

8.3.1.2 Contenido y formas del nitrógeno en el suelo

El N no está distribuido uniformemente a través del perfil del suelo, su contenido disminuye con la profundidad. Esto se debe a la dependencia que el N del suelo tiene de la MOS. Más de 95% de este elemento en el suelo se encuentra en la MOS, constituyendo de 5 a 6% de su masa. La mayor cantidad de N se localiza en el horizonte de cultivo lo que resulta ventajoso para la caña de azúcar, planta gran consumidora de N y con sistema radical poco profundo. El hecho de que anualmente sólo se mineralice entre 1 y 3% del N presente en la MOS, da lugar a que ésta constituya una reserva suficientemente estable de las formas asimilables de este nutriente por las plantas.

En las condiciones de Cuba, en los suelos cañeros son frecuentes valores de MOS en el entorno de 3%, en una hectárea, aproximadamente de 2 240 t de suelo fértil, se tienen unas 67,2 t de MOS, con unos 3 696 kg de N. Considerando 5,5% de N en la MOS, del que entre 37 y 111 kg pueden ser disponibles para las plantas, con una tasa de mineralización de 1 a 3%. Si esta reserva no se renueva, apenas bastaría, para unas seis décadas. El contenido de humus y nitrógeno en diferentes suelos cañeros de Cuba se muestran en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2. Contenido de nitrógeno y humus en diferentes tipos de suelos cañeros de Cuba.

Tipo de suelo	Perfiles. (Cantidad)	Profundidad (cm)	Humus (%)	N total (%)	N hidrolizable (mg/100 g)
Ferralítico Rojo	73	0 – 20	2,99	0,172	10,17
		20 – 30	2,31	0,132	7,96
		30 – 40	1,63	0,104	6,51
		40 – 50	1,00	0,076	5,50
		50 – 60	1,00	0,067	4,94
		60 – 80	0,78	0,057	4,39
Ferralítico Amarillento	14	0 – 20	3,38	0,204	11,79
		25 – 35	2,03	0,134	9,82
		40 – 50	0,93	0,081	6,19
		55 – 65	0,85	0,056	5,11
		80 – 90	0,67	0,049	4,18
Vertisuelos	68	0 – 20	3,74	0,146	6,53
		20 – 30	2,33	0,086	6,00
		30 – 40	1,46	0,066	5,28
		50 – 60	1,36	0,042	4,40
		70 – 80	0,84	0,026	3,60
		80 – 100	0,70	0,023	4,02
Gris Amarillento	36	0 – 20	3,40	0,182	9,16
		20 – 30	1,86	0,120	6,31
		30 – 40	1,49	0,085	6,29
		50 – 60	0,86	0,060	6,20
		60 – 80	0,79	0,036	4,09
		80 – 100	0,48	0,024	5,52
Pardo Sialítico	118	0 – 20	3,75	0,254	9,87
		20 – 30	2,72	0,152	7,23
		30 – 40	1,83	0,100	6,31
		40 – 50	1,24	0,068	4,67
		50 – 60	0,95	0,051	4,30
		60 – 70	0,75	0,046	-

En general el valor reportado por diferentes países cañeros para el N total de la capa arable es «Bajo», del orden de 0,01 a 0,50% de la masa de la capa arable del suelo. Además del N orgánico componen el N total las formas iónicas amonio (NH_4), nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3), productos de la mineralización de la MOS o transferida de la atmósfera al suelo con las precipitaciones pluviales y algunas formas gaseosas como el óxido nitroso (N_2O), el óxido de nitrógeno (NO), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el amoníaco (NH_3), debidas a reducciones bióticas y químicas que ocurren en el suelo.

8.3.1.3 Ciclo del nitrógeno en un agroecosistema con caña de azúcar

Al estudiar el N en un agroecosistema se encuentra que este elemento llega a establecer determinado equilibrio entre entradas y salidas, estableciendo un ciclo. Cuando el hombre explota industrialmente un cultivo, contribuye a alterar la estabilidad del ciclo. Es por ello que cuando se hace referencia a un cultivo es necesario atender a nuevas consideraciones en atención al ciclo de los nutrientes que en él intervienen. Como las plantas toman casi todo su nitrógeno del suelo, resulta útil al estudiar el ciclo, atender por una parte a las transformaciones que sufre el elemento en el suelo, y por otra, a las diferentes vías de entradas y salidas del nitrógeno en el mismo.

8.3.1.4 Transformaciones del nitrógeno en el suelo

El mayor contenido de N en los horizontes de cultivo está en la MOS, la que al degradarse por diferentes procesos de carácter microbiano, pone a disposición de las plantas el nitrógeno en formas minerales asimilables. En la evolución de la MOS hacia formas asimilables se distinguen dos fases: la humificación y la mineralización.

8.3.1.5 Transformaciones del nitrógeno en la planta

El N absorbido por las raíces de las plantas en forma de nitrito (NO_2) y de nitratos (NO_3), se reduce en la célula vegetal a amoníaco (NH_3), que sin llegar a acumularse entra en reacción con los ácidos oxalacético, cetoglutárico y oxálico, productos de la oxidación de los carbohidratos, dando lugar a los ácidos aspártico y glutámico, aminoácidos éstos que por el proceso de transaminación pueden transferir el nitrógeno amínico a cualquier otro cetoácido con lo que se obtienen los restantes aminoácidos que componen las moléculas de proteínas (Figura 8.4).

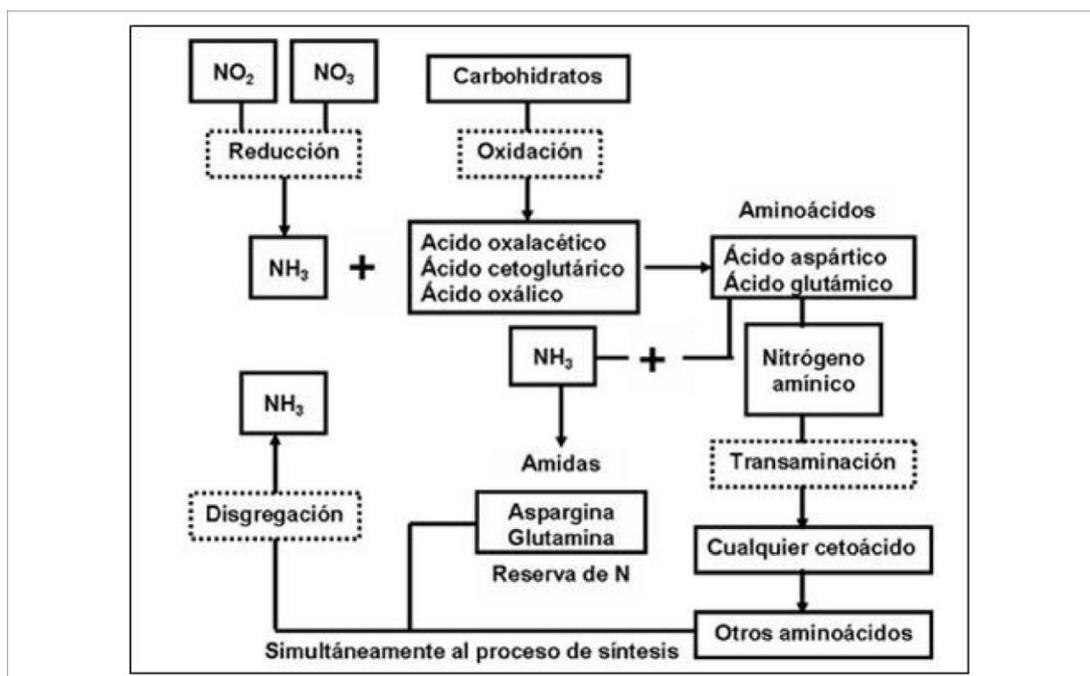


Figura 8.4. Transformaciones del nitrógeno en la planta.

Pero simultáneamente al proceso de síntesis de sustancias orgánicas nitrogenadas, ocurre en las células de las plantas la disgregación de las sustancias orgánicas formadas, descomponiéndose hasta amoníaco. Con razón Prianschnikov sentenció: «...el amoníaco tomado por las plantas o formado dentro de ellas en el proceso de reducción de los nitratos, es la sustancia básica para la síntesis de las proteínas y al mismo tiempo es el producto final de la descomposición de las sustancias nitrogenadas...» A lo que agregó: «...el amoníaco es alfa y omega del metabolismo de las sustancias nitrogenadas en las plantas, o sea, que de él empieza y con él termina dicho metabolismo...»

8.3.1.6 Efectos del nitrógeno sobre la caña de azúcar

El N forma parte de las proteínas simples y compuestas, que a excepción del agua, constituyen la mayor parte del citoplasma de las células vegetales, participando en importantes funciones estructurales, energéticas y enzimáticas. Entra en la composición de los ácidos nucleicos, ribonucleico y desoxirribonucleico, que juegan un papel exclusivo en el metabolismo y la síntesis proteica. Es parte esencial de la molécula de clorofila, sustancia gracias a la cual es posible convertir la energía solar en energía química y se sintetizan los hidratos de carbono. También está presente en hormonas, en los transportadores de energía, fosfatos de adenosina, en vitaminas y muchos otros compuestos orgánicos. Van Dillewijn (1975) refiriéndose a la gran importancia funcional de este elemento destacó que, aunque constituye sólo una fracción de 1% de la masa total de la caña madura, su papel es comparable a los del carbono, el hidrógeno y el oxígeno, que en su conjunto constituyen más de 98% de la materia seca.

Los efectos del N sobre la caña de azúcar pueden sistematizarse en dos grupos: uno que comprende la acción sobre el rendimiento agrícola y otro la acción sobre la calidad del jugo. El primer grupo es afectado por las deficiencias del nutriente, mientras que el segundo lo es por los excesos. Cuando el N se aplica sin atender a otros factores limitativos y, por consiguiente, no se obtienen beneficios, se está aplicando en demasía, situación que ocurre con frecuencia. La aplicación de N en exceso, aún sin que llegue a causar daños a la planta, constituye una erogación de recursos económicos sin retribución que afecta la rentabilidad del productor.

Un notable aspecto a tenerse en cuenta con relación al uso excesivo de nitrógeno es la contaminación del medio ambiente. Los fertilizantes nitrogenados están entre los productos más contaminantes usados en la agricultura. Sus óxidos volátiles contribuyen al efecto invernadero y a la destrucción de la capa de ozono; los nitratos lavados contaminan el agua freática y las corrientes fluviales, pudiendo llegar a causar serias afecciones al hombre y otros animales, provocando enfermedades tales como: cáncer y metahemoglobinemia.

8.3.1.6.1 Efectos del nitrógeno sobre el rendimiento agrícola

Cuando la disponibilidad de formas asimilables del N es limitativa, su aplicación da lugar a un incremento progresivo de la población de tallos, lo que es considerado como el mayor efecto de los fertilizantes nitrogenados sobre la producción. Este efecto se manifiesta con diferente intensidad en las distintas cepas, ausente frecuentemente en caña planta y más marcada en los retoños. El aumento del número de tallos «molibles» alcanza un límite no superado por cantidades adicionales del nutriente. Algo similar ocurre con el ritmo de elongación y el grosor del tallo, se incrementan hasta cierto límite, rebasado el cual no se producen nuevos efectos. La Figura 8.5, muestra los referidos componentes del rendimiento en un tercer retoño.

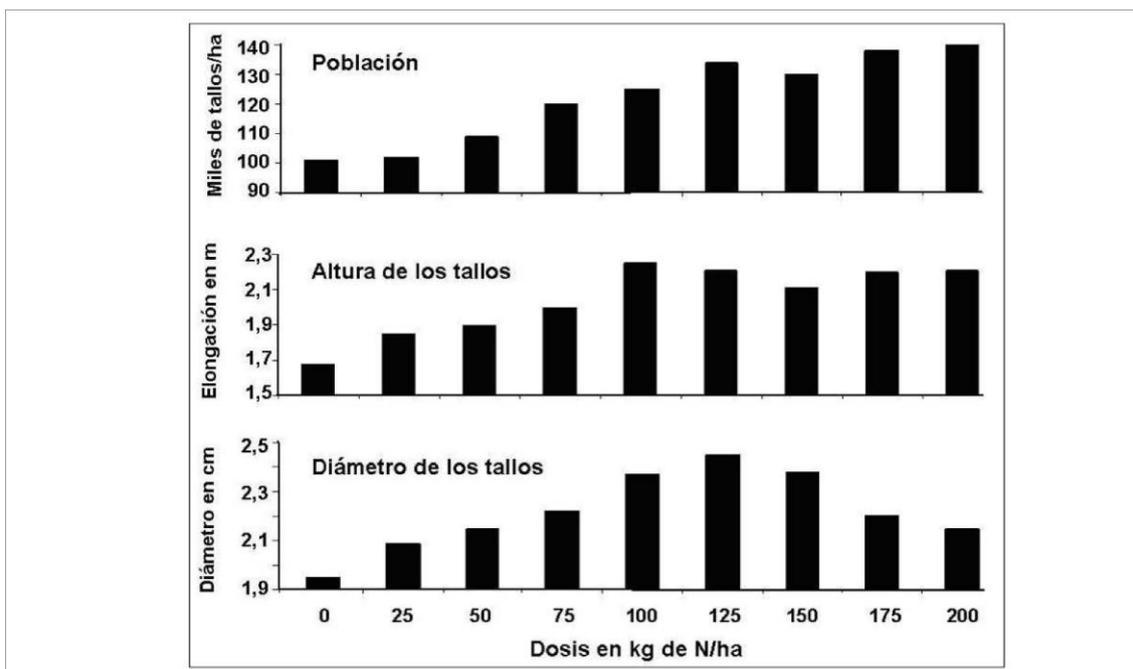


Figura 8.5. Efecto de diferentes dosis de nitrógeno sobre las componentes del rendimiento agrícola en un tercer retoño de Ja60-5.

La acción del nitrógeno como estimulante del ahijamiento y de la población de tallos ha sido referida por muchos autores desde tiempos pretéritos, entre los que se encuentran Borden (1943), Van Dillewijn (1975). Estos autores coinciden en que el mayor efecto del nitrógeno sobre la producción de caña es debido al aumento del número de tallos molibles.

Paralelamente, las aplicaciones de nitrógeno, al acrecentar el área foliar y contribuir a la formación de clorofila, favorecen la actividad fotosintética y estimulan la formación de materia seca. La insuficiencia de este nutriente disminuye la actividad de las enzimas responsables de la fijación del CO₂.

8.3.1.6.2 Efectos del nitrógeno sobre la depresión del contenido de sacarosa

Simultáneamente con el efecto decisivo del N sobre la producción agrícola de la caña de azúcar, concurre su capacidad para deprimir la madurez y alterar la calidad del jugo como materia prima para la obtención de sacarosa. El efecto depresivo del nitrógeno sobre el contenido de sacarosa estriba en que promueve el desarrollo de tejidos adicionales en los que son empleados los carbohidratos producidos.

La tendencia del N de bajar el contenido de sacarosa de los jugos de la caña de azúcar, se acentúa en la medida en que se incrementa la dosis aplicada. El efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de sacarosa en diferentes suelos, cepas y variedades, indican que las aplicaciones de N reducen el porcentaje de azúcar en caña, siendo este efecto más notable con dosis superiores a 120 kg de N ha⁻¹.

La declinación de la concentración de sacarosa en el jugo debido a la fertilización nitrogenada puede ser de 1 a 3% y en ocasiones hasta 4%. El efecto es más notable en las cepas de caña planta que en los retoños.

8.3.1.6.3 Efectos del nitrógeno sobre el incremento de azúcares reductores

Con el aumento de las dosis de N se incrementa la concentración de azúcares reductores en el jugo, lo que se traduce en una disminución de sacarosa cristalizable. Sin embargo, la presencia de azúcares reductores es favorable durante el período de crecimiento, siendo un indicador de desarrollo exuberante. El efecto sobre los azúcares reductores tiende ocasionalmente a disminuir con la edad de la caña y hasta

puede haber desaparecido al momento de la cosecha. No obstante deben evitarse aplicaciones altas y tardías de este elemento.

8.3.1.6.4 Efectos del nitrógeno sobre el contenido de nitrógeno y fósforo en el jugo

La aplicación de N incrementa el contenido de este elemento en el jugo. Desde el punto de vista tecnológico, las sustancias nitrogenadas afectan la clarificación e influyen sobre la cantidad de azúcar que finalmente cristaliza. Paralelamente puede ocurrir una disminución en el contenido de fósforo (P) en el jugo, dependiente de la disponibilidad de fósforo asimilable en el suelo, a mayor contenido de P asimilable menor afectación. Atendiendo a este aspecto, en suelos deficientes en P asimilable, deben evitarse cualquier exceso en las aplicaciones de N.

8.3.1.7 Pérdidas y ganancias de nitrógeno

El conocimiento de la magnitud de las entradas y salidas de N en un agroecosistema, en un instante dado, no tiene por lo general, suficiente representatividad ni trascendencia, poco tiempo después.

La «economía» del nitrógeno se reduce en esencia a una cuestión de reservas del elemento y de su factibilidad de mineralización. Sin embargo, el conocimiento de las vías de pérdidas (salidas) y ganancias (entradas) permiten al agrónomo un mejor manejo, disminuyendo unas y favoreciendo otras. La Figura 8.6 muestra las entradas y salidas de N al agroecosistema cañero.

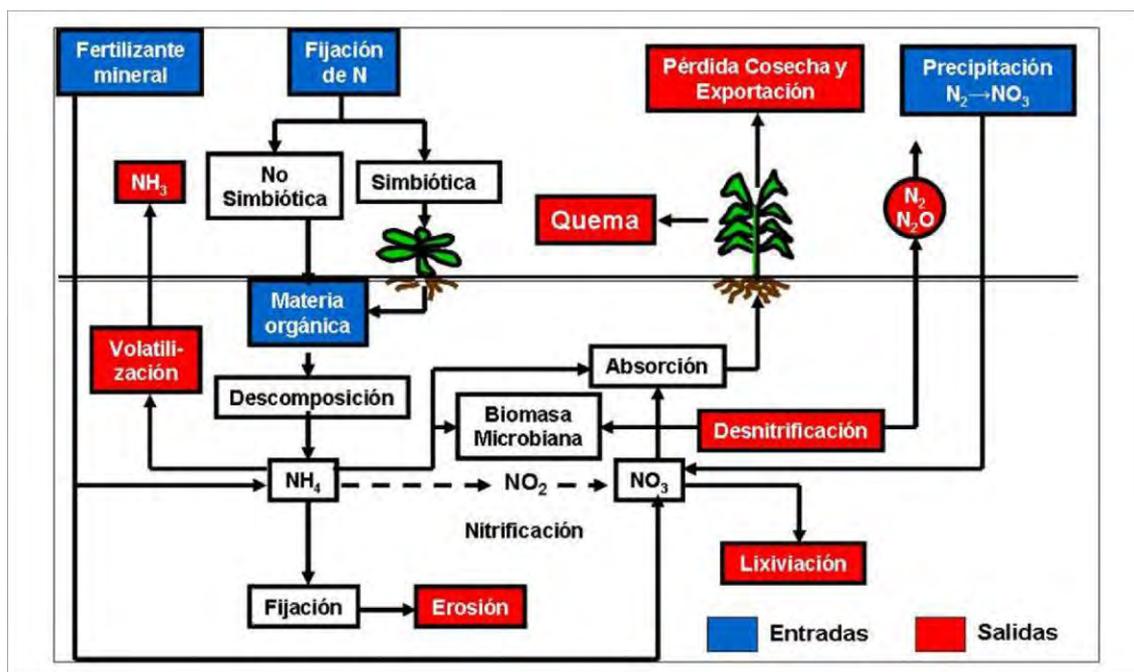


Figura 8.6. Entradas y salidas del nitrógeno al agroecosistema cañero.

8.3.1.7.1 Pérdidas de nitrógeno

Las pérdidas de N del agroecosistema cañero más frecuentes son:

Exportación de nitrógeno por la cosecha: La media de extracción de nitrógeno para la caña de azúcar en Cuba está en el entorno de 1,18-1,49 kg/t de caña, con un valor correspondiente a la exportación de 0,50-0,55 kg de N/t de tallos. Estos valores son dependientes de las variedades utilizadas y de las circunstancias en que se realiza la cosecha.

Quema de la caña para la cosecha: Conduce a pérdidas considerables de N.

Volatilización: Importante cuando se utiliza como portador de nitrógeno el amoníaco anhidro y cuando se usa urea, nitrato de amonio o sulfato de amonio en la superficie del suelo. Si el pH es alcalino se incrementan.

Lavado: Las formas minerales del N presentes en el suelo son solubles en agua, las cuales pueden ser arrastradas hacia capas del suelo más profundas, fuera del alcance del sistema radical, lo que constituye una pérdida.

Erosión: La magnitud de esta pérdida es difícil de predecir, puede ser desde decenas hasta cientos de kg de N ha⁻¹.

Desnitrificación biológica: Pérdidas de 20% del N de los fertilizantes amoniacales y 30% del N de los nítricos, pudiendo incrementarse hasta 50% en suelos inundados.

Desnitrificación química: reducción de nitritos y nitratos a formas gaseosas.

8.3.1.7.2 Ganancias de nitrógeno

La ganancia principal de N en el agroecosistema cañero está dada por la fertilización y el aporte que resulta de la mineralización de la MOS, pero existen además otras dos vías importantes: la fijación asimbiótica y el aporte realizado por las lluvias.

Fijación del nitrógeno atmosférico: En el cultivo de la caña de azúcar juega un papel importante la fijación asimbiótica, llevada a cabo por microorganismos de vida libre o asociativos cuyos géneros más reportados son: Azospirillum, Azotobacter, Acetobacter, Beijerinckia y Glucoacetobacter. La cantidad de N que puede ser fijada en forma asimbiótica en las plantaciones de caña de azúcar es variable, pero con frecuencia se observan reportes con valores en el intervalo cero a 60 kg de N ha⁻¹ al año.

Aporte de nitrógeno por las lluvias: Los compuestos nitrogenados que se volatilizan del suelo, como el amoníaco y los óxidos de nitrógeno, así como los compuestos que se forman por acción fotoquímica, o por descargas eléctricas, o por la combustión de diversos carburantes, pueden ser lavados o removidos de la atmósfera por las lluvias y transferidos al suelo.

8.3.1.8 Factores que determinan la efectividad en el uso del nitrógeno

El efecto de las aplicaciones de N sobre la caña de azúcar no es uniforme, está determinado por factores dependientes del genotipo, del ambiente y del manejo que el hombre realiza de la fertilización y del cultivo.

Interacción nitrógeno-variedad: Las variedades muestran entre sí diferencias morfológicas y fisiológicas que pueden obrar sobre la capacidad de las mismas para asimilar nutrientes. Así se tiene, por ejemplo, distinta amplitud del sistema radical, o de la actividad fotosintética, o de la aptitud para acumular nutrientes.

La interacción nitrógeno–variedad no ha sido suficientemente estudiada en Cuba, en cultivares comerciales Ja60-5, C87-51, B4362, My5514 y My5354, no se encontró interacción en ningún caso. No obstante el hecho de no haberse encontrado interacción en los análisis estadísticos, los resultados de primer retoño en suelos vérticos mostraron mejor respuesta a las aplicaciones de nitrógeno con las variedades Ja60-5, B4362 y C87-51.

Uso del nitrógeno por las diferentes cepas: Para las condiciones de Cuba se ha demostrado que la caña de azúcar plantada en «primavera» (enero a junio) bajo condiciones normales de cultivo y para cualquier edad de cosecha, no requiere de la aplicación de N para producir al mes hasta 10 t de caña ha⁻¹ y, aunque en las plantaciones de «frío» (julio a diciembre) se han encontrado respuestas ocasionales a dosis bajas, 40 a 75 kg de N ha⁻¹, en la actualidad se prefiere prescindir de las aplicaciones de N a las mismas, debido a la baja frecuencia con que se observan las respuestas excepto en los casos de hidromorfía, compactación manifiesta u otra condición de estrés presente en el suelo.

Los efectos beneficiosos de la fertilización nitrogenada sobre los retoños son más frecuentes y en la actualidad hay consenso en admitir que la demanda de N aumenta

con el número de cortes, hasta un límite. Las dosis de N para retoños, referidas con mayor frecuencia por autores de la literatura cañera de diversos países varían en el intervalo 100 a 150 kg de N ha⁻¹. Bajo las condiciones de Cuba se ha observado que por lo general dosis de 75 a 150 kg de N ha⁻¹ son suficientes. La necesidad de aplicaciones crecientes de N en los retoños se explica comúnmente por el deterioro gradual de las condiciones del suelo. En las cepas de planta las condiciones del suelo favorecen el aprovechamiento de sus reservas de nitrógeno, pero no debe relegarse a un plano secundario los aspectos fisiológicos y morfológicos de cada cepa (Tabla 8.3).

Tabla 8.3. Frecuencia por tipo de suelo con que se manifiestan efectos favorables ante la fertilización nitrogenada en cepas de caña planta.

Suelo	Cantidad de cosechas efectuadas		Frecuencia favorable
	Total	Con respuesta	Porcentaje (%)
Ferralítico Rojo	96	4	4,2
Ferralítico Amarillento	28	3	10,7
Ferralítico Cuarcítico	10	2	20,0
Pardo con Carbonatos	69	2	2,9
Pardo sin Carbonatos	23	3	13,0
Total	338	30	8,8

La influencia del suelo y la cepa sobre el uso del N en la fertilización de la caña de azúcar, es muy significativa en Cuba, la prioridad de los retoños respecto a la caña planta es muy superior. La necesidad de este nutriente aumentó con el número de cortes, la mayor estabilidad en la respuesta se obtuvo en el segundo retoño, hubo un efecto favorable del nitrógeno sobre la durabilidad de la cepa, la conveniencia de aplicarlo al momento de la siembra (cuando por razones justificadas se espere respuesta en cepas de planta) o lo más pronto posible tras el corte de los retoños, próximo al sistema radical, sin necesidad de fraccionarlo, pudiendo utilizar indistintamente urea, sulfato de amonio o nitrato de amonio, así como que altas dosis, superiores a 150 kg de N ha⁻¹, mostraron tendencia a disminuir la riqueza en sacarosa de los jugos. Las dosis óptimas encontradas en condiciones experimentales, por suelos y cepas, se muestran en el Tabla 8.4.

Tabla 8.4. Dosis óptimas de nitrógeno en tres tipos de suelo y cepas de retoños para producciones de 8 a 10 t de caña/ha/mes.

Suelo	Cepas		
	Primer retoño	Segundo retoño	Otros retoños
	Dosis en kg de N ha ⁻¹		
Ferralítico Rojo	50 a 75	125 a 175	200
Ferralítico Amarillento		125 a 150	180
Vertisuelos		75 a 125	200

Más de 3 000 cosechas de experimentos de campo, donde se estudió la efectividad de la aplicación de diferentes dosis de fertilización nitrogenada, en presencia de condiciones edafoclimáticas muy disímiles, se han realizado en Cuba. Llegándose a la conclusión que las respuestas en caña planta se producen en suelos de textura gruesa y en presencia de hidromorfía siendo necesaria la aplicación de fertilizante nitrogenado. El mejor uso de la fertilización nitrogenada por los retoños se debe, en lo fundamental, al deterioro de la estructura del suelo a causa de la compactación, situación acentuada

en las cepas más viejas y en los suelos más plásticos, mientras las cepas de planta no sólo disponen de mejores condiciones físicas en el suelo, sino también de mayor contenido de materia orgánica incorporada al suelo, factores ambos derivados de los procesos de renovación de cepas.

De León (2001) al analizar las medidas de tendencia central por cepas de caña planta (PL) y retoños (R) y agrupamiento de suelos, con relación a la respuesta ante la fertilización nitrogenada, encontró comportamientos diferentes. Así, en el análisis para todos los suelos se manifestó un aumento de la respuesta, expresada en rendimiento relativo, según avanzó el número de cortes, más dispersa, a partir del quinto retoño encontrándose casos exentos de respuesta (Figura 8.7).

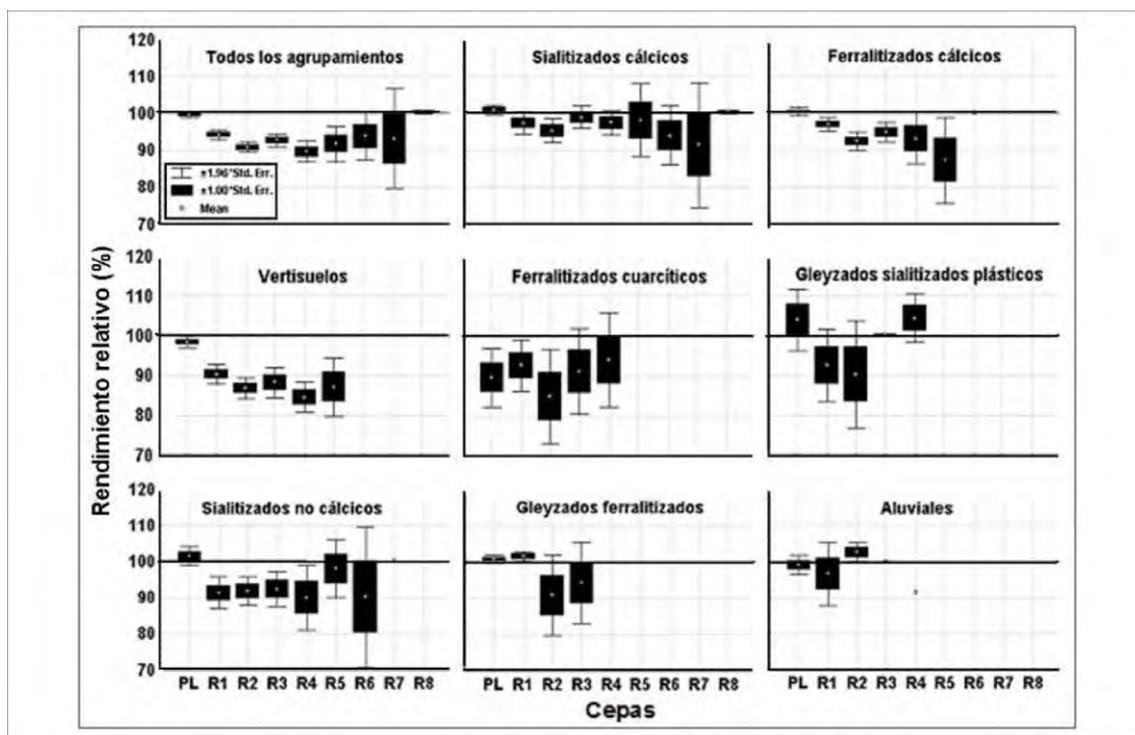


Figura 8.7. Efecto de la fertilización nitrogenada por cepas en los distintos agrupamientos de suelo.

La no aplicación consecutiva de N en caña planta y primer retoño no afecta a las restantes cepas. La Tabla 8.5 muestra los resultados obtenidos en un suelo Ferralítico Rojo, con efectos beneficiosos producto de la fertilización nitrogenada sólo en el tercer retoño, cosecha en la que como se puede observar no hubo influencia desfavorable debida a la ausencia de fertilización en las dos primeras cepas.

Influencia del suelo: Después de la cepa el otro factor que con más fuerza determina la respuesta de la caña de azúcar ante las aplicaciones de nitrógeno, es el suelo, éstos difieren en el contenido de MOS, reserva potencial de N, en composición mineralógica, en capacidad para mineralizar N y para favorecer pérdidas del mismo. En suelos con predominio de arcillas 1:1 el comportamiento es diferente, no solo son poco frecuentes las respuestas al N en las cepas de planta, sino que también son escasas en el primer retoño.

Tabla 8.5. Resultados de la cosecha de un estudio de N por cepas. Suelo Ferralítico Rojo. Lluvia 1292,6 mm. Cepa: 2do. Retoño.

Tratamiento			Rendimiento		
Planta	Retoño 1	Retoño 2	Agrícola (t ha ⁻¹)	Azucarero	
N kg ha ⁻¹				Pol (%)	Pol (t ha ⁻¹)
0	0	0	83,21 b	17,63	14,67 b
		75	96,88 a	17,33	16,77 a
		150	98,44 a	17,53	17,25 a
	75	75	99,53 a	17,32	17,27 a
	150	150	98,92 a	17,48	17,27 a
75	75	75	93,92 a	17,23	16,18 ab
150	150	150	96,99 a	17,34	16,82 a
Coeficiente de variación (%)			8,53	2,07	8,36

Influencia de la lluvia: A bajos niveles de lluvia corresponde mayor necesidad de N, hasta un límite. Cuando la lluvia excede los 1 000 mm se necesita una dosis menor. Un nivel de precipitación anual de 1 200 mm se considera óptimo, y con precipitaciones de 1 600 mm en adelante el efecto de las aplicaciones de N sobre la producción prácticamente son nulas.

Formas de aplicación: Muchos autores coinciden en que la mejor forma de aplicar los fertilizantes nitrogenados es enterrándolos, próximos al sistema radical, de 8 a 10 cm de profundidad. Queda así el fertilizante en contacto más cercano con las raíces y se evitan diversas pérdidas, sobre todo por volatilización. Incrementos de 10 a 15% que representan de 1,8 a 2,4 t de azúcar ha⁻¹, se obtuvieron cuando el N se aplicó enterrado en los retoños sobre suelos Ferralíticos Rojos y Ferralíticos Amarillentos, respectivamente

Desde hace más de dos décadas el INICA ha evaluado la aplicación enterrada al centro de la cepa, la que ha mostrado buenas características técnicas. No sólo sitúa el fertilizante en la rizosfera, donde su absorción está garantizada con reducción de pérdidas, sino que al seccionarse las cepas se coadyuva en el control del efecto de la dominancia apical y es más profuso el ahijamiento.

Fuentes portadoras de nitrógeno: Aunque existe una amplia disponibilidad de fuentes portadoras de N, en Cuba las que más se utilizan son:

Nitrato de amonio: Aporta 34% de N. Por poseer el anión NO₃ no debe usarse en suelos húmedos o anegados para evitar la reducción del nitrato (pérdidas gaseosas de nitrógeno). Su uso en suelos de textura gruesa, donde el agua percola con facilidad, origina pérdidas por lavado.

Sulfato de amonio: Aporta 21% de N. Es el más acidificante de los comúnmente usados, pues además de ser fisiológicamente ácido, produce ácido nítrico y sulfúrico durante su nitrificación, por ello debe evitarse su uso continuado donde exista acidez tóxica.

Urea: Aporta 46% de N. Es un compuesto orgánico que en contacto con el suelo, bajo la acción de la enzima ureasa, se hidroliza y pasa al estado de nitrógeno amoniacal, que a su vez se nitrifica. Durante la hidrólisis de la urea se forma carbonato de amonio en el suelo. Este producto es inestable y se descompone en dióxido de carbono (CO₂) y amoníaco (NH₃). Para evitar las pérdidas por volatilización de éste último, la urea debe enterrarse a suficiente profundidad, no menos de 10 cm, sobre todo en suelos arenosos y alcalinos.

Amoniaco anhidro: Aporta 82% de N. Constituye la opción más económica en el mercado. Su alta concentración permite el movimiento de mayor cantidad de nutrimento activo por tonelada de fertilizante transportado. En el suelo el amoníaco se transforma en amonio, catión que al fijarse a los coloides del suelo permanece por

más tiempo a disposición de las plantas. Es el más utilizado en Cuba actualmente. La elección de una de estas fuentes depende más del aspecto económico, de su disponibilidad, o de facilidades de manejo, que de su capacidad para nutrir la caña de azúcar.

Época de aplicación del fertilizante nitrogenado: Estudios con dosis fraccionadas de 90, 120, 190 y 240 kg de N ha⁻¹ en cañas de retoño cosechadas con 12 meses de edad no mostraron diferencias respecto a la aplicación de una sola vez. En caña planta de ciclo largo el fraccionamiento de 120 kg de N ha⁻¹ en dos partes (al momento de la siembra y a los 4 meses) mostró buenos resultados. Los suministros tardíos de nitrógeno fraccionado tendieron a bajar el contenido de sacarosa en el jugo.

8.3.1.9 Diagnóstico de la necesidad de nitrógeno por la caña de azúcar

El análisis químico de muestras de suelo resulta de poca utilidad con fines de diagnóstico para la fertilización nitrogenada, dada la participación de dos sistemas biológicos en la absorción de este nutriente por las plantas: a) la mineralización de la MOS y b) la propia planta.

Las recomendaciones de N vigentes actualmente en Cuba se basan en resultados obtenidos en experimentos de campo, bajo diferentes condiciones edafoclimáticas, los cuales han mostrado que las necesidades de este elemento están asociadas al tipo de cepa, al rendimiento que es posible alcanzar con la fertilización y a características del suelo, como: la hidromorfía y la compactación, muy asociadas con la aireación del suelo y el ambiente en general en que se desarrollan los microorganismos del suelo.

El contenido de materia orgánica de la capa arable del suelo es también un criterio asumido para la determinación de las dosis de nitrógeno a aplicar. De León (2001) reportó que a contenidos de MOS menores de 2,5% se incrementaba la respuesta de la caña de azúcar a las aplicaciones de N y que con valores superiores a 6% no se observaba respuesta a la fertilización nitrogenada (Figura 8.8). Pablos (2008) corroboró la importancia de la materia orgánica del suelo como factor importante para la estimación de las dosis de nitrógeno en caña de azúcar.

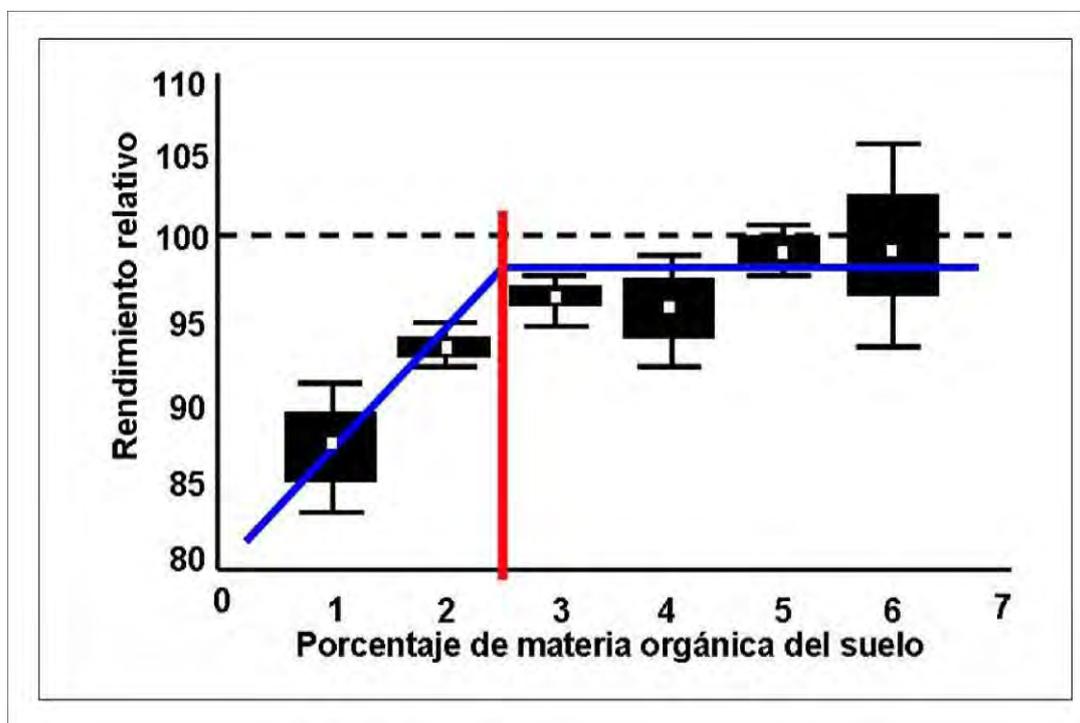


Figura 8.8. Relación entre contenido de materia orgánica del suelo y el rendimiento relativo de la caña de azúcar.

8.3.1.10 Correcciones de las dosis de nitrógeno a través del análisis foliar

El análisis foliar se ha usado en muchos países como vía para corregir las aplicaciones de fertilizantes minerales. En la Tabla 8.6 se muestran las correcciones obtenidas para las condiciones de Cuba por el método del Primer Dewlap Visible (TVD).

Tabla 8.6. Corrección de la dosis de N con base al N de la hoja TVD, tomada a los cuatro y cinco meses de edad de la planta de caña de azúcar.

Categoría	Edad de la muestra		Corrección de dosis
	4 meses	5 meses	
	%		kg de N ha ⁻¹
Deficiente	< 1,3	< 1,2	> 70
Moderado	1,3 – 1,6	1,2 – 1,5	20 – 70
Abastecido	1,6 – 2,0	1,5 – 1,9	0 – 20
Excesivo	> 2,0	> 1,9	0

8.3.1.11 Recomendaciones de nitrógeno vigentes en Cuba

Las recomendaciones de fertilizante nitrogenado vigentes en Cuba, para diferentes condiciones de suelo y cepa de caña de azúcar se muestran en la Tabla 8.7.

Tabla 8.7 Recomendaciones de N vigentes en Cuba, para diferentes condiciones de suelos y cepas de caña de azúcar.

Rendimiento esperado	Caña planta		Retoños	
	Condición 1	Condición 2	Condición 1	Condición 2
Caña t ha ⁻¹	N kg ha ⁻¹			
> 30 ≤ 40	40	0	50	40
> 40 ≤ 50	50			50
> 50 ≤ 60	60			70
> 60 ≤ 70	70			80
> 70 ≤ 80				
> 80 ≤ 90	80			90
> 30 ≤ 40	90			100
> 90 ≤ 100				
> 100 ≤ 110				
> 110 ≤ 120				
> 120 ≤ 130				
> 130 ≤ 140	100			110
> 140 ≤ 150	110			120
> 150 ≤ 160	120			130
> 160 ≤ 170	130			140
> 170 ≤ 180				
> 180 ≤ 190	140			150
> 190 ≤ 200	150			160
> 200 ≤ 210	160			170
> 210 ≤ 220	150			160
> 220 ≤ 230	140		150	
> 230 ≤ 240				
> 240	130		140	
Condición 1	Suelos con limitaciones (hidromorfía o compactación)			
Condición 2	Suelos sin limitaciones			

8.3.1.12 Biofertilización

En el epígrafe 8.3.1.7.2 «Ganancias de nitrógeno», se hizo referencia a que en el cultivo de la caña de azúcar juega un papel importante la fijación asimbiótica de nitrógeno, llevada a cabo por microorganismos de vida libre o asociativa. El nitrógeno atmosférico, dada su inactividad, es inaccesible en forma directa para las plantas superiores.

La naturaleza maneja al nitrógeno sacándolo de su pasividad química y controlando después su tendencia a reaccionar rápidamente, haciéndolo seguir un ciclo complicado. La imposibilidad que tienen las plantas superiores para hacer uso del nitrógeno molecular de la atmósfera, es superada por numerosos microorganismos denominados fijadores de nitrógeno. Del uso de esta cualidad, a escala industrial en la agricultura, surgen los biofertilizantes.

Los biofertilizantes contribuyen a mejorar la calidad y productividad de los cultivos mediante la eliminación parcial o total de la adición de fertilizantes químicos minerales. Los efectos beneficiosos de los biofertilizantes fijadores del nitrógeno atmosférico, no están relacionados sólo con la capacidad para fijar nitrógeno, sino también con su aptitud para la producción de compuestos antibacterianos, antifúngicos y reguladores de crecimiento. El ahorro de fertilizantes nitrogenados, a su vez, supone un ahorro paralelo de combustibles fósiles, requeridos para la síntesis amoniacal. En la actualidad es preferencial la utilización de biofertilizantes, y bioproductos en general, en la agricultura orgánica, pero con fuerte tendencia a la expansión hacia la agricultura tradicional, dado el alto costo de los portadores minerales de nutrientes y la importancia cada vez mayor de la conservación del medio ambiente.

La fijación de nitrógeno por organismos vivos fue observada por primera vez en la segunda mitad del siglo XIX. Hasta 1949 se creía que muy pocos microorganismos poseían la capacidad de fijar nitrógeno. Entre los mejor conocidos figuraban las bacterias pertenecientes al género *Rhizobium*, que viven en raíces de ciertas leguminosas y otros organismos de vida independiente, la mayoría de los cuales fueron incluidos en un género al que se denominó *Azotobacter* —etimológicamente «bacterias fijadoras de nitrógeno»—.

Los registros de patentes a nivel internacional muestran que el desarrollo de los biofertilizantes se expandió en los años 80 del pasado siglo XX, con un incremento acelerado de la actividad a partir del año 2000, lo que continúa en la actualidad como alternativa para la agricultura sostenible.

8.3.1.12.1 Los biofertilizantes en Cuba

Una alternativa viable para lograr el incremento sostenible necesario de la producción agrícola, así como la protección del medio ambiente, a pesar de las limitaciones económicas, es la producción y uso de biofertilizantes. Importantes no solo desde el punto de vista económico, sino también, y quizás con mayor importancia, por su contribución a la disminución de la contaminación de las fuentes acuíferas. Es de destacar que en los Lineamientos Políticos y Sociales para el VI Congreso del PCC de Cuba, apareció como línea estratégica el desarrollo de los bioproductos y en particular de biofertilizantes. Ya hace cerca de un cuarto de siglo que en Cuba se investiga de una forma u otra el uso de biofertilizantes.

En 1963, el Líder de la Revolución cubana, Fidel Castro, hizo referencia a la importancia de «...la fertilización de los suelos con microorganismos...» con el fin de abaratar las producciones agrícolas y ahorrar fertilizantes químicos.

8.3.1.12.2 La fijación biológica del nitrógeno en la caña de azúcar

En la década de los 90 del pasado siglo, el INICA logró el aislamiento de una cepa autóctona de *Azospirillum*, la que denominó Cepa 8 INICA, la cual mostró gran actividad fijadora de nitrógeno. Fue encontrada en la rizosfera de una de la variedad

Ja60–5 plantada en un Vertisuelo de la Empresa Azucarera Enrique Varona de la provincia Ciego de Ávila. Esto indujo a este instituto a llevar a cabo un proyecto para el desarrollo y aplicación de un biofertilizante a base de *Azospirillum* para el aporte de nitrógeno al que registró como BIOGRAM, lo que comprendió: a) estudios al nivel de laboratorio, b) estudios en parcelas experimentales y c) extensiones. Ya en 1994 se tenía un total de 40.000 litros de *Azospirillum* probados en 522 ha de caña de azúcar, con buenos resultados. En estos ensayos se observó que la respuesta de los suelos Ferralitizados cálcicos fue menos consistente que las correspondientes a los Vertisuelos y Sialitizados cálcicos.

Otro biofertilizante, base *Azotobacter*, desarrollado en ese entonces para el aporte de nitrógeno, fue el DIMARGON, con una producción de 5 millones de litros que se aplicaron en 200 000 ha en diferentes áreas del país.

Al cabo de 20 años el INICA renovó los estudios de biofertilizantes mediante un proyecto de investigación al que denominó –Evaluación y desarrollo de tecnologías de aplicación de *Azospirillum* en caña de azúcar. En estos estudios se ratificó el resultado de que es posible sustituir el 60% del fertilizante nitrogenado con la aplicación de 100 l ha⁻¹ del biopreparado de *Azospirillum* con concentración de 10⁹ unidades formadoras de colonia por mililitros (UFC/ml).

8.3.1.12.3 Generalidades sobre el *Azospirillum* y su uso en caña de azúcar en Cuba

El *Azospirillum* es un *spirillum*, que desde el punto de vista evolutivo se ha sugerido que ocupa un lugar intermedio entre los fijadores libres y simbióticos, con puntos de fijación dentro de las plantas hospederas sin constituir nódulos, pues colonizan la superficie de la raíz penetrando en ella.

Actualmente se recomienda la aplicación del biopreparado de *Azospirillum*, con concentración de 10⁹ UFC/ml, enterrada, al centro de la cepa, a dosis de 100 l ha⁻¹, en sustitución de 60% del fertilizante nitrogenado recomendado por el SERFE. También puede aplicarse asperjado, a igual dosis, con arrope de la paja tras la aplicación, aunque de esta forma es menos efectivo.

Se ha sugerido que *Gluconacetobacter diazotrophicus*, bacteria aislada a partir de tejidos de caña de azúcar, podría ser una de las especies que más contribuya a la fijación de nitrógeno y producción de fitohormonas, bajo condiciones similares a las encontradas en los fluidos de la caña. Existen reportes de su utilización en la India, México, Brasil y Mauricio. Se reportan también el uso de microorganismos solubilizadores de fósforo y potasio. Actualmente el INICA realiza trabajos tendientes a la utilización práctica de este microorganismo.

8.3.1.13 Síntomas visuales de deficiencia de nitrógeno

Las plantas deficientes de nitrógeno presentan coloración verde clara a amarilla, uniformemente distribuida sobre toda la superficie foliar, incluyendo las hojas más viejas, cuyos ápices y márgenes se necrosan de forma prematura. Los tallos son más cortos y finos, además se produce retraso en el desarrollo vegetativo de la plantación.

La Figura 8.9 muestra a la izquierda (A) cuando el cultivo se encuentra bajo una deficiencia prolongada de N, las hojas jóvenes son verde pálidas y los tallos delgados; en el centro (B) reducción de los entrenudos, y a la derecha (C) la separación prematura de las vainas del tallo, así como el color verde amarillento de las hojas y el color invariable de las vainas (Anderson y Bowen, 1994).



Figura 8.9. Síntomas de deficiencia de nitrógeno en la caña de azúcar.

En la Figura 8.10 se observan síntomas severos de deficiencias de N en hojas de caña afectadas, comparadas con hojas de cañas normales.



Figura 8.10. Síntomas severos de deficiencia de N en hojas de caña de azúcar y hojas normales.

8.3.2 Fósforo

El fósforo (P) no se pierde por lavado ni por volatilización como el nitrógeno. Sin embargo, su estabilidad implica baja solubilidad. Muchos suelos tienen además la capacidad de fijar fósforo, lo que reduce la disponibilidad de este nutriente para las plantas.

8.3.2.1 Contenido y formas del fósforo en el suelo

Las principales fuentes de P son las apatitas: fluorapatita y la hidroxilapatita. Algunos suelos orgánicos pueden contener la mayoría de su fósforo formando parte de la MOS, aunque la cantidad que se encuentra en esta forma disminuye rápidamente con la profundidad del suelo.

Los contenidos de P en suelos del trópico y subtropical pueden ser muy variables, entre las condiciones edafológicas y ecológicas del suelo, las que principalmente determinan esta variabilidad son el tipo de roca parental presente, el grado de desarrollo de los suelos y el contenido de MOS. De forma localizada, suelos ricos en P total resultan de material parental rico en este elemento.

El contenido total de este nutriente en la capa arable disminuye según aumenta la intensidad de la meteorización. Los Vertisoles son por lo general muy bajos en P total, variando de 20 a 90 ppm. Al aumentar el contenido de MOS el contenido de fosfatos orgánicos y, por consiguiente, los contenidos totales, llegan a ser mayores. Factores que contribuyen a la estabilización de la MOS como los organominerales, pueden conducir al incremento de los niveles totales de P en los suelos. El contenido total de este nutriente también depende de la textura, cuando es más fina mayor es el contenido de P total y disminuye con la profundidad del suelo, lo que puede explicarse, tanto por la disminución de la MOS, como por el menor avance de la meteorización del perfil.

Las reservas totales de P de los suelos cañeros cubanos alcanzan valores medios entre 4 800 y 7 000 kg de P_2O_5 ha⁻¹ en los primeros 30 cm de profundidad. Las mayores reservas corresponden a los Ferralíticos y las menores a los Pardos y Vertisuelos. Una parte considerable del P total (13 a 19%) se encuentra en forma de fosfatos activos de P–Ca, P–Al y P–Fe, de los cuales los ligados al aluminio y al calcio constituyen una importante fuente de suministro de formas asimilables para la caña de azúcar.

8.3.2.2 Componentes del fósforo total

Fósforo orgánico: El P orgánico representa generalmente de 7 a 30% del P total en la capa arable del suelo. Los valores más altos corresponden con mayor frecuencia a suelos altamente meteorizados, pues entre los factores que determinan la participación de las fracciones orgánicas e inorgánicas dentro del P total, está el grado de desarrollo del suelo. También intervienen todos aquellos factores que tienen efectos directos sobre la MOS: temperatura, precipitación pluvial, acidez del suelo y actividad biológica, entre otros.

Para caracterizar el P orgánico es posible utilizar la relación C/N/P orgánicos. Esta relación es muy variable, valores medios adecuados serían de alrededor de 110:9:1. En el trópico llegan a ser del orden de 200:300:1, lo que indica deficiencias de fósforo. Esta fracción se abastece de las deposiciones de restos vegetales y animales sobre la superficie. A través de los microorganismos actúa como inmovilizadora del muy limitado fósforo disponible, aunque los ácidos de los microorganismos pueden funcionar como agentes solubilizadores.

Fósforo inorgánico: Entre los fosfatos inorgánicos se diferencian tres fracciones: a) fosfatos nativos o precipitados que se encuentran en el suelo formando parte de los minerales del mismo, b) fosfatos adsorbidos al complejo coloidal y c) fosfatos solubles presentes en la solución del suelo.

Fósforo nativo o precipitado: Estas formas sólidas del fósforo inorgánico están divididas por lo general en tres fracciones activas y dos relativamente inactivas. Las fracciones activas están constituidas por los fosfatos enlazados al calcio (P–Ca), al aluminio (P–Al) y al hierro (P–Fe).

La distribución o predominancia de las formas diferentes de fosfatos en los suelos está definida por la interacción de las características propias de los diferentes fosfatos con ciertas características de los suelos como son: grado de meteorización y desarrollo del suelo, reacción del suelo, textura y régimen de humedad.

Fósforo adsorbido al complejo coloidal: Como anión que es, el fosfato está sujeto a fenómenos de adsorción e intercambio aniónico en las superficies coloidales cargadas positivamente. Dentro de los aniones presentes en el suelo los fosfatos son los que presentan mayor fuerza de retención y hasta son capaces de desplazar al resto.

Fósforo en la solución del suelo: La magnitud de esta fracción es muy baja, menos de 0,2 ppm. Se presenta en las dos formas aniónicas más solubles: (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}), varía su predominio en función de la reacción del suelo. A pH entre 2 y 7 predomina la forma H_2PO_4^- , y entre 7 y 12 predomina la forma HPO_4^{2-} , por lo que la forma más frecuente en los suelos tropicales es el H_2PO_4^- .

8.3.2.3 Transformaciones del fósforo en el suelo

Fijación: La fijación de P como parte de los procesos químicos que ocurren en el suelo es uno de los aspectos más importantes a considerar para la recomendación de fertilizantes fosfóricos. Se trata de la transformación de fosfatos monocálcicos solubles (superfosfatos) en fosfatos menos solubles de Ca, Al o Fe. A estas formas poco solubles se llega por precipitación y reacciones de adsorción con compuestos de Al y Fe, iones de Ca y coloides cristalinos y amorfos con baja relación sílice sesquióxidos que se dan en suelos ácidos.

En suelos ácidos habrá un mecanismo adicional de fijación, pues el Al y el Fe intercambiables pueden reaccionar directamente con el fertilizante fosfórico, siendo mayor la fijación en la medida en que mayor sea el contenido de óxidos de Al y Fe. En resumen, los suelos muy ácidos y meteorizados tienden a fijar altas cantidades de fósforo, mientras que suelos menos ácidos con mineralogía de silicatos laminares, tienen capacidad de fijación mucho más baja. Las reacciones de fijación más comunes son:

Precipitación: Mediante iones de Fe, Al y Mn, solubles en suelos ácidos e iones Ca en suelos menos ácidos.

Fijación: Mediante óxidos hidratados, al reaccionar el ión fosfato con éstos.

Adsorción directa del ión fosfato al complejo coloidal: En esta situación, el anión de fósforo es extremadamente susceptible de precipitar posteriormente con algún catión (Al, Fe, Ca) presente en la solución del suelo.

Adsorción a través de un catión de intercambio: Esta última opción es frágil y fácilmente puede derivar en precipitación posterior, en este caso de P–Ca.

Mineralización: La mineralización del P orgánico se desarrolla de acuerdo con un esquema similar al del N orgánico. A partir de compuestos polimerizados nucleoproteínas se forman compuestos más simples, proteínas, ácidos nucleicos y luego, por acción de los microorganismos se libera ácido fosfórico.

Interacción: Un fenómeno importante que ocurre entre las fracciones orgánicas e inorgánicas del P es la solubilización de los fosfatos nativos o precipitados por acción de los ácidos que los microorganismos liberan.

Micorrizas: La presencia de la asociación de ciertos hongos como el Vesículo arbuscular con las raíces, originan a las micorrizas, proceso relevante en la utilización por las plantas de formas de P poco disponible.

8.3.2.4 Pérdidas y ganancias de fósforo

El P es un elemento muy poco móvil en el suelo, por lo que se pierde mucho menos que el N y el K. Además, no sufre pérdidas por volatilización. La Figura 8.11 muestra las entradas y salidas de fósforo al agroecosistema cañero.

8.3.2.4.1 Pérdidas de fósforo

Las principales pérdidas de P en el agroecosistema están dadas por la extracción por las cosechas y la erosión, pero existen además otras dos vías: el lavado y la fijación.

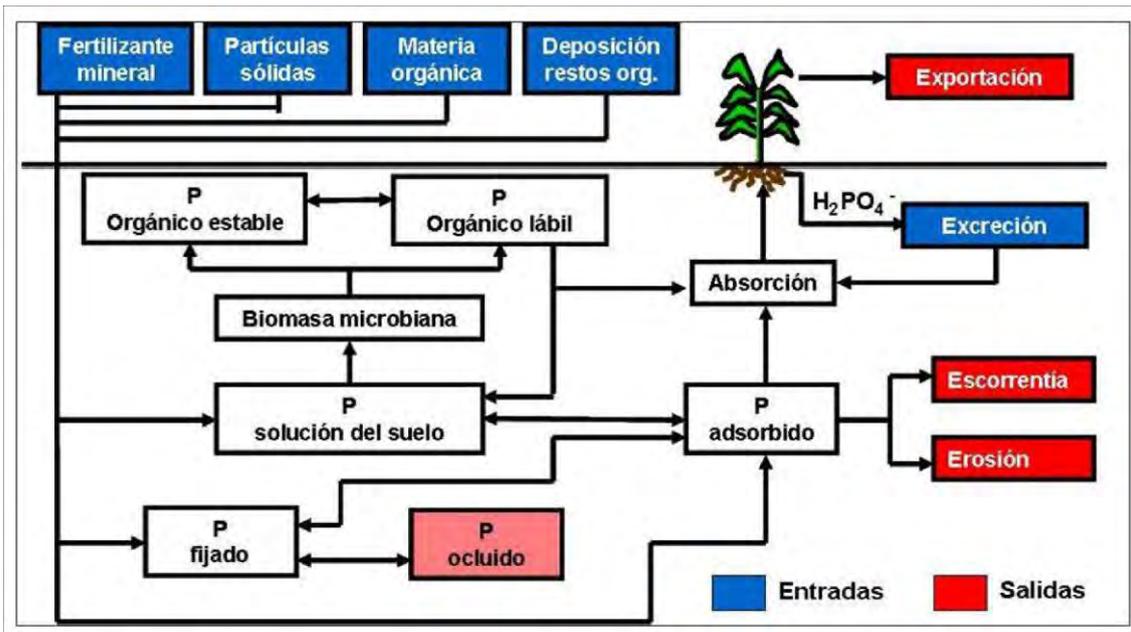


Figura 8.11. Entradas y salidas del fósforo al agroecosistema cañero.

Extracción con las cosechas: Una de las mayores pérdidas de P del agroecosistema cañero está dada por la extracción de la planta y la exportación con los tallos cosechados alcanza valores de 0,4 a 0,5 kg de P_2O_5 /t de tallos.

Erosión: Constituye, junto a la exportación con la cosecha, otra fuente importante de pérdida de fósforo.

Lavado: Las pérdidas por lavado son generalmente despreciables a causa de la baja solubilidad y limitado movimiento del fósforo en el suelo, por lo que el suministrado con los fertilizantes tiende a permanecer cerca del punto de aplicación.

Fijación: Aun permaneciendo en el suelo, el fósforo fijado constituye una real fuente de pérdida para las plantas, al menos durante algún tiempo.

8.3.2.4.2 Ganancias de fósforo

Las principales ganancias de P en el agroecosistema están dadas por la fertilización y el aporte que resulta de la mineralización de la MOS, pero existen además otras dos vías: la deposición de restos orgánicos y la excreción.

8.3.2.5 Efectos del fósforo sobre la caña de azúcar

El P participa en los procesos de intercambio de energía, forma parte de los ácidos nucleicos, de los fosfolípidos y de coenzimas respiratorias, entre otros compuestos esenciales. Ejerce un efecto decisivo sobre el crecimiento y desarrollo de la caña de azúcar, por su influencia en procesos tales como: la brotación, el desarrollo radical, la elongación de los tallos, el ahijamiento y la población de tallos «molibles».

8.3.2.5.1 Factores que determinan la efectividad en el uso del fósforo

El efecto de las aplicaciones de fósforo sobre la caña de azúcar no es uniforme, está determinado por múltiples factores dependientes del genotipo, del ambiente y del manejo que el hombre realiza de la fertilización y del cultivo.

Contenido de fósforo asimilable en el suelo: El efecto sobre la caña de azúcar de la fertilización fosfórica depende en primera instancia del contenido de las formas asimilables de este nutriente en el suelo y en consecuencia, éste es el criterio más utilizado al recomendar fósforo para este cultivo.

Solubilización de los fertilizantes fosfóricos: El proceso de solubilización de los fertilizantes no difiere del que ocurre con el fósforo inorgánico nativo o precipitado.

Debe tomarse en cuenta la eficiencia de los fertilizantes fosfóricos, su forma y época de aplicación, el tamaño de sus partículas, prácticas como el encalado, interacciones con otros nutrientes y con microorganismos.

Formas de aplicación: El fósforo dada su baja movilidad debe quedar lo más próximo posible a las raíces, por lo que requiere ser enterrado entre 8-10 cm en los retoños. Aplicaciones en el fondo del surco, en el momento de realizar la plantación, para un ciclo completo de producción son más fáciles de realizar y reducen los costos de aplicación.

Época de aplicación: El fósforo del fertilizante no se lava del suelo, sus pérdidas son restringidas. Debe estar a disposición de la planta desde el inicio de su ciclo e inmediatamente después del corte en los retoños.

Fuentes portadoras de fósforo: Aunque existe una amplia disponibilidad de fuentes portadoras de fósforo, sólo se hará referencia a aquellas con mayores posibilidades de uso para el cultivo de la caña de azúcar.

Roca fosfórica: Puede aplicarse esparcida en suelos ácidos, al momento de la preparación del terreno para la plantación. Los yacimientos más valiosos son los de fosforita, de consistencia terrosa y fácil de moler, con 27 a 41% de P_2O_5 .

Superfosfatos: Los superfosfatos entre si no presentan diferencias en su efecto sobre las plantas, siempre que se apliquen cantidades iguales de nutriente activo. Estos portadores deben ser enterrados, próximos al sistema radical, y en bandas para reducir la fijación. El uso de granulados también contribuye a disminuir la fijación. El superfosfato simple tiene de 18 a 20% de P_2O_5 y 12% de S, el triple tiene de 45 a 46% de P_2O_5 .

Fosfatos de amonio: Los fosfatos monoamónico $[(H_4N) H_2PO_4]$ y diamónico $[(H_4N)_2 HPO_4]$ son en la actualidad importantes fuentes portadoras de fósforo. El monoamónico contiene aproximadamente 50% de P_2O_5 y 11% de N. El diamónico contiene aproximadamente 46% de P_2O_5 y 18% de N. Son fertilizantes completamente acuosolubles y aparecen por lo general en forma granulada.

8.3.2.6 Diagnóstico de la necesidad de fósforo por la caña de azúcar

Por lo general los requerimientos de P por la caña de azúcar son bajos. La Tabla 8.8 muestra una guía para estimar las necesidades de P para este cultivo y los niveles críticos de P asimilable obtenidos por diferentes métodos analíticos.

Tabla 8.8. Categorías y niveles críticos de P-asimilable en el suelo según los métodos analíticos de Oniani y Bray Kurtz y dosis de fósforo que es necesario aplicar para las condiciones en que se cultiva la caña de azúcar en Cuba.

Categoría	Fósforo asimilable		Dosis
	Según Oniani 1	Según Bray y Kurtz 2	
	mg de P_2O_5 /100 g de suelo		kg de P_2O_5 ha ⁻¹
Alto	> 5,0	> 3,0	0
Medio	2,5 a 5,0	1,5 a 3,0	25
Bajo	< 2,5	< 1,5	50

Nota: 1. Extracción con H_2SO_4 0,1 N. 2. Extracción con NH_4F 0,003 N + HCl 0,01 N.

Las recomendaciones de fósforo para la caña de azúcar en Cuba se realizan desde el año 1997 a través del Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas (SERFE), el cual se basa en dos criterios: formas asimilables del elemento en el suelo extraídas con ácido sulfúrico (SO_4H_2) 0,1N y la reacción del suelo.

8.3.2.7 Fertilización fosfórica y calidad de los jugos en caña de azúcar

Es conocido que cuanto mayor es la cantidad de P en el jugo, más fácil es su clarificación. Cuando el contenido de P es bajo, éste puede mejorarse, incorporando artificialmente determinada cantidad de ácido fosfórico antes de la defecación. La cantidad es dependiente de las características genéticas de las variedades utilizadas, aunque también de otras circunstancias. Una necesidad mínima de ácido fosfórico de 300 mg/l de jugo de caña es suficiente, cuando este nivel no se alcanza debe agregarse la diferencia.

8.3.2.7.1 Relación entre la dosis de fósforo y el contenido de fósforo en el jugo

En un suelo Ferralítico Rojo «Bajo» en P asimilable (2,35 mg de P_2O_5 /kg), extraído con la técnica Oniani, donde el rendimiento agrícola respondió de manera estable, a la fertilización fosfórica, en un segundo retoño. Se observó incremento de los contenidos de P total e inorgánico en el jugo, con las aplicaciones de este elemento al suelo.

Para alcanzar el nivel más alto de fósforo inorgánico (forma que resulta útil para la clarificación del jugo) se requirió una dosis acumulada de 439 kg de P_2O_5 ha⁻¹, casi dos veces superior a la que se requirió para lograr el nivel estable de P total.

Sin embargo, en estas condiciones de deficiencias de P asimilable en el suelo, ni con el empleo de altas dosis al inicio del ciclo (al momento de realizar la plantación) y complementos de P en los retoños, fue posible alcanzar los valores mínimos de P en el jugo requeridos para una buena clarificación, alrededor de 300 mg de P_2O_5 /l (Figura 8.12).

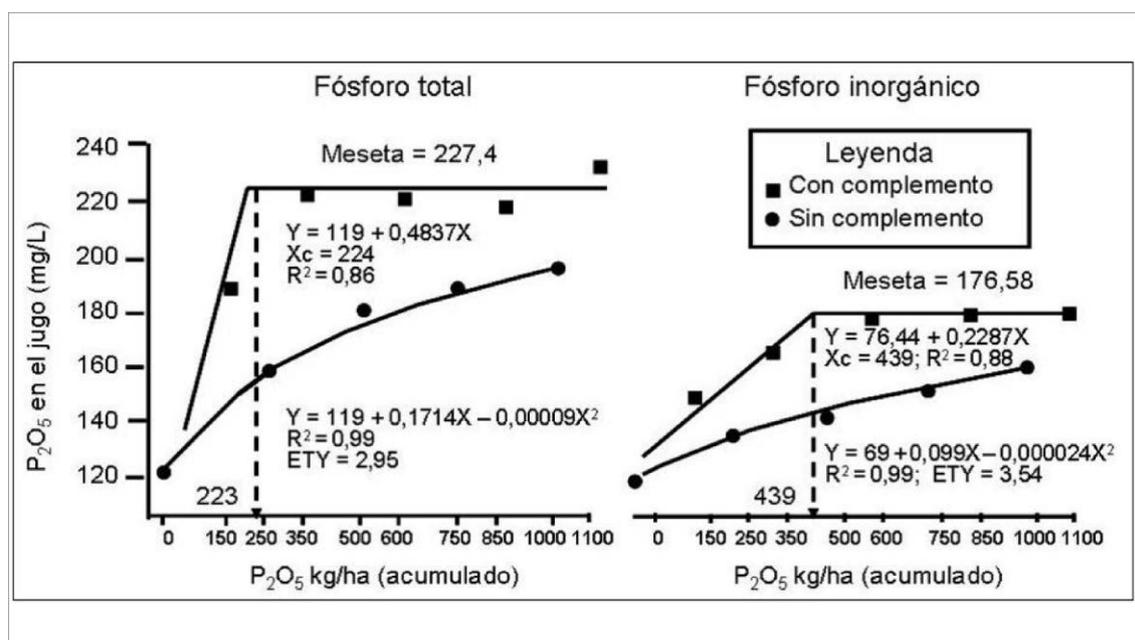


Figura 8.12. Efecto de la fertilización fosfórica de fondo para todo un ciclo, con y sin complementos anuales, sobre los contenidos de fósforo total e inorgánico en el jugo. (Cepa: 2do retoño de Ja60-5. Suelo: Ferralítico Rojo, deficiente en P asimilable).

En la agricultura cañera cubana actual, las dosis anuales de P en atención al rendimiento agrícola, para suelos bajos en formas asimilables de este nutriente, llegan apenas, en raras ocasiones, a 90 kg de P_2O_5 ha⁻¹, lo que representaría, al cabo de tres cosechas, menos de 300 kg de P_2O_5 ha⁻¹ de aplicación acumulada. Así, en suelos pobres en P asimilable, las dosis usadas en la producción resultan insuficientes para

lograr, niveles adecuados de P en el jugo mezclado, apropiados para una clarificación eficiente, por lo que en estos casos la vía de la fertilización no resulta adecuada.

El P orgánico, por su parte, no mostró variación con los tratamientos probados, de donde se infiere, que la fertilización mineral incrementa el P total debido a su acción sobre el P inorgánico.

8.3.2.7.2 Efecto de la fertilización fosfórica sobre la clarificación del jugo

El comportamiento diferente entre los tratamientos con fertilización de fondo para todo el ciclo y los que recibieron complemento anual, sugiere que el P aplicado en la plantación es fijado con mayor intensidad con el paso del tiempo, y que las aplicaciones anuales, aunque moderadas, pueden ser de utilidad en relación al contenido de P en el jugo (Figura 8.13).

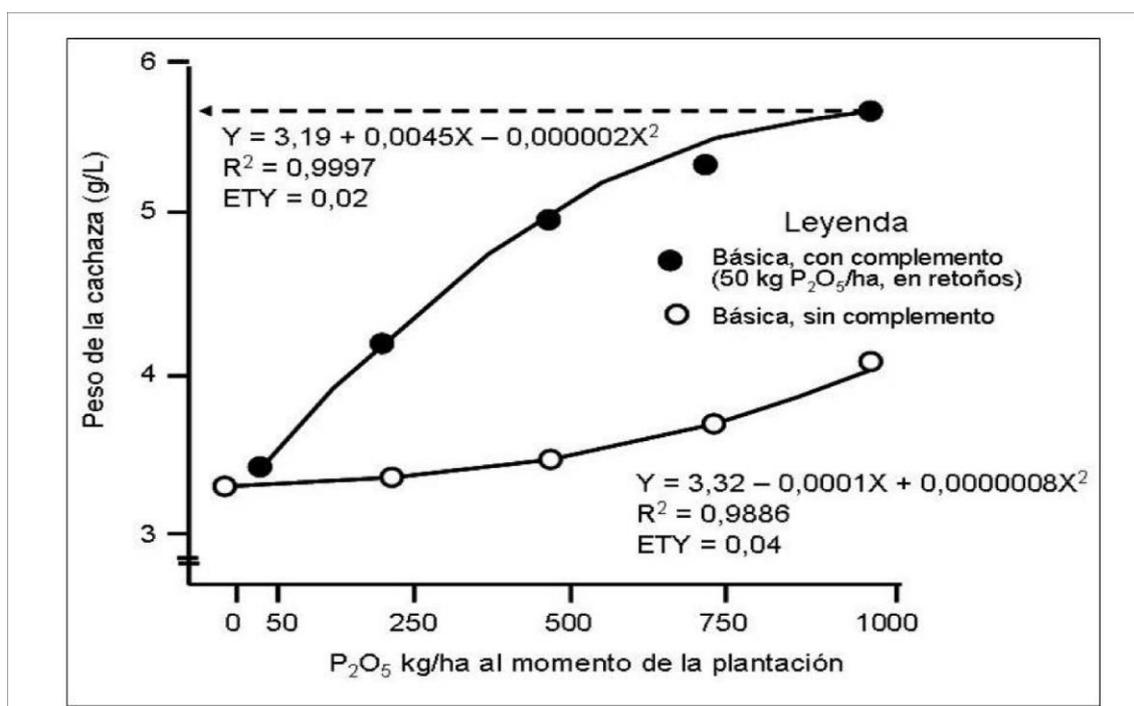


Figura 8.13. Efecto de la fertilización fosfórica, de fondo, con y sin complementos anuales de fósforo, sobre la producción de cachaza. (Cepa: 2do retoño de Ja60-5. Suelo: Ferralítico Rojo, deficiente en P asimilable).

8.3.2.7.3 Efecto de la fertilización fosfórica sobre el contenido de almidón en el jugo

El incremento de P logrado en suelos deficientes en formas asimilables de este elemento y la mejor calidad del jugo, con aumento de P inorgánico y disminución de almidón (Figura 8.14), factores que propician una buena clarificación, son aspectos a favor de la fertilización fosfórica, pero con frecuencia esta es insuficiente por si sola para lograr niveles adecuados de P en el jugo, resultando en este sentido más eficientes las aplicaciones anuales que las de fondo para todo un ciclo.

8.3.2.7.4 Relación N/P₂O₅

Aplicando sucesivamente el modelo discontinuo de dos medias al contraste entre la relación N/P₂O₅ y el «peso de la cachaza», se establecieron cuatro categorías de clarificación (Figura 8.15). Las categorías propuestas fueron: «Excelente», cuando la relación N/ P₂O₅ se encontró por debajo de 1,40; «Buena» para valores entre ≥ 1,40 y < 2,25; «Regular» de ≥ 2,25 a < 2,65 y «Mala» por encima de ≥ 2,65. Cada categoría tiene sus características. De forma general, la categoría «Excelente», se caracterizó

por la brillantez del jugo y la ausencia de partículas en suspensión, mientras que en la categoría «Mala» predominaron jugos que permanecían revueltos ($\approx 60\%$).

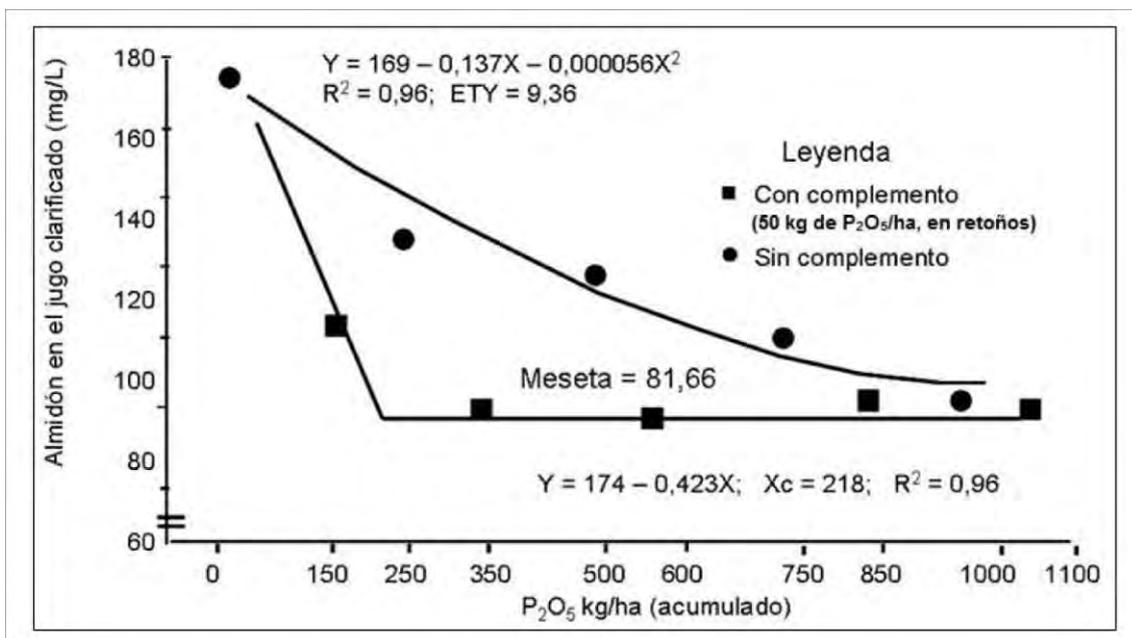


Figura 8.14. Efecto de la fertilización fosfórica de fondo, con y sin complementos anuales de fósforo, sobre el contenido de almidón en el jugo clarificado). Cepa: 2do retoño de Ja60-5. Suelo: Ferralítico Rojo, deficiente en P asimilable.

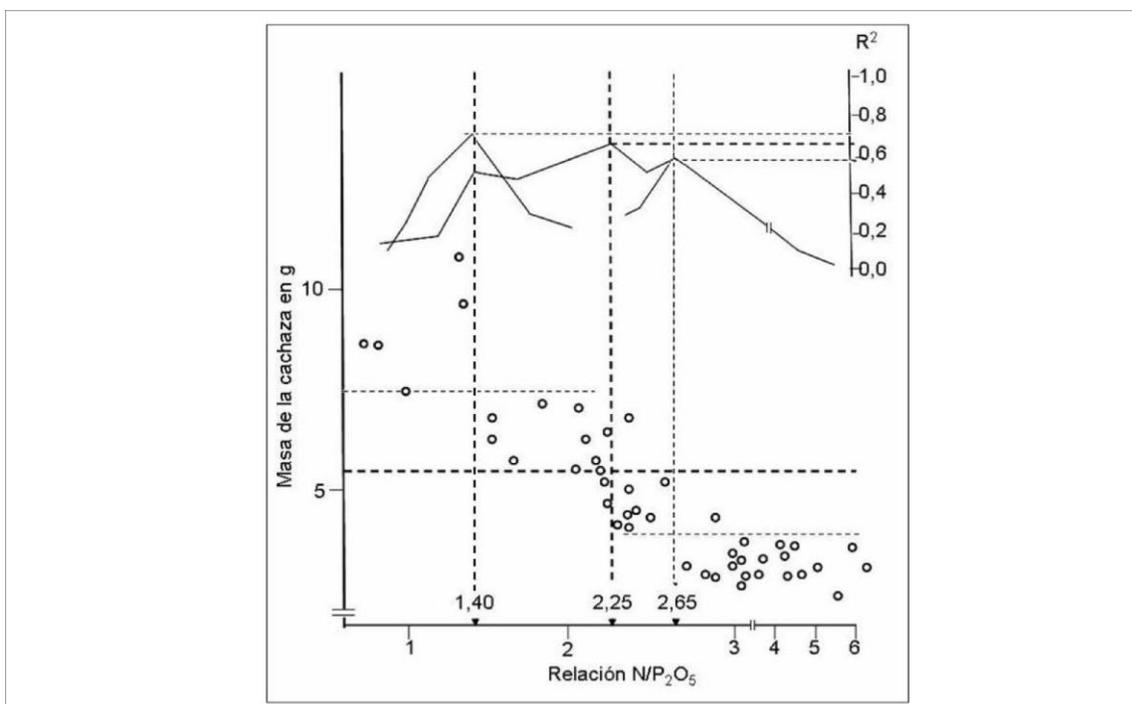


Figura 8.15. Efecto de la relación N/P₂O₅ sobre la variable masa de la cachaza y determinación de categorías de clarificación.

La dinámica del indicador N/P₂O₅ en distintas variedades mostró un crecimiento paulatino de la relación en la medida en que avanzaba la zafra, resultando alto para la etapa febrero-abril, lo que está en correspondencia con las dificultades («revolturas» en los clarificadores) que se presentan en los centrales azucareros en esta etapa,

precisamente la de mayor riqueza de sacarosa en los jugos y requiere una mayor eficiencia en el proceso de clarificación. El origen de este efecto pudiera ser explicado por la reducción del follaje a medida que avanza la maduración, trasladándose el nitrógeno presente en el mismo hacia los tallos.

El abastecimiento natural de P asimilable del suelo ejerció un efecto dominante sobre la relación N/P₂O₅ (Figura 8.16).

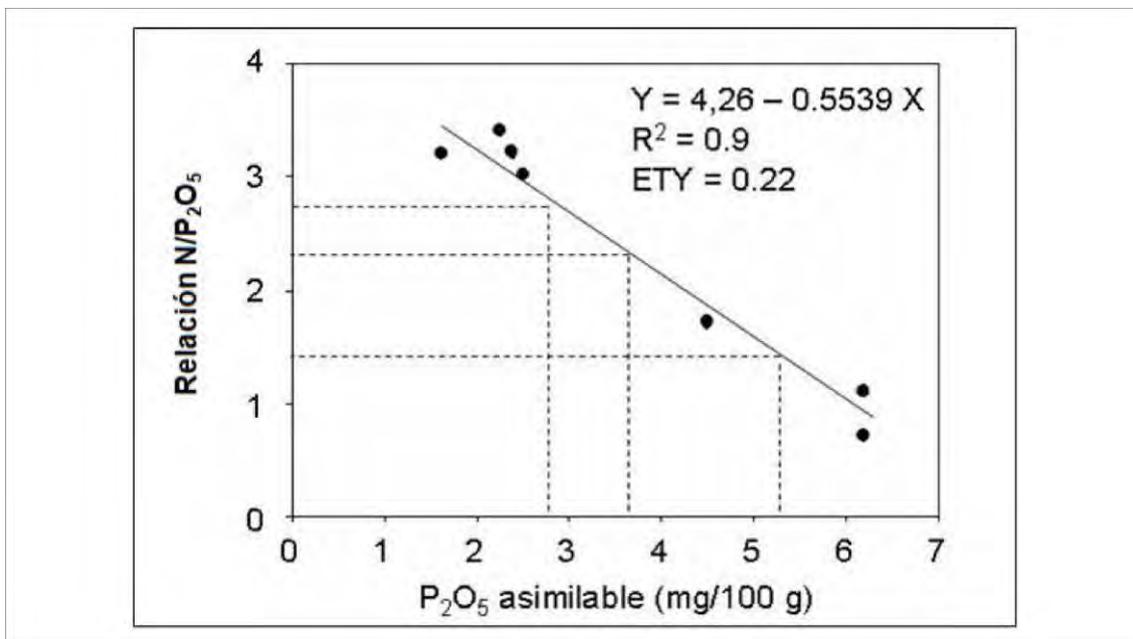


Figura 8.16. Efecto de la disponibilidad de fósforo asimilable en el suelo sobre la relación N/P₂O₅.

Cuando el contenido de P asimilable del suelo, determinado en la extracción de Oniani, fue superior a los 5,2 mg de P₂O₅/100 g de suelo, la variedad Ja60-5 produjo jugos de «Excelente» clarificación, aún en el período crítico (marzo-abril).

Jugos con clarificación «Buena» correspondieron a suelos con 3,65 a 5,20 mg de P₂O₅/100 g de suelo, pero por debajo de este rango de valores la clarificación de los jugos fue «Mala», entorpeciendo el proceso fabril de obtención de azúcar en el central, precisamente en el período de mayor riqueza en sacarosa de los jugos. El efecto de la fertilización fosfórica sobre la relación N/P₂O₅ en un suelo de bajo contenido de P asimilable (2,35 mg de P₂O₅/100 g de suelo), se muestra en la Figura 8.17. En ella se observa que la fertilización de una sola vez para todo el ciclo es menos efectiva que la anual.

No obstante, conviene destacar que la fertilización fosfórica no mejoró la clarificación en la segunda decena de febrero, por lo que esta fecha pudiera tomarse como límite antes del cual la fertilización fosfórica puede resolver problemas de calidad del jugo en relación con la clarificación (Figura 8.18).

Por su parte la fertilización nitrogenada empeoró la calidad de los jugos para el proceso de clarificación. Los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la relación N/P₂O₅ en diferentes cepas, suelos y momentos de cosecha, se muestran en la Figura 8.19, en la que el modelo A describe el efecto en caña planta de ciclo largo, en un suelo bajo en P-asimilable, con cosecha en enero, y el modelo B su primer retoño.

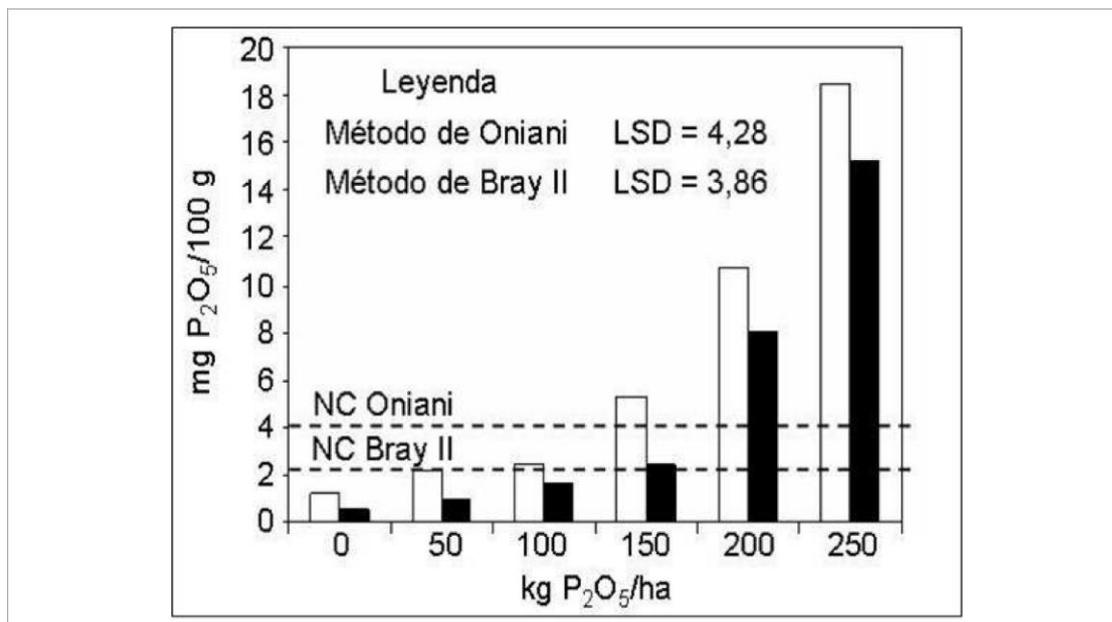


Figura 8.17. Efecto de la fertilización fosfórica continuada sobre el contenido de P asimilable en el suelo al cabo de ocho cosechas. Suelo Ferralítico Rojo.

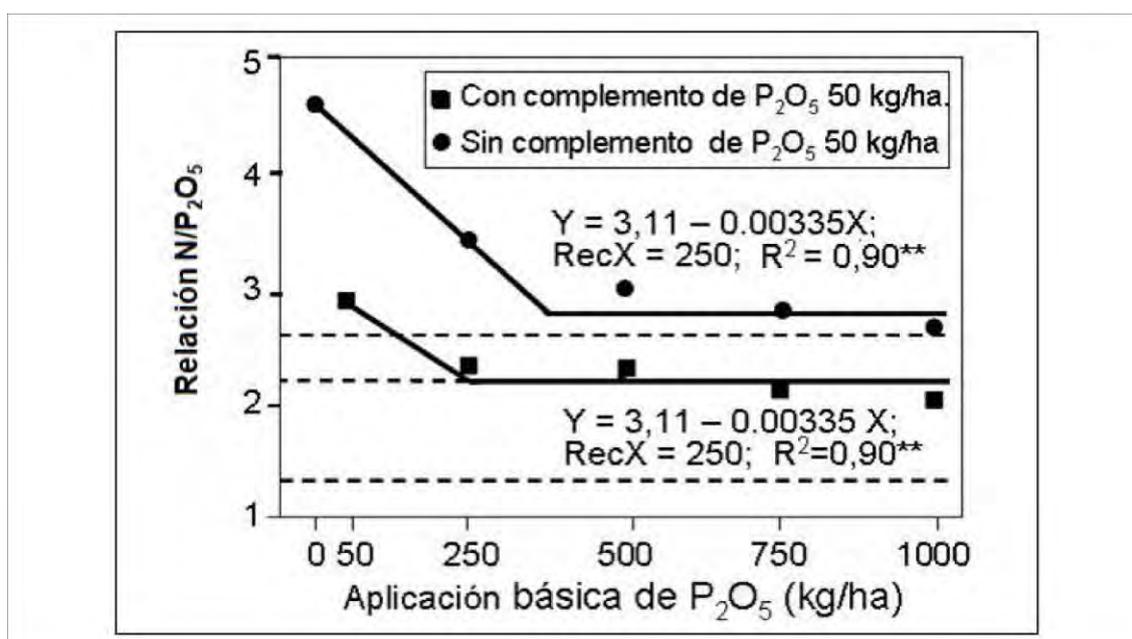


Figura 8.18. Efecto de la fertilización fosfórica básica con y sin complemento de 50 kg de P₂O₅ ha⁻¹ en las cepas de retoños de caña de azúcar, sobre la relación N/P₂O₅.

Se observa que el efecto nocivo del N, en atención a la clarificación, fue notable en la cepa de caña planta y algo menor en el retoño, que a diferencia de la cepa de planta, mostró el efecto total desde la menor dosis utilizada, de donde se infiere que, en éstos suelos deficientes en P-asimilable, es necesario asegurarse de los beneficios a obtener al manejar la fertilización nitrogenada, para evitar perjuicios, ya que jugos de «Buena» calidad para el proceso de clarificación pueden empeorar sus características y retroceder a categoría «Regular» o «Mala». Ello constituye un factor más a favor de que el N se utilice en su justa medida, evitando dosis excesivas. En suelos

abastecidos de P-asimilable no se observó efecto dañino de las dosis de N sobre la clarificación (modelos C, D y E).

En general el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la calidad del jugo para la clarificación es nocivo, siendo éste mayor en las cepas de planta que en los retoños, y con mayor detrimento en suelos con bajo contenido de P-asimilable que en los ricos.

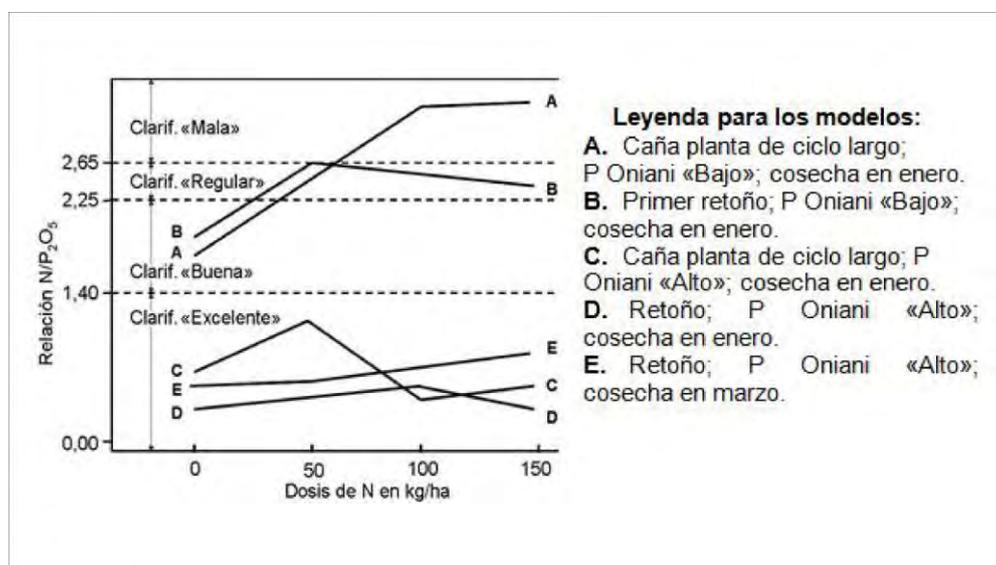


Figura 8.19. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la relación N/P_2O_5 y la clarificación del jugo en diferentes cepas de caña de azúcar.

8.3.2.8 Recomendaciones de fósforo vigentes en Cuba

En la Tabla 8.9 se puede apreciar las dosis de recomendación de fósforo, vigentes en Cuba para la caña de azúcar, de acuerdo al contenido de P-asimilable del suelo.

8.3.2.9 Síntomas visuales de deficiencia de fósforo

Los síntomas de deficiencia de P se presentan generalmente en las hojas más viejas, en forma de coloraciones verde oscuras a verde azuladas; rojas o rosadas, en los ápices y márgenes de las hojas expuestas a la luz del sol. Las hojas son más finas, cortas y estrechas que en las plantas normales y cuando envejecen, toman una coloración amarilla. Los tallos son más cortos y finos, presentando ahijamiento escaso o ausente.

Tabla 8.9. Dosis de aplicación de fósforo recomendadas en Cuba, para el cultivo de la caña de azúcar (P_2O_5 kg ha^{-1}), según el contenido de P-asimilable del suelo.

Categorías	P asimilable *	Dosis
	P_2O_5 mg/100 g	P_2O_5 kg/ha
Muy alto	≥ 13.0	0
Alto	≥ 8.3 a < 13.0	0
	≥ 3.6 a < 8.3	25
Medio	≥ 3.0 a < 3.6	30
	≥ 2.4 a < 3.0	40
	≥ 1.8 a < 2.4	50
	≥ 1.2 a < 1.8	60
Bajo	< 1.2	80
Notas	* Extracción con H_2SO_4 0.1 N	
	Nivel crítico = 2.4 mg de P_2O_5 /100 g	

La Figura 8.20 muestra a la izquierda (A) el color púrpura en el haz de las hojas expuestas al sol, lo que ocurre cuando la planta es joven y la temperatura menor que 10 °C. A la derecha (B) se observan los tallos cortos y delgados, las hojas viejas muertas prematuramente y la fuerte coloración púrpura en las vainas de las hojas.



A **B** **C**
Figura 8.20. Síntomas de deficiencia de fósforo. A. En hojas jóvenes. B. En las vainas de las hojas de caña de azúcar. C. Plantas severamente afectadas.

8.3.3 Potasio

8.3.3.1 Contenido y formas del potasio en el suelo

La cantidad total de K en los suelos varía de 0,04 a 3,00%. En casos excepcionales (como puede ser en suelos salinos), alcanza valores de hasta 8%. Sin embargo, el contenido de K total en los suelos ofrece suficiente información acerca de su disponibilidad para las plantas; para considerar este aspecto es necesario atender a las diferentes formas o fracciones en las que el K se presenta en el suelo.

Las fracciones de K y los porcentajes aproximados con que contribuyen al K total son los siguientes: K en la solución, con 0,1 a 0,2%; K intercambiable, con 2 a 8%, y K no intercambiable y estructural, con 90 a 98%.

Potasio soluble: Es la fracción de la cual las plantas absorben directamente el K.

Potasio intercambiable: Es el K adsorbido por las cargas negativas de las arcillas, los hidróxidos y la MOS. Por lo general el K intercambiable se relaciona con el rendimiento agrícola y con el K absorbido por las plantas. El K intercambiable se puede extraer con ácido nítrico (HNO₃ 1N). Se ha encontrado correlación entre esta fracción y el K absorbido por los cultivos. Rubio (1982) propuso un nivel crítico de 0,62 cmol/kg, para la referida extracción, con 10 minutos de ebullición.

Potasio no intercambiable: Es el K que se encuentra fijado entre las capas de tetraedros y octaedros de las micas minerales, así como en las cavidades hexagonales de ciertos minerales. El K no intercambiable es liberado lentamente por meteorización y por lo general, no con suficiente rapidez como para estar disponible en forma inmediata para los cultivos.

Potasio estructural: Esta fracción corresponde al K que se encuentra formando parte de la estructura de los minerales primarios y secundarios.

Potasio orgánico: Aunque se considera al K un elemento de comportamiento esencialmente mineral, su presencia en los abonos o residuos orgánicos trasciende sobre su disponibilidad en el suelo, especialmente porque, por lo general, se encuentra altamente concentrado en los tejidos vegetales. Como no es un elemento estructural, pasa a ser rápidamente disponible tras la aplicación de los residuos vegetales al terreno.

8.3.3.2 Fijación

La capacidad de fijación de K depende de la naturaleza de las arcillas, de la densidad de carga en el espacio inter-laminar, del pH, del secado y humedecimiento y de la cantidad del nutriente aplicado como fertilizante y en consecuencia presente en la solución del suelo. La fijación es mayor en ilitas que en versiculitas y en éstas más que en montmorillonitas. El proceso es casi nulo en caolinitas, cloritas y en la materia orgánica del suelo. El K fijado representa una reserva que, aunque lentamente, puede ser liberada y utilizada por las plantas, especialmente si la concentración de la solución externa desciende por debajo de determinados límites.

8.3.3.3 Pérdidas y ganancias de potasio

El K es un elemento mucho más móvil que el P pero menos que el N. Un esquema de las entradas y salidas de K al agroecosistema cañero se muestra en la Figura 8.21.

8.3.3.3.1 Pérdidas

Las principales fuentes de pérdidas de K en un agroecosistema con caña de azúcar son la extracción de K por la caña y su consecuente exportación con la cosecha, el lavado y la erosión.

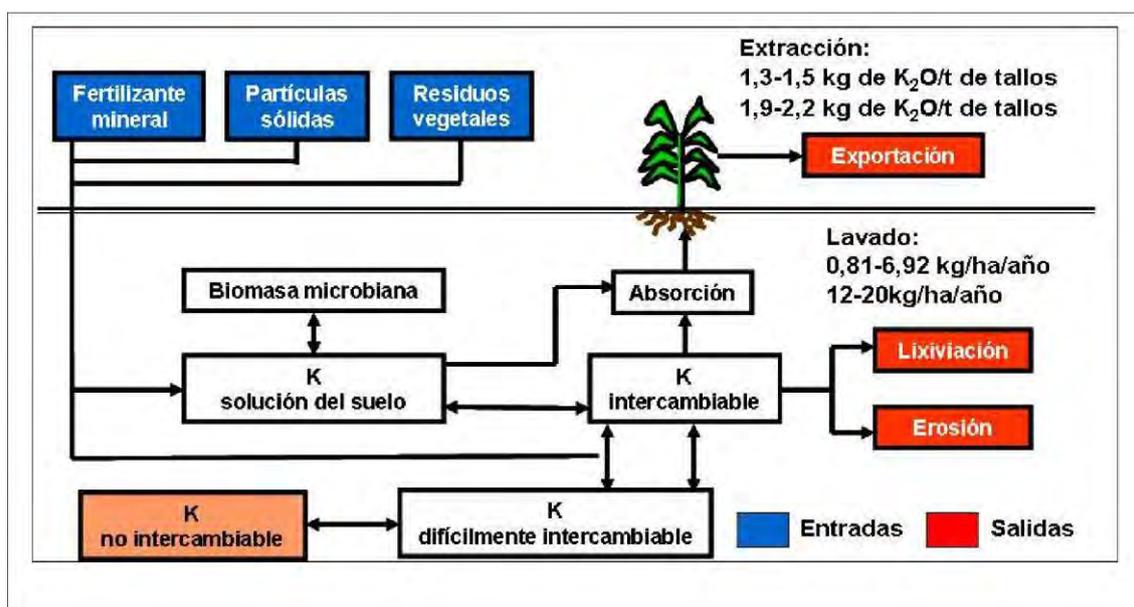


Figura 8.21. Entradas y salidas de potasio al agroecosistema cañero.

Extracción de potasio por la caña de azúcar: La caña de azúcar extrae del suelo mayores cantidades de K que de cualquier otro nutriente. Las cantidades extraídas varían fundamentalmente en dependencia del tipo de suelo, de las variedades cultivadas y del contenido de este elemento en el suelo. En términos generales es posible considerar la extracción en el intervalo 1,30 a 1,50 kg de K_2O/t de tallos, aunque en suelos ricos en este elemento, o en los que han recibido dosis altas por períodos prolongados, se observan valores de 1,90 a 2,20 kg de K_2O/t de tallos (Tabla 8.10).

Tabla 8.10. Influencia de la aplicación de diferentes dosis de fertilización potásica, sobre la extracción de K que realiza la caña de azúcar, del suelo, en kg de K₂O/t de tallos.

Dosis de K kg K ₂ O ha ⁻¹	Experimento A	Experimento B
	kg K ₂ O/t de tallos	
0	1,28	0,99
79	1,54	1,28
317	2,26	2,02

Las aplicaciones de fertilizantes potásicos incrementan la extracción de este nutriente; la caña de azúcar puede extraer más K del que necesita para su nutrición, lo que se denomina «consumo de lujo».

Lavado: Las pérdidas de este elemento por lavado son superiores a las del P e inferiores a las de N. Tienen importancia en suelos de textura gruesa (arenosos) y baja capacidad de intercambio catiónico (CIC). En suelos con apreciable CIC es adsorbido sobre las arcillas, lo que limita su movimiento en el agua del suelo. En general las pérdidas por lavado no constituyen un problema para la mayoría de los suelos, las cuales pueden fluctuar entre 5 y 250 kg de K₂O ha⁻¹ al año, en dependencia de los contenidos de K, la intensidad de las precipitaciones y la cobertura vegetal. Los suelos ácidos, con baja CIC, no pueden retener suficiente K, por lo que están sometidos a mayores pérdidas por lixiviación, a ello puede contribuir la ocupación de gran parte de los sitios de intercambio por Al⁺³.

Erosión: Considerables cantidades de K pueden perderse del suelo por erosión. La remoción de las partículas más finas durante la erosión disminuye selectivamente la porción del suelo más importante en el suministro del nutriente a las plantas.

8.3.3.3.2 Ganancias de potasio

Las entradas de K al agroecosistema están dadas fundamentalmente por la aplicación de fertilizantes y por los residuos vegetales. El K aplicado al suelo en forma de fertilizantes pasa en corto tiempo a cualquiera de las tres fracciones activas del elemento en el suelo: K en solución; K intercambiable y K no intercambiable. Los residuos vegetales, por su parte, ceden al suelo el potasio que han acumulado.

8.3.3.4 Efecto del potasio sobre la caña de azúcar

Este nutriente se absorbe por la planta como ion K⁺. A diferencia del N, del P y otros elementos, no es parte integrante de compuestos estructurales. Su función más que plástica es metabólica, catalítica.

Aunque no forma parte de la molécula de clorofila, juega un importante papel en la fotosíntesis, dada su participación en el transporte de azúcares, pues al éste afectarse se produce una concentración de azúcares en las hojas que afecta la fotosíntesis. Bastan valores de K en las hojas menores o iguales que 0,40%, para que la fotosíntesis casi se paralice. Bajo condiciones normales en las hojas jóvenes se encuentra más K que en las viejas, por lo que las plantas jóvenes son más ricas en este nutriente que las de mayor edad.

Los efectos del K sobre la caña de azúcar se manifiestan fundamentalmente en: el régimen hídrico, la formación de carbohidratos, el metabolismo del nitrógeno, el movimiento de los compuestos orgánicos en la planta, el desarrollo de la planta, la formación y neutralización de ácidos orgánicos, la época de maduración y la resistencia a plagas, enfermedades y al acamado.

Formación de carbohidratos: La respuesta de la caña de azúcar a la fertilización potásica es muy marcada en los suelos que presentan insuficiencias, pues la falta de

este elemento, además de afectar desfavorablemente el rendimiento agrícola, provoca una reducción en el contenido de sacarosa en la caña.

Por otra parte, al faltar carbohidratos y activarse hidrolasas se impide la acumulación de celulosa, originando que las paredes celulares de plantas deficientes de este nutriente, sean más delgadas que las de las bien abastecidas. Las células fibrosas generalmente forman parte del esclerénquima, el cual constituye el elemento de sostén más importante de la planta, por eso la insuficiencia de potasio favorece el encamado y la incidencia de plagas.

Efecto de la cepa: En los resultados de 207 cosechas de experimentos de campo, se observó que la efectividad de la fertilización potásica anual aumenta con la sucesión de las cosechas. En la mayoría de los casos no se observaron efectos favorables ante las aplicaciones de este nutriente, en caña planta, socas y en segundo retoño. Los beneficios fueron más frecuentes en tercero y cuarto retoño. Con el transcurso de las cosechas aumentó, tanto la magnitud del efecto, como la dosis requeridas de K₂O.

Fuentes portadoras de potasio: Aunque existe una amplia disponibilidad de fuentes portadoras de K el fertilizante potásico más empleado para la caña de azúcar es el cloruro de potasio (KCl), con 60 a 62% de K₂O.

Forma y momento de aplicación: En las plantaciones el K debe aplicarse en el fondo del surco y en los retoños enterrado a unos 8 a 10 cm de profundidad, cerca del sistema radical, lo antes posible después del corte, puede ser a ambos lados del surco o al centro de la cepa.

8.3.3.5 Diagnóstico de la necesidad de potasio por la caña de azúcar

Numerosos autores son del criterio que desde el punto de vista del diagnóstico de las necesidades de fertilizantes potásicos, el análisis de suelos, aunque importante, no es suficiente para recomendar las dosis de aplicación de este elemento. Niveles críticos (NC) de K fueron determinados por diferentes métodos de extracción de potasio en suelos cañeros de Cuba, los cuales se exponen en la Tabla 8.11.

Tabla 8.11. Niveles críticos de potasio en suelos cañeros cubanos determinados por diferentes métodos analíticos.

Método de análisis	Nivel crítico	R ²
SO ₄ H ₂ 0,1 N	0,38 K cmol/kg	0,75
CH ₃ COONH ₄ 1N a pH 7	0,37 K cmol/kg	0,51
NO ₃ H 1N (hirviendo)	0,62 K cmol/kg	0,50
ΔK ₀	0,45 K cmol/kg	0,40
PBC ^k	181,00 (cmol/100 g)(M/L) 0,5	0,34

También se han determinado las reservas de potasio del suelo mediante extracciones sucesivas con ácido nítrico (NO₃H), concluyéndose que, los contenidos de K intercambiable en los suelos cañeros, están asociados al tipo de arcilla los porcentajes de éstas y la MOS; los efectos favorables de la fertilización potásica sobre el cultivo de la caña de azúcar fueron mayores y más frecuentes en suelos con predominio de arcillas 1:1 que en los suelos con arcillas 2:1.

8.3.3.6 Correcciones de dosis de potasio a través del análisis foliar

El nivel crítico del porcentaje de K foliar puede indicar la necesidad o no de fertilizantes. Correcciones a través del diagnóstico foliar para la caña de azúcar en las condiciones de Cuba se muestran en la Tabla 8.12.

Tabla 8.12. Corrección de la dosis de potasio en función del K de la hoja TVD de la caña de azúcar a la edad de cuatro, cinco y seis meses y categorías de abastecimiento de K-asimilable en los suelos cañeros de Cuba.

Categoría	Edad a la que es tomada la muestra			Corrección de dosis (kg de K ₂ O ha ⁻¹)
	4 meses	5 meses	6 meses	
	%			
Pobre	< 1,2	< 1,1	< 1,0	+ 50
Abastecido	1,2 – 1,5	1,1 – 1,4	1,0 – 1,3	0
Alto	> 1,5	> 1,4	> 1,3	- 50

8.3.3.7 Fertilización potásica y calidad de los jugos de la caña de azúcar

En algunos países cañeros, al evaluar económicamente un campo de caña, consideran globalmente los factores agroindustriales, valorando tanto la masa de los tallos, la pol en caña y en el jugo, la fibra, el brix y los reductores, como el contenido de cenizas totales en el jugo, pues en la medida en que éstas se elevan y es menor la relación «pol en jugo/cenizas totales», se torna más difícil el recobrado de la sacarosa del jugo.

La característica edafoclimática que mayor relación tiene con el contenido de ceniza es el tenor de K del suelo (Tabla 8.13), ya que los jugos de plantaciones en suelos altos en K asimilable poseen mayor contenido de ceniza. El contenido en nutrientes del jugo depende principalmente del abastecimiento de éstos en el suelo.

Tabla 8.13. Contenido de cenizas del jugo de caña procedente de diferentes centrales azucareros de la provincia Ciego de Ávila y su relación con el abastecimiento natural de K en el suelo.

Zona	Abastecimiento natural de K	Cenizas (% Brix)
Patria o Muerte	Bajo	2,39
Venezuela	Bajo	2,65
Enrique Varona	Alto	2,94
Primero de Enero	Alto	3,35
F calculada = 9,05. Probabilidad = 0,00		

Al aumento de la dosis de KCl aplicado al suelo correspondió un incremento en el jugo de potasio, cloruros, cenizas y de la acidez (Figura 8.22).

El K y los cloruros juegan un importante y negativo papel por su capacidad para formar enlaces entre las moléculas de agua y sacarosa, perturbando el proceso industrial de obtención de azúcar.

El aumento observado de la acidez está dado, en correspondencia con el criterio de que la dependencia que el ácido aconítico (el más abundante en el jugo) tiene del K. La neutralización de este ácido conlleva a un mayor uso de cal, con lo que se incrementan las incrustaciones en los calentadores y evaporadores, con frecuencia los iones K son responsables de los aumentos de ceniza. Por cada unidad de ceniza dejan de ser cristalizables cinco unidades de sacarosa.