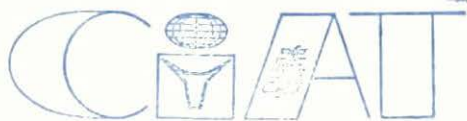


11.715

MICROFILMADO



Centro Internacional de Agricultura Tropical

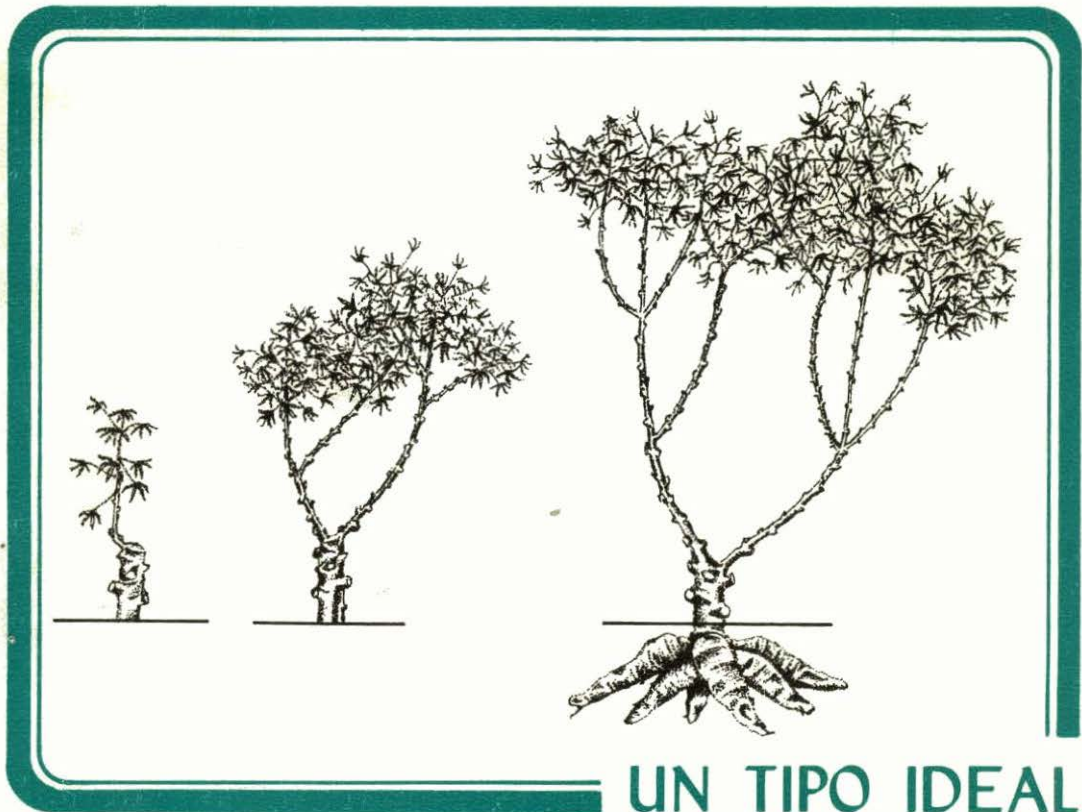


Serie 04SC-02,01
Enero 1979

CENTRO DE DOCUMENTACION

GUIA DE ESTUDIO

PARA SER USADA COMO COMPLEMENTO DE LA
UNIDAD AUDIOTUTORIAL SOBRE EL MISMO TEMA



UN TIPO IDEAL
DE PLANTA DE YUCA
PARA RENDIMIENTO MAXIMO

El CIAT es una institución sin ánimo de lucro, dedicada al desarrollo agrícola y económico de las zonas bajas tropicales. Su sede ocupa un terreno de 522 hectáreas, propiedad del Gobierno de Colombia, el cual en su calidad de país anfitrión brinda apoyo a las actividades del CIAT. El Centro trabaja en colaboración con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en varias de sus estaciones experimentales y también con agencias agrícolas a nivel nacional en otros países de América Latina. Varios miembros del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional financian los programas del CIAT. Durante este año los donantes son: la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (USAID), la Fundación Rockefeller, la Fundación Ford, la Fundación W.K. Kellogg, la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (CIDA), el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) por intermedio de la Asociación Internacional del Desarrollo (IDA), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y los gobiernos de Australia, Bélgica, la República Federal Alemana, Holanda, Japón, Suiza y el Reino Unido. Además, algunas de estas entidades, el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo del Canadá (IDRC), la Junta Internacional de Recursos Fitogénicos (IBGPR), y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) financian proyectos especiales. La información y conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente la posición de ninguna de las instituciones, fundaciones o gobiernos mencionados.

El diseño, desarrollo y producción de esta Unidad Audiotutorial ha sido posible a través del proyecto de cooperación UNDP/CIAT RLA/75/084.

GUIA DE ESTUDIO

UN TIPO IDEAL DE PLANTA DE YUCA PARA RENDIMIENTO MAXIMO

Coordinación de Producción:

Luis Fernando Ceballos, *Ing. Agr.*
Oscar Arregocés, *Ing. Agr.*

Asesoría Científica:

James Cock, *Ph.D. Fisiólogo Coordinador Programa de Yuca*
Carlos Domínguez, *M.S.*

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL
CIAT, Cali, Colombia

- * Copias de esta unidad pueden ser solicitadas a la Oficina de Recursos para Adiestramiento del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia - Sur América.

- ** Información sobre otras unidades audiotutoriales puede solicitarse a la misma dirección.

Contenido

	Página
INTRODUCCION	4
1. INDICE DE AREA FOLIAR	5
1.1 Tamaño de la hoja	5
1.2 Longevidad foliar	7
1.3 Número de hojas por unidad de área	10
2. TASA DE CRECIMIENTO	13
3. RELACION ENTRE LA TASA DE CRECIMIENTO Y EL IAF	13
4. CRECIMIENTO DE LAS RAICES VS CRECIMIENTO DE LA PARTE AEREA	13
EVALUACION	19
5. BASES DEL MODELO MATEMATICO DEL CRECIMIENTO DE LA PLANTA DE YUCA	20
5.1 Desarrollo del modelo matemático	21
5.2 Ajustes del modelo matemático	22
5.3 Planta ideal	22
5.4 Usos del modelo matemático	26
5.5 Limitaciones del modelo matemático	27
EVALUACION	28
Lecturas Recomendadas	30

UN TIPO IDEAL DE PLANTA DE YUCA PARA RENDIMIENTO MAXIMO

Introducción

La presente guía de estudio, complemento de la unidad "Un tipo ideal de planta de yuca para rendimiento máximo", tiene como objetivo presentar parte de los resultados de las investigaciones realizadas por el Programa de Fisiología de Yuca del CIAT, los cuales han permitido la elaboración de un modelo matemático del desarrollo de la planta de yuca, mediante el cual es posible predecir los efectos que produce en el rendimiento la variación de uno o varios de sus componentes, y por lo tanto, vislumbrar lo que podría considerarse como el tipo ideal de planta de yuca.

Se estudia en primer lugar, el Índice de Área Foliar y los factores morfológicos que lo determinan; se analiza la tasa de crecimiento o tasa de acumulación de materia seca y su dependencia del área foliar. Finalmente y mediante el uso del modelo matemático, se establece la relación entre estos parámetros y el rendimiento de la planta de yuca.

Una forma de evaluar el desarrollo de un cultivo es mediante la determinación de la producción de materia seca total, la cual depende principalmente de la capacidad de la planta para interceptar y utilizar la energía solar.

Los rayos solares (Figura 1), en su mayor parte, son interceptados por

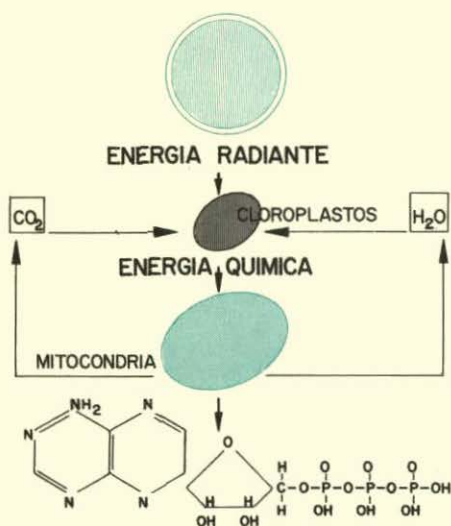


Figura 1.

TRANSFORMACION DE LA ENERGIA RADIANTE EN ENERGIA QUIMICA

las hojas, componentes de la planta que poseen cloroplastos en sus células, los cuales son capaces de utilizar la energía radiante para convertir el anhídrido carbónico y el agua en hidratos de carbono que luego son aprovechados por el hombre.

Como las hojas son los órganos básicos de la planta en el proceso de transformación de la energía, se empezará por estudiar el área foliar y los factores que pueden modificarla.

1. Índice de Area Foliar (IAF)

Para tener una idea de la cantidad de luz interceptada por las hojas, es necesario medir el área foliar. El resultado de la división del área foliar por el área del suelo se conoce como el Índice de Area Foliar.

Se puede decir que el Índice de Area Foliar depende de:

- 1.1 El tamaño de la hoja,
- 1.2 La longevidad foliar y
- 1.3 El número de hojas por unidad de área

1.1 Tamaño de la hoja

En experimentos con variedades que no ramifican (Mcol 72-Mcol 1120) y con variedades de ramificación pro-

fusa (Mcol 1607), (Figura 2), el tamaño promedio máximo de la hoja se obtuvo, en ambos casos, en plantas de cuatro meses de edad; después de esta edad el tamaño de la hoja disminuyó; en la variedad ramificada se notó una mayor dis-

minución del tamaño de la hoja después de los seis meses. Se concluyó que el tamaño de la hoja es una característica varietal, que alcanza su máximo valor a los cuatro meses de edad de la planta y luego disminuye.

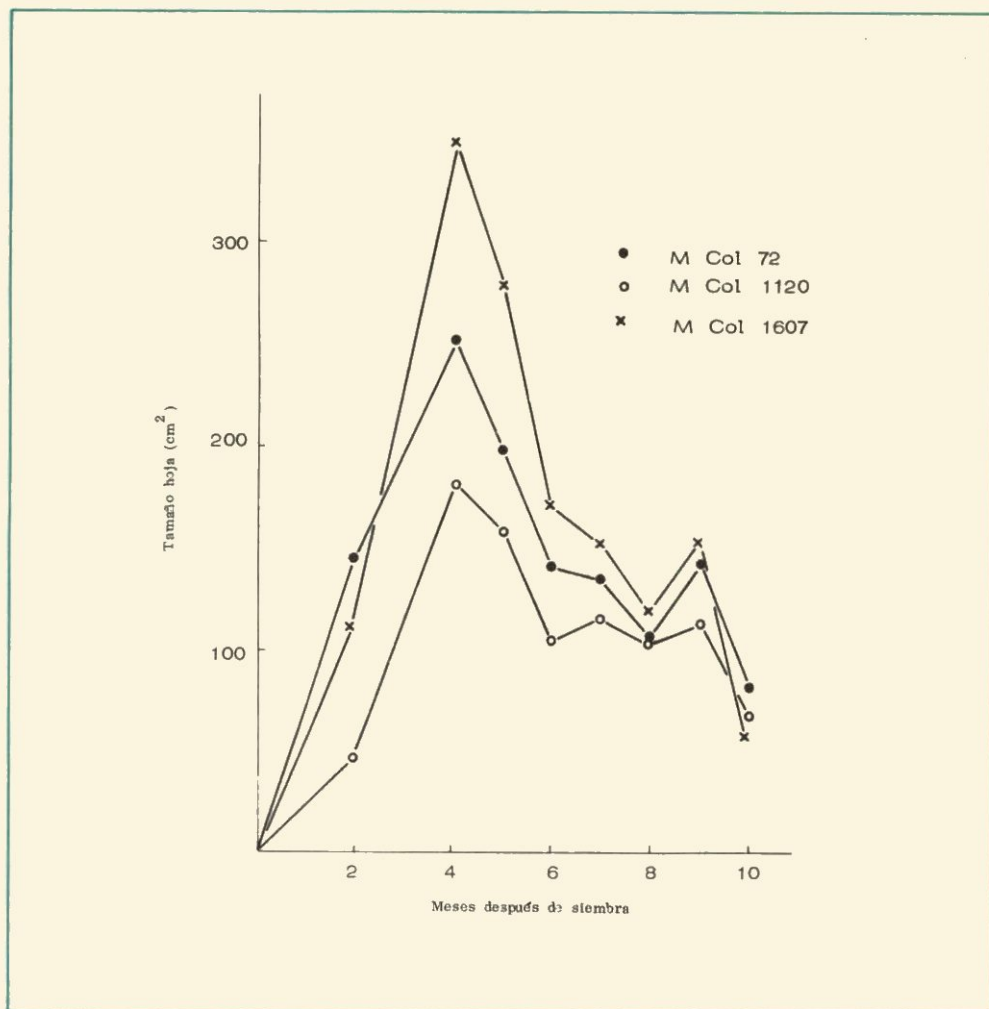


Figura 2. TAMAÑO DE LAS HOJAS DE TRES VARIEDADES EN DIFERENTES EDADES DE LA PLANTA.

Posteriormente, con datos obtenidos con la variedad (CMC 84) de ramificación mediana, se obtuvo la función entre el tamaño de la hoja y el tiempo después de la siembra. (Figura 3)

1.2 Longevidad Foliar

El término longevidad foliar se refiere al tiempo que la hoja aún verde se mantiene adherida al tallo y depende de:

1.2.1 la sombra

1.2.2 la variedad

1.2.3 la disponibilidad de nutrientes

1.2.1 La sombra

Para medir el efecto de la sombra sobre la longevidad foliar, se impuso sombra parcial sobre hojas de 10 y 20 días de edad. Debido a que el modo como la sombra reduce la lon-

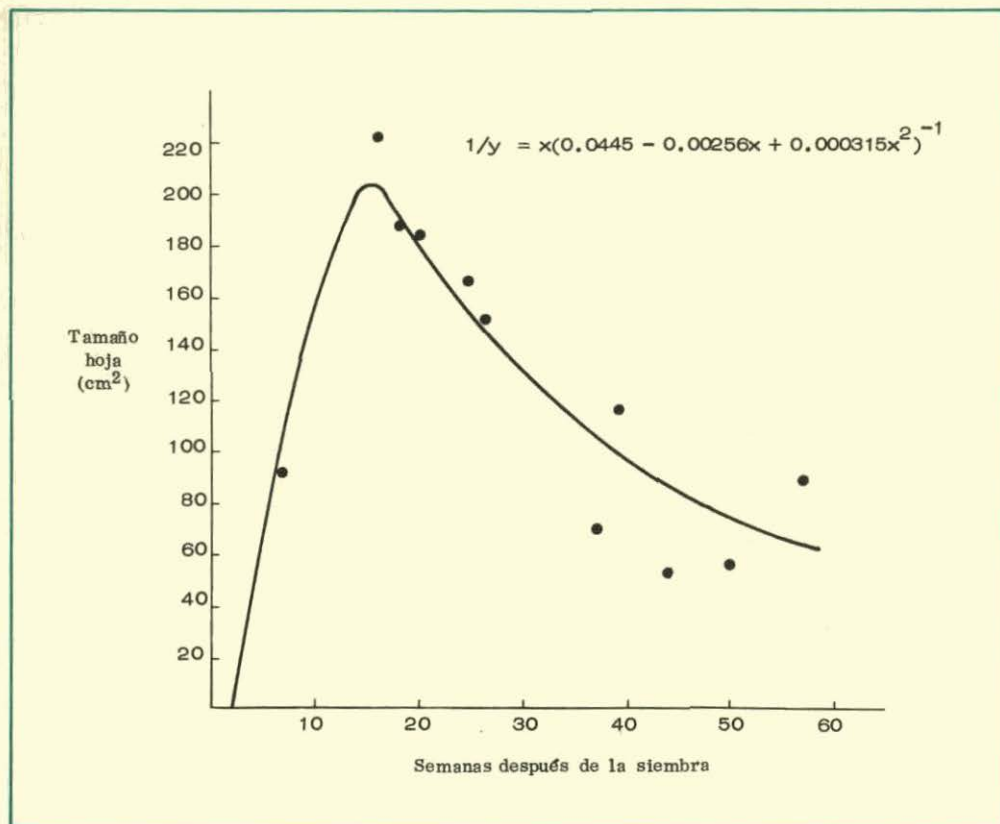


Figura 3. FUNCION DEL TAMAÑO PROMEDIO DE LA HOJA Y EL TIEMPO DESPUES DE LA SIEMBRA. VARIEDAD CMC 84.

gevidad foliar no es completamente claro, se plantearon las siguientes hipótesis:

1. Bajo sombra completa las hojas se caen después de 10 días; se adoptó, para fines prácticos, el 95 por ciento de sombra como nivel crítico.
2. Los niveles de sombra menores de 95 por ciento, afectan muy poco la longevidad de la hoja.

Al comparar los datos de campo con la hipótesis (línea punteada, Figura 4), se vió que existía una

relación bastante estrecha, lo que apoyó la hipótesis establecida.

Como puede observarse, un nivel de sombra de menos de 95 por ciento tuvo muy poco efecto sobre la longevidad foliar, pero un nivel mayor del 95 por ciento, ocasionó la caída de las hojas.

1.2.2 La variedad

Para determinar si las variedades tenían diferente longevidad foliar, se sembraron separadamente plantas de cinco variedades, (CMC 84, CMC 9, MEX 11, MEX 55 y MEX 59) y durante su ciclo vegetativo se midió la longevidad foliar.

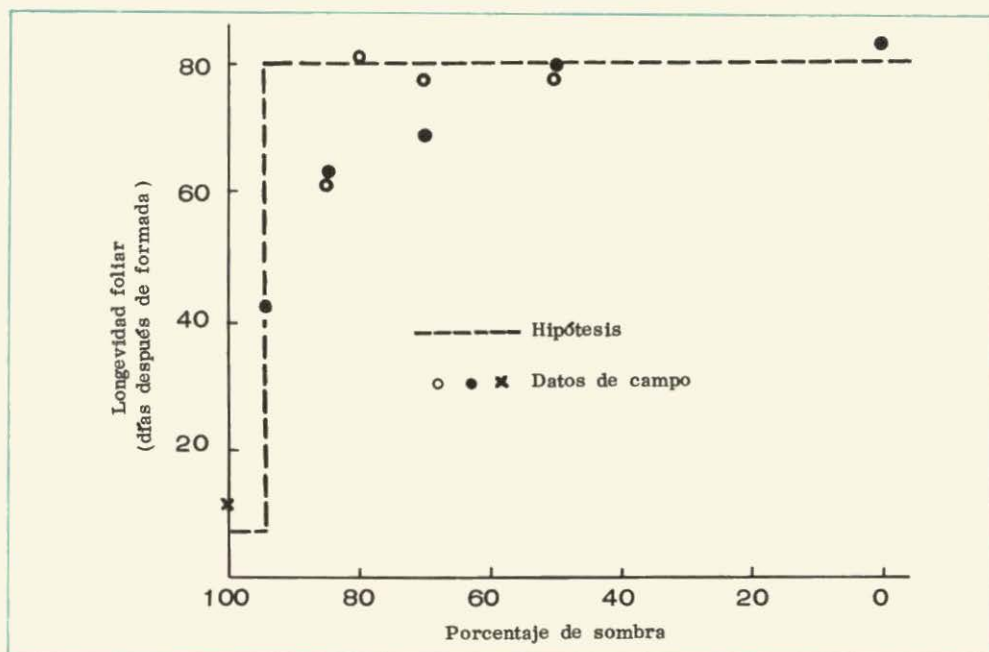


Figura 4. EFECTO DE LA SOMBRA SOBRE LA LONGEVIDAD FOLIAR, COMPARACION ENTRE LOS DATOS DE CAMPO Y LA HIPOTESIS.

Los resultados que se observan en la Figura 5, indican que la variedad CMC 9 tuvo mayor longevidad foliar que las demás. Esta diferencia no se debe al vigor de la planta, ya que la variedad CMC 84 tiene más o menos el mismo vigor que la CMC 9 y además no se ob-

servó tendencia de la longevidad foliar a cambiar con el tiempo debido a un IAF alto; por lo tanto, las diferencias observadas se pueden considerar como características varietales independientes del hábito de ramificación.

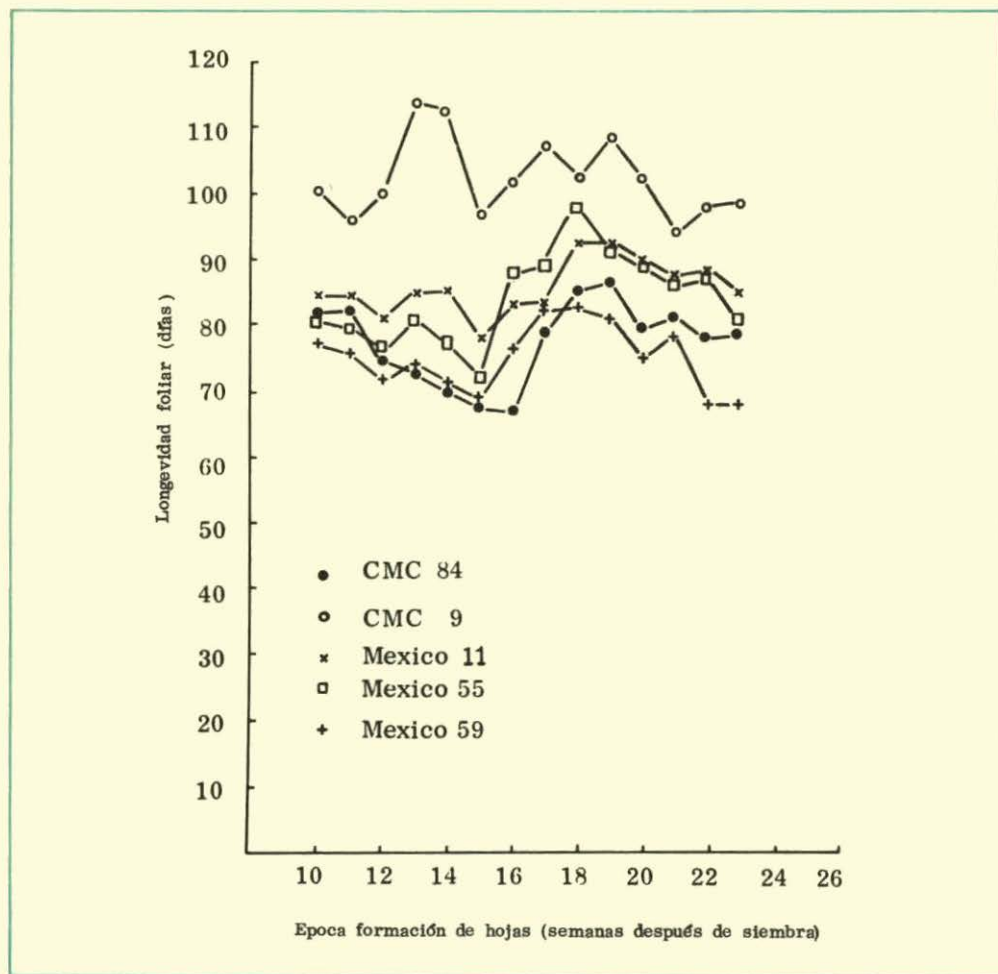


Figura 5. LONGEVIDAD FOLIAR DE CINCO VARIEDADES DE YUCA EN FUNCION DEL TIEMPO DESPUES DE LA SIEMBRA.

1.2.3 Disponibilidad de nutrimentos

Para determinar si la disponibilidad de nutrimentos influye o no en la longevidad foliar, se descortezó la base de la planta para impedir la translocación de productos elaborados a las raíces. Los resultados indican que una mayor disponibilidad de nutrimentos no influye en la longevidad de las hojas.

De los estudios anteriores se puede concluir que la longevidad foliar es una característica varietal afectada de tal forma por la sombra, que las hojas colocadas bajo 95 por ciento de sombra caen a los 10 días y que la disponibilidad de nutrimentos no influye en la longevidad.

1.3 Número de hojas por unidad de área

Cuando iniciamos el estudio del IAF, se indicó que éste también dependía del número de hojas por unidad de área de suelo el cual a su vez depende de:

1.3.1 La tasa de formación de hojas por ápice

1.3.2 El número de ápices por planta, y

1.3.3 El número de plantas por unidad de área.

1.3.1 Tasa de formación de hojas por ápice

Para determinar la tasa de formación de hojas por ápice, se realizaron varios ensayos con diferentes

variedades; los resultados indican que el número de hojas formadas por ápice tiende a disminuir con el tiempo, y que no existe diferencia varietal.

Se hizo entonces un ajuste para obtener la función del número total de hojas formadas por ápice por semana después de la siembra (Figura 6).

Finalmente, por medio de la derivada de la función que describe la formación de hojas por ápice, se obtuvo la tasa de formación de hojas por ápice a partir de la germinación (Figura 7).

1.3.2 Número de ápices por planta

El número de hojas por unidad de área también depende del número de ápices por planta, el cual está determinado por la forma de ramificación.

Los primeros brotes que pueden desarrollarse a partir de la estaca son los brotes axilares de la base del tallo; (Figura 8) en poblaciones altas (más de 10.000 plantas/ha) se ha observado que cuando se eliminan estos brotes los rendimientos aumentan, lo cual indica que el tipo ideal de planta para rendimiento máximo no debe tener estos brotes o chupones.

El segundo tipo de ramificación se inicia en los brotes axilares directamente situados debajo del ápice central, donde se forman dos, tres o cuatro ramas que son aproximadamente iguales en tamaño. El número de ramas formadas en

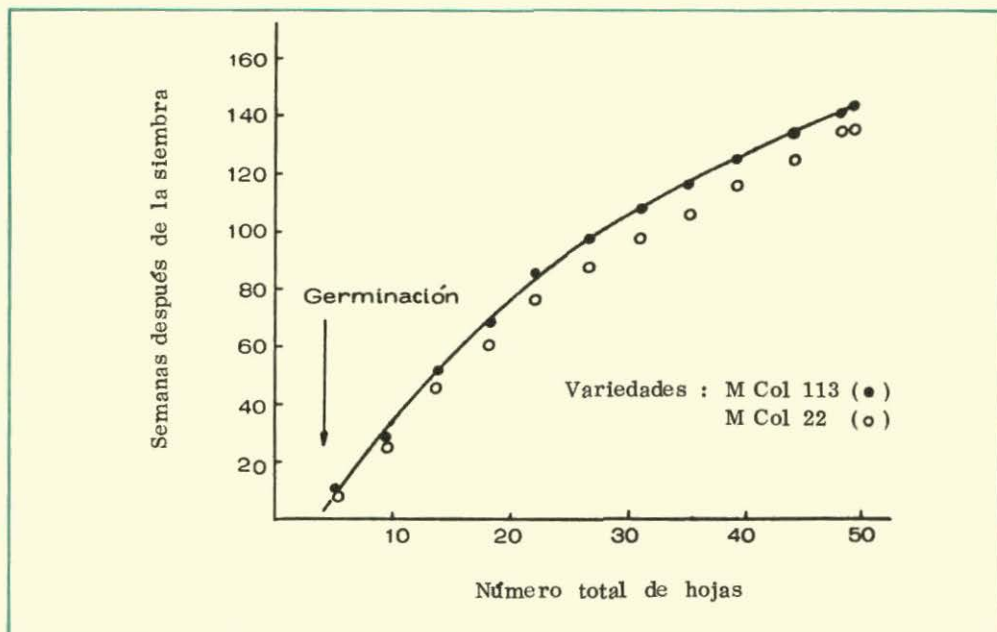


Figura 6. NUMERO TOTAL DE HOJAS FORMADAS POR APICE.

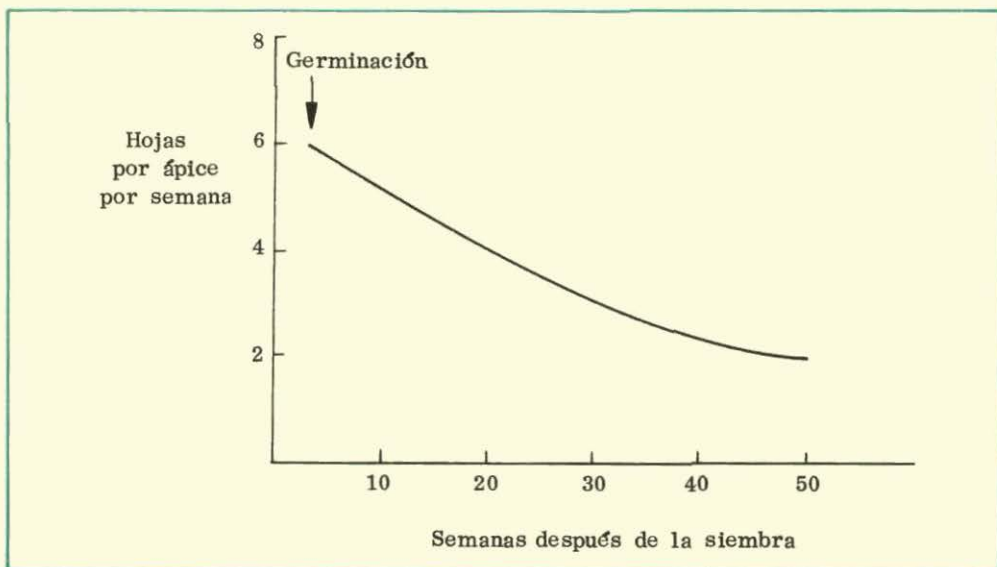


Figura 7. TASA DE FORMACION DE HOJAS POR APICE



Figura 8. **BROTOS AXILARES**

cada punto de la ramificación depende de la variedad; tres ramas es el número más común.

La edad a la cual ocurre la ramificación es una característica varietal. Por ejemplo, la variedad Mcol 72 produce ramas ocasionalmente después de diez o doce meses; la MEX 11, empieza a ramificar antes de los dos meses de edad, y al año la planta tiene seis o siete diferentes niveles de ramificación (Figura 9).

1.3.3 Número de plantas por unidad de área

El número de hojas por unidad de área depende del número de plantas por unidad de área, el que a su vez depende del número de estacas sembradas que germine. En general, alrededor del cien por ciento de las estacas sembradas germina si las recomendaciones sobre su selección, tratamiento y siembra han sido seguidas cuidadosamente, lo que da como resultado un número de plantas por hectárea casi igual al número de estacas sembradas.

Podemos indicar entonces que "el número de hojas por unidad de área depende de la tasa de formación de hojas por ápice, del número

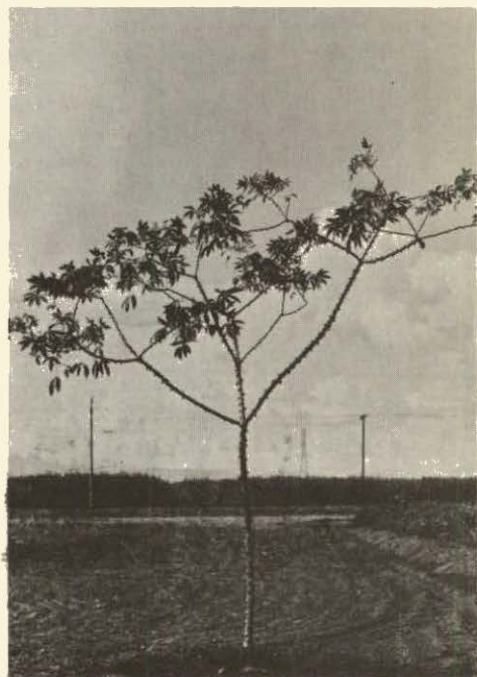


Figura 9. **TIPO DE RAMIFICACION**

de ápices por planta y del número de plantas por unidad de área."

Resumiendo hasta este punto podemos indicar que:

El Índice de Área Foliar depende de:

- A. El tamaño de la hoja: el cual es una característica varietal y disminuye después de los cuatro meses de edad de la planta.
- B. La longevidad foliar: la cual es una característica varietal afectada por la sombra, y de
- C. el número de hojas por Unidad de Área, el cual depende de:
 - La tasa de formación de hojas por ápice; que tiende a disminuir con el tiempo, y no es una característica varietal.
 - El número de ápices por planta: que es determinado por la forma de ramificación y es una característica varietal.
 - El número de plantas por Unidad de Área, que a su vez depende del número de estacas sembradas.

2. Tasa de Crecimiento

La tasa de crecimiento o tasa de acumulación de materia seca total en la planta de yuca se puede definir como el peso acumulado por unidad de área en un período de tiempo determinado. La unidad comúnmente utilizada es gramos por metro cuadrado por semana ($\text{g.m}^{-2} \cdot \text{semana}^{-1}$).

3. Relación entre la Tasa de Crecimiento y el Índice de Área Foliar

En casi todos los cultivos a medida que aumenta el Índice de Área Foliar aumenta también la acumulación de materia seca hasta cierto nivel de IAF, por encima del cual la tasa de crecimiento puede ser constante o decrecer, mientras el IAF sigue aumentando.

Para determinar, en el cultivo de la yuca, la relación entre la tasa de crecimiento y el IAF se sembraron las variedades Mcol 113 y Mcol 1148 en un diseño sistemático y se midió su tasa de crecimiento durante seis semanas. Las hojas caídas fueron recolectadas para obtener la producción de materia seca total durante el período del estudio.

La tasa de crecimiento en este ensayo, alcanzó un nivel de aproximadamente $110 \text{ g.m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$ con un Índice de Área Foliar de 4 (Figura 10). Por encima del IAF 4 se observó una disminución de la tasa de crecimiento, probablemente debido a una vida más corta de las hojas con índices de Área Foliar altos, que causan una proporción muy alta de hojas tiernas con menor eficiencia fotosintética.

El nivel máximo de la tasa de crecimiento y la forma de la curva es similar en datos obtenidos en otros ensayos en el CIAT.

4. Crecimiento de las raíces vs. el crecimiento de la parte aérea

Teniendo en cuenta que la parte de

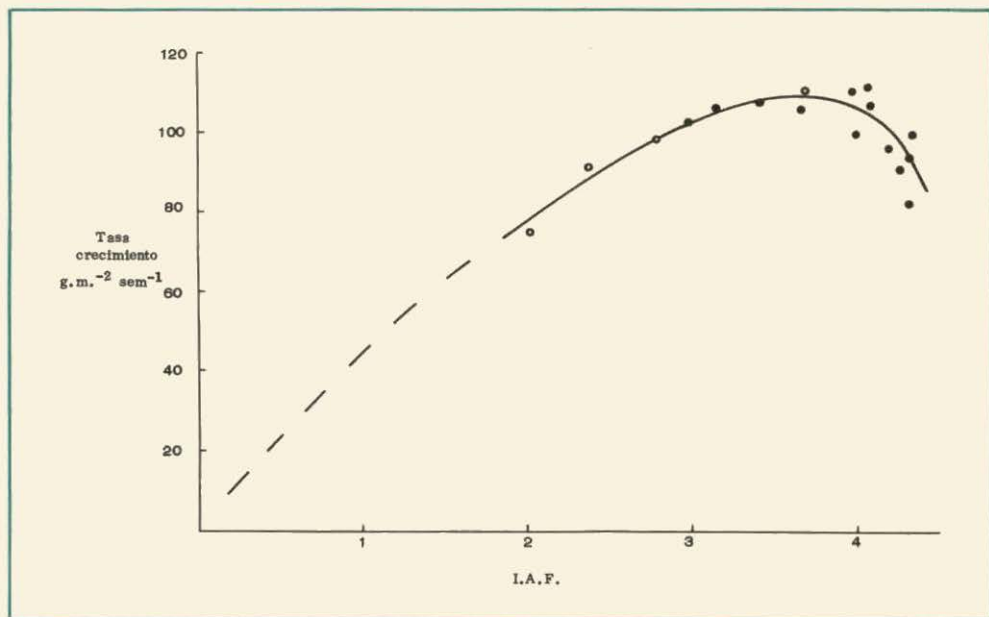


Figura 10. TASA DE CRECIMIENTO DE M COL 113 (●) Y M COL 1148 (○) COMO FUNCION DEL I.A.F.

la planta que más nos interesa son las raíces, en el mismo ensayo con la variedad Mcol 113, se estudió la relación entre el crecimiento de las raíces y el IAF. La tasa de crecimiento de las raíces, como se ve en la Figura 11, alcanzó un nivel óptimo muy marcado, entre 2,5 y 3,5.

Hemos establecido que el IAF es el factor más importante en la determinación de la tasa de crecimiento de las raíces; ahora bien, para comprender mejor el crecimiento de la planta de yuca es necesario conocer si la capacidad de las raíces para aceptar hidratos de carbono, limita o afecta:

a) el engrosamiento de las raíces, y

b) el crecimiento total de la planta.

Para responder a estos interrogantes se hicieron dos experimentos: En el primero, se utilizó la variedad Mcol 22 y se redujo el número de raíces gruesas de 12 a 9; no se observó ningún efecto en el peso de la materia seca de las raíces (Figura 12), ni en el peso de la materia seca total de la planta (Figura 13). El peso de las raíces que quedaron aumentó en tal forma que no varió el peso de la materia seca total de la planta ni el de las raíces.

Sin embargo, en un segundo experimento, con la variedad CMC 84, cuando se redujo drásticamente el número de raíces de 10 a 4 por

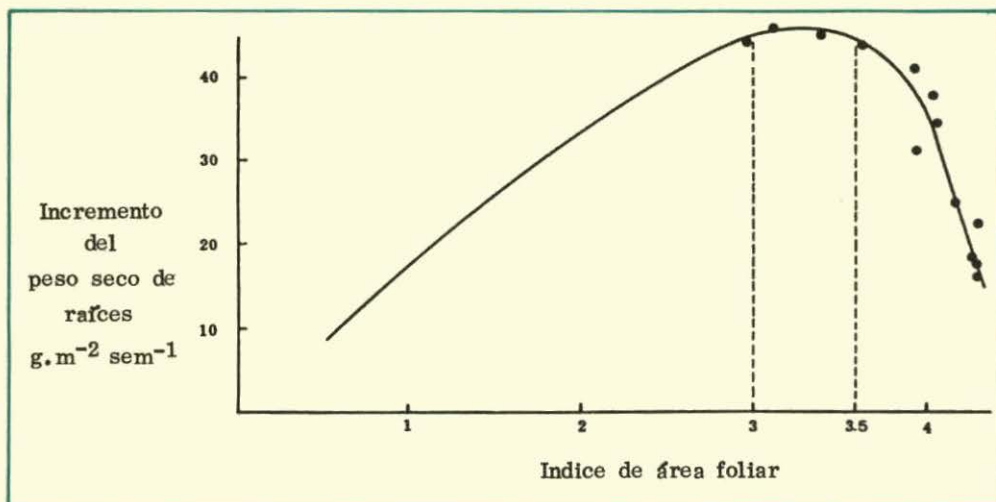


Figura 11. INCREMENTO DEL PESO SECO DE LAS RAICES EN FUNCION DEL I.A.F. EN LA VARIEDAD M COL 113.

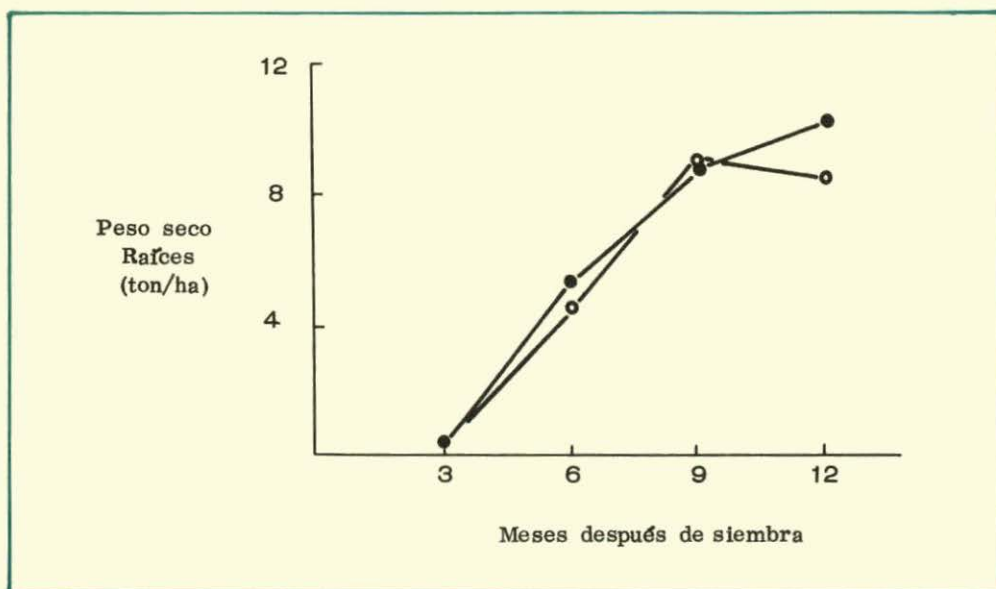


Figura 12. RENDIMIENTO EN PESO SECO DE RAICES OBTENIDO DE PLANTAS CON NUMERO DE RAICES NORMAL (●) Y REDUCIDO (○).

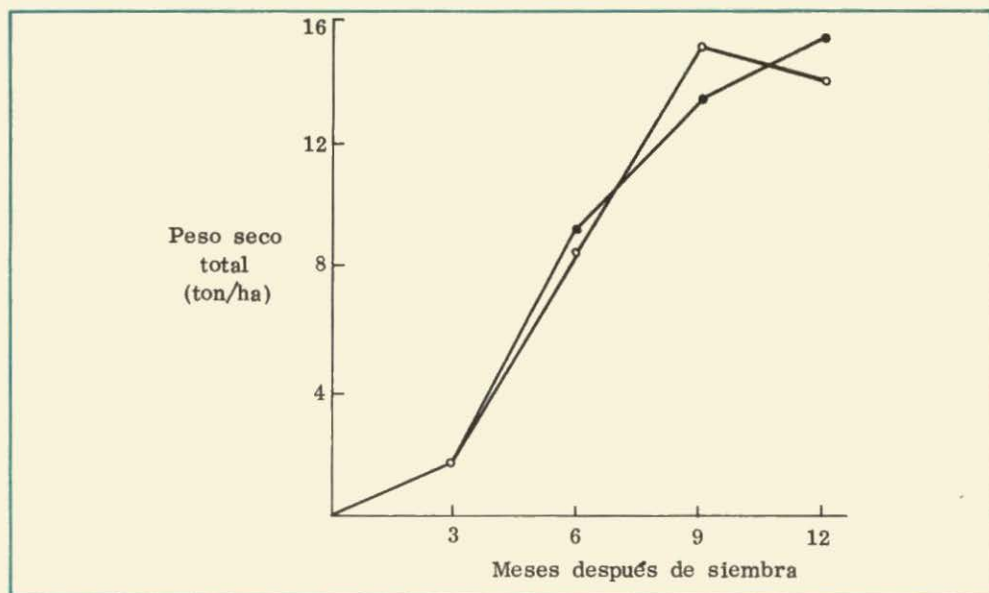


Figura 13. PESO SECO TOTAL DE PLANTAS CON NUMERO DE RAICES NORMAL (●) Y REDUCIDO (○).

planta, se pudo observar que hubo una reducción tanto en el peso seco de las raíces como en el peso de la materia seca total de la planta (Figura 14).

Para estudiar si la capacidad de las raíces para atraer carbohidratos tenía efectos en el desarrollo de la parte aérea de la planta, fue necesario aislar la fuente de producción de carbohidratos (las hojas), de los órganos receptores (las raíces), lo que se logró descortezando la base de la planta.

Cuando se descortezaron las variedades Mcol 22 y CMC 84 no se notó ninguna diferencia entre variedades; en el Cuadro 1 se presentan datos promedios, los cuales muestran que la mayor parte de la materia seca

en las plantas descortezadas se acumuló en la parte seca de la planta, pero el peso total (tallo + raíces) no se afectó significativamente.

Como un complemento de los resultados anteriores, y para estudiar la capacidad de atracción de carbohidratos de las raíces en condiciones de baja producción de ellos, durante la época de engrosamiento se puso la variedad Mcol 22 bajo sombra; y como se observa en el Cuadro 2, el efecto de la sombra en el peso de la parte aérea de la planta fue mínimo, pero el peso seco de las raíces fue reducido en un 35 por ciento.

Los datos anteriores demuestran que el crecimiento de las hojas y los

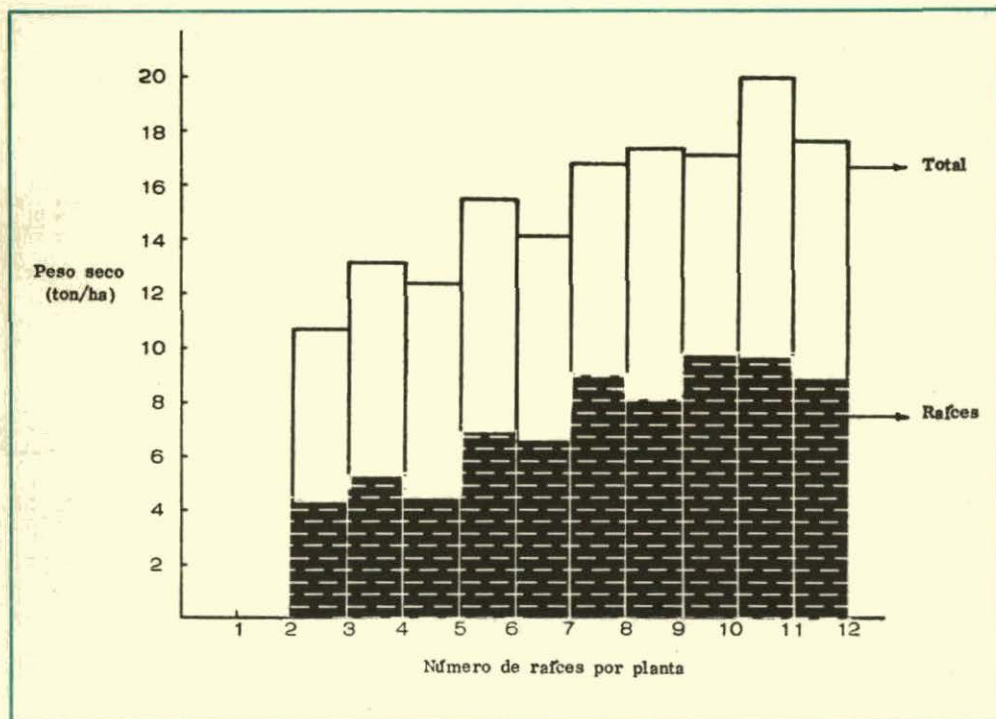


Figura 14. EFECTO DEL NUMERO DE RAICES POR PLANTA EN EL RENDIMIENTO.

Cuadro 1. EFECTO DE UN CORTE ANULAR EN LA BASE DEL TALLO EN EL CRECIMIENTO DE LA YUCA.

	Peso de raíces	Peso del tallo	Peso total sin incluir las hojas
g.m ⁻² de materia seca			
Descortezada	60	580	640
Testigo	456	162	618

Cuadro 2. EFECTO DE LA SOMBRA EN EL CRECIMIENTO DE MCOL 22 DURANTE EL ENGROSAMIENTO DE LAS RAICES.

	Aumento peso de raíces	Aumento peso del tallo
Con sombra	197	70
Sin sombra	304	77
Cambio debido a la sombra %	35	8

tallos predomina sobre el crecimiento de las raíces, es decir, que las raíces acumulan el exceso de carbohidratos producidos después de satisfacer las necesidades del crecimiento de la parte aérea; cuando se limita la producción de carbohidratos

por la poda drástica de raíces o por el crecimiento de la planta bajo sombra se reduce el crecimiento de las raíces, pero la parte aérea continúa su crecimiento con los pocos carbohidratos producidos.

Evaluación

Conteste completando los enunciados.

1. Índice de Area Foliar es la relación entre _____ y el _____.
2. Tasa de Crecimiento es el _____ acumulado por unidad de _____ en un período de tiempo determinado.
3. La longevidad foliar es una característica varietal _____ afectada por la _____.
4. El número de hojas formadas por ápice depende de:
 - a) tasa de formación de _____ por _____.
 - b) número de ápices por _____.
 - c) número de _____ por unidad de _____.
5. Las raíces _____ el exceso de _____ después de que la _____ satisfice sus necesidades.

5. Bases del modelo matemático del crecimiento de la planta de yuca

Hasta este momento todos los factores de desarrollo y producción de la planta de yuca se han descrito desde el punto de vista fisiológico, de la siguiente manera: el IAF es una función de: el tamaño y la longevidad de la hoja, la tasa de formación de hojas por ápice, y del número de ápices por m^2 . Además la tasa de crecimiento es una función del IAF. Con estos parámetros se estableció el modelo matemático del desarrollo de la planta de yuca en base a que se encontró que era posible describir la tasa de crecimiento total (Curva A) como una función del IAF, (Figura 15). La tasa de crecimiento

total la constituyen la tasa de crecimiento de la parte aérea y la tasa de crecimiento de las raíces. Durante el crecimiento de la planta la parte aérea (Línea B) absorbe los carbohidratos que necesita para satisfacer sus necesidades de crecimiento, los restantes se acumulan en las raíces. La diferencia entre el total de materia seca producida por la planta y la materia seca de la parte aérea es la materia seca acumulada en las raíces, (Línea C), lo cual indica que existe un índice de área foliar óptimo para obtener la máxima acumulación de materia seca en las raíces. Por lo tanto si se puede describir el desarrollo del IAF también se puede describir la tasa de crecimiento total y la tasa de

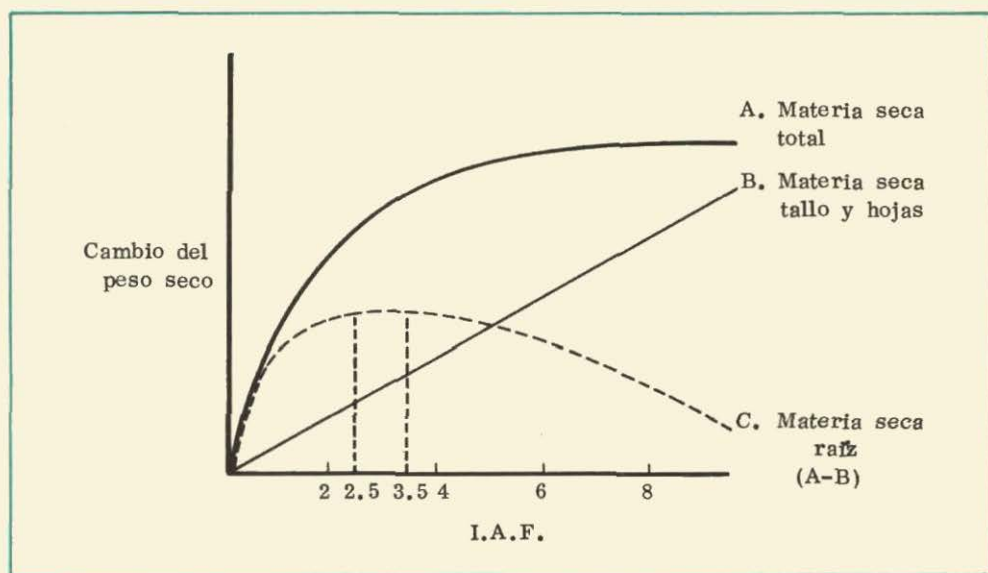


Figura 15. REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION ENTRE EL INDICE DE AREA FOLIAR, LA TASA DE CRECIMIENTO TOTAL (A), TASA DE CRECIMIENTO DE TALLO Y HOJAS (B) Y TASA DE CRECIMIENTO DE LAS RAICES (C).

crecimiento de las raíces, que es lo que más nos interesa conocer.

5.1 Desarrollo del modelo matemático

El desarrollo del modelo matemático se hizo de la siguiente manera:

$$\Delta IAF = H F \times T H - H C \quad (1)$$

donde,

ΔIAF es el incremento del IAF

$H F$ es el número de hojas formadas por semana

$T H$ es el tamaño de la hoja, y

$H C$ es el número de hojas caídas.

En la Ecuación (1):

$$H F = H F P \times A P \times P P \quad (2)$$

donde:

$H F P$ es el número de hojas formadas por ápice por semana

$A P$ es el número de ápices por planta y

$P P$ es el número de plantas.

Se sabe además que:

$H F P$ es una función del tiempo, $A P$ depende del número de ramas formadas, y

$P P$ depende del número de estacas sembradas.

En la Ecuación (1):

$T H$ es una función del tiempo.

En la misma Ecuación (1) el número de hojas caídas ($H C$) se puede explicar de la siguiente manera: el número de hojas caídas en un tiempo (t) es igual a las hojas formadas en el tiempo (t) menos la longevidad foliar (LF) es decir que si tenemos una longevidad foliar de 7 semanas, el número de hojas caídas en la semana #20 será igual al número de hojas formadas en la semana #13.

$$H C(t) = H F(t - LF) \quad (3)$$

Queda entonces claro que el

$$IAF = H F \times T C - H C$$

Ya se indicó que la tasa de crecimiento total es una función del IAF, y se definió la forma de calcular el incremento del IAF, por lo tanto es posible definir ahora la tasa de crecimiento total de la planta, con la ecuación:

$$T C = \left(a + \frac{b}{IAF} \right)^{-1} \quad (4)$$

a y b son valores constantes donde $a = 0.00413$ y $b = 0.0178$.

Una vez conocida la tasa de crecimiento total es necesario definir la tasa de crecimiento del tallo, que es igual al número de hojas formadas por el peso de la hoja más el peso del nudo.

$$T C T = H F \times (P H + P N) \quad (5)$$

donde

$H F$ = número de hojas formadas por semana

P.H. = peso de la hoja

P.N. = peso del nudo.

Y finalmente conociendo la tasa de crecimiento total y la tasa de crecimiento del tallo se puede definir la tasa de crecimiento de las raíces, la cual es igual a la tasa de crecimiento total menos la tasa de crecimiento del tallo.

$$T.C.R. = T.C. - T.C.T. \quad (6)$$

5.2 Ajustes al modelo matemático

Al usar el modelo en la forma original la tasa de crecimiento del tallo (T.C.T.) resultó ser mayor que la tasa de crecimiento de la planta, y la tasa de crecimiento de las raíces resultó negativa en los casos extremos de ramificación muy temprana, con hojas muy grandes, durante las primeras etapas de crecimiento; esta situación es absurda, y por lo tanto se supuso que la tasa de crecimiento del tallo debería ser igual o menor que la tasa de crecimiento de la planta.

Para corregir lo anterior se hizo lo siguiente:

1. Se dió a cada planta un gramo de reserva para empezar el crecimiento, equivalente al peso de los carbohidratos presentes en la estaca sembrada.
2. Inicialmente se había determinado que la longevidad foliar fuera una constante, pero como ésta depende de la sombra se estableció entonces que todas las hojas bajo

un porcentaje de sombra mayor de 95% durante una semana cayeran al final de ésta.

5.3 Planta ideal

Basados en el modelo matemático y luego de hacer los ajustes indicados anteriormente y con el fin de determinar el tipo ideal de planta de yuca, se modificaron los siguientes factores:

1. Tiempo de ramificación
2. Tamaño de la hoja
3. Longevidad de la hoja
4. Peso por nudo,

los cuales muestran variabilidad genética. Lo anterior se hizo con el fin de encontrar aquellas combinaciones que dieran el máximo rendimiento. Los efectos de estas modificaciones en el rendimiento, fueron:

5.3.1 Tiempo de ramificación

En la Figura 16 se puede observar lo que le sucede al peso seco de las raíces cuando se varía el tiempo en el cual la planta produce tres ramificaciones. Se nota claramente que la ramificación temprana es desventajosa, en cambio cualquier tipo de planta que ramifica entre las 20 y las 30 semanas, tiene un buen rendimiento potencial.

Para comparar datos reales con los del modelo matemático, se realizó un ensayo en el campo con una variedad vigorosa como la Mcol 113, se hizo poda de ramas y hubo un

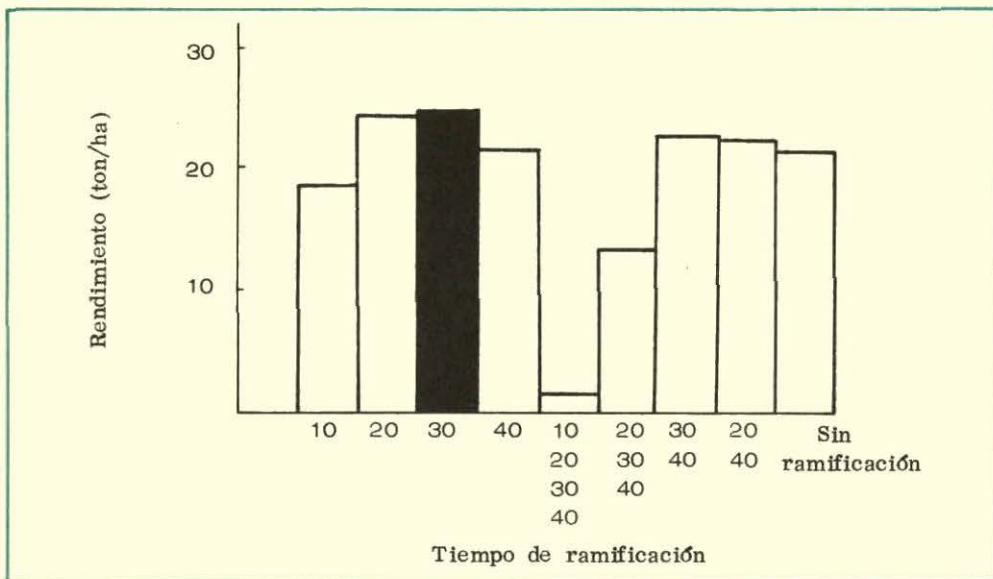


Figura 16. EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA VARIACION DEL TIEMPO DE RAMIFICACION. (DATOS SIMULADOS).

incremento significativo tanto en el peso fresco de las raíces como en el peso seco (Cuadro 3). Los mejores rendimientos obtenidos en el CIAT, de 54 a 60 toneladas/ha/

año, se lograron con tipos de plantas que tuvieron las primeras ramificaciones más o menos 30 semanas después de la siembra.

Rendimiento peso seco de raíces	
ton/ha	
testigo	5.5
Ramificación a los seis meses	16.6

Cuadro 3. EFECTO DE LA PODA DE RAMAS SOBRE EL RENDIMIENTO EN LA VARIEDAD M COL 113

5.3.2 Tamaño de la hoja

La influencia del tamaño de la hoja en el rendimiento se determinó en un experimento en el cual, cuando se aumentó el tamaño de la hoja se incrementó el rendimiento, pero cuando el tamaño de la hoja fue superior a 500 cm² el incremento fue menor, indicando que la ventaja de tener hojas excesivamente grandes es poca, y que la hoja pequeña es definitivamente desventajosa (Figura 17).

5.3.3 Longevidad de las hojas

En cuanto a la longevidad de la hoja se notó que tiene un efecto bien marcado en el rendimiento, por lo tanto se pueden esperar grandes aumentos en el rendimiento si podemos obtener

plantas con longevidades foliares de 15 a 20 semanas (Figura 18).

5.3.4 Peso por nudo

Finalmente se pensó que el peso por nudo podría variar los rendimientos, pero cuando se hizo un cambio drástico en el peso del nudo, de 0.5 a 1.5 g (Figura 19), los cambios en el rendimiento fueron mínimos, por lo tanto, aunque es obvio que nudos más livianos son ventajosos, es improbable que se puedan obtener aumentos grandes de rendimiento por medio de la selección de nudos livianos. Además no se sabe todavía si es posible obtener nudos livianos y al mismo tiempo hojas grandes.

De estos resultados obtenidos por medio de simulación se puede dedu-

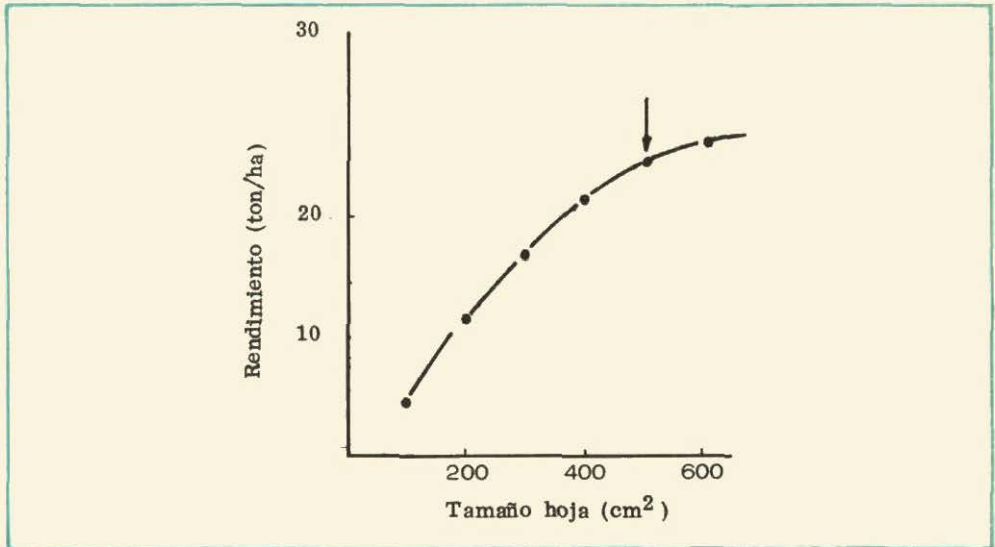


Figura 17. EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA VARIACION DEL TAMAÑO DE LA HOJA. (DATOS SIMULADOS).

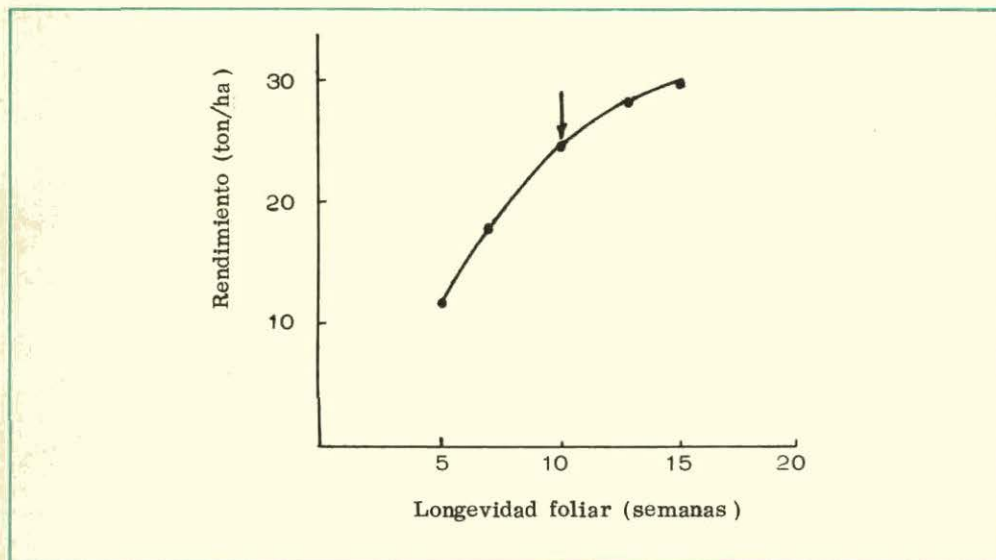


Figura 18. EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA VARIACION DE LA LONGEVIDAD FOLIAR. (DATOS SIMULADOS).

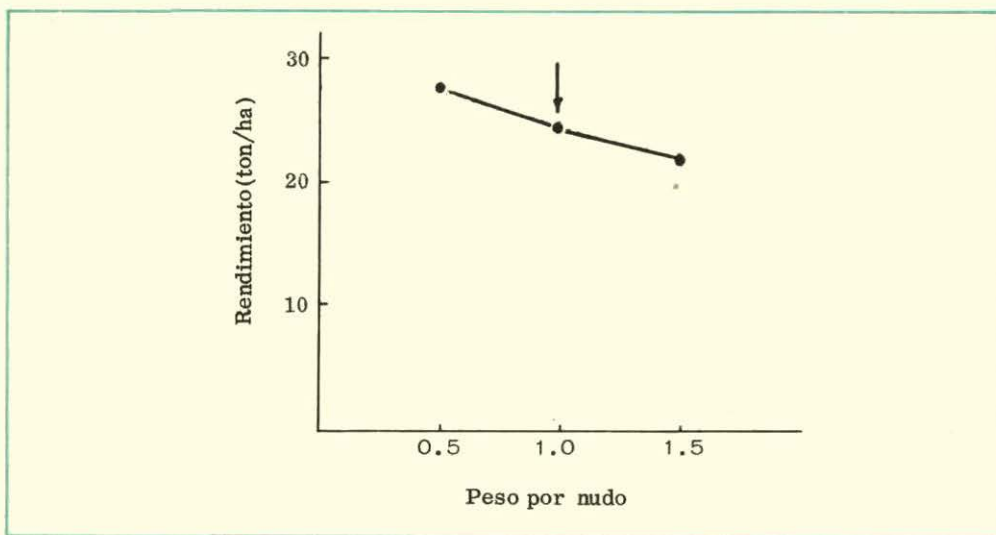


Figura 19. EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA VARIACION DEL PESO POR NUDO. (DATOS SIMULADOS).

cir que con una densidad de siembra de 20.000 plantas/ha, que ramifiquen a las 20 semanas, con una longevidad foliar de 20 semanas, un tamaño máximo de la hoja de 500 cm², bajo las condiciones del CIAT y con un buen control de plagas y agentes patógenos se puede esperar un rendimiento de 30 toneladas de raíces secas por hectárea en un año (Figura 20).

Finalmente, los datos obtenidos por medio del modelo matemático se compararon con datos de campo sobre la tasa de crecimiento de las raíces con relación al IAF (Figura 21); los datos obtenidos en el campo son similares a los del modelo matemático, por lo tanto creemos que el modelo hace una descripción bastante precisa del crecimiento de la planta. Establecido el modelo matemático del crecimiento de las raíces de yuca, vea-

mos el uso y limitaciones del modelo matemático.

5.4 Usos del modelo matemático

- 5.4.1 Define las características con altos rendimientos
- 5.4.2 Define de un modo cuantitativo el efecto en el rendimiento del cambio de una característica de la planta
- 5.4.3 Muestra con rapidez qué factores se deben estudiar

Por ejemplo, cuando se empezó la construcción del modelo no se sabía que la longevidad foliar fuera un factor tan importante en la determinación del rendimiento, pero después se encontró que este factor es de gran importancia para aumentar el rendimiento de la yuca. También ha permitido vislumbrar la planta de yuca de mayor rendimiento sin tenerla aún.

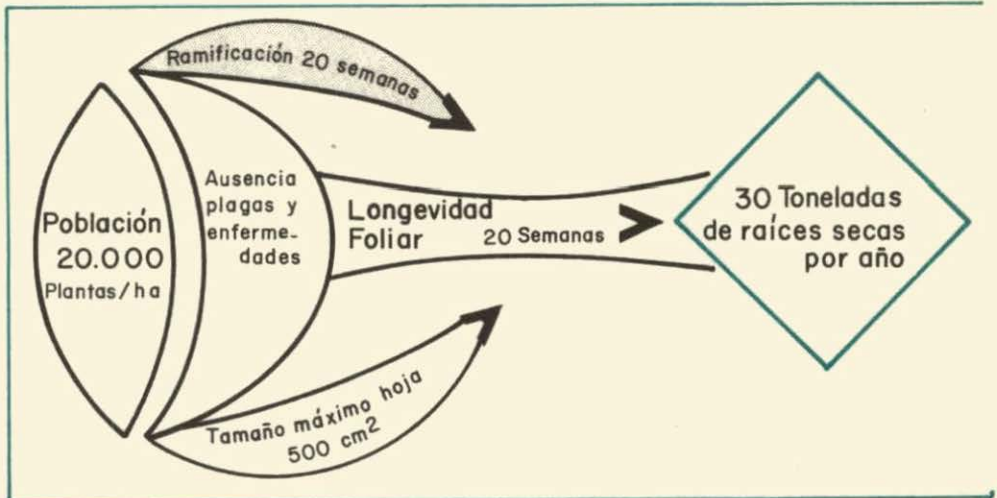


Figura 20. RENDIMIENTO EXPRESADO EN BASE A SIMULACIONES DEL MODELO MATEMATICO.

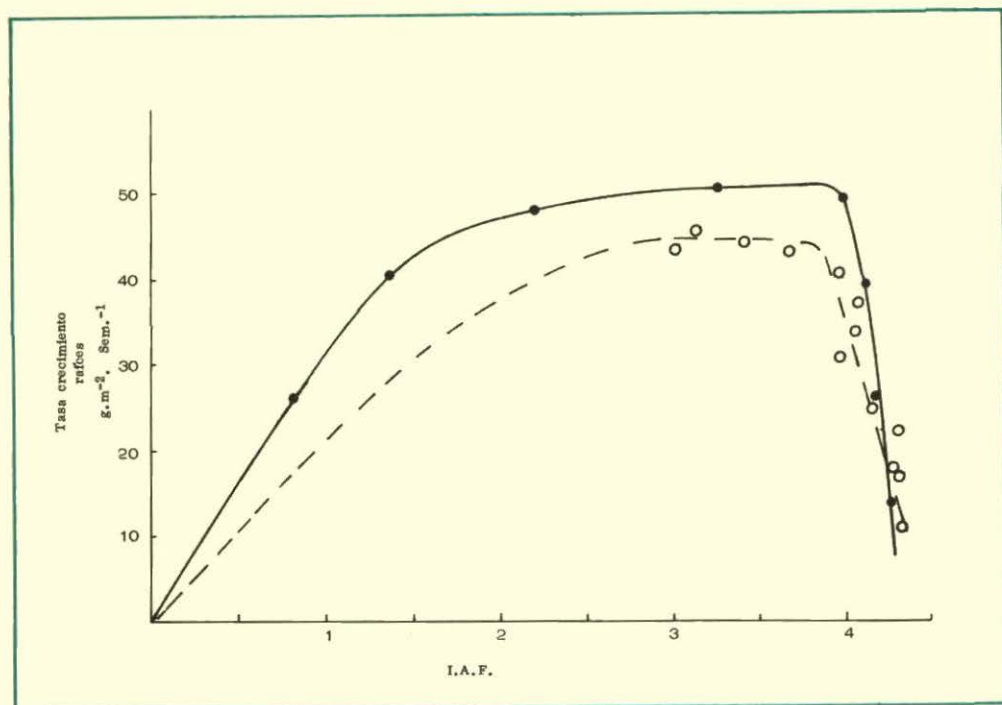


Figura 21. TASA DE CRECIMIENTO DE RAICES, DATOS OBTENIDOS EN EL CAMPO (-o-o-o-) Y DATOS OBTENIDOS CON EL MODELO MATEMÁTICO (-●-●-●-). ETAPA DE CRECIMIENTO 21-27 SEMANAS.

5.5 Limitaciones del modelo matemático

El modelo descrito es sencillo, pero tiene ciertas aproximaciones que no son reales; por ejemplo:

El tamaño de la hoja es determinado en el momento en que la hoja aparece, pero es obvio que la hoja tiene un período de expansión antes de alcanzar su tamaño máximo.

Igualmente se toma el peso final de los nudos, pero datos recientes muestran que los nudos aumentan su peso durante todo el ciclo de crecimiento de la planta.

Aunque existen limitaciones, creemos que el modelo puede ser útil para definir las características de una planta de alto potencial de rendimiento bajo condiciones casi óptimas.

Evaluación

I. Indique marcando con una X en la columna correspondiente si las proposiciones siguientes son falsas o verdaderas.

	Falso	Verdadero
1. A mayor índice de área foliar hay mayor cantidad de materia seca disponible para la formación de raíces.	()	()
2. El índice de área foliar óptimo para el crecimiento de las raíces está entre 2.5 y 3.5.	()	()
3. Todas las variedades de yuca tienen igual longevidad foliar.	()	()
4. Las raíces no tienen capacidad para atraer carbohidratos.	()	()
5. La tasa de crecimiento es una función del IAF.	()	()

II. Coloque al lado del número de la columna A, la letra de la idea más afin de la columna B.

COLUMNA A

6. ____Crecimiento de la raíz
7. ____Hojas
8. ____Tamaño máximo de la hoja
9. ____95 por ciento de sombra
10. ____Tasa de crecimiento
11. ____Número de hojas
12. ____Modelo matemático
13. ____Mayor preferencia
14. ____A 3.5
15. ____Tiene preferencia en el crecimiento

COLUMNA B

- a) Calidad de la yuca
- b) Cuatro meses de edad
- c) Parte aérea
- d) Define tipo ideal de planta de yuca
- e) Exceso de carbohidratos
- f) Carbohidratos en la estaca
- g) A los seis meses de edad
- i) Poda de ramas
- j) Número de ápices por planta
- k) Diez meses de edad
- l) Hojas caen después de diez días
- m) Dominancia apical
- n) IAF óptimo para producción de raíces
- o) Materia seca por área de suelo en un período de tiempo.

Lecturas Recomendadas

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1973. Annual Report 1972. Cali, Colombia, 120 p.

BLEASDALE, J.K.A. Systematic design for spacing experiments. Expl. Agric. 3:73-85, 1967.

_____. 1974. Annual Report 1973. Cali, Colombia, 260 p.

_____. 1975. Annual Report 1974. Cali, Colombia, 253 p.

_____. 1976. Cassava Production Systems. In: Annual Report 1975. Cali, Colombia, pp. B1-B63.

_____. 1977. Cassava Production Systems. In: Annual Report 1976. Cali, Colombia, pp. B1-B76.

_____. 1978. Cassava Production Systems. In: Annual Report 1977. Cali, Colombia, pp. C1-C73.

COCK, J.H. Some physiological aspects of yield in cassava. In proceedings of the third symposium of the International Tropical Roots and Tubers Crop Society, IIATA, Ibadan, Nigeria. 1973.

_____, D.W. WHOLEY y O. GUTIERREZ. Effects of spacing on cassava
Expl. Agric.

_____ y CARLOS ROSAS. Ecophysiology of cassava. In Ecophysiology
of tropical crops. Communications division of CEPLAC, Bahia Brazil,
1975.

_____. Characteristics of high yielding cassava varieties. Expl. Agric.
12: 135-143. 1976.

_____. El tipo ideal de planta de yuca para rendimiento máximo.
Seminario del CIAT. Serie SE-01-77.

_____, D. FRANKLIN, G. SANDOVAL y PATRICIA JURI. The ideal
cassava plant for maximum yield. Cali, Colombia, Centro Internacional
de Agricultura Tropical. 1978.

NESTLE, B.L. y J.H. COCK. Cassava the Development of an International
Research Network. IDRC 059e. 1976.

ROSAS, C., J.H. COCK y G. SANDOVAL. Leaf Fall in Cassava. Expl.
Agric. 12: 395-400. 1976.

