

# NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN COSTA RICA

**Marco Chaves Solera**

Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (LAICA-DIECA) <sup>1/</sup>

## INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar más que un cultivo y una actividad empresarial, ha representado toda una cultura para Costa Rica, en virtud de que su participación ha sido muy amplia e intensa a través de la historia (Chaves, 1997b). Desde su ingreso al territorio nacional en el siglo XVI presuntamente procedente de Nicaragua, la caña acompañó los procesos de colonización y desarrollo que se sucedieron en el interior del país. Son muchas las formas y manifestaciones a través de las cuales la caña y sus subproductos han intervenido el quehacer del pueblo costarricense.

## ZONAS DE CULTIVO

La producción de caña de azúcar está distribuida por todo el país, sin embargo, como se observa en el Cuadro 1, es posible ubicar seis regiones geográficas principales bien definidas.

**CUADRO 1**  
**CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LAS REGIONES PRODUCTORAS DE CAÑA DE COSTA RICA.**

VARIABLE	SAN CARLOS		GUANACASTE		TURRIALBA			VALLE CENTRAL			PEREZ ZELEDON		ESPARZA
	CIUDAD QUESADA	QUEBRADA AZUL	TABOGA	LA GUINEA	CATIE	ATIRRO	JUAN VIÑAS	AEROPUERTO	LA LUISA	LA ARGENTINA	SAN ISIDRO	VOLCAN	PUNTA-RENAS
ALTITUD (msnm)	650	83	40	40	602	625	1,165	932	1,250	840	703	418	3
PRECIPITACION ANUAL (mm)	4,574	3,295	1,702	1,783	2,605	2,769	3,335	1,948	2,975	1,950	2,934	3,627	1,570
TEMP (°C)													
MAXIMA	27,1	30,4	32,5	33,0	29,6	26,9	26,5	28,0	30	28,4	31,0	31,0	32,9
MEDIA	23,0	25,4	27,2	27,2	22,7	22,1	20,7	22,3	23	23,0	25,1	25,1	27,9
MINIMA	18,8	20,4	22,4	22,4	18,6	17,2	14,9	17,6	17	17,6	19,3	19,3	23,0
BRILLO SOLAR (horas)	4,0	ND	6,9	7,4	4,5	3,5	4,1	6,7	5,2	6,6	5,2	5,2	6,8
RADIACION (Mj/m <sup>2</sup> )	16	ND	19	ND	17,2	16	16	19	ND	17	16	16	15,5
H.R. (%)	87	85	74	82	88	88	86	77	ND	78	84	84	81
ALTITUD (msnm)	40-680		0-150		550-1550			530-1500			400-750		0-350
INGENIOS (No)	3		3		2			6			1		1
AREA CAÑA (ha)	7.100		23.400		4.900			5.000			4.300		6.400
(%)	13,89		45,79		9,60			9,79			8,41		12,52
CICLO VEGETATIVO (MESES)	9-12		9-12		11-24			11-16			10,13		9,12
ÍNDICE MADUREZ PENDIENTE (%)	DEFICIENTE		BUENO		BUENO			MUY BUENO			EXCELENTE		BUENO
	0-20		0-8		0,35			0-30			0-25		0-10

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional y LAICA.

ND= Valor no disponible

Los valores corresponden a totales y promedios anuales de Estaciones Meteorológicas de las regiones en mención.

<sup>1/</sup> Participación de DIECA en el XI Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, julio 1999. p:46-67.

Cada una de esas regiones posee características y condiciones productivas muy diferentes y particulares, que hacen que el potencial productivo, la expectativa de rendimientos agroindustriales y los costos de producción involucrados varíen significativamente. El Cuadro 2 expone el detalle productivo por región agrícola para la zafra 97/98.

**CUADRO 2.**  
**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA COSTARRICENSE SEGÚN**  
**REGIÓN AGRÍCOLA, DURANTE LA ZAFRA 1997-1998c.**

REGIÓN	PRODUCCIÓN (TM)				RENDIMIENTO INDUSTRIAL <sup>1)</sup>		RELACIÓN CAÑA / AZÚCAR	INGENIOS ACTIVOS (Nº)	ÁREA CULTIVADA <sup>2)</sup>	
	CAÑA	%	AZÚCAR <sub>1)</sub>	%	KG / TM	%			HAS	%
GUANACASTE	1.736.896	47,2	173.168,4	45,5	99,71	9,97	10,03	3	23.400	45,79
VALLE CENTRAL	523.030	14,2	61.073,2	16,1	122,35	11,68	8,56	6	5.000	9,79
PUNTARENAS	486.651	13,2	46.934,7	12,3	96,44	9,64	10,37	1	6.400	12,52
SAN CARLOS	382.477	10,4	33.486,8	8,8	87,55	8,75	11,42	3	7.100	13,89
TURRIALBA-JUAN VIÑAS	315.450	8,6	33.845,0	8,9	107,29	10,73	9,32	2	4.900	9,60
PÉREZ ZELEDÓN	237.432	6,4	31.970,6	8,4	134,65	13,47	7,43	1	4.300	8,41
<b>TOTAL</b>	<b>3.681.936</b>	<b>100</b>	<b>380.478,7</b>	<b>100</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>51.100</b>	<b>100</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>103,34</b>	<b>10,33</b>	<b>9,68</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaborado por el autor con información de LAICA

<sup>1)</sup> Dado en 96° de polarización

<sup>2)</sup> valores estimados en abril de 1999

De los 16 ingenios activos, 6 se ubican en el Valle Central, sin embargo, los 3 de mayor capacidad de procesamiento y fabricación de azúcar, están en Guanacaste.

### REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar es una planta sensible a los efectos del clima. Se cultiva en el país en un piso altitudinal que va desde el nivel del mar hasta aproximadamente 1550 msnm, como lo señala el Cuadro 3, manteniendo el estrato más bajo (< 200 msnm) la mayor producción de caña (58,5%) y azúcar (56,55%).

**CUADRO 3.**  
**DISTRIBUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CAÑA Y AZÚCAR FABRICADA**  
**EN COSTA RICA, SEGÚN PISO ALTITUDINAL. ZAFRA 1997/1998.**

ALTITUD (msnm)	CAÑA PROCESADA		AZÚCAR FABRICADA *		RENDIMIENTO INDUSTRIAL (%)	RELACIÓN CAÑA / AZÚCAR
	TM	%	TM	%		
0 - 200	2.153.957,73	58,50	202.532,35	56,55	9,40	10,64
201 - 600	569.840,30	15,48	50.400,36	14,07	8,84	11,31
601 - 1000	522.934,81	14,20	58.719,37	16,40	11,23	8,91
+ 1000	435.202,80	11,82	46.470,37	12,98	10,68	9,36
<b>TOTAL</b>	<b>3.681.935,64</b>	<b>100</b>	<b>358.122,45</b>	<b>100</b>	<b>9,73</b>	<b>10,28</b>

Fuente: Elaborado por el autor.

\* Valores dados en "Tel - Quel"

La mejor concentración de azúcar en los tallos la muestra la zona intermedia que va de 600 a 1.000 msnm, mientras el estrato que va de 200 a 600 msnm mantiene el rendimiento más bajo. Esta definición altitudinal establece comportamientos climáticos diferenciales, que inducen variaciones importantes en el comportamiento de la planta, aún en el caso de variedades cuya adaptabilidad es amplia en el sentido altitudinal, como ocurre con Q96 y PINDAR.

Particularmente importante, es la amplitud de los límites medios de tolerancia a la temperatura para el crecimiento y desarrollo de la planta como elemento de adaptación. La literatura es variable en este tópico aunque indica que el ámbito de temperaturas mínimas varía entre 15 y 16°C, el promedio arriba de 21°C, con un óptimo entre 25 y 26°C, y una máxima superior a 28°C, con un límite crítico sobre 33°C. Se indica que las temperaturas inferiores a 21°C retardan el crecimiento de las raíces, el cual se paraliza a los 10°C. Por su parte, se asegura que una temperatura de 27°C representa un óptimo para la absorción de nutrimentos en el suelo.

### REQUERIMIENTOS EDÁFICOS

Por su naturaleza extensiva en lo relativo a área ocupada, e intensiva en lo correspondiente al uso de los recursos disponibles, la caña de azúcar se cultiva en Costa Rica en una amplia diversidad de condiciones edáficas; se han identificado plantaciones establecidas en 7 órdenes de suelo, distribuidos en orden de importancia según región como se indica en el Cuadro 4:

**CUADRO 4.**  
**ÓRDENES DE SUELO (SEGÚN USDA) EN LOS CUALES SE ENCUENTRA**  
**CULTIVADA LA CAÑA DE AZUCAR EN COSTA RICA.**

REGIÓN	SUELO PRINCIPAL	REGIÓN	SUELO PRINCIPAL
GUANACASTE	Inceptisol Vertisol Molisol Entisol Alfisol	VALLE CENTRAL	Andisol Inceptisol Alfisol
PUNTARENAS	Inceptisol Alfisol	TURRIALBA	Ultisol Andisol Inceptisol
SAN CARLOS	Inceptisol Ultisol	PÉREZ ZELEDÓN	Ultisol Inceptisol

Fuente: Chaves (1996)

En lo que respecta a la fertilidad del suelo, se acepta internacionalmente que la planta de caña puede tolerar variaciones severas en la fertilidad y en el equilibrio nutricional, pese a lo cual los rendimientos agroindustriales decrecen en la medida en que los niveles de fertilidad son bajos o mal equilibrados.

Se admite asimismo que la caña presenta una elevada capacidad de adaptación en suelos de pH variables, en razón de su rusticidad, desarrollándose bien en una amplia faja de pH que va según la literatura de 4,0 a 8,3; aunque la mayoría de investigadores asegura que el pH ideal se encuentra ubicado entre 5,5 y 6,5 (Chaves, 1988, 1991).

Con respecto a su rusticidad en relación a la fertilidad, la caña de azúcar es una planta relativamente tolerante a la presencia del aluminio intercambiable del suelo, lo que favorece el crecimiento y profundización de su sistema radicular en las capas subsuperficiales del suelo. Sin embargo, se han verificado efectos negativos de la toxicidad del  $Al^{+3}$  y de la deficiencia de Ca y Mg sobre las tasas de crecimiento y desarrollo radicular.

## **CICLO VEGETATIVO**

La caña de azúcar posee un período vegetativo muy variable, cuya duración depende básicamente de las características del material genético utilizado, y también de la influencia que el clima ejerce en este proceso biológico. En Costa Rica varía entre 9 y 24 meses de edad en relación casi directa con el piso altitudinal (0-1.550 msnm), manteniendo las plantaciones cultivadas a más de 1000 msnm ciclos por lo general entre 16 y 24 meses en planta y de 12 a 18 meses en soca o retoño; abajo de esa altitud el ciclo por lo general es de 9 a 14 meses.

A la caña de azúcar se le establecen tres fases bien diferenciadas en su ciclo de desarrollo vegetativo:

### **Germinación, macollamiento y ahijamiento:**

Esta fase da inicio desde la misma siembra del esqueje, o en su caso, luego de realizada la corta y cosecha de la plantación, por lo que incluye los procesos involucrados con la estimulación de la yema para la germinación, la emergencia de las plántulas luego de germinadas, el macollamiento y el ahijamiento. La fase finaliza con el cierre de la plantación, caracterizado por la cobertura que ocurre entre las hojas de plantas en surcos paralelos, sembradas a distancias normales (1,20 m a 1,70m).

### **Rápido crecimiento:**

Es la fase en la cual la plantación crece y desarrolla con gran rapidez, manteniendo un gran acúmulo de materia seca y definiendo con ello el futuro tonelaje. Se le ubica entre el “cierre” de la plantación y el inicio de maduración de los tallos. En esta fase como en la anterior los contenidos de humedad en los tejidos y el nitrógeno mantienen niveles de concentración elevados.

### **Maduración:**

La duración de esta fase se relaciona con las características genéticas del clon, las condiciones edafoclimáticas y de manejo en que se encuentre éste ubicado. La maduración se refiere al proceso sistemático de acumulación de sacarosa en los tallos, en el cual los azúcares simples o primarios (reductores): glucosa y fructuosa, se integran para formar la sacarosa (azúcar no reductor), disacárido de interés comercial directo. La duración puede ser reducida mediante el empleo de madurantes químicos artificiales, que detienen el crecimiento y estimulan el rápido acúmulo de sacarosa (4-8 semanas), aunque por lo general la fase natural tarda de 2 a 3 meses. Los contenidos de humedad en los tejidos de la planta disminuyen aceleradamente hasta ubicarse en niveles próximos a 73% (humedad gravimétrica), durante su punto ideal de cosecha, lo que también ocurre con el nitrógeno (0,25%); ambos indicadores son valorados en los internudos 8-10 del tallo como sección indicadora (Chaves y colaboradores, 1989). La emergencia de la flor marca el inicio de esta fase, la cual culmina con la cosecha de la planta en su punto de máxima concentración de sacarosa en los tallos. Existe un cambio anatómico-fisiológico importante, que es la conversión del meristemo apical y floral.

## VARIETADES CULTIVADAS

La caña es una planta que posee una muy alta variabilidad de las características agroproductivas de sus clones comerciales, como resultado de la poliploidia que exhibe, lo que potencia una elevada variabilidad genética, motivo por el cual su adaptabilidad a condiciones adversas, su capacidad productiva, la condición de fitosanidad y los requerimientos nutricionales son también variables. El Cuadro 5 expone un resumen genérico de las 11 principales variedades de caña de azúcar sembradas en Costa Rica.

**CUADRO 5**  
**ESTIMACIÓN DEL ÁREA SEMBRADA CON CAÑA DE AZÚCAR EN**  
**COSTA RICA DURANTE 1998**

VARIETADE	ÁREA (HAS)		
	MUESTREADA	%	SEMBRADA
SP 70-1284	8.134,3	22,56	11.528,2
Q 96	3.507,3	9,73	4.972,0
SP 71-5574	2.651,1	7,35	3.755,9
PINDAR	2.170,4	6,02	3.076,2
CP 72-2086	2.145,1	5,95	3.040,5
NA 56-42	2.092,3	5,80	2.963,8
NCo 310	1.934,1	5,36	2.739,0
CP 72-1210	1.485,0	4,12	2.105,3
NCo 376	1.444,5	4,01	2.049,1
SP 71-6180	1.332,5	3,70	1.890,7
H 61-1721	967,0	2,68	1.369,5
SUB TOTAL (11)	27.863,6	77,28	39.490,2
OTRAS (68)	8.195,9	22,72	11.609,8
TOTAL (79)	36.059,5	100	51.100,0

Fuente: Chaves *et al* (1998a)

Como se observa, es muy diferente el origen, la composición genética y por ende las características agroindustriales de las variedades cultivadas comercialmente en el país, destacando las series de origen brasileño (SP, RB), estadounidense (CP, H) australiano (Q y PINDAR), Barbados (B), Sudáfrica (NCo), argentino (NA), La India (Co), mexicano (Mex) y cubano (Ja), entre otras; lo que provoca la necesidad de establecer programas de fertilización acordes a los requerimientos de cada variedad.

## CONSIDERACIONES ANATÓMICAS Y ECOFISIOLÓGICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar es una planta que presenta una amplia variabilidad y reconocida capacidad de adaptación cuando es sometida a la presencia de condiciones desfavorables, tanto de clima de manejo como de suelo. La conformación anatómica y las características fisiológicas propias de la especie (*Saccharum spp*), proporcionan los mecanismos necesarios y suficientes para caracterizarla como una planta altamente eficiente, lo que favorece su capacidad de adaptación.

La vía fotosintética de la caña se ubica en el grupo de las plantas "C<sub>4</sub>", que poseen anatomía tipo "Kranz". Las hojas poseen dos tipos de cloroplastos: los localizados en las células del mesófilo y los de las células de la vaina vascular, con los cuales la planta es capaz de fijar CO<sub>2</sub> por dos vías: a) por la vía normal "C<sub>3</sub>" de CALVIN y, b) por la vía alternativa "C<sub>4</sub>", en compuestos de cuatro carbonos como ácido málico, principalmente, ácido aspártico o ácido oxalacético. Esa refijación de CO<sub>2</sub> en los haces vasculares de la vaina como fosfoglicerato (3-PGA) posibilita una mayor eficiencia fotosintética y utilización de la energía solar, puesto que su tasa fotosintética aumenta con

la luminosidad, hasta alcanzar valores superiores a 60 Klux ( $\approx 600 \text{ w/m}^2$ ) de intensidad, variando según la literatura de 6,5 a 150 Klux ( $\approx 65$  a  $1500 \text{ w/m}^2$ ), en función de la variedad, confiriéndole un elevado punto de saturación de luz. La caña alcanza valores de fijación de  $\text{CO}_2$  elevados, lo que refleja su elevada capacidad fotosintética y alto punto de compensación. Se asegura que posee una eficiencia que va de 5 a 6% en la conversión de energía solar.

Adicionalmente, la caña no presenta fotorrespiración aparente, con lo cual no elimina o pierde  $\text{CO}_2$  por las hojas a tasas rápidas, simultáneamente con la absorción de  $\text{CO}_2$  por la fotosíntesis y estimulada por la luz. Su velocidad de fotosíntesis es cerca de dos o tres veces superior a la de las gramíneas tipo “ $\text{C}_3$ ”, presentando una capacidad fotosintética de 34 a  $86 \text{ mg CO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$ .

La vía “ $\text{C}_4$ ” permite realizar la fotosíntesis con los estomas prácticamente cerrados, lo que duplica su eficiencia en el uso del agua y su transpiración relativa (fotosíntesis líquida/transpiración), en comparación con otras gramíneas del tipo “ $\text{C}_3$ ”. Por esta razón, la caña utiliza el agua con mayor eficiencia, manteniendo a su vez, una mayor adaptabilidad en condiciones con presencia de déficit de humedad o sequía.

El Índice de Área Foliar (IAF) que describe la dimensión del sistema asimilador de una comunidad vegetal, constituye un excelente índice para evaluar la capacidad de desarrollo del follaje y, consecuentemente, de la capacidad fotosintética total, denominada productividad bruta. La caña presenta en este sentido una gran área foliar, con un IAF elevado (4 a 10) y muy variable de acuerdo con la variedad; sus hojas son casi verticales durante la mayor parte de su período de crecimiento y el ancho de la lámina foliar es variable, lo que eleva significativamente su eficiencia en la intercepción de luz (Chaves, 1988).

### **Fijación Biológica de Nitrógeno**

Recientemente se ha verificado luego de más de 40 años de investigación continua que la caña de azúcar presenta un sistema fijador de  $\text{N}_2$  constituido por bacterias aeróbicas, anaeróbicas y anaeróbicas facultativas, que bajo condiciones favorables, contribuyen significativamente en la economía del N y la adaptación de la planta a suelos de baja fertilidad (Chaves, 1988). Se han identificado bacterias del género *Beijerinckia* asociadas a las raíces de la caña; además de otros géneros como: *Azotobacter*, *Enterobacter sp*, *Erwinia sp*, *Caulobacter*, *Dexia*, *Clostridium*, *Vibrio*, *Bacillus spp*, *Spirillum spp*, *Azospirillum spp*, *Klebsiella spp* y *Saccharobacter nitrocaptans*, entre otras, las cuales se han asociado a la fijación de N atmosférico ( $\text{N}_2$ ) reduciéndolo a  $\text{NH}_4^+$  (Chaves, 1997a).

### **Sistema Radicular**

Se le ubica como una de las características anatómicas que hacen posible la gran rusticidad de la planta. La literatura informa la existencia de tres tipos básicos de raíces: a) superficiales, ramificadas y absorbentes; b) de fijación más profundas, y c) raíces cordón que pueden alcanzar hasta 6 m de profundidad (Orlando, 1983). Posee además una capacidad de alargamiento horizontal y de profundización muy superior al que muestran otros cultivos de interés comercial, aún en condiciones de suelo químicamente limitantes y de fuerte compactación. Todos esos atributos favorecen su elevada capacidad de exploración, sostén y extracción de agua y nutrientes del suelo, lo que le confiere a la planta de caña gran adaptabilidad en suelos de baja fertilidad y en localidades con lluvia deficiente.

Luego de efectuada la siembra, las primeras raíces que emergen son las de fijación, originadas a partir de los primordios radiculares de la semilla. Se ha demostrado que durante los primeros 25-35 días luego de brotar las yemas en la fase de germinación, la planta utiliza para su sobrevivencia las reservas contenidas en la semilla, supliendo parcialmente esas raíces el agua necesaria.

El desarrollo posterior de raíces en los hijos primarios, secundarios y sucesivos de la cepa, establecen independencia, haciendo que las raíces de fijación pierdan su función. Se estima que luego de 90 días la planta pasa a depender exclusivamente del sistema radicular de sus nuevos hijos. Los estudios revelan que durante los 90 días posteriores a la siembra, el sistema radicular de la caña se encuentra distribuido y concentrado en los primeros 30 cm del suelo. En el caso de la caña soca, el sistema radicular establecido mantiene su actividad luego de ocurrida la corta de la planta aún por algún tiempo, siendo luego sustituido lenta y gradualmente por el sistema generado por los nuevos retoños. Como se deduce, el sistema radicular de la caña de azúcar es diverso, vigoroso y dotado de una amplia dinámica en su renovación, la cual es permanente.

La distribución de las raíces en el suelo varía entre variedades, ordenes de suelo, grado de compactación, textura, disponibilidad de humedad y presencia de limitantes químicas por alta concentración de algunos elementos tóxicos (Al, Fe, Cu, Mn, Na). Paz Vergara *et al* (1980) citados por Fageria *et al* (1997), indican que bajo condiciones de riego en el Perú, la distribución de raíces de las variedades H 32-8560 y H 57-5174 fue de 48,68% en los primeros 30 cm; de 16-36% entre 30 y 60 cm; de 3 a 12% entre 60 y 90 cm; de 4 a 7% en profundidades de 90 a 120 cm y de 1 a 7% entre 120 y 150 cm; cuando se profundizó más (150-180 cm) se encontró porcentajes inferiores al 4%. Estudios de esta naturaleza ratifican la alta capacidad exploratoria que posee la caña de azúcar. Aseguran Fageria y colaboradores (1997), que la variación genotípica del sistema radicular de la caña está bien documentada; anotan la existencia de gravitropismo diferencial entre clones.

Las características de desarrollo del sistema radicular son determinantes en la estrategia de fertilización comercial del cultivo, puesto que como se deduce, en el ciclo planta son convenientes las aplicaciones retardadas (no tardías) de nutrimentos (luego de 30 días), para asegurar su adecuada absorción.

## **Rusticidad**

Todas las características y propiedades de orden anatómico-fisiológicas y genéticas anotadas anteriormente, tipifican a la caña de azúcar como una planta de alta rusticidad, sobresaliente capacidad de adaptación, elevado potencial de producción y conversión de energía solar. Se le han reportado a la caña en este sentido, producciones de materia seca estimadas en hasta 280 TM/ha/año, lo cual es bastante elevado, como lo señalara Chaves (1988).

Tales particularidades explican algunas de las razones por las cuales, muchas tentativas en busca de lograr efectos y diferencias significativas en materia de investigación no resultan fructíferas. Explican de la misma manera con criterio técnico, la elevada rusticidad que la planta de caña posee y que le permite sobrevivir, adaptarse y hasta ser productivamente eficiente donde otros vegetales se ven limitados; de tal manera, que aquella aseveración que algunas personas indican de que “la caña de azúcar es una mala hierba”, tiene razones científicamente explicables para comprender ese comportamiento.

## DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL

Debe aclararse que lo correcto en esta materia es hablar de diagnóstico de tejidos o diagnóstico de planta, en virtud de que la valoración puede realizarse sobre varias secciones u órganos del vegetal, como son la lámina (con y sin nervadura central), la vaina de la hoja, la raíz y los internudos del tallo. Asimismo, aún en una misma sección de la planta es factible utilizar tejidos diferentes, tal como acontece con las hojas, las vainas y los internudos según su posición y grado de madurez del tejido.

Las finalidades básicas del diagnóstico foliar son: diagnóstico de las deficiencias minerales o desórdenes nutricionales de la planta, levantamiento del estado nutricional y recomendación de un programa de fertilización acorde con las necesidades reales.

### Métodos de diagnóstico foliar

**DIAGNÓSTICO FOLIAR CLÁSICO:** basado en la determinación del denominado nivel crítico, el cual puede desagregarse a su vez como:

**Métodos de Análisis Múltiples:** Incluye aquellos criterios que se efectúan con sentido de continuidad a lo largo del ciclo vegetativo de la planta, por lo que es apto para condiciones de ciclo prolongado (24 meses), tal como acontece en las zonas de altura (> 1.000 msnm) con variedades de origen hawaiano. Se compone a su vez de los siguientes métodos específicos:

**Registros de Desarrollo, “Crop-logging o Crop-Log”:** Se efectúa con una periodicidad de 35 días hasta el final del ciclo, iniciando a partir del momento en que la planta posee 6 hojas completas. Utiliza las hojas 3, 4, 5 y 6 estableciendo límites por períodos vegetativos. Implica llevar registros de otros elementos que intervienen como son humedad, clima, manejo, etc., por lo que es muy laborioso y oneroso, aunque sus resultados muy satisfactorios (Clements, 1980).

**Análisis de Internudos 8-10 del Tallo (Stalk-Log).** También recomendado para condiciones de ciclos prolongados. Se valoran en el mismo los internudos 8, 9 y 10 (eliminando el nudo) con respecto a sus concentraciones (%) de N, P, K y la humedad del tejido (Chaves y Salazar, 1989b).

**Métodos de Análisis Selectivos:** Implica la realización de pocos muestreos por lo que es apto para ciclos cortos de 12 a 18 meses. Muy variable entre países, aunque predomina el uso de la hoja + 1 (Guyana, Mauricio, Sudáfrica, Australia), la hoja + 3 (Brasil) y las hojas 4, 5 y 6 (Puerto Rico). La inclusión o ausencia de la nervadura central es también opcional, aunque su eliminación es mayoritaria a nivel internacional.

**Métodos Especiales de Análisis:** Incluye varios criterios específicos que varían en facilidad y exactitud:

**Parcelas Diferenciales:** Áreas especiales (microparcels). Son fertilizadas con dosis diferentes a las comúnmente empleadas comercialmente; método útil en zonas con escasos antecedentes y conocimiento sobre el comportamiento de la planta con respecto a la fertilización.

**Medición de la Savia en la Nervadura Central:** Emplea nervaduras centrales de las primeras 7-9 hojas (partiendo de + 1). Se ha utilizado principalmente para diagnosticar la condición del K.

**Análisis Rápido de Tejido:** Es actualmente inoperante, aunque se basó en el análisis de las vainas 3, 4, 5 y 6. Su diagnóstico sobre el N era muy deficiente, pues lo minimizaba lo que inducía al error sobre un nutrimento tan importante.

**Valoración del Índice de Crecimiento Relativo:** Establece correlaciones entre el peso de algunas secciones de la planta (en estados precoces) y la producción final; emplea básicamente hojas y vainas.

### **SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNÓSTICO Y RECOMENDACIÓN (DRIS):**

Se le conoció primeramente con el nombre de diagnosis fisiológica; fue originalmente propuesto por Beaufils en 1973 para el estudio nutricional de la planta de hule (*Havea brasiliensis*). El método propone el establecimiento de relaciones de equilibrio foliar entre macronutrientos (N/P, N/K, K/P), asumiendo que toda variación de un elemento mineral, correlaciona (positiva o negativamente) con uno o varios nutrimentos. Mediante el uso de un diagrama se posibilita el diagnóstico del balance nutricional del N, P y K. Incorpora además otros elementos esenciales como Ca, Mg, S, Fe, Cu y Mn. La valoración conjunta de elementos introduce una importante ventaja sobre otros métodos (Orlando, 1983).

El DRIS analiza los factores nutricionales que interfieren en la productividad de la planta, a través de índices calculados a partir de relaciones donde intervienen las concentraciones de los nutrimentos considerados en conjunto (dos a dos). Los índices DRIS indican el orden de limitación de los nutrimentos, sea por exceso o también por deficiencia, así como el grado de exigencia de cada nutrimento. Este método de diagnóstico viene adquiriendo relevancia a nivel internacional en la caña de azúcar y otros cultivos como café, maíz, soya, trigo, macadamia, naranja, papaya y hule.

En Costa Rica se han realizado algunos intentos por evaluarlo y consolidarlo como criterio de diagnóstico nutricional en la caña (Salas, 1996), lo cual sin embargo requiere aún de más investigación, en virtud de la diversidad de condicionantes que intervienen e interfieren nuestra agroindustria azucarera (suelos, clima, variedades, manejo, etc.)

Los métodos señalados anteriormente difieren en facilidad técnica, precisión, costo involucrado, tiempo requerido, capacidad predictiva y representatividad, motivo por el cual poseen ventajas y desventajas que deben necesariamente ponderarse para decidir el más idóneo. Lo cierto del caso, es que el experimento de campo continuará siendo sin lugar a dudas el criterio más acertado, actualizado y correcto para conocer con certeza la condición productiva y la respuesta del cultivo a la adición de nutrimentos; sobre todo si reconocemos la variabilidad que la naturaleza genética de las variedades cultivadas impone.

### **Nombramiento de las Hojas**

Para ubicar y nombrar las hojas de acuerdo con su posición en la planta, se utiliza el sistema propuesto por Kuijper (1915) descrito por Malavolta (1982) y Orlando Filho (1983), en el cual la hoja + 1 corresponde por ejemplo, a la hoja más alta que mantiene su lígula visible (región anatómica de inserción de la vaina en el tallo); puesto que hay hojas del meristemo que no están aún desenrolladas y su lígula no es por tanto visible. La hoja + 3 es asimismo la tercera hoja (contando de arriba hacia abajo) que posee su lígula visible siguiendo el mismo procedimiento es factible nombrar el resto de hojas, manteniendo siempre como elemento inicial la presencia de lígula y realizando el conteo de arriba hacia abajo.

### Hoja de Referencia para Muestreo:

Para realizar el diagnóstico foliar, se tiene que a nivel internacional la hoja + 1, conocida también como TVD (Top Visible Dewlap) es la más utilizada; aunque particularmente Brasil empleó con bastante amplitud y aparente éxito la hoja + 3, la cual ha venido sin embargo a menos en los últimos años. La hoja que se toma como muestra para análisis, debe ser seleccionada utilizando el tercio medio de la lámina (aproximadamente 20 cm centrales), excluyendo la nervadura central. En la actualidad la TVD es la hoja más difundida y sobre la que existe mayor información, motivo por el cual es la que se recomienda para Costa Rica. Se estima que la TVD representa mejor la condición nutricional de la planta, al representar un tejido en plena transición. Se considera que la mejor edad para realizar el muestreo está entre los 3 y los 7 meses de edad del tejido, tanto para el ciclo planta como soca, como refiere Chaves (1998) al citar varias notas técnicas al respecto.

### Recolección de la Muestra:

Se recomienda que la recolección de las muestras para análisis independientemente del criterio y del tejido empleado, se efectúe antes de las 10 de la mañana como límite y preferiblemente próximo a las 8 horas, con lo cual se obviarían problemas por deshidratación. Se debe seguir un procedimiento aleatorio que asegure representatividad, como podría ser el seguir un recorrido en zig-zag o cruzar la plantación en diagonales. Evidentemente la cantidad de material vegetal a recolectar dependerá del tamaño y la uniformidad que exhiba la unidad de muestreo (lote, finca, localidad, región y variedad) a evaluar.

## Contenidos Nutricionales

La concentración de nutrimentos en los tejidos de la planta es muy variable, considerando la gran cantidad de factores que interfieren en forma directa o indirecta su contenido, como lo son:

- ✓ Variedad cultivada, lo cual resulta determinante como factor de variación.
- ✓ Sección de la planta y tejido empleado como muestra para efectuar el diagnóstico.
- ✓ Edad (meses) del tejido analizado.
- ✓ Condición nutricional de la planta, la cual es influenciada e intervenida directamente por el grado de fertilidad del suelo y la fertilización aplicada.
- ✓ Grado de humedad presente en el suelo y la planta.
- ✓ Desarrollo y condición (estabilidad) del sistema radicular de la planta.
- ✓ Situación climática del entorno, referida principalmente a lluvia, temperatura, luminosidad, humedad ambiente y viento; la mayoría de esas variables están determinadas a su vez por la altitud (msnm) de la localidad.
- ✓ Condición fitosanitaria de la planta.
- ✓ Estado físico-químico del suelo.
- ✓ Prácticas de manejo agronómico empleadas por el agricultor que modifican el entorno (ej. malezas, distancia de siembra, etc.) o interviene directamente la planta (riego, drenaje, mecanización, etc.).

A manera de resumen cabe señalar que Dechen y colaboradores (1995), ubican los niveles críticos (foliares) nutricionales para la caña de azúcar, tal como se anota a continuación:

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
%						Ppm				
1,60	0,12	1,20	0,40	0,20	0,20	10	6	100	50	10

**CUADRO 6.**  
**CONCENTRACIONES DE LOS MACRO Y MICRONUTRIMENTOS MÁS**  
**IMPORTANTES EN LOS TEJIDOS (FOLIAR Y VAINAS) DE LA CAÑA DE AZUCAR.**

NUTRIMENTOS	PESO SECO (%) FOLIAR*		EDAD TEJIDO (MESES)	PESO SECO (%) VAINA**		EDAD TEJIDO (MESES)
	CRITICO	OPTIMO		CRITICO	OPTIMO	
N	1.00 - 2.00	1.50 - 2.70	3 - 9	1.80 - 2.05	1.90 - 2.20	4-5
P	0.08 - 0.21	0.08 - 0.35	3 - 9	0.19 - 0.22	-	3-6
K	0.62 - 1.20	0.62 - 2.00	3 - 9	0.42	0.42 - 0.56	2-24
Ca	0.13 - 0.20	0.18 - 0.76	3 - 9	0.10 - 0.20	0.1 - 2.0	4-15
Mg	0.06 - 0.12	0.08 - 0.36	3 - 9	0.025- 0.10	0.105	9-15
S	0.12 - 0.14	-	3 - 9	0.22 - 0.30	-	6-10
Cu	0.6 - 5.0	4 - 100	3 - 11	5 - 10	-	8-10
Zn	10 - 18	15 - 50	3 - 24	10	-	9-15
Mn	<10 - 20	12 - 400	3 - 9	6 - 10	-	9-15
Fe	5 - 50	20 - 600	4 - 9	36	-	9-15
B	1 - 4	1 - 30	4 - 16	2	-	8-10
Mo	0.04 - 0.15	0.05 - 4	1 - 4	-	0.05 - 3.51	9-15
Si	0.10 - 1.0	1.06 - 4	2 - 6	0.35 - 0.55	1.03 - 1.5	9-15
Al	-	-	-	10 - 15	>100	8-10
Cl	-	-	-	<0.068	>0.5***	8-10

Fuente: Anderson y Bowen (1994).

\* Se refiere a las hojas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, en algunos casos sin nervadura central.

\*\* Vainas 1 a 4.

\*\*\* Toxicidad

Los valores estan expresados en base a peso seco.

**CUADRO 7.**  
**ESTADO NUTRICIONAL DE LA CAÑA DE AZUCAR SEGÚN CONCENTRACIONES**  
**DE LOS ELEMENTOS EN LA PLANTA.**

NUTRIMENTO	CONCENTRACION		
	BAJA	SUFICIENTE	ALTA
	PORCENTAJE		
N	1.60-1.90	2.00-2.60	> 2.60
P	0.15-0.17	0.18-0.30	> 0.30
K	0.90-1.00	1.10-1.80	> 1.80
Ca	0.10-0.19	0.20-0.50	> 0.50
Mg	0.08-0.09	0.10-0.35	> 0.35
S	< 0.14	0.14-0.20	> 0.20
	ppm		
Cu	3-4	5-15	> 15
Zn	15-19	20-100	> 100
Mn	20-24	25-400	> 400
Fe	20-39	40-250	> 250
B	2-3	4-30	> 30
Mo	< 0.05	0.05-4.0	> 4

Fuente: Jones *et al* (1991); Mills y Jones (1996)

Corresponde a la primera hoja del ápice, muestras vegetales con edades de 3 a 5 meses luego de sembrada la planta.

**CUADRO 8.**  
**CONTENIDO DE MICRONUTRIMENTOS EN LA HOJA + 3 DE LA CAÑA DE AZUCAR**  
**EN EL ESTADO DE SAO PAULO, BRASIL, SEGÚN CICLO VEGETATIVO.**

NUTRIMENTO	CICLO VEGETATIVO (ppm)	
	PLANTA	SOCA
B	15-50	-
Cu	8-10	8-10
Fe	200-500	80-150
Mn	100-250	50-125
Mo	0.15-0.30	-
Zn	25-50	25-30

Fuente: Malavolta (1982b)

### FERTILIDAD DE LOS SUELOS CAÑEROS COSTARRICENSES

El cuadro 9 expone el resultado químico promedio y específico por región, del análisis de más de 950 muestras de suelo, procedente de plantaciones comerciales de las seis regiones productoras de caña del país.

**CUADRO 9.**  
**APROXIMACION DEL CONTENIDO QUIMICO DE LOS SUELOS CULTIVADOS CON CAÑA**  
**DE AZUCAR EN COSTA RICA, SEGUN REGION AGRICOLA.**

REGION	NUMERO MUESTRAS	pH	Cmol (+)/l				ug/ml						% MO
			Al	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe	S	
GUANACASTE	159 <sup>1)</sup>	6,36	0,16	19,64	6,05	0,52	17,32	8,89	2,11	16,91	63,93	14,85	4,59
PUNTARENAS	51 <sup>2)</sup>	6,03	0,19	9,85	3,64	0,38	14,90	7,90	2,40	19,50	59,40	-	2,81
VALLE CENTRAL	118	5,28	0,59	3,88	1,29	0,52	8,43	16,37	3,88	28,81	+100	-	-
SAN CARLOS	317	5,44	0,46	6,04	2,71	0,83	3,83	13,36	4,60	54,56	90,9	0,96	6,63
TURRIALBA	145	5,07	0,91	4,77	1,36	0,21	5,94	17,05	4,23	25,08	+100	-	-
PEREZ ZELEDON	104	4,98	1,70	1,75	0,96	0,23	4,95	9,25	1,29	12,42	+100	5,08	-
<b>PROMEDIO</b>	<b>894</b>	<b>5,53</b>	<b>0,67</b>	<b>7,65</b>	<b>2,67</b>	<b>0,45</b>	<b>9,23</b>	<b>12,14</b>	<b>3,09</b>	<b>26,21</b>	<b>+100</b>	<b>6,96</b>	<b>4,68</b>

<sup>1)</sup> y <sup>2)</sup> No contabiliza una gran cantidad de muestras de los ingenios CATSA y El Palmar.

\* Dado en Cmol(+)/l

Se evidencia y comprueba que la variabilidad es bastante amplia en todos los sentidos. El pH fluctúa desde 6.4 en Guanacaste hasta 5 en Pérez Zeledón. Otros indicadores químicos son igualmente variables, como acontece con los contenidos de Ca, Mg y P, que son elevados en Guanacaste y Puntarenas y muy bajos en Pérez Zeledón.

Algunos estudios específicos (Montes de Oca, 1994; Montes de Oca *et al* 1996ab), han identificado la presencia de suelos con influencia salina tóxica, en la región de Guanacaste, como aconteció con el análisis procedente de Tortugal, un vertisol del Ingenio Taboga cuya conductividad eléctrica (pasta saturada) fue de 16,2 dS/m (Chaves, 1988). En esta zona de Guanacaste especial relevancia exhiben los altos contenidos de P, así como la presencia de concentraciones adecuadas de Cu, Zn y Mn.

En el caso del Valle Central los suelos poseen características ácidas, con presencia de altos contenidos de Fe, medios de Al, Cu, Mn y K, así como insuficientes de P. Especial atención merecen el Ca y el Mg, pues el diagnóstico revela diferencias en algunas localidades como acontece con Atenas, Sarchí y gran parte de San Ramón.

La región de San Carlos evidencia por su parte, una mayor estabilidad en los contenidos químicos de sus suelos, caracterizándose por poseer valores de P y pH bajos, medios de Cu, Zn y Al y altos de Ca, Mg y Fe, respectivamente. El K requiere de análisis puntuales según localidades, ya que la variabilidad en sus contenidos es alta.

Los suelos de Turrialba son a su vez bastante diferentes entre sí, como reflejo posiblemente de la diversidad de factores que determinan con intensidad variable su condición físico-química, entre los que destacan elemento como la lluvia, deposiciones fluviales y volcánicas, etc. En general predomina una condición de fuerte acidez caracterizada por la presencia de altas concentraciones del Al y Fe, que generan a su vez insuficiencia de P y K, así como también de Ca y Mg en los suelos de algunas localidades muy particulares.

Pérez Zeledón exhibe la condición de fertilidad más deficiente de todos los suelos cañeros de Costa Rica, pues los contenidos de Al y Fe son elevados, en tanto que las concentraciones bajas de P, Ca, Mg, K, Zn y S son manifiestas; pocas son las excepciones a la regla anterior, lo que obliga a prestar especial atención a la nutrición como factor de producción determinante para la obtención de altos rendimientos agroindustriales.

## NUTRICIÓN DEL CULTIVO

### Remoción de Nutrientes

Por todos los atributos señalados con anterioridad, la caña de azúcar califica como una planta altamente extractora de nutrientes del suelo que provoca inclusive insuficiencia y agotamiento de los mismos. Muchos productores han reconocido inclusive en este sentido, que donde hubo establecida una plantación comercial de caña, la condición de fertilidad del suelo es por lo general bastante deficiente. Esta condición conduce a reconocer una gran verdad pragmática para el agricultor, cual es “no establecer semilleros donde hubo sembrada caña de azúcar, debido a que la condición nutricional es por lo general deficiente, lo que obliga a su corrección, induciendo con ello un incremento de los costos de producción”; los productores de café que establecen almacigales en suelos cañeros conocen muy bien los efectos de esta aseveración.

En un estudio efectuado en Costa Rica por Alpízar (1976), se verificó una diferencia importante en el grado de fertilidad de los suelos bajo condición de monocultivo de caña de azúcar, y la de los suelos aledaños con presencia de gramíneas (pastos). Se encontró que el efecto extractante del monocultivo produjo una mayor acidez (pH disminuyó de 5,6 a 5,1) y a un empobrecimiento general de los suelos. La caña posee especial preferencia hacia la extracción de ciertos elementos químicos de los suelos, los cuales son removidos con mayor intensidad induciendo un agotamiento más rápido de los mismos (Chaves, 1986c).

El cuadro 10 expone el resultado de una amplia revisión de literatura, que documenta los valores reportados a nivel mundial por numerosos investigadores, en cuanto a las cantidades de macro y micronutrientes extraídos por la planta de caña y referidos a los tallos; no se incluye en esa información la sección foliar ni las raíces.

**CUADRO 10.**  
**EXTRACCION DE MACRONUTRIMENTOS (Kg/TM DE TALLOS)**  
**POR LA CAÑA DE AZUCAR. REVISION MUNDIAL.**

N	P	K	Ca	Mg	S	Si	LUGAR	REFERENCIA
0,69	0,08	1,00	0,27	0,26	0,24	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1982 <sup>a</sup>
0,65	0,10	0,98	0,36	0,34	0,31	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1982 <sup>a</sup>
0,68	0,13	1,02	0,34	0,31	0,26	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1982 <sup>a</sup>
0,72	0,10	1,15	0,26	0,26	0,29	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1982 <sup>a</sup>
0,76	0,12	1,06	0,36	0,30	0,25	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1982 <sup>a</sup>
0,82	0,18	1,04	0,26	0,34	0,19	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1982 <sup>a</sup>
0,81	0,18	1,33	0,24	0,23	0,21	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1982 <sup>a</sup>
1,02	0,22	1,56	0,32	0,32	0,25	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1982 <sup>a</sup>
0,66	0,08	0,62	0,34	0,29	0,24	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1982 <sup>a</sup>
1,60	0,31	2,32	-	-	-	-	BRASIL	RAIJ, 1991
1,20	0,36	2,00	-	-	-	-	FRANCIA	FAO, 1970
1,20	0,44	2,50	-	-	-	-	ITALIA	FIAC-FAO, 1980
1,46	0,36	3,39	0,42	0,36	0,36	-	USA	FOTH, 1985
1,60	0,37	2,23	-	0,39	-	-	ALEMANIA	BASE, 1982
1,10	0,39	2,82	-	0,50	0,38	-	ITALIA	FIAC-FAO, 1980
1,05	0,15	1,66	0,30	0,38	-	-	MALASIA	KANAPATHY, 1976
1,08	0,38	2,85	-	-	-	-	ALEMANIA	BASE, 1982
0,75	0,20	1,25	0,28	0,10	-	-	USA	SANCHEZ, 1978
0,74	0,15	1,58	0,28	0,29	-	-	USA	SANCHEZ, 1978
0,85	0,12	1,33	0,32	0,27	-	-	USA	SANCHEZ, 1978
1,32	0,08	1,10	0,13	0,19	0,12	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1980
0,90	-	-	-	-	-	-	HAWAI	DILLEWIJN, 1952
1,30	-	-	-	-	-	-	HAWAI	DILLEWIJN, 1952
0,54	0,20	-	0,36	0,48	-	-	HAWAI	DILLEWIJN, 1952
0,50	0,22	1,38	-	-	-	-	BRASIL	GOMEZ Y CARDOSO, 1958
1,03	0,15	0,93	-	-	-	-	BRASIL	GOMEZ Y CARDOSO, 1958
1,32	0,09	1,09	0,26	0,19	0,14	0,93	BRASIL	CATANI et al, 1959
0,46-0,82	0,14-0,30	0,92-1,57	-	-	-	-	USA-LOUISIANA	GOLDEN, 1961
0,50-0,55	0,16-0,26	0,83-1,13	-	-	-	-	SUDAFRICA	JACOB Y UEXKULL, 1961
0,68-0,80	0,20-0,24	1,13	-	-	-	-	USA	BARNES, 1964
2,24	0,40	3,72	-	-	-	-	SUIZA	GEUS, 1967
-	0,18	1,42	-	-	-	-	GUADALUPE	LEMAIRE et al, 1967
-	-	-	-	-	0,58	-	BRASIL	VITTI et al, 1988
-	-	0,40-2,50	-	-	-	-	USA	KILMER et al, 1968
-	-	0,27-2,70	-	-	-	-	SUDAFRICA	STEWART, 1969
1,05	0,15	1,65	0,30	0,38	-	-	MALASIA	YOON, 1972
0,72	0,18	1,22	0,12	0,20	0,27	-	USA-LOUISIANA	FAUCONNIER Y OTRO, 1975
0,93	0,11	1,91	0,31	0,25	-	-	HAWAI	FAUCONNIER Y OTRO, 1975
1,00	0,22-0,31	1,25-1,66	-	-	-	-	USA-LOUISIANA	FAUCONNIER Y OTRO, 1975
1,00	0,13	1,49	0,43	0,30	0,51	-	USA-FLORIDA	ANDREIS, 1975
0,87-1,02	0,06-0,15	0,48-0,80	0,49-0,69	0,32-0,37	0,24-0,32	-	BRASIL	ORLANDO, 1978
0,66-0,85	0,07-0,19	0,48-0,84	0,27-0,39	0,28-0,35	0,20-0,26	-	BRASIL	ORLANDO, 1978
0,75	0,15	1,80	0,23	0,16	-	-	FILIPINAS	CRUZ Y PUYAOAN, 1970
1,11	0,31	4,10	0,43	0,37	-	-	FILIPINAS	CRUZ Y PUYAOAN, 1970
1,50	0,20	1,50	1,10	0,50	0,50	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1987
1,3	0,25	1,7	-	-	-	-	BRASIL	MALAVOLTA, 1987
1,10	0,46	2,63	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
1,14	0,34	1,86	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
1,15	0,40	2,33	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
0,83	0,25	1,84	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
0,44	0,54	2,36	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
0,60	0,70	1,11	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
0,51	0,54	2,58	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
0,66	0,57	2,05	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
0,51	0,55	0,92	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
0,56	0,49	1,73	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
0,53	0,56	1,10	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
0,61	0,44	1,03	-	-	-	-	CUBA	CUELLAR et al, 1981
0,44-2,24	0,06-0,70	0,27-4,10	0,12-1,10	0,10-0,50	0,12-0,58	-		INTERVALO
1,80	0,64	3,83	0,98	0,40	0,46	-		AMPLITUD
0,93	0,27	1,65	0,34	0,25	0,29	0,93		PROMEDIO

Como promedio mundial partiendo de esos resultados y obviando diferencias en variedades, ciclo vegetativo, manejo agronómico, clima y edad del tejido empleado en la valoración, se diagnostica el resultado promedio expuesto en el Cuadro 11.

**CUADRO 11.  
RANGO Y PROMEDIO MUNDIAL DE EXTRACCIÓN DE  
NUTRIMENTOS POR LA CAÑA DE AZÚCAR.**

ELEMENTO	REPORTES (N°)	RANGO	AMPLITUD	PROMEDIO
N *	54	0,44 – 2,24	1,80	0,93
P	53	0,06 – 0,7	0,64	0,27
K	54	0,27 – 4,1	3,83	1,65
Ca	26	0,12 – 1,1	0,98	0,34
Mg	28	0,10 – 0,5	0,4	0,25
S	19	0,12 – 0,58	0,46	0,29
Si	1	-	-	0,93
Fe **	13	2 – 155	153	42
Mn	19	1 – 37	36	11,6
Zn	19	2,3 – 9	6,7	4,39
Cu	22	0,05 – 27,12	27,07	6,52
B	19	0,04 – 2,52	2,48	1,69
Al	1	-	-	0,3
Na	1	-	-	6
Mo	2	-	-	0,02

Referido a: \* kg/TM y \*\* g/TM de caña, respectivamente.

De acuerdo con la información contenida en esos cuadros, el modelo de extracción nutricional promedio para los macro y micronutrientes, respectivamente, es el siguiente:

**K > N = Si > Ca > S > P > Mg**

**Fe > Mn > Cu > Na > Zn > B > Al > Mo**

Estableciendo estimaciones con base en los valores promedio de extracción mundial (Cuadro 9), y proyectando una producción comercial promedio nacional de caña de 76,2 TM/ha para el período 1990-98 (Chaves, 1999), las cantidades de elementos extraídas por estimación por una plantación nacional bajo esos supuestos, son las que se indican en el Cuadro 12.

**CUADRO 12.  
EXTRACCIÓN ESTIMADA DE MACRONUTRIMENTOS POR PARTE  
DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN UNA PLANTACIÓN PROMEDIO NACIONAL.**

NUTRIMENTO	EXTRACCIÓN DEL SUELO		
	KG/TM	KG/76,2 TM / AÑO	KG/ 6 COSECHAS
N	0,93	69,94	419,64
P	0,27 (0,62)	20,57 (47,24)	121,80 (283,46)
K	1,65 (1,98)	124,08 (150,88)	744,48 (905,28)
Ca	0,34 (0,48)	25,57 (36,27)	153,42 (217,63)
Mg	0,25 (0,41)	18,80 (31,62)	112,80 (189,74)
S	0,29 (0,87)	21,81 (66,29)	130,86 (397,76)
Si	0,93 (1,99)	69,94 (151,65)	419,64 (909,92)

El valor entre paréntesis se refiere a su forma absorbible.

## Necesidades Nutricionales y Posible Respuesta a la Fertilización

Con base en la información anterior es potencialmente factible identificar como nutrimentos de posible respuesta a la fertilización, los que se indican en el Cuadro 13.

**CUADRO 13.**  
**NUTRIMENTOS CON RESPUESTA POTENCIAL A SU ADICIÓN,**  
**SEGÚN REGIÓN PRODUCTORA DE CAÑA DE AZÚCAR EN COSTA RICA.**

REGION	GRADO DE RESPUESTA	
	PREFERENCIAL	CIRCUNSTANCIAL
GUANACASTE	N - P - S - Zn	K
PUNTARENAS	N - P - K - S - Zn	-
VALLE CENTRAL	N - P - Ca - Mg	K
SAN CARLOS	N - P - S	K - Ca
TURRIALBA-JUAN VIÑAS	N - P - K - S - Zn	Ca - Mg
PEREZ ZELEDON	N - P - K - Ca - Mg - S - Zn	-

Fuente: Chaves (1996)

Se nota que nutrimentos como el N, P y S presentan respuesta positiva a su adición en todo el país, excepto el S en el Valle Central, cuya respuesta ha sido en general baja en la mayoría de suelos (no todos). El K es de respuesta circunstancial según orden de suelo y variedad cultivada en Guanacaste, Valle Central y San Carlos; aunque de alta respuesta en Puntarenas, Turrialba-Juan Viñas y Pérez Zeledón.

La investigación sobre nutrición de la caña ha prestado especial atención en la última década a la aplicación de zinc al suelo, lo que ha demostrado ser agroindustrialmente favorable.

## INVESTIGACIÓN CON FERTILIZANTES

La creación de DIECA en 1982 imprimió un significativo y fructífero impulso y orientación, a la investigación que en materia de nutrición y fertilización se realizó en Costa Rica con el cultivo de la caña de azúcar. Como resultado, ha sido posible definir y establecer superficies de respuesta por ciclo vegetativo, nutrimento y región, tal como se expone en el Cuadro 14, las cuales aproximan las dosis de fertilizante comercial donde es factible alcanzar respuesta a su adición al suelo.

Cabe señalar que esas superficies no son estáticas, sino que incorporan el dinamismo que la agricultura en sí misma posee por lo que deben ajustarse en el tiempo, procurando mayor representatividad con respecto a lo que la planta hace al extraer los nutrimentos del suelo.

**CUADRO 14.**  
**AMBITO DE RESPUESTA DE LA CAÑA DE AZUCAR (Kg/ha) A LOS**  
**PRINCIPALES MACRONUTRIMENTOS, SEGUN REGION DE CULTIVO EN COSTA RICA.**

REGION	PLANTA			RETOÑO 3/			4/		TM/ha 5/
	N	P2O5	K2O	N	P2O5	K2O	MgO	SO4	CaCO3
GTE Y PUNTARENAS1/ VALLE CENTRAL	80-150	60-100	80-100	100-150	50-100	80-140	0	80	0
OCCIDENTAL	120-180	130-160	120-160	150-200	130-160	150-200	40	40	0 - 1,5
TURRIALBA - SAN CARLOS	110-150	120-200	130-180	120-150	100-150	130-160	40	40	0 - 1
PEREZ ZELEDON	120-150	150-200	130-180	120-150	180-200	150-180	40	40	1 - 2
REGIONES ALTAS 2/ AMPLITUD (MIN- MAX)	160-200 80-200	160-200 60-200	160-200 80-200	160-250 100-250	130-150 50-200	160-250 80-250	60 0-60	60 40-80	0,5 - 2 0 - 2

1/ En suelos molisoles y algunos vertisoles es recomendable la aplicación de 100-150 kg/ha de n; 100-120 kg/ha de p<sub>2</sub>o<sub>5</sub> 80-100 kg de k<sub>2</sub>o/ha.

2/ Alturas mayores de 1000 msnm y ciclo vegetativo superior a 15 meses.

3/ El fósforo se recomienda aplicarlo como complemento en segundo retoño.

4/ Aplicados en caña planta y segundo retoño.

5/ Incorporado al suelo un mes previa la siembra y el segundo retoño (tercer cosecha).

En términos generales, la caña planta y el primer retoño son los ciclos que mayor productividad tienen comercialmente en el país, lo cual va en función directa de su mayor vigor, mejor condición fitosanitaria y riqueza nutricional del suelo; motivo por el cual pareciera lógico reforzar a través de la fertilización el ciclo de los retoños posteriores, donde las necesidades y la respuesta son por lo común mayores, por lo que se sugiere reducir el uso de N y K en el ciclo planta para elevarlos posteriormente, lo cual esta sin embargo, en fase de investigación y revisión actualmente.

### **Nitrógeno:**

Por su función y funcionabilidad en la planta, el N es el nutrimento que mayor cuidado y atención requiere en su empleo, puesto que la adición de dosis excesivas o tardías, pueden afectar la fase de maduración y con ello la concentración de sacarosa en los tallos. Es necesario por tanto, valorar fuentes, dosis, épocas y métodos de aplicación en cualquier programa de fertilización comercial que se establezca.

Se tiene por demostrado en caña de azúcar, que el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> es la forma nitrogenada más absorbida, aún cuando el N se adicione en su forma amoniacal; lo que acontece por las oxidaciones biológicas promovidas por la actividad microbial del suelo. Las formas nítricas (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) parecen ser más rápidamente absorbidas e incorporadas por la planta, respecto a las amoniacales (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y las ureícas (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>). El sulfato de Amonio (21%N y 23,7% S), la Urea (46%N) y el Nitrato de Amonio (33,5%) han mostrado buenos resultados, al igual que el Nitramon (20%N y 8%MgO) como fuentes comerciales de N.

El N es recomendable adicionando en forma fraccionada en períodos que no superen los 90 días luego de la siembra o la cosecha de la planta, cuando hay humedad que estimule los procesos de transformación del producto en el suelo y la germinación y retoño de la planta.

La práctica de quemar las plantaciones de caña para realizar la cosecha, provoca la pérdida de importantes cantidades de N y S por volatilización, los cuales no se incorporan nuevamente al sistema, sino que representa una pérdida neta de esos nutrimentos.

## **Fósforo:**

Conjuntamente con el N son los dos nutrimentos con mayor respuesta a su aplicación en la caña de azúcar, ya que su presencia se traduce en aumentos de tonelaje la mayoría de las veces muy significativos. Su adición en suelos ácidos (Ultisoles) o de origen volcánico (**Andisoles**) provoca respuestas por lo general muy positivas, acompañadas por el mejoramiento de la productividad (TM/ha) de la caña y también del azúcar (Kg/TM). La presencia de los sesquióxidos de Fe y Al es la causa de la fijación del P en los Ultisoles, en tanto que la presencia de alofanos es la causante de la retención del P en los Andisoles. A nivel industrial es bien conocido, que plantaciones que recibieron una buena fertilización a base de P en el campo, obtienen ventaja en el proceso de fabricación industrial del azúcar al mostrar mejor clarificación de los jugos.

El Triple Superfosfato (46%  $P_2O_5$  y 13% Ca) es la fuente que mejores resultados y eficiencia productiva a obtenido, pese a lo cual el Fosfato Monoamónico (MAP) con 11% de N y 48% de  $P_2O_5$  y el Fosfato Diamónico (DAP) con 16% de N y 48% de  $P_2O_5$  también son favorables como fuentes solubles de acción rápida. El empleo de rocas fosfóricas ha revelado tener ventajas en la caña, en virtud de su lenta liberación y disponibilidad permanente a través de todo el ciclo vegetativo, lo cual resulta favorable por la naturaleza semipermanente del cultivo. Pese a ello, su efecto productivo es inferior respecto al P proveniente de fuentes de alta solubilidad.

Con fundamento en su función y funcionabilidad en la planta, el P debe incorporarse al fondo del surco durante la siembra como lo han demostrado los resultados experimentales. Se han encontrado diferencias al adicionarlo superficialmente, incorporado, al voleo o en el entresurco de la plantación. Los mejores efectos del P se han presentado cuando éste se complementa e interacciona con el encalado, lo cual genera un efecto sinérgico muy favorable, muy superior al alcanzado por los efectos individuales de esos dos componentes.

## **Potasio:**

El hecho de ser el elemento mayoritariamente extraído por la planta de caña, le otorga un papel relevante en los programas de fertilización comercial, aún en aquellas localidades donde pudiera existir alguna suficiencia en su contenido en el suelo. Debe indicarse que a diferencia del N y P, el K rara vez provoca incrementos sustanciales en el tonelaje de materia prima, aunque si se nota una mejora significativa de la calidad de los jugos.

Se asegura que el K afecta directa o indirectamente muchas, sino todas, las funciones bioquímicas y fisiológicas de la planta, siendo considerado uno de los factores que más contribuye para el logro de un mejor crecimiento y una mayor producción de la caña de azúcar (Chaves, 1998c). Los resultados han revelado que el K efectivamente influencia de manera diferencial según sea la dosis, el desarrollo inicial de la planta; a mayor presencia de K mayor tasa de crecimiento. Se ha determinado una correlación inversa entre el contenido de sacarosa y los niveles de azúcares reductores; se encontró también una eficiente inversión de sacarosa por parte de la enzima invertasa, principalmente en condiciones de deficiencia de K. La investigación ha procurado determinar la influencia del ion K sobre la actividad enzimática que regula la biosíntesis de los azúcares en la caña; de lo cual se tiene suficientemente verificado, que la ausencia de cantidades significativas de sacarosa están asociadas con la presencia de altas concentraciones de azúcares reductores (glucosa, fructuosa), los que a su vez correlacionan con la existencia de elevados niveles de invertasa ácida soluble, la cual es muy activa en los tejidos de la caña durante la fase de desarrollo vegetativo.

No se ha observado por otra parte, efectos directos del K en la actividad de la invertasa ácida y la invertasa neutra, a pesar de haber bajas concentraciones del elemento en el medio, lo que más bien promovió una actividad elevada. Se ha concluido con la investigación, que la edad fisiológica de la

planta ejerció una influencia más decisiva que la promovida por las dosis de K aplicadas, sobre la actividad de la enzima. La actividad de la invertasa ácida siempre fue mayor que la neutra. Queda evidenciada asimismo, la estrecha correlación existente entre la inversión de sacarosa y la actividad de la invertasa ácida, pues ésta se asocia en la hoja con los bajos niveles de sacarosa.

La experiencia con K ha mostrado diferencias leves en cuanto a dosis, aunque si se observan respuestas diferenciales importantes por parte de los clones, manteniendo los de origen Hawaiano especial avidez por este elemento (Chaves *et al*, 1989c; Chaves y Salazar, 1989a).

A diferencia de lo que acontece con el Nitrógeno y el Azufre, cuya pérdida por volatilización es elevada; la quema (un mal necesario que baja costos de producción y aumenta la eficiencia de la cosecha) permite y favorece la incorporación de sales de K al suelo a través de las cenizas, las cuales sin embargo, generan posteriormente serios problemas en el proceso de cristalización y fabricación del azúcar. Esta vía de restitución del K en el suelo es muy importante y significativa, puesto que reintegra mucho del elemento extraído que de otra manera se perdería con la cosecha y traslado de la materia prima a la fábrica, generando con ello una insuficiencia sistemática.

El K ha mantenido polémica en cuanto a su necesidad, lo cual ha llevado muchas veces a cuestionar la necesidad de su aplicación a través de la fertilización. Lo cierto del caso, es que su función reguladora de la acción enzimática, el balance iónico y el potencial osmótico de la planta, le hacen esencial como elemento complementario para favorecer la actividad del resto de nutrimentos, en especial el N (Chaves, 1998c).

Como conclusión debe señalarse, que el empleo del K responde más a una razón estratégica y de balance nutricional general, que de incremento directo de los rendimientos por su adición. Es por tanto suficiente ubicar y ordenar tres elementos básicos para interpretar su verdadera necesidad: contenido en los suelos cañeros nacionales, requerimientos por parte de la planta y función nutricional y metabólica del elemento.

## **Calcio:**

La planta de caña es una fuerte extractora de este nutrimento, lo cual conduce a su remoción y agotamiento en los suelos, provocando su acidificación, sobre todo en regiones de alta precipitación. La forma más viable desde la perspectiva técnica y económica de adicionar el Ca, es a través del encalado de los suelos, lo cual se ha hecho por muchos años en virtud de que las respuestas de la planta han sido muy positivas a su adición, pero sobre todo muy baratas, ya sea como  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaOH}$ ,  $\text{CaSiO}_4$ , dolomita o  $\text{CaSO}_4$ , que poseen un amplio potencial, obteniéndose respuestas diferenciales y significativas en cuanto a dosis, variedades, fuentes, localidades e interacción con varios productos como la cachaza.

Es por otra parte, positiva la respuesta alcanzada a la interacción  $\text{CaCO}_3 \times \text{P}_2\text{O}_5$  en la mayoría de pruebas experimentales realizadas en el país; lo cual sin embargo, no ha ocurrido en la zona de San Carlos con la variedad PINDAR (Barquero, 1989).

En lo que respecta al encalado de los suelos, los efectos deben esperarse en términos de tiempo (efecto residual) para lo cual deben valorarse sucesivamente varias cosechas; queda asimismo claro, que la dosis recomendada y la periodicidad de las aplicaciones quedan supeditadas al estado químico particular del suelo de referencia, por lo que no hay recetas en este sentido, pese a lo cual las respuestas óptimas obtenidas no han superado por lo general las 1,5 TM de  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$ , dosis que debe ser tomada por tanto como referencia. En aquellas condiciones donde el contenido de Ca es bajo y el grado de acidez no tóxico, pareciera razonable fraccionar el uso del  $\text{CaCO}_3$  en las cosechas sucesivas, de manera que no toda la cal se incorpore en una sola aplicación.

La práctica ha demostrado también la conveniencia de aplicar la cal al voleo e incorporarlo con la rastra durante la siembra, así como la aplicación en el borde del surco de siembra durante el resto de ciclos vegetativos (retoños).

### **Magnesio:**

Es posiblemente de los seis macronutrientes el menos estudiado en Costa Rica, lo que no implica de ninguna manera que desmerezca importancia en los programas de fertilización, o se interprete esto como que su efecto es agroindustrialmente poco relevante y por tanto despreciable. Es obvia su importancia al formar parte central de la molécula de clorofila, lo que hace intrascendente cualquier argumentación que pretenda minimizar su importancia. Las pruebas de campo realizadas en el país han mostrado efectos positivos en dosis próximas a los 40 kg de MgO/ha (Mesén y otros, 1996a ).

La adición de Mg debe mantener bajo regulación otros elementos que pueden verse afectados al generarse una relación catiónica desfavorable, como acontece con el Ca y el K. El empleo de las relaciones catiónicas como criterio de valoración nutricional ha constituido un elemento de vital importancia, en razón de que adecua y establece equilibrios entre elementos que normalmente pueden actuar de manera sinérgica o antagónica, según sea la relación que se establezca entre ellos en función de su concentración en el medio, tal como lo señalara Chaves Solera (1988, 1989, 1991) en sus estudios.

### **Azufre:**

Este nutriente ha tenido una especial atención en materia de investigación en todo el país, lo cual ha permitido comprobar su efecto favorable sobre los rendimientos agroindustriales de la caña de azúcar. Esta condición se maximiza por el hecho de que su aplicación no implica generalmente gastos extras, en razón de que normalmente actúa como anión acompañante en las fórmulas fertilizantes comerciales, como con el Sulfato de Amonio (23,7% S), la Urea Azufrada (5% S) y el Sul-Po-MAG (22% S).

Por lo general, la mayoría de pruebas experimentales de campo han sido positivas, lo que ha generado incrementos del orden del 2 al 15% en la productividad de azúcar (TM/ha); las dosis de azufre que mejor respuesta han proporcionado se ubican entre 40 y 60 kg de SO<sub>4</sub>/ha, aunque en Guanacaste se incrementan hasta 80 kg/ha.

### **Zinc:**

La disponibilidad de este nutriente está condicionada por una serie de procesos geoquímicos entre los cuales se mencionan como importantes: la absorción del elemento en el suelo, el pH, la materia orgánica, la textura y la humedad del suelo. Por lo general, el Zn está más disponible en los suelos ácidos que en los alcalinos, ubicándose su mayor disponibilidad en pH entre 6 y 7. Esta situación permite ubicar las necesidades de acuerdo con las áreas cañeras nacionales.

Algunos autores señalan que las aplicaciones de fertilizantes fosforados pueden inducir deficiencias por la formación de fosfatos de zinc; insuficiencia que también se evidencia en los suelos de textura arenosa. La repuesta verificada como adecuada se ubica próxima a los 25 kg/ha de Zn.

### **Boro:**

Constituye el único elemento no metálico entre los micronutrientes. La mayor parte del nutriente es suministrado por la fracción orgánica del suelo, la cual lo retiene por acomplejamiento en alto grado. El valor de pH influye en la disponibilidad de este elemento, el cual se hace indisponible conforme se incrementa el pH del suelo, lo cual implica que con el encalamiento de un suelo se reduce la solubilidad del B disponible por formación de Metaboratos de calcio insolubles.

Existen pocas evidencias sobre los requerimientos del B por parte del cultivo de la caña, aunque está demostrado que el producto es relativamente inmóvil. Es un nutrimento que requiere y merece ser estudiado con mayor profundidad, ya que la información internacional le atribuye importantes respuestas agroproductivas, principalmente en materia de calidad de jugos. Algunas de las investigaciones desarrolladas, han demostrado respuesta positiva a dosis entre 15 y 20 kg del Boro/ha.

## **USO DE RESIDUOS**

La agroindustria azucarera-alcoholera genera varios residuos como resultado de su actividad productiva (Chaves, 1985), entre los cuales pueden destacarse los siguientes: a) cachaza o torta de filtro, como resultado del proceso de clarificación del jugo en el proceso industrial de fabricación del azúcar, b) cenizas residuales producto de la incineración del bagazo, c) vinazas como subproducto del proceso de destilación del alcohol y d) bagazo residual de la molienda de la materia prima.

El subsector azucarero ha procurado darle uso racional a esos residuos, con el objetivo de atender técnica y responsablemente las necesidades que en materia de salud pública debe mantener, e incorporar además valor agregado a los mismos, por lo que vienen manejándose en los ingenios con esas metas, incorporando además complementariamente un importante programa de investigación.

### **Vinaza:**

El empleo de las vinazas ocurre básicamente en los ingenios CATSA y Taboga en Guanacaste, ya que son los dos únicos que destilan alcohol carburante (anhidro) actualmente en el país. El gran problema de la vinaza está definido por los grandes volúmenes que se producen (13 l/TM de caña o 3,8 kg de melaza) en un período de tiempo relativamente corto; además por sus características poluentes con presencia de un DBO muy elevado.

Las dosis de vinaza que mejor respuesta han alcanzado en el campo, están entre 150 m<sup>3</sup> y 250 m<sup>3</sup>/ha diluida en agua, en una relación 1:1, lo que significa entre 75 y 125 m<sup>3</sup> de vinaza pura. No se recomienda sin embargo su empleo en forma pura, ya que se ha demostrado que induce quema de las plantaciones.

### **Cachaza:**

Su empleo es muy importante por su gran riqueza mineral que potencia su empleo como fertilizante complementario y acondicionador de suelo; además de que se producen cantidades importantes en el país (Chaves, 1985) que requieren necesariamente un manejo racional.

La valoración de efectos en el suelo y el medio ambiente en general ha sido importante. La respuesta ha sido bastante variable, puesto que los óptimos en algunos casos se ubican en cantidades próximas a las 6 TM/ha de cachaza fresca (Angulo *et al*, 1996g) o cantidades muy superiores (Berrocal, 1988). Actualmente los ingenios de Guanacaste están aplicando cantidades próximas a las 150 TM/ha.

## **FORMAS DE APLICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES**

En materia de nutrición la forma en que se aplique el fertilizante es fundamental en su eficiencia técnica y en la tasa de retorno económico que por su adición se obtenga, por lo cual es importante señalar que en la caña de azúcar existen dos vías para aplicarlo: terrestre y aéreo. Asimismo, hay variabilidad en la presentación del producto: granulado al suelo, líquido al suelo y foliar.

**Vía terrestre:** es la más comúnmente utilizada en Costa Rica por varias circunstancias como: tradición; limitantes por relieve (pendiente); disponibilidad de equipo apropiado; facilidad administrativa; naturaleza y características del cultivo, principalmente referidas a épocas de absorción y cierre de la plantación; eficiencia técnica (mayores pérdidas por la vía aérea); ubicación de las plantaciones en puntos cercanos a centros de población entre otros. Esta vía a su vez emplea dos formas de aplicación: incorporado y superficial. La incorporación del nutrimento se emplea básicamente con el N (como urea), el P y el Ca (encalamiento), en tanto que el resto de elementos se aplican superficialmente, con la opción de incorporarlo a través de la desaporca y la aporca.

**Vía aérea:** fue común en la zona de Guanacaste hace más de 15 años, pero razones de uniformidad y eficiencia técnica hicieron que el método perdiera importancia. El uso de fertilizantes por la vía foliar es poco común y poco efectiva, pese a lo cual es conveniente evaluarla (Toledo, 1998).

Es importante señalar que el empleo de productos líquidos viene adquiriendo fuerza en los últimos años, principalmente aplicado en seco a través de riego por goteo, lo cual mantiene alta eficiencia técnica y reduce significativamente los costos.

El fraccionamiento de la fertilización es una práctica que si bien puede no redundar en incrementos productivos, sí racionaliza la posible pérdida de nutrimentos por lavado.