

Efecto del anegamiento del suelo sobre la fisiología de plántulas de palma de aceite

Yurany D. Rivera Méndez¹, Juan Carlos Cuenca², Hernán Mauricio Romero^{1,3*}

Notas del Director

Para el desarrollo productivo y sostenible de la palmicultura nacional, una de las mejores soluciones y herramientas es la investigación, innovación y desarrollo tecnológico, actividades que adelanta el Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma.

Uno de los objetivos del proyecto de Fisiología, del Programa de Biología y Mejoramiento de la Palma de Aceite, es determinar los mecanismos de adaptación de la palma de aceite a las condiciones bióticas y abióticas limitantes del cultivo en Colombia, como el estrés hídrico, cuyos avances de investigación se presentan en esta publicación.

En los experimentos, plántulas de *Elaeis guineensis* en edad de vivero, tanto comerciales como provenientes de líneas clonales e híbridos interespecíficos, obtenidos en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína, fueron sometidos a diferentes condiciones hídricas durante 60 días, y al cabo de este tiempo se evaluó su respuesta ecofisiológica y bioquímica.

El estudio permitió estandarizar la metodología para evaluar el efecto del estrés hídrico del suelo sobre la ecofisiología de palma de aceite en etapa de vivero, demostrando que el déficit de agua fue la condición hídrica más limitante del crecimiento y desarrollo en esa etapa, y que la condición de anoxia, aunque no afectó el intercambio gaseoso de las palmas, si expresó un menor crecimiento.

José Ignacio Sanz Scovino, PhD.
Director Ejecutivo de Cenipalma

Introducción

El suministro de agua es el principal factor limitante del rendimiento de la palma de aceite. En el mundo existen grandes áreas de cultivo que carecen de las condiciones óptimas y la consecuencia directa de ello es la reducción del rendimiento en términos de producción de

racimos de fruta fresca y de aceite (Cornaire *et al.*, 1994). En Colombia, la disponibilidad de agua en tres de las cuatro zonas palmeras es limitada, con periodos prolongados de déficit hídrico, que en el caso de las zonas Central y Oriental pueden llegar a superar los cuatro meses y, en la Norte, los ocho meses (Romero *et al.*, 2007). Asimismo, entre mediados de 2010 y la mayor parte de 2011, la precipitación en porcentaje con respecto al promedio histórico local estuvo muy por encima de lo normal (Fenómeno de La Niña) e inundó aproximadamente 40 mil hectáreas de palma de aceite, causando una caída del rendimiento promedio nacional del 11,6% (al pasar de 3,4 a 3,0 toneladas de aceite crudo por hectárea), y promoviendo además la propagación de enfermedades en algunas zonas (Fedepalma, 2012).

Los escenarios de cambio climático más pesimistas proyectan incrementos de la precipitación hasta del 30% para el periodo 2011-2100 en todo el territorio, con respecto al ciclo de referencia 1971-2000, siendo la Amazonia, la región Pacífico, el Magdalena Medio, y los valles de los ríos Sinú, San Jorge, Arauca y Meta los más afectados (Ruiz, 2010). Pese a esto, no existen investigaciones sobre el exceso de agua en el suelo (anegamiento) y su efecto en el crecimiento y desarrollo de la palma de aceite. Por ello, el grupo de Biología y Mejoramiento Genético de Cenipalma, como una aproximación inicial al análisis de vulnerabilidad del cultivo frente al cambio climático, busca determinar el efecto del anegamiento sobre la fisiología y morfología de plántulas de palma de aceite, a fin de identificar los indicadores fisiológicos y bioquímicos que permitan en el mediano plazo seleccionar materiales tolerantes al estrés hídrico por exceso. A continuación se muestran los principales avances de la investigación.

Metodología

El experimento se está realizando en condiciones de casa de mallas del Campo Experimental Palmar de La Vizcaína en Barrancabermeja – Santander. Se evalúan plántulas de *Elaeis guineensis* tanto comerciales como provenientes de líneas clonales e híbridos interespecíficos, bajo cuatro condiciones hídricas del suelo (déficit, capacidad de campo, hipoxia y anoxia) que se mantienen constantes a través del monitoreo diario de la humedad edáfica con el sensor SM200 acoplado al datalogger manual HH2 (DELTA-T, Cambridge, Reino Unido):

- **Déficit (T1):** un déficit hídrico moderado en palma de aceite se presenta cuando el potencial mátrico del suelo ha disminuido a valores de -0,5 MPa (Rivera *et al.*, 2012) (Figura 1A).
- **Capacidad de campo (T2):** condición de normoxia o contenido suficiente de oxígeno disuelto en el suelo. Corresponde a la canti-

¹ Programa de Biología y Mejoramiento de la Palma, Cenipalma.

² Estudiante de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional de Colombia.

³ Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.

* Autor para correspondencia, e-mail: hromero@cenipalma.org

- **Hipoxia (T3):** condición de anegamiento (saturación) sin presencia de una lámina de agua sobre la superficie del suelo, pero tampoco se alcanza la condición de capacidad de campo y, por tanto, el contenido de oxígeno disuelto en el suelo es bajo. El potencial mátrico del suelo bajo esta condición es muy cercano a 0 MPa (Figura 1C).
- **Anoxia (T4):** condición permanente de anegamiento con una lámina constante de agua de 2 cm por encima de la superficie del suelo, sin que existan cambios en la humedad y, por lo tanto, hay ausencia total de oxígeno disuelto. El potencial de presión es de +2 cm. Para mantener esta condición en el suelo, los drenajes son obstaculizados con tapones de caucho y el agua es reemplazada cada 15 días (Figura 1D).

Asimismo, se emplea agua lluvia reposada en un tanque de almacenamiento para mantener un nivel bajo de oxígeno disuelto en el agua de riego.

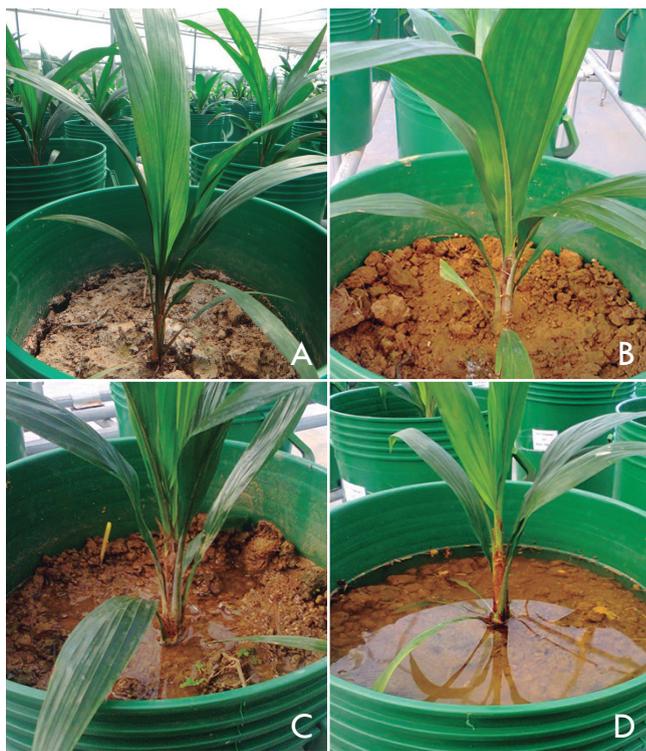


Figura 1. Condiciones hídricas del suelo evaluadas durante el ensayo: A. Déficit (T1); B. Capacidad de campo (T2); C. Hipoxia (T3); D. Anoxia (T4).

Plántulas con dos hojas lanceoladas completamente desarrolladas, provenientes del cultivo de tejidos o de semilla se trasplantan a las materas de aproximadamente 0,02 m³ de capacidad, se someten inicialmente a condiciones de capacidad de campo durante un mes, y luego a las diferentes condiciones hídricas durante 60 días, que es el tiempo promedio que han durado los eventos del “Fenómeno de La Niña” sin tregua a periodos de verano cortos.

A los 30 y 60 días después de iniciados los tratamientos (ddt), 30 y 60 ddt se efectúan las siguientes determinaciones:

- **Intercambio de gases (fotosíntesis, respiración) y relaciones hídricas (transpiración y uso eficiente del agua):** estas determinaciones se llevan a cabo sobre la hoja número 3 empleando el analizador de gases al infrarrojo IRGA - LI-6400 (LI-COR Inc. USA),
- **Crecimiento vegetativo:** se realizan muestreos no destructivos (altura de la planta y número de hojas), y destructivos (peso seco total y área foliar). La altura se mide con una regla entre el nivel de la superficie del suelo y el punto de inserción de la hoja número 1, y el número de hojas se determina mediante el conteo directo de aquellas completamente expandidas al momento del muestreo. Los órganos de la planta (parte aérea y sistema radical) se llevan a secar a 85°C durante 24 horas y posteriormente se establece el peso seco total con una balanza analítica de aproximación al miligramo. Antes de realizar el secado se establece el área foliar de cada planta utilizando el medidor de área foliar LI-COR 3100 (LICOR Inc, Nebraska, USA).
- **Contenido nutricional:** una vez establecido el peso seco, las raíces y la hoja número 3 se envían al Laboratorio de Análisis Foliares y de Suelos de Cenipalma, para determinar su contenido de macro y micronutrientes mediante métodos colorimétricos (P, B), volumétricos (Al, S) y de absorción atómica (K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn).
- **Respuesta bioquímica:** la hoja número 3 se corta, se macera (sin nervaduras) con nitrógeno líquido hasta obtener un polvo fino y se conserva a -80°C hasta su tratamiento final. Las determinaciones de compuestos de ajuste osmótico, actividad del sistema antioxidante enzimático y no enzimático y contenido de etileno, ácido láctico y alcohol dehidrogenasa se establecen siguiendo los Protocolos Operativos Estandarizados (POE) del Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal de Cenipalma.

Las plantas se distribuyen en un diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) en arreglo de parcelas divididas, donde la parcela principal es la condición hídrica y la subparcela el material, con cuatro repeticiones y tres plantas por unidad experimental. Finalmente, los valores obtenidos para cada variable se someten a un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0,05$), empleando el software estadístico SAS® versión 9.1 (SAS Institute Inc., Carolina del Norte, EE.UU.).

Resultados y discusión

A continuación se muestran algunos de los resultados de una fase experimental donde se evaluaron clones de *E. guineensis* provenientes de tres líneas embriogénicas (LE) de tres ortets diferentes obtenidos en el Laboratorio de Cultivos de Tejidos del Campo Experimental Palmar de La Vizcaína, cuyos códigos corresponden a LE 16-79, LE 28-59 y LE 33-7, bajo las condiciones anteriormente expuestas.

En general, las condiciones hídricas del suelo tuvieron un efecto significativo sobre la respuesta ecofisiológica de los clones de palma de aceite. Como mecanismo de adaptación a las condiciones de anegamiento (T3 y T4), las plantas evaluadas presentaron una serie de raíces que sobrepasaron el nivel del agua y, según Corley y Tinker (2003), este tipo de raíces se denominan neumatóforos. A los 15 ddt empezaron a aparecer estas raíces en las plantas de T4 y, posteriormente, en las que se encontraban sometidas a T3; a los 30 ddt, el 78% y 86% de las plantas de T3 y T4, respectivamente, presentaron

- este tipo de estructuras, mientras que al final del periodo de evaluación (60 ddt) el total de las plantas bajo estas condiciones desarrollaron neumatóforos. La mayoría de neumatóforos de T3 resultaron ser muy superficiales (Figura 2), mientras que los generados bajo T4 fueron más largos, lo que permitió fácilmente su conteo y medición (Figura 3). De esta manera, las plantas permanentemente anegadas formaron entre 8 y 79 neumatóforos, de máximo 1,2 mm de diámetro, mientras que las sometidas a saturación sin lámina de agua mostraron un número indeterminado de neumatóforos cuyo diámetro (medido sobre los más extensos) no superó los 1,3 mm (Tabla 1).

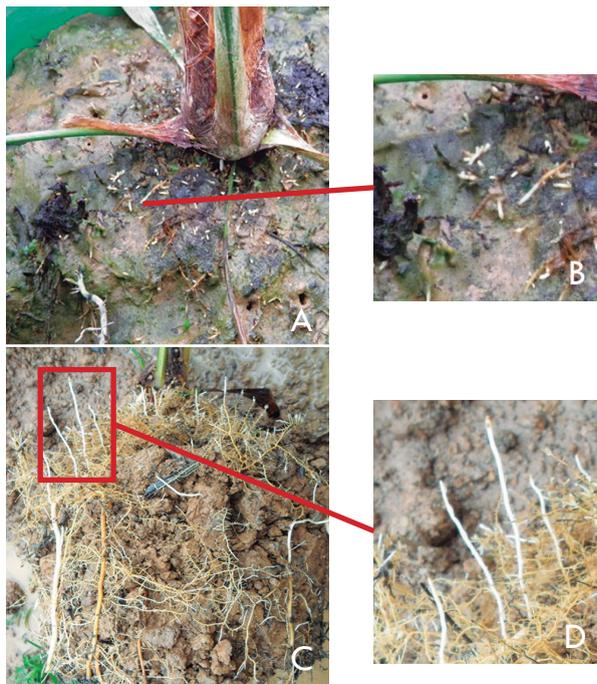


Figura 2. Apariencia de los neumatóforos desarrollados en la condición de hipoxia (T3), al cabo de 60 días. A. Presencia de neumatóforos en la superficie del suelo; B. vista ampliada; C. apariencia de los neumatóforos una vez lavados; D. vista ampliada.

Tabla 1. Características de los neumatóforos presentes en tres líneas embriogénicas (LE 33-7, LE 28-59, LE 16-79) sometidas a condiciones de hipoxia y anoxia durante 60 días

Línea embriogénica	T3: Hipoxia		T4: Anoxia			
	Diámetro (mm)		Cantidad (#)		Diámetro (mm)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
LE 33-7	0,46	1,27	8	70	0,56	1,05
LE 28-59	0,67	1,19	11	79	0,61	1,20
LE 16-79	0,32	1,10	15	75	0,63	1,11

Mín.: Mínimo, Máx.: Máximo

Los neumatóforos se generaron a partir de las raíces primarias y su coloración varió entre blanco y crema. Observaciones realizadas a estas raíces con un estereoscopio electrónico a 10x permitieron diferenciar fácilmente dos zonas: una zona apical o cofia (Figura 3E) y un cuerpo con presencia de estructuras parecidas a lenticelas que facilitan el transporte de oxígeno a las raíces (Figura 3F), como Granville (1974) muestra para los neumatóforos formados por *Euterpe oleracea* bajo condiciones de saturación hídrica (Figura 4).

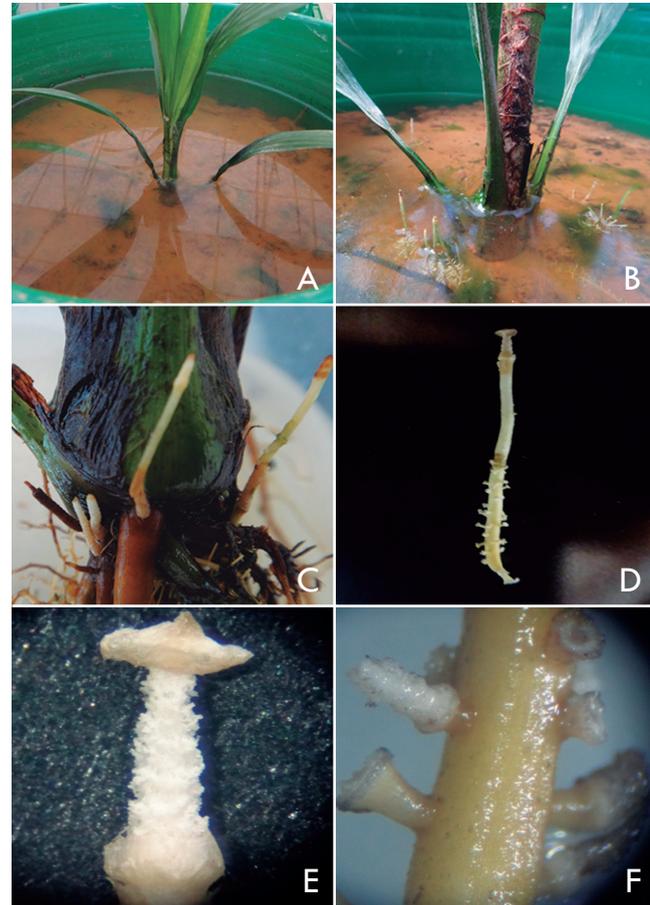


Figura 3. Apariencia de los neumatóforos desarrollados en la condición de anoxia (T4): A. lámina de agua sin presencia de neumatóforos, 1 ddt; B. presencia de neumatóforos, 20 ddt; C. desarrollo de los neumatóforos a partir de raíces primarias; D. neumatóforo individual; E. ápice del neumatóforo (10x); F. estructuras semejantes a lenticelas (10x).

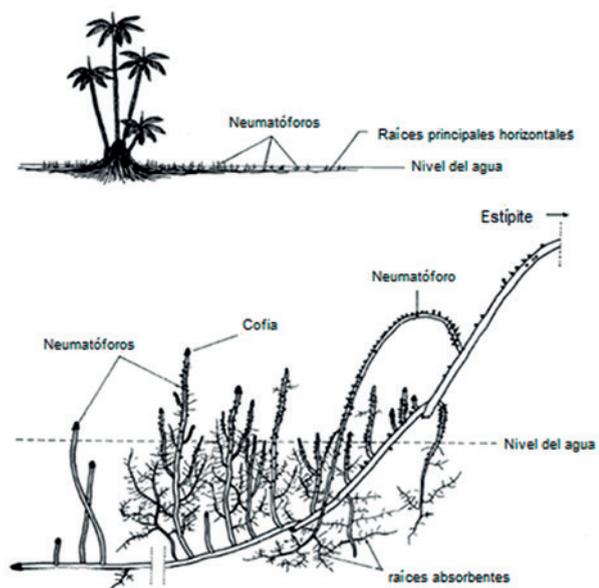


Figura 4. Neumatóforos en *Euterpe oleracea*. (Tomado de Granville, 1974).

- Por otro lado, las condiciones de anegamiento (T3 y T4) no limitaron la fotosíntesis ni la transpiración de los clones evaluados, mientras que T1 redujo ambas variables en 86,7% y 66,9%, respectivamente, con relación a T2. Asimismo, la respiración foliar de las plantas sometidas a T4 y T1 fue en promedio 31,3% y 86,5%, respectivamente, mayor

que la registrada bajo T2 o T3. Y fueron precisamente estas dos últimas condiciones las que favorecieron el crecimiento vegetativo, ya que T1 y T4 afectaron significativamente el número de hojas, la altura de las plantas, el área foliar y el peso seco total, siendo T1 la condición que generó mayor presión para reducir estas variables (Tabla 2).

Tabla 2. Respuesta ecofisiológica de tres líneas embriogénicas (LE 33-7, LE 28-59, LE 16-79) sometidas durante 60 días a diferentes condiciones hídricas del suelo (capacidad de campo, déficit, hipoxia y anoxia). Interacción condición hídrica vs. línea embriogénica no significativa

Factor	Nivel	Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Respiración del foliolo ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	# Hojas	Altura (cm)	Área foliar (cm^2)	Peso seco total (g)
Condición hídrica	T1: Déficit	2,80 b	0,82 b	0,125 a	7,5 c	10,4 c	825,6 b	13,91 b
	T2: Capacidad de campo	9,69 a	2,96 a	0,067 b	9,8 a	13,8 a	1622,3 a	25,79 a
	T3: Hipoxia	8,60 a	2,80 a	0,080 b	9,8 a	14,5 a	1729,4 a	26,89 a
	T4: Anoxia	8,40 a	2,48 a	0,088 ab	8,5 b	12,2 b	1113,9 b	18,56 b
Línea embriogénica	LE 33-7	6,94 a	2,08 a	0,092 a	8,7 a	12,5 ab	1371,7 ab	21,22 b
	LE 28-59	7,45 a	2,33 a	0,098 a	9,0 a	13,3 a	1593,8 a	27,88 a
	LE 16-79	7,72 a	2,38 a	0,080 a	9,0 a	12,4 b	1002,4 b	14,77 b

Promedios con letras distintas son significativamente diferentes, según Tukey ($P < 0,05$)

Conclusiones

- El déficit de agua en el suelo fue la condición hídrica más limitante de la fisiología de la palma de aceite en la etapa de vivero, ya que afectó todos los aspectos del metabolismo de la planta, causando disminución significativa de las tasas de intercambio gaseoso y, por tanto, de la producción de fotoasimilados y el crecimiento.
- La condición de anoxia aunque mostró una fotosíntesis comparable a la de los clones bajo hipoxia o normoxia, expresó un menor crecimiento debido principalmente a las mayores tasas de respiración foliar y de mantenimiento que implica la adaptación dada por la formación de neumatóforos, situación que posiblemente se complementó con el hecho de que en condiciones de inundación se limita la absorción y el transporte de nutrientes, especialmente de nitrógeno, fósforo y potasio (López, 2008). Esto último está siendo corroborado con los análisis foliares de nutrientes y la respuesta bioquímica de los clones bajo las condiciones evaluadas. Por otro lado, la saturación edáfica es una de las condiciones favorables para la pudrición del cogollo (PC), la enfermedad más limitante para la producción de palma de aceite en Colombia, al ser el agua el medio ideal para la producción de esporangios y la movilidad de las zoosporas de *Phytophthora palmivora*, su agente causal (Martínez *et al.*, 2010).
- De esta manera, se logró estandarizar la metodología para evaluar el efecto del estrés por anegamiento del suelo sobre la ecofisiología de los genotipos de palma de aceite en etapa de vivero. Dado que no existían antecedentes en este tema, los

resultados obtenidos hasta el momento constituyen el primer paso en el entendimiento de la respuesta fisiológica de la palma de aceite a las condiciones de saturación hídrica.

Agradecimientos

Agradecemos especialmente a Fedepalma-Fondo de Fomento Palmero por el apoyo y la financiación de esta investigación.

Bibliografía

- Corley, R., Tinker, P. 2003. The Oil Palm. 4th ed. Blackwell Science, United Kingdom.
- Cornaire, B., C. Daniel, E. Lamade y Z. Fodil. 1994. Comportamiento de la palma de aceite bajo estrés hídrico. *Palmas* 15(3), 61 -70.
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma). 2012. Impacto económico de la ola invernal 2010-2011 en el sector palmero. Memorias del Taller nacional sobre cambio climático. Fedepalma, Bogotá.
- Granville, J. 1974. Apereu sur la structure des pneumatophores de deux especes des sols hydromorphes en Guyane. *Botaniste de Ortom*.
- López, O. 2008. Fisiología y ecología de comunidades arbóreas en hábitats inundables. *Acta Biológica Panamensis* 1, 68-86.
- Martínez, G., Sarría, G., Torres, G., Varón, F. 2010. *Phytophthora palmivora* es el agente causal de la Pudrición del cogollo de la palma de aceite. *Palmas* 31(Especial, Tomo I), 334 - 344.
- Rivera, Y., Moreno, L., Bayona, C., Romero, H. 2012. Respuesta fisiológica del híbrido interespecífico (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes versus *Elaeis guineensis* Jacq.) al déficit hídrico. *Braz. J. Plant. Physiol.* 24(4): 273-280.
- Romero, H., Ayala, I. y R. Ruiz. 2007. Ecofisiología de la palma de aceite. *Palmas* 28 (Especial, Tomo I), 176 - 184.
- Ruiz, F. 2010. Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución (panorama 2011-2100). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Subdirección de Meteorología. Bogotá D.C. 91 p.



Director: José Ignacio Sanz Scovino, Ph.D.
 Revisión de textos: Comité de Publicaciones de Cenipalma
 Coordinación editorial: Yolanda Moreno Muñoz
 Diseño y diagramación: ACE – Alianza en Comunicación Empresarial Ltda.
 Impresión: Javegraf

Esta publicación contó con el apoyo de Fedepalma - Fondo de Fomento Palmero