

66090



Construcción y mantenimiento de capa arable para el desarrollo de sistemas sostenibles de producción de yuca en tres regiones de Colombia

CLAYUCA

Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca



Corpeica

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria



CIAT

Centro Internacional de Agricultura Tropical
International Center for Tropical Agriculture



Construcción y mantenimiento de capa arable para el desarrollo de sistemas sostenibles de producción de yuca en tres regiones de Colombia

M.Sc. Luis Fernando Cadavid (CLAYUCA)

Álvaro Andrés Albán (CLAYUCA)

Ph.D. Edgar Amézquita (CIAT)

M.Sc. Jorge Peña (Corpoica)



Informe Final

Diciembre de 2004



UNIDAD DE INFORMACION Y DOCUMENTACION

18 MAR. 2005

220478



*Ministerio de Agricultura
y Desarrollo Rural*

Introducción

El cultivo de la yuca ha sido generalmente relacionado con problemas de degradación de suelos, pero por lo general, las causas se refieren a un uso y manejo inadecuado de los suelos y del cultivo, asociado al desconocimiento de las condiciones actuales de los suelos y la necesidad de fertilizantes.

El concepto de "suelo de buena calidad" es muy importante en la producción de cualquier cultivo para lograr niveles adecuados de productividad. Un suelo de buena calidad debe facilitar el desarrollo normal de procesos físicos, químicos y orgánicos necesarios para el normal desarrollo de las plantas.

Generalmente, en los sistemas de producción de yuca que predominan en la mayoría de las regiones de Colombia, los agricultores intentan responder a los procesos químicos que ocurren en el suelo, a través de prácticas de análisis de la fertilidad del suelo y aplicación de las enmiendas recomendadas según los resultados de estos análisis. Sin embargo, es prácticamente nulo el uso de criterios relacionados con los procesos físicos y biológicos que también están presentes en el suelo y que juegan un papel fundamental en los niveles de productividad obtenidos en los cultivos.

Un suelo de buena calidad, desde el punto de vista de los procesos físicos, es el que permite que ocurran en su interior: a) la filtración del agua y su fácil distribución alrededor del espacio

físico que ocupa el sistema radical de las plantas, y b) la penetración de las raíces en el suelo durante el crecimiento de la planta. Por otra parte, un suelo considerado "malo" desde el punto de vista físico es un suelo que no permite la entrada del agua ni su fácil distribución, y no es fácilmente deformable por las raíces cuando tratan de penetrar en suelo, por lo tanto, el desarrollo de la planta se ve afectado.

En relación con los procesos "orgánicos", un suelo es considerado de buena calidad cuando su contenido de materia orgánica es superior al 5%, y es malo cuando es inferior al 5%, lo que lo torna difícil de laborar y susceptible a la degradación.

En algunas de las más importantes regiones productoras de yuca en Colombia (Costa Atlántica, Valle del Cauca, Altillanura), los sistemas de producción que se han establecido tienen un manejo adecuado de los aspectos químicos (fertilidad) de los suelos; pero, en forma general, se desconoce o no se le da la importancia que requiere al manejo de los aspectos relacionados con los procesos físicos y orgánicos que ocurren en el suelo.

Se busca iniciar un proceso de generación y transferencia de paquetes tecnológicos, basados en el concepto de "capa arable sostenible" como un requisito fundamental para garantizar la rentabilidad, alta productividad y la sostenibilidad de los sistemas de producción de yuca.

Metodología

La metodología propuesta para la implementación de este proyecto se basa en el concepto de construcción de "capa arable productiva" que se ha venido desarrollando y empleando en el proyecto de Suelos del CIAT, liderado por el Dr. Edgar Amézquita.

El desarrollo de una "capa arable productiva" en un determinado suelo incluye dos fases:

Fase I: Diagnóstico y evaluación de las limitaciones físicas, químicas y biológicas del suelo, complementado con la aplicación de medidas para controlarlas.

Fase II: En la que se planifican y se implementan las prácticas de manejo del suelo y de manejo de los cultivos que conducen a su mejoramiento.

Después de cierto tiempo de aplicar medidas de control de las limitaciones y medidas de buen manejo del suelo, se habrán mejorado sustancialmente las condiciones. De ahí en adelante, se trata de mantener estas condiciones mejoradas como un requisito fundamental para el desarrollo de una agricultura productiva y sostenible.

Las Figuras 1, 2 y 3 representan, esquemáticamente, las fases que incluye la metodología propuesta para su implementación.

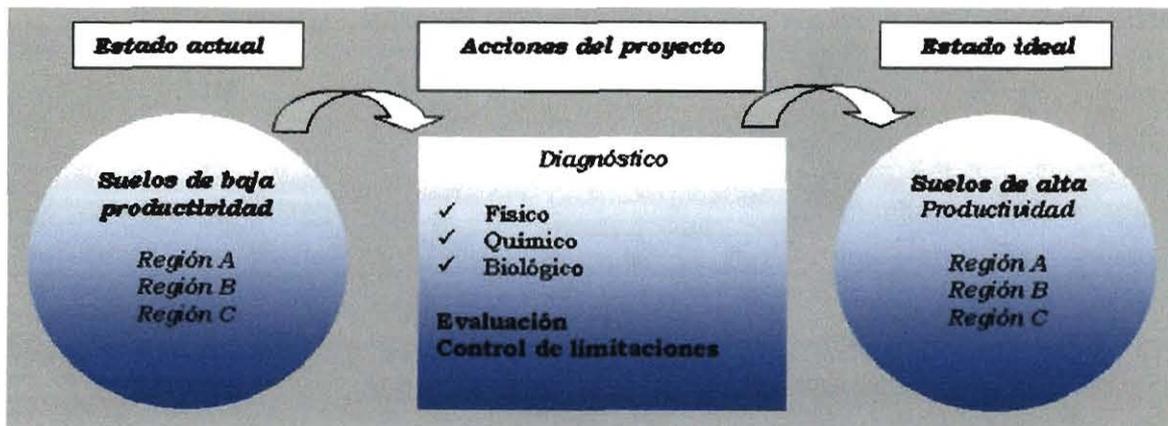


Figura 1. Las prácticas de mejoramiento del suelo, durante un lapso de tiempo, ayudan a obtener suelos más productivos.

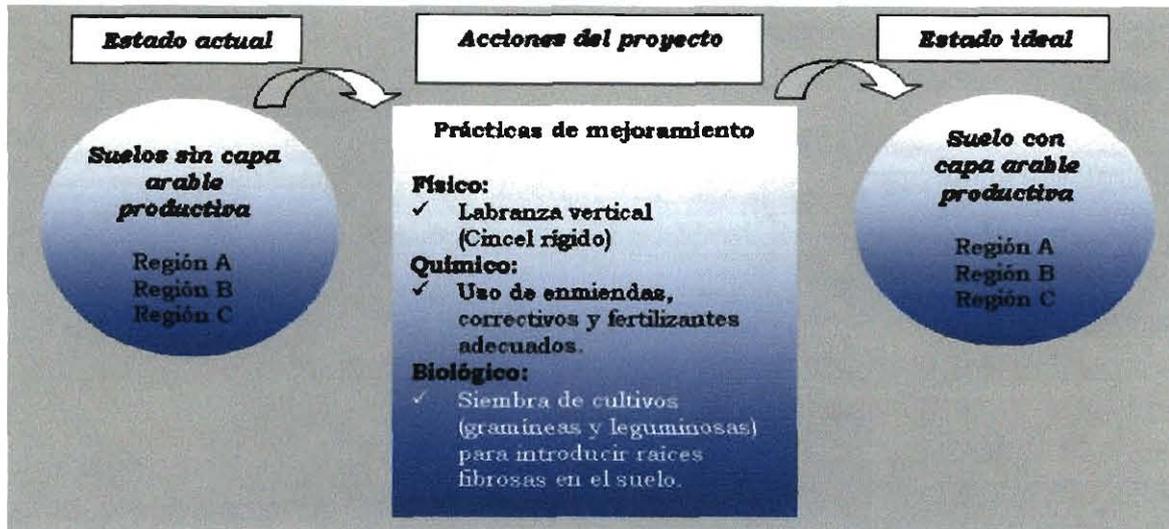


Figura 2. La obtención de un suelo con "Capa Arable Productiva" se logra a través del tiempo, con prácticas planificadas de mejoramiento físico, químico y biológico.

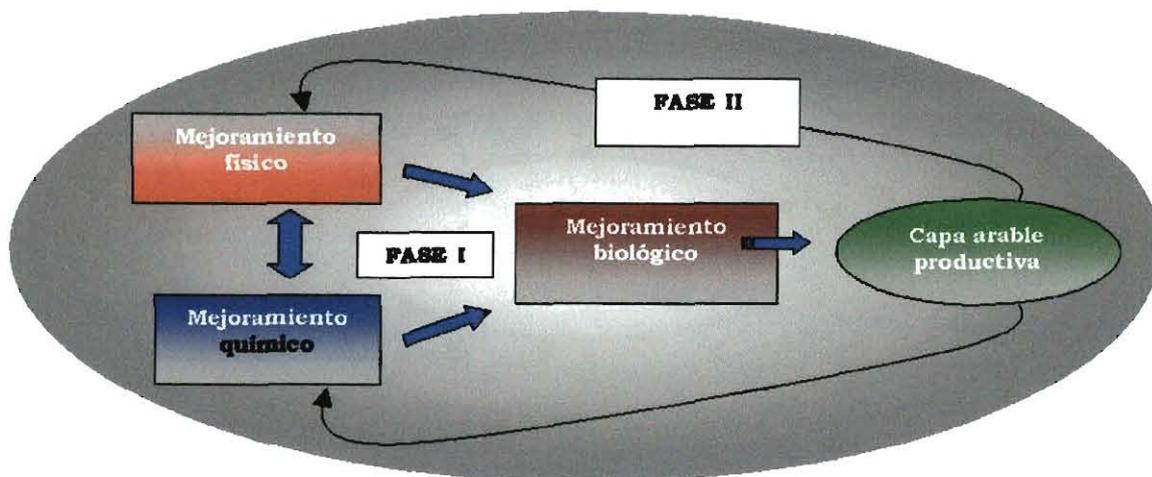


Figura 3. El mejoramiento físico, junto con el mejoramiento químico, conduce al mejoramiento biológico y se llega a la formación de la capa arable productiva.

Productos

Diagnóstico del estado actual de los suelos en las regiones de influencia del proyecto

El proyecto pretende tener influencia en los departamentos de Córdoba, Valle del Cauca y Casanare. No existe para estas zonas de tradición yuquera un estudio actualizado del efecto que ha tenido la aplicación de sistemas agrícolas altamente mecanizados en la productividad y sostenibilidad del suelo y del cultivo. Se realizará un estudio detallado de las características físicas y químicas en áreas representativas de los principales suelos agrícolas de la región, mediante muestreos adecuados. La información obtenida se utilizará para elaborar un diagnóstico que ayude a definir la situación actual de los suelos en las regiones seleccionadas.

Implementación de ensayos piloto para generar y adaptar una metodología de trabajo basada en el uso de sistemas alternativos de labranza para el cultivo de la yuca y en el manejo adecuado de los suelos y de los cultivos de yuca, con el objetivo de facilitar la formación y la conservación de una capa arable sostenible.

Se desconoce el comportamiento del cultivo de la yuca y de los suelos de estas regiones frente a sistemas de labranza no convencionales. Los agricultores realizan labores tradicionales de preparación de los suelos y, generalmente, son escépticos frente a los cambios de tecnología y no reconocen que las prácticas inadecuadas de manejo del suelo y del cultivo pueden generar, a largo plazo, daños irreversibles. A partir de los resultados obtenidos en la evaluación del estado actual de los suelos, se diseñarán e implementarán ensayos piloto en las áreas del proyecto,

basados en prácticas alternativas de manejo del suelo y del cultivo de la yuca. Estos ensayos se realizarán a escala comercial, en áreas representativas y con participación activa de los productores de yuca de cada región.

Análisis del impacto ambiental y económico resultante de la introducción de métodos alternativos y sostenibles de labranza del suelo en el cultivo de la yuca

La introducción de métodos alternativos de labranza y manejo de la fertilidad del suelo tiene el potencial de ayudar a disminuir los costos de producción, mejorar los rendimientos agronómicos, la rentabilidad del cultivo y la sostenibilidad del sistema agrícola. Además, su impacto ambiental puede ser benéfico para el suelo, el cultivo y el ecosistema en general, sobre la base del mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Se determinarán los efectos económicos y ambientales de la introducción de sistemas alternativos de labranza y manejo de la fertilidad del suelo.

Actividades de divulgación, capacitación y distribución de información relevante a grupos de productores, técnicos, profesionales y otros sectores interesados en el desarrollo de sistemas sostenibles de producción de yuca

Se plantea la realización de eventos como cursos y días de campo, complementados con la elaboración de materiales divulgativos para facilitar que los resultados obtenidos en este proyecto tengan la máxima divulgación posible y sean asimilados y utilizados por el mayor número posible de

productores de yuca en las regiones de influencia del proyecto.

Se plantea también la incorporación de los resultados obtenidos en este proyecto en los eventos de capacitación que se realizarán en el presente año, para estimular en la masa crítica de técnicos que trabajan con la yuca en Colombia la toma de conciencia frente a la importancia del manejo apropiado de los suelos y los cultivos para garantizar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Actividades

Producto 1: Evaluación práctica de las características físicas y químicas de los suelos en las regiones de influencia del proyecto.

- Selección de lotes en las áreas de influencia
- Toma de muestras del suelo
- Determinaciones en laboratorio
- Seguimiento en el tiempo
- Niveles críticos (comparativos)
- Interpretación de los resultados de laboratorio

Producto 2: Implementación de ensayos piloto para generar metodologías de formación de una capa arable sostenible y sistemas alternativos de labranza para el cultivo de la yuca

- Formulación de ensayos a largo plazo
- Selección de tratamientos
- Tamaño de parcela
- Diseño experimental
- Seguimiento y evaluación
- Análisis estadístico

Producto 3: Actividades de divulgación, capacitación y distribución de información relevante a grupos de productores, técnicos, profesionales y otros sectores interesados en el desarrollo de sistemas sostenibles de producción de yuca.

- Resumen de la información
- Edición, publicación
- Promoción y divulgación
- Días de campo, seminarios, cursos, reuniones, congresos

Desarrollo de los productos



Producto 1: Evaluación práctica de las características físicas y químicas de los suelos en la región de influencia del proyecto

El ensayo se realizó en dos sitios del departamento del Valle del Cauca: Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT y en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), ubicados en el municipio de Palmira, Valle del Cauca, Colombia, situados a 30 30' Norte, 760 21' Este y a 965 msnm, con 24°C de temperatura promedio anual, 1000 mm de precipitación promedio anual, 76% de humedad relativa media mensual, 172 horas de brillo solar mensual y 141.2 mm de evaporación media mensual. El clima de la zona corresponde al de bosque seco tropical

(bs-T). La distribución de lluvias es bimodal con épocas de mayor precipitación de mayo a junio y de septiembre a diciembre (Viveros A y Jaramillo O, 2003).

Se escogió un lote dentro de las instalaciones del CIAT (P2 Sur) y otro en Corpoica (Lote 9), donde se realizó la toma de muestras de suelo por tratamiento para las dos localidades (Figura 4) al inicio del ensayo, con el fin de conocer el estado actual de la fertilidad del suelo (disponibilidad de nutrientes) y algunas de sus propiedades físicas (Tabla 1).



Materiales para muestra de suelo.



Inserción del barreno.



Submuestra de suelo.



Muestra homogénea disturbada de suelo.



Empaque de la muestra.



Tamaño de la muestra (500g).

Figura 4. Toma de muestras de suelo por tratamiento en el lote P2 Sur del CIAT y en el Lote 9 de Corpoica.

Tabla 1. Análisis físico - químico de suelos en los sitios donde se realizaron los ensayos.

CIAT													
	g/kg		cmol(+)/kg					mg/kg					g/cc
	M.O	pH	K	Ca	Mg	Na	CIC	P	S	B	Zn	Tex	Da
Tratamiento *													
1	28.0	6.32	0.58	14.0	10.78	0.28	25.8	4.58	36.02	1.0	5.38	Ar	1.52
2	28.0	6.52	0.61	13.07	10.30	0.26	24.4	3.74	31.31	1.1	5.88	Ar	1.69
3	32.0	6.62	0.62	15.11	13.66	0.26	28.8	3.14	26.88	1.1	4.03	Ar	1.52
4	27.0	6.72	0.76	13.12	9.34	0.19	23.6	4.71	26.11	1.1	6.70	Ar	1.67
Corpoica													
1	49.0	6.79	0.64	12.63	13.99	0.32	25.8	54.95	45.33	1.25	6.19	Ar	1.36
2	47.6	6.85	0.73	13.06	12.08	0.18	25.2	66.05	42.73	1.43	7.25	Ar	1.55
3	49.8	6.85	0.51	12.21	14.96	0.42	26.0	36.01	39.94	1.24	6.33	Ar	1.4
4	49.0	6.83	0.59	12.56	15.59	0.44	25.8	53.89	48.49	1.36	6.23	Ar	1.37

* Tratamientos: (1) Convencional, (2) Abono verde, (3) siembra directa, (4) Cincel

Para la interpretación de los resultados se tomó como punto de partida los niveles críticos de parámetros del suelo establecidos para yuca (Howeler H, 1981; Cadavid LF, 2002). En la Tabla 2 se pueden observar estos parámetros.

Tabla 2. Niveles críticos de parámetros del suelo para yuca.

	(%)	mg/kg					cmol(+)/kg		
pH	Sat Al	P	S	Zn	B	Mn	K	Ca	Mg
4-7.8	80	10	8	1.0	0.10	6	0.15	0.25	0.12

N-Total(%)	Nivel de disponibilidad
0.0015-0.10	Muy pobre
0.10-0.15	Pobre
0.15-0.25	Mediano
0.25-0.30	Rico
Mayor 0.30	Muy rico

Fuente: Howeler H, 1981; Cadavid LF, 2002.

La Tabla 3 muestra los resultados de la interpretación de los análisis de suelos de los sitios donde se establecieron los ensayos.

Tabla 3. Interpretación del análisis físico - químico de suelos en los sitios donde se realizaron los ensayos.

CIAT												
Tratamiento	<i>g/kg</i>	pH	P	S	<i>mg/kg</i>			<i>cmol(+)/kg</i>				<i>g/cc</i>
	MO				B	Zn	K	Ca	Mg	Na	CIC	da
1	M-B	LA*	B	A	MA**	MA**	A	A	A	M	A	C***
2	M-B	LA*	B	A	MA**	MA**	A	A	A	M	A	C***
3	M	LA*	B	A	MA**	MA**	A	A	A	M	A	C***
4	M-B	LA*	B	A	MA**	MA**	A	A	A	M	A	C***
CORPOICA												
1	MA	LA*	A	A	MA**	MA**	A	A	MA	M	A	LG
2	MA	LA*	A	A	MA**	MA**	A	A	MA	M	A	LG
3	MA	LA*	A	A	MA**	MA**	A	A	MA	M	A	LG
4	MA	LA*	A	A	MA**	MA**	A	A	MA	M	A	LG
	MA	LA*	A	A	MA**	MA**	A	A	MA	M	A	LG

Convenciones

B	Bajo
M	Medio
A	Alto
LA*	Ligeramente ácido
MA**	Muy alto
C***	Compactación
LG	Ligera compactación

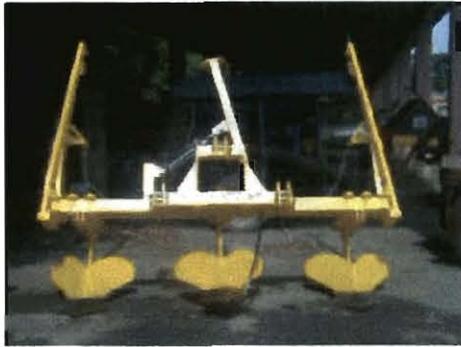


Figura 6. Caballones e implemento para hacer caballones.

Como material de siembra para los dos sitios se usó la variedad MCol 1505 (verdecita) en cada uno de los sitios seleccionados (Figura 7), se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (Tabla 4) y tres repeticiones, evaluando las propiedades del suelo en tres rangos de profundidad (0-10, 10-20, 20-30 cm) en dos épocas: antes y después de la preparación. Considerando las

diferencias en la composición de suelos de los dos sitios y la natural variabilidad existente entre los niveles de profundidad, se realizó un análisis de varianza combinando los datos a través de épocas como se observa en la Tabla 5.

Las fechas de siembras y las variables de rendimiento de raíces y follaje (a los 10 meses después de siembra) se observan en la Tabla 6.



Figura 7. Cultivar MCol-1505.

Tabla 5. Estructura del modelo de análisis de varianza utilizado.

Fuente de variación	Grados de libertad
Época	1
Repetición (época)	3
Tratamiento	3
Época *tratamiento	3
Repetición *Tratamiento (Época)	12
Total	22

Tabla 6. Fecha de siembra y variables a determinar.

Lugar Sitio	Palmira, Valle del Cauca, Colombia	
	CIAT	CORPOICA
Fecha de siembra	Septiembre 12/02	Septiembre 24/02
Fecha de muestreo y toma de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Antes de siembra • 4 meses después de siembra (muestras de suelo) • Cosecha a los 6 y 10 meses 	
Variables a determinar	Al suelo	
	Susceptibilidad a compactación, densidad aparente, porosidad total, humedad de campo, macroporos, penetrabilidad, resistencia al corte.	
	Al cultivo	
	Rendimiento fresco raíces y follaje, rendimiento seco raíces y follaje, % de materia seca de raíz y follaje.	

En las Figuras 8 a la 15 se observa una secuencia entre preparación y siembra del cultivo.



Figura 8. Desbrozada de malezas



Figura 9. Empleo de rome.



Figura 10. Empleo de cincel rígido.



Figura 11. Establecimiento de abono verde (Crotalaria juncea).



Figura 12. Siembra con sembradora Planti Center PC-20 de dos líneas.



Figura 13. Dispositivo de siembra directa.



Figura 14. Semilla en siembra directa.



Figura 15. Panorámica de uno de los tratamientos ya brotados.



Figura 16. Implementos para determinaciones físicas del suelo.

Los muestreos para determinaciones físicas de los suelos base de los ensayos se realizaron antes y después de establecido el cultivo; se tomaron muestras con anillos de 5 y 2.5 centímetros de altura; cada tratamiento tuvo tres repeticiones y en cada repetición se realizaron tres lecturas a tres (3) profundidades 0-10, 10-20, 20-30 centímetros; para un total de 72 anillos. Estos anillos se llevaron al laboratorio de física de suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) para determinar: densidad aparente, densidad real, permeabilidad al aire, susceptibilidad a la compactación, porosidad total; además, se realizaron muestras de penetrabilidad y resistencia al corte (Figura 16)

Densidad aparente (g/cc): se determinó por el método establecido de Forsythe (1985), de cilindro con un volumen conocido (2.5 cm de diámetro interno x 5 cm de altura), que consiste esencialmente en tomar una muestra de suelo sin disturbar y secarla a 105°C por 24 horas (Figura 17). La densidad se determina por la fórmula:

$$d_a = P_s/V_c, \text{ g/ cc}$$

Donde,

da: Densidad aparente, g/ cc
 Ps: Peso del suelo seco a 105°C,
 Vc: Volumen del cilindro (volumen suelo), cc



Figura 17. Muestras de densidad aparente en un horno.

Penetrabilidad (kgf/cm²): esta prueba se realizó con el penetrógrafo (mide capas compactadas, resistencia al desarrollo radical) de cono Daiki, hasta 60 centímetros de profundidad, que corresponden a la máxima profundidad alcanzada por este instrumento. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones y en cada repetición se realizaron tres lecturas, se tomaron doce (12) gráficos y se llevaron al laboratorio de Física de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), para sus respectivos análisis (Figura 18).

Resistencia al corte: se determina con el torcómetro y mide resistencia tangencial al corte del suelo. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones y en cada repetición se realizaron tres lecturas a tres (3) profundidades 0-10, 10-20, 20-30 centímetros (Figura 19).



Figura 18. Penetrógrafo Daiki.



Figura 19. Torcómetro

Después de la siembra se realizaron las prácticas agronómicas del cultivo: control de malezas preemergente, fertilización según análisis de suelo e

interpretación (Tabla 1 y 3), control de plagas y riegos complementarios en los lotes del CIAT-Palmira (Figuras 20 a la 23)



Figura 20. Control de malezas manual.



Figura 21. Control de plagas.



Figura 22. Riego por gravedad.



Figura 23. Fertilización.

Posteriormente, a los 6 meses se realizó una cosecha donde se evaluó rendimiento, se tomaron muestras de tejido vegetal (hojas, tallos, pecíolos y raíces) (Figuras 24 a la 28) y se

enviaron al laboratorio de servicios analíticos del CIAT para la determinación de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, a su vez, determinación de área foliar.



Figura 24. Deshoje.



Figura 25. Toma de peciolo.



Figura 26. Raíces de los tratamientos 1 y 2.



Figura 27. Muestra de tallos.



Figura 28. Picado de muestras.

Cada tratamiento se subdividió en tres partes (tres repeticiones) y en cada sección se tomaron tres plantas al azar para evaluación de rendimiento; después estos datos se llevaron a rendimiento por planta (kg/planta) y los datos de laboratorio en g/kg (%) se convirtieron a kg/ha para evaluar la absorción de cada órgano y después la absorción total por tratamiento.

A los 10 meses se realizó la cosecha definitiva de raíces y follaje (Figura 29) donde cada tratamiento tuvo tres repeticiones con tres submuestras o parcelas de 25 m² por repetición. Estos valores en kg/25 m² se llevaron a t/ha para obtener datos de rendimiento.

Se tomaron submuestras para determinar materia seca en raíz y follaje y obtener peso seco (t/ha).



Figura 29. Cosecha de raíces y follaje de yuca.



Absorción de nutrimentos y acumulación de materia seca en los diversos órganos del cultivo de la yuca a los seis meses después de siembra en suelos del CIAT-Palmira

Acumulación de materia seca en las raíces, tallos, lámina foliar y peciolo

La Tabla 7 muestra los datos de acumulación de materia seca en las raíces, en suelos de CIAT-Palmira. Se observa que el contenido a los seis meses después de siembra, independiente del tratamiento, estaba cercano al 38%, indicando que a esta edad las plantas habían producido más del 50% de su materia seca y podría considerarse como un cultivar de ciclo corto (7-8 meses).

En tallos, el porcentaje de materia seca está alrededor del 22%, en la lámina foliar en promedio 30 % y en peciolo 22%. (Tablas 8, 9 y 10)

Concentración y contenido de nutrimentos en las raíces, tallos, peciolo y lámina foliar

La Tabla 7 indica la concentración de nutrimentos en raíces del cultivar MCol-1505 en suelos de CIAT-Palmira. La concentración de nutrimentos en raíces tuberosas (g/kg) fue mayor en el tratamiento de siembra directa, excepto para potasio (mayor en el tratamiento con el abono verde) siendo mayor la concentración de potasio seguido en su orden de N, P, Mg, Ca, S.

Al analizar la absorción total (kg/ha) en este órgano, se observa (Tabla 7) como en el tratamiento con cincel se encontró la mayor absorción para P, Ca, Mg, S y en el tratamiento con abono verde la mayor absorción fue para N, K (54.1% y 72.2%, respectivamente).

La absorción de Ca y Mg en este órgano es pequeña con relación a los tallos y las hojas (Tabla 8, 9 y 10). Considerando los tallos (Tabla 8), la mayor concentración de nutrimentos fue con el tratamiento abono verde (K, Mg) y convencional (N, Ca, S). En el caso del fósforo la mayor concentración fue en el tratamiento de siembra directa. En contraste, la mayor absorción de nutrimentos (Tabla 8) se registró en el tratamiento abono verde.

El orden de concentración de nutrimentos independiente del tratamiento fue $Ca > N > Mg > K > S > P$ y la absorción siguió el mismo comportamiento.

Al observar los datos de concentración de nutrimentos en peciolo (Tabla 9), se pudo observar que la mayor concentración se consigue con el tratamiento de abono verde (K, Mg, S) y con siembra directa (P, Ca). Con el nitrógeno la mayor concentración fue para la labranza convencional; el orden de concentración de nutrimentos independiente del tratamiento es: $Ca > Mg > N > K > P > S$. Si se analizan los datos de absorción, el tratamiento con abono verde presentó la mayor absorción con respecto al N, K, Mg, S y con siembra directa para P y Ca (Tabla 9).

Para lámina foliar (Tabla 10), la mayor concentración se observa con el tratamiento de abono verde (K y Ca), tratamiento de labranza convencional N, S. El orden de concentración es: $N > Ca > K > Mg > P > S$.

En relación con la absorción, el tratamiento con abono verde presentó

la mayor absorción para N, K, Ca, Mg, S y para P con el tratamiento de siembra directa. El patrón de absorción sigue el mismo orden que el de la concentración (Tabla 10).

Si analizamos la absorción total (sumatoria de tallos, hojas, raíces) (Tabla 11) vemos como con el tratamiento de abono verde se consigue la mayor absorción para los elementos evaluados, en su orden, la mayor absorción fue para : N (141 kg/ha) > K (112 kg/ha) > Ca (80 kg/ha) > Mg (62 kg/ha) > P(27.8 kg/ha) > S(14.4 kg/ha)

Es muy posible que el tratamiento de abono verde presentó mayor disponibilidad de nutrientes en el

suelo por el efecto benéfico de la crotalaria y esto, a su vez, contribuyó a una mayor absorción de nutrientes con un posible aumento en el rendimiento, comparados con los demás tratamientos. El rendimiento promedio a esta edad de la planta (2.6 kg/planta) fue superior y se espera que el rendimiento final siga el mismo comportamiento.

Como nota importante, es bueno aclarar que después de los cinco a los seis meses de edad algunos nutrientes como el N, P, K disminuyen su concentración en raíces y lámina foliar y en tallos y pecíolos, por el contrario, ha aumentado la concentración de calcio y magnesio.

Tabla 7. Rendimiento (materia seca), concentración (g/kg) y contenido (kg/ha) de nutrimentos en raíces de yuca en suelos de CIAT, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Tratamiento	kg/planta fresca	% materia seca	kg/planta seca	Concentración g/kg						Contenido kg/ha					
				N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
1	2.17	38.53	0.84	5.70	1.62	6.4	0.90	1.23	0.45	46.9	13.7	55.1	7.34	10.2	3.78
2	2.64	38.4	1.01	5.44	1.71	7.11	0.78	1.08	0.39	54.1	17.1	72.2	7.81	10.8	3.92
3	1.34	36.2	0.48	6.31	2.1	6.81	1.15	1.49	0.54	30.4	10.0	32.9	5.58	7.17	2.61
4	2.69	38.1	1.03	6.14	1.8	6.72	0.81	1.13	0.42	62.7	18.5	69.3	8.18	11.6	4.27
Promedio	2.21	37.8	0.84	5.89	1.8	6.76	0.91	1.3	0.45	48.5	14.8	57.3	7.22	9.97	3.64

Tabla 8. Materia seca (kg/planta), concentración (g/kg) y contenido (kg/ha) de nutrimentos en tallos de yuca en suelos de CIAT, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Tratamiento	kg/planta fresca	% materia seca	kg/planta seca	Concentración g/kg						Contenido kg/ha					
				N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
1	0.96	18.67	0.18	11.1	2.09	6.20	13.1	9.45	2.26	19.9	3.76	11.2	23.7	16.5	4.07
2	1.24	22.4	0.28	10.7	1.89	7.58	10.9	9.84	2.07	29.5	5.24	21.3	30.4	27.2	5.7
3	0.60	22.2	0.13	10.2	3.14	5.32	9.81	8.66	2.07	13.7	4.27	7.42	13.3	11.3	2.77
4	0.92	22.27	0.21	10.7	2.1	5.37	11.9	9.02	2.24	22.6	4.38	10.8	25.2	17.8	4.72
Promedio	0.93	21.38	0.2	10.6	2.3	6.11	11.4	9.24	2.16	21.4	4.41	12.6	23.1	18.3	4.31

Tabla 9. Materia seca (kg/planta), concentración (g/kg) y contenido (kg/ha) de nutrimentos en pecíolos de yuca en suelos de CIAT, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Tratamiento	kg/planta fresca	% materia seca	kg/planta seca	Concentración g/kg						Contenido kg/ha					
				N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
1	0.22	20.0	0.04	9.82	1.84	5.05	24.3	15.85	1.12	4.45	0.79	2.31	11.0	6.95	0.51
2	0.25	22.5	0.06	9.43	1.56	6.49	21.9	17.05	1.16	5.14	0.88	3.75	11.9	9.58	0.61
3	0.25	21.37	0.05	9.0	2.51	4.82	24.9	16.95	1.11	4.76	1.35	2.66	13.7	8.86	0.58
4	0.22	25.6	0.06	9.05	1.93	4.45	25.3	16.89	1.11	4.97	1.09	2.44	13.9	9.59	0.61
Promedio	0.23	22.36	0.05	9.32	1.96	5.2	24.0	16.6	1.12	4.83	1.02	2.79	12.63	8.74	0.57

Tabla 10. Materia seca (kg/planta), concentración (g/kg) y contenido (kg/ha) de nutrimentos en láminas foliares de yuca en suelos de CIAT, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Tratamiento	kg/planta fresca	% materia seca	kg/planta seca	Concentración g/kg						Contenido kg/ha					
				N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
1	0.57	25.54	0.15	36.5	2.92	8.42	18.2	7.25	2.76	52.3	4.22	12.2	26.7	10.7	3.99
2	0.53	31.28	0.16	32.4	2.79	9.07	18.0	8.67	2.58	52.4	4.48	14.7	29.3	14.2	4.18
3	0.51	29.47	0.15	34.3	3.10	7.60	16.8	8.07	2.57	50.9	4.59	11.4	24.9	11.6	3.82
4	0.40	35.09	0.14	31.4	2.81	8.11	19.5	8.34	2.56	43.8	3.87	11.4	27.4	11.2	3.55
Promedio	0.50	30.34	0.15	33.6	2.9	8.3	18.1	8.08	2.61	49.9	4.29	12.4	27.1	11.9	3.88

Tabla 11. Contenido total de nutrimentos (kg/ha) de la variedad MCol-1505 en suelos de CIAT, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Tratamiento	Contenido nutricional kg/ha					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Convencional	123.69	22.48	80.81	68.89	44.65	12.35
Abono verde	141.14	27.76	112.01	79.55	61.95	14.41
Siembra directa	99.33	20.23	57.66	57.66	39.01	9.78
Cincol	134.25	27.88	94.01	74.85	50.29	13.15

Absorción de nutrimentos y acumulación de materia seca en los diversos órganos del cultivo de la yuca a los seis meses después de siembra en suelos de Corpoica-Palmira

Acumulación de materia seca en las raíces, tallos, lámina foliar y pecíolos

La Tabla 12 reseña los datos de acumulación de materia seca en las raíces en suelos de Corpoica-Palmira. Se observa que en promedio, e independiente del tratamiento, el porcentaje de materia seca estaba alrededor del 32% y, a esta edad, las plantas habían producido menos del 50% de su materia seca considerándose como un cultivo de ciclo medio (10-12 meses). Se observa que los tratamientos con labranza convencional y abono verde presentan mayor materia seca y, por ende, mayor rendimiento.

En tallos, el porcentaje de materia seca está alrededor del 20%, en pecíolos del 19 % y en láminas foliares cercanos al 30% (Tablas 13, 14 y 15). La Tabla 12 indica también la concentración y el contenido de nutrimentos en raíces del cultivar MCol-1505. La concentración de nutrimentos en raíces tuberosas fue mayor con el tratamiento de siembra directa, excepto para nitrógeno (tratamiento con cincel), siendo mayor la concentración de potasio; en su orden, el comportamiento de los otros nutrimentos fue: N>P>Mg>Ca>S.

Con relación a la absorción total (kg/ha) en este órgano, se observó (Tabla 12) como con el tratamiento con abono verde se encontró la mayor absorción para todos los nutrimentos y la menor para el tratamiento de siembra directa.

La absorción de calcio y magnesio en las raíces es pequeña con relación a tallos y hojas (Tablas 13, 14 y 15), aunque la absorción de azufre y fósforo es muy pequeña en pecíolos en

relación con raíces, tallos y láminas foliares (Tabla 14).

Si consideramos los tallos (Tabla 13), la mayor concentración de nutrimentos fue con el tratamiento de siembra directa, excepto para magnesio en tratamiento convencional y cincel. En contraste, la mayor absorción de nutrimentos (Tabla 13) se registró con el tratamiento de abono verde. El orden de concentración de nutrimentos, independiente del tratamiento, fue: N>Ca>K>Mg>S>P y la absorción registró el mismo comportamiento.

La concentración de nutrimentos en los pecíolos (Tabla 14), reseña cómo la mayor concentración se registra con el tratamiento de siembra directa y el orden de concentración independiente del tratamiento fue: Ca>Mg>N>K>P>S. En los datos de absorción (Tabla 14), el tratamiento con abono verde presentó el mayor contenido de nutrimentos y el patrón de distribución fue similar a la concentración independiente del tratamiento. El azufre presenta los menores contenidos en este órgano.

Para láminas foliares (Tabla 15), la mayor concentración se observa con el tratamiento de siembra directa (N, P, K, S) y de abonos verdes (Ca, Mg). El orden de concentración es: N>Ca>K>Mg>p>S.

En relación con la absorción, el tratamiento con abono verde presentó el mayor contenido para todos los nutrimentos (Tabla 15). El patrón de absorción es similar al de la concentración.

La Tabla 16 consigna los datos de absorción total (sumatoria de raíces, tallos, pecíolos y lámina foliar). Se observa cómo con el tratamiento de abonos verdes se consigue la mayor absorción de nutrientes, en su orden: N (217 kg/ha) > K (142 kg/ha) > Ca (121 kg/ha) > Mg (78 kg/ha) > P (36 kg/ha) > S (21 kg/ha).

Con el tratamiento de siembra directa se consignan los menores contenidos

(Tabla 16), y este factor puede ser positivo en términos de conservación y degradación del suelo.

Como nota importante, es bueno aclarar que después de los cinco a los seis meses de edad algunos nutrientes como el N, P, K disminuyen su concentración en raíces y lámina foliar y, en tallos y pecíolos, por el contrario, ha aumentado la concentración de calcio y magnesio.

Tabla 12. Rendimiento (materia seca), concentración (g/kg) y contenido (kg/ha) de nutrimentos en raíces de yuca en suelos de Corpoica, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Tratamiento	kg/planta fresca	% materia seca	kg/planta seca	Concentración g/kg						Contenido kg/ha					
				N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
1	2.78	33.63	0.93	5.52	1.54	6.87	0.81	1.07	0.42	51.2	14.4	64.3	7.53	10.0	3.91
2	3.16	34.53	1.09	6.45	1.77	7.74	0.83	1.12	0.50	69.9	19.2	84.2	9.0	12.2	5.48
3	1.89	29.07	0.55	6.99	2.09	8.68	0.89	1.15	0.50	38.1	11.4	47.2	4.85	6.30	2.72
4	2.47	31.83	0.79	7.11	1.92	8.55	0.75	1.07	0.60	55.0	15.1	66.5	5.96	8.32	4.67
Promedio	2.57	32.26	0.84	6.51	1.83	7.96	0.82	1.10	0.50	53.6	15.0	65.5	6.83	9.21	4.19

Tabla 13. Materia seca (kg/planta), concentración (g/kg) y contenido (kg/ha) de nutrimentos en tallos de yuca en suelos de Corpoica, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Tratamiento	kg/planta fresca	% materia seca	kg/planta seca	Concentración g/kg						Contenido kg/ha					
				N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
1	1.39	19.0	0.26	11.6	1.68	7.35	8.98	7.02	2.62	30.4	4.42	19.3	23.6	18.5	6.89
2	1.71	21.0	0.36	11.6	1.96	8.14	8.91	6.55	2.23	41.4	6.97	29.3	32.4	23.1	7.92
3	1.06	16.67	0.18	14.4	2.61	9.51	9.36	6.31	2.67	25.0	4.59	16.5	16.3	11.2	4.64
4	1.30	21.47	0.28	14.1	2.09	7.47	8.03	7.14	2.49	38.9	5.84	20.9	22.9	19.2	6.92
Promedio	1.36	19.53	0.27	12.9	2.08	8.11	8.82	6.75	2.50	33.9	5.41	21.5	23.8	18.0	6.59

Tabla 14. Materia seca (kg/planta), concentración (g/kg) y contenido (kg/ha) de nutrimentos en peciols de yuca en suelos de Corpoica, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Tratamiento	kg/planta fresca	% materia seca	kg/planta seca	Concentración g/kg						Contenido kg/ha					
				N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
1	0.45	19.33	0.09	10.0	1.56	5.94	18.8	14.69	1.0	8.77	1.36	5.19	16.4	12.7	0.87
2	0.53	20.57	0.11	10.1	1.63	6.14	21.8	16.33	1.02	10.8	1.75	6.62	23.7	17.1	1.09
3	0.6	17.13	0.06	12.8	1.99	9.83	21.9	14.89	1.24	7.87	1.25	6.25	13.6	8.99	0.75
4	0.34	20.43	0.07	11.2	1.71	6.68	20.6	17.30	1.32	7.71	1.18	4.68	15.2	11.5	0.89
Promedio	0.48	19.36	0.08	11.0	1.72	7.14	20.7	15.8	1.14	8.78	1.38	5.68	17.2	12.5	0.9

Tabla 15. Materia seca (kg/planta), concentración (g/kg) y contenido (kg/ha) de nutrimentos en láminas foliares de yuca en suelos de Corpoica, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Tratamiento	Kg/planta fresca	% materia seca	kg/planta seca	Concentración g/kg						Contenido kg/ha					
				N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
1	0.77	25.54	0.20	36.1	2.87	8.96	17.4	8.18	2.51	71.4	5.65	17.6	34.3	16.0	4.97
2	0.87	31.28	0.27	34.7	2.8	8.17	20.4	9.47	2.45	94.3	7.61	22.2	55.4	25.2	6.65
3	0.59	29.47	0.17	42.5	3.39	10.7	15.2	7.03	2.88	75.2	6.03	19.2	26.5	12.0	5.03
4	0.54	35.09	0.19	34.8	2.9	8.77	17.8	8.84	2.54	66.6	5.58	16.7	35.5	16.6	4.8
Promedio	0.69	30.35	0.21	37.0	2.99	9.15	17.7	8.38	2.6	76.8	6.22	18.9	37.9	17.4	5.36

Tabla 16. Contenido total de nutrimentos (kg/ha) de la variedad MCol-1505 en suelos de Corpoica, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Tratamiento	Contenido nutricional kg/ha					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Convencional	161.8	25.82	106.5	81.94	57.4	16.6
Abono verde	216.53	35.54	142.4	120.73	77.7	21.1
Siembra directa	146.3	23.34	89.24	61.37	38.6	13.1
Cinzel	168.44	27.72	108.9	79.52	55.7	17.3

Rendimiento de raíces y follaje



Rendimiento de raíces y follaje (t/ha) del cultivar MCol-1505 en suelos de CIAT y Corpoica, Palmira, Valle del Cauca, Colombia

La Tabla 17 registra los datos de rendimiento fresco y seco (t/ha).

En suelos de CIAT, Palmira, para raíces frescas no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, aunque hubo un efecto positivo del tratamiento con abono verde (22 t/ha) y labranza convencional (20 t/ha) con relación a siembra directa y empleo de cincel. Si observamos los datos de raíces secas el resultado es similar. En cuanto a la materia seca (%) de las raíces, no hay diferencias significativas entre tratamientos.

Al considerar el follaje hay diferencias significativas entre tratamientos, siendo el de mejor comportamiento el de abono verde (17 t/ha) y el de menor comportamiento con empleo de cincel (7 t/ha), Tabla 17.

Los datos de rendimiento a los nueve meses coinciden, en parte, con la cosecha parcial a los seis meses especialmente para abono verde y labranza convencional tanto en raíces como en follaje.

Es posible que los datos de rendimiento (reales) a los 9 meses (Tabla 17) no coinciden con la cosecha a los seis meses (Tabla 7) debido al método de muestreo (aunque la respuesta a los tratamientos sí es igual), ya que para el segundo caso se tomaron tres plantas por sitio (repetición) y el primer caso, se tomaron 25 plantas por parcela por

sitio. Lo que quiere decir que con tres plantas se está subestimando la producción real y los muestreos deben realizarse con mayor número de plantas.

Se observa que en este tipo de suelos (vertisol) con presencia de arcilla pesadas y expandibles tipo 2:1 (vermiculita, montmorillonita) es necesario mover el suelo, la siembra directa y un pase de cincel no son suficientes.

En suelos de Corpoica, Palmira, y para raíces frescas no se observaron diferencias significativas entre tratamientos, pero hubo un ligero efecto del tratamiento con abono verde (26 t/ha) y labranza convencional (25 t/ha) con relación a siembra directa (23 t/ha) y uso de cincel (22 t/ha).

En cuanto a materia seca (%) de las raíces no hubo diferencias significativas entre tratamientos (2) y (3); siendo el de mayor producción el de abono verde con 20 t/ha y el de menor rendimiento, el de siembra directa con 15 t/ha, Tabla 17.

Al comparar los dos sitios donde se llevó a cabo la investigación, observamos que Corpoica presentó los mejores rendimientos en cuanto a la producción de raíces y follaje, posiblemente por el estado nutricional del suelo (Tabla 1) y al tipo – molisol, que es más fértil.

Tabla 17. Rendimiento de raíces y follaje (t/ha) del cultivar MCol-1505 en suelos del CIAT y Corpoica, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

CIAT		Raíces		
Tratamientos	Peso fresco (t/ha)	% Materia seca	Peso seco (t/ha)	
1	19.97	41.35	8.25	
2	22.13	38.52	8.52	
3	15.97	39.02	6.23	
4	14.12	39.88	5.63	
		Follaje		
1	12.42	24.86	3.08	
2	16.90	26.74	4.51	
3	9.00	23.47	2.11	
4	6.67	25.71	1.71	
CORPOICA		Raíces		
Tratamientos	Peso fresco (t/ha)	% Materia seca	Peso seco (t/ha)	
1	25.72	41.97	10.79	
2	26.00	42.40	11.02	
3	22.67	40.45	9.17	
4	21.70	43.23	9.30	
		Follaje		
1	17.59	32.47	5.71	
2	20.48	32.06	6.56	
3	14.87	32.12	4.77	
4	15.57	30.80	4.79	



VARIABLES A NIVEL DEL SUELO PARA EL CIAT

Densidad aparente: para las diversas profundidades, tratamientos y épocas, varió entre 1.17 y 1.48 g/cc (abono verde y cincel) se observa que la densidad aumenta a medida que se profundiza y, con relación a los tratamientos, la siembra directa no mostró diferencia significativa entre épocas debido a que no hubo remoción del suelo (Tabla 18).

Para la profundidad 0-10, 10-20 y 20-30 centímetros, no hubo diferencias significativas entre épocas para ninguno de los tratamientos; excepto en el tratamiento (2). Se observa que entre 10-20 centímetros hay cierto grado de compactación y los tratamientos 2 y 4 ayudaron para disminuir la densidad aparente, posiblemente por descenso de esta compactación.

Porosidad total: presentó unos valores entre 41.16 y 54.24 %; para las profundidades evaluadas, éstos disminuyeron a medida que se profundiza en el perfil.

Es de importancia mencionar que la mayoría de los valores se encuentran por debajo del nivel crítico establecido (50%) posiblemente asociado a la compactación del suelo y a los altos valores en la densidad aparente.

En la profundidad de 0-10 cm, no hubo diferencias significativas para la interacción de épocas por tratamientos, pero sí hubo un ligero incremento en la porosidad, excepto con el tratamiento (2).

A una profundidad de 10-20 cm hubo diferencias significativas entre épocas, para los tratamientos (2) y (4); posiblemente este incremento se debe a la incorporación de materia orgánica

y el uso de la labranza vertical (cincel) que origina una ruptura de los agregados del suelo ocasionando una mejor aireación.

Se observa por los datos (Tabla 18), que a mayor profundidad menor porosidad, lo que se traduce en algún grado de compactación después de los 10-20 cm, especialmente hacia los 30 cm.

Macroporos: la Tabla 18 reseña valores que oscilan entre 4.28 y 23 % de la porosidad total; en general, hubo un incremento en los macroporos para todos los tratamientos, profundidades y épocas; con excepción en la profundidad 10-20 y 20-30 para los tratamientos (3), donde disminuyó levemente.

Registros inferiores del 10-15% indican que puede haber problemas con la infiltración del agua en el perfil del suelo ocasionando limitantes en el crecimiento de las plantas. Los tratamientos que más incrementaron estas variables fueron abono verde y cincel, esto quiere decir que el contenido de microporos en siembra directa y con el tratamiento convencional se incrementan y puede haber problemas de alta retención de agua y saturación.

Con la profundidad 10-20 cm hubo diferencias altamente significativas entre la interacción de época, para los tratamientos (2) y (4) en la profundidad 10-20 centímetros.

Para la profundidad 0-10 y 20-30 cm, no se registran diferencias significativas (Tabla 18)

Penetrógrafo: la Tabla 18 consigna datos entre 7.67 y 40.50 kgf/cm². Valores para las tres profundidades y cuatro tratamientos estuvieron por encima del nivel crítico establecido (15

kgf/cm²) antes de realizar la labranza (presembrado), es decir, que hay una alta resistencia a la penetración de raíces desde los 0 hasta los 30 centímetros (con valores entre 16.75 hasta 40.50 (kgf/cm²). Este factor puede incidir negativamente en el cultivo de yuca con descenso en el rendimiento.

A medida que se profundiza en el perfil, el suelo presenta mayor resistencia a la penetración, posiblemente a que esas zonas han sido menos removidas y existe alta compactación.

Posteriormente, cuando se utilizó el empleo de los tratamientos en el suelo, se observa que hay una alta respuesta, mejorando la penetrabilidad de las raíces.

Para las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 centímetros hubo diferencias significativas entre épocas para los tratamientos (1), (2), (4). El tratamiento 3, para todas las profundidades y épocas no hubo diferencias significativas, pero sí una leve respuesta en su interacción, posiblemente por el crecimiento de las raíces que ayuda a romper el suelo.

Resistencia al corte: al inicio del ensayo (antes de la preparación) se registraron valores desde 80 hasta 135.56 kPa indicando que existe una limitación extremadamente alta en los suelos ofreciendo restricciones para el desarrollo de cualquier raíz. En general, para esta época la resistencia se incrementa a medida que se profundiza sin importar los tratamientos (Tabla 18).

Luego, después de siembra se registraron valores que oscilaron entre 21.89 hasta 109.78 kPa, mostrando que hubo un efecto positivo en la implementación de los tratamientos.

La mayoría de los datos se ubicaron en la escala de medio a altos.

Los valores más altos se dieron con el tratamiento de siembra directa debido a que no hubo remoción del suelo durante todo el ciclo del cultivo, pero sí existió una disminución con relación a la época, posiblemente por el crecimiento de raíces que ayudaron a mejorar la aireación.

Para la profundidad de 0-10 y 10-20 hubo diferencias altamente significativas entre épocas para los tratamientos (1), (2), (3), (4).

Variables a nivel del suelo para el CORPOICA

Para los suelos de Corpoica - Palmira se observa que hubo poca respuesta de los tratamientos a las variables evaluadas debido a que estos lotes estuvieron en descanso por mucho años, caso contrario aconteció en el CIAT, donde estos lotes estuvieron en constante actividad durante más de treinta años (Tabla 19).

Las variables que mostraron diferencias significativas fueron:

Densidad aparente: según los datos de la Tabla 19 se observan valores en un rango entre 1.1 a 1.50 g/cc, reseñando que en la interacción de época por tratamientos y para las diferentes profundidades hubo registros que mostraron que existe cierta compactación.

Aunque para las profundidades de 10-20 y 20-30 cm no hubo diferencias significativas, se registró un efecto positivo en la disminución de la densidad aparente, para las épocas, debido a la remoción del suelo por parte de los tratamientos aplicados y al desarrollo de las raíces. Para la profundidad de 0-10 centímetros hubo diferencias

levemente significativas entre épocas para los tratamientos (1), (2), (4).

Porosidad total: la Tabla 19 reseña que hubo una diferencia altamente significativa entre épocas para los cuatro tratamientos, especialmente para cincel. Se observa cómo los valores de porosidad total se incrementan positivamente con el tratamiento después de ejecutar la labor.

Susceptibilidad a la compactación: por los datos de la Tabla 19, se

observa que antes de los tratamientos la susceptibilidad a la compactación de este suelo es significativamente alta (por encima del 90%). Después de ejecutada la labor de labranza, se observa cómo se disminuye la posibilidad de compactación especialmente con el tratamiento de abono verde y de cincel.

En algunos de los anexos se detalla los valores de los diferentes tratamientos a diferentes profundidades y en las dos épocas de muestreo.

Tabla 18. Variables físicas para el suelo del CIAT, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Profundidad (cm)	Tratamiento	Densidad aparente (g/cc)		Macroporos (%)		Porosidad total (%)		Penetrógrafo (kg F/cm ²)		Resistencia al corte (kg/cm ²)	
		Pre	Pos	Pre	Pos	Pre	Pos	Pre	Pos	Pre	Pos
0-10	1							19.71A	8.54C	122.22A	37.56D
	2							15.54B	7.67C	93.78B	21.56E
	3							16.75B	15.78B	98.22B	71.33C
	4							20.19A	4.42D	80.89C	36.0D
10-20	1	1.45A	1.37A	4.35D	9.74CBD	43.19CB	46.39CB	24.31A	12.31C	121.33A	54.89C
	2	1.37A	1.17B	12.81CB	23.40A	46.26CB	54.24A	25.78A	17.61B	96.5B	36.89D
	3	1.37A	1.47A	8.22CD	4.28D	46.32CB	41.36C	25.65A	25.05A	117.3A	96.0B
	4	1.46A	1.34A	6.96CD	15.62B	42.63C	48.34B	25.25A	8.67D	88.22B	46.67C
20-30	1	1.47A	1.41A			41.49B	44.60B	28.56CB	14.44E		
	2	1.20B	1.43A			52.45A	43.51B	40.50A	24.71D		
	3	1.40A	1.40A			44.38B	42.68B	29.0CB	26.89CD		
	4	1.4A	1.40A			41.16B	44.76B	30.58B	12.75E		

Tabla 19. Variables físicas para el suelo de Corpoica, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Profundidad (cm)	Tratamiento	Densidad Aparente (g/cc)		Susceptibilidad a la compactación (%)		Porosidad total (%)		Humedad de campo (%)	
		Pre	Pos	Pre	Pos	Pre	Pos	Pre	Pos
0-10	1	1.39A	1.15C	91.20BA	75.53C	44.65C	54.32A		
	2	1.37BA	1.14C	98.0A	75.07C	45.69BC	54.94A		
	3	1.20BC	1.22BC	90.07BA	86.67B	52.33BA	51.78BA		
	4	1.50A	1.14C	97.80A	76.67C	40.51C	54.90A		
10-20	1							15.03BC	13.73DC
	2							15.90BAC	14.82BC
	3							17.38BA	17.41BA
	4							17.86A	11.58D
20-30	1							15.19DC	12.34E
	2							16.28BC	14.01D
	3							17.72BA	16.85B
	4							18.88A	12.16E

Anexo 1

Significancia de los efectos principales en cada nivel de profundidad para CIAT

Profundidad	0-10 cm			10-20 cm			20-30 cm		
	E	T	ExT	E	T	ExT	E	T	ExT
Humedad de campo (%)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Susceptibilidad a la compactación (%)	*	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
Densidad aparente (gr/cc)	NS	NS	NS	NS	**	*	NS	NS	*
Porosidad total	NS	NS	NS	NS	**	**	NS	NS	*
Macroporos	NS	*	NS	*	***	*	NS	*	NS
Lectura penétrógrafo	***	***	*	***	***	**	***	***	**
Lectura torcómetro	***	***	***	**	***	***	***	***	NS

- 1/ E: Épocas
 2/ T: Tratamientos
 *** Diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$)
 ** Diferencias significativas ($0.01 < p \leq 0.05$)
 * Diferencias levemente significativas ($0.05 < p \leq 0.10$)
 NS Diferencias no significativas

Humedad de campo (%)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	19.99	18.31
	Abono verde (2)	14.69	19.51
	Siembra directa (3)	17.07	22.24
	Cinzel (4)	15.86	19.27
10-20	Convencional (1)	20.53	19.25
	Abono verde (2)	16.08	24.01
	Siembra directa (3)	19.23	17.89
	Cinzel (4)	17.66	20.69
20-30	Convencional (1)	20.16	21.75
	Abono verde (2)	18.05	19.61
	Siembra directa (3)	19.92	22.01
	Cinzel (4)	17.18	20.89

Susceptibilidad a la compactación (%)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	91.87	86.67
	Abono verde (2)	86.33	79.13
	Siembra directa (3)	83.8	83.13
	Cinzel (4)	86.07	77.93
10-20	Convencional (1)	96.53	87.8
	Abono verde (2)	95.13	84.13
	Siembra directa (3)	92.2	92.8
	Cinzel (4)	96.73	90.40
20-30	Convencional (1)	93.0	88.2
	Abono verde (2)	93.53	94.13
	Siembra directa (3)	94.27	95.8
	Cinzel (4)	98.07	93.47

Densidad aparente (g/cc)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	1.35	1.32
	Abono verde (2)	1.17	1.24
	Siembra directa (3)	1.26	1.26
	Cinzel (4)	1.28	1.22
10-20	Convencional (1)	1.45	1.37
	Abono verde (2)	1.37	1.17
	Siembra directa (3)	1.37	1.47
	Cinzel (4)	1.46	1.34
20-30	Convencional (1)	1.47	1.41
	Abono verde (2)	1.20	1.43
	Siembra directa (3)	1.40	1.40
	Cinzel (4)	1.48	1.40

Porosidad total (%)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	45.84	47.39
	Abono verde (2)	52.95	52.36
	Siembra directa (3)	49.35	50.58
	Cinzel (4)	48.49	52.12
10-20	Convencional (1)	43.19	46.39
	Abono verde (2)	46.26	54.24
	Siembra directa (3)	46.32	41.36
	Cinzel (4)	42.63	48.34
20-30	Convencional (1)	41.49	44.60
	Abono verde (2)	52.45	43.51
	Siembra directa (3)	44.38	42.68
	Cinzel (4)	41.16	44.76

Macroporos (%)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	5.56	12.71
	Abono verde (2)	20.49	21.49
	Siembra directa (3)	10.74	15.90
	Cinzel (4)	14.06	21.29
10-20	Convencional (1)	4.35	9.74
	Abono verde (2)	12.81	23.40
	Siembra directa (3)	8.22	4.28
	Cinzel (4)	6.96	15.62
20-30	Convencional (1)	0.48	8.74
	Abono verde (2)	16.04	10.0
	Siembra directa (3)	5.99	5.52
	Cinzel (4)	4.95	11.69

Penetrógrafo (kgf/cm²)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	19.71	8.54
	Abono verde (2)	15.54	7.67
	Siembra directa (3)	16.75	15.78
	Cinzel (4)	20.19	4.42
10-20	Convencional (1)	24.31	12.31
	Abono verde (2)	25.78	17.61
	Siembra directa (3)	25.65	25.05
	Cinzel (4)	25.25	8.67
20-30	Convencional (1)	28.56	14.44
	Abono verde (2)	40.50	24.71
	Siembra directa (3)	29.0	26.89
	Cinzel (4)	30.58	12.75

Resistencia al corte (torcómetro) (kg/cm²)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	122.22	37.56
	Abono verde (2)	93.78	21.56
	Siembra directa (3)	98.22	71.33
	Cinzel (4)	80.89	36.0
10-20	Convencional (1)	121.33	54.89
	Abono verde (2)	96.56	36.89
	Siembra directa (3)	117.33	96.0
	Cinzel (4)	88.22	46.67
20-30	Convencional (1)	118.67	48.22
	Abono verde (2)	130.0	87.1
	Siembra directa (3)	135.56	109.78
	Cinzel (4)	120.22	54.89

Anexo 2

Significancia de los efectos principales en cada nivel de profundidad para CORPOICA

Profundidad	0-10 cm			10-20 cm			20-30 cm		
	E ^{1/}	T ^{2/}	ExT	E	T	ExT	E	T	ExT
Humedad de campo (%)	***	NS	NS	*	**	**	**	***	***
Susceptibilidad a la compactación (%)	**	NS	**	**	NS	NS	***	NS	NS
Densidad aparente (gr/cc)	**	NS	*	***	NS	NS	NS	NS	NS
Porosidad total	**	NS	*	***	NS	NS	NS	NS	NS
Macroporos	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
Lectura penetrógrafo	***	NS	NS	***	NS	NS	***	NS	NS
Lectura torcómetro	***	NS	NS	***	NS	NS	**	NS	NS

Humedad de campo (%)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	9.75	5.77
	Abono verde (2)	10.87	7.87
	Siembra directa (3)	10.55	6.17
	Cinzel (4)	10.43	5.47
10-20	Convencional (1)	15.03	13.73
	Abono verde (2)	15.90	14.82
	Siembra directa (3)	17.38	17.41
	Cinzel (4)	17.86	11.58
20-30	Convencional (1)	15.19	12.34
	Abono verde (2)	16.28	14.01
	Siembra directa (3)	17.72	16.85
	Cinzel (4)	18.88	12.16

Susceptibilidad a la compactación (%)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	91.20	75.53
	Abono verde (2)	98.0	75.07
	Siembra directa (3)	90.07	86.67
	Cinzel (4)	97.80	76.67
10-20	Convencional (1)	89.07	89.0
	Abono verde (2)	89.67	79.33
	Siembra directa (3)	94.47	89.07
	Cinzel (4)	90.87	81.20
20-30	Convencional (1)	87.07	85.53
	Abono verde (2)	85.33	74.67
	Siembra directa (3)	93.2	83.4
	Cinzel (4)	91.6	81.0

Densidad aparente (g/cc)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	1.39	1.15
	Abono verde (2)	1.37	1.14
	Siembra directa (3)	1.20	1.22
	Cíncel (4)	1.50	1.14
10-20	Convencional (1)	1.37	1.11
	Abono verde (2)	1.26	1.11
	Siembra directa (3)	1.33	1.23
	Cíncel (4)	1.27	1.16
20-30	Convencional (1)	1.24	1.14
	Abono verde (2)	1.25	1.11
	Siembra directa (3)	1.15	1.23
	Cíncel (4)	1.35	1.20

Porosidad total (%)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	44.65	54.32
	Abono verde (2)	45.69	54.94
	Siembra directa (3)	52.33	51.78
	Cíncel (4)	40.51	54.90
10-20	Convencional (1)	43.37	54.24
	Abono verde (2)	47.82	54.13
	Siembra directa (3)	44.92	44.93
	Cíncel (4)	47.70	52.22
20-30	Convencional (1)	50.11	54.35
	Abono verde (2)	49.70	55.41
	Siembra directa (3)	53.74	50.64
	Cíncel (4)	45.81	51.87

Macroporos (%)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	1.65	10.35
	Abono verde (2)	1.54	11.42
	Siembra directa (3)	7.25	8.30
	Cíncel (4)	0	12.31
10-20	Convencional (1)	3.25	14.05
	Abono verde (2)	10.26	14.42
	Siembra directa (3)	3.66	7.95
	Cíncel (4)	9.41	10.35
20-30	Convencional (1)	14.20	16.49
	Abono verde (2)	12.04	17.13
	Siembra directa (3)	17.79	14.56
	Cíncel (4)	5.52	10.75

Penetrógrafo (kgf/cm²)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	38.57	20.34
	Abono verde (2)	46.0	21.5
	Siembra directa (3)	41.5	37.1
	Cinzel (4)	36.09	24.97
10-20	Convencional (1)	38.38	30.83
	Abono verde (2)	47.33	33.36
	Siembra directa (3)	42.58	36.89
	Cinzel (4)	38.63	37.05
20-30	Convencional (1)	36.0	38.0
	Abono verde (2)	43.08	38.76
	Siembra directa (3)	41.73	33.88
	Cinzel (4)	40.63	36.19

Resistencia al corte (kg/cm²)			
Profundidad	Tratamiento	Pre	Pos
0-10	Convencional (1)	38.57	20.34
	Abono verde (2)	46.0	21.5
	Siembra directa (3)	41.5	37.1
	Cinzel (4)	36.09	24.97
10-20	Convencional (1)	38.38	30.83
	Abono verde (2)	47.33	33.36
	Siembra directa (3)	42.58	36.89
	Cinzel (4)	38.63	37.05
20-30	Convencional (1)	36.0	38.0
	Abono verde (2)	43.08	38.76
	Siembra directa (3)	41.73	33.88
	Cinzel (4)	40.63	36.19

Bibliografía

Cadavid LF. 2002. Suelo y fertilización para la yuca. En: La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CLAYUCA-CIAT. Cali, Colombia. pp 76-113

Howeler RH. 1981. Nutrición mineral y fertilización de la yuca. Centro

Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 55 p.

Viveros RA; Jaramillo RA. 2003. Caracterización e impacto físico en un vertisol bajo uso intensivo del CIAT. Tesis de Grado. Palmira. 128 p.