

Metodología para evaluar en etapa de vivero la respuesta al déficit hídrico y nutrición de plántulas de *Elaeis guineensis* y de híbridos interespecíficos OxG

Rodrigo Ruiz-Romero¹, Marlon De la Peña¹ y Hernán Mauricio Romero^{1,2}
Autor de correspondencia: hromero@cenipalma.org

¹ Programa de Biología y Mejoramiento de la Palma, Cenipalma
² Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia

Notas del Director

Para identificar los rasgos fenotípicos más afectados en las plántulas de palma de aceite bajo situaciones adversas, como la limitación de nutrientes y el estrés hídrico, es crucial estandarizar las condiciones de crecimiento, incluyendo el sustrato. Al minimizar las variables no genéticas se puede obtener una identificación más precisa de los rasgos genéticos específicos y seleccionar progenies potencialmente resistentes a las condiciones limitantes en estudio. En lugar de llevar a cabo experimentos costosos, y que toman años en mostrar resultados en campo, se recomienda evaluar una gran cantidad de variables fenotípicas, en diferentes genotipos de plántulas primero, y posteriormente, seleccionar las más afectadas y aquellos con comportamientos en mayor medida contrastantes para estudiarlos. De esta manera, se maximiza la eficiencia de los recursos y se obtienen resultados más rápidamente.

Alexandre Patrick Cooman, PhD.
Director General Cenipalma

Introducción

La población mundial, actualmente estimada en casi ocho billones de personas, representa un desafío para la seguridad alimentaria, ya que la capacidad de los cultivos para satisfacer sus necesidades es limitada. La situación se hace más crítica considerando los efectos del cambio climático que afectarán la productividad agrícola debido a las va-

riaciones en los patrones de lluvias, con pocos eventos de altas intensidades y periodos secos prolongados. Esto hace difícil suplir los requerimientos hídricos de los cultivos. En el caso de la palma de aceite el déficit hídrico termina afectando la producción debido a un menor número de racimos de fruta fresca (RFF).

Según el IDEAM y UNAL (2018), las precipitaciones en el país disminuirán entre 15 % y 36 % en las regiones Caribe y Andina. Esta reducción de la disponibilidad del agua puede generar estrés hídrico en los cultivos, lo que afecta la absorción y el transporte de nutrientes y fotoasimilados en la planta. Y, finalmente, puede tener impactos negativos en la calidad y cantidad de la producción.

El uso de sistemas de riego presurizados o, en su defecto, mejoras del sistema de riego por superficie hacen parte de las actividades que se llevan a cabo en el cultivo de la palma de aceite. Sin embargo, la situación crítica de la disponibilidad del agua puede provocar que, en años venideros, aun con la presencia de dichos sistemas eficientes no se logre suplir los requerimientos hídricos ni las necesidades nutricionales, considerando que los nutrientes se incorporan en la planta junto con el agua (Carr, 2011).

Elementos como el potasio o el nitrógeno son de importancia para la productividad tanto de *E. guineensis* como del híbrido OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*). En las condiciones de cambio climático, donde la falta de agua será un problema, habrá la necesidad de contar con cultivos que sean eficientes, no solo con el uso del agua (UEA) sino también con el de nutrientes (UEN). Para ello, es fundamental encontrar una metodología que permita identificar tempranamente rasgos de interés y la variabilidad natural de la respuesta

- a condiciones limitantes. Esto ayuda a los mejoradores genéticos a entender los procesos básicos de respuesta de la planta y diseñar experimentos in situ definitivo. Además, los resultados a nivel de plántulas facilitan la interpretación de los de campo. Por ejemplo, si se observa que una progenie específica presenta una mayor tasa fotosintética bajo limitación de nutrientes, tanto a nivel de planta joven como adulta, esto sugiere que el rasgo de interés está siendo heredado por dicha progenie.

Caicedo *et al.* (2017) desarrollaron una metodología usando suelo como sustrato para el tamizaje de cruzamientos en la etapa de vivero por su respuesta al déficit hídrico. En el caso de la caracterización para la eficiencia de nutrientes, el uso de suelo tendría sus dificultades para utilizarse por la contaminación o presencia de nutrientes. Es por esto que a continuación se describe una metodología, que utiliza un sustrato inerte y una solución nutritiva para la evaluación del crecimiento de las plántulas según el parámetro de interés, por ejemplo, el elemento faltante o la concentración de un nutriente en particular.

Acondicionamiento de la semilla, germinación y momento de aplicación de tratamientos

Según la escala BBCH (Forero Hernández *et al.*, 2012) el estadio fenológico (EF) adecuado para la siembra de

la semilla en el sustrato corresponde al EF 004, caracterizado por la presencia de la plúmula y la radícula o en el EF 005 donde además se da la aparición de las raíces adventicias.

Seis semanas posteriores a la germinación, con el desarrollo completo de la primera hoja lanceolada (EF 101), se corta la semilla con el fin de adaptar y limitar la plántula a las condiciones del sustrato y a lo que serán los tratamientos con nutrimentos. Hacerlo antes de este estadio pone en riesgo la supervivencia de la plántula, dado que depende de las reservas del endospermo (Corley & Tinker, 2015). Una vez se corte la semilla, en el primer riego se aplicará solo agua para evitar estreses por alteraciones del potencial osmótico asociados a los nutrimentos que se agregan en la solución nutritiva.

Tipo de contenedor para el crecimiento de las plántulas

Varios autores (Chee, 1998; Méndez *et al.*, 2012; Cha-um *et al.*, 2013; Mohidin *et al.*, 2015; Rosenani *et al.*, 2016; Shariffah-Muzaimah *et al.*, 2018; Najihah *et al.*, 2020; Vieira *et al.*, 2020) han utilizado diferentes tipos de contenedores y volúmenes para el crecimiento de plántulas en diferentes estadios de desarrollo (Tabla 1) correspondientes a las fases de previvero y vivero, y que en la escala BBCH corresponden a los EF entre 103 y 109.

Tabla 1. Tipos de contenedores según el estado de desarrollo de las palmas usadas para diferentes genotipos.

Especie	Sustrato	Tiempo en el sustrato	Condiciones de crecimiento	Tipo de contenedor	Estado fenológico	Referencia
<i>Elaeis guineensis</i>	Medio <i>in vitro</i>	Dos meses	Cámara de crecimiento controlada	Maceta plástica (ø=15 cm; altura=11 cm; vol.= 1.9 L)	Previvero (3-4 hojas)	(Cha-Um <i>et al.</i> , 2013)
	Medio libre de azúcares + vermiculita	Seis meses				
	Arcilla	Hasta la 3-4 hoja expandida				
Tenera (<i>Dura</i> × <i>Pisifera</i>)	Arena	Cuatro meses	Indeterminado	Bolsa de polietileno (ø= 16 cm; 10 × 12 cm; vol.=1 L)	Indeterminado	(Najihah <i>et al.</i> , 2020)
	Tierra vegetal de la serie Muchong	Tres meses				

Continúa

Especie	Substrato	Tiempo en el sustrato	Condiciones de crecimiento	Tipo de contenedor	Estado fenológico	Referencia
<i>Elaeis guineensis</i>	Tierra + fertilizantes	Tres meses	Casa malla	Bolsa de polietileno (15 × 23 cm vol.=1.04 L)	Previvero (3 hojas)	(Chee, 1998)
GH500 (<i>Dura</i> × <i>Pisifera</i>)	Compost con la capa superior de suelo de la serie Serdang (Ultisol, Tipik Lutualemkuts)	Tres meses	Casa malla	Bolsa de polietileno (15 × 23 cm vol.=1.04 L)	Previvero	(Rosenani <i>et al.</i> , 2016)
<i>Elaeis guineensis</i>	Vermiculita y sustrato comercial Bioplant (1:1)	11 meses	Cámara de crecimiento controlada	Vasos de plástico 200 mL	Etapa de crecimiento de arbolito bifido	(Vieira <i>et al.</i> , 2020)
	Vermiculita, suelo y sustrato comercial Bioplant (1:1:1)	Cuatro meses	Invernadero	Macetas 5 L		
<i>Dura</i> × <i>Pisifera</i>	Capa superficial de suelo y arena (1:3)	Tres meses	Condiciones de campo	Bolsas de polipropileno (Vol.=?)	Previvero (4-5 hojas)	(Shariffah-Muzaimah <i>et al.</i> , 2018)
<i>Elaeis oleifera</i> × <i>Elaeis guineensis</i>	Arena	20 días			5 hojas	(Méndez <i>et al.</i> , 2012)
	Hidropónico líquido	Cuatro meses	Casa malla (60 %)	Contenedor (8 L)		
<i>Dura</i> × <i>Pisifera</i>	Arena	Hasta germinación	Invernadero		Vivero (4-5 hojas)	(Mohidin <i>et al.</i> , 2015)
	Hidropónico líquido	Seis meses		Contenedor (2 L)		

Sin embargo, por los trabajos realizados en Cenipalma se recomiendan macetas con capacidad de 5 L para palmas en el EF 109, que se caracteriza por mostrar cinco o más

hojas lanceoladas (Figura 1) y un sistema radicular con presencia de raíces primarias, secundarias y terciarias (Figura 2).



Figura 1. Crecimiento de palmas del híbrido OxG (izquierda) y de *E. guineensis* (derecha) en el EF 109.

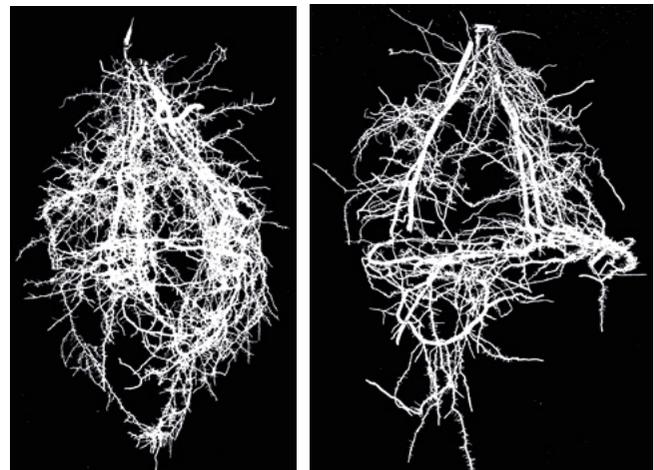


Figura 2. Imagen segmentada y sin escalar del sistema radicular de palmas de híbrido OxG (izquierda) y de *E. guineensis* (derecha).

● Tipo del sustrato (perlita: vermiculita) utilizado para el crecimiento de palmas en EF 109

Existen sustratos de tipo orgánico, en los que se utilizan los efluentes de la planta de beneficio, así como del compost producido a partir de las tusas, que mezclados con suelo y arena son empleados en los viveros. Aunque diferentes nutrientes se encuentran en los subproductos de la palma de aceite (Romero & Galindo Castañeda, 2012), el potasio se presenta en altos contenidos, lo que hace que este tipo de sustrato se restrinja para ensayos en los que se quiera evaluar este elemento por hallarse de manera libre y disponible para ser tomado por la planta. Así, el uso de sustratos de tipo mineral, como los cuarcíticos, podrían ser una opción. Pero, dado que se encuentra en los ríos, su uso no es adecuado por los efectos ambientales asociados a su extracción. Dentro de esta categoría, y por los resultados obtenidos en las investigaciones, se recomienda el uso de la mezcla de fuente mineral proveniente de la perlita y vermiculita en la relación volumétrica 1:1. La primera, de origen volcánico, favorece el drenaje, intensifica la aireación y

mantiene una baja densidad, mientras que la segunda se caracteriza por ser de tipo arcilla expansiva, que tiene la facultad de hidratarse, confiriendo una alta capacidad de retención de agua mayor al 100 % a 33 kPa de presión. Como resultado de la mezcla en la relación 1:1, su pH es cercano a 8 (Tabla 2) debido principalmente al de la perlita que es próximo a 10 (datos no mostrados). Entre tanto, la conductividad eléctrica (CE) es menor a 1 dS m⁻¹, lo que indica una baja concentración de sales solubles, facilitando la formulación de las dosis y concentraciones que se quieran evaluar dentro de los ensayos con nutrimentos.

En lo que respecta a los macronutrientes, sus contenidos en la mezcla perlita y vermiculita (P:V) están por debajo a lo establecido en los niveles críticos encontrados para suelo. Sin embargo, los micronutrientes son altos, superando entre 7 y 346 veces, como es el caso del zinc y el hierro respectivamente (Tabla 2), siendo la vermiculita la que presenta altas concentraciones de estos y a excepción del sodio cuya fuente principal es la perlita. La explicación de los elevados contenidos se debe a la metodología de extracción utilizada en laboratorio, la cual emplea ácido en la digestión, dando como resultado el elemento total y no el disponible.

Tabla 2. Propiedades químicas y concentración total de nutrientes de la mezcla de sustrato perlita (P): vermiculita (V) en relación volumétrica (1:1).

Material	Parámetros											
	pH	CE	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
		dS m ⁻¹	%					mg kg ⁻¹				
Mezcla P:V (1:1)	7,78	0,225	0,060	0,006	0,099	0,135	3,516	1.473,7	10.370,80	89,04	17,99	15,12
Suelo (categoría de nivel crítico alto)	>5,0	>4,0	-	>0,002	156,4	-	36,5	-	>30	>10	>1,5	>2,0

–: No calculado.

Capacidad de retención de humedad del sustrato

Las variaciones en la capacidad de retención de humedad del sustrato dependerán de la proporción usada de mezcla de perlita y vermiculita (P:V) y que para las condiciones de estudio se recomienda en una relación 1:1 (v/v). La curva de retención de humedad de la mezcla

indica que en capacidad de campo la humedad volumétrica es de 26,92 % y su punto de marchitez permanente teórico de 15,84 % (Figura 3). Basado en estos valores y definiendo un factor de agotamiento del 50 %, se tiene un límite de humedad permitido hasta 21,28 %. Para las características de estudio y para una profundidad de raíces de 190 mm, definida por la altura de la materia, se tiene una lámina de agua de 10,52 mm, lo que da para regar cada dos días, situación similar a lo que ocu-

re en un vivero de palma, considerando una evapotranspiración potencial de 5 mm diarios aproximadamente.

Para condiciones de déficit hídrico y por estudios llevados a cabo en Cenipalma (Bayona-Rodríguez *et al.*, 2016; Bayona-Rodríguez & Romero, 2019; Rivera-Mén-

dez *et al.*, 2012) una circunstancia estresante se alcanza a una tensión de 1 MPa y para este tipo de substrato la humedad volumétrica corresponde a 17,22 %. Siendo así, estudios donde haya la interacción de nutrientes y déficit hídrico pueden ser evaluados a través de esta metodología.

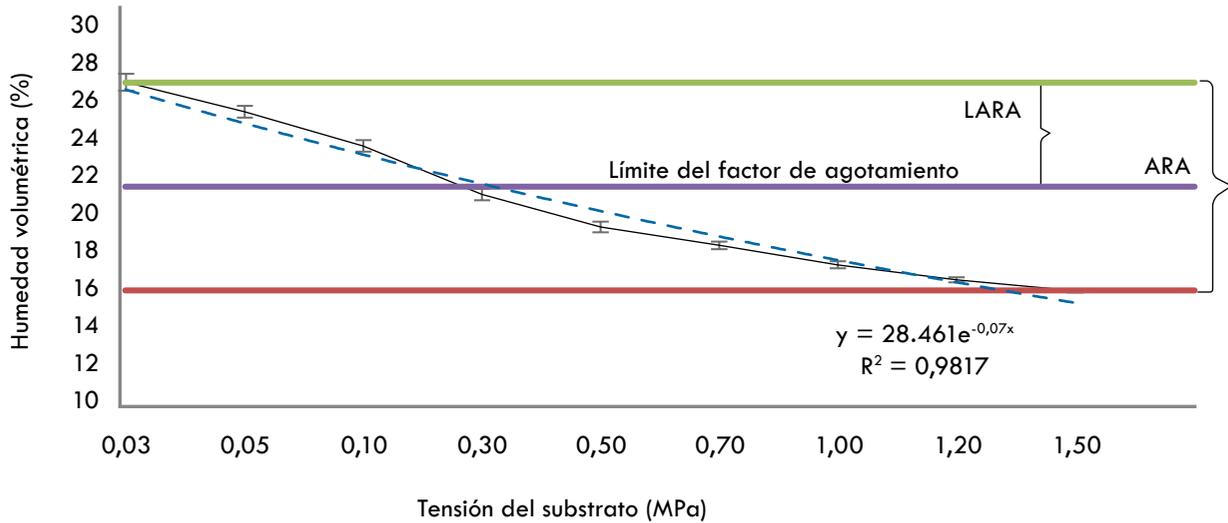


Figura 3. Curva de retención de humedad para el substrato en mezcla perlita:vermiculita (relación 1:1, v/v). Las líneas gris y naranja corresponden a la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente teórico (PMP) respectivamente. La amarilla representa el límite de agotamiento de humedad en el substrato. ARA: agua realmente aprovechable (ARA = CC-PMP); LARA: lámina de agua rápidamente aprovechable.

Solución nutritiva usada en experimentos para el crecimiento de las plántulas de palma de aceite

Las soluciones nutritivas son utilizadas para el crecimiento de las plántulas sin el uso del suelo. Pueden usarse en

solución o en substratos inertes caracterizados por sus bajos contenidos de nutrientes. Entre las principales empleadas en investigación se encuentran las de Hoagland & Arnon, (1950) y la establecida por Rigaud & Puppo, (1975). La composición de cada una de ellas se presenta a continuación (Tabla 3).

Tabla 3. Composición nutritiva de las soluciones.

Hoagland & Arnon	Rigaud & Puppo
Nitrato de potasio, KNO ₃	N/A
Nitrato de calcio, Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	N/A
N/A	Fosfato dihidrógeno de amonio, (NH ₄)H ₂ PO ₄
N/A	Sulfato de amonio, SO ₄ (NH ₄) ₂
Sulfato de aluminio heptahidratado, MgSO ₄ •7H ₂ O	N/A
N/A	CaCO ₃ , carbonato de calcio
N/A	Sulfato de calcio, CaSO ₄ •2H ₂ O

Continúa

Hoagland & Arnon	Rigaud & Puppo
Fosfato dihidrógeno de aluminio, KH_2PO_4	
N/A	Cloruro de potasio, KCl
Ácido bórico, H_3BO_3	
Cloruro de manganeso tetrahidratado, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	N/A
N/A	Sulfato de manganeso heptahidratado, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Sulfato de zinc heptahidratado, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	
Sulfato de cobre pentahidratado, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	
Molibdato de sodio dihidratado, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
Ácido molíbdico monohidratado, $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	N/A
EDTA de hierro o quelato de hierro, (Fe-EDDHA-)	N/A
N/A	EDTA de sodio, Na_2Fe EDTA (quelato)
N/A	Cloruro de aluminio anhidro, AlCl_3
N/A	Cloruro de níquel hexahidratado, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
N/A	Yoduro de potasio, KI

Definir cuál solución nutritiva utilizar será decisión del investigador o del interés que se quiera valorar. Desde una perspectiva nutricional, y en particular para la evaluación del uso del nitrógeno según su fuente (NH_4^+ ; NO_3^-), se ha empleado la Rigaud & Puppo con algunas modificaciones (Coletto *et al.*, 2017; De la Peña *et al.*, 2019; Poucet *et al.*, 2021), así como también el medio Hoagland & Arnon (Jones *et al.*, 1982, Raab & Terry, 1994; Xu *et al.*, 2021) para evaluar el efecto de la fuente en varias especies. En ambas se han utilizado fuentes únicas de nitrógeno, como NO_3^- proveniente de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y NH_4^+ del $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Es importante destacar que estas vienen acompañadas de otros nutrientes, como el calcio y

el azufre, lo que provoca un desbalance en la proporción de nutrientes al compararlas. Dicho desbalance puede influir en la respuesta a la fuente de nitrógeno y es crucial tenerlo en cuenta al interpretar los resultados de la investigación. Recientemente, se ha balanceado el azufre en la solución modificada de Rigaud & Puppo mediante la aplicación de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en las plantas alimentadas con nitrato al equipararlas con amonio, aumentando la oferta de calcio (Coletto *et al.*, 2017; De la Peña *et al.*, 2019; Poucet *et al.*, 2021). En la Tabla 4 se presentan las concentraciones evaluadas en la solución modificada de Rigaud & Puppo para el crecimiento de las plántulas en vivero.

Tabla 4. Concentración de nutrientes para el crecimiento de plántulas mediante el uso de la solución Rigaud & Puppo.

Macronutrientes	Concentración final (μM)	Micronutrientes	Concentración final (μM)
$\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$	2,5	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	16,5 μM
CaCO_3	0,5	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3,5 μM
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,7	H_3BO_3	16,2 μM
KH_2PO_4	1,47	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,47 μM
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,85	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,12 μM
KCl	2,68	AlCl_3	0,21 μM
FeNa-EDTA	0,1	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,126 μM
		KI	0,06 μM

Concentración foliar de nutrientes mediante el uso de la solución nutritiva

A diferencia de lo que ocurre en un suelo, donde los nutrientes son adsorbidos a la arcilla, en el sustrato quedan libres y disponibles para ser tomados por la planta. Lo anterior puede explicarse por qué se encuentran en mayor grado en el tejido foliar (Tabla 5), sin que esto haya significado una toxicidad para las plántulas en vivero, siendo el magnesio y el boro los de mayor concentración por el uso de la solución modificada de Rigaud & Puppo. Aun-

que los dos nutrientes hacen parte del esquema nutricional del cultivo, el boro es el que presenta frecuentemente casos de toxicidad. Arias y Munévar (2006) encontraron que concentraciones de boro en tejido foliar por encima de 13,84 ppm afectaban el crecimiento de las plántulas debido al necrosamiento progresivo del área foliar. Sin embargo, esta condición no se presenta en las plántulas puestas en el sustrato ni en la concentración utilizada aun siendo cuatro veces mayor. Así, la metodología podría emplearse para evaluar respuestas a este elemento, permitiendo conocer mucho más sobre los efectos adversos en altas concentraciones.

Tabla 5. Concentración foliar de nutrientes según el tipo de nutrición utilizada para el crecimiento de plántulas.

Tipo de nutrición	Material vegetal	Macronutrientes						
		N	P	K	Ca	Mg	Cl	S
Rigaud & Puppo	<i>E. guineensis</i>	2,89	0,338	1,699	0,566	0,948	1,985	0,240
	Híbrido OxG	2,95	0,314	1,789	0,503	0,917	1,967	0,291
Edáfica	<i>E. guineensis</i>	1,89	0,190	1,790	0,460	0,240	N.D.	N.D.
	Híbrido OxG	1,84	0,270	1,570	0,270	0,220	N.D.	N.D.
Tipo de nutrición	Material vegetal	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)						
		B	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	
Rigaud & Puppo	<i>E. guineensis</i>	34,213	127,417	10,403	140,658	16,169	74,918	
	Híbrido OxG	26,571	105,616	8,532	121,643	11,275	60,603	
Edáfica	<i>E. guineensis</i>	8,000	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	Híbrido OxG	7,780	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	

Conclusiones y perspectivas

Diferentes metodologías para examinar la respuesta tanto en el empleo de nutrientes como en el uso eficiente del agua se encuentran en la literatura y cada una tendrá sus ventajas y desventajas. Experimentos basados en el suelo son los más utilizados. Estos tienen la desventaja de que parten de una concentración de nutrientes propias del mismo o con unas características de retención de humedad, en el cual, los resultados terminan siendo particulares para esa condición. La metodología presentada en este Ceniavances, aunque requiere un mayor nivel de complejidad, permite desarrollar experimentos en condiciones reducidas de concentraciones de nutrientes y/o elementos

faltantes, considerando el empleo de sustratos inertes, lo que la hace llamativa para la evaluación de dosis o concentraciones en los cultivares *E. guineensis* o híbridos OxG en la etapa de vivero. En otras palabras, se convierte en una metodología de tamizaje de progenies y su respuesta diferencial a la nutrición.

Según lo anterior, con esta metodología se tiene como perspectiva la caracterización de 60 progenies a diferentes concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio dentro del proyecto “Desarrollo de un sistema integrado de manejo agronómico para el cultivo de la palma como respuesta a los efectos de la variabilidad climática en el Departamento del Cesar”, financiado por el Sistema General de Regalías (SGR) del Cesar.

Referencias bibliográficas

Arias, N., & Munévar, F. (2006). Riesgos de toxicidad con boro en viveros de palma de aceite. *Palmas*, 27(3), 37–44.

Bayona-Rodríguez, C. J., Ochoa-Cadavid, I., & Romero, H. M. (2016). Impacto de la época seca sobre el intercambio de gases en progenies de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) y del híbrido interespecífico (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) bajo condiciones de campo en la zona oriental de Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34(3), 329–335. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n3.55565>

Bayona-Rodríguez, C. J., & Romero, H. M. (2019). Physiological and agronomic behavior of commercial cultivars of oil palm (*Elaeis guineensis*) and OxG hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) at rainy and dry seasons. *Australian Journal of Crop Science*, 13(3), 424–432. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.03.p1354>

Caicedo, A., Guataquira, S., Bayona-Rodríguez, C. J., Pardo, A., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2017). Desarrollo de una metodología para la selección temprana de cultivares de *Elaeis guineensis* Jacq., según su respuesta al estrés por déficit hídrico. *Ceniavances*, 186, 1–8.

Carr, M. K. V. (2011). The Water Relations and Irrigation Requirements of Oil Palm (*Elaeis guineensis*): a Review. *Experimental Agriculture*, 47(04), 629–652. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000494>

Cha-Um, S., Yamada, N., Takabe, T., & Kirdmanee, C. (2013). Physiological features and growth characters of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in response to reduced water-deficit and rewatering. *AJCS*, 7(3), 432–439.

Chee, K. H. (1998). Plántulas de pre-vivero cultivadas en bandejas de macetas. *Palmas*, 19(4), 51–54. Recuperado de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/644>

Forero, D. C., Hormaza, P. A., Moreno, L. P., & Ruiz-Romero, R. (2012). *Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite*. Bogotá: Cenipalma.

Hoagland, D., & Arnon, D. I. (1950). The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil THE COLLEGE OF AGRICULTURE. *California Agricultural Experiment Station Circular*, 347, 1–32. Recuperado de: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19500302257>

IDEAM, & UNAL. (2018). *La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. Bogotá.

Méndez, Y. D. R., Chacón, L. M., Bayona, C. J., & Romero, H. M. (2012). Physiological response of oil palm interspecific hybrids (*Elaeis oleifera* HBK Cortes versus *Elaeis guineensis* Jacq.) to water deficit. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 24, 273–280.

Mohidin, H., Hanafi, M. M., Rafii, Y. M., Abdullah, S. N. A., Idris, A. S., Man, S., Idris, J., & Sahebi, M. (2015). Determination of optimum levels of nitrogen, phosphorus and potassium of oil palm seedlings in solution culture. *Bragantia*, 74(3), 247–254. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0408>

Najihah, T. S., Ibrahim, M. H., Zain, N. A. M., Nulit, R., & Wahab, P. E. M. (2020). Activity of the oil palm seedlings exposed to a different rate of potassium fertilizer under water stress condition. *AIMS*

Environmental Science, 7(1), 46–68. <https://doi.org/10.3934/envirosci.2020004>

Rigaud, J., & Puppo, A. (1975). Indole-3-acetic acid catabolism by soybean bacteroids. *Journal of General Microbiology*, 88, 223–228.

Rivera-Méndez, Y., Moreno-Chacón, L., Bayona-Rodríguez, C., & Romero, H. (2012). Physiological response of oil palm interspecific hybrids (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes versus *Elaeis guineensis* Jacq.) to water deficit. *Brazilian Society of Plant Physiology*, 24(4), 273–280.

Romero, H. M., & Galindo Castañeda, T. (2012). *Compostaje de subproductos de la agroindustria de palma de aceite en Colombia: estado del arte y perspectivas de investigación* (p. 52). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1333>

Rosenani, A. B., Rovica, R., Cheah, P. M., & Lim, C. T. (2016). Growth Performance and Nutrient Uptake of Oil Palm Seedling in Prenursery Stage as Influenced by Oil Palm Waste Compost in Growing Media. *International Journal of Agronomy*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6930735>

Shariffah-Muzaimah, S. A., Idris, A. S., Madihah, A. Z., Dzolkhifli, O., Kamaruzzaman, S., & Maizatul-Suriza, M. (2018). Characterization of *Streptomyces* spp. isolated from the rhizosphere of oil palm and evaluation of their ability to suppress basal stem rot disease in oil palm seedlings when applied as powder formulations in a glasshouse trial. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34(1). <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2396-1>

Rios, L., Belo, V. N. B., Das Chagas, R.A., Osorio, P. A., Ferreira, C. A., & Teixeira, M. (2020). Morphophysiological responses of young oil palm plants to salinity stress. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 55, 1–15. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2020.V55.01835>

Esta publicación es propiedad del Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, por tanto, ninguna parte del material ni su contenido, ni ninguna copia del mismo puede ser alterada en forma alguna, transmitida, copiada o distribuida a terceros sin el consentimiento expreso de Cenipalma. Al realizar la presente publicación, Cenipalma ha confiado en la información proveniente de fuentes públicas o fuentes debidamente publicadas. Contiene recomendaciones o sugerencias que profesionalmente resultan adecuadas e idóneas con base en el estado actual de la técnica, los estudios científicos, así como las investigaciones propias adelantadas. A menos que esté expresamente indicado, no se ha utilizado en esta publicación información sujeta a confidencialidad ni información privilegiada o aquella que pueda significar incumplimiento a la legislación sobre derechos de autor. La información contenida en esta publicación es de carácter estrictamente referencial y así debe ser tomada y está ajustada a las normas nacionales de competencia, Código de Ética y Buen Gobierno de la Federación, respetando en todo momento la libre participación de las empresas en el mercado, el bienestar de los consumidores y la eficiencia económica.



Director general: Alexandre Patrick Cooman, Ph.D.
 Revisión de textos: Comité de Publicaciones de Cenipalma
 Coordinación editorial: Yolanda Moreno Muñoz
 Diagramación: Ximena Díaz Ortiz

Esta publicación contó con el apoyo del Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma.