

# Fertilización y Nutrición

Rafael Quintero Durán\*

## Ecología del Cultivo

### Clima

La caña de azúcar se adapta a un amplio rango de condiciones climáticas; pero se desarrolla mejor en regiones tropicales cálidas con amplia radiación solar (Humbert, 1974; De Geus, 1967). La temperatura óptima para el desarrollo de la caña de azúcar oscila entre 25 y 28 °C. Las altas temperaturas, conjuntamente con altas humedades en el suelo y en el aire, favorecen el desarrollo vegetativo, mientras que el ambiente seco y caliente promueve la maduración de la planta (De Geus, 1967).

En la zona azucarera del valle geográfico del río Cauca, los requerimientos totales de agua de la caña de azúcar, desde la siembra hasta la cosecha a los 13 meses, varían entre 843 y 1354 mm con un promedio de 1118 mm para la variedad CP 57-603, y entre 924 y 1439 mm con un promedio de 1175 mm para la variedad POJ 2878 (Yang y Torres, 1984). Por lo tanto, en zonas con precipitación anual baja y con distribución irregular, es necesario aplicar riegos suplementarios.

### Suelos

La caña de azúcar crece bien en diferentes tipos de suelos, pero prefiere los francos o franco-arcillosos, bien drenados y profundos. El pH óptimo para su desarrollo es de 6.5 (ligera y ácida), aunque tolera suelos ácidos hasta alcalinos (Blackburn, 1984). Con un pH próximo o menor de 4.5, la acidez del suelo limita la producción, principalmente por la presencia de aluminio intercambiable y de algunos micronutrientes como hierro y manganeso que pueden ocasionar toxicidad y muerte de la planta.

Es necesario mencionar que los requerimientos de clima y suelo difieren de acuerdo con las variedades de caña y el manejo de éstas (Blackburn, 1984).

### Características de los suelos del valle geográfico del río Cauca

La industria azucarera de Colombia está localizada principalmente en la parte plana del valle geográfico del río Cauca, cuya extensión aproximada es de 375,000 ha, de las cuales 185,000 se dedican a la producción de caña de azúcar. De acuerdo con el estudio de suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), en esta región hay

---

\* Rafael Quintero es Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Edafólogo de CENICAÑA, Apartado Aéreo 9138, Cali, Colombia.

84 series de suelos de los órdenes Mollisol, Inceptisol, Vertisol, Entisol, Alfisol y Ultisol, que corresponden, respectivamente, a los porcentajes siguientes: 36, 26, 21, 10, 5 y 1 del área total (IGAC, 1980).

Los suelos de la parte plana son, en su mayoría, aluviales, y algunos de los del piedemonte son de origen coluvio-aluviales. En general, predominan los suelos franco-arcillosos con pH entre 5.5 y 7.0, contenidos de materia orgánica entre 2% y 4%, fósforo disponible superiores a 10 (mg/kg) (mg/kg = ppm) (Bray 2) y contenidos de potasio intercambiable superiores a 0.20 cmol/kg (1 cmol/kg = 1 meq/100 g) de suelo. La relación de Ca/Mg intercambiables es adecuada y los contenidos de estos nutrimentos en el suelo son altos.

### **Extracción de nutrimentos**

Las plantas absorben los elementos minerales de las proximidades de las raíces; no obstante, la presencia de un elemento en particular en un cultivo determinado no es una prueba para considerarlo esencial para el desarrollo de dicho cultivo. Existen 16 elementos nutritivos esenciales para la caña de azúcar: el carbono, el hidrógeno y el oxígeno no son minerales y la planta los toma del bióxido de carbono y del agua (Tisdale y Nelson, 1966). Los nutrimentos restantes son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Los micronutrimentos son: boro, cinc, cloro, cobre, hierro, manganeso y molibdeno; estos últimos, aunque son necesarios para el normal desarrollo de la planta, se requieren en cantidades muy pequeñas.

La cantidad de nutrimentos que extrae un cultivo es diferente de acuerdo con la variedad, el tipo de suelo, las condiciones de clima y el manejo del cultivo. El conocimiento de los requerimientos de los cultivos es una ayuda valiosa en la ejecución de programas de fertilización, si se toma como base el resultado del análisis de fertilidad del suelo y de sus características físicas más importantes. Cuéllar et al. (citados por Martín et al., 1987) encontraron que la extracción de nutrimentos por cuatro variedades de caña de azúcar en tres tipos de suelos, varió entre 0.44 y 1.15 kg de N, 0.11 y 0.30 kg de P, y 0.77 y 2.19 kg de K por tonelada de tallos maduros cosechados. Fauconnier y Bassereau (1975) encontraron que en los tallos la extracción de nutrimentos fue: 0.72 kg de N, 0.18 kg de P, 1.22 kg de K, 0.12 kg de Ca, 0.20 kg de Mg y 0.27 kg de S, mientras que en los cogollos y en las hojas secas la extracción fue: 1.15 kg de N, 1.39 kg de P, 1.18 kg de K, 0.68 kg de Ca, 0.32 kg de Mg y 0.16 kg de S por tonelada de caña industrial.

Malavolta (1992) observó que por cada 100 toneladas de tallos de caña, la planta extrae entre 178 y 238 g de B, 138 y 271 g de Cu, 1486 y 6189 g de Fe, 758 y 1509 g de Mn, y 387 y 479 g de Zn. Estas cantidades corresponden a plantillas establecidas en tres tipos de suelos. La extracción de micronutrimentos en este estado es superior a la de las socas.

En un Inceptisol del valle geográfico del río Cauca se encontró que por cada 100 toneladas de tallos listos para molienda, la variedad CENICANA Colombia (CC) 83-25 produjo 25 toneladas de hojas y 15 toneladas de yaguas. Con base en el análisis de cada uno de estos componentes de la planta, se estimó que la

extracción total de nutrimentos (en kilogramos) por cada tonelada de tallos que se cosechó, fue: N = 1.53, P = 0.43, K = 2.85, Ca = 1.15 y Mg = 0.43. Debido a la descomposición paulatina de las hojas y las yaguas que permanecen en el campo como residuos de cosecha, la extracción real de nutrimentos por cada tonelada de tallos fue: 0.70, 0.22, 1.38, 0.19 y 0.20 kg de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Estas diferencias entre las extracciones total y real de nutrimentos por la planta de caña, indican la importancia del manejo de los residuos de cosecha, no solamente por sus contenidos de nutrimentos, sino también por sus efectos en las condiciones físicas de los suelos.

## **Nitrógeno**

El nitrógeno es un componente esencial de las células vivas y se encuentra principalmente en las partes jóvenes de la planta en estado de crecimiento (Millar, 1964; Millar et al., 1978). La planta lo absorbe por las raíces o por las hojas en forma de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  (Russell y Russell, 1968); una vez dentro de la planta, se reduce y transforma en carbohidratos y, finalmente, en proteínas. Además de su importancia para la formación de carbohidratos y proteínas, el nitrógeno es un constituyente esencial de la molécula de clorofila (Tisdale y Nelson, 1966); por lo tanto, influye en la coloración del follaje y en el tamaño de las cepas de la caña de azúcar.

### **Deficiencia de nitrógeno**

La deficiencia de nitrógeno en la planta se manifiesta por la presencia de una coloración verde amarilla, especialmente en las hojas inferiores; cuando la deficiencia es severa, las puntas de las hojas se secan y este secamiento avanza hacia la parte media de la hoja por la nervadura central. Se observa también escaso desarrollo de las cepas y escaso número de tallos por metro lineal.

### **Requerimientos de nitrógeno**

Los experimentos realizados en el valle geográfico del río Cauca sobre fertilización de la caña de azúcar, permiten establecer que el nitrógeno es el nutrimento que más limita la producción de este cultivo, y que los requerimientos varían con el tipo de suelo, el número de cortes y la variedad utilizada.

Las principales características del suelo que influyen en la aplicación de nitrógeno son: el contenido de materia orgánica (M.O.), el drenaje y la profundidad del nivel freático. Los mayores requerimientos de este nutrimento se han encontrado en suelos con bajo contenido de M.O., muy pobremente drenados y con niveles freáticos muy superficiales en algunas épocas del año. Para las condiciones climáticas predominantes en la zona azucarera del valle geográfico del río Cauca, se han establecido tres categorías de suelo, según el contenido de M.O.:

Categoría de suelo	Contenido de M.O. (%)
Baja	Menor de 2
Mediana	Entre 2 y 4
Alta	Mayor de 4

Estas categorías están relacionadas con la probabilidad de obtener respuesta a las aplicaciones de nitrógeno, así, a menor contenido de M.O. mayor será la respuesta a la aplicación de N. Una vez determinada la dosis, ésta se puede aumentar si el suelo presenta limitaciones por mal drenaje y nivel freático superficial.

En el Cuadro 1 se presentan las recomendaciones de nitrógeno para plantilla y socas, cultivadas en las condiciones ecológicas del valle geográfico del río Cauca. Estas recomendaciones están sujetas a modificaciones de acuerdo con los resultados de las nuevas investigaciones sobre los requerimientos de nitrógeno del cultivo.

En la plantilla o primer corte generalmente se recomiendan entre 40 y 140 kg/ha de nitrógeno; no obstante, en algunos ensayos realizados en suelos con contenidos relativamente altos de M.O. y bien drenados, no se ha encontrado respuesta a la aplicación de nitrógeno en la plantilla. En los cortes posteriores (socas) es necesario aplicar mayores cantidades de nitrógeno que en la plantilla; en este caso, las dosis varían entre 75 y 200 kg/ha (Figura 1). El incremento en los requerimientos de fertilizantes nitrogenados se debe a la disminución en el aporte de nitrógeno por la M.O., como consecuencia de la compactación del suelo resultante de las labores de cosecha, lo cual afecta el proceso de nitrificación.

Entre las variedades de caña cultivadas es posible observar diferencias en el contenido de nitrógeno y, especialmente, en la relación nitrógeno/potasio del tejido foliar, lo que sugiere la inconveniencia de aplicar en todas las variedades dosis similares de nitrógeno. Algunas variedades desarrolladas por CENICAÑA, entre ellas: CC 83-25 y 84-75, presentan alto contenido de nitrógeno foliar y una coloración verde-oscura en su follaje, lo cual puede indicar que estas variedades

Cuadro 1. **Cantidades de nitrógeno (kg/ha)<sup>a</sup> que se recomienda aplicar en plantilla (P) y en soca (S) de caña de azúcar en suelos de la parte plana del valle geográfico del río Cauca, según el contenido de M.O. y del drenaje del suelo (primera aproximación).**

M.O. en el suelo (%)	Drenaje del suelo					
	Bueno		Pobre		Muy pobre	
	P	S	P	S	P	S
< 2	80	125	100	150	120	175
2 - 4	60	100	80	125	100	150
> 4	40	75	60	100	80	125

a. En suelos con niveles freático superficial, la dosis de nitrógeno se debe aumentar en 20 kg/ha.

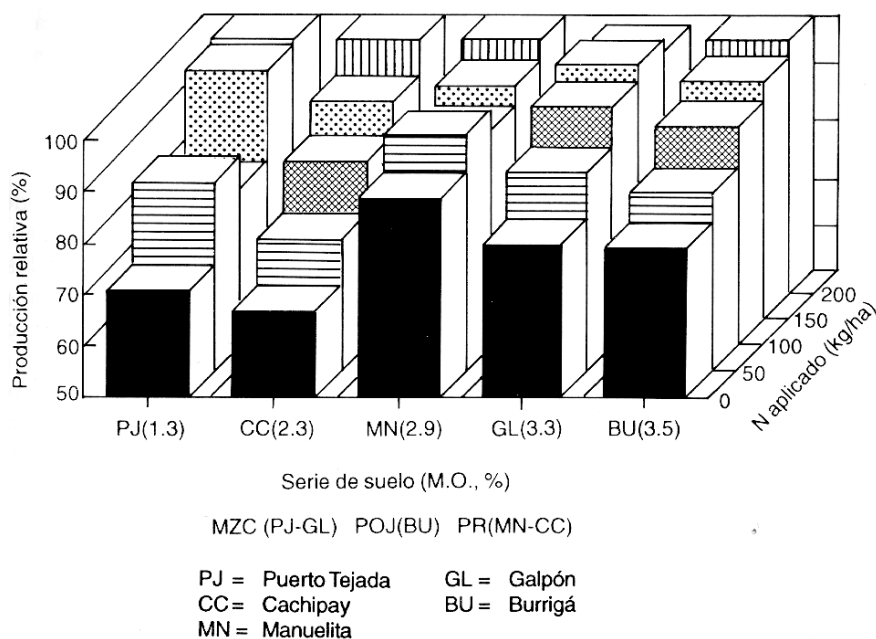


Figura 1. Producciones relativas de la segunda soca de las variedades de caña MZC 74-275, POJ 2878 y PR 61-632, cultivadas con diferentes dosis de nitrógeno en series de suelos con contenidos variables de M.O. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.

tienen una alta capacidad para absorber este nutrimento; por lo tanto, las dosis de nitrógeno consideradas adecuadas para otras variedades pueden retrasar el proceso de maduración y disminuir la concentración de sacarosa del jugo de las variedades antes mencionadas.

En general, la aplicación de nitrógeno en el suelo aumenta el contenido de este nutrimento y disminuye el de potasio en el tejido de la lámina foliar; igualmente, disminuye el contenido de sacarosa en los tallos; sin embargo, en los suelos que tienen una alta respuesta a la aplicación de nitrógeno —Vertic Tropaquent y Vertic Tropic Fluvaquent— las aplicaciones de éste aumentan la concentración de sacarosa en los tallos de la planta.

Se ha encontrado que el contenido de nitrógeno en las hojas de plantas de 3 meses de edad se correlaciona de manera significativa con las producciones de caña y de azúcar, lo que permite establecer niveles críticos a edades tempranas para corregir en forma oportuna una posible deficiencia de este elemento.

Las fuentes de nitrógeno más utilizadas son la urea (46% de N), el sulfato de amonio (21% de N), el amoníaco anhidro (82% de N) y el fosfato diamónico o DAP (18% de N y 20% de P). Los ensayos con las variedades de caña CP 72-356 y MZC 74-275, realizados en Vertisoles, Inceptisoles y Mollisoles, indican que la

respuesta a nitrógeno es similar, independiente de la fuente utilizada. En consecuencia, la aplicación de una fuente determinada dependerá, principalmente, de las ventajas económicas que ofrezca.

### **Epoca de aplicación de nitrógeno**

La época de aplicación es otro aspecto importante en el manejo de la fertilización nitrogenada. Los resultados experimentales obtenidos en suelos franco-arcillo-arenosos y arcillosos mostraron diferencias entre variedades en relación con la respuesta a la época más apropiada para la aplicación de este nutrimento. Con las variedades MZC 74-275 y POJ 2878, las mayores producciones de caña y de azúcar se obtuvieron cuando el nitrógeno se aplicó en una sola dosis 30 días después de la siembra o del corte, mientras que con la variedad PR 61-632 los mejores resultados se obtuvieron cuando el nutrimento se aplicó fraccionado en partes iguales a los 60 y 120 días después de la siembra o del corte. El comportamiento diferente de la variedad PR 61-632 se explica por su lento desarrollo, ya que su máximo crecimiento ocurre en una época más tardía que en las variedades anteriores. En estos ensayos se encontró que el nitrógeno fue menos eficiente cuando se aplicó en el suelo al momento de la siembra o del corte. Con respecto al efecto en la concentración de sacarosa, los contenidos más bajos en el jugo correspondieron a las aplicaciones fraccionadas de N a los 60 y 120 días después de la siembra o del corte. En las investigaciones mencionadas, las aplicaciones de N se hicieron en banda e inmediatamente este nutrimento se incorporó en el suelo, pero cuando la aplicación se hizo a los 120 días de edad, el fertilizante se colocó en la superficie y no se tapó para simular la aplicación comercial.

### **Fósforo**

El fósforo, al igual que el nitrógeno y el potasio, se considera un nutrimento primario. Las plantas lo absorben principalmente en la forma de  $H_2PO_4^-$  y en menor proporción como  $HPO_4^{2-}$  (Tisdale y Nelson, 1966). Es un constituyente importante de los ácidos nucleicos, de los fosfolípidos y del adenosin trifosfato (ATP). Este último compuesto es importante para los procesos metabólicos que requieren energía. Además es esencial para la síntesis de la clorofila y está íntimamente relacionado con la formación de la sacarosa.

#### **Deficiencia de fósforo**

La deficiencia de fósforo reduce el macollamiento y el desarrollo de la planta, a la vez que origina raíces anormales de color marrón (Wardle, 1968; Humbert, 1974). En la variedad MZC 74-275 es común encontrar manchas de color púrpura en las hojas inferiores, cuando se cultiva en suelos deficientes en fósforo. Por otra parte, un exceso de este nutrimento puede perjudicar el crecimiento de las plantas, ya que induce deficiencias de micronutrientes como cinc y hierro.

### Requerimientos de fósforo

En la zona azucarera del valle geográfico del río Cauca, la respuesta de la caña a la aplicación de fósforo ha sido escasa, contrario a lo encontrado con la aplicación de nitrógeno. Los resultados de las investigaciones sólo mostraron una ligera tendencia a incrementar la producción de caña y de azúcar cuando este nutrimento se aplicó en un suelo Vertic Tropaquept con 0.9 mg/kg (mg/kg = ppm) (Bray 2) de fósforo disponible.

Aunque en algunos suelos se han observado incrementos en el contenido de fósforo en las hojas de la caña, como resultado de la aplicación de este nutrimento, no se ha encontrado relación entre estos contenidos foliares y la producción de caña/ha.

Varios investigadores han encontrado relaciones significativas entre el contenido de fósforo disponible en el suelo y el contenido de fosfatos en los jugos de la planta; sin embargo, en suelos del valle geográfico del río Cauca es posible encontrar en jugos de la primera extracción de cultivos de caña, contenidos de fosfatos y almidones que varían entre bajos y altos, independientemente de la disponibilidad de P en el suelo (Figura 2). Por otra parte, no se ha encontrado una relación definida entre el aumento de los fosfatos en el jugo de la planta y la aplicación de fósforo en el suelo; lo anterior se observó en una serie de experimentos en diferentes suelos, donde sólo en un Typic Pellustert de la serie Esneda con 7 mg/kg (Bray 2) se encontró que los fosfatos del jugo de la planta aumentaron ligeramente al incrementar la dosis de fósforo aplicada; no obstante, con la dosis máxima de 66 kg/ha de P, el contenido de fosfatos en el jugo fue de 236 mg/kg, el

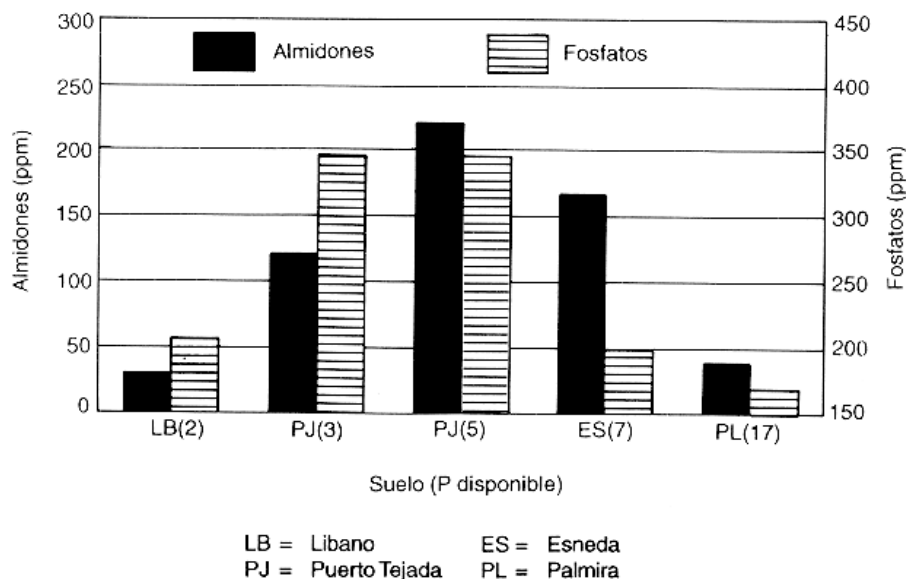


Figura 2. Variación en los contenidos de almidones y fosfatos en el jugo de la plantilla de la variedad de caña MZC 74-275 en relación con los contenidos de fósforo disponible (Bray 2) en varias series de suelo. Valle geográfico del río Cauca, Colombia.

cual se considera bajo. Lo anterior sugiere que en estas condiciones es, quizá, más conveniente aplicar ácido fosfórico durante el proceso de clarificación de los jugos —especialmente cuando se presentan contenidos altos de almidones (> 100 mg/kg) y bajos de fosfatos (< 300 mg/kg)— antes de tratar de aumentar el contenido de fosfatos en el jugo mediante la aplicación en el suelo de altas dosis de fertilizantes fosforados.

De acuerdo con los resultados de las investigaciones realizadas en el valle geográfico del río Cauca, en forma tentativa se han establecido los siguientes niveles críticos de fósforo disponible en el suelo, determinados por el método Bray 2:

Categoría	Fósforo disponible (mg/kg)
Baja	< 5
Mediana	5 - 10
Alta	> 10

En las condiciones edáficas de esta región, la dosis de P que se recomienda aplicar, varía entre 0 y 22 kg/ha (1 kg de P = 2.29 kg de  $P_2O_5$ ). En términos generales, se considera que en los suelos con contenidos altos de fósforo disponible (> 10 mg/kg) no se justifica la aplicación de este nutrimento.

Las fuentes comerciales de fósforo más utilizadas son el superfosfato triple (20% de P y 14% de Ca), el fosfato diamónico o DAP (20% de P y 18% de N) y la roca fosfórica (9.6% de P y 28% de Ca). Esta última se aplica principalmente en suelos fuertemente ácidos del norte y del sur de esta zona azucarera. También se utilizan la cachaza y la “cenichaza”, dos fuentes orgánicas de fósforo, que contienen además otros elementos mayores y menores.

Debido a la poca movilidad del fósforo en el suelo, su aplicación se debe hacer en el área próxima al sistema radical de la planta; por lo general, en la plantilla se aplica en el fondo del surco al momento de la siembra, con el fin de estimular el desarrollo inicial de las raíces. Cuando es necesario, en la soca se aplica en banda e incorporado al suelo junto con el nitrógeno, 30 días después del corte.

## Potasio

Las plantas absorben potasio en la forma elemental ( $K^+$ ). Es un elemento muy móvil dentro de la planta e importante en la formación de aminoácidos y proteínas (Russell y Russell, 1968). Aunque no forma parte de los compuestos metabólicos, es necesario para el metabolismo de los carbohidratos, la síntesis de proteínas, el control y la regulación de las actividades de varios elementos esenciales, la neutralización de ácidos orgánicos, la activación de varias enzimas, el crecimiento de meristemos y el movimiento de los estomas. En la caña de azúcar, el potasio regula las actividades de la invertasa, la amilasa, la peptasa y la catalasa (Tisdale y Nelson, 1966).



### **Deficiencia de potasio**

Las plantas que crecen en suelos deficientes en potasio presentan baja actividad fotosintética y son susceptibles a enfermedades y a estrés por sequía. Los síntomas de deficiencia de potasio en caña de azúcar se manifiestan como un marcado amarillamiento de las hojas, especialmente en el ápice y los márgenes, que termina con el necrosamiento de las áreas afectadas. En las hojas más viejas aparecen, con frecuencia, puntos cloróticos de color carmelita con el centro necrótico que pueden invadir toda la lámina foliar (Martín y Evans, citado por Martín et al., 1987). Según Hartt (citado por Silva y Casagrande, 1983), las manchas rojizas que aparecen en las células epidérmicas de la nervadura central de plantas con déficit de potasio, se deben al enrojecimiento de la sacaritina que es un constituyente de la lignina.

### **Requerimientos de potasio**

La respuesta de la caña a la aplicación de potasio en los suelos de la zona azucarera del valle geográfico del río Cauca ha sido escasa. En la mayoría de estos suelos se ha observado que el contenido de este nutrimento en la lámina foliar tiende a aumentar con la edad del cultivo, mientras que el de nitrógeno tiende a disminuir; por lo tanto, la relación nitrógeno/potasio en la hoja es menor a medida que avanza la edad de la planta.

Al comparar la relación nitrógeno/potasio del tejido foliar en plantas de 6 meses de edad, se encontró que ésta tiende a disminuir cuando aumenta el número de cortes de la caña de azúcar; además se observaron diferencias entre variedades, especialmente entre la variedad PR 61-632 y las variedades MZC 74-275 y POJ 2878. La primera presentó relaciones entre 1.3 y 1.7 en plantilla y entre 1.3 y 2.5 en socas, mientras que en la plantilla de la variedad MZC 74-275, la relación fue aproximadamente de 1.0, y en la soca varió entre 0.8 y 1.0. La amplia relación nitrógeno/potasio, observada en la variedad PR 61-632, se debe, posiblemente, a una baja capacidad de la planta para absorber potasio del suelo y explica, en parte, la presencia de hojas de color amarillo, especialmente desde la mitad hacia el ápice de la planta, y el bajo contenido de sacarosa en los jugos.

Los datos en el Cuadro 2 muestran que la aplicación de 83 kg/ha de K después de cada corte en las variedades PR 61-632 y POJ 2878, resultó en aumentos en la producción de caña, especialmente en las socas. Es importante notar el aumento en la concentración del azúcar recuperable estimado (ARE) de la variedad PR 61-632 como resultado de la aplicación de potasio, ya que el bajo rendimiento es, quizá, la característica que más limita la propagación de esta variedad. De la misma manera, en un Vertic Tropaquept la aplicación de potasio aumentó el ARE en la plantilla de la variedad MZC 74-275, lo cual se explica por el bajo contenido de potasio intercambiable de este suelo.

**Cuadro 2. Efecto del potasio en la producción de caña y de azúcar recuperable estimada (ARE) de las variedades de caña de azúcar MZC 74-275, PR 61-632 y POJ 2878 en varios suelos del valle geográfico del río Cauca.**

Subgrupo de suelo	K (cmol/kg)	Variedad	K (kg/ha)	Corte			Corte		
				1	2	3	1	2	3
				Caña (t/ha)			ARE (%)		
Vertic	0.10	MZC 74275	0	114	110	73	12.9	14.4	12.0
Tropaquept			83	111	108	72	13.5	13.3	11.9
Fluventic	0.30	MZC 74275	0	208	172	179	9.9	11.1	12.3
Haplustoll			83	204	175	185	9.9	10.6	12.4
Typic	0.74	MZC 74275	0	185	171	125	14.6	11.2	12.3
Pellustert			83	183	161	122	14.1	11.3	12.5
Vertic	0.19	PR 61632	0	174	133	98	10.8	12.4	13.1
Haplustalf			83	178	142	119	11.1	12.9	12.9
Vertic Tropic	0.34	PR 61632	0	197	87	138	10.3	11.0	13.4
Fluvaquent			83	213	97	148	10.5	11.9	13.7
Fluventic	0.38	PR 61632	0	265	209	235	10.7	9.0	10.5
Haplustoll			83	262	208	234	10.8	9.4	10.9
Typic	0.30	POJ 2878	0	212	120	166	13.8	13.5	14.4
Pelludert			83	217	124	184	14.0	13.2	14.6

En un suelo Vertic Ustropept del valle geográfico del río Cauca, al evaluar los efectos de las aplicaciones conjuntas de nitrógeno con fósforo y de nitrógeno con potasio en el rendimiento de la plantilla de la variedad MZC 74-275, se encontró que la disminución en el rendimiento de sacarosa, ocasionada por las dosis altas de nitrógeno, fue menor cuando este último se aplicó con potasio que con fósforo (Figura 3). Aunque la aplicación de potasio no aumentó la producción, sí fue importante para contrarrestar el efecto del nitrógeno en el retardo de la maduración de la planta, especialmente cuando se usaron dosis altas de este nutrimento. En estos ensayos, las dosis de  $P_2O_5$  y  $K_2O$  variaron entre 0 y 110 kg/ha, con aumentos progresivos de 10 kg/ha para cada uno de ellos.

Con base en los hallazgos anteriores, se han establecido los siguientes niveles críticos tentativos para el contenido de potasio intercambiable en el suelo (extraído con acetato de amonio normal y neutro).

Categoría	K intercambiable (cmol/kg)
Baja	< 0.15
Mediana	0.15 - 0.30
Alta	> 0.30

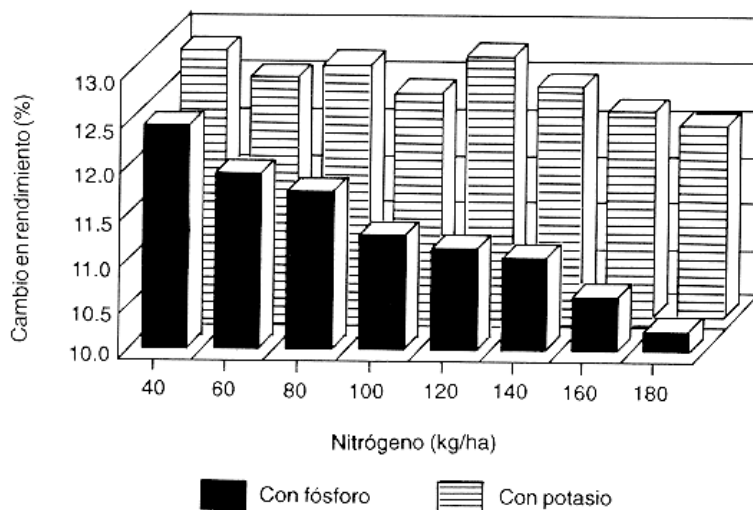


Figura 3. Cambios en el rendimiento de la plantilla de la variedad de caña MZC 74-275 debidos a la aplicación de nitrógeno en presencia de fósforo o potasio en un suelo Palmeras (*Vertic Ustropept*).

Se considera que la cantidad de K que es necesario aplicar por hectárea varía entre 0 y 83 de kg (1 kg de K = 1.2 kg de  $K_2O$ ), dependiendo de la respuesta diferencial de las variedades en producción de caña y en rendimiento. Se sugiere, por ejemplo, aplicar dosis relativamente más altas en la variedad PR 61-632 que en otras variedades. En general, se considera que no es necesario aplicar potasio en suelos con altos contenidos de este nutrimento ( $> 0.30$  cmol/Kg), pero cuando se aplican dosis altas de nitrógeno, es necesario tener presente el efecto de este nutrimento.

El cloruro de potasio (KCl) y el sulfato de potasio ( $K_2SO_4$ ) son las fuentes comerciales de potasio más conocidas; sin embargo, la primera es de uso casi generalizado en los ingenios azucareros.

Este nutrimento se aplica en el fondo del surco inmediatamente antes de la siembra. En las socas se aplica 30 días después del corte, en bandas e incorporado al suelo conjuntamente con el nitrógeno. Debido al predominio de arcillas del tipo 2:1 en la mayoría de los suelos del valle geográfico del río Cauca, y su capacidad para retener potasio en la forma de ion ( $K^+$ ), no se justifica aplicar este nutrimento en forma fraccionada.

## Calcio

Las plantas absorben calcio de la solución del suelo en forma iónica ( $Ca^{2+}$ ) y, en menor proporción, mediante el proceso de intercambio por contacto (Tisdale y

Nelson, 1966). El calcio es esencial para el crecimiento de los meristemos y, particularmente, para el desarrollo y funcionamiento adecuados de los ápices de las raíces. Se encuentra en la planta como pectato de calcio, el cual es un constituyente de la lámina media de la pared celular (Russell y Russell, 1968).

### Deficiencia de calcio

Los síntomas de deficiencia de calcio en la caña de azúcar se manifiestan por la aparición, en las hojas más viejas, de manchas cloróticas pequeñas con la parte central necrosada que se tornan de color rojizo-oscuro. La intensidad de las manchas aumenta con la edad de las hojas y pueden unirse hasta formar áreas necróticas. Las hojas jóvenes deficientes en calcio se vuelven cloróticas y extremadamente débiles. La planta se debilita y su desarrollo se retarda; en consecuencia, los tallos presentan un diámetro reducido, son más delgados hacia el punto de crecimiento y su corteza es suave. Cuando la deficiencia de calcio es severa, el desarrollo de la planta se detiene y muere (Humbert, 1974; Martín et al., 1987; Silva y Casagrande, 1983).

### Requerimientos de calcio

La absorción del calcio por la planta está estrechamente relacionada con el contenido en la fracción intercambiable y con la proporción en que se encuentre en el suelo en relación con otros cationes, especialmente con magnesio y potasio. En la zona azucarera de Colombia existen algunos suelos cultivados con caña de azúcar, en los cuales la relación Ca/Mg es amplia; también existen otros con relación Ca/Mg invertida, pero la mayoría presenta relaciones con valores cercanos a dos. En suelos que han recibido aplicaciones continuas de vinaza, es posible encontrar altos contenidos de potasio —hasta de 7 cmol/Kg— lo que conduce a una relación Ca/K muy estrecha que puede inducir deficiencias de calcio en la planta.

Los análisis foliares de plantillas y socas de 6 meses muestran poca variación en el contenido de calcio entre variedades. Generalmente, los contenidos de calcio en la lámina de la hoja correspondiente al primer cuello visible de arriba hacia abajo en la planta, varían entre 0.30% y 0.40%.

En Colombia, el Programa de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario estableció los niveles críticos en el suelo para los contenidos de calcio intercambiable (extracción con acetato de amonio normal y neutro) (ICA, 1981).

Categoría	Calcio intercambiable (cmol/kg)	Saturación (%)
Baja	< 3	< 30
Media	3 - 6	30 - 50
Alta	> 6	> 50

Aunque se considera que la aplicación de calcio como fertilizante en los suelos de la parte plana del valle geográfico del río Cauca no se justifica, es posible que en otras áreas, especialmente en aquellas localizadas en los suelos ácidos de la zona sur, sí se justifique su aplicación para neutralizar la presencia de aluminio intercambiable y aumentar el pH, o para elevar el contenido de calcio intercambiable en el suelo.

De acuerdo con lo anterior, cuando se va a encalar un suelo se sugiere tener en cuenta los criterios establecidos por el Programa de Suelos del ICA (ICA, 1981) y que aparecen a continuación:

1. Contenido de Al intercambiable  $> 2$  cmol/kg.

2. Relación  $\frac{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}}{\text{Al}} \leq 1$

3. Saturación del Al intercambiable  $> 25\%$ .

Una vez identificada la necesidad de aplicar cal, es necesario definir la dosis con base en el contenido de Al intercambiable del suelo. En suelos con pH inferior a 5.5 se deben aplicar 1.5 t/ha de cal agrícola por cada cmol de Al/kg de suelo. Este método puede dar lugar a altas cantidades de cal agrícola que resultan costosas; por lo tanto, a veces es más conveniente hacer aplicaciones periódicas de bajas cantidades de cal y evaluar los cambios que ocurren en el suelo.

Las fuentes más comunes de calcio son el carbonato; las cales agrícola, viva, apagada y dolomítica; las escorias Thomas y las rocas fosfóricas con alto contenido de carbonato de calcio. Cuando estas fuentes se utilizan como enmiendas, se aplican a voleo y se incorporan en el suelo un mes antes de la siembra. Si se quiere prevenir la deficiencia de calcio en la planta, se recomienda aplicar en el fondo del surco hasta 500 kg/ha de cal agrícola.

## **Magnesio**

La disponibilidad de magnesio en el suelo, al igual que la de calcio, depende de la fracción intercambiable y de su balance en relación con este último nutrimento y con el potasio.

### **Deficiencia de magnesio**

Los síntomas de la deficiencia de magnesio en la caña de azúcar son parecidos a los del calcio. En las hojas más viejas aparecen pequeñas manchas cloróticas que después se tornan café-oscuro. Estas manchas se extienden en forma uniforme sobre la superficie de la hoja y cuando se unen le dan una apariencia mohosa. Los tallos son delgados, sus entrenudos cortos y en el interior toman una coloración marrón. El desarrollo del sistema radical se restringe (Humbert, 1974; Silva y Casagrande, 1983).

## Requerimientos de magnesio

El Programa Nacional de Suelos del ICA estableció los niveles críticos de magnesio en el suelo para la mayoría de cultivos con base en el contenido intercambiable y el porcentaje de saturación de este nutrimento (determinados por extracción con acetato de amonio normal y neutro).

Categoría	Magnesio intercambiable (cmol/kg)	Saturación (%)
Baja	< 1.5	< 15
Media	1.5 - 2.5	15 - 25
Alta	> 2.5	> 25

Por lo general, el contenido de magnesio en las láminas de las hojas que corresponden al primer cuello visible de las principales variedades de caña cultivadas en la zona, fluctúa entre 0.15% y 0.20%. Aunque la probabilidad de que ocurran deficiencias de magnesio en plantas de caña cultivadas en los suelos de esta región es bastante baja, la expansión del cultivo hacia áreas con suelos más ácidos podría, en un momento dado, justificar la aplicación de este nutrimento.

Las fuentes de magnesio más comunes son el sulfato de magnesio, el sulfato de magnesio y potasio (Sulfomag) y la cal dolomítica. Debido al alto costo relativo del sulfato de magnesio, su aplicación en la plantilla debe ser localizada en el fondo del surco, mientras que en las socas se debe aplicar en bandas e incorporado en el suelo.

## Azufre

Las plantas absorben el azufre del suelo en la forma de  $\text{SO}_4^{=}$  y en pequeñas cantidades a través de las hojas como dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) (Tisdale y Nelson, 1966). Este elemento es un constituyente importante de los aminoácidos cisteína, cistina y metionina, además de otros compuestos de la planta.

### Deficiencia de azufre

Este nutrimento influye en la formación de la clorofila, aunque no es un constituyente de ella. Las plantas deficientes en azufre presentan un color verdepálido a amarillo (Millar, 1964). Los síntomas de la deficiencia en la caña de azúcar aparecen, inicialmente, en las hojas jóvenes y al avanzar ésta se forman manchas cloróticas irregulares dispuestas paralelamente a las nervaduras. En estados avanzados de deficiencia, las hojas se tornan color púrpura, especialmente en sus márgenes, lo cual indica acumulación de carbohidratos y formación de antocianinas (Silva y Casagrande, 1983; Sturgess, 1985). Normalmente, las hojas más viejas permanecen verdes.

## Requerimientos de azufre

Con frecuencia, el azufre se aplica en el suelo cuando se suplen las necesidades de otros nutrimentos, como ocurre cuando se aplican sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, superfosfato simple como fuente de fósforo, o sulfato de potasio como fuente de este último elemento.

Los resultados de varios ensayos realizados en Mollisoles, Inceptisoles y Vertisoles del valle geográfico del río Cauca con las variedades CP 72-356 y MZC 74-275, permiten concluir que el contenido de azufre en la lámina foliar disminuye a medida que aumenta el número de cortes. En la lámina foliar de las plantillas, el contenido de azufre fue de 0.15%, mientras que en las hojas de las socas varió entre 0.08% y 0.10%.

La relación nitrógeno/azufre en las hojas difiere entre variedades. Por ejemplo, en la plantilla de la variedad CP 72-356 esta relación fue de 11 a 1, mientras que en las socas varió entre 15 a 1 y 16 a 1, valores éstos muy cercanos a la relación considerada adecuada para la síntesis de las proteínas (15 a 1) y que indican la escasa probabilidad que existe, en este caso, de alcanzar respuesta con la aplicación de azufre. De la misma manera, en las hojas de la plantilla de la variedad MZC 74-275, la relación nitrógeno/azufre fue, aproximadamente, de 14 a 1 y varió poco con la edad del cultivo.

La variedad CP 72-356 cultivada en un Vertisol alcalino, y la variedad MZC 74-275 cultivada en Mollisoles de mediana acidez y en Inceptisoles alcalinos, no respondieron a las aplicaciones de azufre en el suelo. Sin embargo, este nutrimento aumentó ligeramente la concentración de sacarosa en los jugos de la planta en tres cosechas consecutivas. Los suelos contenían más de 13 mg/kg de azufre intercambiable, extraído con fosfato monocalcico 0.008 Molar.

Debido al reducido número de suelos evaluados, aún no es posible definir categorías con base en niveles críticos para este nutrimento, pero se puede decir, de manera tentativa, que en las condiciones predominantes en los suelos dedicados a la producción de caña de azúcar en la parte plana del valle geográfico del río Cauca, no se recomienda aplicar azufre como fertilizante, cuando se presenten contenidos superiores a 13 mg/kg de este elemento en forma intercambiable, extraído con  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ .

Las fuentes de azufre más comunes son azufre elemental, sulfato de amonio, sulfato de potasio, superfosfato simple y sulfato de calcio y magnesio (yeso). Este último, al igual que el S elemental, se utilizan como enmienda para desplazar el sodio intercambiable en suelos sódicos, mientras que los dos primeros son las fuentes más usadas como fertilizante.

Las pocas evaluaciones realizadas en cultivos de caña en el valle geográfico del río Cauca, mostraron comportamientos similares cuando se compararon la urea + S elemental, el sulfato de amonio solo y la mezcla de este último con urea. Las aplicaciones de S elemental se hicieron en el fondo del surco en plantilla; el sulfato de amonio y las mezclas se aplicaron en banda e incorporadas al suelo, 30 días después del corte.

## Micronutrientos

Las plantas requieren una serie de elementos menores —micronutrientos— en cantidades relativamente pequeñas; esto no indica que sean menos importantes que los macronutrientos, ya que son necesarios en procesos enzimáticos, de oxidación-reducción, formación de clorofila y transporte de carbohidratos, entre otros.

Las plantas absorben los micronutrientos cobre, hierro, manganeso y cinc en forma catiónica y como sales orgánicas complejas (quelatos); el cloro lo absorben en forma aniónica, el molibdeno como molibdato ( $\text{MoO}_4^-$ ) y el boro como boratos ( $\text{B}_4\text{O}_7^-$ ,  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ,  $\text{HBO}_2^-$  ó  $\text{BO}_3^{3-}$ ).

En el Cuadro 3 se pueden observar las principales funciones de los micronutrientos en la planta.

Las deficiencias de micronutrientos se presentan, por lo general, como resultado de su bajo contenido en el suelo o inducidas por condiciones adversas como la acidez o la alcalinidad, el contenido bajo de M.O., el déficit de agua, el exceso de humedad y el desbalance nutricional debido al manejo inadecuado de los fertilizantes y las enmiendas.

Cuadro 3. **Principales funciones de los micronutrientos en las actividades fisiológicas de la planta.**

Micronutriente	Actividad fisiológica de la planta
Boro	Transporte de azúcar a través de las membranas celulares, mitótica.
Cloro	Fotosíntesis.
Cobre	Fotosíntesis, resistencia a plagas y enfermedades, actividad de las enzimas.
Hierro	Actividad de las enzimas, transporte de electrones, metabolismo de ácidos nucleicos, síntesis de clorofila y fotosíntesis.
Manganeso	Actividad enzimática y fotosíntesis.
Molibdeno	Asimilación de nitrógeno.
Cinc	Metabolismo de auxinas, uso del agua, actividad enzimática y crecimiento celular.

FUENTE: Kanwar y Youngdahl, 1985; López, 1992; Malavolta, 1992; Price et al., 1972.

### Boro

La deficiencia de boro en la planta se manifiesta por el escaso desarrollo apical, debido a su inmovilidad dentro de la planta. Los entrenudos se tornan cortos; las hojas detienen su desarrollo, se deforman y aparecen dispuestas en racimos, como si emergieran de un mismo punto; las láminas foliares presentan parches cloróticos intervenales que se convierten en manchas necróticas al aumentar la edad del cultivo. También pueden aparecer estrías cloróticas



intervenales que se necrosan y al desprenderse el tejido aparece rasgado con hendiduras alargadas en forma de escalera. Otro síntoma característico de la deficiencia de boro en la planta es la presencia de hojas en forma de cartucho: entrelazadas, retorcidas y cloróticas (Agarwala et al., 1985; Sobral y Weber, 1983).

Se considera que un contenido de boro en el suelo entre 0.4 y 0.6 mg/kg, extraído con agua caliente (Malavolta, 1992) o con  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  0.008 M, es adecuado para el cultivo de la caña de azúcar. Los resultados de los análisis, correspondientes a suelos de las 15 series más importantes del valle geográfico del río Cauca, indican que la probabilidad de respuesta de la caña de azúcar a la aplicación de este nutrimento es relativamente alta. Sin embargo, los experimentos en invernadero y en el campo con Mollisoles, Inceptisoles y Vertisoles no han mostrado efectos significativos del boro en la producción de la variedad MZC 74-275 que justifiquen su aplicación en el suelo.

Las fuentes más comunes de boro son: el bórax, el pentaborato de sodio, los tetraboratos hidratados de sodio y los vidrios de boro finamente molidos. Para las aplicaciones foliares se pueden utilizar el Solubor y el ácido bórico. En las investigaciones de campo, el bórax ha sido la única fuente utilizada, aplicada en el fondo del surco al momento de la siembra.

## Cloro

La deficiencia de cloro en la planta es difícil de identificar, ya que la cantidad que requiere es muy baja y, en la mayoría de los casos, es suministrada por el agua durante las lluvias (Russell y Russell, 1968). Por lo tanto, para estudiar los síntomas de deficiencia de este nutrimento en la caña de azúcar, caracterizados por la presencia de hojas alargadas y una clorosis moderada en las hojas nuevas, es necesario inducirlos en invernadero (Sobral y Weber, 1983).

## Cobre

Las deficiencias de cobre son frecuentes en suelos que han recibido altas aplicaciones de abonos orgánicos. Estas deficiencias se manifiestan por una aparente marchitez de las hojas, debido al debilitamiento de las paredes celulares, que no debe relacionarse con el estrés por falta de agua (Kanwar y Youngdahl, 1985). En la caña de azúcar, la deficiencia de cobre se presenta como una clorosis general de las hojas nuevas, cuyas puntas se tornan de una coloración blanquecina. En algunos casos, aparece una constricción en las hojas nuevas que las colapsa; el macollamiento tiende a aumentar, pero las hojas que emergen de estas macollas tienen las puntas dobladas (Agarwala et al., 1985).

El nivel crítico tentativo de cobre en el suelo para la mayoría de los cultivos varía entre 1 y 3 mg/kg (extraído con  $\text{NaHCO}_3$  0.5 N + EDTA 0.05 M, método de Hunter) y entre 1 y 1.4 mg/kg cuando se usa el método de Mehlich ( $\text{HCl}$  0.05 N +  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.025 N) (Lora S., 1992; Malavolta, 1992).

En los suelos del valle geográfico del río Cauca, los contenidos de cobre en las hojas de la caña tienden a disminuir con la edad del cultivo. A la edad de 6 meses,

este nutrimento en las hojas de la variedad MZC 74-275 fluctuó entre 7 y 8 mg/kg. La aplicación de cobre en dosis variables en el fondo del surco al momento de la siembra aumentó la producción de caña en tres de cuatro experimentos.

Las fuentes de este micronutriente son el sulfato de cobre, el óxido de cobre y los quelatos. En las investigaciones realizadas en los ingenios azucareros se utiliza el sulfato de cobre pentahidratado. Cuando se presentan deficiencias de cobre en caña de azúcar, se sugiere aplicar entre 2.5 y 7.5 kg/ha de este nutrimento.

## Hierro

La deficiencia de hierro es frecuente en suelos calcáreos (Murphy y Walsh, 1972) y se manifiesta en las hojas jóvenes como rayas cloróticas que alternan con el color verde de las nervaduras. Cuando la deficiencia se acentúa, las hojas más jóvenes toman una coloración blanquecina, mientras que las hojas inferiores presentan una coloración verde-amarillenta. Generalmente, la clorosis por deficiencia de hierro se presenta en parches irregulares en plantaciones de 3 a 4 meses de edad.

Se considera, tentativamente, que para el normal desarrollo de la caña de azúcar se necesitan entre 40 y 80 mg/kg (método de Mehlich) o entre 10 y 20 mg/kg (método de Hunter) de hierro en el suelo (Malavolta, 1992; Lora S., 1992). En Mollisoles, Vertisoles e Inceptisoles se encontró que el contenido de hierro en las láminas foliares del primer cuello visible de la variedad MZC 74-275 de 6 meses de edad, varió entre 100 y 110 mg/kg, siendo menor este contenido al avanzar la edad de la planta.

En los suelos antes mencionados, el contenido de hierro varió entre 13 y 45 mg/kg (método de Hunter) y la respuesta a la aplicación de este nutrimento fue baja. Sólo en el Inceptisol (Vertic Tropaquept) se encontró un ligero incremento en la producción de caña como resultado de la aplicación de hierro en el suelo. Debido a las producciones aceptables obtenidas en el primer corte o plantilla, se estima que esta concentración de hierro en las hojas es adecuada para esta variedad.

Las fuentes más utilizadas de este nutrimento son los sulfatos, los quelatos y el óxido de hierro, los cuales se aplican en el surco inmediatamente antes de plantar el material. Cuando el hierro disponible en el suelo es bajo—especialmente cuando el pH es muy alto— se pueden aplicar quelatos en forma foliar para evitar su deficiencia en la planta.

## Manganeso

La disponibilidad de este micronutriente disminuye con las aplicaciones de abonos orgánicos en el suelo, aunque no forma compuestos definidos con la M.O. (Krauskopf, 1972). Los síntomas de deficiencia de manganeso en la planta se presentan como bandas oscuras a lo largo de las nervaduras, que se alternan con bandas verde-amarillentas; estos síntomas se distinguen de los ocasionados por la

deficiencia de hierro porque estas últimas bandas aparecen en la parte media de las hojas jóvenes y se prolongan hacia el ápice. En casos muy severos de deficiencia de manganeso, las áreas verde-amarillentas se tornan grises o blancuzcas (López, 1978; Martín et al., 1987; Labanauskas, 1966).

En forma preliminar, se estima que entre 5 y 10 mg/kg (método de Hunter) o entre 20 y 40 mg/kg (método de Mehlich) de manganeso en el suelo, son suficientes para el normal desarrollo y producción de la caña de azúcar (Malavolta, 1992).

En el valle geográfico del río Cauca, la variedad MZC 74-275 presenta en plantilla entre 30 y 40 mg/kg de manganeso foliar a la edad de 6 meses; y una concentración similar a los 3 meses de edad. Debido a que los contenidos de manganeso en cuatro suelos variaron entre 6 y 24 mg/kg (método de Hunter) no se esperaban respuestas a la aplicación de este nutrimento; sin embargo, en dos suelos se encontró un incremento entre 9% y 20% en la producción de caña con la aplicación de 2.5 kg/ha de manganeso.

Las fuentes más comunes de manganeso son el sulfato, el óxido, el carbonato y los quelatos. En los experimentos efectuados en el valle geográfico del río Cauca, se utilizó sulfato de manganeso aplicado en el fondo del surco al momento de la siembra.

## **Molibdeno**

La disponibilidad de este micronutriente, a diferencia de lo que ocurre con los demás, es mayor cuando el pH en el suelo es superior a 6 (Tisdale y Nelson, 1966). Según varios autores, citados por Sobral y Weber (1983), la deficiencia de molibdeno en caña de azúcar se presenta como un blanqueado y chamusquina de los márgenes de las hojas medias, especialmente en la parte terminal; posteriormente, estas hojas se marchitan y se doblan (Agarwala et al., 1985). Inicialmente, la deficiencia se manifiesta en las hojas más viejas en forma de pequeñas estrías cloróticas. En estado más avanzado, el tejido central de las estrías toma una coloración violácea y se necrosa.

Para corregir las deficiencias de este nutriente, generalmente las aplicaciones se hacen al follaje o directamente en el material de siembra. El contenido de molibdeno en el suelo inferior a 0.25 mg/kg, extraído con agua caliente, se considerada como bajo (Lora S., 1992).

Los compuestos más utilizados como fuentes de molibdeno son el molibdato de sodio y el molibdato de amonio.

## **Cinc**

La deficiencia de cinc en la caña de azúcar se caracteriza por la presencia de entrenudos cortos, reducción de la lámina foliar en la base de las hojas y formación de macollas cortas y débiles. Las hojas de la parte media muestran rayas cloróticas o necróticas (Agarwala et al., 1985). Los síntomas iniciales aparecen en las hojas

jóvenes, sus nervaduras se vuelven cloróticas y presentan estrías no simétricas, pero el tejido intervenal permanece verde; estos síntomas son más notorios en el extremo de las hojas. Cuando la deficiencia es severa, el limbo de la hoja (el haz y el envés) se torna clorótico, con excepción de dos fajas situadas a cada lado de la nervadura principal (Sobral y Weber, 1983).

Se consideran que para la caña los niveles adecuados de cinc en el suelo son de 1 mg/kg (Mehlich) y de 1.5 a 4 mg/kg (Hunter) (Malavolta, 1992; Lora S., 1992).

Entre 3 y 6 meses de edad, los cambios en el contenido de cinc en las hojas son bajos. Por ejemplo, en las láminas correspondientes al primer cuello visible de la variedad MZC 74-275, el contenido de este elemento varió entre 11 y 14 mg/kg, cuando se cultivó en Mollisoles, Inceptisoles y Vertisoles.

En varios sitios del valle geográfico del río Cauca se han encontrado incrementos hasta de 19% en la producción de caña, cuando se aplicaron entre 2.5 y 7.5 kg/ha de este elemento en forma de sulfato. Si se tiene en cuenta que el contenido de cinc en estos suelos, extraído por el método de Hunter, varía entre 1 y 4 mg/kg, este aumento en producción por la adición de sulfato de cinc, se encuentra dentro de los valores esperados. En los experimentos realizados en CENICAÑA, el cinc se ha aplicado en el fondo del surco en forma de sulfato.

Las fuentes más comunes de este nutrimento son los sulfatos, el óxido, el carbonato y los quelatos de cinc.

## **Subproductos de la Caña como Fuentes de Nutrimentos**

### **Cachaza**

La cachaza está formada por los residuos que se obtienen en el proceso de clarificación del jugo de la caña durante la elaboración del azúcar crudo. Es un material oscuro, constituido por la mezcla de fibra, coloides coagulados, cera, sustancias albuminoides, fosfatos de calcio y partículas de suelo (Samuels, 1979).

La producción de cachaza es, en promedio, de 30 kg por cada tonelada de caña que se muele (Orlando Filho, 1991). Generalmente, se aplica en suelos próximos a las fábricas de los ingenios, ya que su alto contenido de humedad aumenta el costo del transporte.

Entre los componentes de la cachaza fresca sobresalen la M.O., el calcio, el fósforo y el nitrógeno. Después de 13 semanas de descomposición de este subproducto, disminuyen la humedad, la M.O. y los nutrimentos antes mencionados, y aumentan el hierro, el cobre y la actividad microbiana (Cuadro 4).

En el comercio existen productos a base de microorganismos que se utilizan para acelerar los procesos de descomposición de los residuos orgánicos. En CENICAÑA se evaluó el iniciador bacteriano Fabearth 110/120, y se encontró,

Cuadro 4. Principales características de los abonos orgánicos que se usan en la experimentación realizada por CENICAÑA.

Parámetros	Cachaza fresca <sup>a</sup>	Cachaza descompuesta		Cenichaza descompuesta
		Inoculada	Sin inocular	
Humedad (%)	68.0	56.0	56.0	53.0
pH	6.1	7.1	7.3	8.4
C/N	22.0	16.0	22.0	18.0
M.O. (%)	42.0	23.0	33.0	16.0
N (%)	1.16	0.82	0.87	0.54
P (%)	1.25	0.62	0.60	0.37
Ca (%)	3.33	3.00	2.52	1.40
Mg (%)	0.51	0.74	0.69	0.40
K (%)	0.54	0.62	0.59	0.85
Fe (mg/kg)	8691	20570	22280	12090
Mn (mg/kg)	162	134	139	142
Cu (mg/kg)	56	73	77	55
Bacterias <sup>b</sup>	2 x 10 <sup>7</sup>	1.6 x 10 <sup>12</sup>	> 5.4 x 10 <sup>12</sup>	5.4 x 10 <sup>12</sup>

a. Promedio de cachazas provenientes de tres ingenios.

b. Método bacteriológico = número más probable (N.M.P.)

después de 13 semanas de descomposición, que las características de la cachaza inoculada fueron similares a la cachaza sin inocular, aunque se observaron algunos cambios en la relación C/N y en el contenido de M.O., que indican que el inóculo aceleró los procesos de descomposición.

En Inceptisoles, Mollisoles y Vertisoles, la cachaza fresca aplicada a voleo e incorporada en los primeros 20 cm de profundidad, aumentó la producción de la variedad CP 57-603; en la plantilla y en el primer corte no se justificaron las aplicaciones superiores a las 100 t/ha de cachaza fresca. No obstante, los mayores efectos residuales en el segundo y tercer cortes se obtuvieron con 300 t/ha de cachaza.

En los ensayos anteriores se encontró, además, que la cachaza afectó algunas propiedades químicas de los suelos. Así, aumentaron ligeramente el pH y los contenidos de M.O. y de potasio intercambiable, pero el efecto más importante ocurrió con el fósforo disponible, ya que un mes después de la aplicación los contenidos de este nutrimento en algunos suelos, que inicialmente eran bajos, alcanzaron valores muy altos, los cuales fue posible mantener después de tres cortes consecutivos con aplicaciones de 200 t/ha de cachaza. Debido a lo anterior, este subproducto se considera como un buen sustituto de fertilizantes fosforados para algunos suelos del valle geográfico del río Cauca.

En Inceptisoles y Entisoles de baja fertilidad del piedemonte del valle geográfico del río Cauca, con la aplicación de 100 t/ha de cachaza fresca en los surcos al momento de plantar la variedad MZC 74-275, se encontró en uno de estos suelos —Typic Humitropept— con 5% de M.O., que la concentración de sacarosa en la plantilla disminuyó, debido posiblemente a un suministro tardío de nitrógeno, lo cual es una característica de este subproducto. Sin embargo, las producciones de caña y de azúcar de esta variedad mostraron que con la aplicación de 3 t/ha de cachaza descompuesta e inoculada, es posible sustituir entre el 25% y el 50% del nitrógeno, el fósforo y el potasio, que normalmente se aplican en la plantilla y en la primera soca.

Las aplicaciones de cachaza descompuesta en dosis relativamente bajas han sido más efectivas en plantilla que en socas, posiblemente porque en la primera se coloca en el fondo del surco, mientras que en las socas se aplica en banda. De todas maneras, es importante tener en cuenta que la cachaza descompuesta es un complemento de los fertilizantes comúnmente utilizados en el cultivo de la caña de azúcar.

### **Cenichaza**

La “cenichaza” es el producto de la mezcla de la cachaza con las cenizas del bagazo usado como combustible en las calderas de los ingenios. Cuando estos subproductos se mezclan en una proporción de 1:1 (peso húmedo) y se dejan descomponer durante 13 semanas, se obtiene un abono alcalino con relación C/N adecuada, pero con menor contenido de M.O., nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, y mayor contenido de potasio que la cachaza descompuesta (Cuadro 4).

En Inceptisoles y Entisoles, la aplicación de 10 t/ha de cenichaza en el fondo del surco, no aumentó en forma significativa la disponibilidad de nitrógeno para la variedad MZC 74-275. Pero, fue más eficiente que el superfosfato triple en el suministro de fósforo y que la cachaza descompuesta en el suministro de potasio. En un Entisol con drenaje pobre, con bajo contenido de fósforo disponible y altos contenidos de M.O. y potasio intercambiable, se encontró que con la aplicación de 10 t/ha de cenichaza en el fondo del surco, más el 75% de las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio que normalmente se aplican en plantilla y del nitrógeno que se aplica en las socas, es posible obtener producciones relativamente altas de caña y de azúcar.

### **Vinaza**

La vinaza es un residuo de las destilerías de alcohol que se produce en una proporción de 13 litros por cada litro de alcohol obtenido, proporción que puede variar entre 10 y 15 litros de vinaza por litro de alcohol (Ferreira y Monteiro, 1987). Este subproducto es alto en el contenido de M.O., potasio, azufre y calcio (Rodella y Ferrari, 1977; Penatti et al., 1988; Zambello y Orlando Filho, 1981).

La vinaza se puede aplicar en el cultivo de la caña de azúcar por gravedad o aspersión sobre los surcos. El uso de carrotanques es costoso y generalmente se emplean para aplicar vinazas concentradas en dosis que varían entre 35 y

50 m<sup>3</sup>/ha. Cuando las aplicaciones se hacen por canales, dirigidas a los surcos (“fertirrigación”), las dosis son superiores a 1000 m<sup>3</sup>/ha (Leme et al., 1980). Por aspersión se aplican entre 200 y 500 m<sup>3</sup>/ha, según la cantidad de potasio que se desee aplicar en el suelo.

El contenido de potasio intercambiable en el suelo es el criterio que se emplea para determinar la dosis de vinaza que se debe aplicar en las plantaciones, ya que ésta es una fuente importante de este nutrimento. Sin embargo, las aplicaciones de vinaza se deben hacer con ciertas precauciones, ya que las aplicaciones sucesivas en suelos Entic Chromustert de la zona central del valle geográfico del río Cauca han resultado en aumentos excesivos de potasio intercambiable y en disminuciones de la producción de caña y de la concentración de sacarosa en la primera soca de la variedad MZC 74-275.

## Referencias

- Agarwala, S. C.; Chatterjee, C.; Nautiyal, B. D.; Dube, B. K.; y Nautiyal, N. 1985. Induction of deficiency of zinc, copper and molybdenum in sugarcane. Effect on growth, sugar concentration and some enzyme activities. *Sugar Cane (U.K.)* no. 6. p. 1-7.
- Blackburn, F. 1984. *Sugar-cane*. Longman, Nueva York. 414 p.
- De Geus, J. G. 1967. *Fertilizer guide for tropical and subtropical farming*. Centre d' Etude de l' Azote, Zurich. 727 p.
- Fauconnier, R. y Bassereau, D. 1975. *La caña de azúcar*. Blume, Barcelona. 433 p.
- Ferreira S., E. y Monteiro, O. A. 1987. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. *Boletín técnico COPERSUCAR* no. 36. p. 1-7.
- Humbert, R. P. 1974. *El cultivo de la caña de azúcar*. Continental, México. 719 p.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1981. *Fertilización de diversos cultivos*. Cuarta aproximación. Programa Nacional de Suelos. Bogotá, Colombia. 56 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1980. *Estudio semidetallado de suelos del valle geográfico del río Cauca*. Bogotá. 582 p.
- Kanwar, J. S. y Youngdahl, L. J. 1985. Micronutrient needs of tropical food crops. *Fert. Res.* 7(43-67).
- Krauskopf, K. B. 1972. Biochemistry of micronutrients. *Micronutrients in agriculture*. Proceedings of a symposium held at Muscle, Alabama, April 20-22, 1971. Soil Science Society of America. p. 7-40.
- Labanauskas, C. K. 1966. Manganese. En: Chapman, H. D. (ed.). *Diagnostic criteria for plants and soils*. University of California Division of Agricultural Science, Riverside, E.U. p. 264-285.

- Leme, E. J.; Scardua, R.; y Moretti, F. J. 1980. Aplicação da vinhaça a través do sistema de irrigação por sulcos de infiltração em cana-de açúcar. *Brasil Açucareiro* 96(4):47-59.
- López, F. Y. 1992. Funciones e interacciones de los elementos menores en plantas y suelos. En: *Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Palmira. Comité Regional del Valle del Cauca. p. 1-22.
- López, G. 1978. Funciones de algunos micronutrientes en las plantas. En: *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS). Potasio y micronutrientes en la agricultura colombiana. Memorias del Quinto Coloquio de Suelos*. Suelos Ecuat. 9(2):141-148.
- Lora S., R. 1992. Análisis de suelos y material vegetal para micronutrientes. En: *Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Palmira. Comité Regional del Valle del Cauca. p. 81-97.
- Malavolta, E. 1992. Micronutrientes en la fertilización de la caña de azúcar. En: *Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Palmira. Comité Regional del Valle del Cauca. p. 294-322.
- Martín, O., J.; Gálvez R., G.; Armas U., R. de; Espinosa O., R.; Vigoa H., R; y León M., A. 1987. *La caña de azúcar en Cuba*. La Habana, Cuba. *Revista Científico Técnica*. 669 p.
- Millar, C. E. 1964. *Fertilidad del suelo*. Salvat, Barcelona. 477 p.
- \_\_\_\_\_; Turk, L. M.; y Foth, H. D. 1978. *Fundamentos de la ciencia del suelo*. Continental, México. 527 p.
- Murphy, L. S. y Walsh, L. M. 1972. Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers. *Micronutrients in agriculture. Proceedings of a symposium held at Muscle, Alabama, April 20-22, 1971*. Soil Science Society of America. p. 347-381.
- Orlando Filho, J. 1991. Manejo de suelos y uso de fertilizantes para la caña de azúcar en Brasil. *Geplacea (México)* 8(3):6.
- Penatti, C. P.; Cambria, S.; Boni, P. S.; Arruda, F. C.; y Manoel, L. A. 1988. Efeitos da aplicação da vinhaça e nitrogênio na soqueira da cana de açúcar. *Boletim técnico Copersucar no. 48*. p. 32-38.
- Price, C. A.; Clark, H. E.; y Funkhouser, E. A. 1972. Functions of micronutrients in plants. *Micronutrients in agriculture. Proceedings of a symposium held at Muscle, Alabama, April 20-22, 1971*. Soil Science Society of America. p. 231-242.
- Rodella, A. A. y Ferrari, S. E. 1977. Composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana de açúcar. *Brasil Açucareiro* 90(1):6-13.
- Russell, E. J. y Russell, E. W. 1968. *Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas*. Aguilar, Madrid. 801 p.



*Fertilización y Nutrición*

- Samuels, G. 1979. The use of residues from sugar cane factory and distillery for fertilizers. 15 p. (Manuscrito).
- Silva, L. C. da y Casagrande, J. C. 1983. Nutrição mineral da cana de açúcar (Macronutrientes). En: Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil. Planalsucar, Piracicaba. p. 77-102.
- Sobral, A. F. y Weber, H. 1983. Nutrição mineral da cana de açúcar (Micronutrientes). En: Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil. Planalsucar, Piracicaba. p. 103-122.
- Sturgess, O. W. 1985. Crop nutrition review confirms BSES policy on fertilizer recommendations. BSES Bulletin (Australia) 10:1-23.
- Tisdale, S. L. y Nelson, W. L. 1966. Soil fertility and fertilizers. MacMillan, Nueva York. 694 p.
- Wardle, G. J. 1968. Quantitative use of phosphate fertilizers for sugarcane and factors affecting their efficiency. South African Sugar Journal 52:1-3.
- Yang, S. J. y Torres, J. S. 1984. Estudio preliminar sobre los requerimientos de agua y riego de la caña de azúcar en el Valle del Cauca. En: Memorias del Primer Congreso de la Sociedad Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar (TECNICAÑA). Cali, Colombia. p. 323-335.
- Zambello, E. Jr. y Orlando Filho, J. 1981. Adubação de cana de açúcar na região centro-sul do Brasil. Boletím técnico Planalsucar 3(3):5-26.



### **Referencia bibliográfica**

QUINTERO DURÁN, R. Fertilización y nutrición. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, 1995. p.153-177.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA  
DE AZÚCAR DE COLOMBIA - CENICAÑA

Estación Experimental: vía Cali-Florida, km 26

Tel: (57) (2) 6648025 - Fax: (57) (2) 6641936

Dirección postal: Calle 58 norte no. 3BN-110

Cali, Valle del Cauca-Colombia

[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)

[buzon@cenicana.org](mailto:buzon@cenicana.org)