes y Abreu (2000).

**Tabla 3.** Interpretación de los análisis de suelo de la región de los Cerrados, usando como extractante Mehlich 1 (Galvão, 2002).

Nivel	B <sup>(1)</sup>	Cu <sup>(2)</sup>	Mn <sup>(2)</sup>	Zn <sup>(2)</sup>
	mg dm <sup>-3</sup>			
Bajo	0-0.2	0-0.4	0-1.9	0-1.0
Medio	0.3-0.5	0.5-0.8	2.0-5.0	1.1-1.6
Alto	> 0.5	> 0.8	> 5.0	> 1.6

(1) Agua caliente para B.  
(2) Mehlich 1 (HCl 0.05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mol L<sup>-1</sup>), relación suelo:solución 1:10.

**Tabla 4.** Interpretación de los análisis de suelo para los estados de Rio Grande do Sul y de Santa Catarina (Comisión de Fertilidad de Suelo de Río Grande do Sul y Santa Catarina, 1994).

Nivel	B <sup>(1)</sup>	Cu <sup>(2)</sup>	Zn <sup>(2)</sup>
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----		
Bajo	< 0.1	< 0.2	< 0.2
Medio	0.1-0.3	0.2-0.5	0.2-0.5
Alto	> 0.3	> 0.5	> 0.5

(<sup>1</sup>) Agua caliente para B.  
(<sup>2</sup>) HCl 0.1 mol L<sup>-1</sup>.

**Tabla 5.** Interpretación de análisis de suelo para el Estado de San Pablo (extractante usado DTPA) (Galvão, 2002).

Nivel	B <sup>(1)</sup>	Cu <sup>(2)</sup>	Fe <sup>(2)</sup>	Mn <sup>(2)</sup>	Zn <sup>(2)</sup>
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----				
Bajo	0-0.20	0-0.2	0-4	0-1.2	0-0.5
Medio	0.21-0.60	0.3-0.8	5-12	1.3-5.0	0.6-1.2
Alto	> 0.60	> 0.8	> 12	> 5.0	> 1.2

(<sup>1</sup>) Agua caliente para B.

(<sup>2</sup>) DTPA .

### 3.2. Síntomas visuales y análisis de planta

A campo, la detección de deficiencias de micronutrientes en un determinado cultivo es realizada rutinariamente, los síntomas son siempre específicos para cada nutriente, o por el análisis de tejido en planta.

En la Figura 1, se muestra una clave simplificada para el diagnóstico visual de los síntomas de deficiencia y de toxicidad. En las Figuras 2, 3, y 4 se encuentran fotografías con síntomas típicos de deficiencia y de toxicidad en micronutrientes. Por último, en la Tabla 6 se hallan los valores adecuados de concentración de micronutrientes en hoja para los principales cultivos.

Diagnóstico Visual: Clave simplificada

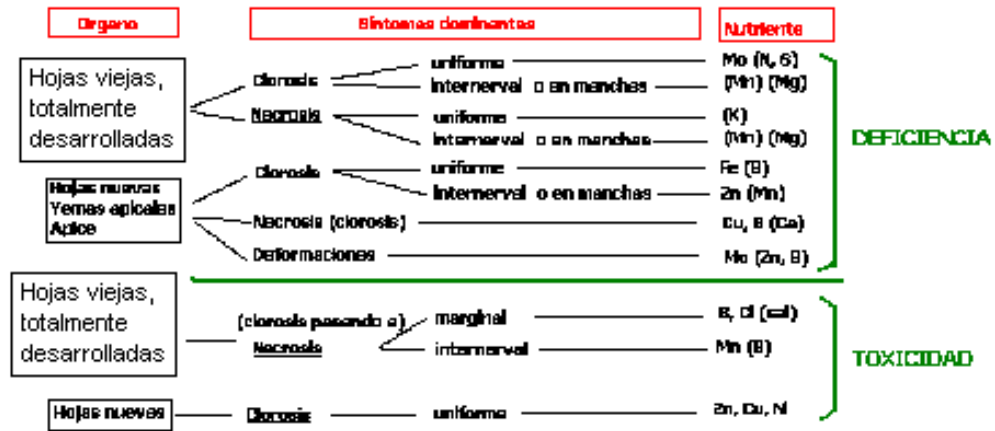


Figura 1. Clave simplificada para el diagnóstico visual de deficiencias de nutrientes (Römheld, 2003).

**Tabla 6.** Contenido adecuado de micronutrientes en hoja para algunos cultivos en la región de los Cerrados, Brasil.

Cultivos	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
<b>Perennes</b>						
Palta <sup>1</sup>	50-100	5-15	50-200	30-650	-	30-150
Banana <sup>2</sup>	10-25	6-30	80-360	200-2000	-	20-50
Mandioca <sup>8</sup>	15-50	5-25	60-200	25-100	0.11-0.18	35-100
Cítricos <sup>1</sup>	35-100	5-20	50-200	25-500	0.1-1.0	25-200
Café <sup>1</sup>	40-100	6-50	70-300	50-300	0.1-0.5	10-70
<i>Eucalyptus</i> <sup>7</sup>	30-50	7-10	150-200	400-600	0.5-1.0	35-50
Mango <sup>2</sup>	50-100	10-50	50-200	50-100	-	20-40
Ananá <sup>1</sup>	30-40	9-12	100-200	50-200	-	10-15
Pino <sup>7</sup>	12-25	4-7	100-200	250-600	-	30-45
Palmito <sup>6</sup>	12-30	4-10	40-200	30-150	-	15-40
Caña de azúcar <sup>6</sup>	10-30	6-15	40-250	25-250	0.05-0.20	10-50
<b>Anuales</b>						
Cebada <sup>3</sup>	5-20	5-25	25-100	20-100	0.1-0.2	15-70
Poroto <sup>5</sup>	15-26	4-20	40-140	15-100	0.5-1.5	18-50
Algodón <sup>1</sup>	40-100	8-20	50-250	50-350	1-2	20-60
Maíz <sup>3</sup>	10-25	6-20	30-250	20-200	0.1-0.2	15-100
Avena <sup>3</sup>	5-20	5-25	40-150	25-100	0.2-0.3	15-70
Arveja <sup>4</sup>	100-110	15-20	100-120	40-50	0.6-1.0	80-100
Maní <sup>1</sup>	20-60	10-50	50-300	50-350	0.1-1.4	20-150
Arroz <sup>3</sup>	4-25	3-25	70-200	70-400	0.1-0.3	10-50
Soja <sup>5</sup>	21-55	10-30	50-350	20-100	1.0-5.0	20-50
Sorgo <sup>3</sup>	4-20	5-20	65-100	10-190	0.1-0.3	15-50
Girasol <sup>5</sup>	35-100	25-100	80-120	10-20	-	30-80
Trigo <sup>1</sup>	5-20	5-25	50-150	25-100	0.1-0.2	15-70
<b>Forrajes</b>						
Andropogon <sup>9</sup>	10-20	4-12	50-250	40-250	-	20-50
Brachiaria	10-25	4-12	50-250	40-250	-	20-50

Pasto Bermuda <sup>9</sup>	10-25	4-14	50-200	40-200	-	30-50
Pasto de Guinea <sup>9</sup>	10-30	4-14	50-200	40-200	-	20-50
Stylosanthes	25-50	6-12	40-250	40-200	-	20-50
Pasto Elefante <sup>9</sup>	10-25	4-17	50-200	40-200	-	20-50

Fuentes: <sup>1</sup> Bataglia (1991); <sup>2</sup> Quaggio et al. (1996); <sup>3</sup> Cantarella et al. (1996); <sup>4</sup> Malavolta et al. (1989); <sup>5</sup> Ambrosano et al. (1996); <sup>6</sup> Rajj & Cantarella (1996); <sup>7</sup> Gonçalves et al. (1996); <sup>8</sup> Lorenzi et al. (1996); <sup>9</sup> Werner et al. (1996), citado por Galvão, 2002.

## 4. Corrección

### 4.1 Respuesta de los cultivos a micronutrientes

Ensayos con micronutrientes realizados en los años 70' mostraban respuestas solamente en Zn (Tabla 7), por esa razón las formulaciones con alta concentración de Zn fueron las más vendidas desde aquella época hasta el inicio de la década del 90'. Trabajos más recientes realizados por la Fundación MT en cultivos de alto rendimiento mostraron la importancia de la fertilización balanceada (Tabla 8). No obstante, dentro de los micronutrientes, la deficiencia de Zn provoca las mayores reducciones en la producción (-17%), esa reducción puede ser mayor si se extiende a todos los micronutrientes (-34%).

Estudiando los efectos residuales de diferentes dosis de Zn en suelos de los Cerrados, Ritchey et al. (1986) observaron que dosis de 3 kg/ha de Zn eran suficientes para mantener, al menos durante 4 campañas, una producción cercana a la máxima en maíz (Figura 5). En un segundo experimento se observó disminución de la producción de maíz con agregados de Zn y calcáreo. Contrariamente, Silva (1983), encontró para el cultivo de algodón que el agregado de calcáreo mejoró la respuesta a B y redujo la toxicidad al B cuando este fue aplicado en dosis mayores (Figura 6). El cultivo de batata en suelo orgánico mostró respuesta solamente a B (Tabla 9), con un aumento del 50% de la producción y en la concentración de B en hoja de 28 a 40 ppm.

Respuestas a la aplicación de Cu fueron observadas en un suelo Latosol amarillo (Oxisol) en los Cerrados, solamente al segundo año de aplicación, a pesar del bajo contenido en el suelo ( $< 0,1 \text{ mg dm}^{-3}$ ) (Tabla 10). Una dosis de  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de Cu al voleo en el primer año fue suficiente para mantener los efectos residuales durante las cuatro campañas del ensayo (Galvão, 2002). También en trigo, dosis de  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de Cu, tuvieron respuestas de  $1 \text{ ton ha}^{-1}$  y se redujo la androesterilidad del 18 al 4,3% (Galvão, 2002).

Se sabe que la respuesta al Mn esta influenciada por la práctica del encalado. Un buen ejemplo de ese efecto puede hallarse en la Figura 7, en donde el aumento en la producción de girasol con calcáreo se explicó por la reducción en la toxicidad al Mn (Quaggio et al., 1991). Marinho (1988) encontró una interacción positiva del encalado con la aplicación de Mn, y lo atribuyó a muy bajos niveles de Mn en el suelo (Tabla 12).

El efecto positivo del Mo en la fijación biológica del N es muy común en la literatura, como se muestra en la Tabla 13. Se obtuvieron respuestas del 17% en el tratamiento inoculado+Mo respecto del inoculado. En general, las respuestas del cultivo de soja al Mo son mayores sin encalado que cuando se encala, ello es debido a un aumento en la disponibilidad del Mo con el suelo al aumentar el pH, como se muestra en la Figura 8, con datos obtenidos de Quaggio et al. (1991) en donde se observan menores respuestas al Mo en dosis de calcáreo superiores a  $4 \text{ t ha}^{-1}$ .

La Tabla 14 muestra un resumen de 64 experimentos de fertilización foliar conducidos por Reis Jr. (2004) en soja, maíz y algodón en la región de los Cerrados, durante la campaña 2003/04, mostrando los mejores resultados en algodón.

**Tabla 7.** Producción acumulada de 6 cultivos durante las campañas 1976/77 a 1981/82 en un Latosol rojo oscuro arcilloso (Haplustox típico) con tratamiento completo y ausencia parcial de algún micronutriente (Galvão et al., 1984).

<b>Tratamientos</b>	<b>Producción acumulada<sup>(1)</sup></b>	<b>Valor relativo</b>
	kg ha <sup>-1</sup>	%
“Completo”	17,170	100
– B	16,335	95
– Co	17,191	100
– Cu	17,650	103
– Fe	16,928	98
– Mn	17,355	101
– Mo	17,064	99
– Zn	11,307	66

<sup>(1)</sup> Secuencia de cultivos: Arroz, arroz, maíz, soja, maíz y maíz.

**Tabla 8.** Efecto del B, Cu, Mn, Zn y el tratamiento completo con todos los micronutrientes, en el rendimiento de soja (Fundación MT/PMA, 1999).

<b>Tratamientos</b>	<b>-----Rendimiento-----</b>	
	kg ha <sup>-1</sup>	%
Completo (C)	3492	100
Completo – B	3336	95
Completo – Cu	3242	93
Completo – Mn	3072	88
Completo – Zn	2910	83
Completo – Micro	2310	66

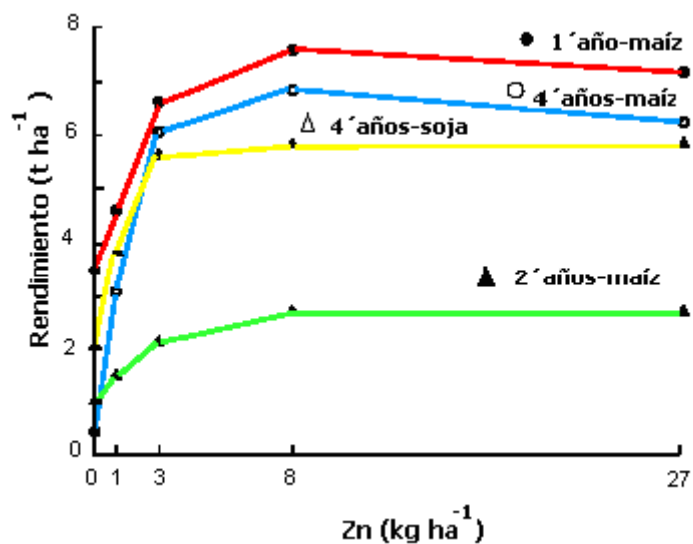


Figura 5. Respuesta del maíz y soja a dosis de Zn aplicadas solamente al primer cultivo en suelos Latosoles rojos oscuros arcillosos (Haplustox típico) (Ritchey et al., 1986).

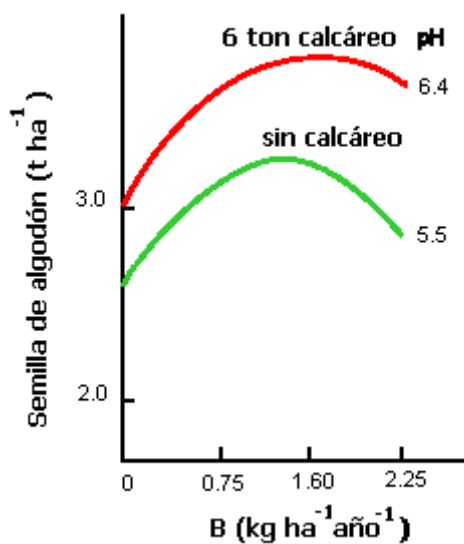


Figura 6. Respuesta del algodón a dosis de B con y sin calcáreo (Silva, 1983).

**Tabla 9.** Efecto del boro (B) en la producción y en la concentración en hoja de batata cultivada en un suelo orgánico (Hiroce et al., 1971).

Tratamientos	Tubérculos	B en hoja
	t ha <sup>-1</sup>	ppm
NPK	14.8 a	28 a
NPK + B	22.3 b	40 b
NPK + Zn	14.1 a	29 a
NPK + Cu	14.5 a	20 a

NPK + Mo	13.9 a	28 a
NPK + Fe	15.2 a	29 a
NPK + Mn	12.1 a	30 a
NPK + Micro	25.7 b	38 b
CV%	10.7	10.8

NPK = 160 kg ha<sup>-1</sup> de Sulfato de Amonio; 240 kg ha<sup>-1</sup> de Superfosfato simple; 150 kg ha<sup>-1</sup> de Sulfato de Potasio.

Micronutrientes = 20 kg ha<sup>-1</sup> de bórax, Cu, Fe y Sulfato de Mn; 10 kg ha<sup>-1</sup> de Sulfato de Zn; y 0.5 kg ha<sup>-1</sup> de Molibdato de amonio.

**Tabla 10.** Efecto del cobre (Cu) en el rendimiento de soja en un Latosol rojo-amarillo arcilloso (Oxisol) en los Cerrados (Galvão, 2002).

Cu	1ª cosecha	2ª cosecha	3ª cosecha	4ª cosecha
kg ha <sup>-1</sup>	----- t ha <sup>-1</sup> -----			
0	2.33 a	2.02 b	2.63 b	2.66 b
2	2.44 a	2.60 a	3.04 a	3.13 a
CV%	7.0	6.0	9.0	9.0

**Tabla 11.** Efecto del cobre (Cu) en el rendimiento de trigo y la andro-esterilidad (Galvão, 2002).

Cu	Rendimiento	Esterilidad
kg ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	%
0	3.28 a	18.4 a
2	4.29 b	4.3 b
CV%	11.2	23,3

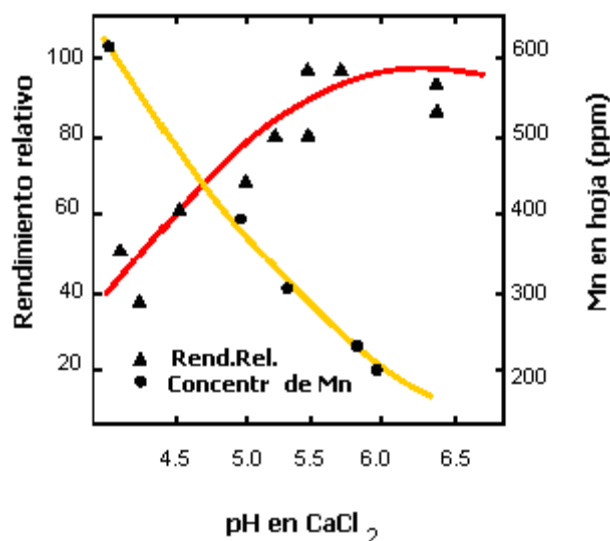


Figura 7. Efecto del encalado sobre los rendimientos relativos del girasol y la toxicidad del manganeso (Mn) (Quaggio et al., 1991).

**Tabla 12.** Respuesta de la caña de azúcar (soca) al agregado de calcáreo y manganeso (Mn) en el Estado de Alagoas (Marinho, 1988).

Tratamientos	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
Testigo	52.0
Cal 4 t ha <sup>-1</sup>	77.2
Cal 4 t ha <sup>-1</sup> + 7,5 kg ha <sup>-1</sup> Mn	92.0

**Tabla 13.** Efectos de la inoculación, el agregado de molibdeno (Mo) y cobalto (Co), en los rendimientos de soja (Campo y Hungria, 2002).

Tratamientos	Rendimiento	Incremento	
	kg ha <sup>-1</sup>	%	
Sin inocular	2,636	100	-
Inoculación (IN)	3,085	117	100
IN + Mo	3,617	137	117
IN + Mo + Co	3,720	141	120

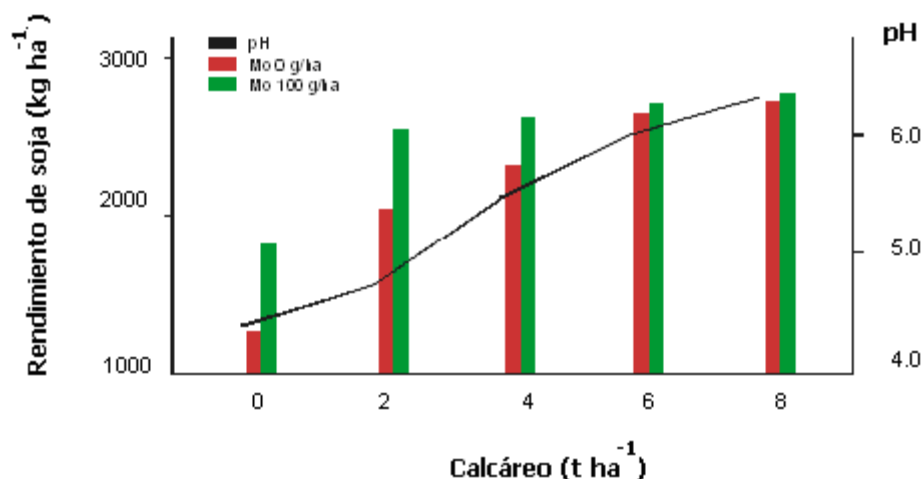


Figura 8. Respuesta de la soja al encalado y al molibdeno (Mo) en un Podzol rojo-amarillo (Udult) en el estado de San Pablo (Quaggio et al., 1991).

**Tabla 14.** Respuesta de soja, maíz y algodón a la fertilización foliar en Chapadão do Sul-MS (Reis Jr., 2004).

Respuesta a	Soja	Maíz	Algodón
	----- % incremento -----		
B	6.0	9.5-16.1	8.8-29.9
Cu	10.8	4.0-12.5	15.1-16.3
Mn	13.4	6.8-21.6	12.1-21.9
Zn	-	6.1-12.7	11.6-35.6
Completo	5.0-22.4	3.8-9.5	7.2-28.0

## 4.2 Recomendaciones de micronutrientes

### 4.2.1. Aplicación al suelo

En la Tabla 15 se muestran las recomendaciones para la corrección en el suelo con micronutrientes en cultivo de soja (EMBRAPA, 2003), aplicables también a maíz, algodón, café, cítricos y otras; con una residualidad aproximada de 5 años.

**Tabla 15.** Recomendación de micronutrientes para soja, aplicados al suelo, en el centro de Brasil, con efectos residuales por 5 años (EMBRAPA, 2003).

Nivel	B	Cu	Mn	Zn
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
Bajo	1.5	2.5	6.0	6.0
Medio	1.0	1.5	4.0	5.0
Alto	0.5	0.5	2.0	4.0

### 4.2.2. Recomendación foliar

En el caso que se manifiesta la deficiencia, la recomendación general es pulverizar los cultivos con 0,5% de bórax o 0,3% de ácido bórico, 0,5% de sulfato de Cu, 0,5% de sulfato de Mn y 0,5% de sulfato de Zn, usando cerca de 400 litros de solución por hectárea (Galvão, 2002).

### 4.2.3. Tratamiento de semillas

Tanto el Mo como el Co, son recomendados para el tratamiento de semillas de soja en dosis de 12-20 g ha<sup>-1</sup> de Mo y de 2-3 g ha<sup>-1</sup> de Co (EMBRAPA, 2003).

Una alternativa a la aplicación de Cu vía fertilización, es proporcionarlo con el tratamiento de la semilla en dosis de 3 kg de CuO cada 80 kg de grano de soja (Galvão, 2002).

## 5. La exitosa experiencia brasilera con micronutrientes

El éxito del uso de micronutrientes en Brasil es avalado por:

1. Mejoría en el nivel de micronutrientes en las muestras de suelo,
2. Creciente consumo de micronutrientes por la agricultura brasilera,
3. Balance positivos (entrada-salida) en el suelo, y
4. Constante aumento de la productividad agrícola brasilera.

### 5.1. Mejor nivel de micronutrientes en muestras de suelo

La Fundación MT en el año 2002, realizó un estudio con 2770 muestras de suelo extraídas de 0-20 cm de profundidad en establecimientos agrícolas. El análisis químico mostró que 56,7%, 80,1% y 87,9% de las muestras ya habían alcanzado altos niveles de Cu, Zn, Mn, respectivamente (Tabla 16); cuando originalmente el 95%, 70% y 37% de las muestras tenían deficiencias de Zn, Cu y Mn, respectivamente, según lo observado por Lopes (Tabla 2). La excepción a esto fue el B, con sólo 8,3% dentro de un nivel elevado. Esta discrepancia, tal vez, sugiera la necesidad de estudio de un mejor extractante para B en el suelo que el de agua caliente.

**Tabla 16.** Contenido de micronutrientes en 2770 muestras de suelo extraídas por la Fundación MT (Zancanaro L., comunicación personal, 2004).

Nivel	B	Cu	Mn	Zn
	----- % del total -----			
Bajo	61.7	15.1	2.3	11.4
Medio	30.0	28.2	9.8	8.5
Alto	8.3	56.7	87.9	80.1
Valores medios (ppm)	0.3-0.5	0.5-0.8	2.0-5.0	1.1-1.6

## 5.2. Aumento en el consumo de micronutrientes en la agricultura brasilera

Otra forma de explicar el fenómeno ocurrido en Brasil con los micronutrientes es por la demanda por parte de los productores, como se ve en la Tabla 17, en donde se observa que el consumo de micronutrientes aumentó 13,3 veces durante el periodo 1990-2003. Durante el 2003, el consumo a nivel país fue de 400000 t de productos con micronutrientes, equivalentes a 3600 t de B, 2000 t de Cu, 18000 t de Zn, 12000 t de Mn y 360 t de Mo.

**Tabla 17.** Consumo estimado de productos con micronutrientes y elementos en la agricultura brasilera.

Año	Producto	B	Cu	Zn	Mn	Mo
	----- t -----					
1990	30000	270	150	1,350	900	-
1996	85000	765	425	3,825	2,550	-
1998	120000	1,080	600	5,400	3,600	-
2000	180000	1,620	900	8,100	5,400	-
2002	300000	2,700	1,500	13,500	9,000	-
2003	400000	3,600	2,000	18,000	12,000	360

Fuente: Estimación hecha con información de 18 empresas productoras de micronutrientes.

Un cálculo de las necesidades potenciales de micronutrientes en un área de 50000 ha en Brasil, basado en las dosis medias de la Tabla 15 (para 1 año), muestran un mercado potencial de 10000 t de B, 15000 t de Cu, 40000 t de Mn y 50000 de Zn.

Información suministrada por la industria indica que cerca del 85% del total de micronutrientes son vendidos en forma granulada. En términos de solubilidad, algunas empresas trabajan con productos de alta solubilidad en agua, como por ejemplo, 70% para Zn, 90% para B, 100% para Cu y 75% para Mn. Estos productos representan el 20% del total del mercado. La solubilidad media en agua de los productos denominados de "alta solubilidad" es cercana al 50%.

En la Tabla 18 se muestra el consumo de fertilizantes en algunos cultivos seleccionados durante el año 2003. Se observa que la soja con el 37% del total, es el cultivo más importante en la agricultura brasilera para la industria del NPK y los

micronutrientes. Otros cultivos importantes en cuanto al uso de micronutrientes son algodón, café, cítricos y maíz.

**Tabla 18.** Entrega de fertilizantes por la industria para diferentes cultivos, durante el año 2003. Brasil (ANDA, 2004).

Cultivo	Miles de t de producto	% del total
Soja	8,165	37,0
Maíz	3,898	17,6
Caña de azúcar	2,640	12,0
Café	1,320	6,0
Algodón	931	4,2
Arroz	747	3,4
Trigo	690	3,1
Poroto seco	568	2,6
Cítrico	383	1,7
Otros	2,753	12,4
Total	22,095	100,0

Los fertilizantes foliares con micronutrientes son comercializados por 81 industrias, con una venta total de 41 millones de litros por valor de 77 millones de U\$S durante el 2002. Los principales mercados para los cultivos y las principales formulaciones comercializadas durante el 2002, se hallan en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Principales cultivos y formulaciones usados en fertilización foliar en Brasil durante el 2002.

Cultivos	Cantidad vendida		Principales formulaciones
	Miles de L	% del total	
Soja	20000	45.0	Mo 15%, Co 1% Mn 14% Mn 6%, Zn 2%, B 0.5%, Cu 1%
Cítricos	12800	28.0	Zn 21% Mn 14% Zn 9%, Mn 3%, B 1%
Poroto Seco	3000	7.0	Ca 8%, B 2% Ca 14% NPK + Micros
Café	1800	4.3	Zn 21% B 10% Zn 6%, B 1.5%, Mg 3%
Algodón	1500	3.3	B 10% Ca 8%, B 2% Mn 5%, Zn 3%, Cu 1%
Maíz	2500	5.5	Zn 7% Zn 3.5%, Mn 3.5%

Vegetales	2000	4.4	Ca 8%, B 2%
-----------	------	-----	-------------

Fuente: Información proveniente de 81 compañías que comercializan fertilizantes foliares.

### 5.3. Balance (entrada-salida) positivo de nutrientes en la agricultura brasilera

Para realizar el balance a nivel nacional durante el periodo 2003, se considera como entrada a los micronutrientes contenidos en los fertilizantes específicos, y también a los contenidos en las enmiendas cálcicas o en el yeso, y en los fertilizantes fosfatados. En la Tabla 20 se observa una estimación de la cantidad de micronutrientes en el calcáreo y en el yeso, realizada en base al contenido medio en esos productos, que luego es multiplicada por el consumo durante el 2003, una cantidad de 27,5 y 1,5 millones de t de calcáreo y yeso, respectivamente. En la Tabla 23 se halla la cantidad estimada total de micronutrientes provenientes de fertilizantes fosfatados producidos e importados por Brasil durante el 2003. La estimación se calculó en base a la Tabla 21, donde figura el contenido medio de micronutrientes presente en los fertilizantes fosfatados, multiplicado por la Tabla 22 que es la producción local e importación de fertilizantes fosfatados durante el 2003 en Brasil. Por último, en la Tabla 24 se encuentra la cantidad total de micronutrientes aportada por las enmiendas, más los fertilizantes fosfatados para Brasil durante el año 2003.

**Tabla 20.** Contenido medio de micronutrientes en enmiendas de suelo, usadas en Brasil (Malavolta, 1994).

Elemento	Cal	Yeso
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----	
B	30	3
Co	25	2
Cu	26	8
Fe	4.6	670
Mn	334	15
Mo	1	16
Ni	19	2
Zn	46	9

**Tabla 21.** Contenido medio de micronutrientes en fertilizantes fosfatados. (Malavolta, 1994).

Elementos	FDA	FMA	SFS	SFT	Termo P
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
B	100	100	30	110	6
Co	11	3	4	2	-
Cu	7	7	20	120	44
Fe			6565	38410	
Mn	235	90	155	300	2220
Mo	11	14	3	9	7
Ni			38	24	3300
Zn	122		78	810	374

FDA= Fosfato diamónico; FMA= Fosfato monoamónico; SFS= Superfosfato simple; SFT= Superfosfato triple; Termo P= Termofosfatos.

**Tabla 22.** Producción local e importación de fertilizantes fosfatados de Brasil durante el 2003 (ANDA, 2004).

Productos	Producción	Importación	Total
	----- miles de t -----		
FDA	5	279	284
FMA	1000	1901	2901
SFS	5100	342	5442
SFT	500	871	1371
Termo P	160	-	160

**Tabla 23.** Cantidad total estimada de micronutrientes en los fertilizantes fosfatados producidos e importados por Brasil durante el año 2003.

Elementos	FDA	FMA	SFS	SFT	Thermo P
	----- t -----				
B	28.4	290.1	163.3	150.8	1.0
Co	3.1	8.7	21.8	2.7	0.0
Cu	2.0	20.3	108.8	164.5	7.0
Fe	0.0	0.0	35,726.7	52,660.1	0.0
Mn	66.7	261.1	843.5	411.4	355.2
Mo	3.1	40.6	16.3	12.3	1.1
Ni	0.0	0.0	206.8	32.9	528.0
Zn	34.6	0.0	424.5	1,110.5	59.8

**Tabla 24.** Entrada anual de micronutrientes por enmiendas y fertilizantes fosfatados en la agricultura brasilera durante el año 2003.

Elementos	Cal <sup>(1)</sup>	Yeso <sup>(2)</sup>	Fertilizantes fosfatados	Total
	----- t del elemento-----			
B	825	4.5	633	1463
Co	687	3.0	36.3	726
Cu	715	12.0	302	1029
Fe	126472	1005	88386	215864
Mn	9185	22.5	1937	11145
Mo	27.5	24.0	73.5	125
Ni	522	3.0	767.7	1293
Zn	1265	13.5	1629	2908

<sup>(1)</sup> Cal = 27.5 millones t, <sup>(2)</sup> Yeso = 1.5 millones t.

La estimación de la salida de micronutrientes correspondió a la exportación total de micronutrientes por la agricultura brasilera, que fue calculada multiplicando el contenido de micronutrientes de los productos cosechados (Tabla 25) por la producción de cultivos durante el año 2003 (Tabla 26). Finalmente en la Tabla 27 se halla el balance (entrada – salida), mostrando los resultados positivos para todos los micronutrientes. Vale la pena destacar la importancia de la contribución tanto de la cal como de fertilizantes fosfatados como fuentes de micronutrientes, correspondiendo al 50,4% en B, 48,5% de Cu, 160,6% de Mn, 46,2 de Mo y 42% de Zn extraído en la cosecha.

**Tabla 25.** Contenido de micronutrientes en productos cosechados (adaptado de varias citas por Yamada y Lopes, 1999).

Cultivo	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	----- g t <sup>-1</sup> -----					
Algodón	33.0	10.0	243.0	14.6	0.1	12.3
Arroz	4.4	6.3	60.9	25.2	0.1	40.9
Mandioca	1.8	0.8	24.0	1.6	0.0	4.6
Cacao	12.0	16.0	80.0	28.0	0.0	47.0
Café	25.0	16.5	105.0	25.0	0.0	39.3
Caña de azúcar	2.0	1.8	25.0	12.0	0.0	5.0
Cítricos	2.2	1.2	6.6	2.8	0.0	0.9
Maíz	1.5	8.0	40.0	8.0	1.0	40.0
Papa	2.0	2.0	20.0	20.0	1.0	4.0
Poroto seco	70.0	10.0	0.0	17.0	1.0	30.0
Soja	30.0	15.0	100.0	20.0	3.0	42.5
Trigo	3.0	8.0	50.0	55.0	0.0	17.0

**Tabla 26.** Cantidad total de micronutrientes exportados por los principales cultivos en Brasil, año 2003.

Cultivo	Superficie	Producción <sup>1</sup>	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	Miles ha	Miles t	----- Extracción (t) -----					
Algodón	709	2195	72.4	22.0	533	32.0	0.3	27.0
Arroz	3149	10199	44.9	64.3	621	257	1.6	417
Cacao	581	171	2.1	2.7	13.7	4.8	0.0	8.0
Café	2405	1970	49.3	32.5	206	49.3	0.0	77.4
Caña de azúcar	5342.8	387130	774	696	9678	4645	7.7	1935
Cítricos	820	16936	37.3	20.3	111	47.4	0.1	15.2
Maíz	12935	47809	71.7	382	1912	382	47.8	1912
Mandioca	731	22236	40.0	17.8	533	35.6	0.0	102.3
Poroto seco	4113	3310	231	33.1	0.0	56.3	3.3	99.3
Papa	149	3070	6.1	6.1	61.4	61.4	3.1	12.3
Soja	18469	51532	1546	773	5153	1030	154.6	2190
Trigo	2488	5900	17.7	47.2	295	324	0.0	100
Total	51896		2893	2098	19120	6926	218	6897

<sup>1</sup> Fte: IBGE. Disponible en <http://www.ibge.gov.br>

**Tabla 27.** Balance de micronutrientes en la agricultura brasilera, año 2003.

Item	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	----- t de elemento -----					
Entrada de Fertilizante <sup>1</sup>	3600	2000		12000	360	18000
En calcárea	825	715	12647	9185	27.5	1265
En yeso	4.5	12	1005	22.5	24.0	13.5
En Fertilizantes fosfatados	633	302	88386	1937	73.5	1629
Total de entradas	5063	3029	89391	23145	485	20908
Total de salidas	2893	2098	19120	6926	218	6897
Balance	2169	931	70271	16218	266	14010

<sup>1</sup> con micrnutrientes

#### 5.4. Aumento constante de los rendimientos en la agricultura brasilera

En los últimos 13 años, la producción de granos en la agricultura brasilera aumentó un 112%, correspondiendo solamente un 22% de aumento en la superficie (Figura 9). La principal causa del aumento de la producción de granos en Brasil fue el incremento en rendimiento. Entre los factores responsables de este hecho se menciona a la mejora genética, la fertilización balanceada (consumo de macronutrientes aumentó 2.7 veces y el de micronutrientes 13.3) y un mejor manejo de los cultivos.

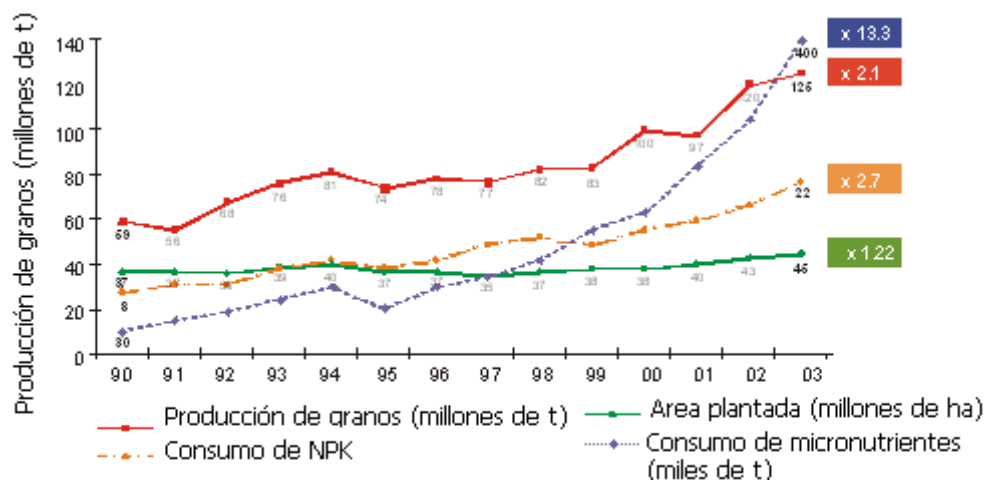


Figura 9. Evolución de la producción y el área sembrada con granos; y el consumo de NPK y micronutrientes en el periodo 1990-2003 en Brasil (Fuente: IBGE/ANDA).

#### 6. Conclusiones

- El consumo de micronutrientes en la agricultura brasilera presenta un aumento constante en las últimas dos décadas, permitiendo un balance positivo, mejorando a la vez la fertilidad de los suelos y promoviendo un espectacular aumento en la producción de cultivos a través de una mayor productividad por ha.
- A pesar del incremento en producción y rendimiento, serán necesarios estudios adicionales, principalmente en:
  1. Mejorar la calibración para la recomendación de micronutrientes;
  2. Efectos de los micronutrientes en la incidencia de plagas y enfermedades;
  3. Efectos de los micronutrientes en la salud humana y animal;
  4. Efectos de los herbicidas en la nutrición mineral de las plantas.

#### Agradecimientos

Agradezco a los colegas de la industria de fertilizantes, que gentilmente cedieron sus datos de consumo de micronutrientes en Brasil.

#### Referencias

ANDA. 2004. Mercado de fertilizantes – panorama atual e perspectivas do 1o trimestre de 2004. São Paulo, Jan. 2004.

BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F. 1988. (Ed). Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina: EMBRAPA Soja/IAPAR/SBCS, 317 p.

Borkert, C.M.; Yorinori, J.T.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; ALMEIDA, A.M.R.; FERREIRA, L.P.; SFREDO, G.J. 1994. Seja o Doutor da sua Soja. Arquivo do Agrônomo Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 66, junho. 16 p.

CAMPO, R.J.; HUNGRIA, M. 2002. Importância dos micronutrientes na fixação biológica do N<sub>2</sub>. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 98, p. 6-9.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. de. 1995. Seja o Doutor do seu Milho. Arquivo do Agrônomo. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 71, setembro. 24 p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. 1994. Recomendações de adubação e calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3 ed. Passo Fundo: Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC, SBCS, Núcleo Regional Sul, 224 p.

EMBRAPA. 2003. Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2004. Londrina: EMBRAPA Soja/EPAMIG/Fundação Triângulo, p. 76.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. & CLARK, R.B. 2002. Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy, v.77, p. 185-268.

FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. 1991. (Ed.). Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 734 p.

FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da; RAIJ, B. van & ABREU, C.A. de 2001. (Ed.). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 600 p.

FUNDAÇÃO MT. 1999. PMA Report. Soja safra 97-98: Calibração dos teores de zinco, manganês, cobre e boro em função de diferentes níveis de correção de acidez do solo. Rondonópolis, 21 p.

GALRÃO, E.Z. 1984. Efeito de micronutrientes e do cobalto na produção e composição química do arroz, milho e soja em solo de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 8, p. 111-116.

GALRÃO, E.Z. 2002. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G. de & LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina-DF: EMBRAPA Cerrados, p. 185-226.

HIROCE, R.; GALLO, J.R. & NOBREGA, S. de A. 1971. Deficiência de boro em batatinha cultivada em solo orgânico do Vale do Paraíba. Bragantia, v.30, p. v-vii.

IBGE. Disponible in <<http://www.ibge.gov.br>>.

LOPES, A.S.; ABREU, C.A. 2000. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). Tópicos em Ciência do Solo, v. 1, p. 265-298.

MALAVOLTA, E. 1994. Fertilizantes e seu impacto ambiental: Micronutrientes e metais pesados, Mitos, mistificação e fatos. São Paulo: Produquímica, 153 p.

MALAVOLTA, E.; PRATES, H.S.; CASALE, H.; LEÃO, H.C. de. 1994. Seja o Doutor do seu Citros. Arquivo do Agrônomo Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 65, março 22 p.

MARINHO, M.L. 1988. Respostas das culturas aos micronutrientes ferro, manganês e cobre. In: BORKERT, C.M. & LANTMANN, A.F. (Ed.). Anais do Simpósio Enxofre e Micronutrientes na Agricultura. Londrina: EMBRAPA Soja, IAPAR, SBCS, p. 239-264.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. 1994. Seja o Doutor do seu Canavial. Arquivo do Agrônomo. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 67, setembro 12 p.

QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. da & BERTON, R.S. 1991. Culturas Oleaginosas. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. da (Ed.). Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, p. 445-484.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. 1996. (Ed.) Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico-Fundação IAC, 285 p.

REIS Jr., R.A. 2004. Resultados de pesquisa em fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas – safra 2002/2003. Informativo da Fundação Chapadão, Chapadão do Sul, p. 5, janeiro .

RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z. & YOST, R.S. 1986. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 21, n. 3, p. 215-225, 1986.

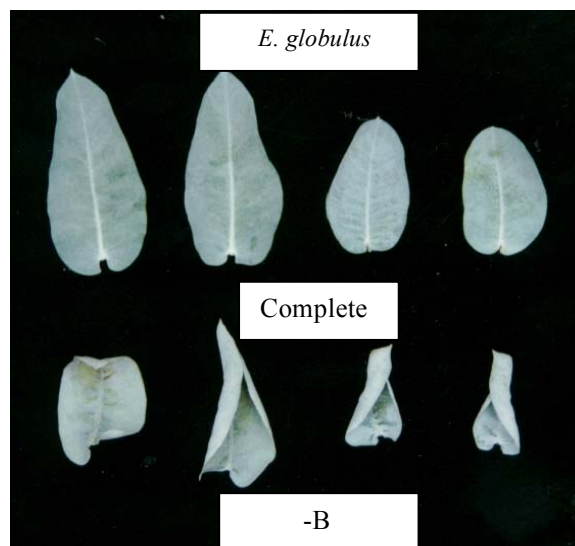
RÖMHELD, V. 2003. Slides of the international course on plant nutrition. Hohenheim University.

SILVA, N.M. da. 1983. Acidez do solo e calagem para algodoeiro. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da (Coord.). Acidez e calagem no Brasil. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 259-276.

SILVA, N.M. da.; CARVALHO, L.H.; CIA, E.; FUZZATTO, M.G.; CHIAVEGATO, E.J.; ALLEONI, L.R.F. Seja o Doutor do seu Algodoeiro. Arquivo do Agrônomo. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 69, março 1995. 24 p.

SILVEIRA, R.L.V. de A.; HIGASHI, E.N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M.R.A. 2001. Seja o Doutor do seu Eucalipto. Arquivo do Agrônomo. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 93, março. 32 p.

YAMADA, T. & LOPES, A.S. 1999. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira.



In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.G. (Ed.). Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Lavras: SBCS/UFLA/DCS, p. 143-161.



*Eucalyptus*: Plantas con deficiencia de B se quiebran fácilmente (Silveira et al., 2001).



*Eucalyptus*: Deficiencia de B causa pérdida de dominancia apical y aparición de múltiples brotes (Silveira et al., 2001).



Café: Deficiencia de B (derecha) causa la muerte de yema terminal y brotes múltiples (Malavolta et al.,



Algodón: oscurecimiento interno en la base del fruto (Silva et al., 1995).



**Figura 2.** Síntomas de deficiencia en Boro (B).

Deficiencia de Cu en caña de azúcar: hojas encorvadas (Orlando Filho et al., 1994).



Deficiencia de Cu en café: hojas curvadas hacia abajo



Deficiencia de Fe en caña de azúcar: clorosis uniforme en las hojas (Orlando Filho et al., 1994).



Deficiencia de Fe en café: clorosis uniforme en las hojas (Malavolta et al., 1993).



Deficiencia de Mn en maíz: clorosis internerval (Coelho et al., 1995).



Deficiencia de Mn en soja: clorosis internerval (Borkert et al., 1995).





Deficiencia de Zn en soja: clorosis internerval  
(Borkert et al. 1994)



Deficiencia de Zn en café: internodios cortos,  
hojas jóvenes se estrechan (Malavolta et al.,



Deficiencia de Mo en soja: clorosis generalizada  
reflejando deficiencias de N (Borkert et al.,



Deficiencia de Mo en café: manchas amarillas  
entre nervaduras secundarias, márgenes

**Figura 4.** Síntomas de deficiencia en cinc (Zn) y molibdeno (Mo)