

Factibilidad biológica y económica para producir yuca intercalada con maíz y caupí en callejones de ceiba roja (*Bombacopsis quinata*)

Antonio José López M.
Yasmín Socorro Cajas G.¹

RESUMEN

Para conocer la factibilidad biológica y económica de arreglos de cultivo en los callejones de ceiba toluá (*Bombacopsis quinata*), se realizaron dos experimentos combinando arreglos de yuca con maíz y yuca con caupí (*Vigna unguiculata*). Se obtuvo la mejor combinación de genotipos para cada arreglo y a la vez se conoció su efecto sobre el crecimiento, volumen y peso de la madera producida por la ceiba. El caupí intercalado en monocultivo en los callejones de la ceiba fue el tratamiento que más favoreció la producción de madera en la ceiba. El maíz en intercalamiento redujo la capacidad extractora de K de la yuca. En los dos ciclos, los mayores beneficios netos siempre se obtuvieron en las combinaciones de yuca con caupí. El maíz en monocultivo en los callejones de la ceiba superó en 100% al intercalamiento yuca//maíz en la extracción de NPK. Esto podría indicar una de las razones por las que la mayoría de los productores de la región utiliza dicho arreglo. El maíz monocultivo también presentó los mayores costos variables por tonelada de producto, lo que le resta competitividad ante los arreglos y la yuca monocultivo que presentaron menores CV y menor extracción de NPK.

INTRODUCCIÓN

En la Región Caribe colombiana se siembran aproximadamente 52.483 hectáreas del arreglo yuca intercalada con maíz, 3.000 hectáreas del arreglo maíz asociado con ñame, 3.672 hectáreas del arreglo maíz intercalado con millo, y 4.704 hectáreas del arreglo yuca intercalada con maíz, intercalada con millo y guandul (CORPOICA, 1995). En general se utilizan genotipos tradicionales en combinaciones que han sido experimentadas por los productores; sin embargo, la habilidad de asociación e intercalamiento de éstos, no ha sido estudiada y analizada ni en arreglos de cultivo ni mucho menos en arreglos agroforestales en la región.

Al respecto, Leihner (1983) recomienda seleccionar los genotipos para asociar con yuca, de acuerdo con la duración del ciclo vegetativo, hábito de cre-

cimiento y destino de la producción, con ciclos vegetativos menores de 100 días; aspectos como el efecto conjunto de las dos especies sobre el suelo, las malezas, las plagas y beneficios netos, no son considerados en la recomendación. Basado en conceptos desarrollados por Harper (1961, 1964) y expandidos por Muller (1969), cuando dos especies se combinan en un espacio, la interferencia puede ser clasificada en reacciones de remoción de factores de una planta sobre su ambiente y reacciones aditivas cuando algún factor es adicionado. Cuando un factor es removido del ambiente, la respuesta de una especie vecina puede ser negativa, positiva o neutral. Cuando algún factor es aditivo al ambiente con el mismo rango de respuestas, se pueden obtener reacciones como alelopatía o simbiosis. Esto implica, por tanto, conocer diferentes aspectos de la competencia entre especies asociadas para producción comercial.

¹ Investigadores programa regional de investigación en sistemas de producción, CORPOICA, Regional 2, apartado aéreo 602-603, Montería, Córdoba, Colombia. E-mail: corpoic@amonteria.cetcol.net.co.

Uno de los conceptos más utilizados para definir la mejor combinación de especies es el uso eficiente de la tierra (UET), que junto con otros índices miden en términos de rendimiento físico la eficiencia de producir en un área determinada, sin tener en cuenta factores que afectan la sostenibilidad y competitividad del rendimiento.

La remoción de nutrientes del suelo por el arreglo yuca//maíz fue estudiado por CIAT (1992) en la Región Caribe colombiana; la yuca en unicultivo removió más nutrientes que el arreglo yuca//maíz. No hubo influencia del tipo de maíz (tradicional o mejorado) en la remoción de nutrientes. El maíz intercalado siempre extrajo pequeñas cantidades de nutrientes en comparación con el maíz sembrado en unicultivo. Al comparar las variedades de yuca Venezolana, ICA-Costeña (CG 1141-1) e ICA-Negrita (CM 3306-4), los rendimientos de la yuca fueron reducidos por la competencia del maíz y la yuca Venezolana demostró mejor capacidad para competir con el maíz; sin embargo, su bajo rendimiento indicó que esta variedad es mantenida por otras características distintas a su habilidad de asociación.

Los estudios realizados con maíz y yuca en sistemas agroforestales, se relacionan principalmente con la utilización de árboles leguminosos utilizados como mulch y fijadores de nitrógeno. Atta-Krah (1990), al comparar el sistema de cultivo continuo de maíz con el de maíz en callejones de *Lecucaena leucocephala* encontró que al final del cuarto año el carbono orgánico y el nitrógeno total del suelo en cultivo convencional fueron inferiores a los mismos bajo cultivo en callejones. Las cosechas siempre fueron mayores para el maíz en callejones que en el cultivo tradicional.

En arreglos agroforestales con maderables, los estudios de arreglos de maíz con yuca y caupí son relativamente pocos; Ghosh *et al.* (1987), evaluaron arreglos de yuca con maní, y yuca con caupí bajo plantaciones establecidas de cocotero, banano, *Eucaliptus* y *Leucaena*. La asociación de yuca con otros cultivos favoreció el crecimiento del eucalipto a los seis meses y lo redujo a los 30 meses. Durante los primeros 12 meses, la yuca afectó adversamente el crecimiento de la leucaena. Así mismo, la asociación con yuca disminuyó la expansión lateral de las raíces tanto del eucalipto como de la leucaena. Estas dos especies tuvieron efectos adversos sobre el rendimiento de la yuca. De todos los cultivos de estrato bajo, el caupí pareció ser el mejor y produjo efectos menos adversos en la producción de yuca. En relación con la fertilidad del suelo, el contenido

de carbono orgánico aumentó con la yuca como monocultivo individual o junto con especies perennes y tendió a declinar cuando se cultivaron especies perennes solas, especialmente con eucalipto. Finalmente, el análisis económico indicó que la yuca tanto en monocultivo individual como en asociación con maní y caupí, proporcionó las ganancias más altas. No se presentan alternativas para seleccionar la mejor combinación de especies Akachuku (1985) al analizar la relación costo/beneficio de la madera y los componentes de un sistema agroforestal con *Gmelina arborea* en Nigeria, concluyó que intercalar plántulas del maderable *Gmelina*, en los cultivos de yuca//maíz, ñame y maíz, es un medio para maximizar el ingreso de una parcela. El sistema produce alimentos y madera y restablece el suelo. En la literatura revisada, no se encontraron referencias de estudios en sistemas agroforestales incluyendo la ceiba roja o ceiba tolúa (*Bombacopsis quinatum*).

La investigación agronómica de cultivos asociados es relativamente reciente y la metodología estadística para presentar, analizar e interpretar los datos no es específica, pues, la mayoría de análisis se efectúan con técnicas desarrolladas para cultivos individuales. Esta situación, además de producir dificultades, confusiones y menosprecio de la información, ha orientado la investigación estadística hacia la búsqueda de técnicas más eficientes para estos casos. El análisis bivariado es una técnica útil en el análisis e interpretación de datos provenientes de cultivos asociados, asegurando confiabilidad. Su uso se ha extendido desde 1979 cuando Pearce y Gilliver lo descubrieron (Mead, 1986). Su filosofía es que no se puede considerar individualmente la producción de un cultivo que ha interactuado con otro en la misma unidad experimental (Mead, 1986).

El objetivo de este estudio fue determinar la factibilidad biológica y económica de la producción de yuca, maíz, y caupí en los callejones de ceiba roja (*Bombacopsis quinata*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la finca de la empresa Monterrey Forestal S.A., ubicada en la localidad de Zambrano (Bolívar) a 9° 45' LN 75° 00' LW, a 30 msnm, en un ecosistema de bosque seco tropical (bst), con 831 mm de precipitación promedio anual, 28°C de temperatura y 70% de HR. Los experimentos se plantaron en suelos de la serie Nechí, con pendientes entre 0 y 2%, clasificados como Entic Chromudert, muy fino, montmorilloníticos; Isohyperther-

mic, caracterizados por drenaje pobre, muy baja permeabilidad y lenta infiltración, perfiles dominados por arcillas gris-oscuro, reacción fuertemente ácida, hasta 15 cm de profundidad; entre 15 y 60 la reacción es neutra (Hoag, 1983).

Durante los ciclos 1994-95 y 1996-97, se plantaron arreglos intercalados de cultivo en los callejones de una plantación de ceiba tolúa en su primera fase de crecimiento, sembrada a 3.0 m x 3.0 m; el experimento de 1996-97 fue una repetición del sembrado en 1995-96, el cual se perdió por desborde de una quebrada. En el primer ciclo se experimentaron tres variedades de maíz (ICA-V 155, ICA-V 156 y el criollo «Puya»), tres variedades de yuca (ICA-Costeña, ICA-Negrta y regional Venezolana) y dos líneas de caupí (Línea 7 y Línea 21), generando un total de 24 tratamientos, incluyendo la ceiba sola como testigo. Todos los arreglos de cultivo se sembraron 30 días después de plantada la ceiba. La yuca se sembró en dos surcos en el callejón de la ceiba a 1.0 m entre plantas y 1.0 m entre surcos; se intercalaron tres surcos de maíz, sembrando tres plantas por sitio a 1.0 m entre surcos y 1.0 m entre sitios. El Caupí se sembró intercalando dos surcos por cada uno de yuca, dejando entre 10 y 15 plantas por metro lineal de cada surco.

Los unicultivos se sembraron a las mismas distancias que intercalados; pero con excepción de la yuca sola, para los otros arreglos aumentó el número de surcos en el callejón. Los cultivos se sembraron a una distancia mínima de 50 cm del pie de los árboles de ceiba. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; el tamaño de la parcela fue de 12 árboles (180 m²) y la parcela efectiva para todos los arreglos de cultivo fue de 28 m² dejando un surco de borde de árboles y arreglos de cultivo por cada lado. Se midieron los componentes del rendimiento de cada uno de los cultivos en los diferentes arreglos; en la ceiba se midió el incremento de altura de los árboles. Se registraron los criterios y descriptores de los agricultores que participaron en las evaluaciones finales del experimento. Se registró el análisis fisicoquímico del suelo al inicio y al final del ciclo.

Durante el segundo año, con los criterios de los agricultores y el análisis de los datos del primero, se seleccionaron las mejores combinaciones de dos variedades de yuca (ICA-Costeña y regional «Venezolana») con la variedad de maíz ICA V156 y la Línea 7 de caupí, generando 9 tratamientos que incluyen la ceiba sola como testigo; se aumentaron las distancias entre especies. Todos los arreglos de cul-

tivo se sembraron 30 días después de sembrada la ceiba. La yuca se sembró a 1.0 m. x 1.0 m. un surco en el callejón de la ceiba (cuatro surcos por parcela). A cada lado se intercalaron dos surcos de maíz a 1.0 m. entre sitio y 1.0 m. entre surcos (ocho surcos por parcela), dejando tres plantas por sitio. El caupí se sembró intercalando dos surcos a cada lado del surco de yuca, dejando entre 10 y 15 plantas por metro lineal de cada surco (ocho surcos por parcela). Los unicultivos se sembraron a las mismas distancias que intercalados pero aumentando el número de surcos en el callejón, excepto la yuca (maíz = 12, caupí = 16 surcos por parcela).

Los cultivos se sembraron a una distancia mínima de 50 cm. del pie de la ceiba. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; el tamaño de la parcela fue de 25 árboles (225 m²) y la parcela efectiva para todos los arreglos de cultivo fue el área de 9 árboles (81 m²) dejando un surco de borde de árboles y de arreglos por cada lado. Se midieron los componentes del rendimiento de cada uno de los cultivos en los diferentes arreglos; en la ceiba se midió la altura y diámetro basal de los árboles, para determinar el volumen de madera en el fuste mediante la fórmula $V=(2 \sim (\text{Diámetro basal}/2)^2 (\text{Altura}/3))$; el peso de madera se calculó utilizando la densidad de 0.8 g/cc. Se hizo análisis fisicoquímico inicial del suelo por bloques y, al final del ciclo se hizo el mismo análisis por tratamiento en cada repetición. En yuca y maíz, se midió la acumulación de nutrientes por cada una de las partes de las plantas tanto en unicultivo en el callejón como en arreglos (raíz, tallo, hojas, inflorescencia, granos, cubierta o capacho y tusa). En ambos experimentos se realizó el análisis económico por el método de presupuestos parciales. El procesamiento de los datos se hizo mediante el software SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis bivariado de varianza se fundamenta en que existe una relación entre los rendimientos de los dos cultivos intercalados y que esta relación puede aparecer como una correlación positiva o negativa. Una correlación positiva indica que existe interacción que no favorece una especie sobre la otra; una correlación negativa, por el contrario, indica que el desempeño de una especie afecta negativamente el desempeño de la otra. Los resultados se presentan por años separados, debido a que cada ciclo se desarrolló con distinto régimen de precipitación; además, el segundo año, la densidad de plantas se redujo según las sugerencias de los agricultores. En am-

bos años se sembró un solo ciclo de cultivos debido a que la densidad de árboles de ceiba no permitió un segundo ciclo.

Primer ciclo 1994-1995

Arreglo Yuca//Maíz

Para el rendimiento en t/hectáreas, el $r^2 = 0.02$ indicó según Muller (1969), que no hubo efecto excluyente entre las dos especies. El análisis bivariado de varianza indicó que no hubo diferencia significativa al 5%. La variedad de yuca ICA-Negrita no favoreció el rendimiento de los maíces mejorados ICA-V15,5 e ICA V-156; sin embargo, el maíz criollo redujo el rendimiento de la variedad de yuca; esto se debe entre otros a que la variedad de yuca es de ramificación temprana con tres niveles de ramificación y las variedades de maíz mejorado son de porte intermedio, mientras que el maíz criollo es de porte alto y de gran vigor; además, la densidad de plantas de yuca favoreció el detrimento de los maíces mejorados (Figura 1). Las combinaciones de la variedad de yuca ICA-Costeña con los maíces criollo e ICA V-156, tuvieron interacción que produjo rendimientos intermedios. La mejor combinación para las dos

especies se obtuvo con la variedad de yuca Venezolana y la variedad de maíz ICA V-155, seguida de Venezolana y el maíz criollo «Puya». En ambas combinaciones se favoreció el rendimiento de la yuca y el maíz. La intersección de los círculos indica la no significancia al 5%.

Arreglo Yuca//Caupí

Para el rendimiento en t/hectáreas, el $r^2 = -0.038$ indicó un efecto negativo leve entre las dos especies; el análisis bivariado de varianza indicó que hubo diferencias significativas al 5%. La Figura 2 indica que el caupí Línea 7 intercalado con la variedad de yuca ICA-Costeña (combinación 12) fue la mejor combinación de genotipos, presentando diferencias significativas con las otras combinaciones; de éstas, las mejores fueron: yuca ICA-Negrita con caupí Línea 7 (combinación 14) y yuca Venezolana con caupí Línea 21 (combinación 11); sin embargo, la yuca Venezolana fue la que más redujo el rendimiento del caupí Línea 7 (combinación 10). La línea 21 no se combinó bien con las variedades de yuca ICA -Costeña (combinación 13) e ICA-Negrita (combinación 15).

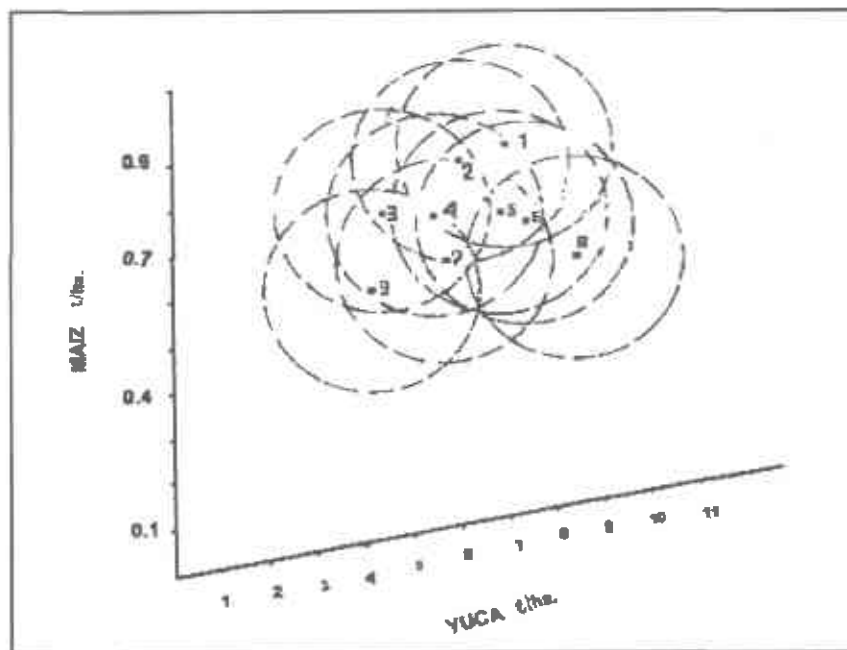


FIGURA 1. Rendimiento de arreglos de yuca y maíz en los callejones de ceiba roja. 1994-1995. Combinaciones: 1=Venezolana//Maíz V155, 2 Venezolana//Maíz criollo, 3=Negrita//Maíz criollo, 4=Venezolana//Maíz V-156, 5=Costeña//Maíz criollo, 6=Costeña//Maíz V-156, 7=Costeña//Maíz V-155 8=Negrita//Maíz V-155, 9=Negrita//Maíz V-156.

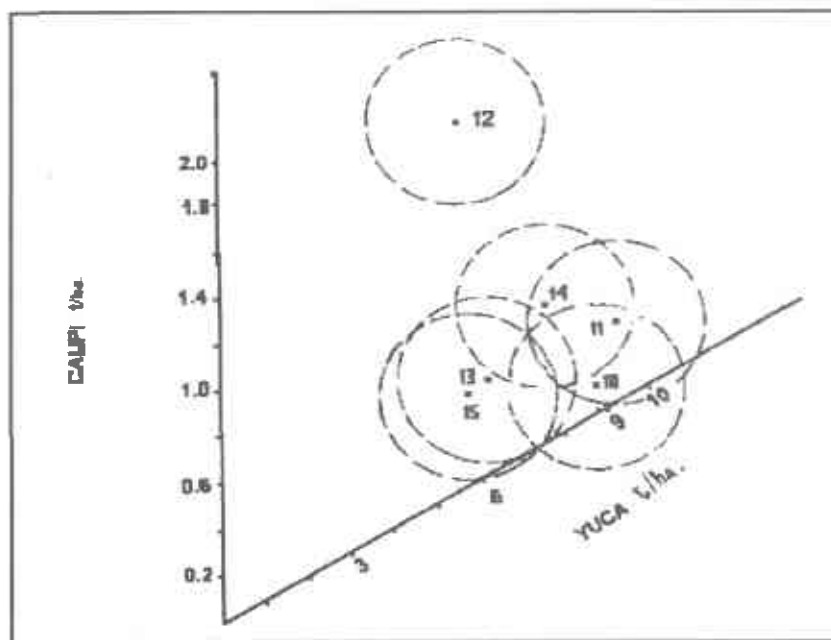


FIGURA 2. Rendimientos de yuca y caupí en los callejones de ceiba roja. 1994-1995. Combinaciones: 10= Venezolana//Caupí 7, 11 = Venezolana//Caupí 21; 12 = Costeña//Caupí 7; 13=Costeña//Caupí 21; 14=Negrita//Caupí 7; 15=Negrita//Caupí 21.

Efecto sobre la altura de la ceiba

El incremento en altura de la ceiba no tuvo diferencia significativa al 5% entre tratamientos. La ceiba creció más cuando se le sembró en los callejones el arreglo yuca//caupí, seguido por el arreglo yuca//maíz. Cuando se sembró yuca sola en los callejones de la ceiba, ésta redujo su crecimiento con respecto a la ceiba sola (Tabla 1).

TABLA 1. Efecto de arreglos de yuca y caupí sobre el crecimiento longitudinal del fuste de la ceiba, 1994-1995.

Arreglo	Incremento de altura (m)
Yuca unicultivo	0.97
Yuca//caupí	1.26
Yuca//maíz	1.18
Ceiba	1.02

Uso eficiente de la tierra (UET) y análisis de beneficios netos (BN)

La variedad de yuca Venezolana en unicultivo produjo los beneficios netos más altos, seguida por

sus combinaciones con las dos líneas de caupí y el maíz ICA V-156; en general, además del BN, la siembra de los arreglos en los callejones de la ceiba redujo en 81 % el costo del control de malezas, equivalente a US \$ 132/hectáreas. (Tabla 2). Los mayores BN se presentaron en las combinaciones de yuca Venezolana con caupí debido, por un lado, a que la yuca tuvo mejores rendimientos que las otras dos variedades combinadas con caupí y, por el otro, a que el precio del grano seco de caupí US \$ 0.8/kg. fue bastante bueno con relación con el de la yuca y del maíz.

El uso eficiente de la tierra sin embargo no presentó el mismo patrón de los BN. Los tratamientos con BN mayor de US \$ 211 presentaron un UET entre 1.49 y 2.06, mientras que los de BN inferior a US \$ 211 tuvieron un UET entre 1.30 y 2.19. Sobresalen la combinación variedad de yuca Venezolana con el maíz ICA V-155, con UET de 2.19, lo que confirma el por qué fue la mejor combinación ya que favoreció el rendimiento del maíz con rendimientos de yuca muy aceptables, y la combinación variedad de yuca ICA-Costeña con el maíz ICA V-156 que presentó rendimientos aceptables de yuca y de maíz (Figura 1). Esto indica que la selección de las mejores combinaciones de arreglos de especies no se debe basar solo en el BN, es necesario conocer además el UET y la extracción de nutrientes del suelo

TABLA 2. Relación entre beneficios netos (BN), reducción de costos y uso eficiente de la tierra (UET) en arreglos de cultivo con ceiba roja. 1994-95.

Tratamientos	Beneficios Netos (BN) US \$	Reducción de costos en el C. malezas. (US\$)	Uso eficiente de tierra (UET)
Yuca Venezolana	279	132	-
Venezolana//Caupí 7	265	132	1.49
Venezolana//Caupí 21	243	132	1.49
Venezolana//Maíz 156	241	132	2.06
Costeña//Caupí 21	233	132	1.50
Yuca ICA Costeña	230	132	-
Negrita//Maíz 155	211	132	2.03
Venezolana//Maíz 155	209	132	2.19
Yuca ICA Negrita	181	132	-
Costeña//Maíz 156	175	132	2.17
Venezolana//Maíz Criollo	171	132	1.77
Negrita//Caupí 21	161	132	1.30

de cada una de las **combinaciones** o arreglos de especies. El UET por encima de 1.5 se considera muy bueno; sin embargo se debe establecer un balance entre UET, extracción de nutrientes y BN; estos últimos pueden ser muy variables en magnitud e inestables con el tiempo, por lo que el UET y la extracción de nutrientes pueden servir de base para la selección; lógicamente descartando posibles aspectos negativos de los genotipos.

Criterios de los agricultores

Los diferentes tratamientos fueron sometidos a las evaluaciones de agricultores el día de cosecha. Sobresalieron los criterios «poco vigor» (100%) descrito como tallos de yuca y mazorca delgada; «poca fuerza del arreglo» (80%) descrito como exceso de plantas de yuca por hectárea y pocas plantas de maíz por sitio y por hectárea en el arreglo yuca//maíz. Con base en dichos criterios, los agricultores seleccionaron los arreglos yuca Venezolana//maíz ICA V-156 y yuca Venezolana//Caupí Línea 7; propusieron ampliar las distancias de siembra de la yuca en el siguiente ciclo. La combinación yuca Venezolana//maíz ICA V-155 que fue la mejor, no fue seleccionada debido a la escasa disponibilidad de semilla comercial del maíz ICAV-155.

Segundo ciclo 1996-1997

Arreglo Yuca//Maíz

Para el rendimiento en t/ha, el $r^2=0.67$ indicó que hubo interacción favorable entre las dos especies. No hubo diferencias significativas al 5% en el análisis bivariado de varianza. La mejor combinación de genotipos fue (COMZ) correspondiente a la variedad de maíz ICA V-156 con rendimiento de 1.4 t/ha y la variedad de yuca ICA-Costeña con rendimiento de 7.0 t/ha de raíces de tamaño comercial. La combinación (VEMZ) de la variedad de yuca Venezolana con cerca de 6.5 t/ha y el maíz ICA V-156 con 1.2 t/ha desfavoreció los rendimientos del maíz. (Figura 3). A pesar de que la precipitación fue menor en este segundo ciclo y a que la densidad de plantas también fue menor, los rendimientos del maíz fueron superiores en 50% para las dos combinaciones, lo cual indica que la combinación de estos genotipos depende en gran proporción del número de plantas por hectárea del maíz.

Arreglo Yuca//Caupí

Para el rendimiento en t/ha, el $r^2= -0.69$ indicó que hubo interacción negativa entre las dos especies.

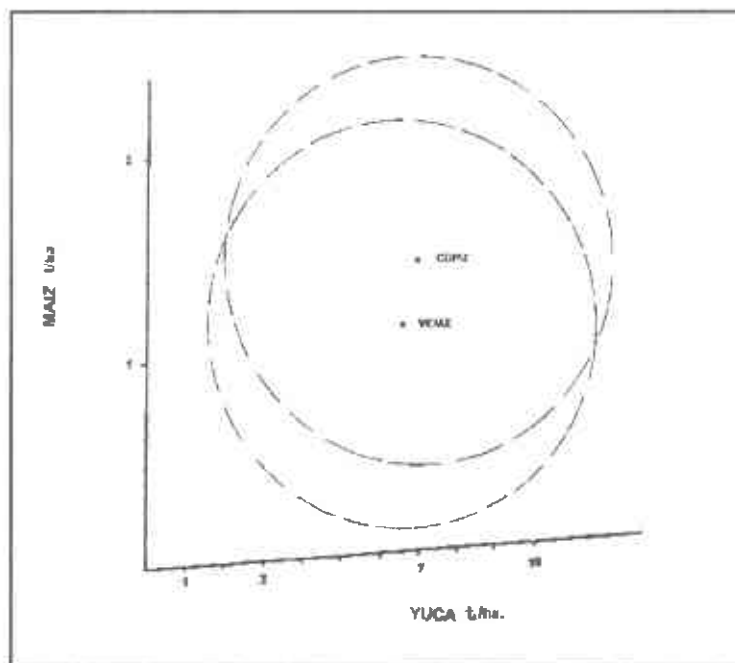


FIGURA 3. Rendimientos de arreglos de yuca y maíz en los callejones de ceiba roja 1996-1997.

El análisis bivariado de varianza no presentó diferencias significativas al 5% entre las dos combinaciones; sin embargo, los mejores rendimientos de caupí se presentaron con la variedad de yuca Venezolana (VECA). Hubo diferencias significativas para el número de plantas cosechadas de caupí, lo cual explica los bajos rendimientos de esta especie en las dos combinaciones evaluadas. En este ciclo, el rendimiento de la yuca en las dos combinaciones fue superior en cerca de 50% con

respecto al ciclo anterior. Mientras que en el primer ciclo, el caupí Línea 7 intercalado con la variedad de yuca ICA-Costeña (combinación 12) fue la mejor combinación de genotipos, presentando diferencias significativas con las otras combinaciones, durante el segundo ciclo fue la peor combinación. En el mismo sentido, la yuca Venezolana que fue la que más redujo el rendimiento del caupí Línea 7, en el segundo ciclo fue todo lo contrario (Figura 4).

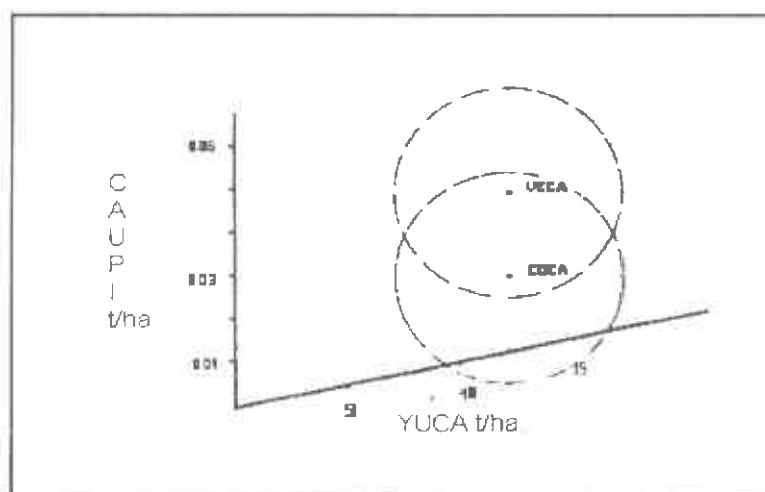


FIGURA 4. Rendimiento de arreglos de yuca con caupí en los callejones de ceiba roja. 1996-1997

Habilidad de combinación de los arreglos de cultivo con la ceiba

Al considerar el efecto del intercalamiento de arreglos de cultivo en los callejones de la ceiba, el análisis bivariado indicó diferencias significativas en las combinaciones de especies. Las mejores combinaciones de especies fueron la variedad de yuca ICA-Costeña con el caupí Línea 7 (COCA) y la variedad de yuca Venezolana con el caupí Línea 7 (VECA). De todas las combinaciones, estas dos fueron las que más favorecieron la producción de madera en el fuste del árbol, comparado con la ceiba sin intercalamientos (CE) y con las otras combinaciones de especies. El maíz produjo mayor competencia en las dos variedades de yuca que el caupí y a la vez en estas combinaciones contribuyó a reducir el volumen de madera del fuste de la ceiba. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por CIAT (1992) con las mismas variedades de yuca y maíz pero sin ceiba en la Región Caribe (Figura 5).

Las prácticas culturales fueron iguales, tanto en la ceiba sin cultivos intercalados como cuando se le intercaló otros cultivos; sin embargo, el volumen de madera producido por la ceiba sin intercalamiento fue significativamente menor que el producido por la ceiba en todos los arreglos de cultivo. Sobresale el efecto del intercalamiento del caupí Línea 7 (CA

que contribuyó al mayor rendimiento de madera del fuste (170 kg/hectárea o sea 212.500 cm³) en 231 días; esto indica que hay un efecto favorable del caupí sobre el crecimiento y peso de la madera de ceiba y que el efecto de la competencia producida por la yuca sobre el caupí es compensado por su efecto favorable sobre la producción de madera, lo cual debe estar relacionado con la fijación de nitrógeno en las capas superficiales del suelo donde es aprovechado por las raíces superficiales de la ceiba en sus primeros meses de crecimiento.

Análisis de beneficios netos (BN) y costos variables por tonelada del arreglo.

Para el cálculo de los BN se utilizó el rendimiento de raíces comerciales de yuca, por lo cual los rendimientos de campo no se ajustaron para esta especie. Para el caupí se realizó un ajuste por población, debido a que hubo mucha pérdida de plantas por sequía prolongada.

De las combinaciones de genotipos, las dos variedades de yuca intercaladas con caupí produjeron los BN más altos después de la yuca ICA-Costeña. Desde el punto de vista económico, las combinaciones de yuca con caupí produjeron mayores BN que las combinaciones con maíz; sin embargo, estas últimas presentaron costos variables por tonelada del arreglo, extremadamente bajas con relación a los

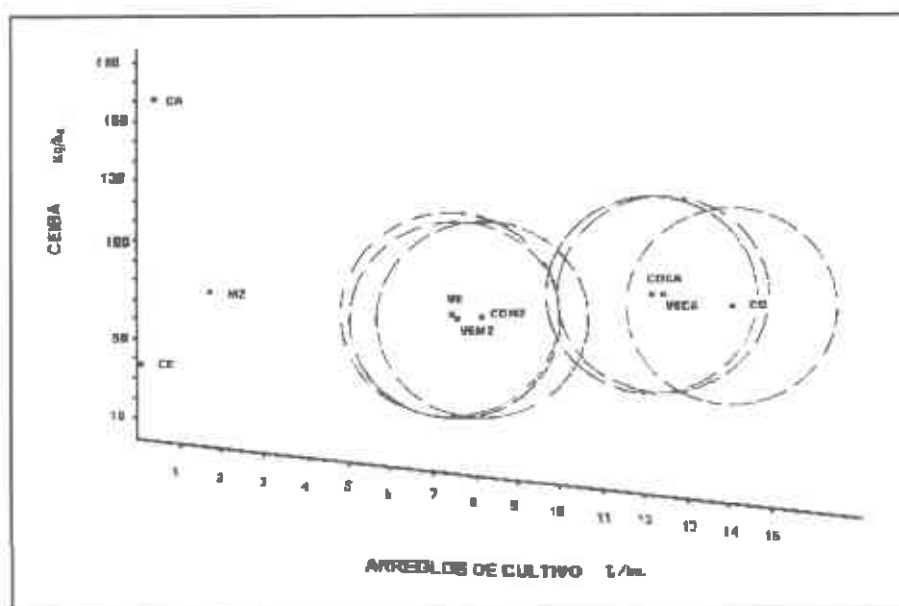


FIGURA 5. Rendimiento de arreglos de maíz, yuca y caupí en callejones de ceiba roja. 1996-1997.

arreglos con caupí, lo cual desde el punto de vista de rendimientos físicos y económicos puede ser criterio de selección para los agricultores. Los mayores BN de las combinaciones con yuca se debieron al buen precio pagado a la raíz durante 1997a. El bajo BN del maíz se debió a su bajo rendimiento. (Tabla 5).

Las variedades de yuca intercaladas en unicultivo en los callejones de la ceiba presentaron los menores costos variables al igual que los menores costos variables por tonelada del arreglo. De estos, el más bajo fue el de ICA-Costeña debido a su alto rendimiento de raíces comerciales (13 t/ha) contra 7.12 de Venezolana. Los arreglos con caupí presentaron los costos variables más altos debido al costo de la semilla y a la mano de obra para la siembra y cosecha. También presentaron los costos por tonelada más altos debido al bajo potencial del rendimiento de la especie. En los arreglos con maíz los CV fue-

ron altos después de los de caupí, debido también al costo de la semilla del maíz. La ceiba presentó los costos más altos por tonelada de madera producida en el fuste, debido a que en esta fase el fuste del árbol ha acumulado poca biomasa; además la madera no es comercializable, por lo cual no se le fijó un precio; los costos son altos por el establecimiento y costo de semilla y siembra.

El análisis marginal indica que si se incurre en un costo marginal de US \$ 0.234, se obtiene un BN adicional de US \$ 1120; por lo tanto, por cada dólar invertido en producir yuca ICA-Costeña en los callejones de ceiba se podrían obtener US \$ 4785. (Tabla 6). Esto indica las bondades del tratamiento pero combinando el rendimiento y los beneficios económicos, sin tener en cuenta su efecto y el de los demás sobre el suelo y su sostenibilidad.

TABLA 5. Costos variables (CV). Beneficios netos/ha (BN) y costos variables por tonelada de arreglos de cultivo intercalados con ceiba roja 1996-1997.

Tratamiento	Costos Variables (US \$)	Beneficios Netos (US \$)		Costo Variable por Tonelada del Arreglo
ICA-Costeña	65.5	1754		5.0
Venezolana//caupí línea 7	91.0	1659	D	73.3
Costeña//caupí línea 7	91.0	1631	D	74.5
Costeña//maíz V-156	82.2	1220	D	9.9
Venezolana//maíz V-156	82.2	1092	D	10.8
Yuca venezolana	65.5	931.3	D	9.2
Maíz ICA-V156	65.3	635	D	37.3
Caupí línea 7	82.7	740	D	70.4
Ceiba sola	31.8	0	D	83.6

D = Tratamientos dominados.

TABLA 6. Análisis marginal (US\$) del tratamiento dominante.

Tratamiento	Costos Variables	Beneficios Neto	Costo marginal	B. Neto marginal	TIR %
Yuca ICA-costeña	65.5	17.54	0.234	1120	478.500
Maíz ICA V 156	65.3	635	=	=	=

Cambios en el contenido de nutrientes del suelo

Las curvas del contenido final de la materia orgánica, fósforo y potasio a las dos profundidades empieza en el eje de las ordenadas con el promedio general de cada bloque; la situación inicial se estimó a partir de una muestra promedio por bloque (Figura 6). El contenido de materia orgánica inicial (MOI) fue inferior en el mantillo (0-5 cm) debido a que el suelo había sido sometido a una quema previa; a la profundidad de 30 cm, el mayor % de MO se debe a que el lote venía de una cosecha de una plantación de *Gmelina arborea*, por lo que el contenido de raíces fue abundante a esta profundidad, elevando el contenido de MO hasta 3%.

El menor contenido de materia orgánica final (MOF) en los primeros 5 cm del suelo se presentó en los arreglos: Maíz ICA-V156 (MZ), yuca Venezolana intercalada con caupí (VECA) y yuca Venezolana sola (VE); esto probablemente se debió a que el maíz y el caupí tienen raíces superficiales y a que la yuca Venezolana, además, desarrolla cerca de 60% de sus raíces en los primeros 10 cm del suelo. En el resto de tratamientos, el porcentaje de MOF, estuvo por encima del promedio de bloques (Figura 6).

A los 30 cm de profundidad, la reducción del contenido de materia orgánica final (MOF) superó el 50 % con relación al contenido inicial en los arreglos yuca Venezolana (VE), yuca ICA-Costeña (CO), maíz ICA V-156 (MZ) y ceiba sola (CE). Las combinaciones de yuca con maíz y caupí fueron las que menos redujeron la MO a esta profundidad, en comparación con su siembra en unicultivo en los callejones de la ceiba; esto indica que en las dos combinaciones, se presenta un efecto de exclusión (Muller 1969, Harper 1961, 1964) entre las especies, reduciendo el potencial individual de extracción de cada una (Figura 6). Este mismo patrón se presentó a los 5 cm de profundidad.

Contrario al comportamiento de la MO, el contenido de fósforo en los primeros 5 cm al final del ciclo (PF), fue muy inferior al contenido inicial (PI). En los tratamientos que más varió el contenido de este elemento en el suelo fueron en variedad de yuca ICA-Costeña intercalada con el maíz ICA V-156 (COMZ), el maíz ICA V-156 (MZ), el caupí (CA) y la ceiba (CE) sin arreglos de cultivo, llegando a diferencias entre 100 y 130 ppm. Todos estos arreglos desarrollan raíces superficiales, incluyendo la ceiba por ser propagada por esquejes enraizados. A la profundidad de 30 cm, lógicamente los arreglos que tienen raíces

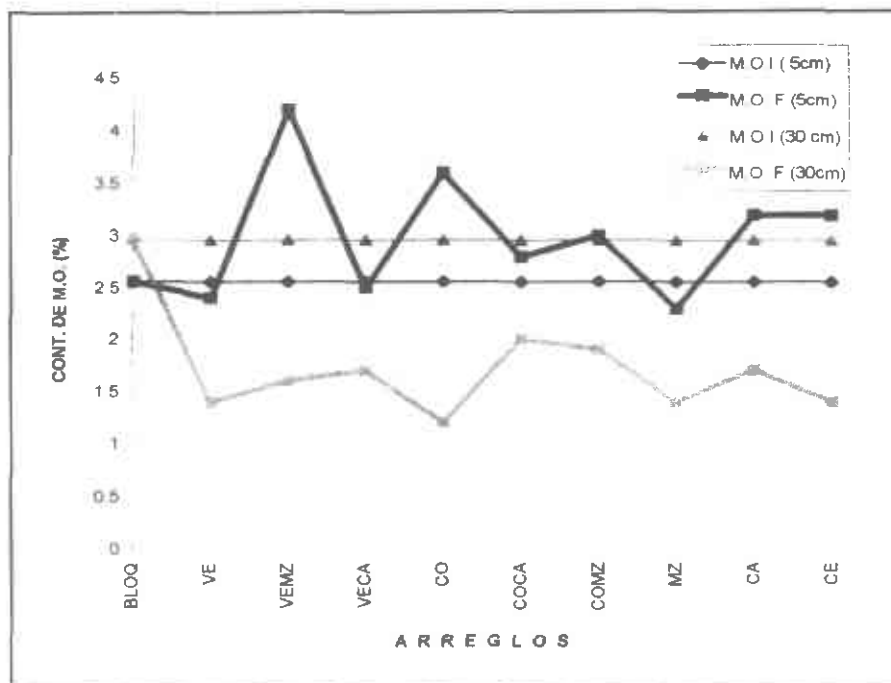


FIGURA 6. Contenido de Materia Orgánica Inicial (MOI %) y Final (MOF %) a dos profundidades del suelo con arreglos de cultivo en callejones de ceiba roja 1996-1997.

superficiales tuvieron contenidos de fósforo superior al contenido inicial de 150 ppm, exceptuando el arreglo yuca ICA-Costeña; el comportamiento de las diferentes combinaciones de especies intercaladas no tuvo un patrón definido. (Figura 7). En ambas profundidades, el contenido final de fósforo en el suelo fue muy variable entre los diferentes arreglos.

En los primeros 5 cm, con excepción de la ceiba sola (CE), en los demás arreglos de cultivo el contenido final del potasio (KF) fue menor que el inicial (KI). Es muy posible que la ceiba recicle potasio, extraído de capas más profundos (Figura 8). En todos los arreglos el contenido de potasio final a los 30 cm de profundidad también fue menor que el inicial, llegando a niveles críticos entre 0.6 y 0.9 meq/100 g de suelo. El nivel más bajo se presentó con la yuca Venezolana, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por CIAT (1992) con la misma variedad en monocultivo en la misma región, indicando el gran poder de extracción de K de esta variedad, muy superior a la variedad mejorada ICA-Costeña. El contenido final de potasio del suelo no fue muy variable entre los tratamientos a las dos profundidades

Extracción de elementos mayores vs Costos variables por tonelada del producto (raíces y granos) del arreglo.

El análisis de rendimientos físicos (t/ha) y económico (BN), produce conclusiones sesgadas a aumentar producción maximizando los ingresos; por tanto, la factibilidad biológica y económica de los arreglos agroforestales con este tipo de especies debe estar fundamentada tanto en estos criterios como en la sostenibilidad biológica, y muy especialmente en la competitividad de determinado arreglo. El comportamiento biofísico de un arreglo de cultivos debe ser analizado conjuntamente con los cambios del contenido de nutrientes del suelo, la extracción de nutrientes por la biomasa producida y exportada y los costos que implica variar para establecer dicho arreglo.

Los análisis de extracción de nutrientes por la biomasa producida en los arreglos de cultivo indicaron que una tonelada de maíz ICA-V156 (MZ) sembrado en monocultivo en los callejones de la ceiba, extrajo más de 100% de N y K que los arreglos con yuca Venezolana (VEMZ) y yuca ICA-Costeña (COMZ), confirmando el principio de anulación del potencial individual de extracción de las dos especies, teniendo en cuenta que tanto en combinaciones como en unicultivo, las especies tuvieron la misma densidad de plantas (Harper 1961, 1964). Contrario como se ha creído tradicionalmente, la yuca en unicultivo tuvo los niveles más bajos de extracción por tonelada, tanto en N como en P y K. (Figura 9).

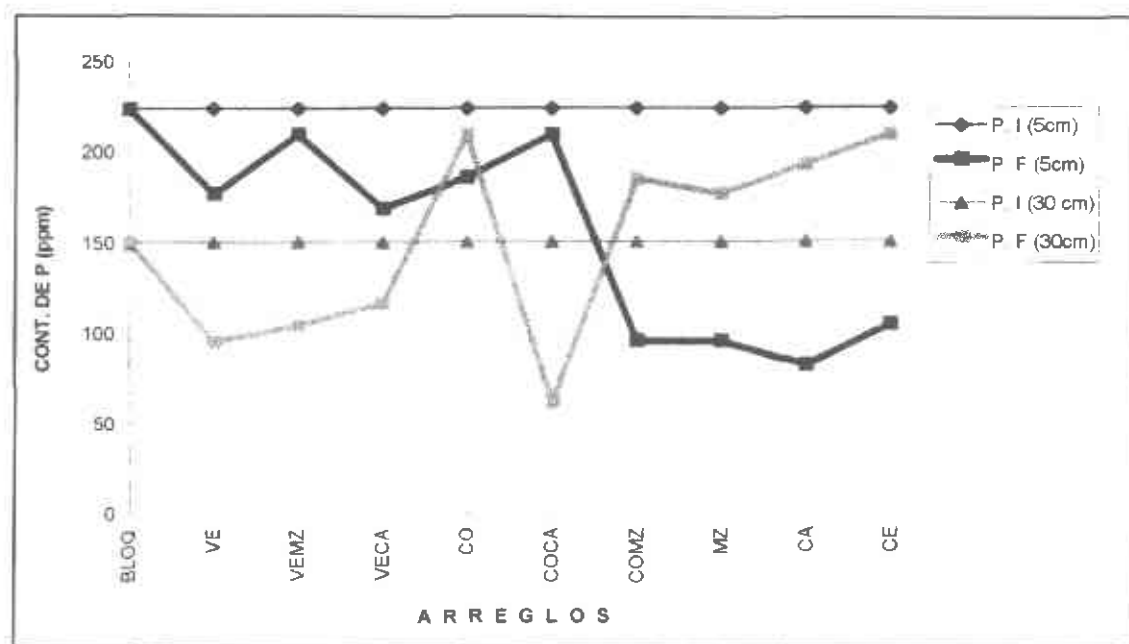


FIGURA 7. Contenido de Fósforo Inicial (PI ppm) y Final (PF ppm) a dos profundidades del suelo con arreglos de cultivo en callejones de ceiba roja 1996-1997.

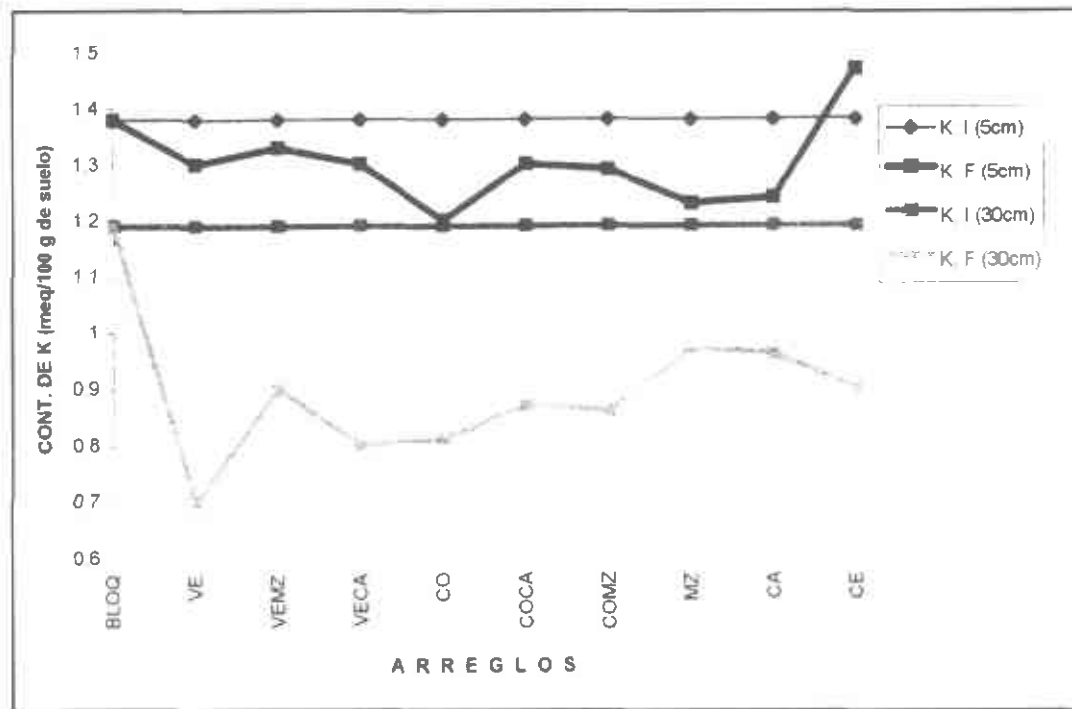


FIGURA 8. Contenido de Potasio Inicial (KI meq/100) y Final (KF meq/100) a dos profundidades del suelo con arreglos de cultivo en callejones de ceiba roja 1996-1997.

Adicionalmente, los costos variables por tonelada de producto también fueron más altos en maíz unicultivo, lo que lo hace poco competitivo ante la yuca unicultivo y sus combinaciones. Tanto la yuca ICA-Costeña (CO) sembrada sola en los callejones de la ceiba, como las combinaciones de ésta con maíz (COMZ) y Venezolana (VEMZ) con maíz, fueron tratamientos con muy buenos BN y bajos costos variables para producir una tonelada de producto. Además de esto, las combinaciones presentaron un nivel moderado de extracción de N, P y K, que las hace factible de recomendar junto con la yuca ICA-Costeña sola.

CONCLUSIONES

La siembra de arreglos de cultivo intercalados en los callejones de ceiba tolúa es factible, tanto biológica como económicamente, en la primera fase de crecimiento del árbol. La producción de madera en la ceiba se incrementó cuando se sembraron arreglos de yuca con caupí y caupí monocultivo en los callejones de la ceiba. Las combinaciones de yuca con maíz reducen la capacidad extractora de K en la yuca, siendo menor 100% que la extracción del maíz. Para conocer la mejor combinación de genotipos en este

tipo de arreglos agroforestales, es necesario obtener un balance equilibrado entre productividad, beneficios netos, uso eficiente de la tierra y extracción de nutrientes del suelo. Los resultados de este estudio están en fase de validación en fincas de agricultores; sin embargo, es necesario conocer aspectos como los de reducir la densidad de árboles por hectáreas y la combinación de maderables y fijadores de nitrógeno y su efecto sobre los cultivos. Es necesario seguir las investigaciones sobre el efecto de los cultivos sobre el árbol.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al señor Blas Dagor Panza Tapias por sus contribuciones en el trabajo de campo; a los colegas Blanca Nohemí Florian, Jorge Romero y Galo Gamero por la preparación de los datos y las gráficas. Agradecimientos especiales al doctor Carlos Atehortúa, gerente de la empresa Monterrey Forestal S.A., por su constante gestión para el buen éxito de todas las actividades desarrolladas en los experimentos y a la doctora Beatriz Escobar González, directora ejecutiva CORPOICA, Regional 2, por su apoyo decisivo en el logro de todos estos resultados.

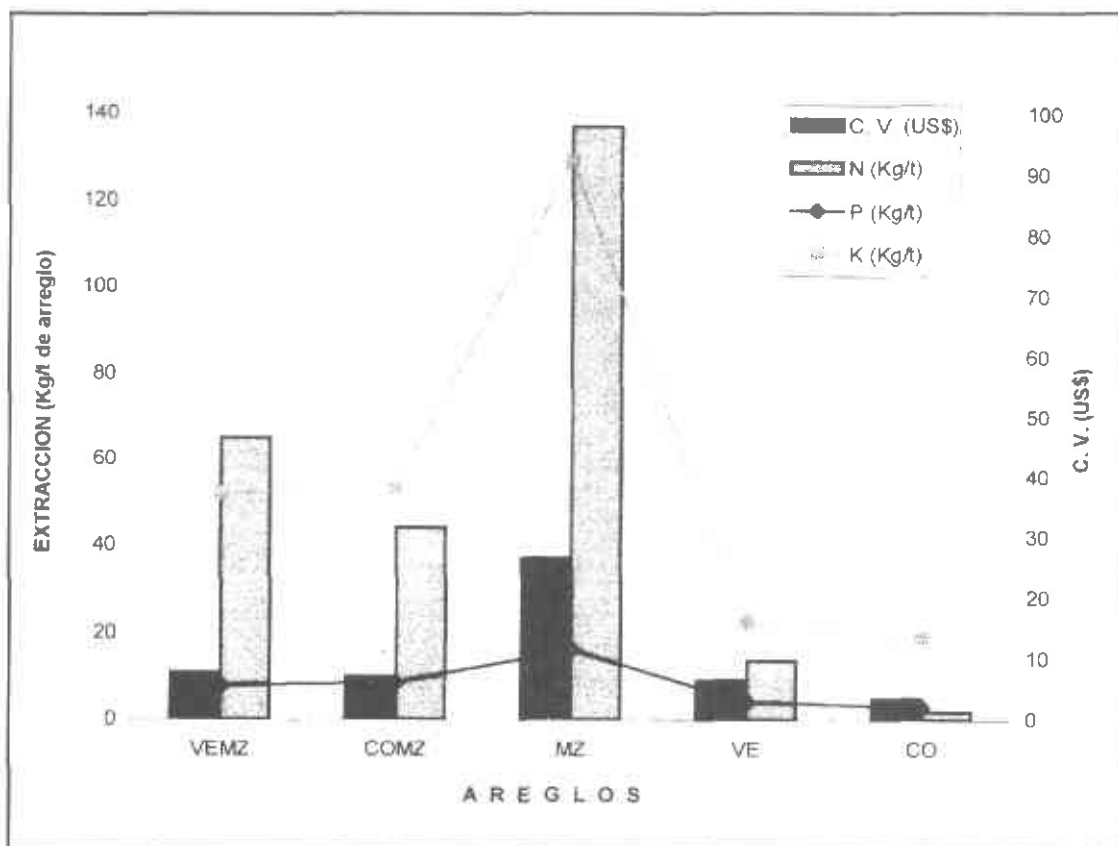


FIGURA 9. Relación entre extracción de N P K (kg/ha) con base en peso seco y los costos variables por tonelada producida en los arreglos en los callejones de ceiba roja. 1996-1997.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akachuku, A.E.** 1985. Cost-benefit analysis of wood and wood components of Agrisilviculture in Nigerian forest zone. *Agroforestry Systems* 3 :307-316.
- Atta-Krah, A.N.** 1990. Alley Farming with *Leucaena*: Effect of short grazed fallows on soil fertility and crop yields. *Expl. Agric.* v. 26, pp 1-10.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical.** CIAT. 1992. Cassava Program 1987-1991. Cropping Systems. Working Document. Cali Colombia. 169-191.
- Corporacion Colombiana De Investigacion Agropecuaria, Corpoica.** 1995. Estudio base para la identificación de líneas de acción del trabajo en biotecnología con pequeños y medianos productores agropecuarios en la Costa Atlántica. 50 p.
- Ghosh, S.P.** et. al. 1987. La yuca en sistemas de producción con estratos múltiples. Documento archivo CIAT 36712, 5-8p.
- Harper, J.L.** 1961. Approaches to the study of plant competition, **In:** Mechanisms in Biological Competition, (F.L. Milthore, ed.), *Symp. Soc. Exp. Biol.* 15 :1-39
- . 1964. The nature and consequences of interference amongs plants, **In:** Genetics Today, *Proc. XI Int. Cong. Genet.* 2 :465-482.
- Hoag, R.E.** 1983. Soils Management Report. Monterrey Forestal S.A. International Soil Management Corporation. Cary, North Carolina, U.S.A. 66p
- Leihner, D.** 1983. Yuca en cultivos asociados, manejo y evaluación. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. Cali, Colombia. 79p.
- Mead, R.** 1986. Statistical methods for multiple cropping. **In:** Multiple Cropping Systems. (Ed :Charles Francis).Macmillan Publishing Company. New York. 317350.
- Muller, C.H.** 1969. Allelopathy as a factor in ecological process. *Vegetation* 18 :348-357.