

7951 c.2



SEMINARIOS INTERNOS

MICROFILMADO

Serie SE-01-77

SEMINARIO DEL CIAT

EL TIPO IDEAL DE YUCA PARA RENDIMIENTO MAXIMO

James H. Coek

RESUMEN

La producción de materia seca. IAF y crecimiento:

El nivel máximo de la tasa de crecimiento ocurre a un índice de área foliar (IAF) de 4, el decremento posterior es probablemente debido a una corta vida de la hoja. (El ángulo de la hoja no parece ser un factor de importancia en la tasa de crecimiento de la yuca mientras que el IAF si es el factor más importante). La tasa de crecimiento de las raíces mostró un nivel óptimo de IAF, entre 2.5 a 3.5, después del cual el aumento marginal de materia seca lo usó la planta para la fabricación de hojas, (lo que muestra el aumento del área foliar) y no para las raíces.

El crecimiento de las raíces en relación con el de hojas y tallos.

La reducción del número de raíces no tiene efecto sobre el crecimiento de la parte aérea, excepto cuando la reducción es muy drástica. Ensayos de descortezamiento del tallo y de sombreo indican que las raíces aceptan únicamente el exceso de carbohidratos provenientes de la parte aérea una vez que ésta ha saturado su crecimiento.

Desarrollo del IAF.

El tamaño de la hoja aumenta hasta los cuatro meses después de la siembra y luego disminuye. El tamaño máximo es una característica varietal. La tasa de formación de hojas es muy parecida en todas las líneas investigadas. La tasa disminuye con el tiempo. Longevidad foliar sin sombreado excesivo es una característica de la variedad, cuando la sombra es más de 95% las hojas caen rápidamente. La ramificación controla el número de ápices donde se forman las hojas. El tipo de ramificación más común es de tres ramas a cada punto de ramificación. El tiempo hasta cada ramificación es una característica varietal.

Modelo del crecimiento de la yuca.

La tasa de crecimiento es una función del IAF, el cual puede ser calculado a partir de la tasa de formación de hojas por ápice, número de ápices por metro, tamaño de las hojas con el tiempo y la longevidad foliar (que es una constante). El peso del tallo se puede calcular multiplicando el peso del nudo más el peso de la hoja por la tasa de formación de hojas. La tasa de crecimiento de las raíces se puede determinar por la diferencia entre la tasa de crecimiento total y la tasa de crecimiento del tallo. Los resultados de aplicar al modelo son bastante parecidos a los datos obtenidos recientemente en el campo y por lo tanto, hace una descripción bastante precisa del crecimiento de la planta. Simulación mostró que ramificación (desastrosa cuando ocurre temprano), tamaño de la hoja, longevidad de hojas y peso por nudo influyen sobre el rendimiento. De dichos resultados de simulación es posible sugerir que una planta de yuca que combine ramificación a las 20 semanas, longevidad de hojas de 15 a 20 semanas, con tamaño máximo de la hoja de 500 cm^2 y a una densidad de siembra de 20.000 planta/ha y con buenas prácticas de manejo y protección, se pueden obtener rendimiento de 30 ton/ha/año de raíces secas.

El uso de este modelo nos permite definir los cambios de características necesarias para aumentar el rendimiento en los trabajos de fitomejoramiento.

EL TIPO IDEAL DE YUCA PARA RENDIMIENTO MAXIMO

James H. Cock

Seminario del CIAT
5 de Abril, 1975

En 1972 empezó el Programa de Yuca en el CIAT. El objetivo de este programa es la generación de una tecnología para altos rendimientos de yuca con pocos insumos. Una parte esencial en el desarrollo de esta tecnología es un tipo de planta que por sí misma sea muy eficiente en la conversión de luz, agua y bióxido de carbono a almidones. El Subprograma de Fisiología de Yuca ha tratado en los últimos años de definir que tipo de planta tendrá producción alta de almidones/ha/día. Antes de empezar con la investigación en fisiología en el CIAT, había muy pocos datos sobre la fisiología de la yuca; en una revisión de literatura, Hunt, Wholey & Cock 1977, resumieron todos los conocimientos en este campo antes de la iniciación de las investigaciones. Básicamente el factor más importante para el rendimiento parecía ser un "índice de área foliar" alto. Sin embargo, en ensayos preliminares en el CIAT cuando se aumentó el índice de área foliar (IAF) por medio de niveles altos de nitrógeno o poblaciones altas de plantas, se encontró que el rendimiento subía hasta un cierto punto y después bajaba. En estos mismos ensayos también fue notable que el punto en que empezó a bajar la producción con alta población de plantas fue también el punto en que empezó a bajar el índice de cosecha. Además se observó que había una correlación estrecha entre el rendimiento y el índice de cosecha de 18 variedades diferentes. Con esta información como base empezamos a hacer una descripción profunda del desarrollo de la yuca.

La estructura de la planta

La planta tiene como constituyentes básicos, unidades nodales que constan de hojas y pecíolos, el entrenudo y raíces gruesas que se forman en la base cortada de la estaca que se utiliza como semilla. Los entrenudos sin pecíolos y hojas, tienen un peso promedio de 0.5 hasta 2.5 grs. por entrenudo en una planta madura, y las hojas más los pecíolos tienen

135 cm² g⁻¹ de peso seco. Generalmente, la planta muestra dominancia apical fuerte y por lo tanto, no es común que produzca hojas de las yemas axilares. Cuando el ápice central se vuelve reproductivo, las yemas axilares directamente abajo del ápice central se desarrollan y forman ramas de un tamaño bastante parejo.

Producción de materia seca y su distribución

Índice de área foliar y crecimiento. En casi todos los cultivos la tasa de crecimiento aumenta con el IAF hasta un cierto nivel. Encima de este nivel la tasa de crecimiento es constante o decrece un poco. Se sembró M Col 113 en un diseño sistemático (Bleasdale 1952) y se midió la tasa de crecimiento durante un período de seis semanas. Las hojas caídas fueron recolectadas para obtener la producción de materia seca total durante el período. La tasa de crecimiento en este ensayo alcanzó a un nivel de aproximadamente 110 g m⁻² semana⁻¹ con un índice de área foliar de 4 (Fig.1). El decremento en la tasa de crecimiento con IAF de más de 4 es probablemente debido a una vida corta de la hoja con índices de área foliar altos que causan una proporción muy alta de hojas tiernas las que tienen tasas de fotosíntesis muy bajas (Tan & Cock, sin publicar). El nivel máximo de la tasa de crecimiento y la forma de la curva es similar a datos de otros ensayos en CIAT (Fig. 1, CIAT 1972).

En el mismo ensayo con M Col 113, se estudió la relación entre el crecimiento de las raíces y el IAF (Fig. 2). La tasa de crecimiento de las raíces mostró un nivel óptimo muy marcado entre 3 y 3.5. En otro ensayo con tres variedades se notó la misma tendencia a un IAF óptimo con tasa de crecimiento de más o menos 2.5 a 3 (Fig.3). Se formuló una hipótesis para explicar este IAF óptimo tan marcado que se muestra en la Fig.4. La tasa de crecimiento aumenta con el IAF pero a niveles más altos de este índice, el aumento marginal de la tasa de crecimiento con aumento del IAF es pequeño y es menor que la cantidad de la materia seca que la planta requiere para formar el IAF adicional. Por lo tanto, cuando el IAF aumenta a un nivel más alto que el óptimo, hay menos material

FIG. 1 Tasa de crecimiento de M Col 113 (●) y M Col 1148 (○) como función de índice de área foliar. Dos diferentes ensayos

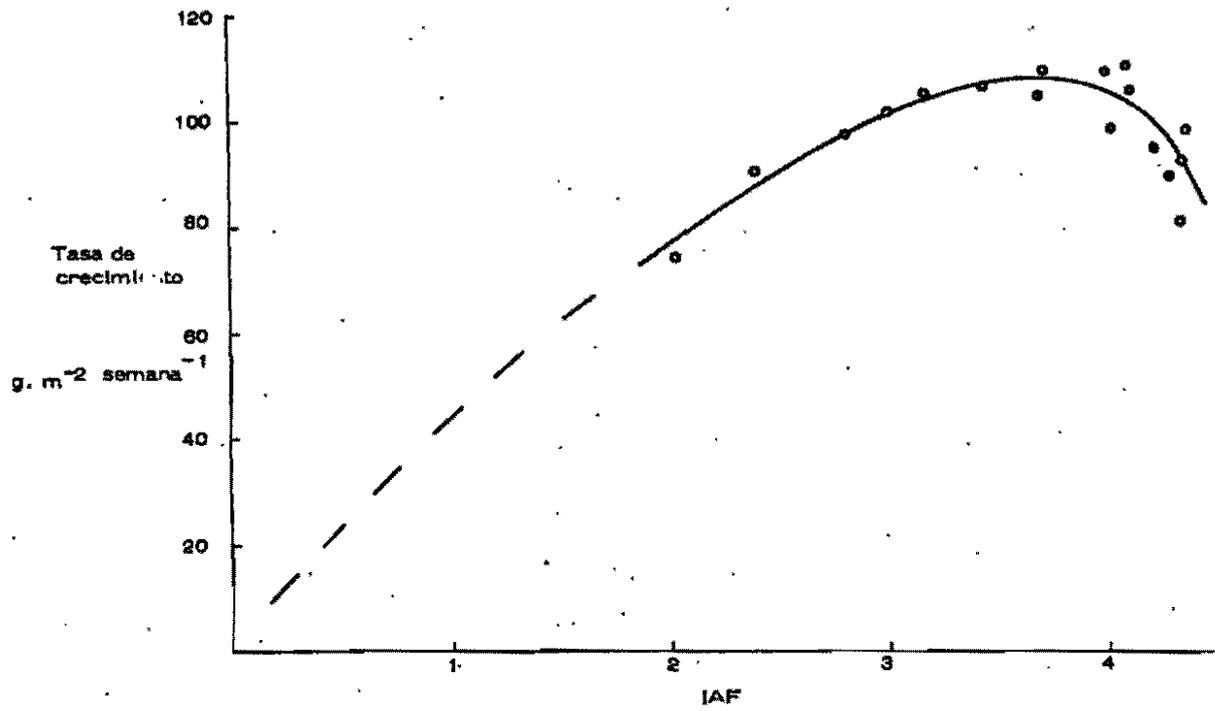


Fig. 2 Cambios de peso seco de raíces y IAF

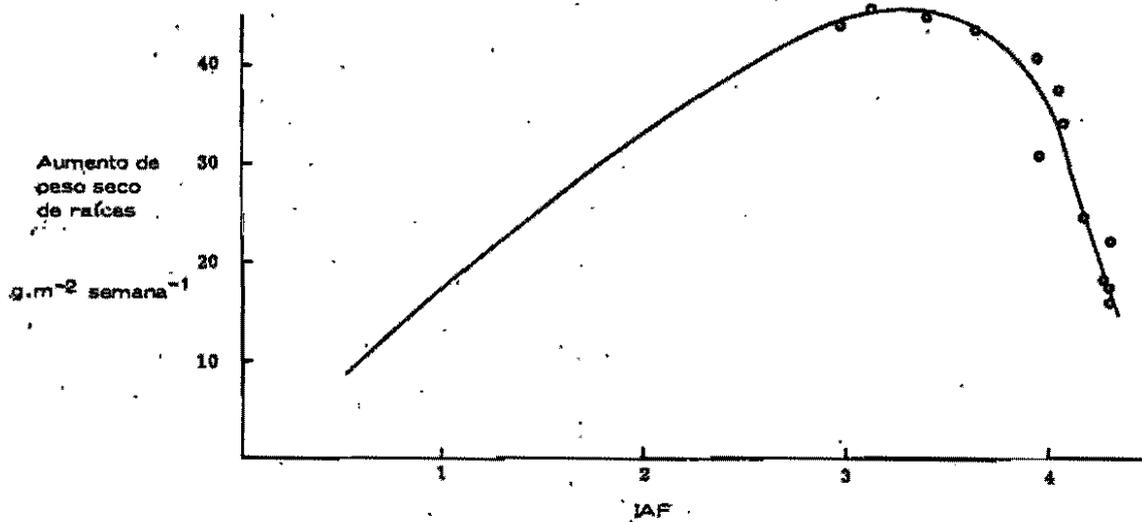


Fig. 3 Aumento de peso seco de raíces e índice de área foliar

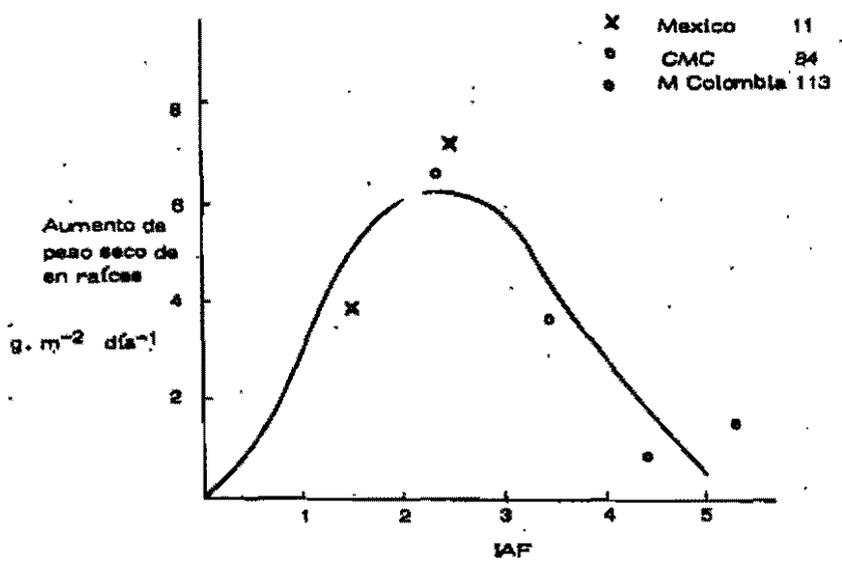
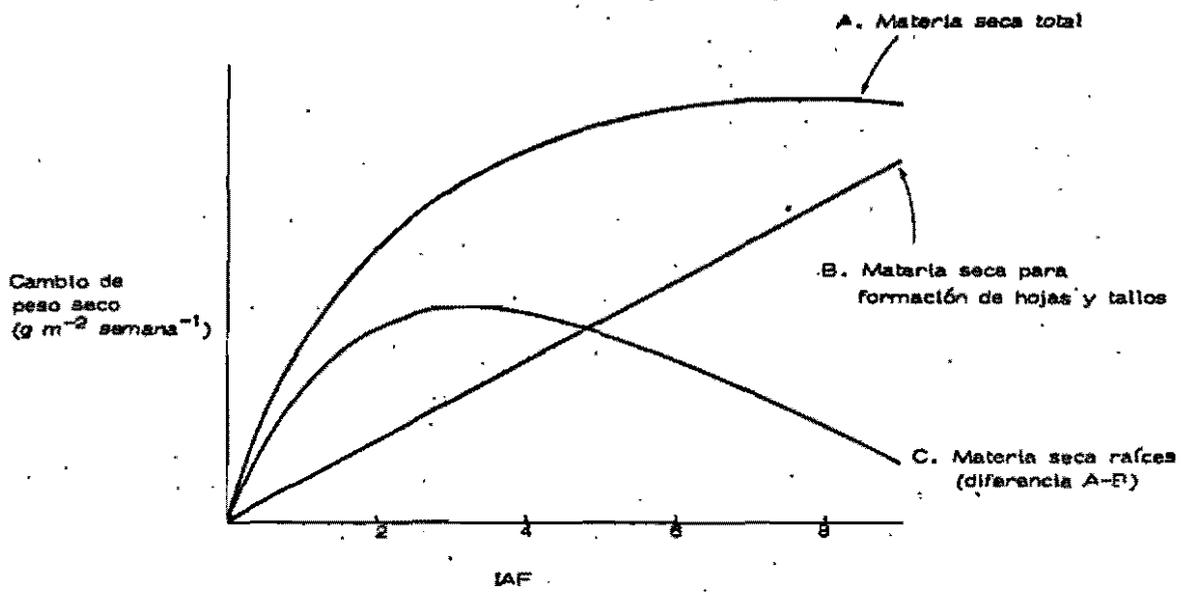


Fig. 4 Representación esquemática de la relación entre el índice de área foliar, la tasa de crecimiento, la materia seca utilizada en la formación del área de la hoja y el crecimiento de las raíces.



para el crecimiento de las raíces.

Las variedades M Col 1148 y M Col 12 con ángulos de hojas al medio día de 40° y 12° sobre la horizontal, respectivamente, fueron sembradas a un espacio de 1 x 1 m. El IAF fue modificado por medio de poda de las hojas y se midió la tasa de crecimiento durante un período de 2 meses. Todas las hojas caídas fueron recolectadas y secadas para determinar el total de la producción de materia seca nueva. La tasa de crecimiento aumentó hasta valores de 110 g. x m^{-2} /semana al aumentar el IAF hasta 4, (Fig. 5). Las diferencias entre las variedades siempre fueron pequeñas, M Col 1148 siempre tuvo una tasa de crecimiento 10% más alta que la M Col 12 a un IAF dado. Duncan *et al*, 1967, utilizaron un modelo para predecir la tasa de crecimiento de maíz y sugirieron que con un IAF de menos de 2, las hojas horizontales son ventajosas y encima de 3, las hojas verticales dan mayor tasa de crecimiento. Por lo tanto, es probable que las diferencias entre las dos variedades encontradas en este ensayo no fueron debidas a diferencias en ángulo de hoja, pero sí a otros factores aún desconocidos. Además, las diferencias debidas a ángulo de la hoja son sin duda menores en comparación con las diferencias debidas al IAF, y son demasiado pequeñas para ser importantes en un cultivo de yuca en estado de desarrollo.

De los datos presentados anteriormente, es obvio que el IAF es el factor más importante en la determinación de la tasa de crecimiento. Hasta el momento, sólo hemos encontrado diferencias pequeñas entre las variedades y empleando los datos de M Col 1148 (Fig. 5), utilizamos una relación matemática para determinar la tasa de crecimiento en función del IAF.

La tasa de crecimiento de las raíces y su relación con el crecimiento de las hojas y los tallos

Para entender el crecimiento de la yuca es necesario saber si la capacidad de las raíces para aceptar carbohidratos limita el engrosamiento de las raíces o aún el crecimiento total de la planta, y también se debe saber si la capacidad de las raíces para atraer carbohidratos tiene efectos sobre el desarrollo de la parte aérea de la planta.

Fig. 5 Tasa de crecimiento e índice de área foliar

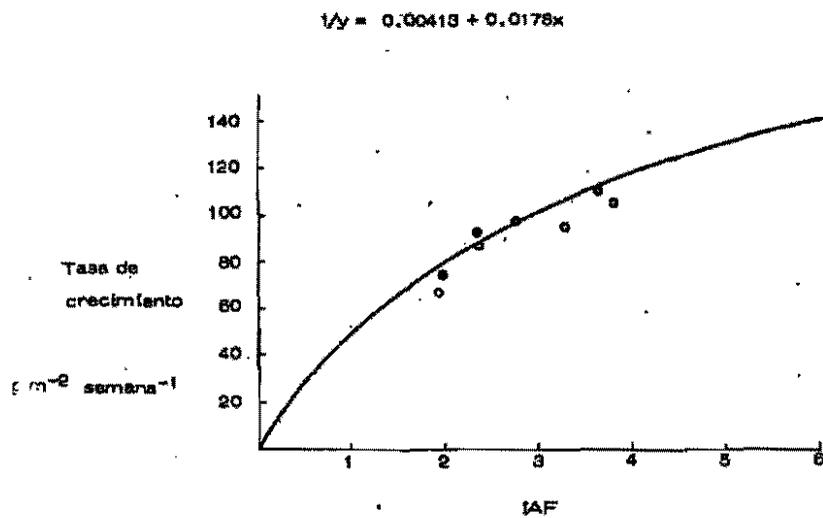
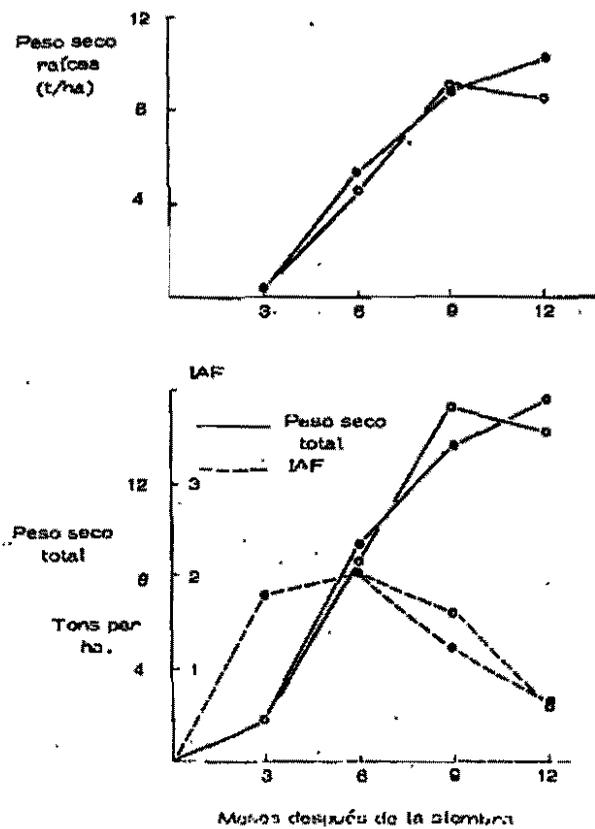


Fig. 6 Cambios en rendimiento de raíces, IAF y peso seco total de M Col 22 con normal (e) y número reducido (o) de raíces



Se redujo el número de raíces gruesas de M Col 22 tres meses después de la siembra por medio de poda de dichas raíces. No se observó ningún efecto de este tratamiento sobre la parte aérea de la planta (Fig. 6). Cuando el número de raíces por planta se redujo de 12.5 a 9.1, el peso por raíz aumentó en tal forma que no hubo ningún efecto sobre el rendimiento total. En otro ensayo con la CMC 84 se redujo el número de raíces por poda y otra vez no se observó ningún efecto sobre la tasa de crecimiento de la parte aérea (Fig.7). Sin embargo, cuando el número de raíces fue reducido drásticamente de 10.2 hasta 3.9 por planta, tanto el peso de raíces secas como el peso total de la planta fueron reducidos. No obstante, cuando el número de raíces fue reducido hasta 8.1, la reducción en ambos, peso seco de las raíces y peso seco total de la planta, fue pequeña (Fig.7).

El descortezamiento de la planta corta el floema y por lo tanto, previene el transporte de carbohidratos de la parte aérea de la planta hacia las raíces. Se puede utilizar este método para aislar la fuente de carbohidratos, la hoja del receptor, la raíz. Se hizo descortezamiento en M Col 22 y CMC 84 en la base del tallo para eliminar el efecto de receptor sobre la parte aérea. No se observó ningún efecto significativo de interacción entre variedades y tratamientos y por lo tanto, sólo se presentan los promedios de los tratamientos. No hubo ningún efecto significativo de tratamiento sobre área por hoja o por planta. El aumento de peso seco del tallo fue mayor en las plantas tratadas pero el aumento de peso del tallo más las raíces fue similar en las plantas tratadas y las sin tratamiento (Cuadro I). En otro ensayo con descortezamiento, el tratamiento no tuvo ningún efecto sobre la tasa de producción de hojas por ápice ni sobre el tamaño de la hoja (Cuadro II).

Durante la época de engrosamiento de las raíces se puso M Col 22 bajo la sombra. No hubo ningún efecto grande sobre el crecimiento de la parte aérea de la planta pero el aumento de peso de las raíces fue reducido a un 35% (Cuadro III). El tamaño de la hoja no fue afectado pero la producción de hojas fue reducida entre 5 y 15%.

CUADRO I. EFECTO DE UN CORTE ANULAR EN LA BASE DEL TALLO, SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA YUCA - (PROMEDIO DE VARIEDADES).

	Aumento en el rendimiento de raíces (g/m ²) de materia seca	Aumento en el peso del tallo (g/m ²) de materia seca	Aumento total en el peso seco sin incluir las hojas (g/m ²) de materia seca
Testigo	45	162	618
Tratada	60	580	640

CUADRO II. EFECTOS DEL DESCORTEZAMIENTO SOBRE LA PRODUCCION DE HOJAS POR APICE Y EL TAMAÑO DE HOJA.

	Hojas formadas	Tamaño de hoja (cm ²)
Testigo	11	72
Descortezamiento	12	68

CUADRO III. EFECTOS DE LA SOMBRA SOBRE EL CRECIMIENTO DE M COL 22 DURANTE LA EPOCA DE ENGROSAMIENTO DE RAICES.

	Aumento de peso seco de raices (gm ⁻²)	Aumento de peso seco de tallos (gm ⁻²)	Nudos formados por planta	Nudos formados por apice	Tamaño de hoja (cm ²)
Testigo	304	77	30	19	130
Sombra	197	70	28	16	146
% cambio debido a sombra	35	8	6	15	-12

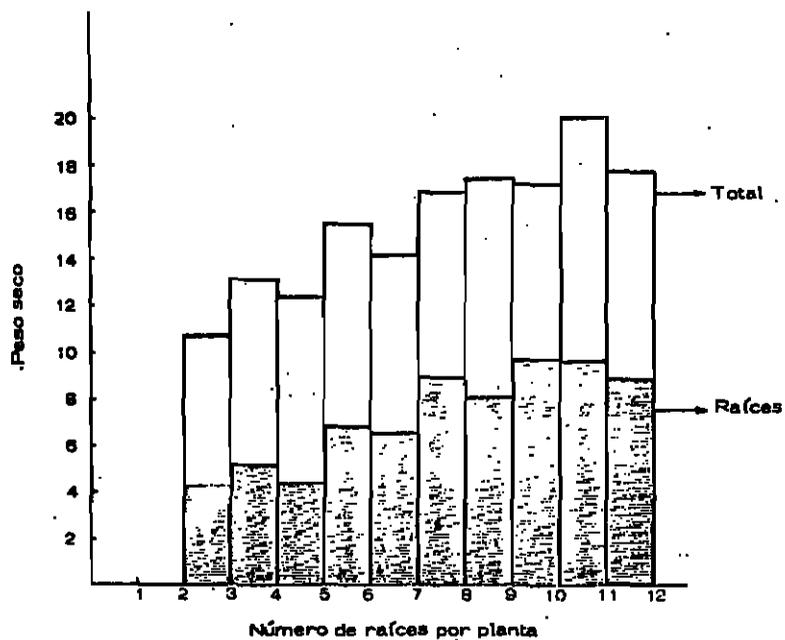
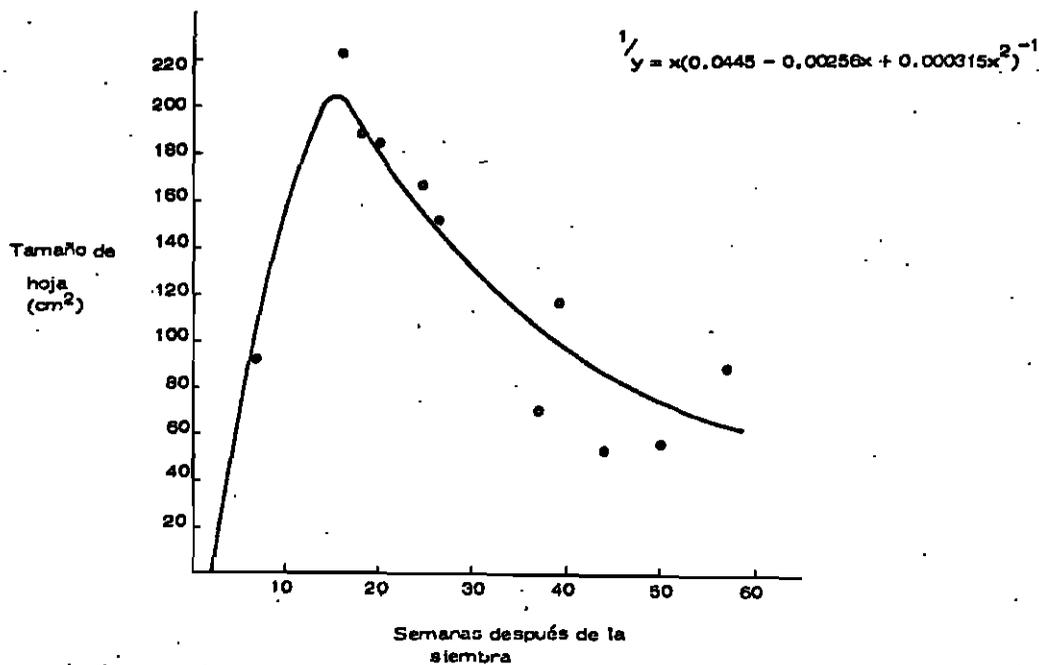


Fig. 7 Efecto de número de raíces por planta sobre rendimiento

Fig. 8 Tamaño de la hoja de CMC 84



Estos datos sugieren que el crecimiento de las hojas y los tallos tiene preferencia sobre el crecimiento de las raíces; es decir, que las raíces aceptan el carbohidrato producido en exceso del potencial de crecimiento de la parte aérea. Cuando el número de raíces es mayor que 9 por planta en una población de 10.000/ha. la capacidad de las raíces como receptores no limita el crecimiento de las raíces en términos de peso seco ni el crecimiento total de la planta. Si el número de raíces es muy limitado, la capacidad de recibir carbohidratos puede limitar la producción total de materia seca o el tallo puede aceptar más carbohidratos en los entrenudos. Sin embargo, el carbohidrato disponible en exceso no cambia la forma de desarrollo del área foliar.

Desarrollo del índice del área foliar (IAF)

En las secciones anteriores hemos enfatizado la importancia del IAF y la falta de una limitación de la capacidad receptora de las raíces como un factor que determina el rendimiento, por lo tanto una descripción de desarrollo del IAF es esencial para definir el proceso de formación del rendimiento de la yuca.

Tamaño de la hoja

El IAF es una función de: 1) el tamaño de cada hoja; 2) la tasa de formación de hojas por ápice; 3) el número de ápices por unidad de área y 4) la longevidad de la hoja. Se sembró CMC 84 en diferentes épocas y se cosecharon todas las parcelas al mismo tiempo. Se anotó una tendencia a aumentar el tamaño de la hoja hasta los cuatro meses después de la siembra y luego se notó una disminución (Fig. 8). Se observó la misma tendencia en otras variedades, algunas con ramificación profusa, M Col 1607 y otras sin ramas, M Col 72 y M Col 1120, lo que sugiere que la misma tendencia ocurre en ambos tipos, los que tienen mucha ramificación y los que no tienen ninguna ramificación (Fig. 9). Las plantas con más ramificación en este ensayo mostraron una disminución un poco más grande en el tamaño de la hoja después de los seis meses y se necesitan más ensayos para definir la interacción entre la disminución del tamaño de hoja y la forma de ramificación. Sin embargo, cuando el número de ramificaciones fue reducido

artificialmente en un 75% en la M Col 113 cinco meses después de la siembra, el tamaño de hoja sólo se aumentó en un 10% en la cosecha final 10 meses después de la siembra.

Para obtener una función general de la relación entre el tamaño de la hoja y el tiempo después de la siembra, utilizamos datos de CMC 84, un tipo de planta de ramificación mediana (Fig. 8).

Vida de la hoja

Cuando las hojas de yuca se encuentran en la oscuridad, se caen durante un período de 10 días (Rosas, Cock y Sandoval 1976). Para ver los efectos de sombra parcial algunos tratamientos fueron impuestos sobre hojas 10 y 30 días después de su formación. No había ninguna tendencia a la caída más rápida de las hojas hasta un nivel de sombra de 75% y aún a este nivel los efectos fueron pequeños. Con sombra de 85% la vida de la hoja fue muy reducida; sin embargo, la reducción no fue tan grande como para que las hojas se cayeran al cabo de 10 días después de la aplicación del tratamiento como sucede en el caso de sombra completa (Fig. 10). El modo exacto en que la sombra reduce la longevidad foliar no es completamente claro; sin embargo, los datos nos conducen a la siguiente hipótesis: 1) bajo sombra completa las hojas se caen después de 10 días de haber ocurrido la sombra completa y 2) los niveles de sombra hasta 75% tienen poco efecto sobre la longevidad de vida de la hoja. Estos datos nos han dejado hacer una descripción de los efectos de la sombra sobre la caída de hojas y es que la vida de la hoja es reducida por la sombra cuando ésta alcanza un cierto nivel y encima de este nivel las hojas se caen durante 10 días. A falta de información más precisa, hemos adoptado 95% como el nivel crítico, y cuando se hace una comparación entre los datos actuales y la hipótesis hay una relación bastante estrecha. (Fig. 10).

La intercepción de la luz por un cultivo de yuca durante un día nublado da una constante K de aproximadamente 0.8 utilizando la función

Fig. 9. Tamaño de la hoja de tres variedades

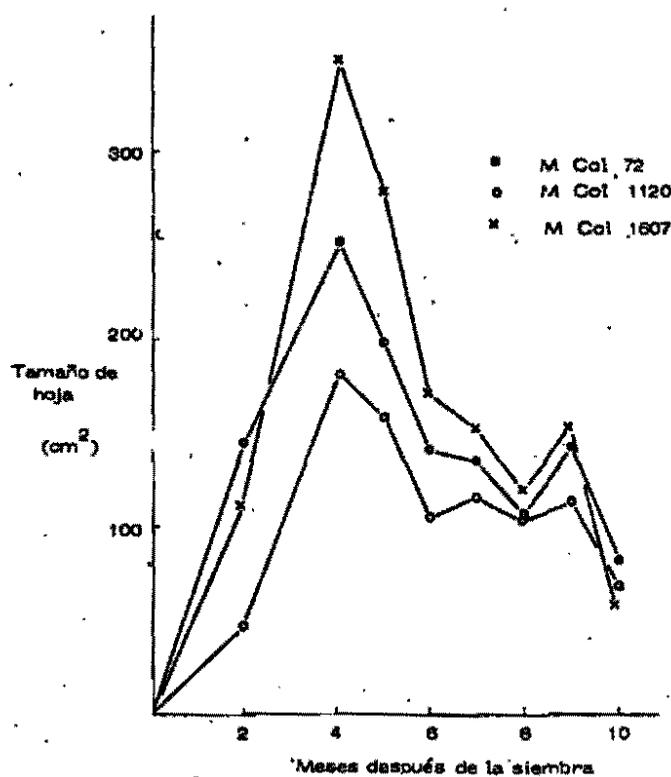
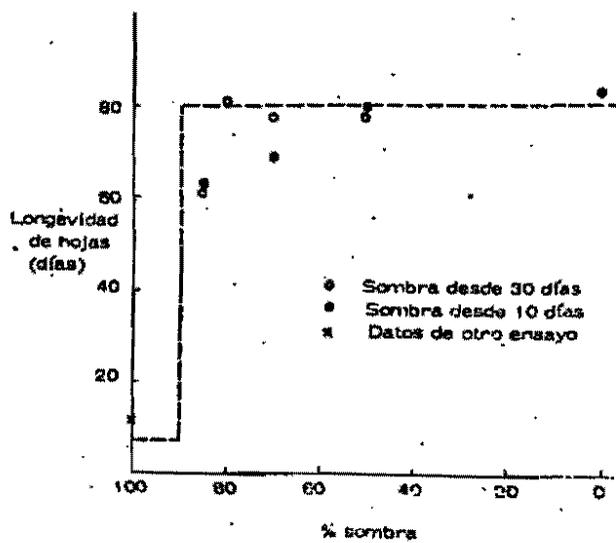


Fig. 10. Comparación de datos de campo e hipótesis de los efectos de sombra sobre longevidad foliar



$I/I_0 = e^{-kl}$, donde I_0 es radiación total y I es radiación abajo de un índice de área foliar L . La longevidad foliar de M Col 113 fue mucho más corta con valores de IAF de más de 3 lo que es equivalente a I/I_0 de 91% que sugiere también que los efectos de la sombra sobre la longevidad foliar son razonables (Fig.11).

Cinco líneas de yuca fueron sembradas como plantas separadas y durante su ciclo vegetativo se midió la longevidad foliar. La CMC 9 tuvo una longevidad foliar mejor que las demás variedades (Fig.12). No es probable que las diferencias sean debidas a diferentes efectos de sombra siendo que la CMC 84 tiene más o menos el mismo vigor que la CMC 9 pero tiene una longevidad foliar mucho más corta. Además, no hubo ninguna tendencia de longevidad foliar a cambiar con el tiempo como se esperaba si hubieran efectos grandes de sombra debido a un IAF alto. En datos obtenidos más recientemente, la M Col 72 ha tenido una longevidad foliar de hasta 125 días. En otros ensayos se observó que el descortezamiento en la base de la planta para prevenir efectos de atracción de carbohidratos y minerales por las raíces no ha tenido ningún efecto sobre la longevidad foliar (Rosas, Cock y Sandoval 1976). Por lo tanto, se puede decir que la longevidad foliar es un factor independiente del engrosamiento de las raíces pero depende de la variedad y del nivel de sombra.

Tasa de formación de hojas

La tasa de formación de hojas por unidad de área de tierra depende de: 1) la tasa de formación de hojas por ápice; 2) el número de ápices por planta y 3) el número de plantas por unidad de área.

Hojas por ápice

La tasa de formación de hojas por ápice, de dos variedades M Col 113 y M Col 22 mostró una tendencia a disminuir con el tiempo (Figs. 13 y 14) y las diferencias entre las dos variedades fueron muy pequeñas. En otro ensayo con cinco variedades sembradas como plantas separadas (Fig. 15), se observó la misma tendencia y poca diferencia varietal. Además, las tasas obtenidas en los dos ensayos sembrados en diferentes épocas fueron muy

Fig. 11 Longevidad de hojas como función de índice de área foliar

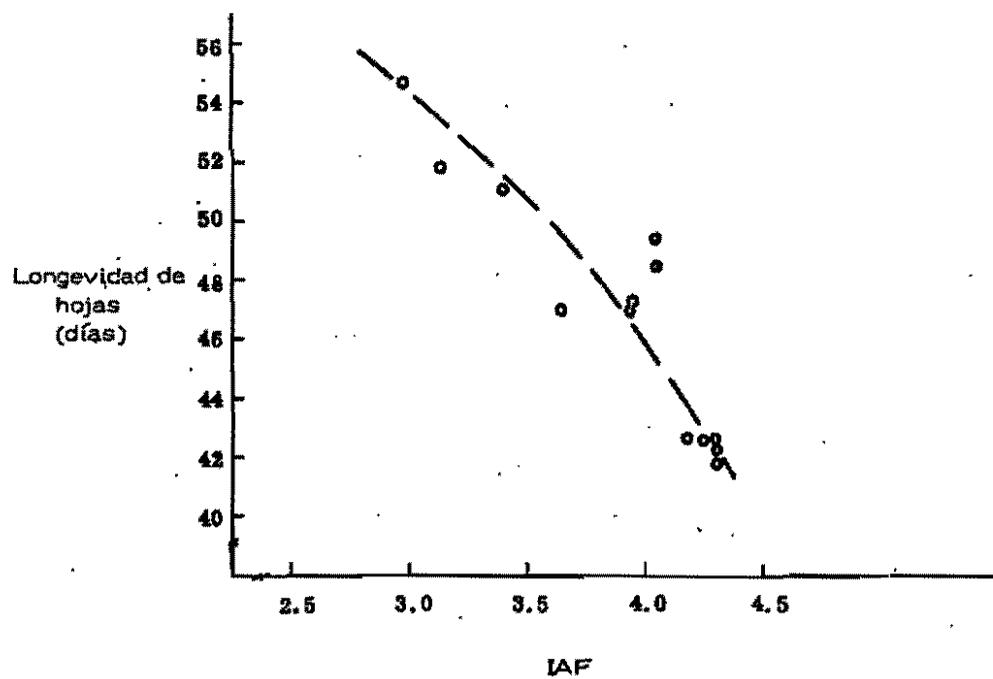
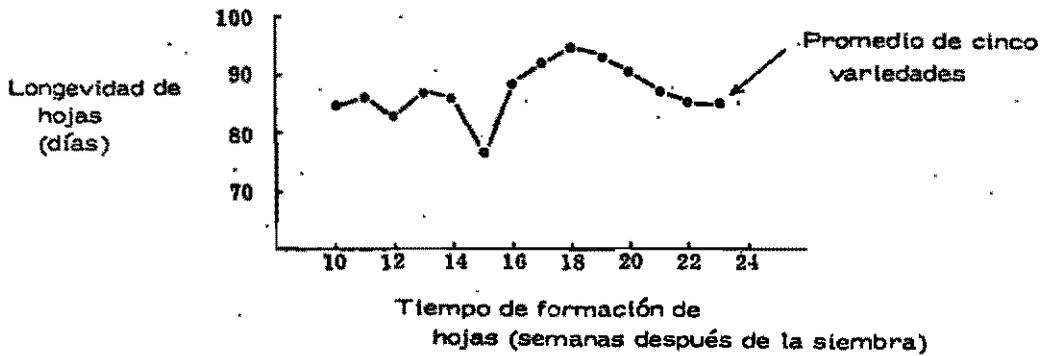
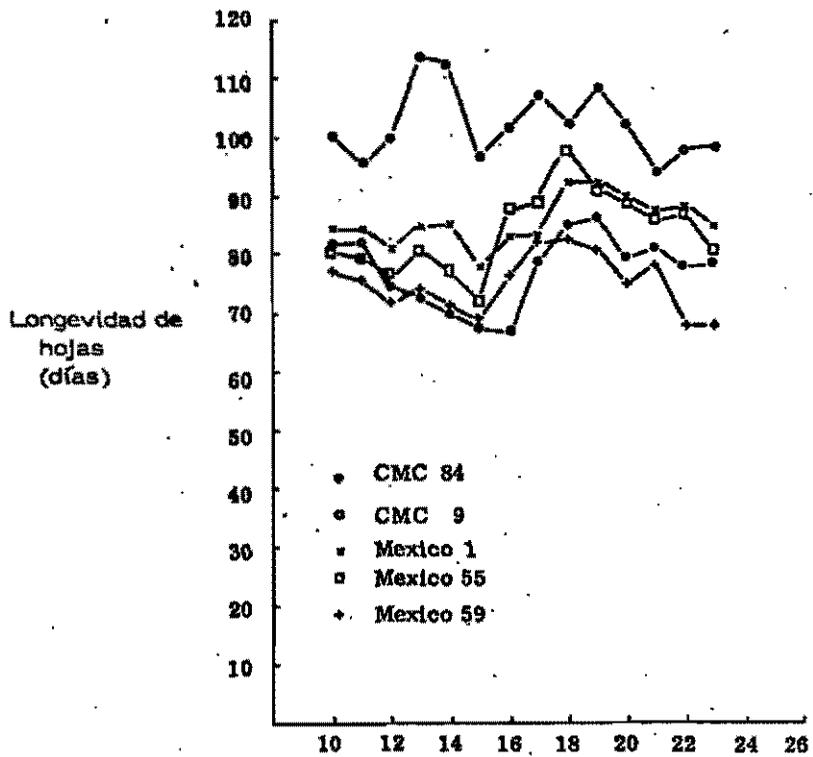


Fig. 12 · Longevidad de las hojas en plantas separadas



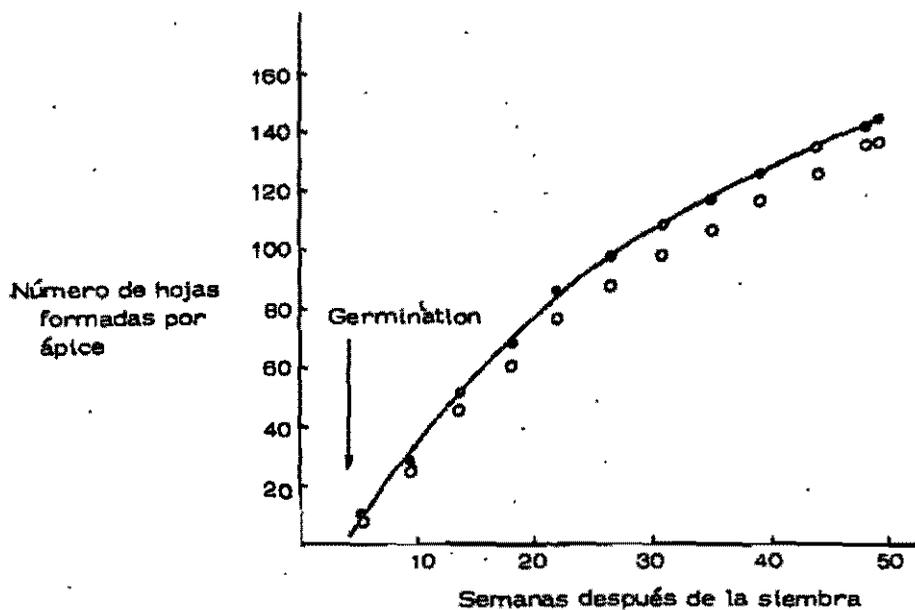


Fig. 13 Número total de hojas formado por ápice (M Col 113 (●) M Col 22 (○))

Fig. 14 Tasa de formación de hojas por ápice

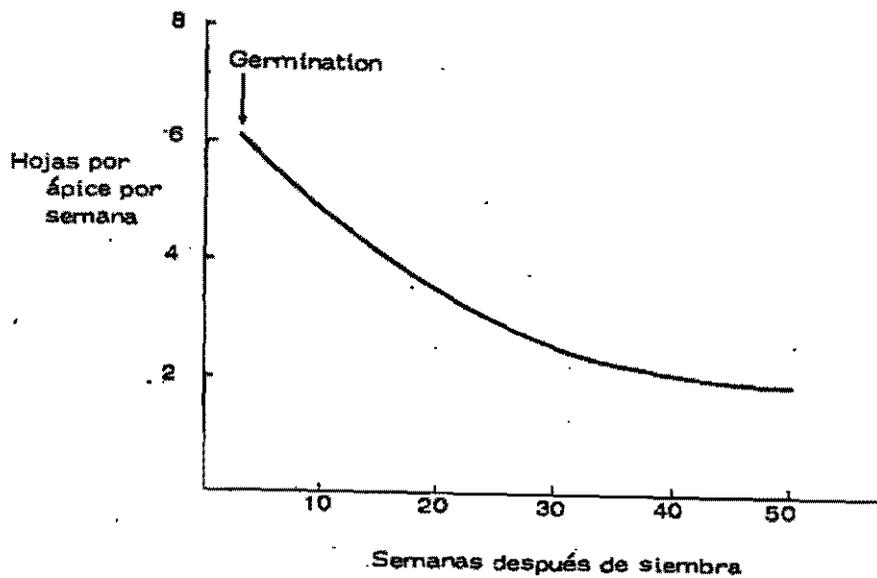


Fig. 15 , Número de hojas formadas por ápice

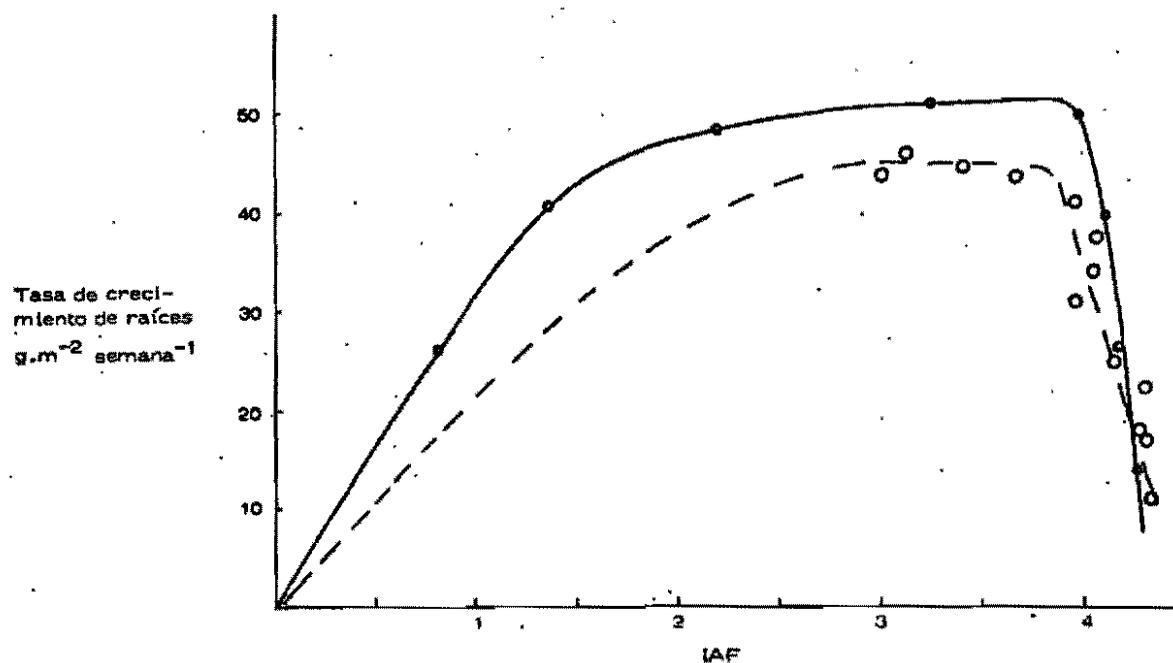
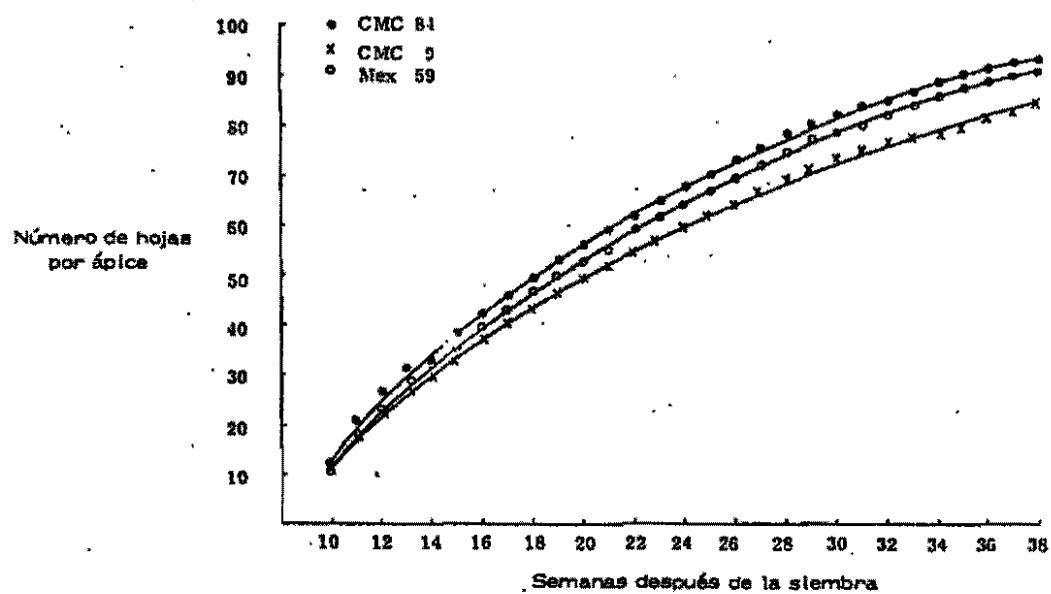


Fig. 16 . Tasa de crecimiento de raíces en el campo (o) y simulado. Etapa de crecimiento 21-27 semanas.

similares en plantas de la misma edad. Se hizo un ajuste para obtener una función de número total de hojas producido por ápice (Fig. 13) y la derivada de esta función da la formación de hojas por cada rama.

Población de plantas

El número de plantas por unidad de área depende de la densidad de la población y de la germinación. En general la germinación es alrededor de 100% y por lo tanto el número de plantas/ha es casi igual a la población de plantas.

Forma de ramificación, ápices por planta

El número de ápices por planta está determinado por la forma de ramificación. Primero los brotes axilares de la base del tallo se desarrollan y forman tallos nuevos o chupones. Estos chupones crecen a la sombra de las hojas formadas en los ápices más arriba y normalmente son etiolados con hojas pequeñas. En ensayos cuando se quitan estos chupones con poblaciones altas, los rendimientos aumentan mostrando que el tipo de planta ideal para rendimiento máximo no tendrá estos chupones. El segundo tipo de ramificación ocurre cuando el ápice central pasa a la etapa reproductiva. Los brotes axilares directamente abajo del ápice central se desarrollan y forman dos, tres, o cuatro ramas que son aproximadamente iguales en tamaño. El número de ramas formadas en cada punto de la ramificación depende de la variedad; por ejemplo, la variedad M Col 113 produce normalmente cuatro y ocasionalmente tres ramas en cada punto, mientras que la M Col 22 produce tres o en algunas ocasiones dos ramificaciones en cada punto. El tipo de ramificación más común es con tres ramas en cada punto de ramificación.

El tiempo en que esta ramificación ocurre es una característica varietal, por ejemplo la variedad M Col 1120 nunca forma ramificaciones, la M Col 72 produce ramas ocasionalmente después de 10 o 12 meses, la M Mex 11 empieza a ramificar después de cinco meses, mientras la QNC 9 frecuentemente empezará a ramificar antes de dos meses, y cuando la planta tiene

un año, tendrá seis o siete diferentes niveles de ramificación.

Modelo de crecimiento de la yuca

Se puede describir la tasa de crecimiento como una función del IAF y este último puede ser descrito por la tasa de formación de hojas por ápice, número de ápices por metro², tamaño de la hoja y longevidad foliar. De las secciones anteriores se puede ver que todos estos factores están descritos en una forma biológica. La distribución de la tasa de crecimiento es tal que primero las "necesidades" de la parte aérea deben ser satisfechas y después el exceso llena las raíces. Las "necesidades" de la parte aérea son definidas como la materia seca requerida para formar hojas y nudos, en la forma descrita en las secciones anteriores.

De las funciones de la tasa de formación de hojas por ápices, número de ápices por metro², y tamaño de hojas con el tiempo y asumiendo que la longevidad foliar es una constante se puede calcular el IAF durante cualquier período en el crecimiento de la yuca. Al mismo tiempo, a partir de estas variables se pueden calcular las "necesidades" de las partes aéreas en una forma cuantitativa.

Una vez que se han calculado el IAF se puede determinar la tasa de crecimiento; en el caso de este modelo este proceso se lleva a cabo en el período de una semana. Cuando el modelo está en esta forma, este describe el desarrollo del área foliar y la tasa de crecimiento de la planta. Se puede determinar el peso del tallo multiplicando el peso del nudo más el peso de la hoja por la tasa de formación de hojas y siendo que la tasa de crecimiento de raíces debe ser la diferencia entre la tasa de crecimiento total y la tasa de crecimiento del tallo también se puede determinar la tasa de crecimiento de las raíces.

Al principio cuando utilizamos el modelo en esta forma notamos un problema grave que consiste en que en el caso extremo de ramificación muy temprana con hojas muy grandes durante las primeras etapas de crecimiento, el crecimiento del tallo fué mayor que la tasa de crecimiento de las plantas lo que nos dió una tasa de crecimiento de las raíces ne-

gativo y hasta un peso total de las raíces negativo. Esta situación obviamente es absurda y por lo tanto supusimos que el crecimiento del tallo debe ser igual o menor que la tasa de crecimiento de la planta. Pusimos un "loop" en el programa para ajustar la tasa de formación de hojas en tal forma que el crecimiento de los tallos es igual a la tasa de crecimiento de la planta en tales casos. Cada planta tiene reservas de 1 g. para empezar el crecimiento lo que es equivalente a las reservas de carbohidratos en la estaca sembrada en el campo.

El modelo en este estado de desarrollo supuso que la longevidad foliar fuera una constante, pero de los datos anteriores hemos visto que esto depende de la sombra. Se estableció un sub-rutina en el programa para que todas las hojas que habían sido puestas bajo sombra de mas de 95% ($K = 0.8$) por una semana cayeran al fin de esta.

DISCUSION

El modelo descrito es muy sencillo y hay ciertas aproximaciones que obviamente no son realistas; por ejemplo el tamaño de la hoja es determinado en el momento en que la hoja aparece, mientras que es obvio que la hoja tiene un período de expansión antes de alcanzar a su tamaño máximo. Igualmente los nudos se forman con su peso final, mientras que datos recientes (Tan & Cock, sin publicar), muestran que los nudos aumentan su peso durante todo el ciclo de crecimiento de la planta. Además supusimos que la tasa de crecimiento es una función de IAF y es una constante que es aproximadamente real para las condiciones de CIAT en donde la radiación solar es relativamente constante y la lluvia es suficiente para prevenir efectos fuertes de sequía durante el año. Además la tasa de formación de hojas por ápice está bastante afectada por diferencias en la temperatura (Cock y Rosas, 1974, Irikura com.pers.). Aunque existan estas limitaciones, creemos que el modelo puede ser útil para definir las características de una planta de alto potencial de rendimiento bajo condiciones casi óptimas. Des-

pués cuando obtengamos más datos sobre los efectos de diferentes niveles de radiación solar, temperatura, sequía y nutrición de la planta sobre los parámetros del modelo, podremos construir un modelo nuevo para definir el tipo de planta ideal para condiciones sub-óptimas.

En el campo hay datos de tasa de crecimiento con relación al IAF y también hay datos simulados del modelo. En la fig. 16 se puede ver que los resultados del modelo son bastante parecidos a los datos obtenidos en el campo y por lo tanto creemos que el modelo hace una descripción bastante precisa del crecimiento de la planta.

Se hicieron simulaciones de diferentes tipos de planta para determinar qué características influyen el rendimiento en una forma cualitativa, pero también en una forma cuantitativa. De todas las variables utilizadas en el estudio sabemos que la forma de ramificación, el tamaño de la hoja, la longevidad foliar y el peso por nudo pueden ser cambiados por medios genéticos. En la fig. 17 se muestran: 1) el efecto de variar solo una de estas características en una planta con tres ramas a las 30 semanas, 2) la longevidad de hoja de 10 semanas, 3) el tamaño máximo de la hoja de 500 cms² y 4) el peso por nudo de 1g. sembrado a 20.000 plantas por hectárea y cosechadas 11 meses después de la siembra.

Es obvio que la ramificación temprana es desastrosa, pero cualquier tipo de planta que ramifica entre las 20 y las 30 semanas rinde bien. En el campo con una variedad muy vigorosa, M Col 113, hicimos poda de ápices para reducir el número de ramas y el rendimiento aumentó notablemente (Cuadro IV). Además los mejores rendimientos obtenidos en el CIAT de 60 y 54 ton/ha/año, fueron de tipos de plantas que tuvieron el primer punto de ramificación mas o menos 30 semanas después de la siembra (Kawano, com. pers.).

El rendimiento también fué incrementado con un aumento del tamaño

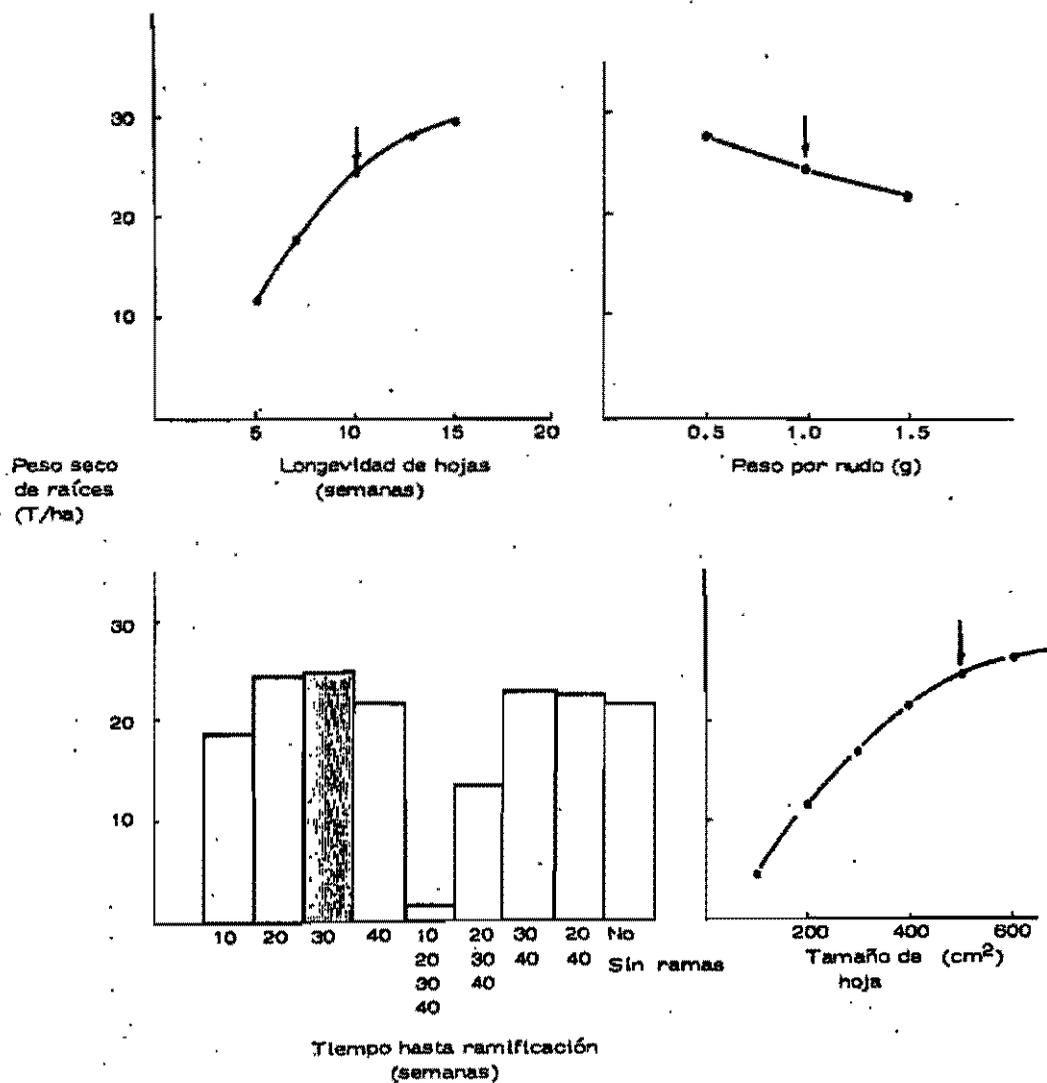


Fig. 17. Efectos simulados sobre el rendimiento. Se cambia solo un factor a base de ramificación (30 semanas), longevidad de la hoja (10 semanas), población de plantas (20.000 ha⁻¹) y tamaño máximo de la hoja (500 cm²).

CUADRO IV. EFECTO DE LA REDUCCIÓN DEL NUMERO DE APICES SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA VARIEDAD DE YUCA N COL 113.

Reducción del número de apices (%)	Rendimiento de raíces frescas (ton/ha)	Rendimiento de raíces secas (ton/ha)	Peso seco de tallos (ton/ha)	Índice de Cosecha (%)	IAF Final
0	33.6	11.3	12.5	44	4.86
25	38.5	13.3	12.7	47	4.44
50	39.7	13.6	12.0	49	4.28
75	40.3	14.0	11.8	49	4.92
Diferencias significativas	**	**	NS	**	NS

** Diferencia significativa al nivel de 0.01

máximo de la hoja pero el aumento fue pequeño cuando el tamaño de la hoja fue superior a 500 cms², sugiriendo que hay poca ventaja en tener hojas sumamente grandes pero hojas pequeñas son definitivamente desventajosas. La longevidad de las hojas tiene un efecto bien marcado sobre el rendimiento y un aumento del rendimiento muy grande puede ser esperado si podemos obtener plantas con longevidades foliares de 15 a 20 semanas.

Cuando se cambió el peso por nudo de 0.5 hasta 1.5 g/nudo, un cambio bastante drástico, los cambios de rendimiento fueron relativamente pequeños y por lo tanto, aunque es obvio que nudos más livianos son ventajosos, es improbable que podamos obtener aumentos grandes de rendimiento por medio de selección de nudos más pequeños. Además, todavía no se sabe si es posible obtener nudos livianos y al mismo tiempo hojas grandes.

De estos resultados de simulación podemos sugerir que la combinación de ramificación a las 20 semanas con un tamaño máximo de la hoja de 500 cms² y con una densidad de siembra de 20.000 plantas/ha bajo las condiciones del CIAT y con buen control de insectos, enfermedades y plagas, se pueden esperar rendimientos de 30 ton de raíces secas/ha en un año. El uso de este modelo nos ha permitido definir las características asociadas con rendimientos altos y definir en un modo cuantitativo cuanto más rendimiento podemos obtener si cambiamos una sola característica de la planta. Además, la construcción del modelo puede mostrarnos con rapidez qué factores debemos estudiar. Por ejemplo, cuando empezamos con la construcción del modelo, no tuvimos ni la más mínima idea que la longevidad de la hoja fuera un factor tan importante en la determinación del rendimiento pero el conocimiento de este parámetro es necesario para la construcción del modelo. Después se encontró la importancia de este parámetro que ha recibido muy poca atención de los fisiólogos en general y ya pensamos que los aumentos en la longevidad foliar son muy importantes para aumentar el rendimiento en la yuca y probablemente en otros cultivos con ciclos vegetativos bastante largos.

REFERENCIAS

- BLEASDALE, J.K.A. (1967). Systematic design for spacing experiments
Expl. Agric. 3: 73:85.
- DUNCAN, W.G., Loomis R.S., Williams W.A., & Hanan R. (1967) Hilgardia
38:181.
- CIAT (1973) Annual Report. Centro Internacional de Agricultura
Tropical, Cali, Colombia.
- CIAT (1974) Annual Report. Centro Internacional de Agricultura
Tropical, Cali, Colombia.
- CIAT (1975) Annual Report. Centro Internacional de Agricultura
Tropical, Cali Colombia.
- CIAT (1976) Annual Report. Centro Internacional de Agricultura
Tropical, Cali, Colombia.
- COCK, J.H. & Carlos Rosas (1975). Ecophysiology of Cassava. In
Ecophysiology of tropical crops. Communications division of
CEPLAC. Km 22 Rodovia Ilheus/Itabuna, Bahia, Brazil.
- COCK J.H. (1973). Some physiological aspects of yield in Cassava.
In Proceedings of the third symposium of the International
Tropical Root and Tubers Crop Society, IITA, Ibadan, Nigeria.
(In press).
- COCK J.H. (1976). Characteristics of high yielding cassava varieties.
Expl. Agric. 12:135-143.
- COCK, J.H., D.W. Wholey & O. Gutierrez de las Casas (In press). Effects
of spacing on cassava. Expl. Agric.
- NESTEL B.L. & Cock J.H. (1976). Cassava the Development of an Interna-
tional Research Network IDRC 059e.

ROSAS, C., J.H. Cock & G. Sandoval (1976). Leaf fall in Cassava.
Expl. Agric. 12:395-400.

VRIES C.A. de, Ferweda J.D. & Flach M. (1967). Choice of food crops
in relation to actual and potential production in tropics.
Netherlands, J. Agric. Sci. 15:241.

WHOLEY D.W. & J.H. Cock (1974). Onset and rate of root bulking in
cassava. Expl. Agric. 10:193-198.