Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento, desarrollo y productividad de dos materiales de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq.

Effect of Planting Density on the Growth, Development and Productivity of Two Oil Palm *Elaeis Guineensis* Jacq. Materials

Iván M. Ayala D.[1]
Leonardo Rey B.[2]
Carlos Durán Q.[3]

Resumen

Las densidades de siembra en palma de aceite han sido ampliamente estudiadas en otros países, evidenciando el efecto de la competencia en su desarrollo y productividad. El presente estudio evaluó tres densidades de siembra: 143 palmas/ha (9m x 9m) que fue utilizada como testigo; 156 palmas/ha (8,6m x 8,6m) y 172 palmas/ha (8,2m x 8.2m), y dos materiales genéticos: IRHO 1001 y Deli x Ekona (ASD). Los tratamientos se dispusieron en un diseño experimental de parcelas divididas, con tres repeticiones. Los análisis de varianza evidenciaron diferencias altamente significativas entre las densidades de siembra para el índice de área foliar (LAF). Entre los materiales genéticos se presentaron diferencias para las variables de longitud de raquis y longitud del pecíolo. Hasta el momento la altura del estípite no ha sido afectada por la densidad de siembra. La producción de racimos frescos/hectárea/año (rendimiento de palmas individuales por número de palmas por hectárea) presentaron diferencias estadísticas entre las tres densidades de siembra y en los dos materiales; el material Deli x Ekona (ASD) redujo la producción en 12% menos que el material IRHO 1001 a 172 palmas/ha, e IRHO 1001. Comparando entre las densidades para el material Deli x Ekona, la producción de racimos frescos/ha/año produce 22,4% más a 156 palmas que el testigo comercial (143 palmas), pero es de resaltar que a pesar de que Deli x Ekona ya se afectó por la densidad de siembra a 172 palmas/ha está produciendo 8,96% más que su propio testigo comercial. El material IRHO 1001 no ha presentado reducciones significativas en producción en altas densidades de siembra, con valores de LAF óptimos para la máxima producción. La variabilidad estructural de los materiales marca la diferencia en producción, debido a que la longitud total de la hoja es la responsable del traslape foliar. La producción se afectó en forma altamente significativa para el número de racimos por palma en la mayor densidad de siembra del material ASD, y fue esta variable la responsable de la reducción de la materia seca productiva; el peso medio del racimo no fue afectado por las densidades.

Palabras Clave

Palma de aceite,
Densidad de siembra,
Variables de producción,
Material de siembra.

1 . Investigador Auxiliar Cenipalma, Zona Central. E-mail: ivan.ayala@cenipalma.org
2 . Investigador Asociado Cenipalma, Zona Central. E-mail: leonardo.rey@cenipalma.org
3 . Ingeniero Agrónomo, Promociones Agropecuarias Monterrey, Puerto Wilches, Santander.

Summary

The planting densities in oil palm have been widely studied in other countries, giving evidence of the effect of the competition in the palms development and productivity. For the above reason, it was proposed to study the effect of the competition between palms in the Puerto Wilches zone, Santander, where three planting densities were evaluated: 143 palms / ha (9m x 9m) which was used as control, 156 palms / ha (8.6m x 8.6m) and 172 palms / ha (8.2m x 8.2m), and two genetic materials: IRHO 1001 and Deli x Ekona (ASD). The treatments were arranged in a design of divided parcels, with three repetitions. The variance analysis showed different highly significant difference between the planting densities only for the foliage area index (FAI), among the genetic materials differences for the rachis length variables and the petiole length. Up to now the stem height has not been affected by the planting density. Until now, the IRHO 1001 material has not presented any significant reduction in high densities of planting, with optimum FAI values for the maximum production. The materials structural variability show the difference in production, since the total length of the leaf is responsible of the foliage overlapping. The production was affected in a highly significant way for the number of bunches per palm in the largest planting density of the ASD material, being this variable responsible of the productive dry matter reduction; the bunch average weight was not affected by the densities.

Introducción

El crecimiento y desarrollo de los cultivos es producto de la interacción armónica entre el genotipo sembrado, las condiciones ambientales predominantes y las prácticas culturales empleadas. Las características climáticas de una región influyen en los procesos morfofisiológicos de las plantas y no pueden ser controlados directamente por el hombre. No obstante, los efectos de algunos de ellos, como la radiación solar, pueden ser manipulados indirectamente mediante modificaciones genéticas del dosel de la planta o de las densidades de siembra del cultivo.

La densidad de población vegetal es un aspecto importante de estudio en los cultivos, debido a que se encuentra directamente relacionada con eventos fisiológicos que afectan la acumulación de materia seca entre los diferentes órganos, especialmente de aquellos que serán de interés en el momento de la cosecha (Rodríguez, 2000).

Cuando la densidad de siembra se incrementa, hay mayor competencia entre las plantas por recursos del medio ambiente como luz, agua y nutrimentos. Pero la competencia por luz es la más importante; ésta es absorbida por las hojas que componen el dosel total de las palmas, comprendido en una unidad de área cuya relación matemática genera el índice de área foliar (IAF), un buen indicador del nivel de competencia entre las plantas. El IAF se incrementa cuando aumenta la densidad, y se puede reflejar en una reducción del número de hojas en altas densidades de siembra (Corley, 1973).

La relación entre las densidades de siembra y el desarrollo de la palma de aceite ha sido ampliamente estudiada en otros países (Breure *et al.*, 1977; Corley, 1973 y 1976), y se han comprobado los efectos de la competencia sobre su crecimiento y período de vida económico. En Colombia existen muchas evidencias sobre el comportamiento diferencial en cuanto a crecimiento y producción de los materiales comerciales plantados en las cuatro zonas productoras, por lo cual es necesario realizar investigaciones que cuantifiquen estas respuestas fisiológicas.

Objetivos

- Estudiar el efecto de la competencia entre plantas sobre el desempeño fisiológico y productivo de dos materiales de origen diferente y características contrastantes de crecimiento.
- Establecer recomendaciones técnicas sobre las densidades de siembra óptimas y su manejo de acuerdo con las condiciones de clima de la zona de estudio.

Materiales y métodos

Localización

El experimento se está realizando en la plantación Promociones Agropecuarias Monterrey, en Puerto Wilches, Santander. Se localiza a 7°20' 88" latitud norte y 73°54' 22" longitud oeste, a una altura de 83 msnm, temperatura media de 28,1°C y 2850 mm de precipitación.

Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue de parcelas divididas, con tres repeticiones, en donde la parcela principal es la densidad de siembra y las subparcelas son el material genético. La unidad experimental fue de 42 palmas por parcela, de las cuales únicamente se tomaron registros de las 11 palmas centrales (palmas efectivas).

Densidades de siembra

El experimento consta de tres densidades de siembra: 143 palmas/ha (9m x 9m) que es utilizada como testigo, pues es la predominante en las plantaciones de palma de aceite del país. La segunda densidad es de 156 palmas/ha (8,6m x 8,6m) y la tercera, de 172 palmas/ha (8,2m x 8,2m).

Materiales genéticos

Los materiales de siembra son: IRHO 1001 (Deli x La Mé) y Deli x Ekona.

Medidas de crecimiento vegetativo

El crecimiento vegetativo se midió utilizando la metodología para palma de aceite (semidestructiva) de Corley y colaboradores (1971), validada por Cenipalma para las condiciones de Colombia por Contreras (1996). Esta metodología permite calcular variables de crecimiento como: área foliar individual (hoja 17) y del dosel de la palma, en m^2 peso seco foliar individual (hoja 17) y del dosel de la palma, en kilogramos, altura (cm), índice de área foliar, materia seca vegetativa total (kg/palma), emisión foliar (en un período de 6 meses), y longitud del raquis y del pecíolo.

Variables de producción

La producción se cuantificó en las palmas centrales de cada parcela (11 centrales), donde se realizaron cosechas semanales registrando el número y peso de los racimos de cada palma.

Resultados y discusión

Variables de producción

La producción se afectó a partir del mes 50 después de la siembra únicamente en el material Deli x Ekona, que registró una merma significativa en producción de racimos de fruto fresco (RFF) por palma en la densidad de 172 palmas, y se mantuvo igual para 156 y 143 palmas/ha (Fig. 1). Sin embargo, el efecto de la densidad en la producción acumulada por hectárea, que depende directamente de la densidad de siembra, varió. La mejor producción de RFF/ha se registró en la densidad de 156 palmas/ha con diferencias de producciones acumuladas de más de 10 t/ha entre 156 y 172 palmas/ha (Fig. 2). Vale recalcar que después de 84 meses de la siembra, este material genético a 156 palmas/ha produce mejor que el testigo tradicional de 143 palmas/ha.

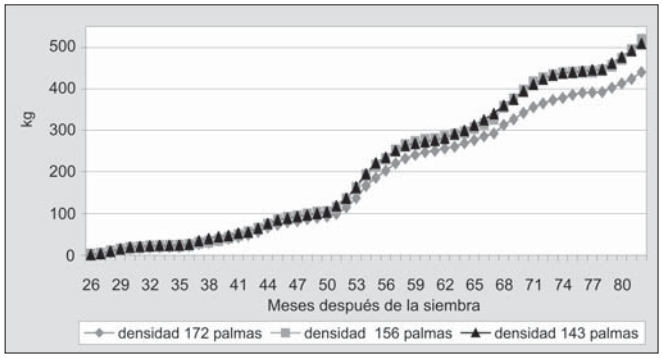

Figura 1 Producción acumulada por palma, material Deli x Ekona (ASD)

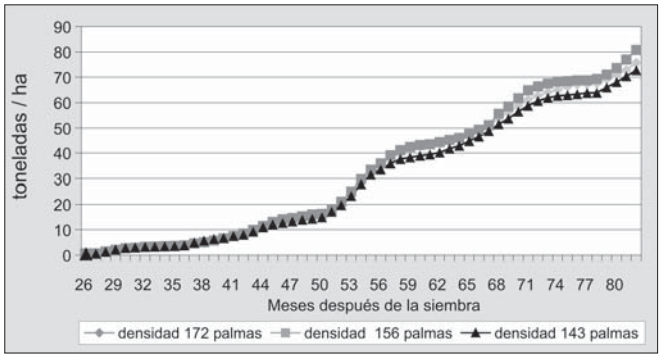

Figura 2 Producción acumulada por hectárea, material Deli x Ekona (ASD)

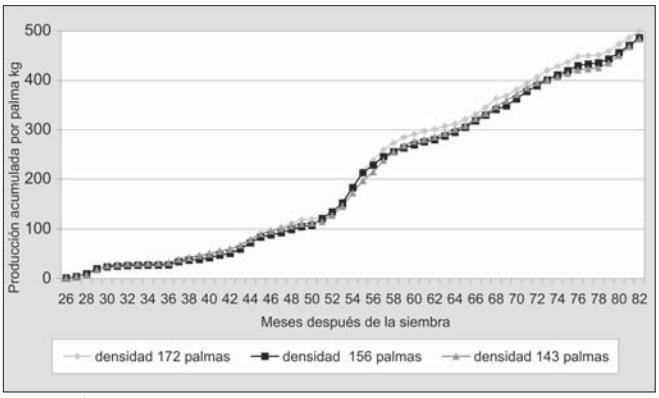

Figura 3 Producción acumulada por palma, material IRHO 1001

Por lo contrario, después de 84 meses de sembrado, el material IRHO 1001 no ha presentado diferencias significativas en la producción de RFF/palma (Fig. 3), y por ello la producción se presenta de forma directamente proporcional a la densidad de siembra en donde, a mayores densidades de siembra (172/palmas/ha), se produce una mayor cantidad de RFF/ha/año con respecto al testigo tradicional de 143 palmas/ha, con diferencias de más de 18 toneladas acumuladas entre 172 y 143 palmas/ha/año (Fig. 4).

La diferencia en la producción de RFF/palma/año radica en la producción de racimos/palma que está determinando las diferencias en la producción, tal como se presenta en el material genético Deli x Ekona (ASD), en el que a mayores densidades de siembra se reduce el número de racimos producidos por palma. El peso medio

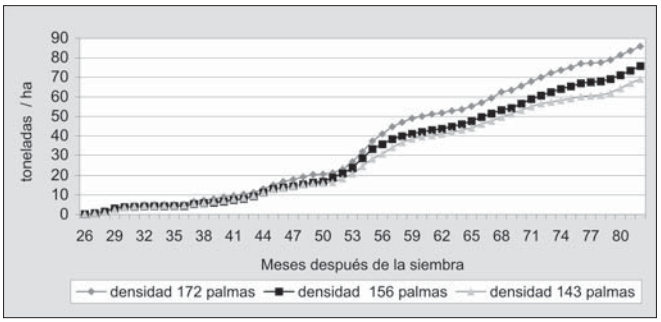

Figura 4 Producción acumulada por hectárea, material IRHO 1001

de los racimos no presenta diferencias estadísticas (Tabla 1). Esta reducción de racimos por palma afecta directamente la producción de racimos/ha, coincidiendo con Corley (1973), quien explica que la mayor reducción en el número de racimos se atribuye al número de abortos. Además, el número de inflorescencias masculinas aumenta a mayores densidades de siembra afectando directamente la diferenciación de sexos.

Se encontró que el material genético Deli x Ekona está produciendo igual número de racimos/ha a densidades de 172 y 156 palmas, pero superior a 143 palmas/ha, y entre el IRHO 1001 y Deli x Ekona (ASD) a la mayor densidad de siembra se presentan diferencias de más de 300 racimos/ha/año (Fig. 5).

Al extrapolar los datos de producción por palma a rendimientos comerciales (rendimiento de palmas individuales por el número de palmas por hectárea) se presentan diferencias estadís-

Tabla 1 Comparación de medias entre densidades: componentes del rendimiento

Densidades	Peso medio del racimo	Número de racimos/ha	Número de racimos por palma/año	Racimos de fruta fresca/ha/año	Racimos de fruta fresca palma/año
172	11,5 a	1941 a	11,3 a	21,73 a*	124,9 a
156	11,7 a	1861 ab	11,9 a	20,79 a	130,8 a
143	11,3 a	1721 b	12,1 b	18,7 b	132,8 a
Media	11,49	1841,2	11,76	20,99	129,5
C.V.	4,96	7,65	7,48	10,01	9,6
Probabilidad	0,49	0,0003**	0,0015**	0,0092**	0,11 n.s.

Producción media de los años 2000, 2001 y 2002
Valores con la misma letra no tienen diferencia estadísticamente significativa según prueba de Duncan.
* Significancia estadística con p= 0,05
** Significancia estadística con p= 0,01

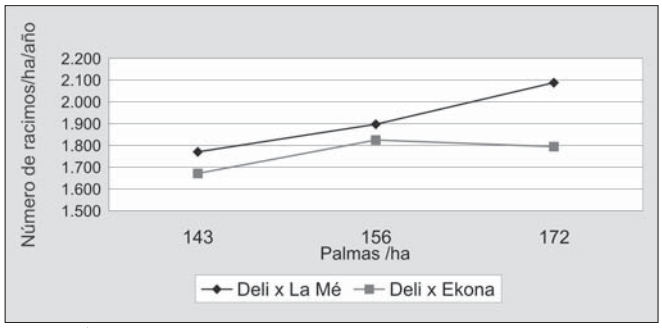

Figura 5 Producción de racimos por ha/año

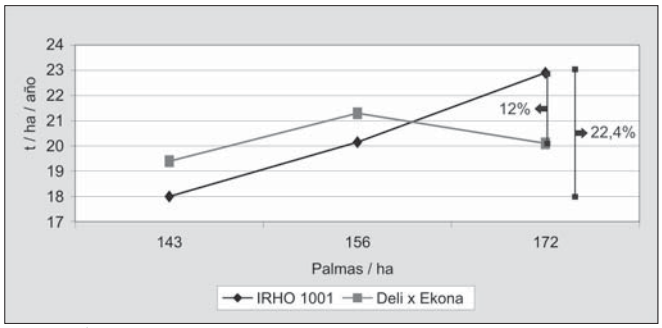

Figura 6 Producción de racimos de fruta fresca/ha/año

ticas entre las tres densidades de siembra y en los dos materiales. El material Deli x Ekona (ASD) ya está afectado por la densidad de siembra y produce 12% menos que el material IRHO 1001 a 172 palmas/ha. E IRHO 1001, comparándolo con el mismo, produce 22,4% más a 172 palmas que el testigo comercial (143 palmas). Es de resaltar que a pesar de que Deli x Ekona ya se afectó por la densidad de siembra a 156 palmas/ha, está produciendo 8,96% más que su propio testigo comercial (Fig. 6).

Variables de crecimiento vegetativo

El efecto de las densidades de siembra se observa principalmente sobre el desarrollo estructural del dosel de las plantas. Estos cambios en los patrones del crecimiento vegetativo pueden favorecer o perjudicar la producción, porque el área foliar como principal tejido fotosintético determina la fracción de energía solar que puede ser captada y convertida en materiales orgánicos (Castillo *et al.*, 1997). Por este motivo, es necesario conocer el comportamiento de las variables de crecimiento vegetativo, pues éstas determinan si las diferencias presentadas son causadas por la densidad de siembra o si son de tipo varietal (Tablas 2 y 3).

Las longitudes del pecíolo y del raquis no han presentado diferencias estadísticamente significativas (densidades) (Tabla 3); su efecto radica en una mayor competencia entre las plantas cuando la densidad de siembra es mayor, disminuyendo la cantidad de luz disponible, pues la interceptación de la luz y su distribución en el dosel de las plantas es un factor determinante en la fotosíntesis y la productividad de los cultivos.

En cuanto a los materiales, existen diferencias para esta variable con una alta significancia p= 0,0001 (Tabla 2). Por tal razón, en altas densidades de siembra (172 palmas/ha) el material Deli x Ekona (ASD) se encuentra mucho más estresado con respecto a la captación de luz, porque además de tener un área foliar total similar, lo que conlleva a un similar índice de área foliar, está ocupando mayor área real. En consecuencia, existe un mayor entrecruzamiento

Tabla 2 Comparación de medias entre materiales genéticos: Variables vegetativas

Materiales genéticos	Longitud del raquis (m)	Número de folíolos (#)	Longitud del pecíolo (cm)	Área foliar (m^2)	Peso seco foliar (kg)	Área foliar total (m^2)	Índice de área foliar (m^2/m^2)
IRHO 1001	4,8 b	164 a	117 b	7,23 b	2,89 a	299 a	4,7 a
Deli x Ekona	5,2 a	161 b	147 a	7,98 a	2,88 a	314 a	4,9 a
Media	4,99	162,8	132,1	7,61	2,88	305,8	4,79
C.V.	2,25	1,25	3,89	4,27	4,4	6,48	6,91
Probabilidad	0,004	0,019	0,001	0,02	0,86	0,12	0,14

Producción media de los años 2000, 2001 y 2002
Valores con la misma letra no tienen diferencia estadísticamente significativa según prueba de Duncan.

Tabla 3 Comparación de medias entre densidades: Variables vegetativas

Materiales genéticos	Longitud del raquis (m)	Número de folíolos (#)	Longitud del pecíolo (cm)	Área foliar (m^2)	Peso seco foliar (kg)	Área foliar total (m^2)	Índice de área foliar (m^2/m^2)
172	5,03 a	163,7 a	132,5 a	7,6 a	2,9 a	306 a	6,3 a
156	5,17 a	162,7 a	131,7 a	7,6 a	2,9 a	307 a	4,8 ab
143	4,93 a	162 a	132,1 a	7,7 a	2,9 a	304 a	4,3 b
Media	4,99	162,8	132,1	7,61	2,88	305,8	4,79
C.V.	2,25	1,25	3,89	4,27	4,4	6,48	6,91
Probabilidad	0,36	0,94	0,95	0,56	0,35	0,84	0,001

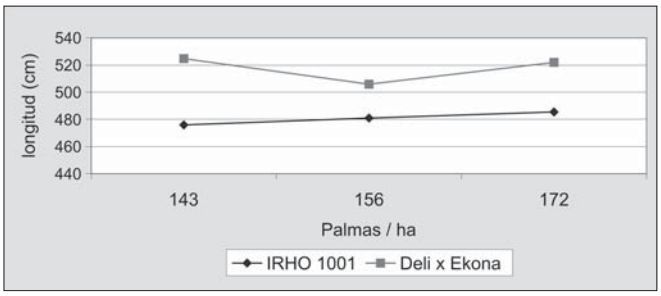

Figura 7 Comparación de la longitud del raquis

de hojas. Esta diferencia entre los materiales genéticos para estas variables es de más de 60 cm sumando la longitud del raquis y del pecíolo (Fig. 7).

El área foliar presentó diferencias estadísticas entre los materiales (p= 0,01), pero hasta el momento no hay diferencia entre las densidades de siembra, tanto en el área foliar por hoja, como en el área foliar total, como se muestra en la Tabla 4. Con excepción del material IRHO 1001 en la densidad de 172 palmas/ha, el cual incrementó su área de intercepción (individual y total).

Tabla 4 Comportamiento del área foliar en tres densidades de siembra

	IRHO 1001		Deli x Ekona (ASD)	
Densidad	Área foliar/ hoja (m^2)	Área foliar total (m^2)	Área foliar/ hoja (m^2)	Área foliar total (m^2)
172 palmas	6,96	306,97	7,50	302,22
156 palmas	6,54	276,88	7,05	298,23
143 palmas	6,58	279,39	7,69	310,68

Tabla 5 Áreas foliares en diferentes densidades de siembra

Palmas por hectárea	Área foliar / hoja (m^2)	Área foliar total (m^2)
111	5,74	302
145	6,56	345
184	6,58	338
222	6,26	319
227	6,22	307
291	6,68	291
334	6,52	265
368	7,02	271

Tomado de "25 Curso Internacional de Palma Aceitera", Umaña 1996.

Pero según resultados de Corley en Malasia, se espera que a partir del sexto o séptimo año de siembra, los materiales que son plantados a mayores densidades tengan una menor área foliar (Tabla 5).

Al incrementar la densidad, la competencia entre palmas por recursos del medio ambiente se incrementa, compitiendo por luz, agua y nutrientes. Pero la competencia por luz es la más importante. Un buen indicador del entrecruzamiento de las palmas es el índice de área foliar (IAF), esto es, la relación entre el total del área foliar por unidad de área (superficie/palma).

Cuando el IAF se incrementa, se aumenta el autosombreamiento de las hojas bajeras y decrece la producción de materia seca por área foliar. La cantidad de materia seca por palma usada en el crecimiento es poco afectada por la densidad, pero decrece en la cantidad de materia seca productiva (peso y número de racimos) (Corley, 1973).

Para esta variable existen diferencias estadísticamente significativas entre las densidades (p=

0,001) (Tabla 3), en donde se encuentran valores de índice de área foliar de entre 4,2 y 5,5 de la menor a la mayor densidad (Fig. 8). A pesar de tener a la mayor densidad de siembra un IAF similar, existen diferencias en la interceptación de luz debido a la mayor longitud de la hojas con valores de radiación fotosintéticamente activa para el material Deli x Ekona (ASD) de 88,2 micromoles/m^2/seg, y mucho menor en el material IRHO 1001 con valores de 77,3 micromoles/m^2/seg que presenta un menor autosombreamiento.

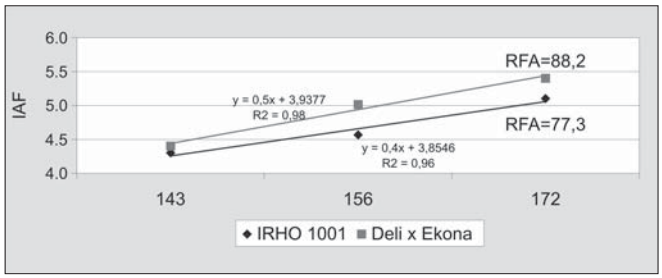

Figura 8 Índice de área foliar a tres densidades de siembra

Hasta este momento se puede concluir que el índice de área foliar óptimo para cada material puede ser de 5,1 para el material IRHO (172 palmas/ha) y 4,5 para el material ASD (156 palmas/ha) en donde se están presentando las mejores producciones tanto por hectárea como en palmas individuales. El índice de área foliar para el rendimiento óptimo está determinado por las características de los materiales y principalmente por las horas luz (por año) de la zona, razón por la cual es importante realizar ensayos de densidades de siembra en cada una de las localidades representativas de cultivos de palma de aceite.

Conclusiones

- El material Deli x Ekona en 172 palmas/ha/año presentó una reducción del 12% en la producción con respecto a IRHO 1001.
- El Material IRHO 1001 ha incrementado la producción en forma directamente proporcional a la densidad, después de 7 años de sembrado, con un incremento del 22,4% más que el testigo comercial (143 palma/ha/año).
- A 172 palma/ha/año con el material IRHO 1001 hay un aprovechamiento adicional del 20% del área neta.
- El material Deli x Ekona (ASD) en altas densidades de siembra está presentando menor producción debido al traslape foliar de las palmas, ocasionando una mayor competencia por la luz.
- El material IRHO hasta el momento no ha presentado reducciones significativas en producción en altas densidades de siembra, con valores de IAF óptimos para la máxima producción.
- La variabilidad estructural de los materiales marca la diferencia en producción, debido a que la longitud total de la hoja es la responsable del traslape foliar entre palmas, a pesar de tener área foliar total similar.
- La producción se afectó en el número de racimos por palma en la mayor densidad de siembra del material Deli x Ekona (ASD), y es esta variable la responsable de la reducción de la materia seca productiva. El peso promedio de racimo no fue afectado por las densidades.

Los resultados de este experimento son preliminares, pues el cultivo todavía se encuentra en etapa de crecimiento vegetativo y aún no ha alcanzado su máximo potencial de crecimiento. Por esta razón, los resultados presentados pueden ser aplicables a la edad actual de las palmas y a condiciones agroclimáticas similares.

Bibliografía

CASTILLO, E. 1997. Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa y su relación con el área foliar de coffea arábiga. Cenicafé. 48:3, p.182-194.

CONTRERAS, P. 1996. Análisis de crecimiento en la palma de aceite. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

CORLEY, R.H.V.; HADRON, J.J.; TANG, Y. 1971. Analysis of growth of the oil palm *Elaeis guineeensis* Jacq. In: Estimation of growth parameters and application in breeding. Euphytica, 20, p.307-315.

CORLEY, R.H.V. 1973. Effects of plant density on growth and yield of oil palm. Expl. Agric. 9, p.169-180.

CORLEY, R.H.V. 1976. Planting density. In: Oil palm research, Elvesier, Amsterdam, p.273-283.

RODRÍGUEZ, L. 2000. Densidad de población vegetal y producción de materia seca, en Revista Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal, Comalfi.

UMAÑA, C.H. 1996. Morfología, crecimiento, floración y rendimiento de la palma aceitera. En: XXV Curso Internacional de Palma Aceitera, ASD de Costa Rica.