EFECTO DE DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA EN LA TENDENCIA DE PRODUCCION DE LA PALMA AFRICANA

Cornelius J. Breure*

RESUMEN

Se estudió el efecto de la edad y de la densidad de siembra en la producción de la palma africana según la cantidad de carbohidratos incorporados sobre el nivel del suelo para la producción de materia seca total (M S T c) y sus componentes: producción de racimos (Y c) y crecimiento vegetativo (V D M c), utilizando los registros de producción y crecimiento tomados durante diez y seis años en un experimento en el cual se comparó las siembras de 56, **110, 148** y 186 palmas/hectárea. Estos datos fueron complementados con otros tomados en un Ensayo Progenies. La eficiencia del follaje (e), la cantidad de carbohidratos incorporados en la producción de materia seca por unidad de radiación absorbida por hectárea, disminuyó entre el quinto y el octavo año de edad y después se niveló pero volvió a aumentar una vez se completó el desarrollo de la corona. La disminución en (e) fue paralela a la expansión de la superficie interceptora de la hoja, y podría por lo tanto, estar ligada al aumento en pérdidas por respiración de mantenimiento. Estas pérdidas no fueron compensadas aparentemente por el aumento de la producción fotosintética. El subsecuente aumento en (e) en las palmas de más edad parece haberse debido a una mejor distribución de la luz como resultado de una mayor penetración de ésta. Los efectos de cambiar los niveles de intercepción y distribución de la luz sobre (e) fueron más pronunciados en las densidades mayores, y resultaron en marcadas diferencias en cambios de MSTc con la edad entre densidades. Con respecto a Yc, ocurrieron las diferencias correspondientes, de tal modo que la densidad óptima para producción actual decreció hasta los 12 y 13 años de edad, para luego aumentar notoriamente. Los resultados son discutidos en relación con las medidas que podrían ser utilizados para aumentar la producción por unidad de superficie.

INTRODUCCION

La producción de racimos aumenta notablemente en cultivos de palma africana sembrados bajo condiciones favorables de medio ambiente a través de los tres primeros años de producción y luego, usualmente, tiende a disminuir lentamente. Según Corley y Gray (1976) la disminución parece ser una consecuencia inevitable de sembrar con la densidad óptima. Ellos explican su hipótesis atribuyendo el cambio en producción de materia seca total (MST) y de materia seca vegetativa (MSV) por palma con el tiempo (Figura 1).

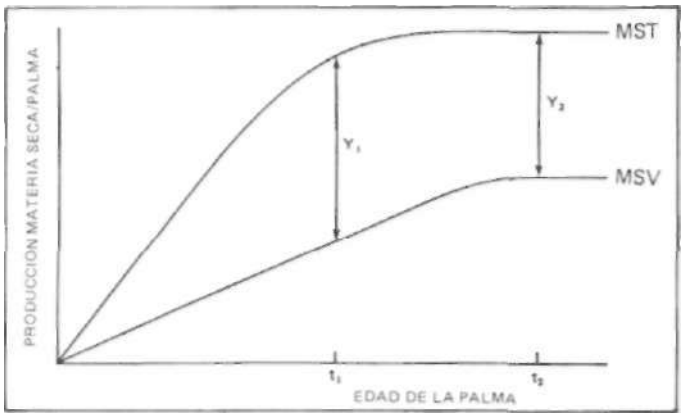


Fig. 1. *Diagrama de la tendencia de la producción de materia seca total (MST) y de materia seca vegetativa (MSV) por palma con la edad. La competencia por luz entre palmas comienza a limitar MST a T1 La producción de racimos por palma (Y, la diferencia entre MST y MSV) tiene un incremento máximo ¡Y.) y luego declina hasta un valor Y2 cuando la producción de MSV se ha vuelto constante en T2. (Diagrama basado en el presentado por Corley y Gray, 1976).*

Este diagrama muestra que MST tiene un incremento lineal con el tiempo hasta que, debido a la expansión de las hojas de la corona, la competencia entre-palma comienza a T 1. Posteriormente MST se ve afectada por el creciente nivel de competencia entre-palma y el gradiente MST/palma se nivela y finalmente, se infiere a partir del diagrama, que MST se estabiliza a un nivel fijo cerca de la época en que el follaje cierra calle. Por el contrario, MSV aumenta, sin ser afectada por la competencia entre-palma, aunque a una rata más baja que MST hasta que el tamaño de la hoja se desarrolla al máximo. Ya que según el punto de vista de ellos, el crecimiento vegetativo tiene prioridad sobre cualquiera de los otros componentes de MST, i.e. materia seca incorporada en los racimos de fruta (Y), puede inferirse que Y aumenta inicialmente, y luego disminuye desde el comienzo del sombrío mutuo hasta que MSV ha alcanzado su valor máximo en T2. Esta inferencia pictórica de la disminución del rendimiento asume que MST alcanza su pico antes que MSV. Hay evidencia suficiente para aceptar su posición con respecto al cambio de MSV con el tiempo (Breure, 1982. 1985). pero el cambio en MST debido al tiempo requiere de soporte empírico; el pretendido techo de producción obtenido a la madurez, y el tiempo al cual MST alcanza su máximo, necesita elucidación posterior. El pico en MST depende de la densidad de siembra. A las densidades de siembras comerciales donde el follaje cierra calle antes de que la hoja adquiera su tamaño máximo, se espera, sin duda, que MST llegue a su pico antes que MSV. En este caso la disminución de la

Investigador de Harrison Fleming Advisory Service.

producción podría describirse en términos de MST y MSV como lo sugirieron Corley y Gray (1976). Pero el efecto de los cambios en MST con respecto a Y puede comprenderse adecuadamente sólo cuando se explora un rango de densidades de siembra que provea información sobre, primero, el tiempo que transcurre entre el cerramiento de calle por las hojas y el momento en que MST alcanza su valor máximo y, segundo, el efecto de la densidad de siembra sobre los cambios en MST durante la maduración.

Un nivel constante de MST madura, como lo sugirió Corley y Gray (1976) se basa en la asunción de que la diferencia entre el suministro de asimilados y aquellos requeridos para la respiración de sostenimiento permanece invariable después de que el follaje ha cerrado calle. El efecto de esos factores sobre la producción de materia seca puede ser entendido solamente cuando la producción es expresada en términos de carbohidratos requeridos en lugar del peso de la materia seca formada. Otro argumento para sustentar este enfoque es que Y y MSV tienen factores de conversión diferentes (expresados en kg de materia seca kg CH_2O), y debido a que las contribuciones relativas de Y y MST cambian con la edad de la palma y con la densidad de siembra (Breure, **1982,** 1985; Corley, 1973), el factor de conversión para MST no permanece constante. Entonces las tendecias en MST a diferentes densidades de siembra pueden ser comparadas solamente en términos de requerimientos de carbohidratos (abreviados como MSTc, y sus componentes Yc y MSVc). A partir de la tendencia en los requerimientos de carbohidratos para la producción de materia seca (MS) es posible obtener una comprensión más profunda de los factores asociados con los cambios en Yc y la edad.

Esto permite entonces la exploración de medidas que podrían aumentar la producción de racimos durante la vida económica de una plantación a través de la disminución en MSVc y el aumento de MSTc. La cantidad de MSTc depende principalmente de la absorción de radiación solar por las hojas, lo cual está directamente relacionado con el índice de área foliar (L), i.e. la superficie de hoja verde por unidad de área. Para derivar la intercepción de luz a partir de L, se necesita establecer el coeficiente de extinción (K). Este coeficiente fue definido por Squire (1984b) como:

$$K = 1n (1 - f) / L - a$$

donde f es la intercepción de luz y a es una constante.

El segundo factor que determina el suministro de asimilados es la rata de conversión de la radiación absorbida, lo cual, a su vez, depende de la curva de respuesta de la asimilación de luz por la superficie de la hoja. Esta curva tiene una región a una baja intensidad de luz donde la rata de asimilación es proporcional a la luz absorbida, conduciendo a un máximo cuando la luz de saturación es cercana al 30% del brillo solar completo (Corley, 1976). Es claro, entonces, que la luz es utilizada más eficientemente cuando se maximiza la proporción de la superficie de la hoja en la formación lineal de la curva, lo que sucede cuando la luz, es distribuida uniformemente sobre el haz de la hoja.

Se podría obtener una impresión de la distribución de la luz a partir de la penetración de ésta a través del follaje de la palma según el vigor que presente la vegetación del suelo (se debe considerar como la capa más baja de la superficie de área verde interceptora. Esto, por lo común aumenta notablemente en las plantaciones comerciales después de que la expansión de la corona ha parado. Por esta razón la celación de Squire (1984b) entre L y F debe establecerse para las diferentes edades de la palma, aunque en el presente estudio esto fue hecho cuando las palmas tenían catorce años de sembradas. La tendencia de la edad con respecto a los valores de K fue estudiada, sin embargo, para medidas tomadas en siembras comerciales de un amplio rango de edades localizadas en la misma área experimental.

La contribución relativa del supuesto efecto positivo de una distribución mejorada de la luz y el efecto negativo de una intercepción reducido de ella sobre la producción fotosintética en el tamaño correspondiente a corona madura será reflejado completamente con el tiempo en el cambio de MSTc, porque la respiración de mantenimiento, (el otro principal consumidor de carbohidratos) habrá llegado a ser estable en este estado (Breure, 1988). Por lo tanto la utilización de la luz es analizada en el presente estudio, a diferentes densidades de siembra, en términos de la eficiencia del follaje para convertir la radiación interceptada en asimilados destinados a la producción de MS (expresado en términos de gCH_2O MJ). Un parámetro similar, pero no idéntico, fue utilizado por Squire (1986), quien concluyó que la edad y el tamaño de la palma tienen poco efecto en la eficiencia del follaje de la palma africana.

El presente trabajo dio la oportunidad de probar la validez de las conclusiones de Squire, pero su objetivo principal fue estudiar los cambios del gradien-

te Yc/edad como una función de la densidad de siembra, medida como la diferencia en producción de MSTc y MSVc. Los cambios en Yc debidos a la edad tienen implicaciones directas para establecer la densidad de siembra óptima para la acumulación de producción de frutos. Corley (1976) sugirió que la densidad de siembra óptima para las producciones actuales permanece constante después de que la hoja alcanza su tamaño máximo. Esto sucede, normalmente hacia los 9 o 10 años después de la siembra, después de lo cual, Corley asumió que la competencia por luz entre-palma permanece constante. En el presente artículo la densidad óptima para rendimiento, el cual es requerido para extrapolar a la densidad de siembra óptima para producción acumulada durante la vida económica del cultivo, fue obtenida sobre un período más largo para probar la validez de la asunción de Corley.

El presente artículo difiere de reportes anteriores en que éste proporciona datos tomados a término largo sobre el mismo experimento. Tales datos básicos permiten separar el efecto debido a la edad de otros factores que, como lo indicó Corley y Gray (1976), podrían afectar los datos de producción calculados a partir de un amplio rango de siembras. Estos factores incluyen diferentes fuentes de semilla y diferencias en políticas de fertilización. Sin embargo, hubo en este caso un factor de potencial "Confundido" y que consistió en que durante el tiempo del experimento se reemplazó al menos confiable método de polinización asistida por el de polinización entomófila, porque al aumentar las densidades de siembra y a medida que va aumentando la edad de las palmas se hace más difícil la polinización asistida. Afortunadamente, para dos de las densidades de siembra la proporción de supervivencia de racimos, i.e. la proporción entre racimos con frutos desarrollados apropiadamente y el total de inflorescencias femeninas en antesis, y el peso promedio del racimo fueron obtenidos durante todo el período. Esto permitió la evaluación de cualquier efecto "confundido" debido a la eficiencia de la polinización sobre los resultados.

En el diseño, los tratamiento de densidad de siembra incluyeron uno con negligible competencia por luz entre-palma; el efecto de la densidad en la asignación de asimilados para la producción de MS podía entonces ser comparada de acuerdo con la edad con este testigo cero o nivel de referencia.

DENSIDAD DE SIEMBRA Y PRODUCCION DE LA PALMA AFRICANA

El objetivo final de este estudio fue obtener información sobre los factores asociados con los cambios que ocurren con el tiempo en la distribución de asimilados destinados a la producción de racimos como también para la respiración de mantenimiento y el crecimiento vegetativo. Los resultados se discuten dentro del contexto de la formulación de una política de fitomejoramiento y de prácticas culturales destinadas al aumento de la cantidad de asimilados para obtener una mayor producción económica.

MATERIALES

Los dos experimentos estuvieron localizados en la Estación Experimental de Palma Africana de Dami, Nueva Bretaña Oeste, Papua Nueva Guinea (Latitud 5° 30'N y longitud 150° 30'E) y sembrados con material comercial dura x pisífera. Los detalles y el origen del material de siembra son dados por Breure et al. (1982).

EXPERIMENTO 1.

Este experimento de densidades de siembra para comparar 56, 110, 148 y 186 palmas/hectárea, fue sembrado en octubre de 1970. Es descrito en detalle por Breure (1977).

EXPERIMENTO 2.

Este ensayo de progenies Dura x Pisífera fue sembrado en abril/76, con tres replicaciones y densidades de 115 y 148 palmas/hectárea. Detalles complementarios son dados por Breure (1986). Solamente se usaron los datos de los primeros años de crecimiento para complementar los datos del Experimento 1.

En el Experimento 1, se hizo castración (la práctica antigua de remover las inflorescencias iniciales) a intervalos de un mes durante el primer año de floración. En el Experimento 2 se eliminó la castración. Se utilizó polinización asistida en ambos experimentos debido a que la polinización natural es deficiente. Esta fue muy efectiva hasta 1980, aproximadamente, cuando la eficiencia de la polinización disminuyó, pero a partir de 1982 la polinización fue excelente debido a la introducción de insectos polinizadores.

OBSERVACIONES

PRODUCCION DE MATERIA SECA EN LOS RACIMOS

Se registró la producción de racimos a partir de

rondas semanales desde la iniciación de la producción mayo/73 hasta octubre 86 (no se utilizaron registros de producción del Experimento 2 en este estudio). No se llevaron registros de producción en noviembre y diciembre de 1981, y en su lugar se extrapolaron los datos de producción a partir de los resultados de un censo de producción de inflorescencias (para estimar el número de racimos) en las densidades de 110 y 148 palmas/hectárea, y el promedio del peso de los racimos producido en los meses anteriores.

PRODUCCION DE MATERIA SECA SOBRE EL NIVEL DEL SUELO

Medidas no destructivas de los valores anuales, según las desarrollan Hardon et al. (1969) y Corley et al. (1971), fueron tomadas entre el quinto y el decimocuarto año de siembra en el Experimento 1, y desde el segundo y cuarto año de siembra en el Experimento 2. La inclusión de los resultados tomados en T palmas jóvenes del Experimento 2 con el propósito de complementar los datos de crecimiento del Experimento 1 se justifica porque no se observó efecto de la densidad de siembra en el crecimiento durante este estado de desarrollo. El sistema utilizado para determinar los parámetros de crecimiento ha sido descrito completamente por Corley y Breure (1981). En el Experimento 1 se registró la producción anual de hojas para las cuatro densidades de siembra entre el quinto y el noveno año; a partir de esa fecha se continuó llevando este registro hasta el decimocuarto año en las densidades de **110** y 148 palmas/hectárea. Para las otras dos densidades (56 y 186 palmas/ha) se estimó la producción anual de hojas, del décimo al décimo-cuarto año, así: primero, el número total de hojas más determinado como la diferencia entre la producción estimada de hojas entre el quinto y el decimocuarto año, y la producción real registrada entre el quinto y el décimo año.

La estimación fue obtenida contando el número de bases foliares en dos (del total de ocho) espirales (cf. Breure y Powell, 1987), para todas las densidades; el número estimado de bases de hojas visibles fue corregido para aquellos producidos durante los primeros cuatro años a partir de la siembra (inferidos a partir de los registros tomados en los tratamientos de 110 y 148 palmas/ha).

La distribución en períodos anuales se basó en la frecuencia de distribución real en las densidades de 110 y 148 palmas.

INDICE DE AREA FOLIAR

Se calculó el área total de la hoja como el producto del número de palmas por unidad de superficie, el número de hojas de la corona, y el promedio de área por hoja individual. Esta última se calculó, por períodos anuales del quinto y el decimo-cuarto año de siembra, seis meses antes de, en la mitad de, y seis meses después de cada año de registro. Corley (1976) reportó una contribución negligible a la producción fotosintética general de las hojas de la corona comparada con aquellas mantenidas a través de las rondas de poda regular para cosechar los racimos en plantaciones adultas. Por lo tanto, un número de 35 hojas maduras de la corona fue adoptado para los períodos anuales registrados en el Experimento 1. Sin embargo, en palmas muestreadas para establecer la relación entre L y la transmisión fraccional de radiación, L fue estimado a partir del número real de hojas de la corona y el promedio del área de las hojas 17 y 25. La biomasa de estas hojas también fue anotada debido a su contribución para sostener las pérdidas causadas por la respiración.

REQUERIMIENTOS DE CARBOHIDRATOS PARA LA PRODUCCION DE MATERIA SECA

Los requerimientos de carbohidratos (Kg CH_2O palma/año) para la producción de materia seca fueron establecidos para los siguientes componentes: producción de racimos (Yc); producción de materia seca vegetativa sobre el nivel del suelo (MS Vc); y producción total de materia seca sobre el nivel del suelo (MSTc Yc • MSVc). Los factores de conversión de asimilados para MS requerida por esos componentes (g $MSgCH_2O$) son: hojas 0.696, tallo 0.657, racimos 0.437 y raíces 0.649 (Breure, 1988). La eficiencia del follaje (e) se define como la cantidad de carbohidratos incorporados en la producción de MS sobre la superficie del suelo por unidad de radiación activa absorbida fotosintéticamente (RAF) por hectárea (gCH_2O MJ).

RADIACION ACTIVA ABSORBIDA FOTOSINTETICAMENTE

RAF absorbida se midió en 25 puntos igualmente espaciados en un área de 1/N por palma muestreada, donde N es el número de palma/ha. (Squire, 1984a). L fue medida en estas palmas y en sus seis vecinas. Estas medidas fueron tomadas en el Experimento 1 en tres palmas centrales por sub-parcela en 1984, y en 1986 en una plantación comercial en por lo menos 36 palmas por grupo de edad, cubriendo el rango entre 5 y 14 años de sembradas,

se utilizó un Radiometro Fitosintético Bottemanne tipo RA 200 Q. A partir de los registros de RAF interceptada a diferentes edades fue derivada en las tres densidades de siembra más altas del Experimento 1 utilizando los estimativos de los valores L y el RAF total disponible. El RAF total disponible fue estimado como el 50% de la radiación solar total (Szeicz, 1974) el cual fue derivado, a su vez, a partir del número real de horas de luz solar brillante registrada en Dami (Waringa, 1985).

RESULTADOS

Cambios **en MSTc y en MSVc** debidos a **la** edad

La producción de MSVc aumentó continuamente en todas las densidades estudiadas hasta cerca de los 8 años a partir de la siembra y luego se mantuvo más o menos constante (Fig. 2) mientras que la producción de MSTc aumentó inicialmente hasta alcanzar un pico, el cual se logró en época más temprana y con valores más bajos a medida que las densidades de siembra aumentaron.

Las curvas fijadas están basadas en ecuaciones de regresión cúbica con coeficiente de determinación (R^2) variando entre 0.81 y 0.94. Los picos ocurrieron a los 117, 92 y 87 meses a partir de la siembra, correspondiendo los máximos de 568, 474, 385 y 325 kg de CH_20 palma a^{-1} o 31.7, 52.3, 57.1 y 60.4 ton de CH_2O ha a^{-1}, respectivamente a las densidades de 56, 110, 148 y 186 palmas/ha. La producción inicial de carbohidratos por hectárea puede ser explicada casi completamente como debida a la absorción fraccional de luz ya que, como sucede con los requerimientos de carbohidratos para la producción de MS, el cierre de calle, por cierre de follaje, (máxima absorción de luz) ocurre más pronto y alcanza un máximo más alto a medida que las densidades de siembra aumentan.

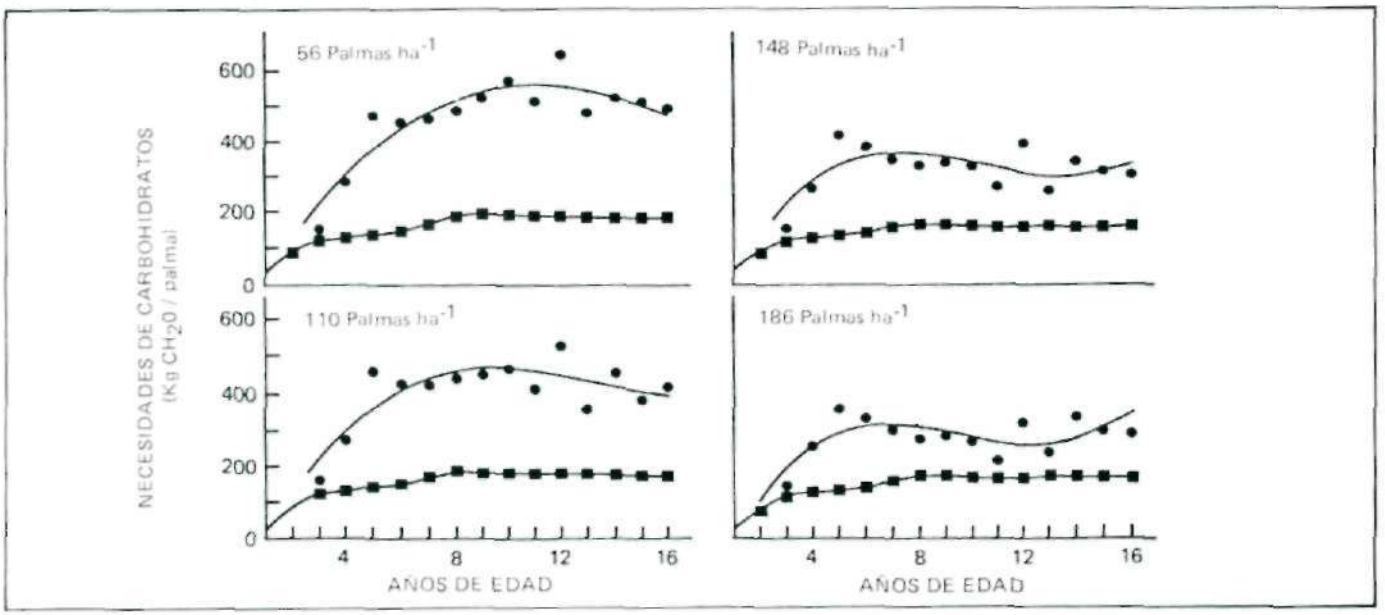
Después de decrecer inicialmente con la edad, MSTc tuvo la tendencia a aumentar otra vez con las densidades de siembra mayores.

El efecto relativo de la densidad de siembra sobre los requerimientos de carbohidratos fue calculado como la expresión de los requerimientos a **110,** 148 y 186 palmas/ha como un porcentaje de aquel encontrado para la densidad de 56 palmas/ha (considerado como el nivel de referencia, Fig. 3).

MSVc pareció ser afectada moderadamente por la densidad de siembra y, en contraste con MSTc, se estabilizó a partir del décimo o undécimo año de siembra. La densidad de siembra redujo fuertemente Yc hasta el décimo o undécimo año a partir de la siembra cuando Yc aumentó otra vez, especialmente en las densidades mayores.

Yc expresado como un porcentaje de su valor a 56 palmas/ha a cualquier número de años dado a partir de la siembra estuvo relacionada linealmente con el número de palmas/ha (N). Esta relación puede expresarse en la forma Yc - a-bN. Los carbohidratos disponibles para la producción de racimos

Fig. 2. *Necesidades de carbohidratos para crecimiento total (MSTc)* ●—● *y crecimiento vegetativo (MSVc)* ■—■ *, graficado en función de la edad de la palma (en años) para las densidades de siembra del Experimento 2, y para el decimo-quinto y decimo-sexto años estimados como el promedio de los tres años precedentes)*



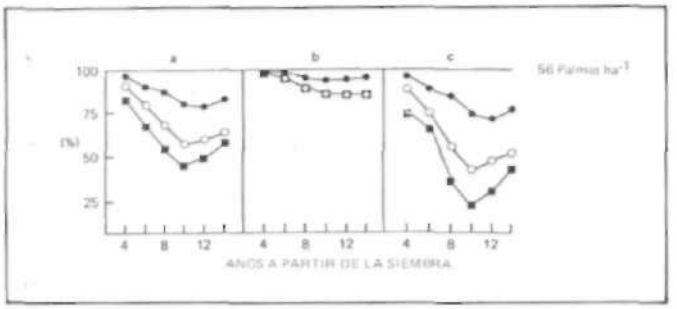


Fig. 3. *MSTc (a), MSVc (b) y Yc (c), expresados como porcentaje de los valores para 56 palmas/ha, y graficadas en función de la edad de la palma;* ●—● *110 palmas/ha;* ●——● *148 palmas/ha;* ●——● *186 palmas/ha.*

TABLA 1. Estimación de la densidad óptima de siembra según los carbohidratos suministrados para la producción de racimos por hectárea para siete períodos sucesivos de dos años a partir de la iniciación de la producción, basadas en ecuaciones lineales de regresión fijadas a través de los valores Yc de las densidades 110, 148 y 186 palmas/ha del Experimento 1.

Edad de la palma (años desde la siembra)	Ecuación de regresión lineal +	Coeficiente de determinación	Densidad óptima (palmas/ha) ++
3 y 4	Y= 236,10-0,37x	0,92	320
5 y 6	Y= 846,07-2,19x	0,93	193
7 y 8	Y= 913,42-3,59x	1,00	127
9 y 10	Y= 1041,95-4,41x	0,99	118
11 y 12	Y= 1149,32-5,13x	0,99	112
13 y 14	Y= 779,41-2,98x	0,93	131
15 y 16	Y= 772,43-3,05x	0,94	126

Y = Carbohidratos para MS de racimos por palma (Yc);
x = densidad de siembra (palma/ha).

Estimado con a/ab (de acuerdo al texto).

(N Yc) es dada entonces por $NYc = aN-bN^2$ y alcanza su máximo cuando d(1 NYc)/dn=0, que es cuando a-2bN=0, o N=a/2b.

Los valores obtenidos para la Tabla 1 muestran que el óptimo disminuye hasta los once a doce.

Años después de la siembra, pero vuelve a aumentar y parece estabilizarse a un nivel similar al alcanzado en el séptimo y octavo año.

Nuestros resultados son consistentes con la sugestión de Corley (1976) cuando dice que la densidad de siembra óptima para rendimientos presentes permanece constante después de que el tamaño de la corona ha alcanzado su nivel adulto, el cual ocurre hacia los nueve o diez años a partir de la siembra.

INTERCEPCION DE LUZ

La ecuación de regresión lineal fijada a través de los valores de la sub-parcela de la transmisión de PAR (1-f) en el tronco e indice de área foliar (L) para

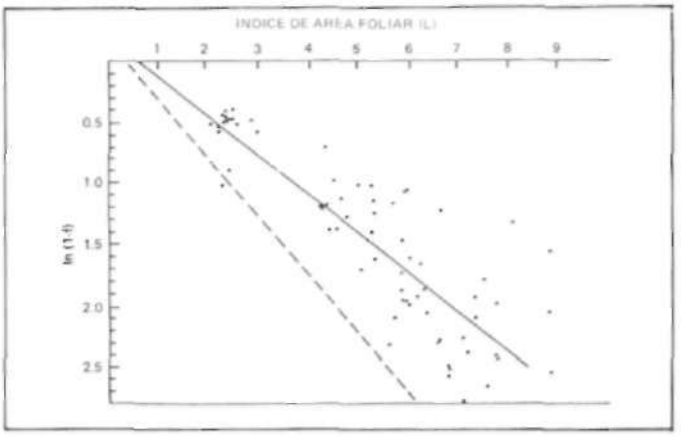


Fig. 4. *Relación entre la intercepción de RAF (f) y el índice de área foliar (I.) basados en los valores de las subparcelas del Experimento 1, 14 anos despuess de la siembra. La relación reportada por Squire también se presenta (Linea punteada).*

palmas de catorce años en el Experimento 1, junto con la ecuación de Squire (1984b), se muestra en la Fig. 4. Nuestra ecuación (LN (1-f) = 0.32 (L-0.6)) asemeja a la de Squire (LN (1-f) = 0.47 (L-0.3)) en que ésta tiene una intercepción en el eje de L, pero nuestro coeficiente de extinción (K) es sustancialmente más pequeño que el reportado por Squire (0.32 contra 0.47 encontrado por Squire).

Los valores de K para plantaciones comerciales de 6 a 14 años de edad en condiciones de medio ambiente similar al del Experimento 1 (Tabla 2) fueron establecidos a partir de medidas de transmisión de PAR y de valores de L, usando la ecuación:

$$K = -1n\ (1\ f)/L$$

i.e. sin intercepción sobre el eje de L porque las líneas reales se regresión para los grupos de edad

TABLA 2. Coeficientes de Extinción (K) y valores de índice de área foliar (L) establecidos en siembras comerciales de Nueva Bretaña Oeste entre 6 y 14 años a partir de la siembra, junto con la medida de transmisión de PAR (1-f) y valores estimados derivados de la Fig. 1 y de la fórmula presentada por Squire (1984b).

Edad de la palma (años a partir de la siembra)	L	K	Transmisión de PAR (1-f) Estimaciones Medida	Fig. 1	Squire
6	4,52	0,411	0,15	0,29	0,14
7	5,45	0,340	0,17	0,21	0,09
8	5,16	0,353	0,16	0,23	0,10
9	5,51	0,464	0,08	0,21	0,09
10	5,65	0,414	0,11	0,20	0,08
11	5,97	0,464	0,07	0,18	0,07
12	–	–	–	–	–
13	4,97	0,365	0,18	0,25	0,11
14	5,30	0,356	0,16	0,22	0,10

no podían ser establecidos como el rango de los valores de L dentro de una plantación que era muy pequeña. La hipótesis nula de una línea de regresión común a través del origen de rechazo al nivel de significancia del 5%, esto es los valores de K difieren entre años de siembra. Hubo un pico claro en los valores de K para palmas de 9 a 11 años de edad. Un pico similar para aproximadamente la misma edad fue obtenido para las medidas tomadas en siembras de edades diferentes en Sumatra del Norte (T. Moeljono, comunicación personal).

La tendencia observada en valores de K tuvo soporte en observaciones visuales en el sentido de que la vegetación del suelo aumentó notablemente después de que la corona alcanzó su expansión completa. La conclusión es que los datos derivados a partir da la fórmula de Squire (1984b) fijan bien para palmas menores de once años de edad, mientras que los valores medios para la fórmula de Squire y los nuestros se adoptan mejor para palmas de mayor edad, como se muestra en la Tabla 2. Aquí la transmisión medida de PAR es comparada con los valores estimados tanto de la ecuación de Squire como con la de nosotros.

EFICIENCIA DE LA POLINIZACION

Los cambios en la eficiencia de polinización ocurridos con el tiempo se infieren a partir del peso medio de los racimos y la proporción de racimos sobrevivientes, i.e. la proporción entre el número de racimos con frutos debidamente desarrollados y el total de inflorescencias femeninas que llegan al estado de ántesís (Tabla 3); estos registros detallados no estuvieron disponibles para el tratamiento de 186 palmas/ha.

La proporción promedio de sobrevivencia de racimos fue de 0.85 para ambas densidades del quinto al octavo año, pero durante el undécimo año (el último año con polinización asistida) la supervivencia de racimos fue pobre en la densidad de 148 palmas/ha. Con la polinización entomófila (a partir del décimo segundo año) la proporción de racimos sobrevivientes en las densidades de 110 y 148 palmas/ha fue de 0.88 y 0.84, respectivamente, y fue similar, entonces a la presentada durante el período inicial de polinización asistida. En contraste, el peso por racimo aumentó marcadamente con la liberación de insectos polinizadores.

CAMBIOS EN LA EFICIENCIA DEL FOLLAJE DEBIDOS A LA EDAD

La eficiencia (e) de conversión de la radiación interceptada y activa fotosintéticamente (PAR) para producir los asimilados requeridos para la producción de materia seca (g CH_2O MJ^{-1}) a diferentes edades de la palma para las tres densidades más altas se presentan en la Fig. 5. Los datos para la densidad de 56 palmas/ha no estuvieron disponibles.

TABLA 3. Número de inflorescencias femeninas maduras, proporción de racimos sobrevivientes y peso promedio de racimo (kg.) entre 5 y 14 años de edad, para las densidades de 110 y 148 palmas/Ha. del Experimento 1*.

Edad (años a partir de la siembra	Inflorescencias femeninas por palma	Proporción de racimos sobrevivientes	Peso racimo (kg.)	Inflorescencias femeninas/palma	Proporción racimos sobrevivientes	Peso racimo (kg.)
	110 palmas ha^{-1}			148 palmas ha^{-1}		
5	26,5	0,82	12,0	25,9	0,81	11,5
6	23,8	0,79	12,0	22,0	0,82	11,3
7	18,3	0,78	15,1	16,1	0,72	13,1
8	12,0	1,00	18,1	9,2	0,96	15,9
9	13,8	0,98	17,0	10,9	0,91	15,7
10	14,3	0,91	18,3	11,2	0,81	16,1
11	15,8	0,73	17,0	10,8	0,63	14,9
12	14,0	0,97	21,4	11,4	0,95	19,2
13	9,7	0,76	20,8	6,4	0,70	19,0
14	11,5	0,91	22,4	9,0	0,88	20,8

* Polinización asistida del 5o. al 11o. año; polinización entomófila a partir del 12o. año.

La eficiencia disminuyó con la edad hasta bajar a un mínimo entre el octavo y el décimo y particularmente en el undécimo año. Después, volvió a aumentar, estableciendo un pico claro en el año doce. Este aumento fue más pronunciado en las densidades más altas pero los valores mínimos disminuyeron como función de la densidad de siembra. El período durante el cual declinó e correspondió a aquel en que L aumentó (Fig. 5), así que este declinar podría estar ligado directamente con el aumento de (asimilados) para mantenimiento de la respiración de la hoja como resultado del aumentó de biomasa en la hoja. Parece que el aumento de la producción fotosintético es insuficiente para compensar las pérdidas por respiración, y el balance total es dependiente de la densidad de población. La disminución pudo haberse debido a una distribución pobre de la luz sobre el follaje, y el subsecuente aumento en e, a un aumento en la distribución de la luz (períodos con altos y bajos valores de K, respectivamente; (Tabla 2). La mejor polinización obtenida después de la liberación de los insectos polinizadores también pudo haber contribuido al pico en e que se obtuvo en el año doce, después de la marcada caída del año anterior (Tabla 3). A su vez este pico pudo haber afectado ad-

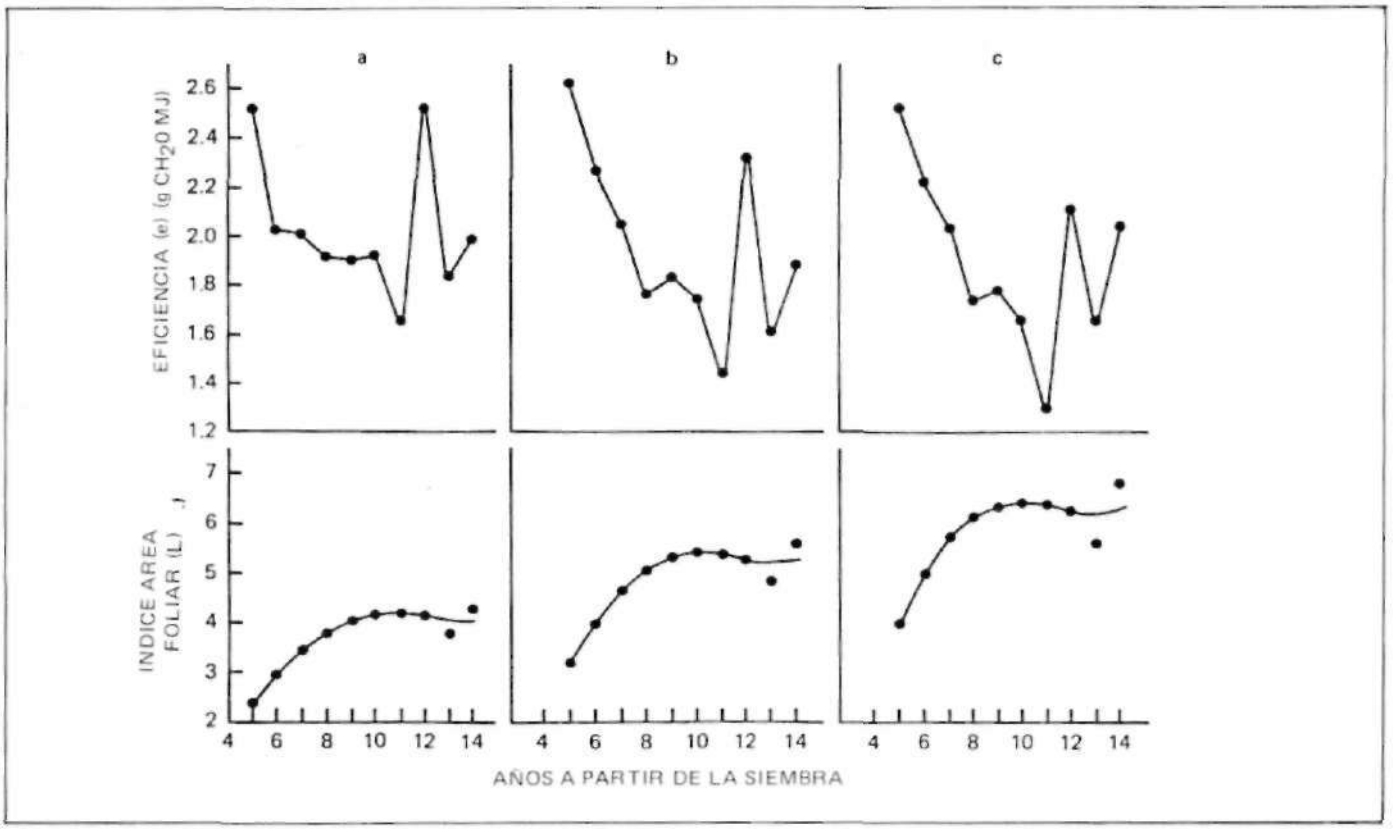


Fig. 5. *La eficiencia (e), expresada en g CH_2O MJ, de la conversión de RAF a carbohidratos para producción de materia seca sobre el suelo e índice de área foliar, graficada como función de la edad para 110 (a), 148 (b) y 186 palmas/ha (c).*

versamente a e en el año trece como resultado del agotamiento de las reservas de carbohidratos.

A pesar de que nuestros valores para e no pueden ser comparados directamente con los de Squire (1984b), porque sus valores son basados en pesos de materia seca producida (aunque corregidos por mayor contenido de energía de aceite), ellos difieren de los suyos en que él reportó un efecto despreciable de la edad y de la densidad de siembra sobre e.

DISCUSION

Nuestras observaciones sobre los requerimientos de asimilados a través del tiempo para la producción de los principales componentes de materia seca (MS) proveen una información útil acerca de los factores determinantes de la tendencia de la producción económica. Ellos confirman la tendencia de MSV con la edad como lo sugirió Corley y Gray (1976), pero su asunción sobre la constancia de MST después del cerramiento de calles por el follaje parece ser una simplificación exagerada.

Bajo condiciones de una competencia inter-palma por luz irrelevante (56 palmas/ha) los asimilados destinados a la producción de MS sobre el suelo (MSTc) continuó aumentándose hasta cerca del undécimo año después de la siembra en el campo (Fig. 2). Esto ocurrió casi inmediatamente después de que las hojas de la corona habían alcanzado su tamaño máximo (Fig. 5), estado en que se espera ocurra el grueso de la producción fotosintética. Este período se volvió más corto y se obtuvo una producción menor, a medida que se aumentó la densidad de siembra (Fig. 2). Subsecuentemente se observó un declinamiento en la producción de MSTc en todas las densidades (Fig. 2). Tal disminución pudo haber sido causada o por una reducción en la producción gruesa fotosintética o por un aumento en las pérdidas para mantenimiento de la respiración. Estas pérdidas se estabilizan cuando la corona alcanza su tamaño máximo (Breure, 1988) y su contribución a la disminución depende entonces de la densidad de siembra. En las dos densidades mayores (148 y 186 palmas/ha) el tamaño de la hoja continuó aumentando a una rata acelerada aún después de que el follaje había cerrado calle, por lo tanto la causa dominante de la disminución en MSTc a estas densidades parece ser el incremento en las pérdidas para la respiración de sostenimiento.

Estas pérdidas no fueron compensadas aparentemente ni siquiera por el aumento en producción fotosintética. Esto parece lógico debido a que la relación entre la transmisión de L y luz es asintótica, lo cual quiere decir que para valores mayores de L, un aumento en L resulta en un aumento proporcionalmente más bajo de la interseción de luz.

Además, nuestros resultados sugieren (Tabla 2) que después del cerramiento de calle, la distribución de la luz intercpetada se vuelve menos uniforme sobre el follaje debido a la excesiva intercepción de las hojas superiores del follaje, disminuyéndose entonces la producción fotosintética por unidad de hoja verde.

En contraste, el decaimiento en MSTc en las bajas densidades (56 y 110 palmas/ha), y también el continuado decaimiento en las densidades superiores, ocurrió en la época en que cualquier aumento en la respiración de mantenimiento pudo haberse detenido y necesariamente debió haberse debido a una reducción en el grueso de la producción fotosintética. Hay dos factores que pueden responsabili/arse de esta disminución cuando la respiración de mantenimiento se ha estabilizado: primero una reducción en la intercepción de luz y segundo, una reducción en la eficiencia de conversión de la radiación interceptada para producción de asimilados. Sin duda, se observaron valores bajos de e entre el octavo y el undécimo años, particularmente en las dos densidades más altas (Fig. 5); como se dijo antes, ésto pudo haberse debido a una pobre distribución de la luz dentro del follaje (Tabla 2). A partir de la subsiguiente reducción un K (Tabla 2) y también a partir del aumento de vigor de la vegetación del suelo, puede inferirse que la cantidad de luz interceptada por las hojas disminuyó. En las densidades mayores el aumento en e (Fig. 5) fue más que compensatorio para esta reducción en la intercepción de luz, a medida que MSTc tendió a aumentar (Fig. 2); por contraste, en las densidades más bajas el aumento en e parece haber sido insuficíente para compensar la reducción de la intercepción, y MSTc continuó disminuyendo (Fig. 2). Se podría discutir que el aumento en e (Fig. 5) fue un resultado de la mejor polinización obtenida a partir de la introducción de insectos polinizadores al final del undécimo año de siembra. Esto resultó, es cierto, en el pico no común en MSTc del año doce (Fig. 5) y el peso de racimo también aumentó (Tabla 3). Sin embargo, este efecto fue contrarrestado posteriormente por una reducción en el número de racimos, causada inicialmente por un abrupto y marcado aumento en la rata de absorción; el efecto general de la mejor polinización sobre el rendimiento fue entonces irrelevante como igualmente lo han encontrado otros autores (Gray, 1969; Syed et al., 1982). Se concluye entonces que la polinización no tuvo un efecto dominante en las tendencias observadas en la utilización de la luz interceptada (e).

En consecuencia nuestros resultados sugieren que, en el estado de tamaño de corona madura, la tendencia en MSTc es gobernada por una reducción en intercepción de luz. La reducida intercepción de luz es particularmente importante a bajas densidades de siembra y puede ser debido a un aumento de brechas en el follaje acompañadas de diferencias de alturas entre palmas (aumento en la profundidad del follaje). El efecto benéfico de una mejor distribución de la luz se torna dominante en las altas densidades de siembra. Este efecto diferencial de la reducida intercepción de la luz en la producción gruesa fotosintética es reflejada principalmente en Yc, el cual depende de los excedentes de asimilados después de que los requerimientos para la respiración, de mantenimiento y MSVc han sido satisfechos, y resulta en un aumento en la densidad óptima para los rendimientos de producción presentes a partir del décimo tercer año de siembra (Tabla 1). Una depresión similar en densidad de siembra óptima, poco después de que la corona obtiene su tamaño máximo, puede ser mostrado a partir de registros de producción tomados por largo tiempo según los experimentos sobre densidad de siembra reportados por Prevot y Duchesne (1955) y por Ramachan et al. (1973). Entonces lo sugerirlo por Corley (1976) de que la densidad óptima permanece constante después de que la corona alcanza su tamaño máximo no es aplicable para las [jalmas y el medio ambiente de este estudio. Además, la sugerencia de Corley et al. (1973) acerca de que la densidad óptima para los rendimientos presentes puede estimarse a partir del área media de las hojas de la corona parece no tener aplicación en cultivos en estado de corona adulta.

Una implicación adicional de las tendencias observadas sobre densidades óptimas para rendimiento presentes (Tabla 1) es en la interpretación de los resultados de los experimentos de raleo de siembras comerciales. Estos experimentos son establecidos usualmente en la época de mínima penetración de luz (8 a 10 años después de la siembra) y las rápidas respuestas de producción al raleo en esa época (Anón, 1985) podrían ser engañosas cuando sus resultados se extrapolan en trabajos de política de raleo a largo término o en densidades de siembra óptimas.

Este análisis de los posibles factores responsables

por la tendencia en Yc provee una base para sugerir que la producción podría aumentarse al incrementar MSTc y reducir MSVc. MSVc puede ser reducida por mejoramiento y selección por alto índice de racimo (Corley et al., 1971; Hardon et al., 1972, Breure y Corley, 1983; Breure, 1986), reduciendo el período en el cual éste aumenta, y a valor de maduración más bajo puede obtenerse, por selección de los así llamados ideotipos con rata de expansión rápida, i.e. palmas con un aumento rápido en promedio de área foliar y un reducido período de expansión (cf. Breure, 1985). Además, de una reducción en MSVc estos ideotipos muestran incrementó inicial de MSTc debido a un rápido encubrimiento del suelo, combinados con una disminución de los requerimientos para mantenimiento de la hoja debido a la reducción del tamaño máximo de la misma. Una reducción en las pérdidas de la respiración de mantenimiento de la hoja podría hacerse a través de mejoramiento, como lo mostró Wilson (1982) en Raygras. Parece que hubiese poco campo para mejoramiento de parámetros favorables de asimilación de luz y curva para producción gruesa de fotosíntesis porque hay evidencia considerable de que existe poca variabilidad genética en la pendiente de la curva a bajas intensidades de luz en cultivos C3 (BjorKman, 1981; Ehleringer of Pearcy, 1983) a pesar de que Corley et al. (1973) reportaron diferencias significativas entre progenies de palma africana en vivero. También, aunque la variación genética en la rata de asimilación bajo saturación de luz puede ser considerable, estas diferencias podrían solamente ser parcialmente reflejadas en cambios de la producción fotosintética de la superficie completa de la hoja; la respuesta será más grande a medida que la competencia interpalma disminuye (Spitters, 1986). Por otro lado, nuestros resultados indican que puede haber buenas posibilidades de aumentar la producción gruesa de fotosíntesis a través de medidas que permitan una mejor distribución de la luz sobre la superficie de la hoja. Esto significa que, para un determinado índice de área foliar (L), la penetración de la luz debe ser mejorada. Esto se podría obtener, por ejemplo, aumentando la profundidad del follaje sembrando una mezcla palma-clon de diferente altura.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a New Britain Palm Oil Development Limited y a Harrisons Fleming Advisory Services Limited por la autorización para publicar este artículo. La ayuda del personal de Dami Oil Palm Research Station en la recolección de datos es reconocida. El permiso de la Papua New Guinea Oil Palm Research Association para utilizar sus datos tomados recientemente en el campo es agradecido altamente. Se presentan las debidas gracias a los Doctores R.H.V. Corley y C.J.T. Spitters por sus valiosos comentarios, y al Dr. P.G.J. Keuss por su cooperación editorial.

BIBLIOGRAFIA

1. **Anon. (1985). Animal Report of the Papua New Guinea Oil Palm Research** Association.

2. **Bjorkman, O. (9181).** Responses to different quantum densi- ***ties Enciclopedia of Plant Physiology New Seríes,*** **Springer-**Verlag Berlin **12A 57-107.**

3. Breure C. J. (1977). Preliminary results from **an** oil palm density X fertilizer trial on young volcans s**oils in West New** Britain. In ***International Developments in Oil Palm.*** **192-207** (Eds D. A, Earp & W. **Newall). Kuala** Lumpur Incorporated **Society of Planters.**

4. **Breure C. J. (1982), Factors affe**cting **yield and growth of oil** palm tenera **in West** New Britain. *Oléagineux* **37 213-228.**

5. **Breure,** C. **J. (1985).** Relevant factors associated with **crown** expansion in oil palm (Elacis gu*ineensis* **Jacq.).** ***Euphytica* 34: 161-1 75.**

6. **Breure, C. J. (1986). Partes selection for yield and buch índex in the** oil **palm in West New Britain.** ***Euphytica* 35 65-72.**

7. **Breure, C. J. (1988). The effect of palm age and planting density on the partitioning** ot assimilates in oil **palm** *(Elaeis guincensis* **Jacq,).** *Experimental Agriculture* **24:53-60.**

8. **Breure, C. J. &** Corley, R**. H. V. (1983). Selection of oil palm for high density planting.** ***Euphytica* 32 177-186.**

9. **Breure, C. J. & Powell, M. S. (1987). The one-Shot method of establishing growth paremeters in** oil **palm. Paper presented at** the **1987** International **Oil Palm Conference. Kuala Lumpur, Malaysia.**

10. **Breure, C. J., Konimore, J. & Rosenquist, E. A. (1982). Oil palm** selection **and seed production at Dami Oil Palm Research Station Papua New Guinea.** ***Oil News* 26 6-22.**

11. **Corley, R. H. V. (1973). Effects of density on growth and yield of the Oil Palm.** ***Experimental Agriculture* 9:169-180.**

12. **Corley, R. H. V. (1976). Photosynthesis and productivity. In** ***Oil Palm Research,*** **273-283 (Eds R. H. V. Corley. J. J. Hardon & B. H.Wood). Amsterdam: Elsevier.**

13. **Corley, R. H.V. (1976). Planting Density. In** ***Oil Palm Research*** **273-283. (Eds R. H. V. Corley, J. J. Haidon & B. J.Wood). Amsterdam: Elsevier.**

14. **Corley. R. H. V. & Breure, C. J. (1981). Measurements in Oil Palm** Experiments. **Internal** report. **London: Unilever** Plantation **Group.**

15. **Corley, R. H. V. & Gray, B. S. (1976). Yield and yield components. In** ***Oil Palm Research,*** **77-86 (Eds R. H. V. Corley, J. J. Haulon Y B. J. Wood!. Amsterdam: Elsevier.**

16. **Coiley, R. H. V., Hardon, J. J. & Ooi, S. C. (1973). Some evidence for genetically controlled variation in photosynthetic rate of oil palm seedlings. Euphytica 22:48-55.**

17. **Corley, R. H. V., Hardon, J. .J.& Tan, G. Y. (1971). Analysis of growth of the oil** palm (Elaeis *guineensis* **Jacq.). I. Estimation of growth parameters and application in breeding. E***uphytica* **20:307-315.**

18. **Corley. R. H. V., Hew, C. K., Tam, T. K. & Lo. K. K. (1973). Optimal spacing for oil palms. In** ***Advances in Oil Palm Cultivation,*** **52-69 (Eds R. L. Wastie Y D. A. Earp). Kuala Lumpur: Society of Planters.**

19. Ehleringer. J. & Pearcy, R. W. (1983). Variation in quantum yield for $C0_2$-uptake among C_3 and C_4 plants. Plan*t Physiology* 73:555-559.

20. Gray. B. S. (1969). The requirements for assited pollination in oil palms in Malaysia. In *Progress in Oil Palm,* 49-66 (Ed. P. D. Turner). Kuala Lumpur: Incorporated Society of Planters.

21. Hardon, J. J., Corley, R. H. V. & Ooi, S. C. (1972). Analysis of growth in the oil palm. II. Estimation of genetic variances ol growth parameters and yield of fruit bunches. *Euphytica* 21257-264.

22. Hardon. J. J., Williams, C. N. & Watson, I. (1969). Leaf area and yield in the oil palm in Malaysia. *Experimental Agriculture* 5:25-52.

23. Prevot, P. & Duchesne, J. (1955). Densités de plantation pout le palmier a huile. *Oléagineux* 10: 11 7-122.

24. Ramachandran, P.. Narayanan, R. Y Knecht, J. C. X. (1973). A planting distance experiment of dura palms, In *Advances in Oil Palm Cuttivation,* 72-87 (Eds R. L. Wastie & D. A. Earp). Kuala Lumpur: Incorporated Society of Planters.

25. Spitters, C. J. T. (1986). Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implication for modeling canopy photosynthesis. *Agricultural and Forest Meteorology* 38:231-242.

26. Squire, G. R. (1984a). Techniques in environmental physiology of oil palm. I. Measurements of intercepted radiation. *Porim. Bull,*

27. Squire, G. R. (1984b). Light interception, productivity and yield of oil palm. Palm Oil Research Institute Malaysia.

28. Syed, R. A. (1979). Studies on oil palm pollination insects. *Bulletin of Entomological Research* 69:213-224.

29. Syed, R. A., Law, I. H. & Corley. R. H. V. (1982). Insect pollination of oil palms: introduction, establishment and pollination efficiency of *Elaeidobius kamerunicus* in Malaysia. *Planter, Kuala Lumpur* 58 547-561.

30. Szeicz, G. (1974). Solar radiation for plant giowth. *Journal Applied Ecology* 11: 617-636.

31. Wannga, N. A. (1985). Soil moisture and climate in the West New Britain area. Internal report, Agricultural University, Wageningen, the Netherlands.

32. Wilson, D. (1982). Response to selection for dark respiration rate of mature leaves in L*olium perenne* L. and its effect on growth of young plants. *Annals Botany* 49:313-320.

Haga la visita mas productiva del año, venga a

CFN

CORPORACION FINANCIERA
DEL NORTE, S. A.
COFINORTE

Barranquilla: Carrera 55 No. 75-163 - Tels. 58 22 00 - 58 18 18
Medellín: Calle 16 No. 41-210 Local 106 - Tels. 262 29 07 - 262 29 27 - 262 29 47
Cartagena: Edificio Banco Central Hipotecario. Piso 7o.
Bogotá: Carrera 7a. No. 24-89 Piso 25 - Tels. 234 51 28/58
Carrera 11 No. 90-73 - Tels. 218 73 77 - 218 73 66