

CAPÍTULO 5

Suelo y Fertilización para la Yuca

Luis Fernando Cadavid L.*

Introducción

Comúnmente se estudia el suelo como un “ente” en el cual crecen y se desarrollan las plantas, aunque debería considerarse como un *sistema dinámico* desde el punto de vista de su *fertilidad y su productividad*.

Al considerar la nutrición de un cultivo, específicamente la yuca (*Manihot esculenta* Crantz), se debe tener en cuenta la relación suelo-planta-agua y no cada factor por separado, ya que es necesario estudiarlo como un *todo*.

Otro punto importante en la nutrición vegetal es el tema de la fertilización como práctica de manejo, para recuperar, sostener y mantener la fertilidad del suelo y elevar la productividad de un cultivo. En general, existe un desconocimiento grande de la adecuada interpretación del análisis químico y físico del suelo, herramientas básicas de diagnóstico para recomendar fertilizantes químicos u orgánicos.

Uno de los principales objetivos de esta unidad es actualizar a los lectores sobre algunos de los conceptos relacionados con la nutrición del cultivo de la yuca, sobre aspectos básicos del suelo y sobre la correcta recomendación de fertilizantes como práctica de manejo del suelo.

El suelo y su Productividad

Definición tradicional

El suelo es un sistema dinámico, compuesto, en general, por cuatro fases: sólida, líquida, gaseosa

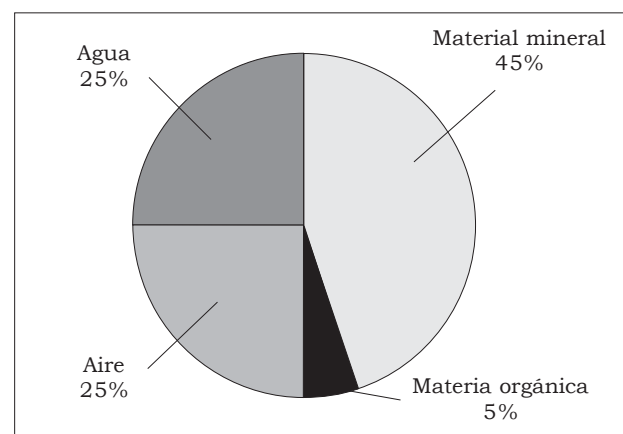


Figura 5-1. Condición volumétrica ideal de un suelo para el crecimiento de las plantas.

y biológica. La Figura 5-1 muestra la condición volumétrica ideal de un suelo para el crecimiento normal de las plantas.

Es lógico suponer que esta condición no se cumple y que los suelos presentan una *condición real*, la cual determina su potencial de producción. Para entender mejor este punto observemos un ejemplo: tomando como modelo un suelo arenoso situado en Pivijay, Magdalena, Colombia, y otro arcilloso ubicado en Santander de Quilichao, Cauca, Colombia (Figuras 5-2 y 5-3).

Estos suelos fueron sembrados con yuca durante 8 y 2 años continuos, respectivamente. Como se observa, el porcentaje volumétrico en cada caso no es igual; luego su manejo será diferente (Cadavid L, 2000).

El suelo arenoso presenta mayor porcentaje de macroporos, mayor aireación, menor

* Ingeniero agrónomo, M.Sc., Suelos, Sistemas de Producción de Yuca, CLAYUCA, Cali, Colombia. E-mail: l.cadavid@cgiar.org

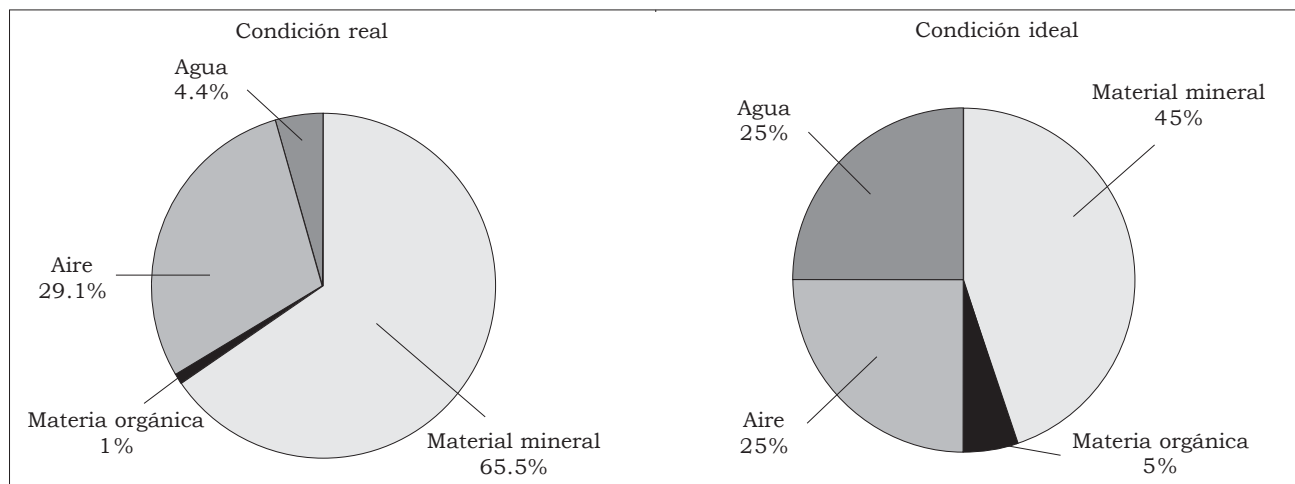


Figura 5-2. Comparación entre la condición ideal de un suelo y la real de un suelo arenoso en Pivijay, Magdalena, Colombia, sembrado con yuca durante 8 años consecutivos.

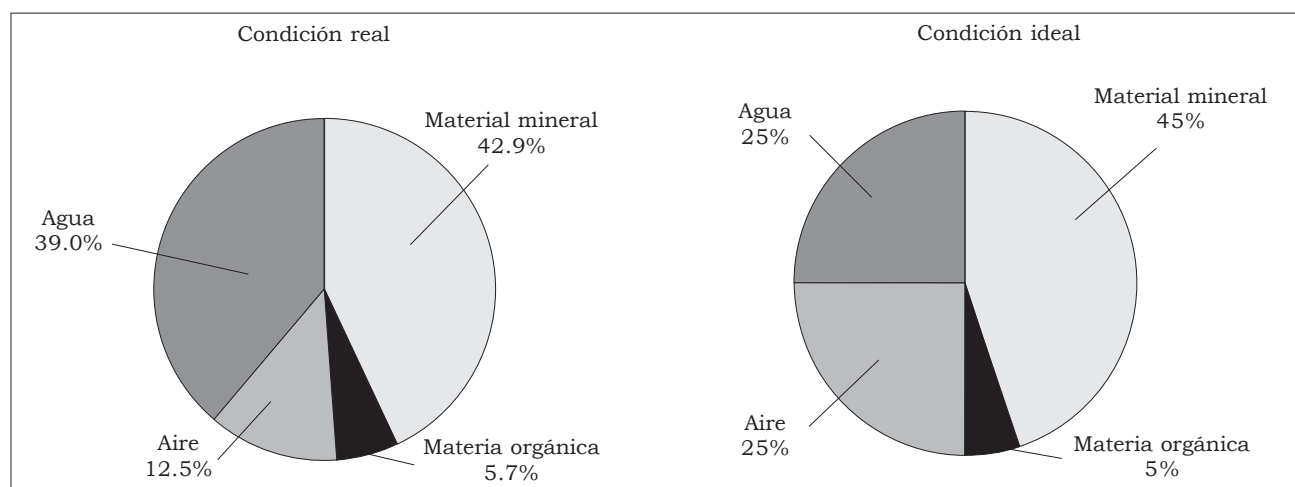


Figura 5-3. Comparación entre la condición ideal de un suelo y la real de un suelo arcilloso en Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, sembrado con yuca durante 2 años consecutivos.

retención de agua, menor contenido de materia orgánica y, por ende, menor disponibilidad de N. En contraste, el suelo arcilloso tiene mayor cantidad de microporos, menor aireación, mayor retención de agua, mayor contenido de materia orgánica y, por lo tanto, mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Definición agrícola

Con fines agrícolas, el suelo hay que estudiarlo desde dos puntos de vista: su fertilidad como tal y la productividad del mismo. Para entender la productividad del suelo, hay que estudiar la

relación suelo-planta-agua. En estos términos, el suelo es un *sistema dinámico* conformado por cinco fases bien definidas y que interactúan entre sí (Guerrero, 1980, citado por Cadavid L, 1995):

- Fase sólida
- Fase solución
- Fase intercambiable
- Fase de raíz
- Fase de parte aérea (follaje).

La Figura 5-4 muestra la dinámica de los nutrientes (Ver Lista de Acrónimos y Abreviaturas) en el sistema suelo-planta. Los temas allí considerados son básicos en la nutrición mineral del cultivo de la yuca.

Fase sólida del suelo

Su componente básico es el material parental constituido por diferentes rocas (ígneas, sedimentarias, metamórficas). Estas, mediante

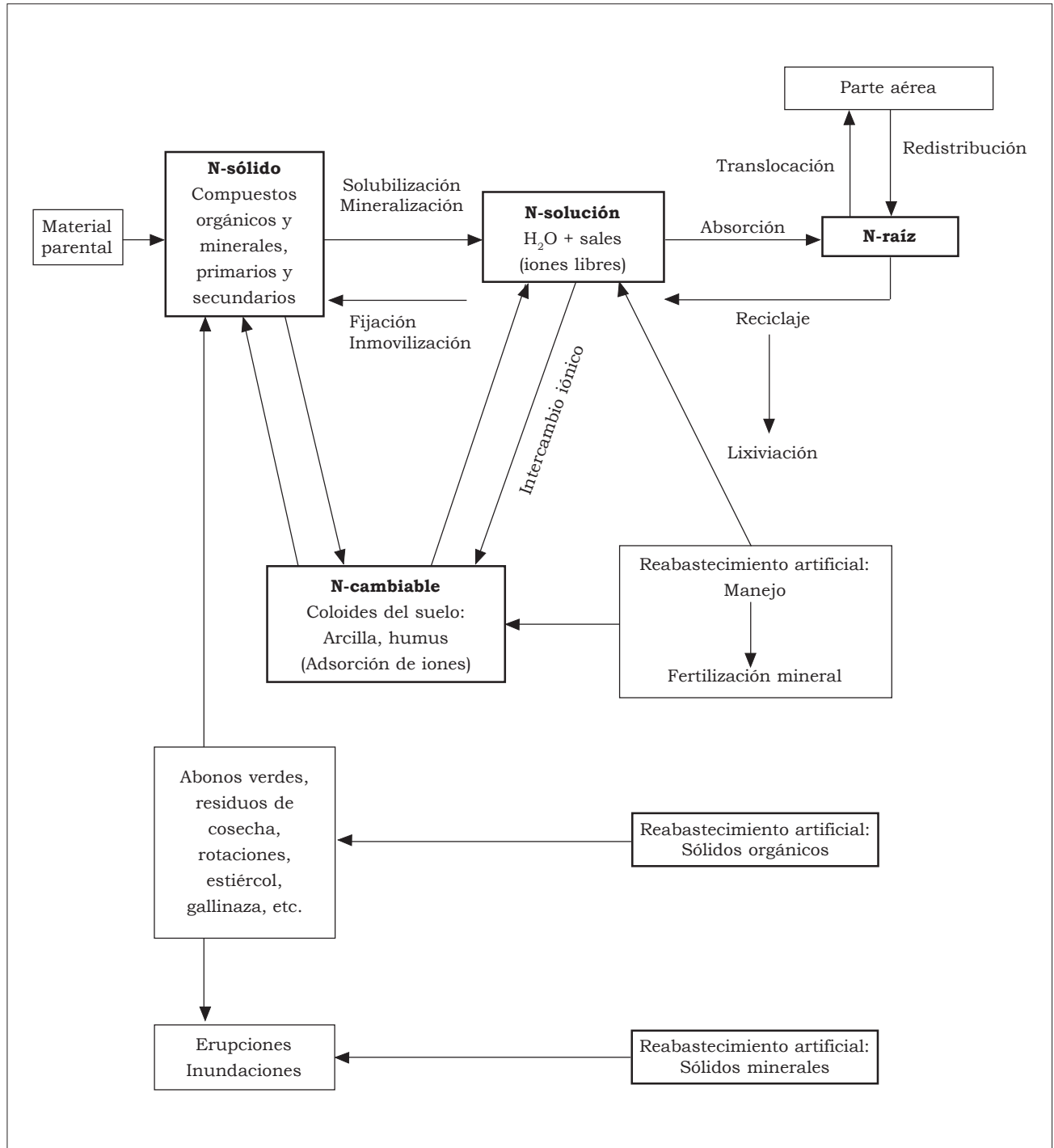


Figura 5-4. Componentes del sistema suelo-planta y dinámica de los nutrientes.

FUENTE: Adaptada de Guerrero, 1980.

los procesos de meteorización, aportan materiales sólidos orgánicos e inorgánicos para formar los suelos. Estos sólidos, de por sí, son insolubles y las plantas no pueden tomar nutrientes de ellos no hasta que sufran transformaciones físicas, químicas y biológicas.

Estos materiales presentan procesos de solubilización (sólidos inorgánicos) y de mineralización (sólidos orgánicos) y, como resultado, hay un aporte de nutrientes al suelo (iones libres) que pueden ser tomados fácilmente por las plantas. Cuando esto sucede, se entra a la fase 2 o solución del suelo (Cadavid L, 2000).

Fase solución del suelo

Está constituida por elementos (iones libres + agua) aportados por la fase sólida del suelo, mediante los procesos de solubilización y mineralización. Esta etapa, que nutre a la planta, a su vez, se agota muy rápido. Muchos de estos nutrientes se pierden fácilmente por lixiviación (Ca, Mg, K, NO₃).

También se presentan otras pérdidas (irreversibles) por intermedio de los procesos de fijación e inmovilización. La fijación se presenta cuando los nutrientes del suelo, especialmente N, P y K, entran a formar parte de compuestos insolubles y de difícil asimilación para las plantas. Radicales como NH₄⁺, H₂PO₄⁻ y K⁺ quedan perdidos de esta fase por medio de este proceso. Cuando esto sucede con la participación de los microorganismos del suelo (hongos, bacterias, actinomicetos), se presenta la inmovilización de los materiales orgánicos y el aporte de nutrientes como N, P y S se reduce.

Al agotarse esta fase por las pérdidas antes explicadas, más las de los nutrientes absorbidos por la planta y las pérdidas por erosión, se produce un reabastecimiento nutricional, en virtud del intercambio iónico, teniendo como fuente la fase intercambiable del suelo (Cadavid L, 2000; Guerrero, 1980).

Fase intercambiable del suelo

Esta fase está constituida por arcillas, materia orgánica y óxidos e hidróxidos de Fe y Al (coloides del suelo), cuyos constituyentes son los minerales y sólidos orgánicos del suelo. Estos

coloides son los responsables de la actividad química de los suelos.

Esta fase está en continuo intercambio con la fase solución (intercambio iónico del suelo), y se encarga de restituir los nutrientes agotados en la solución del suelo por los procesos antes citados.

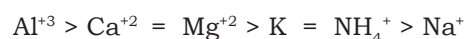
El intercambio iónico es un fenómeno basado en la presencia de cargas negativas en las arcillas y demás coloides en los suelos (Cassanova, 1996). Por intermedio de estas cargas, los iones que son liberados de minerales previamente sometidos a procesos de meteorización o provenientes de compuestos orgánicos en descomposición o del agua de lluvia o de riego y de los fertilizantes, pueden ser *adsorbidos* por las partículas del suelo y, bajo esta condición, son retenidos parcialmente.

Sin embargo, en algunos casos, esta retención no es tan grande como para impedir su intercambio con otros iones de la solución del suelo y ser *absorbidas* por el sistema radical de la planta.

Según Cassanova (1996), Thompson (1965) y Garavito (1979), los iones que son débilmente retenidos en la superficie de las partículas en contacto directo con la solución del suelo pueden ser rápidamente sustituidos en reacciones de intercambio. Estos iones se denominan *intercambiables*.

Otros iones pueden ser adsorbidos con tal tenacidad o estar ubicados en posiciones poco accesibles que dificultan su liberación o ésta es muy lenta. Estos iones se denominan *no intercambiables*; el K es un ejemplo de esta última situación, retenido en forma interlamina en la estructura cristalina de la *illita* y *las micas*. La Figura 5-5 ilustra la atracción de los cationes (+) por los coloides del suelo (-).

La fuerza con la cual los cationes pueden ser retenidos en los sitios de intercambio presenta el siguiente orden (Cassanova, 1996):



La CIC de un suelo se define como la cantidad de cationes retenidos en forma intercambiable a un determinado pH y se expresa en meq/100 g de suelo (cmol/kg).

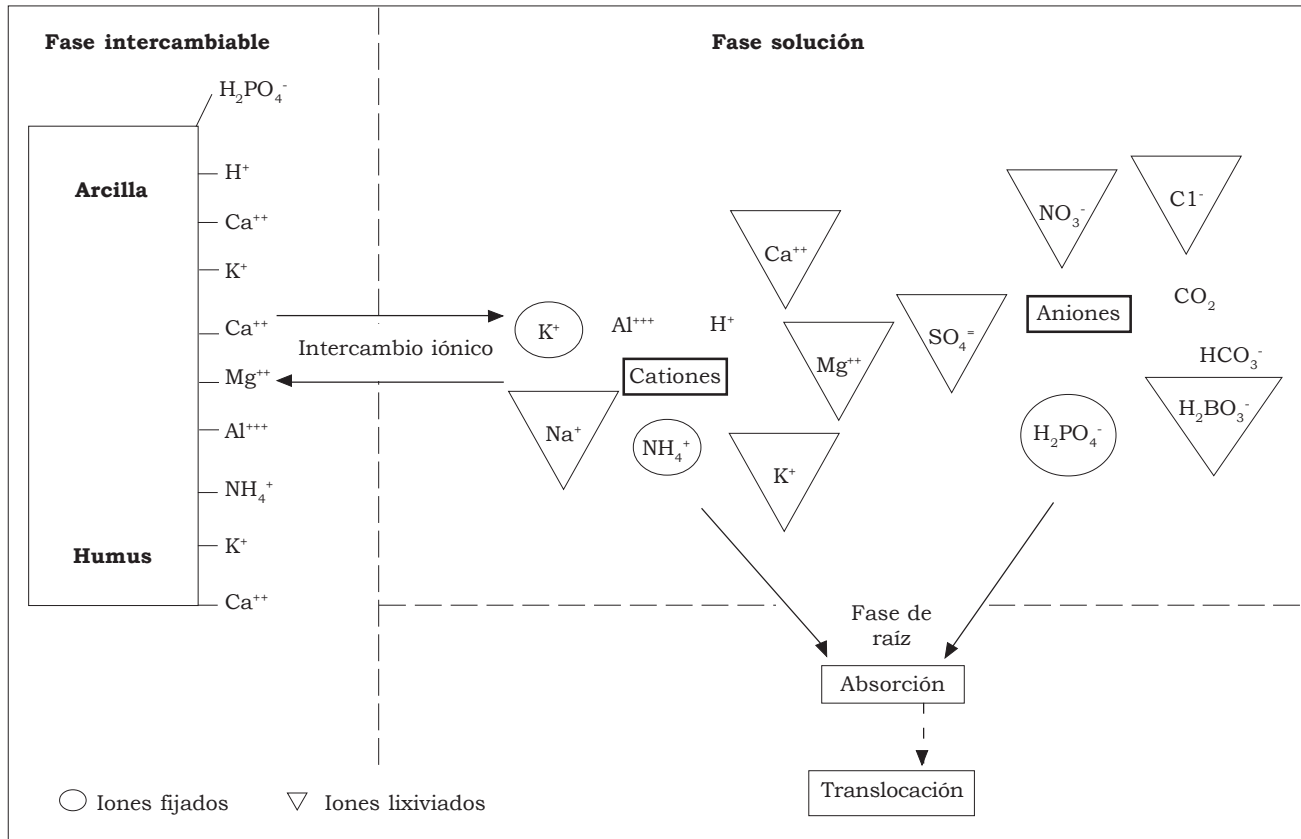


Figura 5-5. Fase cambiabile, fase solución y fase de raíz, mostrando la dinámica de los diferentes iones en el suelo.

El Cuadro 5-1 reseña los datos de CIC de los diferentes componentes del suelo (meq/100 g de material), según Cassanova, 1996.

Con estos datos es posible deducir que, de acuerdo a la CIC de un suelo, su material de intercambio será conocido. Por ejemplo, si un suelo tiene una CIC de 10 meq/100 g de suelo, es posible que en la fracción arcillosa de ese

Cuadro 5-1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los diferentes componentes del suelo.

Material de intercambio	CIC (meq/100 g)	
	Promedio	Rango
Materia orgánica	200	100-300
Vermiculita	150	100-150
Montmorillonita	80	60-100
Clorita	30	20-40
Illita	30	20-40
Caolinita	8	2-16
Sesquióxidos	0	0

FUENTE: Cassanova, 1996.

suelo predomine la *caolinita*, que es una arcilla 1:1 y de poca actividad.

Fase de raíz

Absorción. Los nutrientes del suelo son constantemente removidos por la planta en crecimiento mediante la absorción, siendo éste el proceso por el cual un elemento *N* pasa del sustrato (solución nutritiva) a una parte cualquiera de la célula en la raíz y, luego, es transportado vía xilema a los demás órganos de la planta (Malavolta et al., 1989).

El *N* puede ser un elemento:

- **Esencial:** La planta no puede completar su ciclo vital normal en ausencia del elemento específico (Garcidueñas, 1993).
- **Benéfico:** Aumenta el crecimiento o la producción en situaciones particulares.
- **Tóxico:** Disminuye el crecimiento o la producción, llegando hasta la muerte de tejidos, órganos o la planta entera.

En términos prácticos, la planta puede absorber muy bien los elementos necesarios para su metabolismo a partir de concentraciones en el suelo relativamente bajas, pero lo importante es que este elemento siempre esté presente en la solución que circunda a las raíces (Calderón, 1991).

La absorción depende de varios factores (Malavolta et al., 1989; Calderón, 1991; INPOFOS, 1993).

Algunos factores externos de absorción son:

- Disponibilidad del elemento
- Humedad del suelo
- Aireación
- Contenido de materia orgánica
- pH.

pH del suelo y disponibilidad. El pH del suelo es uno de los factores más importantes que influyen directamente sobre la solubilidad y disponibilidad de los elementos en el suelo. Cuando en el campo se observa un síntoma cualquiera, se debe medir el pH del suelo en el cual la planta está creciendo.

A menudo, este factor está estrechamente relacionado con las causas del síntoma.

Cadavid L (1980) reporta deficiencia de P y bajos rendimientos en el cultivo de la yuca en Oxisoles, Ultisoles e Inceptisoles de Colombia (suelos con pH menor de 4.5), donde el contenido de P aprovechable (método Bray II) está por debajo de 3.0 ppm (el nivel crítico para yuca es de 10 ppm). Este es un ejemplo claro de baja disponibilidad de un elemento relacionado con el pH del suelo (Cuadro 5-2).

En general, el proceso de absorción es más intenso en la franja de pH 6.0 a 6.5.

A mayor acidez (valores muy bajos de pH) disminuye la disponibilidad de N, P, K, Ca, Mg, S, B y Mo y se incrementa la de Cu, Fe, Mn y Al.

A valores altos de pH (alcalinidad) disminuye la disponibilidad de P, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Al y se incrementa la de Mo, S y K (Figura 5-6).

La fertilización química (especialmente con fertilizantes nitrogenados como el sulfato de amonio), el lavado de bases, las excreciones de ácido carbónico por las plantas, y la alta extracción de nutrientes, especialmente N, K, Ca y Mg, contribuyen a la acidificación de los suelos. Un ejemplo de esta situación se presentó en un suelo arenoso de Pivijay, Magdalena, Colombia, sembrado con yuca por 8 años consecutivos (Cuadro 5-3).

Cuadro 5-2. Efecto de la aplicación de P (según su fuente) en el rendimiento de yuca (t/ha) a los 12 meses de edad en Carimagua, Llanos Orientales de Colombia.

Fuentes ^a	Rendimiento ^b (kg/ha) a nivel de P ₂ O ₅ de:					
	0	50	100	200	400	X _n
Testigo	6.5	—	—	—	—	6.5
Superfosfato triple en banda	—	13.9	19.8	18.4	22.3	19.9
Superfosfato simple en banda	—	10.8	13.7	19.0	22.2	16.4
Fosfato de Mg fundido en banda	—	8.2	13.1	11.2	13.7	11.6
Escorias Thomas-banda	—	10.9	10.9	11.9	13.8	11.9
Escorias Thomas-voleo	—	16.1	19.8	20.9	25.2	20.5
R.F. Huila 20% acidulada-voleo	—	14.4	18.4	19.6	22.5	18.7
R.F. Huila + S-voleo	—	15.7	19.7	21.6	21.8	19.7
R.F. Huila - voleo	—	13.0	17.4	18.9	19.6	17.2
Promedio tratamientos	6.5	12.9	16.6	18.4	20.1	

a. R.F. = roca fosfórica.

b. Promedio de dos testigos.

FUENTE: Cadavid L, 1980.

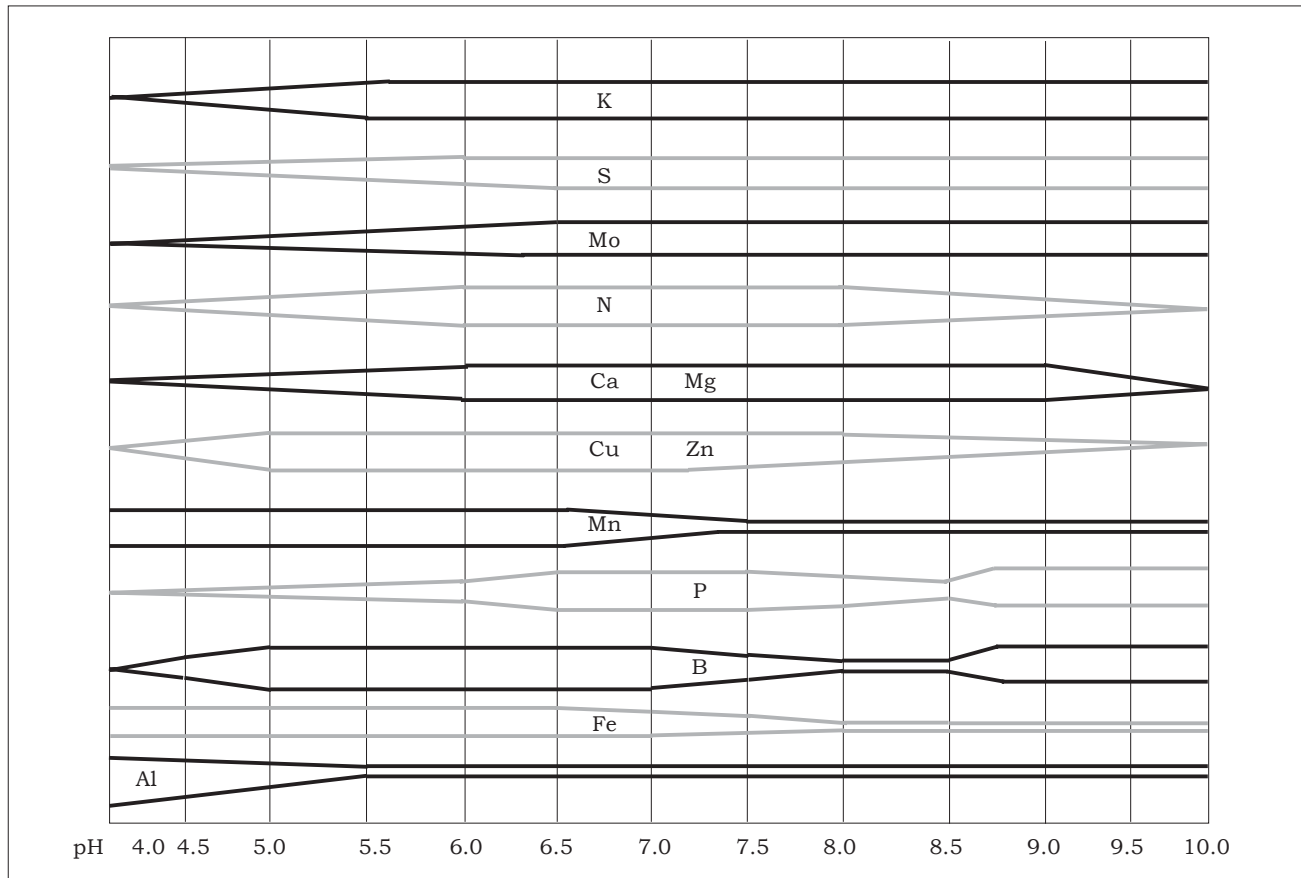


Figura 5-6. Disponibilidad de los diferentes nutrientes del suelo en relación con el pH.

Cuadro 5-3. Monitoreo de un suelo arenoso en Pivijay, Magdalena, Colombia, sembrado por 8 años continuos con yuca y sin abono químico u orgánico.

Años	pH	P (ppm)	K Ca Mg			Fertilidad	
			(meq/100 g suelo)				
1	6.50	8.38	0.05	0.87	0.28	Baja	
2	5.60	7.10	0.03	0.65	0.20	↓	
3	5.30	4.70	0.04	0.55	0.13		
4	5.30	5.70	0.03	0.48	0.12		
5	5.30	6.35	0.04	0.43	0.11		
6	5.35	8.25	0.04	0.34	0.07		
7	4.85	7.65	0.05	0.35	0.09		
8	4.15	5.18	0.03	0.32	0.09		Muy baja

FUENTE: Cadavid L, 2000.

Otros factores externos que inciden en la absorción son: aireación, temperatura del suelo, velocidad de absorción del elemento y presencia de otros iones.

Presencia de otros iones. La solución del suelo se compone, como ya se ha dicho, de una mezcla heterogénea de iones, que incluye elementos esenciales, benéficos o tóxicos; y la velocidad de absorción de un elemento (aniones: $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{H}_2\text{PO}_4^-$ cationes: $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$) puede ser aumentada, disminuida o influida por la presencia de otro. Esto es, lo que comúnmente se llaman, relaciones de antagonismo, inhibición y sinergismo.

- **Antagonismo:** La presencia de un elemento disminuye la absorción de otro, evitando así la toxicidad. Por ejemplo, el Ca^{2+} impide la absorción exagerada de Cu^{2+} o Al^{3+} .
- **Inhibición:** Disminución en la absorción de un elemento provocado por la presencia de otro ión, ocasionando generalmente una deficiencia. Por ejemplo: K^+ vs. Ca^{2+} , Mg^{2+} ; Al^{3+} vs. H_2PO_4^- ; Al^{3+} vs. Ca^{2+} , Mg^{2+} ; H_2PO_4^- vs. Zn^{2+} ; Ca^{2+} vs. K^+ (en alta concentración); Ca^{2+}

vs. Zn^{+2} . Cadavid L et al. (1977) reportan ejemplo de esta situación en suelos de los Llanos Orientales de Colombia (Oxisoles), como se observa en la Figura 5-7.

- **Sinergismo:** La presencia de un elemento dado aumenta la absorción de otro. Ca^{+2} en concentración baja aumenta la absorción de K^+ o de $H_2PO_4^-$; Mg^{+2} vs. $H_2PO_4^-$; $H_2PO_4^-$ vs. MoO_4^{-2} . Esta circunstancia puede tener consecuencias prácticas en la fertilización, ya que representa mayor economía y mejor aprovechamiento de los abonos minerales.

En yuca, una aplicación de 500 a 1000 kg/ha de cal dolomítica puede aumentar la disponibilidad de P y la absorción del mismo, debido al ión Mg^{+2} y Ca^{+2} en suelos ácidos tipo Oxisol. El Cuadro 5-4 muestra algunos ejemplos del efecto entre iones.

Presencia de micorrizas. Micorriza es una asociación simbiótica de tipo mutualista que existe entre las raíces de muchas plantas y ciertos hongos del suelo. La planta recibe nutrientes a través del micelio del hongo y éste, a su vez, recibe de la planta carbohidratos (Cano, 1999; Sánchez, 1999).

La planta micorrizada, en este caso la yuca, aumenta la superficie de absorción de las raíces absorbentes y, con ello, la absorción de iones en

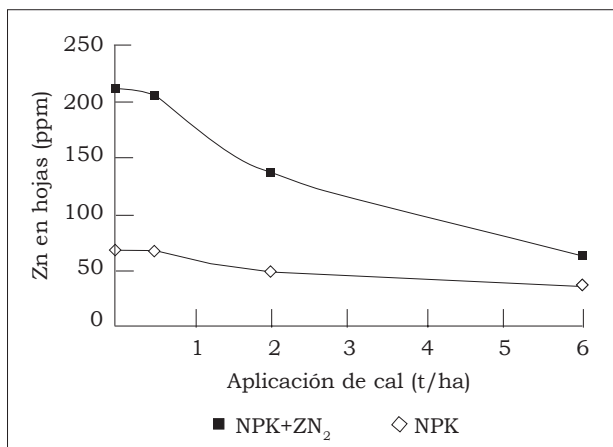


Figura 5-7. Efecto de la aplicación de cal sobre el contenido de Zn en hojas de yuca a los 2 meses, con y sin aplicación de Zn al suelo de Carimagua, Llanos Orientales, Colombia.

FUENTE: Cadavid L et al., 1977.

Cuadro 5-4. Efecto entre iones en la solución del suelo.

Ion	Segundo ion presente ^a	Efecto del segundo sobre el primero ^b
Cu^{2+}	Ca^{2+}	Antagonismo
Mg^{2+}, Ca^{2+}	K^+	Inhib. competitiva
$H_2PO_4^-$	Al^{3+}	Inhib. no competitiva
K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}	Al^{3+}	Inhib. competitiva
$H_2BO_3^-$	NO_3^-, NH_4^+	Inhib. no competitiva
K^+	Ca^{2+} (a.c.)	Inhib. competitiva
SO_4^{2-}	SeO_4^{2-}	Inhib. competitiva
MoO_4^{2-}	Cl^-	Inhib. competitiva
Zn^{2+}	SO_4^{2-}	Inhib. competitiva
Zn^{2+}	Mg^{2+}	Inhib. competitiva
Zn^{2+}	Ca^{2+}	Inhib. competitiva
Fe^{2+}	$H_2BO_3^-$	Inhib. no competitiva
Zn^{2+}	Mn^{2+}	Inhib. competitiva
K^+	$H_2PO_4^-$	Inhib. no competitiva
MoO_4^{2-}	Ca^{2+} (b.c.)	Sinergismo
MoO_4^{2-}	$H_2PO_4^{2-}$	Sinergismo
Cu^{2+}	MoO_4^{2-}	Inhib. no competitiva

a. a.c. = alta concentración; b.c. = baja concentración.
b. Inhib. = inhibición.

FUENTE: Malavolta et al., 1989.

Cuadro 5-5. Efecto combinado de micorrizas y NPK sobre la producción del clon de yuca "Señorita", en condiciones de campo en suelos de Cuba.

Tratamiento	Raíces frescas (t/ha)
Testigo	42.3 c
Micorrizas	49.3 b
Mic. + 25% NPK	50.4 b
Mic. + 50% NPK	51.1 b
Mic. + 75% NPK	51.4 b
Mic. + 100% NPK	61.6 a
100% NPK	52.0 b
CV %	3.87
ES +/-	1.17

FUENTE: INIVIT, 1999.

el suelo, particularmente fósforo (cuando la concentración de este elemento es baja).

Los Cuadros 5-5 y 5-6 muestran la acción de micorriza vesículo-arbuscular (MVA) en suelos de Cuba y de Colombia (INIVIT, 1999; Sieverding, 1984).

Las micorrizas que afectan las raíces absorbentes de yuca y de muchos otros cultivos,

Cuadro 5-6. Efectividad de diferentes especies de hongos de micorriza vesículo-arbuscular (MVA) en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

Especie	Crecimiento de yuca	Efectividad para:		Capacidad para competir con otros microorganismos
		Absorción de P	Longitud de raíces	
<i>Glomus manihotis</i>	Alta	Alta	Media	Alta
<i>Entrophospora colombiana</i>	Alta	Alta	Alta	Poca
<i>Acaulospora mellea</i>	Media	Media	Alta	Media

FUENTE: Sieverding, 1984.

pertenecen al grupo de las endomicorrizas vesículo-arbusculares. Sus hifas *crecen entre y dentro* de las células de la corteza de las raíces, produciendo ramificaciones dentro de ellas, llamadas arbusculos y vesículas. Las hifas también crecen en el suelo, donde pueden extenderse hasta varios centímetros de la raíz (Howeler, 1983).

Los órdenes de hongos más comunes y eficientes encontrados para el cultivo de la yuca son *Glomus manihotis*, *Entrophospora colombiana* y *Acaulospora mellea* en suelos de Colombia.

Fase de parte aérea

Acumulación y distribución de materia seca de la yuca. La concentración de nutrientes en yuca varía considerablemente entre partes de la planta y también durante el ciclo de crecimiento (Howeler, 1983; Cadavid L, 1988a). A medida que la planta crece, el contenido de N, P y K disminuye en las hojas (lámina foliar y peciolo), mientras que los contenidos tienden a aumentar en tallos y raíces.

En un estudio realizado por Howeler y Cadavid L (1983), los autores indican que con el cv. MCOL 22, las raíces acumularon al final del ciclo (12 meses) bastante nitrógeno, fósforo, potasio, cobre, hierro y boro, mientras que el calcio, magnesio, azufre, manganeso y zinc se acumuló, principalmente, en los tallos.

Según Howeler y Cadavid L (1983), el máximo incremento en la acumulación de nutrientes durante el ciclo de crecimiento ocurre entre los 2 y 4 meses después de siembra. Este período corresponde a la máxima acumulación de materia seca para MCOL 22 y otros cultivares. Después de los 6 meses, la mayoría de los nutrientes descienden en su tasa de absorción.

Nijholt, citado por Howeler (1981) y Howeler y Cadavid L (1983), indican cómo la acumulación total de materia seca continúa durante el ciclo de crecimiento; sin embargo, disminuye en hojas y peciolos después de los 6 meses, mientras que en tallos y raíces aumenta hasta el final del ciclo del cultivo.

Los Cuadros 5-7 y 5-8 muestran la acumulación de materia seca y nutrientes de diferentes cultivares de yuca en suelos ácidos de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia (El-Sharkawy et al., 1998).

Extracción de nutrientes. La yuca extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo, considerándose como una pérdida más. El Cuadro 5-9 reseña la extracción media de nutrientes (kg/ha) por tonelada de raíces frescas cosechadas.

Es notoria la alta exportación de elementos como nitrógeno, potasio y calcio (Cadavid L, 1988a; 1995; 1997; Howeler y Cadavid L, 1983).

Desórdenes nutricionales del cultivo. La planta, de por sí, determina su estado de "salud". Cuando existe un estrés por escasez o exceso de agua, por deficiencia o toxicidad de un nutriente, por daño físico o mecánico en alguno de sus órganos, la planta manifiesta unos *síntomas característicos*, indicando que algo anda mal. Esta condición de *anomalía* manifestada en uno o varios síntomas se convierte en una herramienta más para el diagnóstico (ver adelante: Deficiencias y toxicidades...).

En yuca, la ausencia frecuente de síntomas claros de deficiencias de macronutrientes, indica que los problemas nutricionales pueden pasarse por alto fácilmente (Howeler, 1981). En estos casos, es muy importante conocer el estado de disponibilidad de los nutrientes en el suelo y confirmarlo con el análisis de tejido vegetal y la respuesta de la planta a la fertilización.

Cuadro 5-7. Biomasa de parte aérea y rendimiento de raíces tuberosas (t/ha peso seco) de plantas de yuca de porte alto, medio y bajo. Promedio a los 2, 4, 6 y 10 meses después de la siembra en Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

Cultivar	Rendimiento en biomasa parte aérea (t/ha) a los meses:							
	1994-95				1995-96			
	2	4	6	10	2	4	6	10
Porte alto								
CG 402-11	0.3	2.3	3.6	7.1	0.2	2.3	5.5	8.8
M Pan 51	0.3	1.8	4.9	4.7	0.3	2.5	3.4	5.0
Porte medio								
CM 507-37	0.2	2.4	2.6	3.7	0.3	2.6	3.2	5.6
SG 107-35	0.3	1.3	1.7	3.2	0.3	2.3	2.3	4.9
Porte bajo								
CG 1141-1	0.2	1.2	1.8	2.6	0.2	1.4	1.8	2.1
MCOL 22	0.2	1.4	1.2	3.0	0.2	1.5	1.3	2.0
Cultivar	Rendimiento en raíces tuberosas (t/ha) a los meses:							
	1994-95				1995-96			
	2	4	6	10	2	4	6	10
Porte alto								
CG 402-11	0.01	0.9	1.5	9.2	0.01	0.6	5.4	14.5
M Pan 51	0.01	1.6	2.4	8.7	0.01	1.2	5.0	8.6
Porte medio								
CM 507-37	0.01	1.7	2.6	11.6	0.02	1.4	5.8	13.2
SG 107-35	0.02	2.6	3.1	9.8	0.04	2.9	6.6	12.5
Porte bajo								
CG 1141-1	0.01	2.6	4.0	15.0	0.01	1.6	6.2	10.3
MCOL 22	0.01	2.2	2.7	9.7	0.01	1.9	5.4	7.3

FUENTE: El-Sharkawy et al., 1998.

Otras veces, se puede confundir el síntoma de un desorden nutricional con el de una enfermedad fungosa (necrosis causada por antracnosis), daño causado por trips con los síntomas de una deficiencia (deficiencia de zinc, por ejemplo); clorosis y necrosis causada por herbicidas; clorosis causada por mal drenaje y exceso de agua (amarillamiento de las hojas).

Movilidad de los nutrientes en el floema.

En la identificación de síntomas visuales de deficiencia nutricional es muy importante tener en cuenta la movilidad de los nutrientes por el floema (Cuadro 5-10). Según Howeler (1981), Kramer (1989), Malavolta et al. (1989) y Calderón (1991), algunos iones se distribuyen más fácilmente que otros y pueden mostrar movilidad muy diferente dentro del floema. Conforme a este criterio, se espera que en las plantas de yuca los primeros síntomas de deficiencia aparezcan en:

- Hojas viejas (inferiores), elementos móviles. Estas hojas ceden sus elementos por translocación floemática a las hojas más jóvenes.
- Partes jóvenes de la planta y hojas expandidas (hojas superiores), elementos de movilidad intermedia.
- Hojas jóvenes (meristemáticas) y meristemas radiculares, elementos inmóviles. Los elementos presentes en las hojas viejas no se translocan a las hojas más jóvenes o tejidos nuevos.

Funciones de los Nutrientes en la Planta

Algunos de los nutrientes tienen una función estructural, otros son constituyentes de enzimas (grupo prostético) o activadores de enzimas e intervienen en diferentes procesos dentro de la

Cuadro 5-8. Contenido de materia seca (MS, g por planta) y contenido de nutrientes (mg por planta) en varias partes de plantas fertilizadas de yuca (cultivar MCOL 22) durante un ciclo de 12 meses, en un suelo de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

		Contenido en el mes:									
		1	2	3	4	5	6	8	10	12	
MS	Lámina foliar	1.8	22.7	76.0	100.6	56.2	100.2	50.5	58.7	67.0	
	Peciolos	0.2	4.9	21.5	38.2	19.0	27.4	8.6	12.1	11.5	
	Tallos	14.1	29.1	58.9	125.2	182.1	269.1	302.7	428.6	459.9	
	Raíces	0.1	7.1	80.5	229.6	360.0	571.9	782.6	942.4	1387.0	
	Total	16.2	63.8	236.9	493.7	617.3	968.6	1144.4	1441.8	1925.4	
N	Lámina foliar	89	1231	4230	5300	2703	4877	2206	2702	3350	
	Peciolos	6	134	368	485	202	378	144	182	207	
	Tallos	117	422	1146	1919	3022	4191	4707	5984	6930	
	Raíces	—	125	1078	2250	4428	5605	7043	9424	9709	
	Total	212	1912	6824	9954	10,355	15,051	14,100	18,292	20,196	
P	Lámina foliar	5	71	267	227	137	288	136	147	174	
	Peciolos	—	10	35	34	16	31	10	20	18	
	Tallos	37	71	157	205	358	422	482	378	766	
	Raíces	—	11	153	344	576	629	861	1036	1387	
	Total	42	163	612	810	1087	1370	1489	1581	2345	
K	Lámina foliar	24	337	1408	1716	507	1564	712	817	945	
	Peciolos	9	161	598	744	347	561	159	201	207	
	Tallos	58	213	872	1681	2581	2588	2817	3233	3676	
	Raíces	5	123	1248	2870	4176	4463	5635	6879	10,402	
	Total	96	834	4126	7011	7611	9176	9323	11,130	15,230	
Ca	Lámina foliar	15	157	583	924	525	857	424	452	435	
	Peciolos	4	68	212	393	248	420	125	165	186	
	Tallos	216	244	485	864	1061	1704	1986	2412	3083	
	Raíces	1	20	113	321	432	915	939	1508	1248	
	Total	236	489	1393	2502	2266	3895	3474	4537	4952	
Mg	Lámina foliar	9	67	248	411	166	276	146	146	174	
	Peciolos	2	23	77	142	68	130	32	41	56	
	Tallos	93	125	216	401	424	586	707	746	1147	
	Raíces	—	9	72	230	288	400	626	660	693	
	Total	104	224	613	1184	946	1392	1511	1593	2070	
S	Lámina foliar	2	61	203	335	185	256	101	88	241	
	Peciolos	—	4	5	—	14	30	7	7	14	
	Tallos	15	19	63	101	227	383	360	337	578	
	Raíces	—	5	8	—	216	171	391	283	555	
	Total	17	89	279	436	642	840	859	715	1388	

FUENTE: Howeler y Cadavid L, 1983.

planta. Se encuentra mayor información en la Figura 5-8.

Deficiencias y toxicidades en el cultivo de yuca

Una planta que presenta un síntoma cualquiera es una planta “enferma” y *enfermedad* es una

actividad fisiológica perjudicial causada por un agente *causal primario*, exhibido mediante una actividad anormal y expresada por condiciones patológicas características denominadas síntomas (Sánchez, 1968). Hay síntomas necróticos (manchas, quemazón, secamiento descendente, cloranemia, chancros),

Cuadro 5-9. Extracción media de nutrientes por tonelada de raíces frescas cosechadas de varios cultivares de yuca (planta total).

Extracción (kg/ha) de:						Cultivar	Fuente
N	P	K	Ca	Mg	S		
4.91	1.08	5.83	1.83	0.79	—	Varios	Howeler (1981)
4.66	0.54	3.52	1.14	0.48	0.32	MCOL 22	Howeler y Cadavid L (1983)
6.90	0.88	3.71	1.47	0.74	0.51	CM 523-7	Cadavid L (1988a)
3.97	0.62	3.56	1.53	1.28	—	MCOL 1468	Caicedo (1993)
3.13	0.44	2.70	1.35	0.86	—	MCOL 1684	Caicedo (1993)
3.89	0.60	2.76	1.09	0.78	—	CM 507-37	Caicedo (1993)
3.46	0.55	3.02	1.10	0.78	—	CM 523-7	Caicedo (1993)
4.42	0.67	3.58	1.36	0.82	0.42		Promedio varios autores

FUENTE: Cadavid L, 1995.

Cuadro 5-10. Movilidad de los nutrientes por el floema.

Móviles	Intermedios	No móviles
Nitrógeno	Azufre	Calcio
Fósforo	Cobre	Boro
Potasio	Hierro	Estroncio
Magnesio	Manganeso	
Sodio	Zinc	
Cloro		
Molibdeno		
Rubidio		

FUENTE: Howeler, 1981; Malavolta et al., 1989; Kramer, 1989; Calderón, 1991.

hipoplásicos (clorosis, rosetas, etiolación, enanismo) e hiperplásicos (abscisión, antosianescencia, enrollamiento).

Según Sánchez (1968), la composición química del suelo puede causar enfermedades *fisiogénicas* directamente o favorecer de manera indirecta el desarrollo de enfermedades *patogénicas* (causadas por organismos vivos como hongos, bacterias, nematodos). Un ejemplo se da en el cultivo de la yuca que crece en suelos deficientes en potasio y en donde se pueden desarrollar la antracnosis o *Phytophthora*, enfermedades fungosas que causan necrosis y muerte descendente con pudrición radicular, respectivamente, disminuyendo drásticamente la producción de raíces tuberosas.

Deficiencias

Howeler (1981), reseña los principales síntomas de deficiencias en el cultivo de la yuca.

Nitrógeno. Crecimiento reducido de la planta; en algunos cultivares, amarillamiento uniforme de las hojas, el cual comienza con las hojas inferiores, pero rápidamente se extiende a toda la planta.

Fósforo. Crecimiento reducido de la planta, lámina foliar, lóbulos reducidos y tallos delgados. En condiciones severas, amarillamiento de las hojas inferiores, las cuales se tornan flácidas y necróticas y caen fácilmente al suelo. Algunas veces se presentan colores rojizos.

Potasio. Crecimiento reducido de la planta, hojas pequeñas. En condiciones muy severas, manchas púrpura, amarillamiento y necrosis de los ápices, y márgenes de las hojas inferiores o intermedias; necrosis de los peciolo o del tejido del tallo; grietas finas en el tallo y tallos rastreros.

Calcio. Crecimiento reducido de la raíz, hojas superiores pequeñas y deformes.

Magnesio. Marcada clorosis intervenal en las hojas inferiores y parte intermedia de la planta; cierta reducción en la altura de la planta.

Azufre. Amarillamiento uniforme de las hojas superiores; algunas veces se han

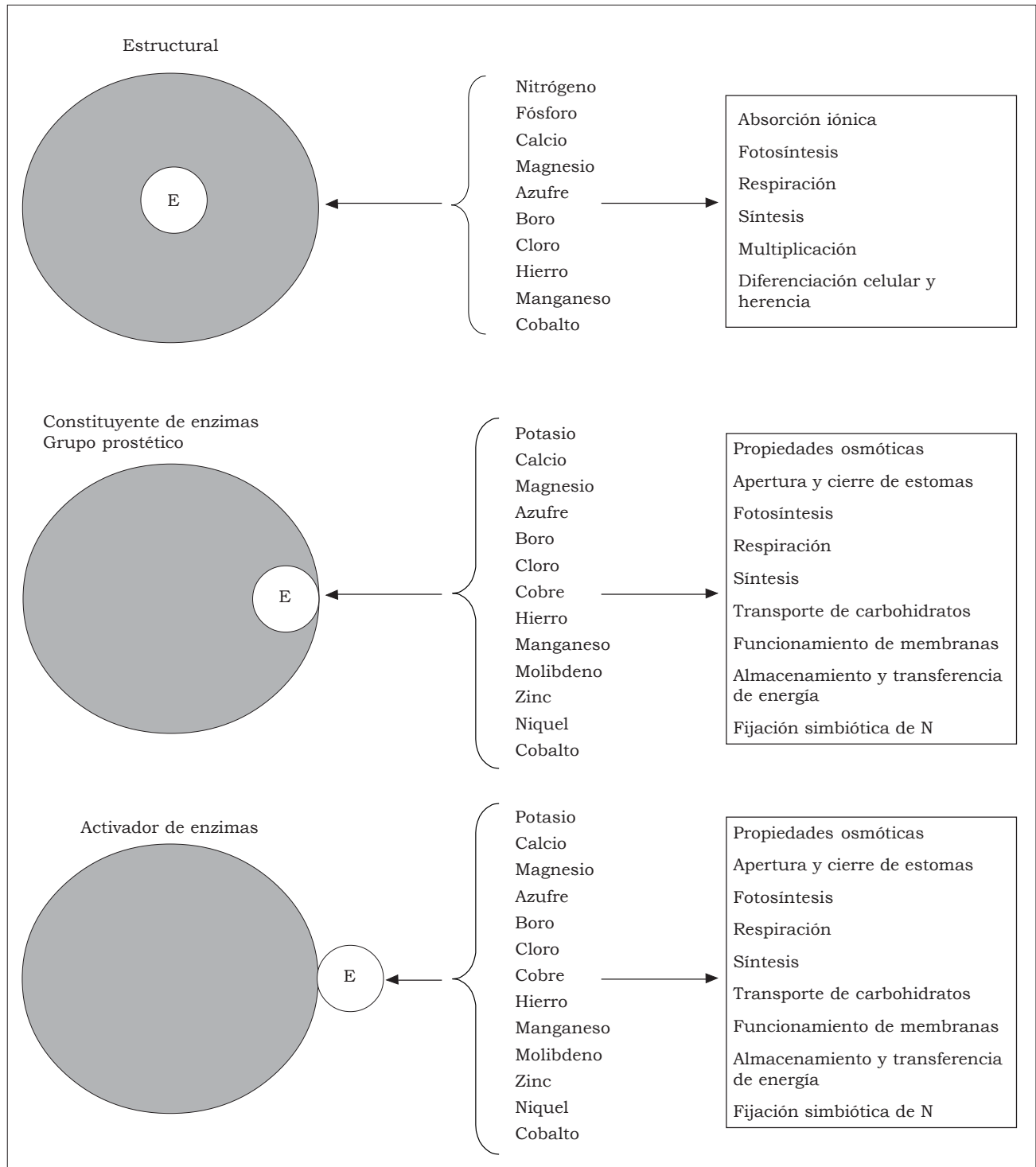


Figura 5-8. Funciones de los elementos nutricionales en la planta.

FUENTE: Adaptada de Malavolta et al., 1989.

observado síntomas similares en el resto de la planta.

Boro. Altura reducida de la planta, entrenudos y pecíolos cortos, hojas jóvenes pequeñas y deformes; manchas púrpura-gris en las hojas completamente extendidas; exudación pegajosa en el tallo y los pecíolos; reducción del desarrollo lateral de la raíz.

Hierro. Clorosis uniforme de las hojas superiores y de los pecíolos, los cuales se vuelven blancos en condiciones severas; crecimiento reducido de la planta y hojas jóvenes pequeñas sin deformación.

Manganeso. Clorosis intervenal de las hojas superiores o intermedias; clorosis uniforme en condiciones severas; crecimiento reducido de la planta y hojas jóvenes pequeñas sin deformación.

Zinc. Manchas intervenales amarillas o blancas en las hojas jóvenes, las cuales se estrechan y desarrollan clorosis en el ápice vegetativo en condiciones severas; manchas necróticas de las hojas inferiores; crecimiento reducido de la planta. Muchas veces se confunde con un ataque de trips.

Toxicidades

Howeler (1981), reseña los principales síntomas de toxicidad en el cultivo de la yuca.

Aluminio. Reducción de la altura de la planta y del crecimiento de la raíz; amarillamiento de las hojas viejas bajo condiciones severas.

Boro. Manchas necróticas en las hojas viejas, especialmente a lo largo de los márgenes foliares.

Manganeso. Amarillamiento de las hojas viejas con puntos de color púrpura-pardo o negruzco a lo largo de las nervaduras; las hojas se tornan flácidas y caen al suelo.

Cuando la fase solución y la fase intercambiable del suelo se agotan por falta de nutrientes, debido a las constantes pérdidas, y comienza a manifestarse algún síntoma de deficiencia, es necesario un reabastecimiento artificial de éstas mediante la fertilización

química, así como de la fase N-sólidos orgánicos del suelo; esto sólo se consigue mediante la fertilización orgánica. Se cumple la premisa de que hay deficiencia cuando:

$$\text{Solubilización} + \text{Mineralización} \leq \text{Fijación} + \text{Inmovilización} + \text{Extracción} + \text{Lixiviación (pérdidas)}$$

Fertilidad del Suelo y del Estado Nutricional del Cultivo

Cuando se piensa en fertilización es necesario acudir a un *diagnóstico* del suelo, para ubicar las posibles deficiencias, corregirlas a tiempo y, después, establecer un cultivo. Si éste es de yuca, es importante conocer los posibles limitantes que presenta el suelo en donde se va a establecer, cómo es la disponibilidad de nutrientes en el mismo y cuáles son los requerimientos nutricionales del cultivo.

El diagnóstico de un problema nutricional en el suelo no es otra cosa que conocer realmente la disponibilidad de nutrientes en un determinado suelo y cómo repercute este limitante en un cultivo ya establecido. El objetivo básico del diagnóstico químico es el de evaluar la *capacidad* de los suelos para suministrar nutrientes a la planta, es decir, medir su *fertilidad*.

El diagnóstico de la fertilidad del suelo y los problemas nutricionales de los cultivos se realiza generalmente mediante:

- Análisis químico y físico del suelo*
- Análisis de tejido vegetal*
- Nivel crítico de nutrientes en el suelo o tejido vegetal para un cultivo específico (yuca en nuestro caso)*
- Conocimiento de desórdenes nutricionales (deficiencias, toxicidades)
- Respuesta del cultivo a la fertilización*
- Requerimientos nutricionales del cultivo (extracción)*

* Estos numerales son de mayor interés, ya que son la base para realizar los cálculos y llegar a una fórmula fertilizante para un cultivo y suelo determinado.

- Conocimiento del material de origen de un suelo específico
- Conocimiento de la clasificación taxonómica del suelo estudiado
- Cultivo anterior y grado de explotación de ese suelo.

Análisis Químico del Suelo

El muestreo y posterior análisis de suelo se convierten en herramientas muy importantes, antes de la siembra, para diagnosticar y corregir problemas nutricionales, evitando que aparezcan deficiencias que afecten el crecimiento y desarrollo de una planta. En yuca, la ausencia de síntomas claros de macronutrientes indica que los problemas nutricionales pueden no notarse fácilmente, lo que hace al análisis foliar y químico, herramientas claves para determinar el estado nutricional de la planta (Howeler, 1981).

El análisis de suelo ayuda a monitorear el estado de la fertilidad de los suelos a través de los años y conocer si la fertilidad del mismo se reduce, se mantiene o aumenta (Inpofos, 1993). El Cuadro 5-3, en un suelo arenoso de la Costa Norte de Colombia, es un ejemplo en el que se manifiesta la ganancia o pérdida de fertilidad del suelo de acuerdo con el manejo, el tiempo y el cultivo.

El éxito de un análisis de suelo radica en una buena muestra del mismo. Generalmente, se pide determinación de materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, aluminio, sodio, zinc, boro, acidez del suelo (pH) y textura (Figura 5-9). Los datos enviados por el laboratorio están dados en unidades locales e internacionales que, por lo general, son: porcentaje (%), partes por millón (ppm) y miliequivalentes por 100 g de suelo seco (meq/100 g de suelo seco) o g/kg, mg/kg y cmol/kg, respectivamente, según las últimas regulaciones de la mayor parte de laboratorios del país y del mundo.

Niveles críticos de parámetros del suelo

Howeler (1981), Howeler y Cadavid L (1990) y Cadavid L (1988b) han establecido una serie de

Cuadro 5-11. Niveles críticos de parámetros del suelo.

pH	Sat. Al (%)	P (ppm)	K	Ca Mg		Zn	S
				(meq/100 g suelo seco)			
4.0	80.0	7.0*	0.15	0.25	0.12 ^a	1.0	8.0
8.0		10.0**	0.17				

a. Comunicación personal (LF Cadavid asumiendo que la relación Ca/Mg ideal para el cultivo de la yuca es 2:1).

* Por el método Bray I.

** Por el método Bray II.

parámetros (niveles críticos) que sirven de herramienta para la correcta interpretación de un análisis de suelo (Cuadro 5-11).

Para entender con más claridad la definición de nivel crítico, el siguiente ejemplo lo explica:

Si el nivel crítico para P es 10.0 ppm (Bray II) y en el análisis de suelo el valor determinado es de 1.0 ppm, entonces, se concluye que el P es un elemento limitante en este suelo y es muy posible que se manifieste deficiencia de este nutriente en el cultivo; también es muy probable que con alguna aplicación de fósforo se presente una respuesta positiva y altamente significativa, manifestada en un aumento creciente del rendimiento (aumento de raíces frescas en t/ha). Si el valor determinado está por encima del nivel crítico, es probable que no haya respuesta a la aplicación de este nutriente.

Con los datos enviados por el laboratorio, y la ayuda de los niveles críticos de parámetros del suelo ya establecidos para yuca, se puede realizar una buena *interpretación* pero no una correcta *recomendación*. Por ejemplo, algunos suelos de los Llanos Orientales de Colombia, caso de Carimagua (altillanura plana) en Meta, clasificados en el orden Oxisol, tienen en promedio las características químicas y físicas presentadas en el Cuadro 5-12.

Cuando se comparan estos valores con los niveles críticos ya establecidos, se puede interpretar este análisis e indicar cuáles son los nutrientes que están en déficit. En este caso específico, se puede claramente establecer que el suelo tiene un contenido medio en nitrógeno; es muy bajo en fósforo, potasio, calcio y magnesio; tiene un contenido de zinc entre medio y bajo; presenta un pH extremadamente ácido; el

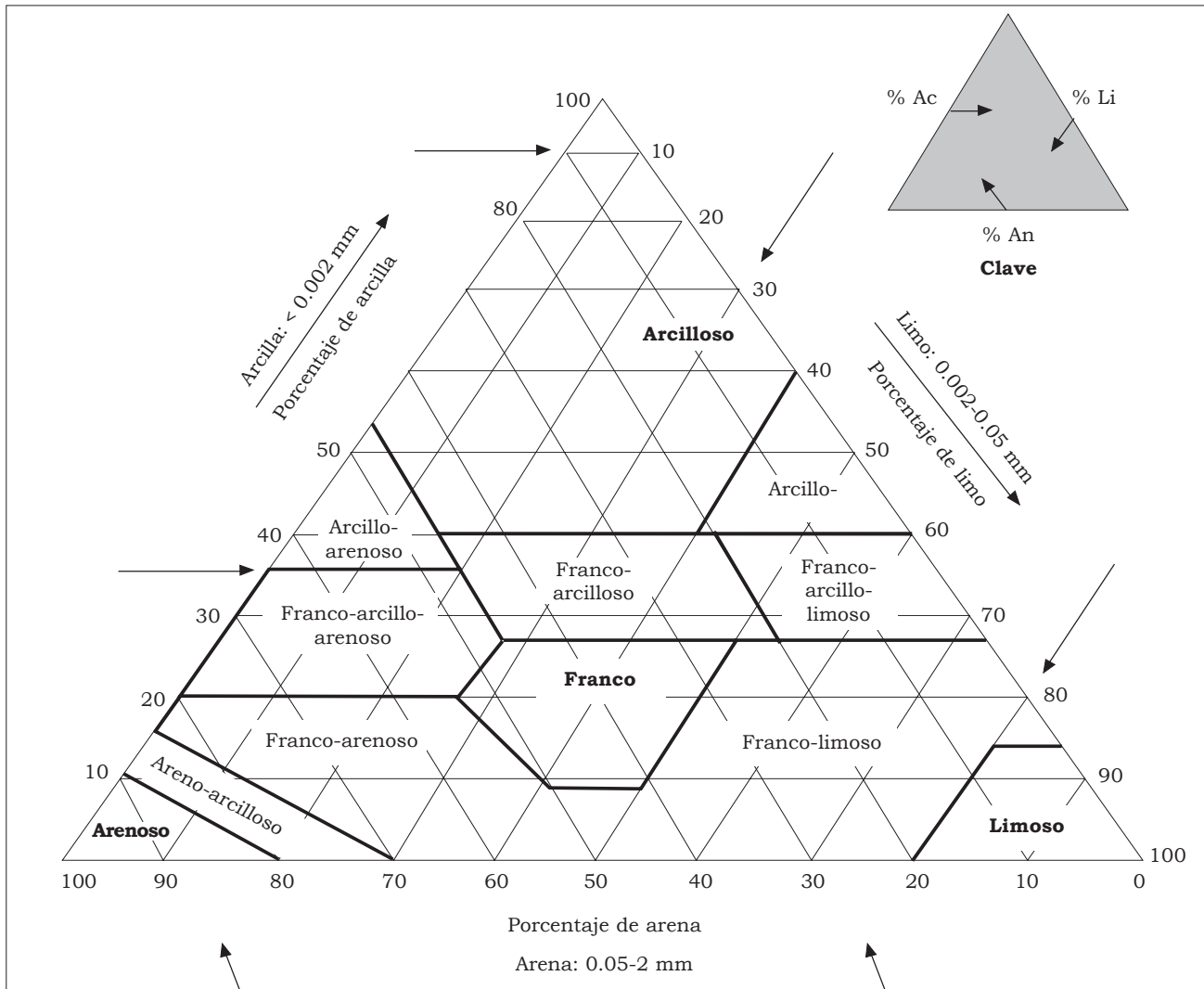


Figura 5-9. Triángulo de texturas del suelo.

Cuadro 5-12. Características químicas y físicas del suelo de Carimagua, Llanos Orientales, Colombia.

Textura	pH	M.O. (%)	P (ppm)	Al			K (ppm)	Zn
				(meq/100 g de suelo seco)				
Franco arcilloso ^a	4.44	4.56	3.0	3.15	0.54	0.30	0.08	1.5
Interpretación ^b	Acido	M	M-B	M-A	B	B	M-B	M-B

a. Cuando los datos de textura están dados en porcentaje de arena, limo y arcilla; para determinar la clase textural se acude a la Figura 5-9.

b. B = bajo, M = medio, A = alto.

contenido de Al intercambiable es alto y la saturación de Al es de 77.4%. El contenido de azufre puede ser bajo (aunque no aparece el dato en este ejemplo).

Recomendación de fertilizantes o enmiendas

La fertilización es un mecanismo de manejo y, como tal, se debe concebir con el fin de recuperar, mantener y sostener la fertilidad de los suelos y aumentar la productividad de los

cultivos. Es importante conocer la necesidad de fertilización de un cultivo, y ésta está dada en términos de la siguiente fórmula:

$$NF = \frac{RPC - S}{E} * 100$$

NF = Necesidad de fertilización, kg/ha

RPC = Requerimiento ponderado del cultivo, kg/ha

S = Disponibilidad del nutriente en el suelo, kg/ha

E = Eficiencia del fertilizante, %

100 = Constante porcentual

Requerimientos nutricionales del cultivo

Este numeral se refiere a los nutrientes extraídos por la planta y se ha cuantificado al final del ciclo del cultivo (cosecha). La yuca es una planta que extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo, especialmente nitrógeno, potasio y calcio. Si se considera toda la planta, por tonelada de raíces frescas cosechadas, la yuca extrae de N, 4.42; de P, 0.67; de K, 3.58; de Ca, 1.36; de Mg, 0.82; de S, 0.42 (Cadavid L, 1995).

Tomando este suelo (Oxisol de la altillanura plana, Carimagua, Meta, Colombia) como ejemplo y, considerando que la producción promedio (con mediana tecnología) de la variedad local ICA Catumare (CM 523-7) es de 15 t/ha y se quiere llegar a una producción ponderada de 30 t/ha, la yuca necesita los nutrientes descritos en el Cuadro 5-13.

Cuadro 5-13. Nutrientes extraídos por la yuca según su rendimiento.

Nutriente	Extracción (kg/ha) para RRF ^a	
	Estimado (15 t/ha)	Ponderado (30 t/ha)
N	66.3	132.6
P	10.1	20.1
K	53.7	107.4
Ca	20.4	40.8
Mg	12.3	24.6

a. RRF = rendimiento de raíces frescas.

Los requerimientos nutricionales indican la cantidad de nutrientes que la planta necesita para completar su desarrollo. Esta cantidad debe ser suministrada por el suelo solo o por el suelo y los fertilizantes. Los nutrientes extraídos o removidos del suelo en la cosecha final han dado origen a un criterio de fertilización: la *restitución* o *devolución* al suelo de los nutrientes que han salido de él, para mantener su fertilidad en el nivel original. Así no es una recomendación acertada, ya que no se incluye la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Disponibilidad de nutrientes en el suelo

Este factor es determinado en el laboratorio mediante el análisis químico. Los nutrientes se dan en término de valores de N-disponible; P y S aprovechable; K, Ca, Mg, cambiabile. La cuantificación de la disponibilidad del respectivo nutriente se hará expresando los resultados del análisis (% , ppm, y meq/100 g de suelo seco) en términos de kg/ha.

Para ello, hay que tener en consideración la densidad aparente (Q_a) del suelo (en el caso de este tipo de suelo, 1.3 g/cm³), de la cual dependerá el peso de la hectárea; ésta, a su vez, de la profundidad de arada en función de la profundidad promedio del sistema radicular del cultivo (para yuca se ha tomado 20 cm).

$$Ps = \text{Peso de hectárea} = Vs (\text{cm}^3) * Q_a (\text{g/cm}^3)$$

$$Vs = L * L * P$$

$$Vs = \text{Volumen de 1 ha de suelo, cm}^3$$

$$L = \text{Lado, cm}$$

$$P = \text{Profundidad de laboreo, cm}$$

En este caso:

$$Vs = 10,000 \text{ cm} * 10,000 \text{ cm} * 20 \text{ cm} \\ = 2 * 10^9 \text{ cm}^3$$

$$Ps = 2 * 10^9 \text{ cm}^3 * 1.3 \text{ g/cm}^3 * \text{kg}/ \\ 1000 \text{ g} \\ = 2.6 * 10^6 \text{ kg}$$

Ahora bien, meq/100 g suelo seco se deben expresar en kg/ha. Se parte del término equivalente-gramo (peso atómico del elemento dividido por su valencia).

Tomemos por ejemplo el potasio (K):

Un equivalente-gramo (Eq) de K =
Peso molecular en g/valencia

$$\begin{aligned} \text{Eq K} &= 39/1 = 39 \text{ g} \\ 1 \text{ meq K} &= 39 \text{ g}/1000 = 0.039 \text{ g} \end{aligned}$$

Luego,

0.039 g K están en 100 g suelo seco;
X kg K estarán en 2.6×10^6 kg/ha
X = 1014 kg K/ha

O sea que,

$$1 \text{ meq K}/100 \text{ g} = 0.039 \text{ g K} = 1014 \text{ kg K/ha}$$

Si el dato reportado por el laboratorio de suelos es de 0.08 meq/100 g de suelo seco, la disponibilidad del nutriente en el suelo es:

$$\begin{aligned} 1.00 \text{ meq K}/100 \text{ g suelo} \\ 1014 \text{ kg K/ha, para una } Q_a \text{ de } 1.3 \text{ g/cm}^3 \\ 0.08 \text{ meq}/100 \text{ g suelo; X kg K/ha} \\ X = 81.12 \text{ kg K/ha} \end{aligned}$$

Con calcio y magnesio se procede de igual forma.

Cuando los datos reportados en el análisis de suelo están dados en ppm, se convierten a kg/ha de la siguiente forma:

1 ppm equivale a tener:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kg} &\text{ en } 1 \times 10^6 \text{ kg} \\ 1 \text{ kg P} &\text{ en } 1 \times 10^6 \text{ kg suelo} \\ X \text{ kg P} &\text{ en } 2.6 \times 10^6 \text{ kg/ha suelo} \\ X &= 2.6 \text{ kg P/ha} \end{aligned}$$

O sea que, 1 ppm P = 2.6 kg P/ha

Si en nuestro ejemplo se reportaron 3.0 ppm de P, entonces, la disponibilidad de P en el suelo es:

$$\begin{aligned} 1.0 \text{ ppm P} &\text{ está en } 2.6 \text{ kg/ha} \\ 3.0 \text{ ppm P} &\text{ estarán en } X \text{ kg/ha} \\ X &= 7.8 \text{ kg P/ha} \end{aligned}$$

Siguiendo con nuestra fórmula de necesidad de fertilización, falta por definir el término *eficiencia*. No es otra cosa que la eficiencia de la

fertilización sobre la base de las diferentes pérdidas que un nutriente tiene en el suelo después de su aplicación. Estas pérdidas pueden ser:

- Lixiviación (NO_3^- , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2})
- Volatilización (NH_2^- , NH_3)
- Fijación (NH_4^+ , H_2PO_4^- , K^+)
- Inmovilización (N, P, S)
- Erosión (N, P, K, Ca y Mg)

Con los datos de requerimiento ponderado del cultivo (RPC), disponibilidad del nutriente en el suelo (S) y la eficiencia de la fertilización (E), se puede ya establecer una fórmula aproximada de fertilización. Es bueno resaltar que la eficiencia de los fertilizantes portadores de fósforo es de 10% a 30%, dependiendo de la cantidad de fósforo fijado (este factor está muy ligado a la clase de suelo y su material coloidal), y estos suelos fijan cantidades grandes de este elemento (alrededor de 500 ppm). En los fertilizantes que incluyen nitrógeno y potasio, la eficiencia está entre 50% y 70%. En los fertilizantes portadores de magnesio y calcio, tipo cales, la eficiencia está entre 50% y 60%.

Tomemos como ejemplo para NF el caso del potasio:

$$\begin{aligned} \text{RPC} &= 107.4 \text{ kg/ha} \\ \text{S} &= 81.1 \text{ kg/ha} \\ \text{E} &= 70.0\% \end{aligned}$$

$$\text{NF} = \frac{107.4 \text{ kg} - 81.1 \text{ kg}}{70} * 100$$

$$\text{NF}_K = 37.6 \text{ kg/ha}$$

Si completamos para fósforo, calcio, magnesio y nitrógeno, los resultados serían:

$$\text{NF}_P = 61.2 \text{ kg/ha}$$

$$\text{NF}_{Ca} = -400 \text{ kg/ha}$$

$$\text{NF}_{Mg} = -115 \text{ kg/ha}$$

Ahora bien, para determinar la necesidad de fertilización para nitrógeno (NT) se procede de la siguiente forma:

$$NT = \frac{MO \%}{20} ; NT = \frac{4.56}{20} = 0.228 \text{ (alto)}$$

$$NA = 0.228 \times 0.025 = 0.0057$$

NA es nitrógeno aprovechable y 2.5% es un porcentaje de mineralización promedio (este factor puede estar entre 1% y 5%).

$$NA = \frac{0.0057 \times 2,600,000 \text{ kg/ha}}{100} = 148.2 \text{ kg/ha}$$

$$NF_N = -22.0 \text{ kg/ha}$$

Según estos datos, tendríamos que fertilizar con 60 kg P/ha y 40 kg K/ha. El ajuste de la fórmula se hace con base en los datos de respuesta a la fertilización, de acuerdo a la zona. Entonces, para este tipo de suelo se podrían recomendar 50 kg N/ha + 60 kg P/ha + 50 kg K/ha + 500 kg/ha de cal dolomítica. Se recomienda aplicar 280 kg/ha de DAP (fosfato diamónico), que aportaría los 50 kg N/ha y 58 kg P/ha, se agregan 100 kg/ha de KCl (cloruro de potasio) o 119 kg/ha de sulfato de potasio si el S está por debajo de 8 ppm y 10 kg/ha de bórax (equivalente a picar 1 kg B/ha). La cal estaría aportando alrededor de 100 kg Ca/ha y 50 kg Mg/ha. La aplicación de DAP y KCl + bórax se realiza entre los 30 y 45 días después de siembra, en banda sencilla y tapando para evitar pérdidas. La cal se aplica a voleo 15 días antes de sembrar e incorporando con la última labor de preparación.

Respuesta de la yuca a la fertilización química y orgánica

Dentro de las alternativas viables para recuperar, sostener y aumentar la fertilidad y productividad de los suelos dedicados al cultivo de la yuca, y aumentar el rendimiento y calidad de este cultivo, está la fertilización, ya sea química u orgánica.

Los diferentes estudios realizados sobre la respuesta a la aplicación de abonos químicos u orgánicos han sido de gran ayuda y esto se observa en sus resultados: el efecto benéfico y altamente significativo sobre la producción y recuperación de la fertilidad del suelo. Los Cuadros 5-2, 5-14, 5-15, 5-16, 5-17, 5-18, 5-19, 5-20, 5-21, 5-22 y las Figuras 5-10, 5-11 y 5-12 confirman estos resultados.

En un suelo franco arcilloso (caolinitico) de los Llanos Orientales de Colombia (Carimagua, Meta), con contenido de fósforo relativamente bajo (3 ppm, método Bray II), las aplicaciones de P hasta 400 kg/ha, independientes de fuente y forma de aplicación, mostraron una respuesta altamente significativa del rendimiento (Cuadro 5-2); sin embargo, con una aplicación de 50 kg/ha de P el rendimiento casi se triplica.

El Cuadro 5-14 reseña el efecto benéfico de las aplicaciones altas de P sobre el contenido de este elemento en el suelo, y es notoria la

Cuadro 5-14. Contenido de P (ppm) en un suelo de Carimagua, Meta, Colombia, a los 13 meses después de aplicadas las fuentes de P.

Tratamientos ^a	Contenido (ppm) de P con nivel de P ₂ O ₅ de:					
	0	50	100	200	400	Promedio 4 niveles
1. Testigo	1.7	—	—	—	—	1.7
2. Superfosfato triple-banda	—	1.6	2.6	3.0	3.6	2.7
3. Superfosfato simple-banda	—	1.7	4.6	3.7	3.0	3.3
4. Fosfato de Mg fundido en banda	—	2.3	2.3	3.1	23.7	7.9
5. Escorias Thomas-banda	—	3.7	2.0	5.9	14.6	6.6
6. Escorias Thomas-voleo	—	2.5	6.3	12.3	31.1	13.1
7. R.F. Huila 20% acidulada-voleo	—	4.2	4.9	7.7	40.6	14.4
8. R.F. Huila + S-voleo	—	3.7	4.2	9.6	28.3	11.5
9. R.F. Huila - voleo	—	3.1	12.1	21.8	25.7	15.7
Promedio tratamientos	1.7	2.9	4.9	8.4	21.3	

a. R.F. = roca fosfórica.

FUENTE: Cadavid L, 1980.

diferencia entre fuentes de alta solubilidad en agua, tipo superfosfato, y fuentes de lenta solubilidad, tipo rocas fosfóricas y calfos.

Los resultados de este tipo de ensayo resaltan la importancia de la fertilización fosfórica en suelos deficientes en P, y ponen de manifiesto que hay respuesta a las aplicaciones de este elemento y que fuentes de lenta solubilidad podrían ser una excelente alternativa, ya que aplicadas a voleo son más eficientes, disminuyendo así la alta fijación de P existente en este tipo de suelos (Haplustox), según Cadavid L, 1980.

En suelos arcillosos del orden Ultisol, en Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, con contenido muy bajo de P (2.80 ppm, Bray II) durante un período de 15 años continuos, se sembró yuca para observar la respuesta a las aplicaciones de P (superfosfato triple como fuente) y determinar un índice de adaptación a bajo P (Cuadros 5-15 y 5-16).

Los datos reseñados en los cuadros anteriores muestran una respuesta marcada a la aplicación constante de 75 kg P/ha, ya que el suelo después de 15 años registró un aumento sustancial de este elemento (35.1 ppm, comparado con 2.85 ppm sin aplicación), aumentando así su fertilidad.

En rendimiento, el Cuadro 5-16 muestra una respuesta positiva y altamente significativa a la aplicación de P. Se observan diferencias entre genotipos al considerar el índice de adaptación a bajo P. Muchos clones tienen altos rendimientos con y sin aplicación de P y algunos, como CG 333-4, SG 779-9, SM 380-3, CM 4774-2, reseñan índices de adaptación a bajo P por encima de 1.5, lo que indica su alto nivel de tolerancia a bajo fósforo, así como también su alta respuesta a la fertilización fosfórica.

Considerando la siembra continua de yuca por más de 15 años y el nivel medio a bajo de productividad sin aplicaciones de fósforo, se sugiere que suelos ácidos con bajo P disponible, pero con contenidos altos de materia orgánica, pueden soportar rendimientos sostenibles con aplicaciones moderadas de este nutriente (no mayores de 50 kg P/ha). Esto está relacionado con la presencia de micorriza vesículo-arbuscular y el grado de infección.

En los suelos de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, existe un porcentaje alto de infección en las raíces de yuca en todos los clones, lo que indica una efectiva asociación hongo-yuca.

En suelos donde se siembra yuca por periodos largos, es importante tener en cuenta el potasio. Por la alta extracción, estos suelos pierden sus reservas fácilmente y se presentan deficiencias de este nutriente.

Según investigaciones realizadas en diferentes tipos de suelo en el país, se concluye que el potasio es un elemento esencial y limitante en la producción de yuca (Cadavid L, 1997; El-Sharkawy y Cadavid L, 2000).

En un suelo de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, clasificado como Ultisol, sembrado con yuca durante 12 años consecutivos, se muestra la respuesta altamente significativa de K en la producción de raíces tuberosas con aplicaciones de 50 kg/ha o más (Cuadro 5-17); en potasio del suelo hubo una recuperación importante, ya que de 0.06 cmol/kg aumentó a 0.33 cmol/kg, considerado alto en este tipo de suelo.

En un Inceptisol arcilloso de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, con contenido alto de carbono orgánico (4.8%), bajo P (2.0 mg/kg),

Cuadro 5-15. Características químicas de un suelo en Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, afectado por una aplicación de P.

Año	P* (kg/ha)	M.O. (%)	pH	Al	Ca	Mg	K	P*** (mg/kg)	Sat. Al (%)
				(cmol/kg)					
1979	0	6.28**	4.2	3.88	0.98	0.32	0.20	2.80	72.1
1995	0	4.95	4.0	3.21	0.88	0.33	0.26	2.85	68.8
1995	75	5.80	4.1	3.33	1.38	0.34	0.28	35.10	62.3

* Aplicación anual; ** 1985; *** Bray II.

Cuadro 5-16. Rendimiento de raíces secas e índice de adaptación a bajo P de 32 clones de yuca en suelos de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia (1994-95).

Clones	Rendimiento de raíces secas (t/ha)		Índice de adaptación a bajo P ^a
	Cero P	75 kg P/ha	
CG 333-4	7.4	10.4	1.89
SG 779-9	7.1	10.4	1.81
SM 380-3	6.0	11.2	1.65
CM 5830-4	6.6	10.1	1.63 AA ^b
CM 4365-3	6.3	10.1	1.56
CM 4774-2	6.1	10.1	1.51
CM 849-1	6.7	9.5	1.47
CM 3555-6	6.8	8.8	1.47
SG 545-7	5.7	10.0	1.40
CG 1141-1	5.3	10.6	1.38
CG 1355-2	5.4	10.4	1.38
CM 3311-3	5.9	9.4	1.36
CG 95-1	6.1	8.4	1.26
M Bra 589	5.5	9.2	1.24 IA ^b
CG 5-79	5.4	9.0	1.19
SM 366-2	6.2	7.6	1.15
M Col 1468	5.4	8.5	1.13
CM 507-37	5.4	8.2	1.09
M Cub 32	5.2	8.4	1.07
CG 996-6	4.3	10.0	1.05
M Col 1505	4.6	8.9	1.00
SG 495-19	4.9	7.4	0.89
CM 523-7	4.4	7.8	0.84
M Bra 390	5.5	6.2	0.84
CM 4772-3	4.4	7.6	0.82
CG 522-10	3.6	8.8	0.78
HMC-1	3.5	6.0	0.51 BA ^b
M Col 1684	3.0	6.6	0.49
CM 5586-1	3.1	5.8	0.44
M Bra 191	4.3	4.1	0.43
CG 915-1	3.3	2.1	0.17
CM 2766-5	1.9	2.4	0.11
M Pan 51	2.8	1.2	0.08
Media de todos los clones	5.1	8.0	
LSD 5%	1.5	1.8	

a. Índice de adaptación a bajo P: (Rendimiento a cero P) (Rendimiento a 75 kg P/ha)

(Media del rendimiento a cero P) (Media del rendimiento a 75 kg P/ha).

b. AA = adaptación alta; IA = adaptación intermedia; BA = adaptación baja.

contenido medio de K (0.18 cmol/kg), se evaluaron 14 clones de yuca durante 5 años continuos (Cuadro 5-18). Aunque el nivel de potasio en el suelo era medio, hubo respuesta positiva y significativa en el rendimiento (raíces secas) a las aplicaciones de K, hasta 50 kg/ha en promedio de todos los clones en el primer ciclo. En el quinto ciclo se reseña una respuesta positiva hasta los 100 kg K/ha en casi todos los clones, pero el rendimiento decayó por la remoción constante de este nutriente en el suelo y otras pérdidas en el sistema.

También el Cuadro 5-18 muestra el efecto de la aplicación de K sobre la calidad de las raíces tuberosas, en términos de contenido de ácido cianhídrico total (ppm). Es notorio el efecto positivo al reducir el contenido a medida que se incrementa la tasa de aplicación de K (El-Sharkawy y Cadavid L, 2000).

Los Cuadros 5-17 y 5-19 y las Figuras 5-10 y 5-11 muestran el efecto benéfico de las aplicaciones de N, P y K sobre el rendimiento en suelos de Santander de Quilichao, Mondomo y Pescador, Cauca, Colombia.

También es importante considerar el efecto benéfico a la fertilidad, a la productividad del suelo y al rendimiento del cultivo de la yuca, si se emplean fuentes orgánicas tipo estiércol, abonos verdes incorporados o coberturas muertas (mulch).

Estas no sólo contribuyen a mejorar la fertilidad del suelo y a aumentar el rendimiento por la liberación de nutrientes, sino que ayudan a mejorar la estructura y agregación, aumentan la retención de agua e incrementan la actividad microbiana de los suelos (Cadavid L, 1995). Los Cuadros 5-20, 5-21, 5-22 y la Figura 5-12 reseñan la respuesta positiva de esta clase de abonos.

Cuando se selecciona un fertilizante completo o uno simple, es necesario conocer muy bien cuál es el grado de los elementos que este producto comercial tiene. El grado de un fertilizante no es otra cosa que la forma como éste viene expresado en el producto (N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, CaCO₃, MgCO₃) y está dado en porcentaje. Veamos un ejemplo:

El fertilizante químico 13-13-21 está expresado como: 13% de N; 13% de P₂O₅ y 21%

Cuadro 5-17. Efecto de las aplicaciones de NPK sobre el rendimiento y la fertilidad de un suelo sembrado con yuca por 12 años consecutivos en Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

Aplicación (kg/ha)			M COL 1684 Raíces frescas (t/ha)		M.O. (%)		Bray II P (mg/kg)		K (cmol/kg)		Nivel crítico ^a	
N	P	K	1983-84	1994-95	1984	1995	1984	1995	1984 ^b	1995	P (mg/kg)	K (cmol/kg)
0	0	0	16.4	8.3	6.2	5.2	4.0	6.4	0.06	0.12	10.0	0.15
50	50	50	25.3	21.5	6.0	5.3	3.9	15.9	0.08	0.14		
0	100	100	30.2	20.5	5.7	5.2	4.6	40.6	0.11	0.48		
50	100	100	32.3	22.8	5.7	5.3	3.8	48.6	0.08	0.34		
100	100	100	32.8	22.0	5.9	5.3	3.8	46.2	0.09	0.33		
100	0	100	23.8	16.2	5.9	5.4	4.2	10.1	0.09	0.27		
100	50	100	32.8	23.4	6.2	5.4	3.7	24.8	0.09	0.19		
100	100	0	25.7	10.3	5.8	5.3	3.7	46.0	0.06	0.09		
100	100	50	29.7	21.0	5.8	5.1	4.0	37.1	0.07	0.14		

a. Howeler, 1981.

b. En 1983, 0.07 cmol/kg, y 5 años antes (siembras continuas de yuca), 0.30 cmol/kg.

FUENTE: Cadavid L, 1997.

de K₂O. Esto quiere decir que en 100 kg de producto comercial hay 13 kg de N, 13 kg de P₂O₅ y 21 kg de K₂O.

Para la recomendación de fertilizantes no se puede trabajar con los valores así expresados, sino en términos de kg de N, P, K, Ca y Mg. Por lo tanto, es necesario convertir la expresión dada por el fabricante a la expresión real. Para tal fin, existen tablas de conversión tomadas de la revisión bibliográfica sobre fertilización (Cuadro 5-23).

Es necesario conocer la cantidad de producto comercial que se aplicará de acuerdo con el nutriente (base elemental) recomendado. Para este fin, se tiene en cuenta la siguiente fórmula (Cadavid L y Calle C, 1997):

$$PC = \frac{NR}{ha} * \frac{100 PC}{GNPC} * C$$

en donde,

- PC = Producto comercial, kg o t/ha
- NR = Nutriente recomendado, kg/ha
- 100 PC = 100 kg de producto comercial, kg
- ha = 1 ha, 10,000 m²
- GNPC = Grado del nutriente elemental en el producto comercial, kg
- C = Area de aplicación (ha o m²)

Para entender mejor esta fórmula, observemos el siguiente ejemplo:

- NR = 70.0 kg K/ha
- C = 89 ha
- PC = Cloruro de potasio (KCl de 60% de K₂O)

En primer lugar, tenemos que convertir K₂O a K. Luego:

$$60\% K_2O \times 0.8302 = 49.81 K \text{ o más exactamente,}$$

$$60\% K_2O / 1.20 = 50 K$$

Esto quiere decir que 100 kg de producto comercial (KCl) tienen 50 kg de K (GNPC), efectuando la fórmula:

$$PC = \frac{70 \text{ kg K}}{1 \text{ ha}} \times \frac{100 \text{ kg KCl}}{50 \text{ kg K}} \times 89 \text{ ha}$$

$$PC = 140 \text{ kg KCl} \times 89 = 12,460 \text{ kg} = 12.46 \text{ t KCl}$$

Cuadro 5-18. Efecto de la fertilización potásica sobre las raíces secas (t/ha) y sobre el contenido de HCN total (ppm) de 14 cultivares de yuca en un suelo del Cauca, Colombia (1989-94).

Cultivar	Raíces secas (t/ha)							
	En año 1 de fertilización potásica (kg/ha) de:				En año 5 de fertilización potásica (kg/ha) de:			
	0	50	100	200	0	50	100	200
MCOL 1505	12.6	17.0	14.4	14.9	4.5	8.5	9.0	9.1
CM 91-3	11.6	15.5	15.0	17.6	3.3	7.7	5.2	7.4
CM 489-1	12.5	17.2	15.3	16.1	5.7	8.0	10.4	11.3
CM 507-37	14.6	18.3	17.1	16.0	5.8	10.8	12.7	14.1
CM 523-7	12.4	15.7	16.9	13.0	6.4	9.7	12.2	11.9
CM 1585-13	14.5	15.4	14.6	14.4	5.9	7.2	11.4	11.1
HMC-1	16.2	19.2	18.5	19.5	8.3	9.0	10.8	9.1
HMC-2	15.0	14.5	15.4	13.2	4.2	5.4	7.2	5.8
CMC 40	10.1	13.4	12.5	11.6	3.2	4.9	4.2	3.8
MCOL 1684	14.0	13.9	14.3	16.2	4.4	10.0	10.5	9.5
MCUB 74	13.1	14.1	14.2	14.9	4.8	7.9	8.8	10.5
MPAN 70	14.9	16.6	16.4	16.1	5.6	9.9	10.9	9.2
MVEN 25	14.3	15.3	15.7	14.2	8.5	10.7	12.2	12.4
SG 105-35	14.9	15.8	16.2	15.4	3.9	9.1	11.8	10.7
Promedio	13.6	15.9	15.5	15.2	5.3	8.5	9.8	9.7
LSD 5% para cultivares	2.6	2.8	3.9	2.8	2.2	2.2	2.3	2.7
LSD 5% para niveles de K	1.2	1.2			0.6			

Cultivar	Contenido de HCN total (ppm)							
	En año 2 de fertilización potásica (kg/ha) de:				En año 5 de fertilización potásica (kg/ha) de:			
	0	50	100	200	0	50	100	200
MCOL 1505	297	183	171	216	329	259	243	210
CM 91-3	217	173	157	140	264	263	225	179
CM 489-1	308	190	160	158	334	201	133	161
CM 507-37	671	401	406	401	1169	1049	674	780
CM 523-7	281	163	142	134	331	313	370	265
CM 1585-13	201	148	168	148	219	205	153	178
HMC-1	206	187	163	141	202	173	193	188
HMC-2	307	149	134	112	449	423	370	353
CMC 40	185	140	177	182	124	163	147	103
MCOL 1684	765	570	523	647	986	1074	996	754
MCUB 74	297	177	124	127	282	221	246	273
MPAN 70	271	236	182	208	216	256	206	181
MVEN 25	1034	955	812	926	1969	1625	1462	1403
SG 105-35	417	203	241	214	281	209	190	647
Promedio	390	277	254	268	511	460	401	405
LSD 5% para cultivares	255	141	143	105	207	208	227	651
LSD 5% para niveles de K	75				48			

FUENTE: El-Sharkawy y Cadavid L, 2000.

Cuadro 5-19. Respuesta de yuca a la aplicación de varios niveles de N,P,K en cinco localidades de la región de Mondomo, Pescador, Cauca, Colombia, 1983.

Fertilización	Mondomito	Agua blanca	Telecom	Tres quebradas	Pescador	Promedio
	Rendimiento de raíces frescas (t/ha)					
N ₀ P ₀ K ₀	8.5	12.7	13.0	10.2	3.3	9.5
N ₀ P ₂ K ₂	11.0	25.5	25.9	16.5	12.6	18.3
N ₁ P ₂ K ₂	13.6	20.5	21.8	18.4	13.1	17.5
N ₂ P ₂ K ₂	11.0	24.8	27.1	23.2	16.2	20.5
N ₃ P ₂ K ₂	13.8	29.7	27.3	29.2	19.7	23.9
N ₂ P ₀ K ₂	8.0	13.2	16.0	9.3	6.0	10.5
N ₂ P ₁ K ₂	14.3	25.2	23.5	21.5	15.0	19.9
N ₂ P ₃ K ₂	12.0	24.6	26.4	24.7	19.6	21.5
N ₂ P ₂ K ₀	10.6	25.5	23.1	14.8	7.4	16.3
N ₂ P ₂ K ₁	14.3	24.9	25.9	17.8	16.5	19.8
N ₂ P ₂ K ₃	14.4	26.3	24.6	24.8	16.7	21.4
N ₃ P ₃ K ₃	18.5	28.0	27.3	29.9	12.3	23.2

N₀ = 0 N₁ = 50 N₂ = 100 N₃ = 200 kg N/ha como urea
 P₀ = 0 N₁ = 50 P₂ = 100 P₃ = 200 kg P/ha como SFT (superfosfato triple)
 K₀ = 0 K₁ = 50 K₂ = 100 K₃ = 200 kg K/ha como KCl (cloruro de potasio)

FUENTE: Cadavid L y Howeler, 1984.

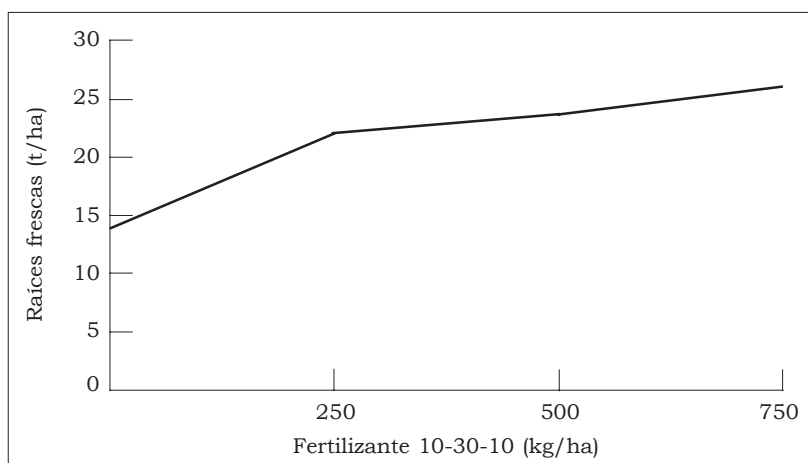


Figura 5-10. Efecto de la fertilización química sobre el rendimiento promedio en yuca cv. CMC-92 en la región de Mondomo, Cauca, Colombia.

FUENTE: Cadavid L, 1997.

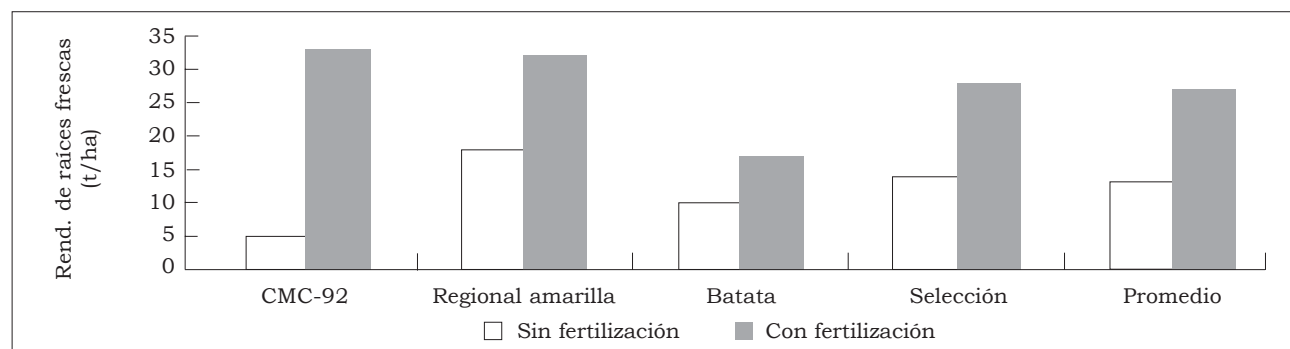


Figura 5-11. Efecto de la fertilización química sobre el rendimiento de cuatro cultivares de yuca en suelos preparados con buey (una pasada) en Mondomo, Cauca, Colombia.

FUENTE: Cadavid L, 1997.

Cuadro 5-20. Efecto de la fuente y la aplicación de P sobre el rendimiento de yuca en dos localidades del Cauca, Colombia.

P (kg/ha)	San Julian ^a 1981		Mondomito ^b 1983		Fuente de P ^c	Aplicación (t/ha)
	MCOL 1684	MCOL 1468	CMC 92	MCOL 1468		
Rendimiento de raíces frescas (t/ha)						
0	46.9	29.4	25.8	12.7		
25	57.2	31.1	25.5	18.0	}	Estiércol
50	50.5	33.5	28.1	19.3		
25	57.8	41.9	25.3	13.0	}	Gallinaza
50	52.7	33.5	26.7	23.7		
25	49.9	39.2	28.2	17.8	}	10-30-10
50	49.1	36.5	26.2	16.5		
						0.382

a. Santander de Quilichao, lote virgen.

b. Mondomo.

c. Fuente de P (análisis):

	Contenido (%) de:				
	N	P	K	Ca	Mg
Estiércol	2.0	0.6	1.7	2.9	0.6
Gallinaza	2.7	1.3	2.0	7.7	0.7
10-30-10	10.0	13.1	8.3		

FUENTE: Cadavid L, 1995.

Cuadro 5-21. Efecto del abono verde sobre el rendimiento del cv. CM 507-37 en un suelo agotado de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, sembrado durante 3 años consecutivos (1990-93) y sin fertilización química.

Material incorporado	Rendimiento de raíces frescas (t/ha) en:			
	1er ciclo	2o. ciclo ^a	3er ciclo ^a	3 ciclos
Sin abono verde	27.4	22.5	12.7	20.9
<i>Zornia latifolia</i>	34.1	26.6	19.7	26.8
Maleza común ^b	32.3	21.0	16.3	23.2
<i>Pueraria phaseoloides</i>	47.1	27.3	16.1	30.2
<i>Arachis pintoii</i>	37.9	22.8	18.3	26.3
<i>Macroptilium glabile</i>	30.5	23.6	16.1	23.4
<i>Centrosema acutifolium</i>	45.5	25.3	20.9	30.6
<i>Desmodium ovalifolium</i>	43.4	24.1	21.5	29.7

a. Efecto residual del abono verde.

b. Pasto común (*Paspalum* sp.)

FUENTE: Cadavid L, 1995.

Cuadro 5-22. Efecto de labranza, 'mulch' y abonamiento químico sobre las características químicas de un suelo arenoso en Pivijay, Magdalena, Colombia, durante un periodo de 6 años.

	Con 330 kg/ha 15-15-15						Sin fertilización química						Periodo
	M.O.	Bray II	P	Ca	Mg	K	M.O.	Bray II	P	Ca	Mg	K	
	(%)	(1:1 pH)	(ppm)	(meq/100 g suelo)			(%)	1:1 pH	(ppm)	(meq/100 g suelo)			
Suelo antes de ^a	—	—	—	—	—	—	0.18	6.10	8.38	0.87	0.28	0.05	
Convencional	1.20	5.40	18.88	0.34	0.08	0.05	1.10	5.35	8.25	0.34	0.07	0.04	1988-89 ^a 1993-94
Convencional ^a con mulch	1.33	6.25	23.43	0.79	0.38	0.13	1.45	6.50	13.65	0.86	0.49	0.17	
Cero labranza	1.05	5.53	17.30	0.36	0.08	0.05	1.08	5.30	9.43	0.36	0.07	0.04	
Cero labranza ^a con mulch	1.48	6.28	27.03	0.77	0.45	0.16	1.45	6.43	14.50	0.80	0.46	0.16	

a. Cultivo anterior: yuca, maíz y ajonjolí.

FUENTE: Cadavid L et al., 1995.

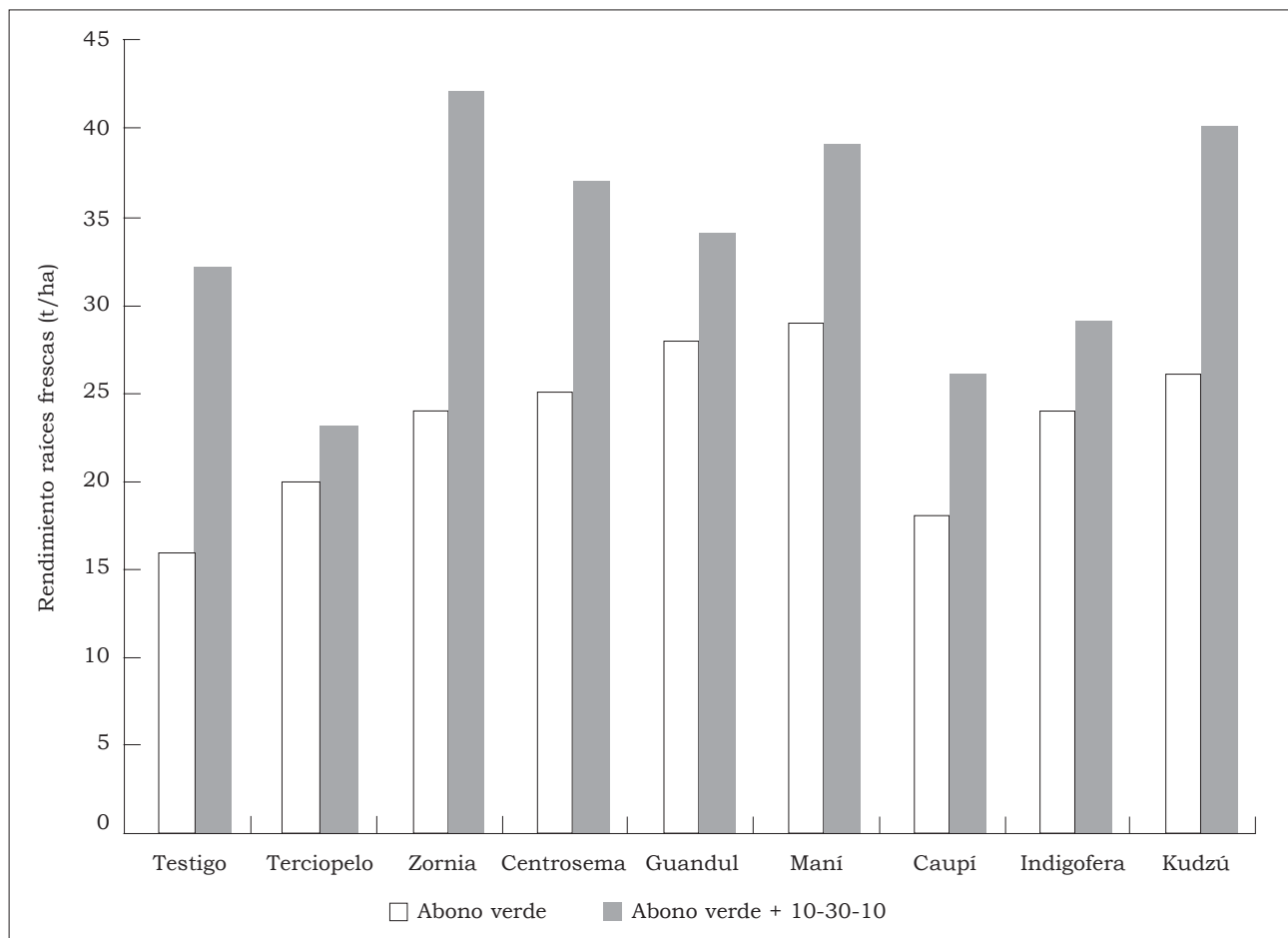


Figura 5-12. Efecto de la incorporación de abonos verdes y de éstos más 10-30-10 sobre el rendimiento del cultivar MCOL 1684 en un Ultisol agotado de Santander de Quilichao, Cauca, Colombia, 1984.

FUENTE: Cadavid L, 1987.

Cuadro 5-23. Factores de conversión de la expresión en la base óxido a la expresión en base elemental y viceversa.

P ₂ O ₅	×	0.44	ó	(0.4364) ^a	=	P
P	×	2.29	ó	(2.2914)	=	P ₂ O ₅
K ₂ O	×	0.83	ó	(0.8302)	=	K
K	×	1.20	ó	(1.2046)	=	K ₂ O
CaO	×	0.71	ó	(0.7147)	=	Ca
Ca	×	1.40	ó	(1.3992)	=	CaO
MgO	×	0.60	ó	(0.6030)	=	Mg
Mg	×	1.66	ó	(1.6582)	=	MgO
SO ₄	×	0.33	ó	(0.3333)	=	S
S	×	3.00	ó	(3.0000)	=	SO ₄

a. Los datos entre paréntesis deben utilizarse para cálculos que demanden alta precisión.

FUENTE: Monómeros Colombo-Venezolanos, 1989.

Bibliografía

- Cadavid L LF; Calvo FA; Howeler RH. 1977. La interacción de cal con fósforo y elementos menores en la producción de yuca (*Manihot esculenta*) en oxisolos de los Llanos Orientales de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 25 p.
- Cadavid L LF. 1980. El uso de rocas fosfóricas en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 38 p.

- Cadavid L LF; Howeler RH. 1984. La fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en la región de Mondomo y Pescador, Cauca. Suelos Ecuatoriales 17(2):178-183.
- Cadavid L LF. 1987. Abonos verdes en suelos agotados dedicados a la siembra de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Suelos Ecuatoriales 17(2):178-183.
- Cadavid L LF. 1988a. Efecto de fertilización y humedad relativa sobre la absorción y distribución de nutrientes en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis (Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 290 p.
- Cadavid L LF. 1988b. Respuesta de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a la aplicación de NPK en suelos con características diferentes. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 199 p.
- Cadavid L LF. 1995. Utilización de abonos verdes en suelos dedicados a la siembra de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). 17 p. (Multicopiado.)
- Cadavid L LF; Acosta A; El-Sharkawy M. 1995. Efecto de preparación, mulch y abonamiento en el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en suelos arenosos de Colombia. Suelos Ecuatoriales 25:7-8.
- Cadavid L LF. 1997. Manejo productivo de suelos de ladera cultivados con yuca (*Manihot esculenta* Crantz). En: Seminario fertilidad del suelo y su potencial productivo, fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Seminario fertilidad del suelo y su potencial productivo, Palmira, Valle del Cauca, 1995. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Bogotá D.C., Colombia. p. 134-143.
- Cadavid L LF; Calle C F. 1997. La fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). 13 p. (Multicopiado.)
- Cadavid L LF. 2000. Nutrición del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). En: Curso de capacitación en sistemas de producción de yuca, Santo Domingo de los Colorados, Ecuador, febrero 2000. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA), Palmira, Colombia. 29 p.
- Calderón SF. 1991. Concepción moderna de la nutrición vegetal. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Bogotá D.C., Colombia. 323 p.
- Cano CA. 1999. Las micorrizas arbusculares, su importancia y usos en la agricultura. La Mina S.A., Guatemala. 12 p. (Multicopiado.)
- Cassanova O EF. 1996. Introducción a la ciencia del suelo. 2a. ed. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 379 p.
- El-Sharkawy MA; Cadavid L LF; Mejía de Tafur S; Caicedo JA. 1998. Genotypic differences in productivity and nutrient uptake and use efficiency of cassava as influenced by prolonged water stress. Acta Agronómica 48(1-2):9-22.
- El-Sharkawy MA; Cadavid L LF. 2000. Genetic variation within cassava germplasm in response to potassium. Experimental Agriculture (United Kingdom) 36(3):323-334.
- Garavito NF. 1979. Propiedades químicas de los suelos. 2a. ed. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC), Subdirección Agrológica, Bogotá D.C., Colombia. 321 p.
- Garcidueñas RM. 1993. Fisiología vegetal aplicada. 4a. ed. Interamericana, Magraw-Hill, México D.F, México. 275 p.
- Guerrero RR. 1980. Hacia la formulación de un modelo suelo-planta. En: Silva MF (ed.). Fertilidad de suelos: diagnóstico y control. 12a. ed. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS), Bogotá D.C., Colombia. p. 1-10.
- Howeler RH. 1981. Nutrición mineral y fertilización de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 55 p.

- Howeler RH. 1983. La función de las micorrizas vesículo-arbusculares en la nutrición fosfórica de yuca. *Suelos Ecuatoriales* 13(2):51-61.
- Howeler RH; Cadavid L LF. 1983. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12-month cycle of cassava. *Field Crops Research* 7:123-139.
- Howeler RH; Cadavid L LF. 1990. Short- and long-term fertility trials in Colombia to determine the nutrient requirements of cassava. *Fertilizer Research* 26(1-3):61-80.
- INPOFOS (Instituto de la Potasa y el Fósforo). 1993. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. Quito, Ecuador. 55 p.
- Kramer PJ. 1989. Relaciones hídricas de suelos y plantas, una síntesis moderna. Editorial Harla, México. 538 p.
- Malavolta E; Vitti GC; Oliveira SA de. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato (POTAFOS), Piracicaba, Brasil. 201 p.
- Monómeros Colombo-Venezolanos. 1989. Punto Verde, no. 6.
- Sánchez de P M. 1999. Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ciencias Básicas, Palmira, Colombia. 227 p.
- Sánchez PA. 1968. Conferencias de fitopatología y control de enfermedades. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. 146 p.
- Sieverding E. 1984. Aspectos básicos de la investigación de la micorriza vesículo arbuscular. En: Sieverding E; Sánchez de P M; Bravo O N (eds.). Investigaciones sobre micorrizas en Colombia: memorias. Primer Curso Nacional sobre Micorrizas en Colombia, Palmira, febrero 1984. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. p. 1-14.
- Thompson LM. 1965. El suelo y su fertilidad: propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo en relación con su formación, clasificación y tratamientos desde el punto de vista de la fertilidad. 3a ed. Editorial Reverté S.A., Barcelona, España. 410 p.