



Agronomía Costarricense

ISSN: 0377-9424

Universidad de Costa Rica. Colegio de Ingenieros y Agrónomos. Ministerio de Agricultura y Ganadería

Garbanzo-León, Gabriel; Ramírez-Castrillo, Floria; Molina-Rojas, Eloy
Absorción de nutrimentos en palma aceitera variedad "Compacta X Ghana" en vivero
Agronomía Costarricense, vol. 43, núm. 1, 2019, Enero-Junio, pp. 69-84
Universidad de Costa Rica. Colegio de Ingenieros y Agrónomos. Ministerio de Agricultura y Ganadería

DOI: <https://doi.org/10.15517/rac.v43i1.35670>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43659698005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

 redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

ABSORCIÓN DE NUTRIMENTOS EN PALMA ACEITERA VARIEDAD “COMPACTA X GHANA” EN VIVERO

Gabriel Garbanzo-León^{1/*}, Floria Ramírez-Castrillo^{**}, Eloy Molina-Rojas^{*}

Palabras clave: Curvas de absorción; regresión no lineal; *Elaeis guineensis*; grados días; nutrición.

Keywords: Nutrient uptake curves; nonlinear regression; *Elaeis guineensis*; days grade; nutrition.

Recibido: 20/04/18

Aceptado: 04/07/18

RESUMEN

Se calculó la absorción de nutrientes en la variedad Compacta x Ghana en viveros de *Elaeis guineensis* en la región sur de Costa Rica. Se utilizó una sección de vivero de la empresa Palma Tica S.A. de aproximadamente 5 000 plantas y se brindó un estado de suficiencia nutricional durante 300 días después de siembra (dds). Se seleccionaron plantas mediante el cálculo de intervalo de confianza según la desviación estándar y el tamaño de la muestra a un alfa de 0,01, para las variables diámetro de bulbo y largo de raquis en cada fecha de muestreo (45 dds); además se midió diariamente la temperatura. Las plantas seleccionadas se limpiaron y se fragmentó en parte aérea y raíz, ambas fracciones se secaron a 65°C durante 48 horas. Posteriormente las fracciones se pesaron y se enviaron al Laboratorio de Suelos y Foliares de Palma Tica S.A. para luego determinar los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, S, Si, Al, Fe, Cu, Zn, Mn y B. Se construyó una base de datos (n = 4256) y se modelaron los resultados mediante regresiones no lineales con el programa estadístico RStudio, para identificar la ecuación de mejor ajuste para la absorción de nutrientes. Se encontró que las plántulas acumularon 3848 grados días

ABSTRACT

Nutrient absorption in the oil palm variety “Compacta X Ghana” in nursery. The absorption of nutrients in the Compacta x Ghana variety was calculated in nurseries of *Elaeis guineensis* in the southern region of Costa Rica. A nursery section of the company Palma Tica S.A. of approximately 5,000 plants was used and a state of nutritional adequacy was provided for 300 days after sowing (dds). Plants were selected by calculating the confidence interval according to standard deviation and sample size at an alpha of 0.01, for variables bulb diameter and leave length at each sampling date (45 dds). In addition, temperature was measured daily. Selected oil palms were cleaned and separated into aerial and root fractions, which were dried at 65°C for 48 hours. After drying, aerial and root fractions were weighed and sent to the Palma Tica S.A. Soil and Foliar Laboratory to determine N, P, K, Ca, Mg, S, Si, Al, Fe, Cu, Zn, Mn and B concentration. A database was constructed (n = 4256) and the results were modeled with a nonlinear regression model with the RStudio statistical program, to identify the best fit equation for nutrient absorption. It was found that seedlings accumulated 3848 degree days of

1 Autor para correspondencia. Correo electrónico: juan.garbanzo@ucr.ac.cr

* Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Costa Rica.

** Palma Tica S.A., Departamento de Investigación y Desarrollo, Costa Rica.

de temperatura hasta los 300 dds con un peso máximo de 138,5 g.planta⁻¹. El mejor ajuste de absorción (Pr=0,001) fue un modelo exponencial ($y = a \exp^{(b \cdot dds)}$) con una correlación de 0,60-0,84 para Al y Fe, y >0,94 para los demás nutrimentos. Se concluye que la absorción máxima por planta fue 2,9 g N, >2,1 g K, >1,4 g Si, >1,3 g Ca, >0,4 g Mg, >0,3 g P, >0,3 g S, >124 mg Fe, >11,8 mg Mn, >4,9 mg B, >4,1 mg Zn y >3,4 mg Cu.

temperature up to 300 dds with a maximum weight of 138.5 g.plant⁻¹. The best absorption adjustment (Pr = 0.001) was an exponential model ($y = a \exp^{(b \cdot dds)}$) with a correlation of 0.60-0.84 for Al and Fe, and > 0.94 for the other nutrients. It was concluded that maximum absorption for oil palm plants in nursery was 2.9 g N, > 2.1 g K, > 1.4 g Si, > 1.3 g Ca, > 0.4 g Mg, > 0.3 g P, > 0.3 g S, > 124 mg Fe, > 11.8 mg Mn, > 4.9 mg B, > 4.1 mg Zn and > 3.4 mg Cu.

INTRODUCCIÓN

El requisito de absorción en las plantas es uno de los criterios más importantes para el manejo de la fertilización en los cultivos. Una buena fertilización en los momentos que más lo demandan las plantas permitiría un adecuado desarrollo de cada etapa fenológica, aumentando la tolerancia a enfermedades, la eficiencia de fertilización y garantizar mayor productividad en los cultivos (Mengel *et al.* 2001, Czeschlik 2005, Datnoff *et al.* 2007, Bertsch 2009). El uso de las curvas de absorción en los cultivos es una herramienta precisa para calcular las dosis o requerimientos en un momento específico, debido a que mide el consumo de nutrimentos según factores internos (potencial genético, estado de desarrollo de la planta) y externos (relacionados con el ambiente) (Bertsch 2005). Esta herramienta permite ajustar las dosis de nutrimentos y el momento óptimo de aplicación de fertilizantes en los cultivos, respaldando 2 de los principios científicos del manejo responsables de los nutrientes (IPNI 2012).

La mayoría de los requisitos establecidos para la cuantificación de las dosis de fertilización en palma aceitera se encuentra principalmente para las plantas sembradas en sitios de siembra definitivos, específicamente en plantaciones adultas (Fairhurst y Härdter 2012). No obstante, la fertilización en pre-vivero y vivero de palma existen

pocos estudios sobre los requerimientos nutricionales entre las variedades comercializadas en el trópico americano (Umaña *et al.* 1990, Ramírez y Muñoz 2010). Muchos de los criterios nutricionales utilizados para la fertilización en estos sistemas se basan en los síntomas observados en las hojas, cuando las plantas presentan las deficiencias (FAO 1980). A través de las experiencias, se han logrado generar programas de fertilización que suplan las necesidades nutricionales de las plántulas (Corley y Tinker 2003, Heriansyah y Tan 2005, Mathews *et al.* 2008, Kone *et al.* 2014, Shampazuraini *et al.* 2016). Sin embargo, estas proporcionan un uso ineficiente de los nutrimentos, debido a que muchas veces se aplica más de lo que requiere la planta (Garbanzo 2018).

Generalmente los pequeños y medianos productores se basan en recomendaciones generales de N, P, K, utilizando grados de 18 - 46 - 0 y 15 - 15 - 15 principalmente (Umaña *et al.* 1990, Zaharah *et al.* 1997, Kasno y Anggria 2016). Según Ramírez y Muñoz (2010) mencionaron que algunas razones de la pobre fertilización se deben a la poca disponibilidad de requisitos nutricionales para viveros, principalmente por el poco consumo de fertilizante comparado con el de palma adulta; la falta de análisis de crecimiento en vivero para poder comparar el efecto de fertilización y la diversidad de programas de fertilización para viveros producto de recomendaciones generales. Otros estudios realizados

en departamentos de investigación de palma aceitera han evidenciado la aplicación de N, P, K, Mg, B, Cu, Zn, y S, estos 3 últimos solo en sitios determinados dependientes del suelo usado. La cantidad total de fertilizante aplicado durante la fase de vivero se estima inferior a 500 g, aplicado de forma fraccionada cada 8 a 10 días durante 14 meses (Hew y Toh 1973, Iremiren *et al.* 1986, Mathews *et al.* 2010, Posso 2010). El fertilizante es colocado cuidadosamente alrededor del tallo, sin tocarlo, ya que podría extraer el agua de la planta por difusión. Estos programas se efectúan según: el tipo de suelo, texturas, concentración de acidez y contenidos de Ca en los suelos (Corley y Tinker 2003).

Investigaciones más recientes en Costa Rica con los materiales Deli x LaMé, Deli x Nigeria, Deli x Ghana demostraron que estos no difieren estadísticamente en la acumulación de biomasa (Ramírez y Muñoz 2010). Datos similares encontraron en Colombia, donde los materiales Tanzania x Ekona, Deli x Yangambi, Deli x Avros y Deli x Yangambi no mostraron diferencias estadísticas en la acumulación de biomasa en el tiempo (Reyes *et al.* 2008). Al realizar el estudio de acumulación de nutrimentos en las plantas se determinó que el material Deli x LaMé presentó la tendencia de mayor absorción, seguido del De x Ng y posteriormente de De x Gha, proyectando un consumo de nutrimentos $N > K > Ca > Mg > P > S$ respectivamente (Ramírez y Muñoz 2010). Por otro lado, investigaciones en previveros realizadas en Malaysia encontraron mayores absorciones de N, P, K, Ca y Mg al aplicar entre 60 – 80% de compost de fibras de mesocarpio en las bolsas (Rosenani *et al.* 2016), sin embargo, esta información solo se ajustaría para los primeros 3 meses de vivero.

El objetivo de este trabajo es determinar el consumo de nutrimentos de la variedad Compacta x Ghana en palma aceitera, entre los 45 y 300 días después de siembra en condiciones del trópico húmedo de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó cabo en los viveros de la Compañía Palma Tica S.A., ubicada en Coto 47 en el cantón de Corredores en Puntarenas, Costa Rica. Esta zona se encuentra en la llanura aluvial de Coto-Corredores, con una elevación aproximada entre 24 – 30 msnm. Los rangos de temperatura durante el periodo de la investigación fueron Max: 36,4 y Min: 26,5 grados centígrados, con una humedad relativa promedio de 87,4% y una radiación solar promedio de 377,2 Wat.m².

Se seleccionaron plantas de *E. guineensis* del material Compacta x Ghana que fueron sembradas en pre-vivero con Jiffi (*Sphagnum sp.* y fibra de coco en pastillas comerciales) y manipuladas durante 2 meses bajo condiciones controladas. La nutrición de las plántulas se llevó a cabo bajo fuentes de lenta liberación en toda la etapa de previvero. Posteriormente se seleccionaron las mejores plántulas (sin problemas de crecimiento, enfermedades, síntomas y etiolación) de manera que el material fuera totalmente homogéneo, con el fin de escoger el mejor material para las siembras en vivero.

Se realizó un muestreo de suelo en las bolsas de vivero para desarrollar un análisis químico (Cuadro 1). El muestreo consistió en extraer con un barreno tubular una sección del suelo presente en las bolsas antes de sembrar las plántulas. Se analizó el pH en agua, acidez intercambiable, el Ca, Mg, K, P, Zn, Cu, Fe, Mn mediante extracciones con Mehlich 3 para cada elemento de acuerdo con la metodología de Cabalceta y Molina (2006) y el Si mediante extracción con ácido acético según la metodología de Lobo (2013), en el Laboratorio de Suelos y Foliare de la Compañía Palma Tica S.A. Asimismo, previo a la siembra de las plantas, se realizó una aplicación de herbicida (glifosato) en toda el área de vivero y para mantenimiento se hicieron aplicaciones de paraquat (i.a.) con el fin de realizar un manejo de las malezas durante la etapa.

Cuadro 1. Contenido de nutrientes en suelo utilizado para experimento de mezclas de fibra de frutos de palma con suelo en etapa de viveros.

Mehlich 3 +	pH H ₂ O	acidez	cmol(+),l ⁻¹				% SA	Mg.l ⁻¹					
			Ca	Mg	K	CICE		P	Zn	Cu	Fe	Mn	Si*
NC	5,5	0,5	4	1,1	0,2	5		15	1,7	0,4	10	4	200
Suelo inicio	6,24	0,28	35,2	3,97	0,46	39,9	0,70	18,2	2,52	12,3	283	57	173

+Solución extractora Mehlich 3, laboratorio suelos y foliares Palma Tica S.A.; NC = nivel crítico para Inceptisoles según Cabalceta y Molina (2006). CICE = Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva = Acidez + Ca + Mg + K. *Metodología de extracción con ácido acético según Lobo (2013).

Las plantas fueron fertilizadas con la fórmula física completa elaborada en el departamento de viveros compuesta por 15,50 - 9,76 - 15,50 - 4,00 - 3,20(S) - 0,30(B), constituidas por las fuentes de nitrato monoamónico (33,5 - 0 - 0), Microessentials SZ (12 - 40 - 0 - 10(S) - 1(Zn)), cloruro de potasio

(0-0-60), kieserita (0 - 0 - 0 - 25 - 20(S)) y granubor (15% B). Esta fórmula se calculó según los requisitos desarrollados por Ramírez y Muñoz (2010) (Cuadro 2). La fertilización se aplicó cada 15 días, en granulos superficialmente en la bolsa y distanciados del bulbo para no producir pérdida de agua en la planta por difusión.

Cuadro 2. Fertilización propuesta con base en la curva de absorción en plantas de *E. guinensis* en etapa de viveros.

Consumo	N	P	K	Mg	S	Zn	B
Eficiencia*/ dds**	60%	50%	70%	80%	50%	50%	10%
----- g. planta ⁻¹ -----							
82	0,05	0,01	0,03	0,02	0,01	0,15	0,63
149	0,93	0,09	0,26	0,07	0,06	1,01	2,03
210	2,79	0,27	1,03	0,24	0,19	2,53	6,52
268	5,94	0,72	2,98	0,56	0,51	8,29	25,02
298	8,71	1,03	4,76	0,80	0,73	11,52	29,91
335	17,48	2,25	10,28	1,69	1,64	29,13	61,77
363	24,40	3,01	13,09	2,45	2,45	47,49	94,89

*Eficiencia fertilización propuesta.

**días después de siembra. Ramírez y Muñoz (2010).

Variables evaluadas

Se realizaron muestreos a los 40, 85, 130, 175, 220, 265, 306 días después de siembra (dds), para cuantificar el crecimiento de la planta. Las plantas seleccionadas para la curva de absorción en vivero, se seleccionaron a partir

de los individuos que mostraron un crecimiento promedio a partir de un rango de confianza estimado para el diámetro de bulbo, largo de raquis y hojas totales en un mismo bloque. El intervalo de confianza se calculó utilizando la desviación estándar, el tamaño de la muestra y un alfa (α) = 0,01, para estimar el límite superior y un límite

inferior a partir de la media de los datos para cada variable. Cada planta dentro de cada unidad experimental, fue señalada con un número específico que la identificaba dentro del experimento. Se utilizó el intervalo de confianza y se filtró dentro de la base de datos, el individuo que presentara un crecimiento promedio de la población para cada fecha de evaluación.

Las plantas fueron trasladadas a un sitio limpio donde se extrajeron las raíces mediante un lavado con abundante agua y dentro de un tamiz para evitar su pérdida. Posteriormente se dividió la parte aérea de la planta y la raíz, para pesarlas y secarlas en un horno durante 3 días a 60°C. Una vez secas las muestras se pesaron nuevamente y se enviaron al laboratorio para analizar los contenidos de N, P, K, Ca, Mg, S, Si, Al, Fe, Cu, Zn, Mn y B en cada parte de la planta.

Para estimar la cantidad de nutriente acumulado durante las distintas fechas de muestreo en las plantas, se calculó a partir del peso seco y la multiplicación de la concentración de nutriente en cada tejido. Para construir las curvas de absorción, se diseñó un modelado de regresiones no lineales con ajuste a la curva de mejor predicción según la naturaleza de los datos. Una vez obtenido el mejor ajuste de la regresión, se procedió a calcular los coeficientes en cada ecuación por nutriente y por último se graficó la curva de absorción mediante el programa estadístico Rstudio versión 1.0.136.

Para el cálculo de los grados días de temperatura (GDT) se recolectaron los datos meteorológicos de las estaciones cercanas a la zona de vivero (coto 49 y coto 47) de Palma Tica. Para una buena cuantificación éstas se evaluaron cada 30 min durante los 306 dds. Las estaciones estuvieron a menos de 2 km de distancia del sitio

y la temporada de recolección de datos fue entre abril de 2014 y marzo de 2015. El cálculo de los GDT se efectuó mediante la ecuación propuesta Ometto (Fallas *et al.* 2011).

Ecuación 1

$$GDT = \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) + (T_{min} - T_{base})$$

Donde:

T_{max} = Temperatura máxima.

T_{min} = Temperatura mínima.

T_{base} = Temperatura base.

La temperatura base máxima para palma aceitera es 37,0°C (Rhebergen *et al.* 2016), mientras que la temperatura base mínima de 15,0°C (Hormaza *et al.* 2012). La máxima que se alcanzó en el vivero fue de 35°C y la mínima fue de 18°C, ajustada a los criterios de Ometto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró que los grados días de temperatura acumulada (GDTA) en el vivero de palma aceitera fue de 3848°C (sumatoria de GDT) a los 306 dds en el pacífico sur de Costa Rica (Cuadro 3). Las evaluaciones del crecimiento de las plántulas se realizaron cada 45 días aproximadamente y se encontró que cada etapa acumuló en promedio 548°C de temperatura (GDT). Asimismo, se midió la humedad relativa que en promedio fue de un 89% de humedad durante todo el experimento, sin embargo, esta fue mayor en los primeros dds y más bajo en los últimos días de evaluación.

Cuadro 3. Días de evaluación de contenidos nutricionales, grados días de acumulación de temperatura y humedad relativa en plántulas de palma aceitera variedad Compacta x Ghana en vivero.

DDS	GDT	GDTA	Humedad relativa (%)
1	12,5	12,5	93,2
40	484,4	497,0	91,7
85	573,6	1071,0	89,2
130	575,2	1646,2	89,2
175	562,0	2208,2	90,4
220	562,0	2770,2	90,4
265	567,7	3337,9	85,3
306	510,3	3848,2	84,8

n=30774. Temperatura máxima, mínima y humedad relativa evaluada cada 30 min durante el 05 may 2014 al 21 mar 2015. DDS: días después de siembra. GDT: grados días temperatura. GDTA: grados días de temperatura acumulados. Temperatura base mínima 15,0°C (Hormaza *et al.* 2012) y temperatura base máxima 37,0°C (Rhebergen *et al.* 2016) para palma aceitera.

El cálculo de GDTA es un parámetro que permite comparar el crecimiento de la planta en función de la temperatura y no del tiempo, relacionando el crecimiento de la planta en distintos agroecosistemas. Esta herramienta funciona para ajustar los GDTA con la fenología del cultivo, ajustando con mejor precisión los programas de fertilización en el vivero. Los GDTA son fácil de calcular y de usar técnicamente para comparar el desarrollo de las plantas en distintas zonas de producción y asimismo medir el efecto de los manejos en la misma variedad de palma. Específicamente para Costa Rica, las condiciones climáticas del pacífico sur varían de un lugar a otro significativamente, debido a las distintas condiciones microclimáticas que presenta el país (IMN 2008). Los GDTA permitiría comparar la información de la variedad Compacta x Ghana con otro agroecosistema, en donde se desarrolle el mismo material de viveros del país u otros. El efecto del crecimiento varía según la temperatura de las zonas, donde las más altas aceleran el crecimiento de los cultivos y en las más bajas, los cultivos tardan más tiempo en desarrollar cada etapa fenológica, siendo estas una de las limitaciones más importante en expansión de

palma aceitera (Pirker *et al.* 2016, Dislich *et al.* 2016, Woittiez *et al.* 2017).

Los GDT acumulados en un tiempo aproximado de 45 dds entre cada muestreo, permitió que se alcanzara un promedio de 548°C de temperatura acumulada en la zona pacífico sur, sin embargo, en cada fecha de muestreo específico los GDT variaron entre épocas de invierno (130 - 265 dds) y de verano (265 - 306 dds). Esto concuerda muy bien con la humedad relativa (HR) del vivero, donde en la época de invierno fue mayor a 89,2% mientras que en verano fue menor a 85,3. A pesar de que los datos de HR se mantuvieron sobre el 84% es probable que se derivó del riego por aspersión que utilizaron en viveros.

Los criterios para la aplicación de la ecuación de Ometto se ajustaron a las condiciones climáticas encontradas en los viveros de palma aceitera en el Pacífico Sur de Costa Rica. Las temperaturas máximas y mínimas no sobrepasaron las temperaturas bases establecidas para palma aceitera. La temperatura base mínima en palma aceitera fue de 15,0°C según Hormaza *et al.* (2012) en donde las funciones fisiológicas de la planta se detienen y como consecuencia su crecimiento. Mientras que para la temperatura base

máxima el límite es de 37,0°C según lo establecido por Rhebergen *et al.* (2016), en la palma se presenta estrés producto de las altas temperaturas que detienen su producción fotosintética y por consiguiente el crecimiento. Para este procedimiento, la temperatura fue evaluada cada 30 minutos, lo cual la estación era sensible a cambios de temperaturas durante el día y la noche, presentado datos precisos para los cálculos. Los GDTA calculados en este trabajo permitirán comparar los resultados de absorción de nutrimentos obtenidos con futuros trabajos en otros agroecosistemas con mismo material de palma aceitera.

Concentración de nutrimentos en las plántulas

La concentración de macronutrimentos en la parte aérea y la raíz en las plántulas, variaron significativamente ($\alpha=0,01$) en el tiempo. Al evaluar el contenido de N en la parte aérea (Cuadro 4), se encontró que a los 130, 175 y 220 dds mostró los valores más altos (2,75 -2,77%), mientras que en la raíz presentó los mayores

contenidos entre los 85 a 175 dds, exhibiendo porcentajes entre 1,48 -1,83. Ambas partes redujeron la presencia de N conforme se desarrollaron las plantas, para ser inferior a los 300 dds que el resto de las fechas. El P mostró los mayores valores en la parte aérea y raíz entre los 85 y 175 dds (0,25 - 0,36). Asimismo al comparar las concentraciones de K entre los dds, se encontró que los mayores contenidos (1,57 - 1,65) estuvieron entre 175 y 265 dds, mientras que en la raíz se encontró a los 130 dds (2,29%). El Ca en la parte aérea fue mayor a partir de los 175 dds (1,01%) y en la raíz fue mayor a los 130, 175 y 300 dds (0,48 - 0,53%). El Mg fue mayor (0,98 - 1,93) a los 40 y 85 dds para ambas partes y disminuyó conforme crecía la planta. El S en la parte aérea mostró diferencias significativas a los 40 dds (0,15%) del resto de las fechas (0,21 - 0,28%), mientras que en la raíz las concentraciones más altas (0,36%) se encontraron significativamente a los 85 dds. El Si presentó las concentraciones más altas en la parte aérea a los 130 y 220 significativamente, sin embargo en la raíz las concentraciones fueron mayores (1,30 - 1,61%) para las fechas 130, 175, 220 y 300 dds.

Cuadro 4. Concentración de nutrientes en la parte aérea y raíz en distintas fechas de crecimiento en plántulas de palma aceitera variedad Compacta x Ghana en vivero.

Tejido	DDS	N	P	K	Ca	Mg	S	Si	Al	Fe	Cu	Zn	Mn	B
		----- (mg.kg ⁻¹) -----												
	40	2,34 a	0,20 a	0,77 a	0,30 a	1,93 e	0,15 a	0,00 a	0,0 a	655,3 b	21,0 d	24,1 a	55,3 a	11,9 a
	85	2,65 b	0,35 c	1,42 bc	0,52 a	1,20 e	0,21 bc	0,26 a	98,7 a	343,7 a	12,0 c	32,2 c	163,1 e	17,8 b
	130	2,75 bc	0,27 bc	1,52 b	0,95 b	0,43 d	0,28 d	1,18 c	984,9 d	1243,6 d	11,3 c	53,5 d	152,4 d	15,4 a
Aéreo	175	2,85 c	0,26 bc	1,65 d	1,01 c	0,35 c	0,23 c	0,99 b	601,6 c	550,0 c	10,0 b	27,6 b	113,8 c	21,8 b
	220	2,77 bc	0,25 b	1,59 cd	1,05 c	0,32 bc	0,23 c	1,25 c	809,0 cd	700,8 c	10,8 c	27,7 b	113,3 c	22,6 b
	265	2,34 a	0,22 a	1,57 cd	1,03 c	0,30 ab	0,21 b	1,00 b	306,0 b	320,6 a	10,2 b	24,1 a	93,7 b	27,3 c
	300	2,24 a	0,21 a	1,47 b	1,03 c	0,29 a	0,23 c	0,98 b	349,6 b	405,6 b	9,3 a	25,5 a	82,0 b	34,6 d
	P-value S. Wil.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	P -value K. W.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	40	1,20 a	0,15 a	0,32 a	0,35 b	0,98 c	0,27 ab	0,00 a	0,0 a	2604,0 b	47,0 a	30,0 a	60,0 a	8,0 a
	85	1,83 e	0,36 c	1,69 d	0,29 a	1,24 c	0,36 c	0,00 a	27,4 a	1396,2 a	34,6 a	72,9 d	183,1 e	17,3 b
	130	1,48 de	0,26 c	2,29 e	0,48 de	0,32 b	0,37 d	1,35 c	5091,6 d	5488,2 c	85,4 b	97,4 d	170,6 e	22,2 c
Raíz	175	1,51 e	0,25 c	2,06 d	0,53 e	0,31 b	0,27 ab	1,51 c	5595,8 d	5881,2 c	101,2 c	73,0 d	157,4 de	31,8 c
	220	1,42 cd	0,20 b	2,05 d	0,45 d	0,30 b	0,28 b	1,61 c	5066,9 d	4892,3 c	115,7 d	57,2 c	126,6 cd	19,3 b
	265	1,28 b	0,17 a	1,87 bc	0,39 c	0,25 a	0,25 a	0,68 b	1901,7 b	1835,6 a	93,2 bc	49,0 b	73,0 a	25,5 c
	300	1,39 c	0,15 a	1,82 b	0,48 de	0,27 a	0,28 b	1,30 c	3424,2 c	3159,7 b	93,3 bc	48,6 b	100,6 b	40,5 d
	P-value S. Wil.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	P -value K. W.	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

n = 302. DDS: días después de siembra. S. Wil.: prueba de normalidad de Shapiro Wilk. K. W.: prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. Medias seguidas por una misma letra no representa diferencias significativas según la prueba no paramétrica Kruskal Wallis a una probabilidad de 5% (p<0,05).

Es probable que el efecto de la concentración de nutrimentos en la raíz y parte aérea sea producto de la absorción de nutrimentos en las primeras etapas de crecimiento o bien un comportamiento similar a una variación estacional (Foster y Choong 1976, Boniche *et al.* 2008, Santacruz *et al.* 2004). Al analizar los contenidos de N, P, K y Mg en la parte aérea y raíz estos tuvieron una tendencia decreciente en el tiempo, es decir que en etapas de pre-viveros las concentraciones fueron mayores comparadas con las etapas finales de viveros (265 y 300 dds). Este efecto se observó muy marcado con el Mg, aspecto que muestra este nutrimento esencial en pre-vivero. Asimismo, al analizar las concentraciones de Ca y Si se identificó un incremento conforme las plántulas crecieron, probablemente por ser elementos no móviles, presentes en el suelo (Cuadro 1) y que se acumulan en el bulbo y hojas viejas (Munevar y Romero 2015).

La concentración de Al y Fe fue mayor 550 mg.kg^{-1} entre los 130 y 220 dds en la parte aérea, mientras que en la raíz contenidos fueron muy altas (5091 mg.kg^{-1}), en las mismas fechas al comparar ambas partes la acumulación fue superior en las raíces que en la parte aérea. El Cu mostró mayores contenidos estadísticamente ($\alpha=0,01$) a los 40 dds que el resto de las fechas para la parte aérea, asimismo mostró una tendencia decreciente en el tiempo, mientras que en las raíces el comportamiento del Cu fue distinta a la parte aérea, al mostrar una relación creciente. El Zn y el Mn presentaron mayores contenidos entre los 85 y 175 dds para ambas partes de la planta, no obstante presentó un comportamiento decreciente conforme pasó el tiempo. El B mostró mayor aporte del elemento a los 300 dds para la parte aérea ($34,6 \text{ mg.kg}^{-1}$) y raíz ($40,5 \text{ mg.kg}^{-1}$), con un comportamiento creciente significativamente a través del tiempo. Es probable que ese

resultado sea producto del crecimiento activo de las raíces por tratarse de plantas en viveros, lo cual está bien demostrado el efecto del nutrimento en el crecimiento activo de las plantas (Brown y Hu 1998, Mite *et al.* 1999).

El Al y Fe mostraron mayores concentraciones en las raíces, es probable que este efecto sea producto de muestras con presencia de suelo similar a lo encontrado por Ramírez y Muñoz (2010), sin embargo, en la parte aérea se encontró contenido decreciente de estos microelementos. El Cu, Zn y Mn, mostraron disminución en el tiempo, el Zn mostró mayor concentración en las etapas de pre-vivero (40 - 85 dds) e inicios de vivero (130 dds). Se ha reportado que el Zn aumenta la tolerancia a enfermedades foliares en vivero, al ser uno de los nutrimentos más importantes en las fertilizaciones de viveros de palma aceitera (Velasco 1999, Rosenani *et al.* 2016, Garbano *et al.* 2018).

La acumulación de biomasa seca en las plántulas de viveros llegó a un total de 139 g para la variedad Compacta x Ghana hasta los 300 dds, que mostraron distintas acumulaciones de los nutrimentos según la concentración en el tiempo (Cuadro 5). Al calcular los contenidos totales de los macronutrimentos, se encontró que el mayor contenido lo obtuvo el N con un total consumido de 2,89 g, posteriormente el K con una acumulación de 2,12 g, Si con una acumulación de 1,4 g, el Ca con 1,29 g, Mg con una absorción de 0,39 g, S con 0,33 g y por último el P con una menor acumulación de 0,27 g por planta. Analizando los contenidos de los microelementos se encontró que el Al y el Fe mostraron la mayor acumulación en comparación al resto de los micronutrimentos con valores totales de 124 y 123 mg. Posteriormente, el Mn con una acumulación total de 11,8 mg, seguido por el B con 4,9 mg, Zn (4,1 mg) y por último el Cu con una absorción total de 3,4 mg por planta.

Cuadro 5. Absorción de nutrientes en la parte aérea, raíz y total en distintas fechas de crecimiento en plántulas de palma aceitera variedad Compacta x Ghana en vivero.

Tejido	DDS	Peso (g)	----- (g) -----						----- (mg) -----						
			N	P	K	Ca	Mg	S	Si	Al	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Aéreo	40	0,21	0,005	0,000	0,002	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,130	0,004	0,005	0,012	0,003
	85	0,92	0,022	0,003	0,010	0,004	0,014	0,002	0,001	0,053	0,349	0,010	0,029	0,105	0,013
	130	3,62	0,100	0,010	0,055	0,034	0,016	0,010	0,043	3,544	4,479	0,041	0,195	0,552	0,057
	175	13,03	0,370	0,034	0,215	0,132	0,045	0,030	0,129	7,794	7,125	0,129	0,358	1,475	0,284
	220	34,12	0,944	0,085	0,544	0,358	0,108	0,081	0,425	27,780	24,060	0,368	0,946	3,806	0,769
	265	62,24	1,458	0,135	0,981	0,642	0,186	0,131	0,623	18,987	19,935	0,633	1,509	5,798	1,697
	300	113,74	2,545	0,238	1,669	1,174	0,327	0,262	1,104	39,541	45,884	1,056	2,899	9,358	3,888
Raíz	40	0,11	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,274	0,005	0,003	0,006	0,001
	85	0,27	0,004	0,001	0,002	0,001	0,004	0,001	0,000	0,003	0,564	0,012	0,012	0,026	0,003
	130	1,17	0,017	0,003	0,027	0,006	0,004	0,004	0,016	5,958	6,440	0,099	0,115	0,202	0,026
	175	3,72	0,056	0,009	0,076	0,020	0,012	0,010	0,055	20,445	21,580	0,374	0,268	0,578	0,117
	220	7,29	0,103	0,015	0,149	0,033	0,022	0,020	0,120	37,705	36,170	0,860	0,421	0,927	0,139
	265	13,07	0,169	0,022	0,245	0,051	0,033	0,033	0,089	24,683	23,905	1,215	0,641	0,969	0,333
	300	24,77	0,344	0,039	0,452	0,119	0,066	0,069	0,319	84,845	77,961	2,316	1,211	2,479	0,996
Total	40	0,3	0,006	0,001	0,002	0,001	0,005	0,001	0,000	0,000	0,404	0,009	0,008	0,018	0,003
	85	1,2	0,026	0,003	0,012	0,005	0,018	0,003	0,001	0,055	0,912	0,022	0,041	0,131	0,016
	130	4,8	0,117	0,013	0,082	0,040	0,019	0,014	0,059	9,501	10,919	0,139	0,310	0,754	0,083
	175	16,8	0,426	0,043	0,291	0,152	0,056	0,040	0,184	28,239	28,705	0,503	0,626	2,053	0,401
	220	41,4	1,047	0,100	0,693	0,391	0,130	0,101	0,545	65,485	60,229	1,228	1,367	4,732	0,908
	265	75,3	1,627	0,157	1,226	0,693	0,219	0,164	0,711	43,670	43,839	1,848	2,149	6,767	2,030
	300	138,5	2,890	0,277	2,121	1,293	0,393	0,331	1,423	124,386	123,845	3,372	4,110	11,838	4,883

n = 4256. DDS: días después de siembra. Absorción calculada mediante el método de Bertsch (2009).

El modelado de las regresiones utilizado para encontrar la ecuación de mejor ajuste en absorción determinó que bajo una regresión no lineal de tipo exponencial ($y = a \exp^{(b \cdot \text{dds})}$) fue altamente significativa ($\alpha = 0,001$) para la predicción de los nutrientes (Cuadro 6). Al analizar los macronutrientes, y modelar el N se encontró que la predicción mostró una correlación (Pearson) de 0,97 en las constantes $a = 0,031846$ y $b = 0,015187$. En el caso de P, K se encontró la mejor predicción con una correlación de 0,96 en ambos nutrientes para las constantes en P de $a = 0,0032289$, $b = 0,0148319$ y en K de $a = 0,019846$ y $b = 0,015585$. El Ca, Mg y S presentaron una correlación de 0,97 con las constantes para Ca de $a = 0,008383$, $b = 0,016787$, para Mg de $a = 0,003722$, $b = 0,015524$ y para S de $a = 0,001940$ y $b = 0,017087$. El Si mostró una correlación inferior (0,94) en comparación

a las otras bases siendo el mayor ajuste con las constantes $a = 0,013090$ y $b = 0,015572$. En los microelementos al modelar el Al y Fe fueron los elementos que presentaron los ajustes más bajos ($\text{cor} = 0,60$ y $0,84$) en comparación al resto de los nutrientes, los mejores ajustes se encontraron con las constantes para Al en $a = 7,37799$, $b = 0,082922$ y para Fe en $a = 2,15396$ y $b = 0,013234$. El Cu, Zn y Mn expusieron una buena correlación (0,94) en relación con las predicciones modeladas en las regresiones exponenciales, el cual mostraron sus mejores ajustes en las constantes para Cu en $a = 0,036026$, $b = 0,015108$, Zn en $a = 0,039351$, $b = 0,01544$ y para Mn en $a = 0,180555$ y $b = 0,013925$ respectivamente. Por último, el B mostró la correlación más alta (0,96) en comparación al resto de los micronutrientes, con las constantes ajustadas en $a = 0,005222$ y $b = 0,022773$ respectivamente.

Cuadro 6. Ecuaciones de regresión no lineal modeladas en la absorción de nutrientes para plántulas de palma aceitera variedad Compacta x Ghana en vivero.

Nutriente	Ecuación de mejor ajuste	Pr(> t) modelo	Std. error	Varianza modelo	Coef. Cor. "Pearson"
Biomasa	$Y = 0.9407597 * \exp^{(0.0166356 \cdot \text{dds})}$	<0,001	11,97	2237,35	0,97
N	$Y = 0.031846 * \exp^{(0.015187 \cdot \text{dds})}$	<0,001	0,273	0,960	0,97
P	$Y = 0.0032289 * \exp^{(0.0148319 \cdot \text{dds})}$	<0,001	0,0278	0,009	0,96
K	$Y = 0.0198464 * \exp^{(0.0155851 \cdot \text{dds})}$	<0,001	0,203	0,528	0,96
Ca	$Y = 0.0083827 * \exp^{(0.0167873 \cdot \text{dds})}$	<0,001	0,122	0,195	0,97
Mg	$Y = 0.0037217 * \exp^{(0.0155236 \cdot \text{dds})}$	<0,001	0,035	0,018	0,97
S	$Y = 0.0019402 * \exp^{(0.0170872 \cdot \text{dds})}$	<0,001	0,030	0,012	0,97
Si	$Y = 0.0130895 * \exp^{(0.0155719 \cdot \text{dds})}$	<0,001	0,171	0,227	0,94
Al	$Y = 7.3779974 * \exp^{(0.082922 \cdot \text{dds})}$	<0,001	38,25	758,58	0,60
Fe	$Y = 2.1539660 * \exp^{(0.0132337 \cdot \text{dds})}$	<0,001	24,86	1443,0	0,84
Cu	$Y = 0.0360260 * \exp^{(0.0151082 \cdot \text{dds})}$	<0,001	0,424	1,30	0,94
Zn	$Y = 0.039351 * \exp^{(0.015443 \cdot \text{dds})}$	<0,001	0,503	1,879	0,94
Mn	$Y = 0.18055546 * \exp^{(0.013925 \cdot \text{dds})}$	<0,001	1,505	15,845	0,94
B	$Y = 0.0052226 * \exp^{(0.0227734 \cdot \text{dds})}$	<0,001	0,458	2,755	0,96

n=4256. Y= gramos de biomasa o nutriente contenidos por planta. dds: días después de siembra. Modelos no lineales de regresión (exponencial) calculados mediante software estadístico RStudio. versión 1.0.136.

La absorción de nutrimentos en la variedad Compacta x Ghana fue mayor a un 95% entre 130 y 300 días después de siembra. Se encontró que la absorción en N incrementó en un 20% entre los 175 a 265 dds, que presentó el más alto con un 44% a los 300 dds (Figura 1). El P y K mostraron incrementos significativos de absorción a partir de los 130 dds, gradualmente hasta alcanzar el mayor incremento a los 300 dds con un 43% respectivamente. El Mg y S mostró un comportamiento significativo de 1 - 3% en la absorción total a partir de los 85 dds, para exponer el mayor incremento a los 300 dds con

44 - 50% respectivamente. El Ca y Si mostraron acumulaciones de absorción a partir de los 130 dds, con el mayor incremento a los 300 dds con un 46 - 50% respectivamente. El Zn y Cu mostraron comportamientos de absorción muy similares, los micronutrimentos presentaron una absorción gradual (7 - 21%) entre los 130 dds y 265 dds, que indicaron la mayor absorción a los 300 dds con un 48 - 45% respectivamente. El B presentó absorciones muy diferentes a los demás nutrimentos, con incrementos de 1 a 23% a partir de los 130 dds y expuso el mayor incremento, esto es, un 58% a los 300 dds.

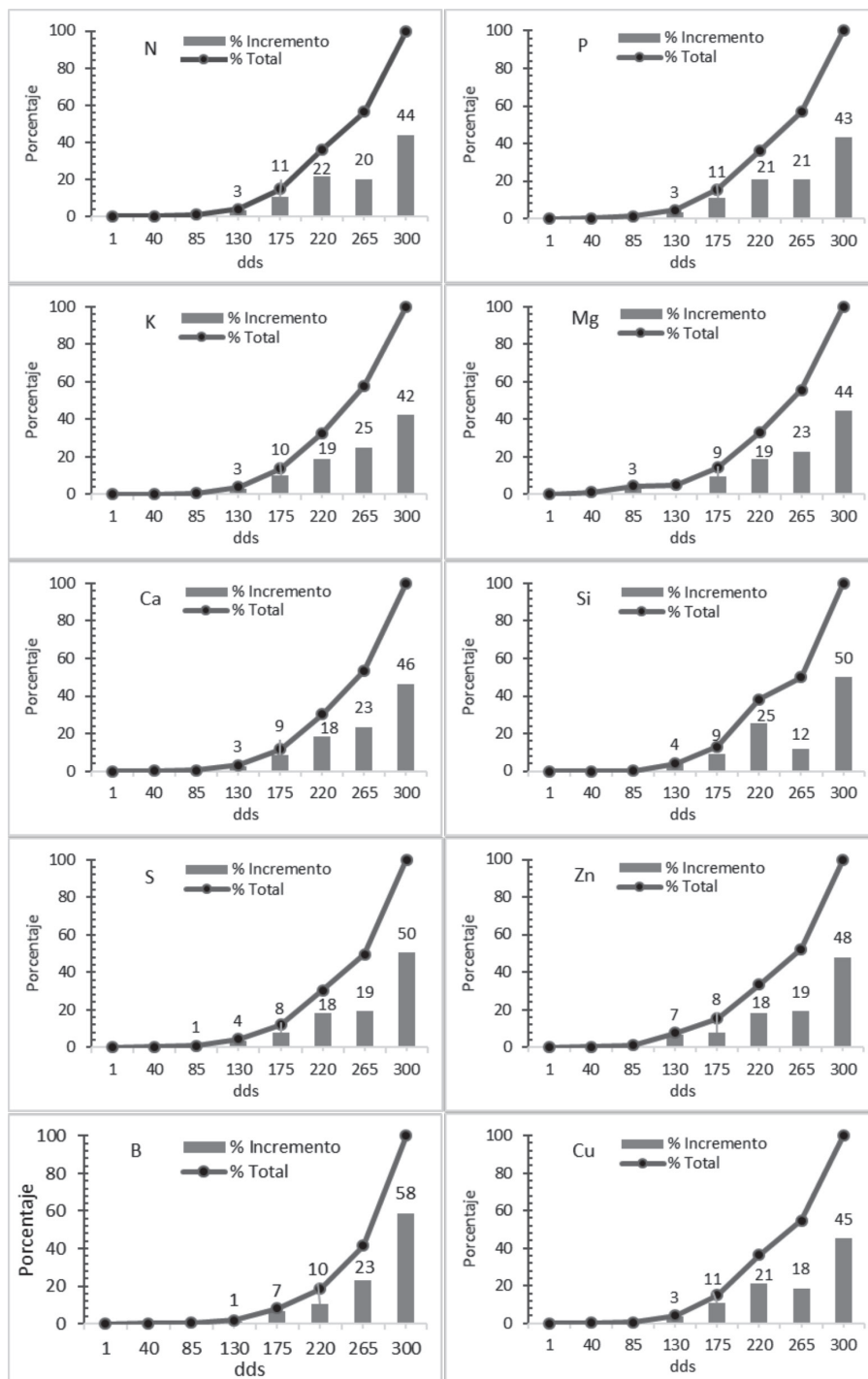


Fig. 1. Porcentaje de incremento y acumulación total de macro y micronutrientes en distintas fechas de crecimiento en plántulas de palma aceitera variedad Compacta x Ghana en vivero.

La absorción de los nutrimentos para viveros de palma aceitera fue exponencial según el mejor ajuste para las regresiones modeladas. Esto es debido al tipo de crecimiento de las plántulas, siendo estas continuas por ser un cultivo perenne (Hormaza *et al.* 2012, Ibarra-Rurales y Reyes-Cuesta 2015). Sin embargo, los incrementos de absorción en los macro y micro nutrimentos se presentaron mayoritariamente entre los 175 - 300 dds muy consistente con lo encontrado por Ramírez y Muñoz (2010), en donde a partir de los 8 - 10 meses se observaron incrementos significativos en las absorciones de N, Mg, Ca y P para las variedades De x Gha, De x Ng y De x LaMé. Sin embargo, al evaluar el consumo hasta los 300 dds para la variedad Compacta x Ghana presentó una menor absorción cuando se compararon con las variedades De x Gha, De x Ng y De x LaMé reportadas por Ramírez y Muñoz (2010). Al analizar las regresiones modeladas para cada nutrimento, se identificó que se ajustaron significativamente y correlacionaron con un 0,96 según el coeficiente de Pearson, por lo que las predicciones calculadas a partir de la ecuación de mejor ajuste, son precisas para realizar las recomendaciones de fertilización correspondientes a vivero de Compacta x Ghana.

CONCLUSIONES

Se determinó que el consumo para la variedad Compacta x Ghana bajo las condiciones del pacífico sur fueron 2,9 g N >2,1 g K, >1,4 g Si, >1,3 g Ca, >0,4 g Mg, >0,3 g P, >0,3 g S, >124 mg Fe, >11,8 mg Mn, >4,9 mg B, >4,1 mg Zn y >3,4 mg Cu a los 300 días después de siembra. Asimismo, la biomasa alcanzada fue de 138,5 bajo una acumulación de 3848,2 grados días de temperatura para la zona pacífico sur de Costa Rica.

LITERATURA CITADA

- Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones Agronómicas, INPOFOS 57(1):1-10.
- Bertsch, F. 2009. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 308 p.
- Boniche, J; Alvarado, A; Molina, E; Smyth, T. 2008. Variación estacional de nutrimentos en hojas de pejobaye para palmito en Costa Rica. Agronomía Costarricense 32(1):55-72.
- Brown, P; Hu, H. 1998. Boron mobility and consequent management in different crops. Bayer Crops 82(2):28-31.
- Cabalceta, G; Molina, E. 2006. Niveles críticos de nutrimentos en suelos de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich 3. Agronomía Costarricense 30(2):31-44.
- Corley, R; Tinker, P. 2003. The Oil Palm. 4 ed. Oxford. Blackwell Science. Reino Unido. 592 p.
- Czeschlik, D. 2005. Nutrient acquisition by plants. Springer. Berlin, Alemania. 348 p.
- Datnoff, L; Elmer, W; Huber, D. 2007. Mineral nutrition and plant disease. American Phytopathological Society - Press. St Paul. USA. 278 p.
- Dislich, C; Keyel, A; Salecker, J; Kisel, Y; Meyer, K; Auliya, M; Barnes, A; Corre, M; Darras, K; Faust, H; Hess, B; Klasen, S; Knohl, A; Kreft, H; Mejjide, A; Nurdiansyah, F; Otten, F; Peer, G; Steinebach, S; Tarigan, S; Tolle, M; Tschardtke, T; Wiegand, K. 2016. A review of the ecosystem functions in oil palm plantations, using forests as a reference system. Biological Reviews 92(1):1539-1569. Doi: 10.1111/brv.12295
- Fairhurst, T; Härdter, R. 2012. Palma aceitera. Manejo para rendimientos altos y sostenibles. International Plan Nutrition Institute (IPNI) y International Potash Institute (IPI). Ecuador. 404 p.
- Fallas, R; Bertsch, F; Echandi, C; Henríquez, C. 2011. Caracterización del desarrollo y absorción de nutrimentos del híbrido de maíz HC-57. Agronomía Costarricense 35(2):33-47.
- FAO (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación). 1980. La palma de aceite. Serie mejores cultivos. Roma, Italia. 40 p.
- Foster, H; Choong, C. 1976. Seasonal fluctuations in oil palm leaf nutrient levels. Mardi Res. Bull 5(2):74-90.
- Garbanzo, G; Molina, E; Ramírez, F; Serrano, E. 2018. Evaluación de Si aplicado al suelo en el crecimiento, absorción y severidad de enfermedades en viveros de palma aceitera. Agronomía Costarricense 42(1):91-114.
- Hormaza, J; Ibarra-Rurales, A; Reyes-Cuesta, J. 2012. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 36(1):1-10.
- Ibarra-Rurales, A; Reyes-Cuesta, J. 2015. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 39(1):1-10.
- Moore, G. 2005. Nutrient requirements of oil palm. In: Oil palm: production, nutrition and management. Ed. by G. Moore. Elsevier, Amsterdam. 1-10.
- Muñoz, R; Ramírez, F. 2010. Nutrient requirements of oil palm. In: Oil palm: production, nutrition and management. Ed. by G. Moore. Elsevier, Amsterdam. 1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2012. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 36(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2015. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 39(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2018. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 42(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2019. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 43(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2020. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 44(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2021. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 45(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2022. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 46(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2023. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 47(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2024. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 48(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2025. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 49(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2026. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 50(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2027. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 51(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2028. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 52(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2029. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 53(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2030. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 54(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2031. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 55(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2032. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 56(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2033. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 57(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2034. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 58(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2035. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 59(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2036. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 60(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2037. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 61(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2038. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 62(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2039. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 63(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2040. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 64(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2041. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 65(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2042. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 66(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2043. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 67(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2044. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 68(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2045. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 69(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2046. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 70(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2047. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 71(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2048. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 72(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2049. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 73(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2050. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 74(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2051. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 75(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2052. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 76(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2053. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 77(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2054. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 78(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2055. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 79(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2056. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 80(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2057. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 81(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2058. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 82(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2059. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 83(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2060. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 84(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2061. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 85(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2062. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 86(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2063. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 87(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2064. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 88(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2065. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 89(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2066. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 90(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2067. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 91(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2068. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 92(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2069. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 93(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2070. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 94(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2071. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 95(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2072. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 96(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2073. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 97(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2074. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 98(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2075. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 99(1):1-10.
- Reyes-Cuesta, J; Ibarra-Rurales, A; Hormaza, J. 2076. Crecimiento y desarrollo de las plántulas de palma aceitera. Agronomía Costarricense 100(1):1-10.

- Heriansyah, C; Tan, C. 2005. Nursery practices for production of superior oil palm planting materials. *The Planter* 81(948):159-171.
- Hew, C; Toh, P. 1973. The effects of nursery manuring on the growth and nutrition of oil palm seedlings. In Weastie, RL; Earp DA. *Advances in oil palm cultivation*. The Incorporated Society of Planters. Kuala Lumpur. 469 p.
- Hormaza, P; Fuquen, E; Romero, H. 2012. Phenology of the oil palm interspecific hybrid *Elaeis Oleífera* x *Elaeis guineensis*. *Scientia Agricola* 69:275-280.
- Ibarra-Rurales, L; Reyes-Cuesta, R. 2015. Crecimiento en vivero de las palmas aceiteras *Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis* y *Elaeis guineensis* x *Elaeis guineensis* en Tumaco Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología agropecuaria Mosquera* (Colombia) 16(2):239-250.
- INM (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. *Clima variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. San José, Costa Rica. 75 p.
- IPNI (International Plan Nutrition Institute). 2012. 4R de la nutrición de plantas. Norcross, EE. UU. 68 p.
- Iremiren, G; Ataga, D; Thomas, G. 1986. Frequencies of applying two fertilizer mixtures to polybag oil-palm seedlings. *Fertilizer Research* 10(1):237-242.
- Kasno, A; Anggria, L. 2016. Increasing Growth of oil palm seedling with N P K fertilization. *Jurnal Littri* 22(3):107-114. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/littri.v22n3.2016.107-114>
- Kone, B; Yte, W; Sekou, D; Konan, J; Koutou, A; Konan, K; Zouzou, M. 2014. Organic and mineral fertilization of oil palm at the nursery stage. *European Scientific Journal*. 10(24):254-269.
- Lobo A. 2013. Validación de un protocolo para la determinación de silicio (Si) en muestras de suelo y tejidos vegetales. Tesis Lic. Universidad de Costa Rica. San Pedro, Costa Rica. 95 p.
- Mathews, J; Chong, K; Yong, K; Ip W. 2008. Raising pre-nursery oil palm seedlings in plastic pot trat - an IOI group Experience. *The Planter Kuala Lumpur* 84 (986):285-297.
- Mathews, J; Tan, T; Yong, K; Chong, K; Ng, S; Ip W. 2010. Managing oil palm nursery: IOI's experience. *The Planter* 86(1016):771-785.
- Mengel, K; Kirkby, E; Kosegarten, H; Apple, T. 2001. *Principles of plant nutrition*. 5 ed. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 851 p.
- Mite, F; Carrillo, M; Espinosa, J. 1999. Influencia de la fertilización y el riego sobre el desarrollo, nutrición y rendimiento de la Palma Africana en Ecuador. *INPOFOS. Informaciones Agronómicas* 36:1-16.
- Munevar, F; Romero, A. 2015. Soil and Plant silicon status in oil palm crops in Colombia. *Experimental Agriculture* 51(3):382-392. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0014479714000374>
- Pirker, J; Mosnier, A; Kraxner, F; Havlik, P; Obersteiner, M. 2016. What are the limits to oil palm expansion?. *Global Environmental Change* 40(1):73-81. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.007>
- Posso, J. 2010. Evaluación de diferentes dosis de compost y lombricompost aplicado al suelo de vivero de palma aceitera (*Elaeis guineensis*). Tesis especialista. Universidad Nacional de Colombia. 90 p.
- Ramírez, F; Muñoz, F. 2010. Curva de nutrientes para la etapa de vivero de tres materiales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) (en línea). Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, Ecuador. Consultado 08 agosto 2018. Disponible en <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/2.-Floria-Ramirez.-Curva-materiales-vivero.-PALMATICA-Costa-Rica.pdf>
- Reyes, R; Rodríguez, H; Peña, E; Bastidas, S. 2008. Crecimiento de vivero de materiales comerciales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Tumaco, Colombia. *Rev. CORPOICA - Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 9(2):12-18.
- Rhebergen, T; Fairhurst, T; Zingore, S; Fischer, M; Oberthür, T; Whitbread, A. 2016. Climate, soil and land-use based land suitability evaluation for oil palm production in Ghana. *European Journal of Agronomy* 81:1-14. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.004>
- Rosenani, A; Rovica, R; Cheah, R; Lim, C. 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* (1):1-8. Doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6930735>
- Santacruz, L; Cristancho, J; Munévar, F. 2004. Variación temporal de los niveles foliares de nutrientes y su relación con la fertilización, la lluvia y el rendimiento de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) en la plantación Guaicaramo (Meta, Colombia). *Palmas* 25(3):160-169.
- Shampazuraini, S; Siti, W; Husein, A; Nuzul A. 2016. Effect of different fertilizers on oil palm (*Elaeis guineensis*) growth and performance at nursery stage in Felda Sungai Tekam. *International Journal of Advanced Research*. 4(12):1127-1131. Doi: 10.21474/IJAR01/2501
- Umaña, C; Chinchilla, C; Richardson, D. 1990. Material de desarrollo avanzado en viveros de palma aceitera

- (*Elaeis guineensis*) II. Condiciones del sustrato. Turrialba 40(1):440-451.
- Velasco, V. 1999. Papel de la nutrición mineral en la tolerancia a las enfermedades de las plantas. Terra Latinoamericana 17(3):193-200.
- Woittiez, L; Wijk, M; Slingerland, M; Noordwijk, M; Giller, K. 2017. Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. European Journal of Agronomy 83(1):57-77. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.002>
- Zaharah, A; Zulkifli, H; Sharifuddin, H. 1997. Evaluating the efficacy of various phosphate fertiliser sources for oil palm seedlings. Nutrient Cycling in Agroecosystems 47(1):93-98.



Todos los derechos reservados. Universidad de Costa Rica. Este artículo se encuentra licenciado con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr