

EFEECTO DEL DÉFICIT HÍDRICO SOBRE EL CICLO PRODUCTIVO DE LA PALMA ACEITERA EN EL ESTADO MONAGAS, VENEZUELA

EFFECT OF WATER DEFICIT ON THE PRODUCTIVE CYCLE OF OIL PALM IN MONAGAS STATE, VENEZUELA

Renny Barrios Maestre*, DelValle Mark*, Editor Rivas*, José Fariñas*, José Salazar** y Gladys Rodríguez*

*Investigadores. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA Monagas). Maturín, estado Monagas

**Ingeniero Agrónomo. Asociación Venezolana de Cultivadores de Palma Aceitera. Asentamiento Campesino "El Zamuro".
Correo electrónico: rbarrios@inia.gov.ve.

RESUMEN

La distribución unimodal de la precipitación en la región palmera del estado Monagas genera períodos de déficit hídrico y períodos de excesos de humedad que se reflejan en la producción de la palma aceitera, *Elaeis guineensis* Jacq. Con el fin de determinar el efecto del déficit hídrico sobre el ciclo productivo de la también llamada palma africana, se estudió la correlación entre la disponibilidad hídrica y la producción del cultivo. El trabajo se realizó en la zona palmera Vuelta Larga-La Hormiga, municipio Maturín, estado Monagas, con un clima Bosque Húmedo Tropical, el paisaje corresponde a terrazas aluviales del río Guarapiche y los suelos predominantes son ultisoles y entisoles. Se estimaron balances hídricos a intervalos de 5 d a través de la metodología de Thornthwaite y Mather (1955). Se utilizaron registros de la estación climatológica del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) ubicada en San Agustín de La Pica (latitud 09°46'34,2'' N; longitud 63°03'21,4'' W; altitud 24 m.s.n.m.) y registros de producción de racimos de palma aceitera arrimada a la planta extractora por 18 fincas de la zona durante el período 2000-2004. Esta región palmera presentó un déficit hídrico de 450 mm anuales, concentrados entre enero y mayo. Se identificaron tres períodos críticos en los cuales el déficit hídrico influye negativamente sobre la producción que corresponden a las fases fenológicas de llenado de frutos, estado de flecha central y diferenciación sexual de inflorescencias. La disminución de la producción fue potenciada por la superposición de los efectos del déficit hídrico sobre las etapas críticas identificadas.

Palabras Clave: *Elaeis guineensis* Jacq.; déficit hídrico; fenología.

SUMMARY

The unimodal distribution of rainfall in the producing region of oil palm at Monagas State generates water deficit periods and moisture excess periods, which are reflected in the production of oil palm, *Elaeis guineensis* Jacq. To determine the effect of water stress on the productive cycle of oil palm correlation between water availability and production of oil palm was studied. The study was carried out on oil producing area Vuelta Larga-La Hormiga. The climate is tropical humid forest, landscape corresponds to Guarapiche River alluvial terraces and Ultisols and Entisols are predominant soils. Water balances were estimated at intervals of 5 days by using the Thornthwaite and Mather method. Weather data were obtained from San Agustín de la Pica weather station (latitude 09°46'34.2'' N, longitude 63°03'21.4'' W; altitude 24 m above mean sea level). Records of production were obtained at the local palm oil extraction plant from yield of oil palm bunches from 18 farms during the period 2000-2004. Oil palm area presented a water deficit of 450 mm per year, concentrated between January and May. Three critical periods in which water deficit had a negative impact on production were identified, corresponding to the fruit filling stage, state of the central arrow and sexual differentiation of inflorescences. The decrease in production was worsened by the superposition of the effects of water stress on the critical stages identified.

Key Words: *Elaeis guineensis* Jacq., water deficit, phenology.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela la dependencia de oleaginosas provenientes del exterior, se ubica actualmente cerca de 92% del consumo nacional, representando una debilidad desde el punto de vista estratégico debido a su impacto sobre la seguridad y soberanía alimentaria. La palma aceitera es reconocida como el cultivo oleaginoso que produce mayor cantidad de aceite por unidad de superficie en todo el mundo.

Acupalma (2009) reporta que la palma aceitera aporta el 90% de la producción nacional de aceites y grasas, con una producción de 88500 TM/año y un rendimiento promedio nacional de 12 ton ha⁻¹ año⁻¹. En el estado Monagas el rendimiento promedio apenas alcanza a 5 t ha⁻¹ año⁻¹, lo cual califica a la región como una zona marginal para el desarrollo del cultivo debido a limitaciones edafoclimáticas.

El suministro de agua es el factor más importante para el desarrollo y productividad de la palma aceitera, requiriendo aproximadamente 150 mm de precipitación mensual (Hartley, 1983).

La distribución unimodal de las precipitaciones que caracteriza a la región palmera del estado Monagas, concentrada entre junio y noviembre, origina excesos de agua en algunas épocas del año y déficit hídrico marcado en otros períodos. Esto trae como consecuencia fluctuaciones de la producción durante el año, generando picos de producción en períodos cortos de tiempo, a su vez, origina problemas de recepción y procesamiento de fruta en la planta extractora (Barrios y Florentino, 2001).

Estudios de Turner (1977) evidencian que la cantidad y distribución de la lluvia son parámetros importantes en los sistemas de estimación de la cosecha de palma aceitera. Se ha demostrado que la precipitación afecta el rendimiento de la palma aceitera a corto plazo (Chow, 1992; Dufour *et al.*, 1988), estableciendo relaciones estadísticamente significativas entre la producción en períodos posteriores, el impacto de la sequía en las etapas de crecimiento y el desarrollo fisiológicamente sensibles de la palma (Henson y Mohd Tayeb, 2004a).

Asimismo, Siregar *et al.* (1998) encontraron una correlación positiva entre el rendimiento de racimos y los períodos anteriores de sequía, lo cual explicaría el 75% de las variaciones registradas en la producción de la palma aceitera en plantaciones comerciales del sur de Sumatra (suroeste asiático) donde tradicionalmente existe un período seco.

También, Sterling *et al.* (1997) señalan que la precipitación tiene efectos indirectos sobre el rendimiento, porque afecta la polinización a través de su influencia sobre la liberación y la viabilidad del polen. Igualmente, Henson y Mohd Tayeb (2004b) determinaron efectos sobre la tasa de emisión foliar, las etapas de desarrollo de la inflorescencia, el aborto de la inflorescencia, la eficiencia de la polinización, el peso del racimo y la tasa de desarrollo y la maduración del racimo. De igual forma, Foster y Chang (1989) establecieron que las relaciones de la precipitación con la producción de hojas, el número de racimos, la diferenciación sexual y el aborto de flores, explicarían hasta el 77,4% de las fluctuaciones mensuales de rendimiento en regiones palmeras de Malasia.

Diversos estudios indican que la práctica de riego, aunada a la corrección de las limitaciones físicas y químicas de los suelos, constituye una alternativa para lograr la estabilización de las fluctuaciones de la producción y lograr un incremento en la productividad (Prioux *et al.*, 1992; Barrios *et al.*, 2003; Barrios y Florentino, 2008).

Evidentemente, la fenología de la palma aceitera está asociada a la disponibilidad hídrica, la cual está claramente definida en la región tropical con un período húmedo y un período seco.

En tal sentido, el presente trabajo plantea como objetivo, determinar el efecto de déficit hídrico sobre la producción de la palma aceitera en las zonas productoras del estado Monagas, a fin de tomar decisiones en la aplicación de riego complementario y de manejo de la planta extractora.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en una zona palmera Vuelta Larga-La Hormiga, ubicada en el municipio Maturín del estado Monagas, aproximadamente a 20 km al este de la ciudad de Maturín y al sur del río Guarapiche, geográficamente, se sitúa entre los 63° 00'00" y 63° 02'56" W, y 9° 51'3" y 9° 54'36" N; con una altura entre 10 y 18 m.s.n.m. El clima está clasificado como Bosque Húmedo Tropical, con temperatura media anual de 27,3 °C, precipitación de 1 291 mm como promedio anual y humedad relativa superior al 80% durante todo el año (MARNR, 1997).

Las plantaciones comerciales de la zona están ubicadas dentro del paisaje de terrazas aluviales del río Guarapiche con predominio de suelos evolucionados dominados por Ultisoles en las terrazas más altas y de suelos del orden Entisol y Vertisol en las zonas más cercanas al curso

de agua, con niveles freáticos superiores a 2 m, según estudios de Pérez (1987).

Se recopilaron registros de la producción arrimada a la planta extractora de aceite “Palmonagas S. A.” de 18 fincas ubicadas en el eje palmicultor Vuelta Larga-La Hormiga durante el período 2000-2004, las cuales no disponían de sistemas de riego. Dichas parcelas estaban sembradas entre los años 1987 y 1989 con el híbrido Tenera, proveniente del cruce “Deli x Avros”.

Los balances hídricos se estimaron mediante el método de Thornthwaite y Mather (1955). Este método permite monitorear el almacenamiento de agua en el suelo, reflejando el balance entre las entradas y salidas de un volumen de control. Para esto se consideró a la lluvia (P) como la única entrada, a la ETP como la salida debida a la demanda atmosférica y a la capacidad de agua disponible (CAD) como la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. Mediante este método es posible estimar la evapotranspiración real (ETR), el déficit (DEF), el exceso (EXC) y el almacenamiento de agua en el suelo (Pereira *et al.*, 1997).

La variación del almacenamiento se estimó a través de la alteración (ALT) del contenido de agua en el suelo, mediante la ecuación siguiente: $\pm ALT = P - ETR - EXC$ (Lozada y Sentelhas, 2003). Adicionalmente, se incluyó una columna definida como “Disponibilidad hídrica”, donde se colocó el déficit con valores negativos y el exceso con valores positivos, con fines de construcción de las figuras.

Los balances hídricos se calcularon en intervalos de 5 d para el mismo período de producción considerado, utilizando datos de precipitación y evaporación de tina provenientes de la estación climatológica del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), ubicada en San Agustín de La Pica (dentro del eje palmicultor estudiado), una capacidad de almacenamiento del suelo de 120 mm, considerando una profundidad radical efectiva de 1,0 m y un Kc de 0,9 para palmas adultas.

Para estudiar el efecto del déficit hídrico sobre el ciclo productivo de la palma aceitera se tomó como base los estudios fenológicos de la etapa reproductiva realizados por Sanjinés (1987), donde se establece la cronología del desarrollo del fruto desde la iniciación de la yema floral hasta el momento de la cosecha.

Posteriormente, se formaron correlaciones entre la producción mensual promedio de la palma aceitera en las 18 fincas seleccionadas y el déficit hídrico determinado para el eje palmicultor Vuelta Larga-La Hormiga.

Para establecer el efecto del estrés hídrico sobre la producción en períodos posteriores, se procedió a desfasar la disponibilidad hídrica contra la producción en forma mensual, es decir, se correlacionó el déficit hídrico del mes uno contra la producción en el mes dos, el déficit hídrico del mes uno contra la producción del mes tres, y así sucesivamente hasta alcanzar un período de desfase de 48 meses, obteniéndose en cada caso el coeficiente de correlación. Seguidamente, se seleccionaron los coeficientes significativos y se contrastaron con la etapa reproductiva sobre la cual influye según estudios fenológicos de Sanjinés (1987).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El balance hídrico mostró dos etapas claramente definidas para la región Vuelta Larga-La Hormiga: un período de déficit hídrico entre enero y mayo que alcanza un valor promedio de 454 mm y un período de exceso de humedad con un promedio de 371 mm anuales y se concentra entre junio y septiembre (Figura 1).

Trabajos de Díaz y Barrios (2002) destacan el efecto de suelo y clima sobre la reducción de los rendimientos de la palma aceitera en tres regiones palmeras de Venezuela, donde se tomó como referencia la zona sur del Lago de Maracaibo, con suelos fértiles y déficit hídrico bajo, y se comparó con las zonas palmeras del estado Yaracuy (con suelos fértiles y déficit hídrico medio) y del estado Monagas (con suelos pobres y déficit hídrico alto), obteniéndose reducciones en 25 y 32%, respectivamente.

Por su parte, Sun *et al.* (2011) señalan que el crecimiento, distribución de la biomasa, concentración de nutrientes y las propiedades morfológicas y fisiológicas del aceite de palma se vieron afectados por la disponibilidad de agua y nutrientes, pero pareciera ser más afectados por el estrés hídrico. La fertilización bajo condiciones de buena humedad disminuyó el estrés nutricional, mientras que la fertilización en condiciones de escasez de agua agravó el estrés por sequía, mediante la disolución del fertilizante.

A nivel local, las limitantes edafoclimáticas de la zona se reflejan en el crecimiento, desarrollo y producción de la palma aceitera. Legros *et al.* (2009b) y Henson (2006), afirman que el crecimiento y desarrollo vegetativo de la palma aceitera constituye el sumidero prioritario e invariable debido a la baja plasticidad arquitectónica de esta especie, mientras que la producción de fruta es más plástica y capaz de adaptarse a los recursos disponibles.

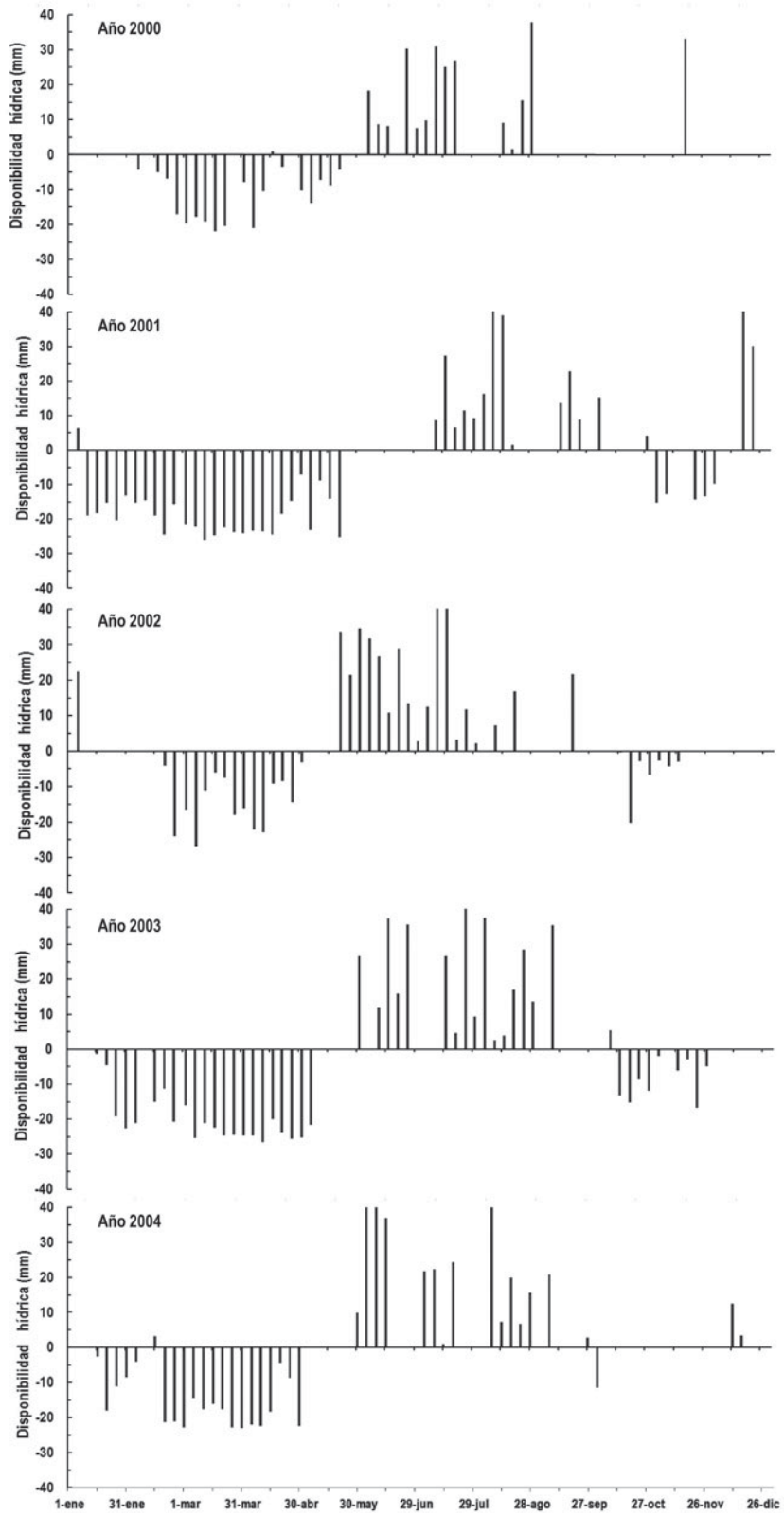


FIGURA 1. Balances hídricos de la región palmera Vuelta Larga–La Hormiga durante el período 2000-2004.

La Figura 2 muestra las fluctuaciones de la producción de la palma aceitera en la región Vuelta Larga–La Hormiga durante el período 2000-2004 asociadas al efecto del déficit hídrico, donde se observan tendencias a acumular picos de producción entre los meses de mayo y julio, y épocas de baja producción durante los meses de enero y marzo.

Evidentemente, los cambios en la producción son el reflejo de los eventos que ocurrieron con anterioridad y que se manifiestan en diferentes etapas. La palma aceitera se caracteriza por largos períodos de retraso para reflejar los ajustes fenológicos que realiza la planta en respuesta a cambios en los factores ambientales (Legros *et al.*, 2009a).

Las investigaciones no fueron determinantes para establecer las causas de las fluctuaciones de la producción de la palma aceitera. Los principales componentes de la producción son el número y el peso de los racimos cosechados por mes (Corley y Tinker, 2003), los cuales están determinados por la proporción de sexos de inflorescencias, fracción de inflorescencias abortados, aborto de racimos y relación peso mesocarpio: peso total del racimo.

Teniendo en cuenta que la duración del desarrollo de inflorescencias femeninas alcanza aproximadamente 4 años, y el gran número de inflorescencias en diferentes etapas de desarrollo presentes en una planta en un momento dado, se hizo difícil determinar los efectos de la variabilidad climática sobre componentes de rendimiento (Corley, 1977).

El análisis estadístico de la producción y el déficit hídrico de la región Vuelta Larga–La Hormiga estableció una correlación significativa para tres épocas críticas en las cuales el déficit hídrico influye negativamente sobre la producción (Cuadro): diferenciación sexual de inflorescencias, estado de flecha central y llenado de racimos.

Diferenciación sexual de inflorescencias

En el eje palmero Vuelta Larga–La Hormiga, ocurre entre los 26 y 27 meses antes de cosecha, donde el estrés hídrico origina la tendencia a producir mayor proporción de flores masculinas (androicas), con lo cual existe menor número de flores que den origen a la formación de racimos (Peralta, 1988).

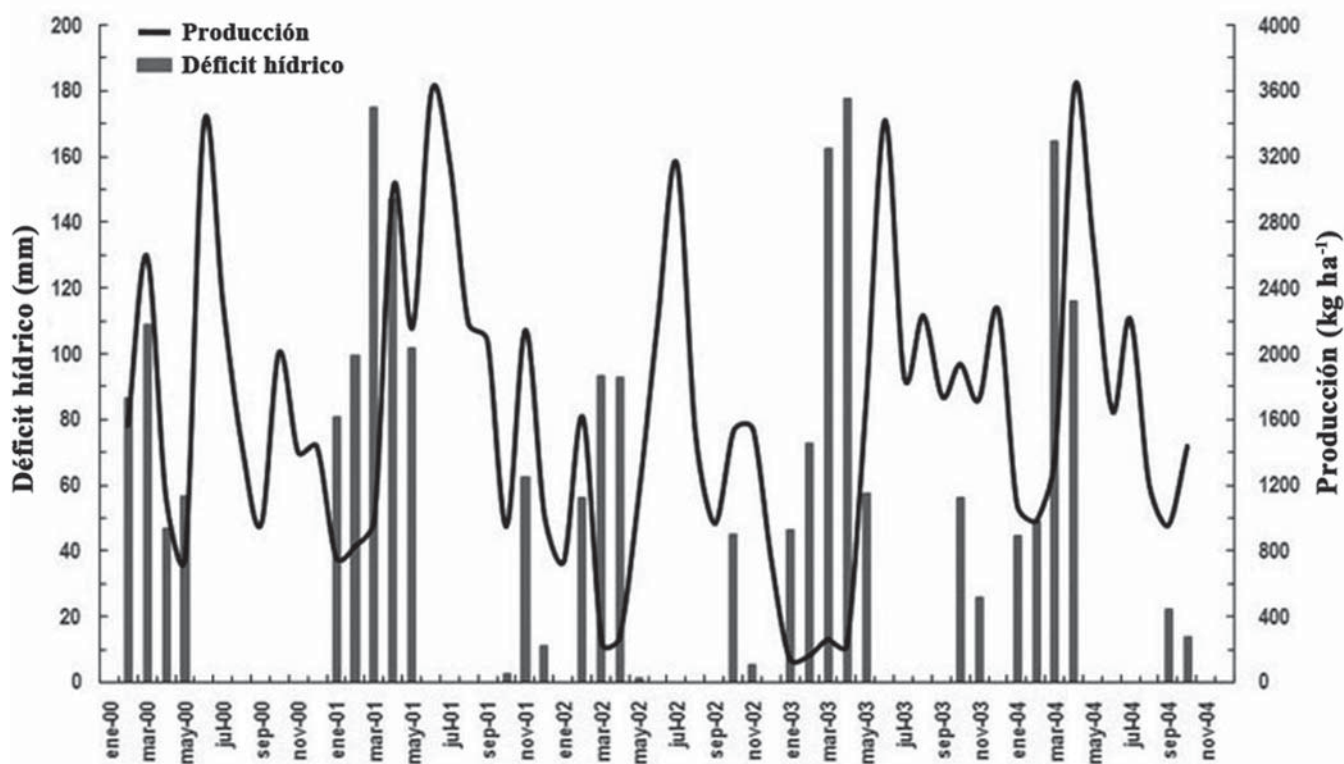


FIGURA 2. Efecto del déficit hídrico sobre la producción de la palma aceitera en la región Vuelta Larga-La Hormiga durante el período 2000-2004.

CUADRO. Análisis de correlación entre la producción de la palma aceitera y la disponibilidad hídrica en el estado Monagas.

Meses antes de la Cosecha (mac)	Coefficiente de Correlación	F calculada	Etapa fenológica asociada (Según Sanjinés, 1987)
27	0,46	3,19**	Diferenciación sexual de inflorescencias
26	0,36	2,59*	
15	0,57	3,87**	Estado de flecha central
14	0,48	3,19**	
3	0,49	3,19**	Llenado de racimos
2	0,38	2,35*	

*Significativo ($P \geq 0,05$); **Altamente significativo ($P \geq 0,01$).

Resultados similares fueron reportados por Turner y Gillbanks (2003) en estudios conducidos en el sur de Sumatra, con clima seco, donde la falta de humedad afectó el rendimiento alrededor de 21 a 26 meses más tarde, con una reducción en el rendimiento en el orden de 10 a 40%. Henson *et al.* (2007) señalan que la principal razón es la influencia sobre etapas específicas de crecimiento y desarrollo de la inflorescencia, básicamente, la etapa de diferenciación sexual de la inflorescencia y la susceptibilidad al aborto de ésta.

Por su parte, Legros *et al.* (2009a) señalan que la frecuencia de aparición de inflorescencias femeninas fértiles se vió afectada por la sequía con un retraso estimado de 29 meses antes de la cosecha del racimo.

Estado de flecha central

Ocurre entre los 14 y 15 meses antes de la cosecha, y bajo condiciones de estrés hídrico se atrasa el proceso de apertura de las hojas y puede conducir al aborto de la inflorescencia asociada (Sanjinés, 1987; Barrios *et al.* 2000, 2003). Asimismo, Henson *et al.* (2004a) señalan que la antesis ocurre normalmente alrededor de la hoja 20, aproximadamente nueve meses después que ésta se expande totalmente, y en función de las tasas de emisión foliar observadas, cualquier fuente de estrés se reflejará sobre la producción entre 9 y 15 meses después.

Llenado de frutos

Se produce entre los 2 y 3 meses antes de la cosecha. El estrés hídrico conduce a la paralización del proceso de llenado del fruto, originando racimos de menor peso y en casos extremos

el aborto del racimo (Sanjinés, 1987; Barrios *et al.* 2000, 2003). En diversas regiones palmeras se ha demostrado que, en condiciones de estrés hídrico, los estomas se cierran durante la estación seca y permaneciendo así durante varias semanas, con el consecuente incremento de la temperatura y la reducción de la transpiración (Villalobos *et al.*, 1992; Henson, 2005). Como resultado, la fotosíntesis se reduce en gran medida o cesa por completo, con lo cual se afecta la síntesis y translocación de aceite, generando una reducción del rendimiento a largo plazo (Corley y Tinker, 2003; Villalobos *et al.*, 1992; Palat *et al.*, 2000, Henson, 2005).

En términos generales, los resultados de esta investigación concuerdan con los reportes de Turner y Gillbanks (2003), quienes destacan que hay tres grandes períodos donde la palma aceitera es particularmente sensible al estrés hídrico: 33 a 30, 24 a 19 y de 13 a 7 meses antes de la cosecha. Estas tendencias son más claras en áreas como África occidental, que otras como Malasia y Sumatra del Norte, donde los estudios generalmente tienden a dar resultados menos evidentes debido a la aparición de déficits de humedad relativamente infrecuentes y leves.

Las diferencias observadas con respecto a los períodos en los cuales se afecta el rendimiento obedecen a las condiciones locales particulares del estado Monagas. En tal sentido, Henson y Mohd Tayeb (2004b) afirman que el momento de los impactos sobre el número de racimos es diferente en cada zona y depende de la proporción de flores femeninas formadas y del aborto de las mismas, mientras que los efectos sobre el aborto y el peso promedio del racimo ocurren en tiempos similares antes de la cosecha en diferentes regiones productoras de palma aceitera.

Es de hacer notar que en las relaciones establecidas entre el déficit hídrico y la producción del eje palmero Vuelta Larga–La Hormiga, ocurre una superposición de efectos, lo cual potencia la reducción de la producción.

En la Figura 2, se puede observar como la disminución de la producción que ocurrió entre abril y diciembre de 2003 fue una consecuencia del déficit hídrico ocurrido entre enero y marzo de 2001 que afectó la diferenciación sexual de inflorescencias, pero fue potenciado por el déficit hídrico que ocurrió entre noviembre 2001 y abril 2002, que produjo aborto de inflorescencias.

Barrios *et al.* (2003) y Barrios y Florentino (2008) señalan que la respuesta de la planta también está afectada por las propiedades del suelo y desarrollo de la raíz de la palma. Para suelos con baja capacidad de retención de agua o con una profundidad de enraizamiento superficial, debido a problemas físico-químicos de los suelos, la susceptibilidad a condiciones de estrés será mayor. Como estrategia de atenuación de estos efectos, se hace necesaria la corrección de las limitantes para garantizar la nutrición hídrica y mineral adecuada para el crecimiento, desarrollo y producción de la palma aceitera.

CONCLUSIONES

- La región palmera Vuelta Larga–La Hormiga presentó un déficit hídrico de 450 mm anuales, concentrados entre enero y mayo, que afectó el ciclo productivo de la palma aceitera.
- Se identificaron tres épocas críticas en las cuales el déficit hídrico influye negativamente sobre la producción, que corresponden a etapas de formación del fruto claramente definidas: llenado de frutos, estado de flecha central y diferenciación sexual de inflorescencias.
- La práctica de riego representa una alternativa para atenuar los efectos adversos del déficit hídrico, dirigido a estabilizar las fluctuaciones de la producción, lograr un incremento en la productividad y planificar de manera más confiable el funcionamiento de la planta extractora.

BIBLIOGRAFÍA

ACUPALMA (Asociación Venezolana de Cultivadores de Palma Aceitera). 2009. Boletín Estadístico Año 2009. Acupalma. Caracas 62 p.

Barrios R. y A. Florentino. 2001. Evaluación del patrón de humedecimiento de los suelos subirrigados cultivados con palma aceitera. *Agronomía Trop.* 51(3):371-386.

Barrios, R. y A. Florentino. 2008. Propiedades hidráulicas de dos suelos subirrigados cultivados con palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela. *Agronomía Trop.* 58(2):155-162.

Barrios, R., A. Arteaga, A. Florentino y G. Amaya. 2003. Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersión en suelos cultivados con palma aceitera. *UDO Agrícola* 3(1):39-46.

Barrios, R., D. Molina, F. Barreto y J. Bastardo. 2000. Sintomatología asociada a déficit hídrico en plantaciones comerciales de palma aceitera en el estado Monagas. *Fonaiap Divulga* 68:27-29.

Chow, C. S. 1992. The effects of season, rainfall and cycle on oil palm yield in Malaysia. *Elaeis* 4:32-43.

Corley H. V. and Tinker P. B. 2003. *The Oil Palm*. Fourth edition. Blackwell Science, Oxford 562 pp.

Dufour, O., J. L. Frere, J. P. Caliman and P. Hornus. 1988. Description of a simplified method of production forecasting in oil palm plantations based on climatology. Proc. of the 1987 International Oil Palm/Palm Oil Conferences. Conference I: Agriculture. PORIM, Bangi 36-45 pp.

Foster, H. L. and K. C. Chang. 1989. Factors limiting maximum oil palm yields in Peninsular Malaysia. *Oleagineux* 44:1-7.

Hartley, C. W. 1983. *La palma de aceite*. México. Compañía Editorial Continental 953 p.

Henson, I. E. 2005. Modelling seasonal variation in oil palm bunch production using a spreadsheet programme. *Journal of Oil Palm Research* 17:27-40.

Henson, I. E. and D. Mohd Tayeb. 2004a. Seasonal variation in yield and developmental processes in an oil palm density trial on a peat soil. I. Yield and bunch number components. *J. Oil Palm Research* 16:88-105.

Henson I. E. and Mohd Tayeb D. 2004b. Seasonal variation in yield and developmental processes in an oil palm density trial on a peat soil. II. Bunch weight components. *J. Oil Palm Research* 16:106-120.

- Henson, I. E., Z. Yahya, M. Md Noor, M. Harun and A. Tarmizi. 2007. Predicting soil water status, evapotranspiration, growth and yield of young oil palm in a seasonally dry region of Malaysia. *Journal of Oil Palm Research* 19:398-415.
- Lozada, B. y P. Sentelhas. 2003. Relaciones entre deficiencias y excedentes hídricos estimados a partir de los balances hídricos normal y secuencial. *Bioagro* 15(3):209-215.
- MARNR. 1997. Atlas del Estado Monagas. Gobernación del estado Monagas 99 p.
- Ochs, R. 1977. Les contraintes écologiques du développement des oleagineux perennes (palmier a huile et cocotier) en Afrique occidentale et centrale. Choix de la plante en fonction du climat et du sol. *Oleagineux* 32:461-468.
- Palat, T., B. G. Smith and H. V. Corley. 2000. Irrigation of oil palm in southern Thailand. Proc. Of the International Planters Conference. May 2000. Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur 303-315 pp.
- Peralta, F. 1988. Ecología de la palma aceitera. En Curso sobre el cultivo de palma aceitera. Yaracuy, Venezuela. INAGRO, FONCOPAL, ASD. Parte III. 1-18 pp.
- Pereira, A. P., N. A. Vila Nova e G. Ch. Sedyama. 1997. Evapo transpiração. Fealq, Piracicaba 183 p.
- Pérez, R. 1987. Estudio agrológico semidetallado del Asentamiento Campesino "El Zamuro". Palmonagas, C. A. Mimeografiado 459 p.
- Prioux, G., J. Jacquemard H. De Franqueville and J. Caliman. 1992. Oil palm irrigation. Inicial results obtained by PHCI (Ivory Coast). *Oleagineux* 47(8-9):497-509.
- Sanjinés, A. 1987. Efectos del riego y la sequía en el crecimiento, floración y producción de la palma africana. *Palmas* 8(1):59-62.
- Siregar H. H., Darnosarkoro W. and Poeloengan Z. 1998. Oil palm yield simulation model using drought characteristics. **In:** Proc. Int. Conf. on Developments in the Oil Palm Plantation Industry for the 21st Century (Jatmika, A. *et al.*, eds), Bali, 1998. International Society of Oil Palm Agronomists, International Society for Oil Palm Breeders, and Indonesian Oil Palm Research Institute.
- Sterling, F., C. Montoya y A. Alvarado. 1997. Efecto del clima y la edad del cultivo sobre la varianza de algunos componentes del racimo de la palma aceitera en Coto, Costa Rica. *ASD Oil Palm Pap.* 16:19-30.
- Thornthwaite, C. W. and J. R. Mather. 1955. The water balance: publications in climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology 104 p.
- Turner, P. D. 1977. The effects of drought on oil palm yields in South-east Asia and the south Pacific region. **In:** International Developments in Oil Palm (Earp, D.A. and Newall, W., eds.). Kuala Lumpur: Incorporated Society of Planters 673-694 pp.
- Turner, P. D. and R. A. Gillbanks. 2003. Oil Palm Cultivation and Management. Second edition. Kuala Lumpur: Incorporated Society of Planters 915 p.
- Villalobos, E., C. H. Umaña y C. Chinchilla. 1992. Estado de hidratación de la palma aceitera en respuesta a la sequía en Costa Rica. *Oleagineux* 47(5):217-223.