

CENICAÑA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA

*Interpretación del análisis de suelo y recomendaciones de
fertilizantes para la caña de azúcar*

RAFAEL QUINTERO DURAN. I.A., M.Sc.
Edafólogo

Cali, octubre de 1993

PREFACIO

Los resultados de las Investigaciones sobre fertilización de la caña de azúcar, realizadas por CENICAÑA en colaboración con los ingenios azucareros, han permitido establecer algunas pautas para entregar esta primera aproximación de recomendaciones de fertilizantes y enmiendas para este cultivo y para las condiciones agroecológicas predominantes en la parte plana del valle del río Cauca.

Las recomendaciones de nitrógeno, fósforo, potasio y enmiendas están concebidas, principalmente, con base en parámetros del suelo y por esta razón se establecen criterios sobre la toma de la muestra de suelo, se definen las metodologías usadas en la determinación de los principales parámetros y se proporcionan principios básicos para efectuar una adecuada interpretación de los resultados del análisis de suelo que conduzca a recomendaciones ajustadas a las condiciones edáficas y a las necesidades del cultivo.

INTRODUCCIÓN

El análisis de suelo es uno de los medios rápidos y económicos que sirve de apoyo técnico para proporcionar recomendaciones de fertilizantes y enmiendas para la mayoría de los cultivos de importancia económica. La eficacia de estas recomendaciones está muy relacionada con las respuestas del cultivo a las aplicaciones de un determinado nutrimento. En el caso del cultivo de la caña de azúcar, los efectos de las aplicaciones de nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K), relacionarse no solamente con las respuestas obtenidas en producción de caña sino también con las respuestas en concentración de sacarosa.

La determinación de las recomendaciones de fertilizantes y enmiendas, con base en el análisis de suelo, incluye varios pasos importantes, tales como: la toma de la muestra de suelo, el análisis propiamente dicho de la muestra de suelo, la interpretación de los resultados correspondientes a los diferentes parámetros del análisis solicitado y las recomendaciones de los fertilizantes y enmiendas para un cultivo específico.

TOMA DE LA MUESTRA DE SUELO

La característica principal que debe tener una muestra de suelo es su representatividad. En términos generales, se calcula que la capa de suelo de una hectárea con un espesor de 20 cm. tiene un peso aproximado de 2.000.000 de kilogramos; si consideramos que una muestra de suelo pesa entre 500 y 1.000 gramos y puede llegar a representar un área máxima de 10 hectáreas (20'000.000 de Kg. de suelo) entonces es fácil entender la importancia de hacer un muestreo correcto del suelo.

Con el fin de obtener una muestra representativa de un determinado lote se deben tomar entre 15 y 20 submuestras en sitios distribuidos uniformemente, tal como se muestra en la Figura 1, para abarcar todas las partes que lo conforman.

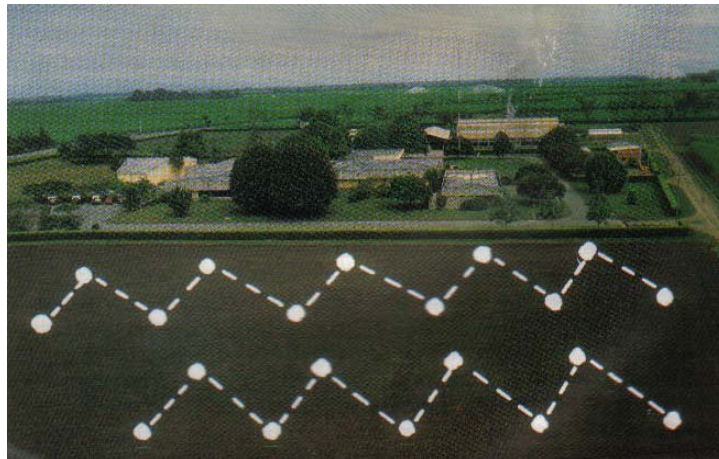


FIGURA 1. Distribución de los sitios para la toma de las submuestras de suelo.

Una vez definidos los sitios de muestreo se procede a tomar cada submuestra mediante la utilización de una pala o un barreno y un balde plástico. Si se utiliza la pala, en cada uno de los sitios de muestreo se raspa la superficie del suelo, se hace un hoyo en forma de V de 20 cm. de profundidad y posteriormente se toma una tajada de suelo de dos o tres centímetros de espesor en uno de los lados oblicuos del hoyo. De esta tajada de suelo se toma la parte central y se coloca en un balde plástico. Cuando se usa el barreno se facilita la toma de la muestra; en este caso, se introduce el barreno hasta la profundidad de 20 cm., una vez se ha sacado del suelo se elimina parte de la submuestra de las secciones superior e inferior y se coloca la parte central en el balde plástico. La operación de muestreo se repite en cada uno de los sitios; finalmente se mezcla todo el suelo que se encuentra en el balde y se toma una muestra de aproximadamente un kilogramo y se pasa a una bolsa plástica cuidadosamente identificada.

La muestra de suelo debe tomarse con suficiente anticipación, especialmente en áreas que van a ser renovadas, con el fin de hacer las aplicaciones de fertilizantes fosforados y potásicos en el fondo del surco al momento de la siembra; así se aprovecha la oportunidad de colocar estos nutrimentos cerca del sistema radical que se desarrollará una vez empiece a germinar el cultivo. En consecuencia, la muestra de suelo debe tomarse por lo menos con un mes de anticipación al corte de la caña, ya sea que se vaya a renovar el cultivo o se piense en la necesidad de fertilizar la soca subsiguiente. En el caso específico de la caña de azúcar las muestras de suelo deben tomarse con una periodicidad de tres cortes: las recomendaciones de fertilizantes y enmiendas para el segundo y tercer corte se hacen con base en los resultados del análisis de suelo y de las producciones de caña y azúcar obtenidas en el corte inmediatamente anterior. Las recomendaciones de fertilizantes para el cuarto corte o tercera soca de caña se deben hacer preferiblemente con base en un nuevo análisis de suelo cuya muestra se debe tomar a

En las plantaciones de caña de azúcar existe la tendencia a tomar las submuestras de suelo en el centro del entresurco o calle. Dado que las aplicaciones de fertilizantes se hacen en el fondo del surco y en banda; al evaluar los efectos de los fertilizantes en algunas características químicas del suelo cuando las submuestras se tomaron en la parte central del entresurco se observó poca variación del contenido de fósforo disponible del suelo a pesar de haber hecho siete aplicaciones sucesivas de P_2O_5 en dosis que variaron entre 50 y 150 Kg. /ha. a medida que aumentó la proporción de submuestras tomadas al lado del surco con respecto a las submuestras tomadas en el centro del entresurco o calle, se incrementaron los contenidos de fósforo disponible en el suelo; por lo tanto, si se toman las submuestras sólo en la parte central del entresurco se obtendrán contenidos de fósforo disponible por debajo del valor real, pero si se toman sólo al lado del surco, se sobrestimarían esos valores. Ambas situaciones pueden conducir a recomendaciones equivocadas. Por otra parte, cuando se toman alternativamente submuestras del centro del entresurco y al lado del surco (50%) se obtendrán contenidos de fósforo disponible más ajustados a la realidad. Esta misma tendencia se observó cuando se evaluaron los contenidos de potasio

intercambiable, pero en menor proporción que lo ocurrido con el fósforo disponible. En relación con otros parámetros del suelo (pH, materia orgánica, calcio y magnesio intercambiables), la variación observada fue muy escasa. Dado lo anterior, se sugiere para el cultivo de la caña de azúcar tomar las submuestras tanto del centro de la calle o entresurco como del lado del surco en los sitios de muestreo.

Al seleccionar los sitios para la toma de las submuestras de suelo se deben excluir aquellos lugares donde se ha amontonado cachaza o cenichaza, parches arenosos, terrenos inundados, sitios donde se han acumulado escombros y áreas cercanas a canales de riego o drenaje. ;

La identificación de la muestra debe incluir la información sobre su ubicación geográfica (departamento, municipio, vereda), nombre del propietario, serie de suelo, drenaje, profundidad del nivel freática variedad de caña de azúcar y número de corte Esta información es importante porque aporta bases para tomar decisiones relacionadas con la dosis de nutrimentos y las épocas y las formas de aplicación. Además permite conformar un banco de datos para realizar estudios de fertilidad de

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE SUELO

Reacción del suelo o pH

Para su determinación se usa el potenciómetro con electrodo de vidrio y suelo: agua en una relación por peso de 1 a 2; esto es, a 25 g de suelo seco se agregan 50 cm³ de agua destilada. La suspensión se agita durante 20 minutos, luego se deja en reposo durante 10 minutos, se agita y se lee el pH en el potenciómetro (CENICAÑA, 1.982). También se utiliza la relación suelo: agua por volumen de 1:1, o sea, a 10 cm³ de suelo se agregan 10 cm³ de agua destilada, la mezcla se deja en reposo durante una hora, se agita y se lee en el potenciómetro (ICA, 1.982). La reacción del suelo se expresa en unidades de pH.

Acidez intercambiable (Al³⁺ + H)

Se determina mediante la extracción con cloruro de potasio (KCl) normal, luego se titula el extracto con hidróxido de sodio (NaOH), 0.1 normal, en presencia de fenolftaleína. La acidez intercambiable se expresa en miliequivalentes /100 gramos de suelo seco (meq/100) o en centimoles/Kg. de suelo (cmol/Kg.). Estas unidades son equivalentes (ICA, 1.992; Marín, 1.983).

Materia orgánica

Se calcula indirectamente mediante la determinación del carbono (C) orgánico por el método de oxidación de Walkley Black. El carbono orgánico se oxida con ácido sulfúrico concentrado y posteriormente se determina a en forma calorimétrica. La materia orgánica del suelo se expresa en porcentaje (ICA, 1992; CENICAÑA 1982).

Fósforo (P) disponible

Existen varios métodos para determinar el fósforo disponible del suelo. En CENICAÑA se adelantan investigaciones sobre fertilización con fósforo en caña de azúcar que incluyen los métodos Bray 2 y Olsen.

Método Bray 2. La extracción del fósforo disponible se efectúa con una mezcla de fluoruro de amonio (NH₄F) 0,03 N y ácido clorhídrico (HCl) 0,1 N.

Método Olsen. Este método emplea una solución extractora de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) 0.5 N ajustada a un pH de 8.5 con hidróxido de sodio (NaOH). Este método se usa preferiblemente en suelos calcáreos, (Marín, 1.983; De Geus. 1967).

En ambos métodos, el fósforo disponible del suelo se expresa en partes por millón (ppm) o miligramos por kilogramo (mg/Kg.).

Bases intercambiables

Las bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) se extraen con acetato de amonio normal y neutro y se determinan en el espectrofotómetro de absorción atómica (ICA, 1992; CENICANA, 1982). Los contenidos de las bases intercambiables se expresan en meq/100g o en cmol/Kg...

Capacidad de intercambio catiónico (CIC.)

Una vez desplazados los cationes del suelo con acetato de amonio, se lava el exceso de amonio (NH_4^+) con alcohol. El amonio retenido en el complejo de cambio se desplaza con una solución de cloruro de sodio (NaCl) al 10%. Al lixiviado se agregan 10 cm³ de formaldehído neutro al 40%. Luego se titula NaOH, 0.1 N, mediante el uso de fenolftaleína como indicador (Marín, 1.980) la CIC se expresa con meq/100 g o con cmol/Kg.

Capacidad de intercambio catiónico efectiva

La capacidad de intercambio catiónico efectiva se determina indirectamente por medio de la suma de los cationes Al^{3+} , H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , y Na^+ extraídos con acetato de amonio normal y neutro (Marín, 1980).

Textura

El análisis físico-mecánico o de textura se hace por el método de Bouyoucos o del hidrómetro. Como agente dispersante se utiliza una solución de hexametáfosfato y carbonato de sodio (ICA, 1992). La textura del suelo se denomina según el tamaño o los tamaños de las partículas que predominan en el suelo, así: arenosas (A), arenosa-arcillosa (A-Ar), franco-arenosa (F-A), franca (F), franco-limosa (F-L), limosa (L), franco-arcillo-arenosa (F-Ar-A), franco-arcillosa (F-Ar), franco-arcillo-limosa (F-Ar-L), arcillo-arenosa (Ar-A), arcillo-limosa (Ar-L), arcillosa (Ar).

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO

Reacción del suelo o pH

La caña de azúcar tolera una gran variabilidad en cuanto a la reacción del suelo o pH se refiere: sin embargo se considera óptimo el valor de pH de 6.5 que equivale a un grado muy ligero de acidez. En

la parte plana de valle geográfico del río Cauca predominan los suelos con v orea de pH entre 5.5 y 7.0.

En general, se considera a los suelos con valores de pH inferiores a 5.5 como fuertemente ácidos; en ellos se puede restringir el desarrollo normal de la caña de azúcar, principalmente debido a la presencia de aluminio (Al) intercambiable, hierro (Fe) y manganeso (Mn) en niveles tan altos que pueden causar toxicidades en el cultivo e impedir la absorción del fósforo del suelo. En estos suelos muy ácidos se restringen las disponibilidades del calcio, el magnesio y el molibdeno (Mo).

Suelos con valores de pH entre 5.5 y 5.9 son considerados como moderadamente ácidos; las disponibilidades de fósforo calcio y magnesio se restringen un poco en estos suelos.

Suelos con valores de pH entre 6.0 y 6.5 son considerados como ligeramente ácidos. Esta reacción del suelo es bastante adecuada la caña de azúcar.

Cuando el pH varía entre 6.6 y 7.3 se considera que el suelo es casi neutro. Aunque es una reacción adecuada para la caña de azúcar, las disponibilidades del fósforo y de los elementos menores o micro nutrientes, excepto el molibdeno, se restringen un poco, especialmente la disponibilidad de estos últimos.

Suelos con valores de pH entre 7.3 y 8 .C se consideran alcalinos. Las disponibilidades de fósforo y micro nutrientes excepto molibdeno, son bajas.

Valores de pH superiores a 8.0 corresponden a suelos muy alcalinos, los cuales se caracterizan por la presencia de altos contenidos de sodio intercambiable y condiciones físicas inadecuadas. Estos suelos requieren prácticas de recuperación que incluyen la aplicación de enmiendas, *el* mejoramiento del drenaje y el lavado.

Acidez intercambiable (Al₃₊ + H⁺)

La acidez intercambiable está asociada con los sitios de intercambio iónico permanente y es debida principalmente a los iones hidrógeno, aluminio, hierro y manganeso. En suelos minerales, el efecto predominante le corresponde al aluminio (León, 1971).

Por lo general, la acidez intercambiable se determina en aquellos suelos que presentan valores de pH < 5.5.

Los criterios siguientes ayudan a tomar decisiones acerca de la necesidad de aplicar calcio al suelo para neutralizar el aluminio intercambiable y elevar el pH de suelo (ICA, 1992):

- a) Contenido de aluminio intercambiable >2 meq/100g
- b) Relación Ca + Mg + K / al < 1
- c) Saturación del aluminio intercambiable > 25%

Materia orgánica

En la parte plana del valle del río Cauca, predominan los suelos con contenido de materia orgánica menores que 4%. La materia orgánica del suelo es fuente importante de nitrógeno, fósforo, azufre y de algunos elementos menores o micro nutrientes. Tienen marcados efectos positivos en las propiedades físicas del suelo y aumenta su capacidad de intercambio catiónico.

Las experimentaciones sobre fertilización con nitrógeno en caña de azúcar, realizadas en colaboración con la mayoría de los ingenios azucareros, han permitido establecer tres categorías para el contenido de materia orgánica del suelo.

Las categorías baja, mediana y alta están estrechamente relacionadas con las probabilidades de obtener respuestas alta, mediana o baja a las aplicaciones de un determinado nutrimento.

En términos generales, la probabilidad de obtener respuesta a las aplicaciones de nitrógeno por parte de la caña de azúcar en suelos del valle del río Cauca es relativamente alta.

Fósforo disponible

Actualmente las determinaciones de fósforo disponible en el suelo en CENICAÑA se hacen por el método Bray 2. Aunque esta metodología es confiable, en las nuevas investigaciones sobre fertilización con fósforo en caña de azúcar, también se ha incluido el método de Osen

La mayoría de los suelos de la parte plana del valle del río Cauca presentan contenidos de fósforo disponible superiores a 10 ppm o mg/Kg., lo cual hace suponer que las probabilidades de obtener respuestas en la producción de caña de azúcar son relativamente bajas.

Con base en los contenidos de fósforo disponible, determinado por el método Bray 2, se han establecido preliminarmente tres categorías para los suelos dedicados a la producción de caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Baja	<2
Mediana	2-4
Alta	>4

Bases intercambiables

En relación con las bases intercambiables no solamente se debe tener en cuenta el contenido, sino también las proporciones o relaciones que existen entre ellas. En general, se considera como normal u óptima una relación Ca: Mg de 2:1. Por otra parte, si se incluyen los tres nutrimentos Ca, Mg y K, la relación 3:1:0,25 es considerada como normal (ICA, 1992).

Estas relaciones son importantes especialmente para seleccionar las enmiendas que se aplican al suelo para neutralizar el aluminio intercambiable. En caso de que se presenten relaciones amplias de calcio: magnesio, es más conveniente aplicar cal dolomítica, para no ampliar más esa relación.

Con base en las investigaciones realizadas con caña de azúcar en suelos del valle del río Cauca, sólo es posible establecer tres categorías con niveles críticos tentativos para el potasio intercambiable.

	K intercambiable
categoría	(Meq/100 g o col/Kg.)
baja	< 0.15
media	0.15 - 0.30
alta	> 0.30

En el valle del río Cauca, parte plana, predominan los suelos con contenidos mayores que 0.20 meq/100g. Por lo tanto, la probabilidad de obtener respuesta por parte de la caña de azúcar a las aplicaciones de potasa al sudo varía entre mediana y baja.

RECOMENDACIONES DE ENMIENDAS Y FERTILIZANTES

Recomendaciones de cal agrícola

En los suelos dedicados a la producción de caña de azúcar en la parte plana del valle del río Cauca predominan los valores de pH entre 5.5 y 7.0. Los suelos con valores de pH inferiores a 5.5 constituyen aproximadamente un 6% del área total (Quintero y Torres, 1 990), sin embargo, algunas zonas con suelos ácidos localizadas en el sur del valle del río Cauca se están incorporando a la producción de caña de azúcar y puede llegar a justificarse la aplicación de cal agrícola u otras enmiendas para neutralizar el aluminio intercambiable que presentan

Las dosis de cal agrícola para las condiciones predominantes en los suelos del valle del río Cauca se determinan principalmente con base en el aluminio intercambiable. En este caso, por cada meq/100g o cmolkg de Al intercambiable, se aplican 1.5 toneladas de cal agrícola/ha. La forma más conveniente de aplicación de la cal agrícola es al voleo e incorporada al suelo con las labores de arada o rastrillada para tratar de distribuirla uniformemente en los primeros 20 ó 30 cm., de profundidad. La aplicación debe hacerse preferiblemente con un mes de anticipación a la siembra de la caña de azúcar.

Cuando la acidez del suelo es muy fuerte suelen presentarse contenidos muy altos de aluminio intercambiable que dan lugar a dosis muy altas de cal agrícola. Ante esta situación, se recomienda hacer aplicaciones periódicas de dosis bajas de cal agrícola y evaluar los cambios que se presenten en el pH y el aluminio intercambiable del suelo.

Además de la cal agrícola existen otras enmiendas sustitutivas que pueden ser utilizadas con el mismo propósito siempre y cuando se tenga en cuenta su capacidad para neutralizar la acidez intercambiable ya cual se ha definido en relación con el carbonato de calcio puro. Entre estas enmiendas tenemos:

Carbonato de calcio, cal viva, cal apagada, cal dolomítica, escorias Thomas y rocas fosfóricas con alto contenido de carbonato de calcio. En el Cuadro 1 se presentan las cantidades de cada una de estas enmiendas que pueden sustituir una tonelada de cal agrícola cuyo contenido de carbonato de calcio sea del 80%. En suelos cuya relación calcio-magnesio sea muy amplia se debe utilizar cal dolomítica con el fin de suministrar ambos cationes y así evitar que esta relación se amplíe más.

CUADRO 1

Equivalencias de una tonelada de cal agrícola (80% de CaCO_3) en relación con otras enmiendas.

Enmiendas	Equivalencia (Kg. /t cal agrícola)
Carbonato de Calcio	800
Cal viva	533
Cal apagada	667
Cal dolomítica	727
Escorias Thomas	1.232
Roca Fosfórica	1.333

RECOMENDACIONES DE NITRÓGENO

Para la elaboración de estas guías de recomendaciones de nitrógeno para la caña de azúcar cultivada en las condiciones de clima y suelo del valle del río Cauca se han tenido en cuenta dos factores principales: el cultivo y el suelo. Respecto al cultivo se ha hecho la diferenciación entre plantilla y socas y en relación con el suelo se han tenido en cuenta los contenidos de materia orgánica, el drenaje y la presencia de un nivel freático superficial en ciertas épocas del año.

En los Cuadros 2 y 3 se presentan las recomendaciones de nitrógeno para plantilla y socas, respectivamente.

El nitrógeno se aplica en banda e incorporado al suelo a los 30 días después de la siembra en plantilla o después del corte en socas. En suelos de textura gruesa (arenosos y arenoso-francos) el nitrógeno se aplica fraccionado en partes iguales a los 30 y 90 días después de la siembra en plantilla y a los 30 y 60 días después del corte en socas.

Para la variedad PR 61632 es más conveniente aplicar el nitrógeno fraccionado en partes iguales a los 30 y 90 días después de la siembra en plantilla y a los 30 y 60 días después del corte en socas, independientemente de la textura del suelo.

Es importante mencionar que algunas variedades producidas por CENICAÑA, tales como la CC-8325 y la CC-8475, han mostrado una capacidad alta para tomar el nitrógeno del suelo, la cual se manifiesta en los contenidos foliares de este nutrimento y en la coloración verde intensa de su follaje; en consecuencia, el uso de dosis, relativamente altas de nitrógeno en estas variedades puede conducir a la obtención de concentraciones bajas de sacarosa en sus jugos.

En suelos alcalinos ($\text{pH} > 7.3$) con bajos contenidos de azufre intercambiable se sugiere aplicar sulfato de amonio (21% de N) solo o en mezcla con urea (46% de N) como fuentes de nitrógeno.

CUADRO 2

Recomendaciones de nitrógeno (Kg. /ha) para la caña de azúcar (Plantilla) en suelos de la parte plana del Valle del río Cauca (Primera aproximación).

Contenido de Materia Orgánica (%)	Drenaje del suelo	Drenaje del suelo	
		Bien drenado	Pobrementemente drenado
<2	80	100	120
2-4	60	80	100
>4	40	60	80

NOTA: En suelos con niveles freáticos superficiales, aumentar la dosis de N en 20 Kg./ha.

CUADRO 3

Recomendaciones de nitrógeno (Kg. /ha) para socas de caña de *azúcar* en suelos de la parte plana del valle del río Cauca (Primera aproximación).

Contenido de Materia Orgánica (%)	Drenaje del suelo	Drenaje del suelo	
		Bien drenado	Pobrementemente drenado
<2	125	150	175
2-4	100	125	150
>4	75	100	125

NOTA: En suelos con niveles freáticos superficiales, aumentar la dosis de N en 25 Kg./ha.

Recomendaciones de fósforo

Las recomendaciones de fósforo presentadas en el Cuadro 4, se han basado principalmente en los contenidos de fósforo disponible determinado por el método Bray 2.

El fósforo se aplica en el fondo del surco, inmediatamente antes de la siembra de la caña. En caso de ser necesaria su aplicación en socas, ésta se hará en banda e incorporado al suelo a los 30 días después del corte junto con la aplicación de nitrógeno. La fuente de fósforo más usada es el superfosfato triple (46% de P_2O_5).

CUADRO 4

Recomendaciones de fósforo para la caña de azúcar en suelos de la parte plana del valle del río Cauca (Primera aproximación).

contenido de P disponible (ppm o mg/Kg.)	categoría	dosis de P ₂ O ₅
<5	baja	50
5-10	media	30
>10	alta	0.0

Fósforo determinado por el método Bray 2.

Recomendaciones de potasio

Para las recomendaciones de potasio se ha tenido en cuenta el contenido del suelo en esta primera aproximación (Cuadro 5).

El potasio se aplica en el fondo del surco, inmediatamente de la siembra de la caña. En socas se aplica en banda e incorporado al suelo a (os 30 días Después del corte junto con la aplicación de nitrógeno.

Para la variedad PR 61632 es conveniente aumentar en un 50% la dosis recomendada en el Cuadro 5.

La fuente de potasio más utilizada para el cultivo de la caña de azúcar es el cloruro de potasio (60% K₂O).

CUADRO 5

Recomendaciones de potasio para la caña de azúcar en suelos de la parte plana del valle del río Cauca (Primera aproximación)

contenido de K intercambiable (Cmol/Kg.)	categoría	dosis de K ₂ O (Kg./ha)
<0.15	baja	60
0.15-0.30	media	30
>0.30	alta	0.0

Potasio extraído con acetato de amonio normal y neutro.

BIBLIOGRAFÍA

1. CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA. CALI. *Manual de métodos analíticos para el servicio de conserjería en el empleo de fertilizantes en caña de azúcar*. Cali, CEMCAÑA. 1982. 43 p. (Documento de trabajo N° 35).
2. DE GEUS, J.G. *Fertilizer guide for tropical and subtropical farming*. Zurich, Centre d'Etude de l'Azote. 1967. 727 p.
3. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. *Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación*. Bogotá, 1992. 64 p. (Manual de Asistencia Técnica No. 25).
4. LEÓN S., L.A. La acidez del suelo y el encalamiento. En: *Interpretación del análisis de suelos y recomendaciones de fertilizantes* si, ICA. 1971. p. 1 -20.
5. MARÍN M., G. El análisis del suelo para diagnosticar su fertilidad. En: *Suelos y fertilización de cultivos*. Medellín. ICA. 1980. p. 467-510 (Compendio No. 38).
6. MARÍN M., G. *El análisis del suelo para diagnosticar su fertilidad*. Bogotá, ICA, 1983. 40 p.
7. QUINTERO D., R.; TORRES, J.S. *Aspectos relacionados con la investigación sobre fertilización de la caña de azúcar en Colombia*. Cali, CENICAÑA. 1990. 36 p. (Documento de trabajo No. 228).