

Condición nutricional de cultivos en sistemas de producción agroforestal con Palma Africana (*Elaeis guineensis* Jacq.)¹

 **Furcal-Beriguete, Parménides**
Robles-Argüello, Zeydi

 **Salazar-Díaz, Ricardo**

Condición nutricional de cultivos en sistemas de producción agroforestal con Palma Africana (*Elaeis guineensis* Jacq.)¹

Tecnología en marcha, vol. 36, núm. 2, pp. 75-85, 2023

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=699875484007>

Condición nutricional de cultivos en sistemas de producción agroforestal con Palma Africana (*Elaeis guineensis* Jacq.)¹

Nutritional status of crops in agroforestry production systems with African Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.)

Parménides Furcal-Beriguete

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

pafurcal@itcr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0001-8695-4523>

Zeydi Robles-Argüello

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

zeidyrobles@gmail.com

Ricardo Salazar-Díaz

Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

risalazar@itcr.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-1954-0133>

Recepción: 14 Diciembre 2021

Aprobación: 02 Abril 2022



Acceso abierto diamante

Resumen

El objetivo fue evaluar el estado nutricional de los cultivos de un sistema agroforestal (SAF), del monocultivo *Elaeis guineensis* y la absorción de nutrientes de *Cordia megalantha* a la edad de dos años. Se muestrearon cinco parcelas de tres años de edad establecidas por la Iniciativa Osa & Golfito (INOGO) en diferentes localidades en la región sur de Costa Rica. Cada parcela constaba con dos tratamientos: un SAF integrado por *E. guineensis*, *C. megalantha*, *T. cacao* y *Musa* sp, y el monocultivo de *E. guineensis*. En dos ocasiones (2019 y 2020), en cada parcela se muestreó hojas y frutos en cinco plantas seleccionadas al azar en los cultivos, para determinar contenido de nutrimentos; en *C. megalantha* se midieron solamente tres árboles, obteniéndose, además el crecimiento anual; sin embargo, para obtener el rendimiento unitario de madera, usado en la absorción de nutrientes, se midió alrededor del 50% de los árboles plantados (42 árboles/ha). Los resultados fueron analizados estadísticamente con las parcelas como bloques, donde la variable estado nutricional de *E. guineensis* en los dos tratamientos no mostró diferencias significativas, en este cultivo los nutrientes deficientes recurrentes en las hojas fueron el Zn y el K. En tanto, *T. cacao* y *Musa* sp. presentaron mayores deficiencias en el contenido de Ca-Mg-Zn y K-Zn respectivamente. Se estimó que, en promedio, una hectárea de *C. megalantha* de dos años de edad extrajo en kg: 3,04 de Ca; 3,04 de N; 1,95 de K; 0,48 kg de Mg y 0,23 kg de P.

Palabras clave: Contenido de nutrientes en hojas, absorción de nutrientes, sistema agroforestal, *Cordia megalantha*, *Theobroma cacao*, *Musa* sp.

Abstract

The objective was to evaluate the nutritional status of the crops of an agroforestry system (SAF), of the monoculture *Elaeis guineensis* and the absorption of nutrients from *Cordia megalantha* at the age of two years. Five three-year-old plots established by the Initiative Osa & Golfito (INOGO) were sampled in different locations in the southern region of Costa Rica. Each plot consisted of two treatments: a SAF composed of *E. guineensis*, *C. megalantha*, *T. cacao* and *Musa* sp, and the monoculture of *E. guineensis*. On two occasions (2019 and 2020), in each plot leaves and fruits were sampled on five plants randomly selected in the crops, to determine nutrient content; in *C. megalantha* only three trees were measured, obtaining, in addition, the annual growth; however, to obtain the unit yield of wood, used in nutrient absorption, about 50% of the trees planted were measured (42 trees/ha). The results were statistically analyzed with the plots as blocks, where the variable nutritional status of *E. guineensis* in the two treatments showed no significant differences, in this crop the recurrent deficient nutrients in the leaves were Zn and K. Meanwhile, *T. cacao* and *Musa* sp. had greater deficiencies in the content of Ca-Mg-Zn and K-Zn respectively.

It was estimated that, on average, one hectare of *C. megalantha* aged two years extracted in kg: 3.04 Ca; 3.04 of N; 1.95 K; 0.48 kg of Mg and 0.23 kg of P.

Keywords: Nutrient content in leaves, nutrient absorption, agroforestry system, *Cordia megalantha*, *Theobroma cacao*, *Musa* sp.

Introducción

En Costa Rica, la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) es el segundo cultivo perenne con mayor área sembrada, aproximadamente 76.910 hectáreas se encuentran dedicadas a su producción, con un alcance en el 2018 de 1 087 800 tm [1], y una exportación del 65% de la producción de aceite [2], principalmente a México. En la región Brunca, el cultivo de *E. guineensis* tiene gran importancia e impacto en los sectores económico, social y ambiental [3]; en esta zona se concentra el 68% del área cultivada a nivel nacional [2]. En los cantones de Osa y Golfito es el principal cultivo agrícola en producción. sin embargo, el monocultivo en el que se produce y su expansión es vista por los ambientalistas como una amenaza [3].

El monocultivo es una práctica que contribuye al deterioro del suelo tanto físico, químico como biológico. En el cultivo de *E. guineensis* los problemas más comunes son el daño a la estructura del suelo que causa compactación lo que genera mayor escorrentía superficial [4], intensificando la pérdida de nutrientes y materia orgánica a causa de la erosión. Esta pérdida tiene influencia en la expresión fenotípica y rendimiento de los cultivos.

La situación descrita permite establecer modelos más estables, entre ellos, los sistemas agroforestales representan una oportunidad para reducir el impacto ambiental del monocultivo de *E. guineensis*. Sin embargo, no es posible generalizar debido a que el impacto en servicios ambientales (liberación de biomasa, reciclaje y uso eficiente de nutrientes, fijación y almacenamiento de carbono, mejora en la infiltración del agua, conservación de la biodiversidad, entre otros) depende de las características de cada sitio y los cultivos presentes en cada sistema, de manera que la presente investigación se manifiesta interesante, ya que contribuye a generar conocimiento sobre interacciones biológicas y nutricionales en la producción de *E. guineensis* y demás cultivos dentro de un sistema agroforestal.

Esta investigación forma parte de la Iniciativa Osa & Golfito (INOGO), que plantea desarrollar una estrategia para el desarrollo humano sostenible y la gestión ambiental en los cantones de Osa y Golfito de Costa Rica. El núcleo de acción es una colaboración entre actores de la región e instituciones públicas y privadas en Estados Unidos y Costa Rica, facilitado por el Stanford Woods Institute for the Environment de la Universidad de Stanford [3]. El Laboratorio Experimental de Palma Africana (LAPA) forma parte de esta iniciativa, investigando el impacto de entremezclar la *E. guineensis* con *Musa* sp., *Cordia megalantha* y *Theobroma cacao*, con el fin de determinar la capacidad de este sistema de compensar la pérdida de biodiversidad que ocurre en las plantaciones tradicionales. De manera que el objetivo de esta investigación fue evaluar el estado nutricional de los cultivos que conforman el sistema agroforestal (*E. guineensis* con *Musa* sp., *Cordia megalantha* y *Theobroma cacao* y la extracción de nutrientes de *C. megalantha* a una edad específica en el proyecto LAPA en los cantones de Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica.

Materiales y métodos

Localización del estudio

El área en estudio estuvo conformada de cinco parcelas ubicadas en las localidades de Chacarita, Piedras Blancas, Rancho Quemado, La Palma y La Guaría; las tres primeras pertenecen al cantón de Golfito, mientras que las dos últimas se localizan en el cantón de Osa, ambos en la provincia de Puntarenas, Costa Rica. Estas fueron establecidas y conducidas por el Laboratorio Experimental de Palma Africana Sostenible (LAPA) de la Iniciativa Osa & Golfito (INOGO).

El cantón de Golfito se localiza en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano y el cantón de Osa en Bosque Muy Húmedo Tropical [5], presentan altas precipitaciones con promedios mensuales de 347,7 mm y 334,0 mm y altas temperaturas con rangos de 23,5 °C a 29,2 °C en Golfito y para la localidad de Piedras Blancas la precipitación promedio es de 509,9 mm y rango de temperatura de 21,9°C a 31,8 °C en Río Claro [6].

Los órdenes de suelos son Ultisoles principalmente, además asociación Entisoles-Inceptisoles e Inceptisoles, según el mapa de suelos de Costa Rica [7], figura 1.

Los trabajos de campo se iniciaron en el primer semestre del año 2019 y finalizaron en noviembre de 2020. Las parcelas fueron establecidas en el año 2016, principalmente entre los meses de agosto a octubre, con la siembra de todos los cultivos, excepto las plántulas de *C. megalantha* y la parcela en Chacarita que se establecieron en el año 2017.

Se tomaron muestras de suelos para conocer la fertilidad química a través de análisis con las soluciones extractoras KCl y Olsen Modificado. La acidez fue determinada por valoración con NaOH y el Al con HCl; el P y S por colorimetría con el Analizador de Inyección de Flujo (FIA) y el resto de los elementos por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

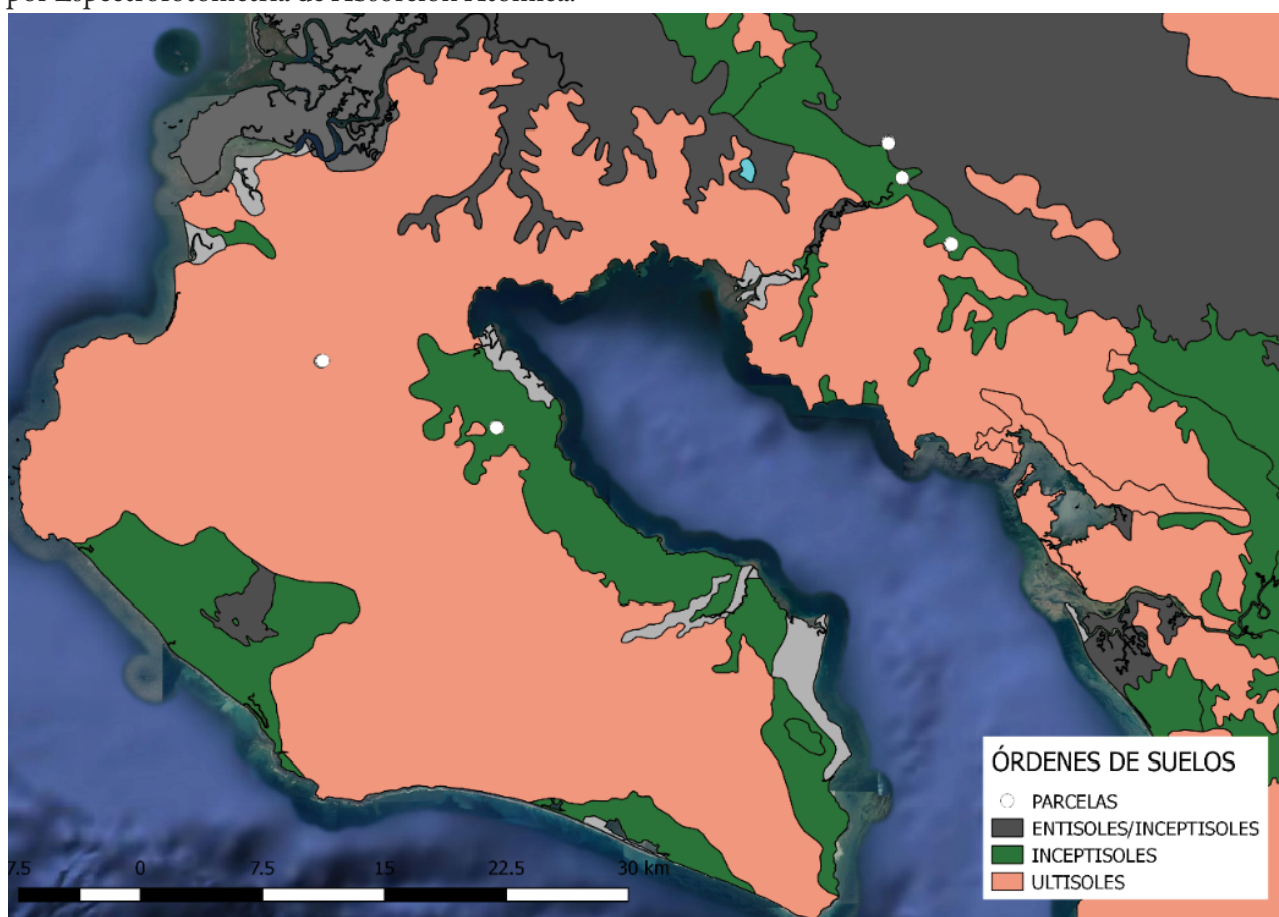


Figura 1.

Órdenes de suelos presentes en las parcelas del proyecto LAPA, Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica. Fuente: Elaborado con base en CIA 2020.

Figura 1. Órdenes de suelos presentes en las parcelas del proyecto LAPA, Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica. Fuente: Elaborado con base en CIA 2020.

Para las variables nutricionales se tomaron cinco plantas seleccionadas al azar de cada cultivo, excepto de *C. megalantha* que se midieron en tres árboles.

En *E. guineensis* se determinó materia seca y contenido nutricional en la hoja Nº 9 según la metodología descrita por [8]. Para *T. cacao* y *C. megalantha* se cosechó la tercera y cuarta hoja de ramas en los cuatro lados del árbol [9]. En *Musa sp.* se cosechó una parte del tercio medio de la lámina de la tercera hoja abierta más joven de plantas en floración o próximas a floración [10].

El estado nutricional en *E. guineensis* se evaluó con la guía de concentración de nutrientes (hoja Nº 17) de palmas jóvenes menores de 6 años según von Uexküll y Fairhurst, citado por [11]. Mientras que en *T. cacao* se realizó mediante la guía de rangos definidos por Abreu, citado por [12] y para las musáceas se utilizó la guía utilizada por CORBANA S.A., citada por [13].

Variables de rendimiento de *C. megalantha*

Se cosechó madera de ramas en los cuatro lados del árbol, además se midió la altura desde la base del tronco hasta la copa y la circunferencia del tallo tomado a 1,30 m de altura. Luego se calculó el diámetro a la altura del pecho (DAP), y a partir de este y la altura en *C. megalantha* se obtuvo el volumen de árboles en pie, según la fórmula: f , donde f es el factor de forma ($f=0,5$).

Además, se calcularon las siguientes variables: incremento medio anual en diámetro (IMAD), en altura (IMAH) y en volumen (IMAV). El IMA es obtenido por la división del mayor valor actual de la variable considerada (diámetro, altura, volumen), entre la edad del árbol [14].

Diseño experimental y arreglo de tratamientos

El experimento constó de cinco parcelas con dos tratamientos cada una, sistema agroforestal (SAF) y monocultivo de palma, con un área de 5 000 m² cada tratamiento. Estos fueron un SAF que combinó *E. guineensis* sembrada 9 m x 12 m para un total de 93 plantas/ha, *C. megalantha* (42 árboles/ha), *T. cacao* (632 árboles/ha) y *Musa* sp. (plátano, banano o cuadrado) (976 plantas/ha) y un control con *E. guineensis* en diseño “tresbolillo” con 9 m x 9 m.

Se utilizó un Diseño de Parcelas Divididas con Bloqueo, con dos tratamientos y cinco repeticiones (localidades) por tratamiento. El factor A correspondió a cada parcela (cinco), el factor B correspondió a dos tratamientos dentro de cada parcela. Se usó la prueba de comparación de medias DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves), con un nivel de significancia de 0,05 [15].

Resultados

Estado nutricional de los cultivos dentro del proyecto y extracción de nutrientes en madera de laurel (*C. megalantha*)

La concentración de nutrientes en las hojas de palma africana de aceite, tanto en sistemas agroforestales (SAF) como en monocultivo, para dos años consecutivos se visualizan en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1.

Concentración de nutrientes en hojas Nº 9 de *E. guineensis* en monocultivo de las cinco localidades del proyecto LAPA, Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica. 2019 – 2020.

Sistema	Elemento	Piedras Blancas	Chacarita	La Guaria	Rancho Quemado	La Palma	Media
Monocultivo 2019	Nt	2,56 O	2,89 O	2,76 O	2,76 O	3,00 O	2,79
	K	1,20 O	0,98 D	0,94 D	0,63 D	0,60 D	0,87
	Ca %	0,74 E	0,79 E	0,68 O	0,79 E	0,60 O	0,72
	Mg	0,17 D	0,25 O	0,36 O	0,43 O	0,34 O	0,31
	P	0,15 D	0,17 O	0,18 O	0,15 D	0,16 O	0,16
	Zn	10 D	9 D	9 D	14 D	8 D	10,00
	Fe mg/L	67	62	52	79	54	62,80
	Mn	53	139	122	384	101	159,8
	Cu	4 O	4 O	2 D	7 O	6 O	4,60
	Nt	2,74 O	2,64 O	2,63 O	2,58 O	2,42 D	2,60
Monocultivo 2020	K	0,61 D	0,60 D	0,57 D	0,63 D	0,81 D	0,64
	Ca %	0,89 E	0,67 O	0,73 E	0,73 E	0,56 O	0,72
	Mg	0,16 D	0,23 O	0,25 O	0,47 E	0,39 O	0,30
	P	0,18 O	0,17 O	0,16 O	0,14 D	0,15 D	0,16
	Zn	7 D	6 D	7 D	14 D	11 D	9,00
	Fe mg/L	58	62	62	52	49	56,60
	Mn	56	112	122	298	169	151,4
	Cu	6 O	6 O	7 O	10 E	11 E	8,00

Nota: D, Deficiente; O, Optimo; E, Exceso. Datos sin letras no tienen punto de comparación. Adaptado de Fairhurst y Mutert 1999.

Cuadro 2.

Concentración de nutrientes en hojas Nº 9 de *E. guineensis* en el SAF de las cinco localidades del proyecto LAPA, Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica. 2019 – 2020.

Sistema	Elemento	Piedras Blancas	Chacarita	La Guaria	Rancho Quemado	La Palma	Media
SAF 2019	Nt	2,72 O	2,77 O	2,65 O	3,07 O	2,87 O	2,82
	K	0,58 D	0,72 D	0,86 D	0,59 D	0,76 D	0,70
	Ca %	0,82 E	0,82 E	0,79 E	0,90 E	0,55 O	0,78
	Mg	0,15 D	0,21 O	0,29 O	0,50 E	0,35 O	0,30
	P	0,15 D	0,39 E	0,16 O	0,17 O	0,15 D	0,20
	Zn	9 D	9 D	18 O	12 D	11 D	11,80
	Fe mg/L	62	58	51	77	65	62,60
	Mn	35	63	74	392	133	139,4
	Cu	2 D	3 D	1 D	6 O	7 O	3,80
	Nt	2,73 O	2,66 O	2,53 O	2,54 O	2,52 O	2,60
SAF 2020	K	0,60 D	0,68 D	0,55 D	0,58 D	0,83 D	0,65
	Ca %	0,85 E	0,92 E	0,70 O	0,70 O	0,51 O	0,74
	Mg	0,16 D	0,20 O	0,25 O	0,42 O	0,37 O	0,28
	P	0,18 O	0,17 O	0,17 O	0,15 D	0,15 D	0,16
	Zn	5 D	6 D	7 D	13 D	9 D	8,00
	Fe mg/L	47	43	47	52	45	46,80
	Mn	32	74	90	300	182	135,6
	Cu	5 O	5 O	5 O	12 E	10 E	7,40

Nota: D, Deficiente; O, Optimo; E, Exceso. Datos sin letras no tienen punto de comparación.

Cuadro 3

Concentración de nutrientes en hoja Nº 3 de T. cacao en las cinco localidades del proyecto LAPA, Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica. 2019 – 2020.

Sistema	Elemento	Piedras Blancas	Chacarita	La Guaria	Rancho Quemado	La Palma	Media
SAF 2019 P	Nt	1,97 O	2,14 O	1,97 O	2,17 O	2,06 O	2,06
	K	1,29 A	1,85 A	1,54 A	1,12 O	1,19 O	1,40
	Ca	% 1,60 B	1,05 B	1,64 B	1,03 B	1,03 B	1,27
	Mg	0,34 B	0,34 B	0,43 B	0,54 B	0,55 B	0,44
	P	0,18 A	0,19 A	0,16 A	0,17 A	0,16 A	0,17
	Zn	27 B	24 B	35 O	21 B	43 O	30,00
	Fe	58 O	47 O	72 A	69 A	44 O	58,00
	Mn	mg/L 176 B	175 B	411 O	536 A	655 A	390,6
	Cu	6 O	4 B	4 B	9 A	8 O	6,20
	Nt	1,81 O	2,01 O	1,73 O	2,08 O	1,64 O	1,85
SAF 2020 P	K	1,08 O	1,41 A	1,17 O	0,75 O	0,80 O	1,04
	Ca	% 1,71 O	1,44 B	1,35 B	1,09 B	1,19 B	1,36
	Mg	0,38 B	0,40 B	0,51 B	0,69 O	0,64 O	0,52
	P	0,16 A	0,20 A	0,21 A	0,16 A	0,15 A	0,18
	Zn	37 O	30 B	35 O	15 B	49 O	33,20
	Fe	55 O	41 O	48 O	63 O	52 O	51,80
	Mn	mg/L 387 O	251 O	255 O	590 A	700 A	436,6
	Cu	6 O	9 A	7 O	11 A	8 O	8,20

Nota: D, deficiente; O, óptimo; A, alto. Basado en los rangos Adaptados de Puentes et al. 2016.; Nt, nitrógeno total.

Los resultados de los análisis químicos de hojas del cultivo de cacao se muestran en el cuadro 3, de igual modo los valores promedios de musáceas y laurel negro para los dos años de estudios de las cinco parcelas experimentales se pueden observar en el cuadro 4, excepto para musáceas en las parcelas de La Palma y Rancho Quemado en el año 2019, año que al momento del muestreo las plantas aún no se encontraban en la edad próximo a floración propuesta para los análisis.

Cuadro 4

Concentración promedio y desviación estándar de nutrientes en las hojas y madera de laurel y hojas de musáceas, en Sistema Agroforestal (SAF) de las cinco localidades del proyecto LAPA, Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica. 2019 – 2020.

			Nt	K	Ca	Mg	P	Zn	Fe	Mn	Cu
			%					mg/L			
Hojas	2019	Media	2,44	2,00	3,04	0,59	0,22	12,4	66,6	54,4	15,4
		Dest	0,283	0,337	0,228	0,244	0,06	1,497	15,907	28,682	2,154
	2020	Media	2,14	1,80	3,49	0,58	0,30	10,2	59,4	29,4	18,4
		Dest	0,224	0,532	0,457	0,191	0,129	1,166	11,128	10,726	2,728
Madera	2019	Media	0,92	1,07	1,31	0,17	0,17	11,6	11,6	13,8	9,6
		Dest	0,253	0,248	0,301	0,032	0,047	2,683	2,683	4,561	1,789
	2020	Media	0,92	1,26	2,04	0,23	0,21	16,0	16,0	9,00	17,2
		Dest	0,812	0,13	0,24	0,116	0,066	2,828	2,828	1,571	3,715
Musáceas	2019	Media	2,94	3,00	0,82	0,20	0,21	9,3	75,0	214	4,00
		Dst	0,537	0,566	0,261	0,058	0,042	1,247	9,626	33,49	2,16
	2020	Media	2,5	2,63	0,54	0,25	0,21	7,4	82,2	287,2	8,6
		Dst	0,466	0,774	0,165	0,053	0,052	1,497	15,892	81,14	1,96

Nota: Dest., desviación estándar; Nt, nitrógeno total

A los dos y tres años de establecidos los árboles de *C. megalantha*, se hicieron mediciones en tres árboles de cada parcela, los valores de diámetro, altura y volumen, y los resultados obtenidos de incremento anual en estas variables se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5

Promedio del diámetro, altura, volumen y el incremento medio anual (IMA) de *C. megalantha* en las cinco parcelas de evaluación en el SAF, Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica. 2019-2020.

Localidad	DAP (cm)	IMAD (cm)	Altura (m)	IMAH (m)	Volumen (m ³)	IMAV (m ³)
2019						
Piedras Blancas	8,16	4,08	4,31	2,16	0,014	0,007
Chacarita	8,21	4,11	4,48	2,24	0,015	0,007
La Guaria	4,55	2,28	4,39	2,19	0,004	0,002
Rancho Quemado	9,89	4,94	4,63	2,31	0,019	0,009
La Palma	7,79	3,89	4,60	2,30	0,012	0,006
Promedio	7,72	3,86	4,48	2,24	0,013	0,006
2020						
Piedras Blancas	15,31	5,10	7,11	2,37	0,090	0,045
Chacarita	16,17	5,39	8,17	2,72	0,085	0,042
La Guaria	7,81	2,60	5,20	1,73	0,013	0,007
Rancho Quemado	17,20	5,73	8,33	2,78	0,104	0,052
La Palma	13,01	4,34	7,12	2,37	0,050	0,025
Promedio	13,90	4,63	7,19	2,39	0,068	0,034

Nota: DAP, Diámetro a la Altura del Pecho. IMAD, Incremento Medio Anual del Diámetro. IMAH, Incremento Medio Anual de la Altura. IMAV, Incremento Medio Anual del Volumen.

Se realizó una estimación de la absorción de nutrientes por el fuste del árbol de *C. megalantha*, a partir de la productividad en volumen de madera comercial en el año 2019, el porcentaje de materia seca de

madera y la concentración de nutrientes en este porcentaje, y la densidad de siembra, se observa que la extracción está supeditada mayormente a la productividad (cuadro 6).

Cuadro 6

Estimación de la cantidad de nutrimentos extraídos por el fuste de *C. megalantha* por hectárea y productividad promedio por volumen del cultivo en las condiciones de las cinco parcelas de evaluación en el SAF, Osa y Golfito, Puntarenas, Costa Rica. 2019 – 2020.

Localidad	Nt	K	Ca	Mg	P	Mn	Zn	Cu	Fe	Árboles ha-1	Materia seca	Volumen unitario*
	kg/ha					gr/ha					(%)	(m3)
P.Blancas	0,39	0,72	1,02	0,09	0,09	0,96	0,78	0,54	4,28	42	41,00	0,0035
Chacarita	2,86	3,53	4,47	0,54	0,43	3,21	4,28	2,68	27,82	42	35,39	0,0180
La Guaria	0,34	0,6	0,6	0,05	0,13	0,58	0,53	0,34	2,37	42	38,41	0,0030
Rancho Q	11,38	4,67	8,84	1,64	0,49	18,01	5,73	7,37	6,15	42	37,49	0,0520
La Palma	0,21	0,25	0,27	0,05	0,03	0,18	0,28	0,33	1,59	42	38,41	0,0016
Promedio	3,03	1,95	3,04	0,48	0,23	4,59	2,32	2,25	8,44	42	38,14	0,01562

*Obtenido por M. Guevara (2019) y L. Mack (2019), a partir de árboles de 2 años de edad con un mínimo de 1,30 m de altura. Escuela de Ingeniería Forestal del Tecnológico de Costa Rica; Nt, nitrógeno total.

Discusión

Estado nutricional de Palma Africana (*Elaeis guineensis*)

El estado nutricional del cultivo de *E. guineensis* no mostró diferencias significativas (p -valor $> 0,05$) entre tratamientos. En palmas mayores de cuatro años después de la siembra, el muestreo se realiza en la hoja Nº 17, en cambio en menores de cuatro años como las de este estudio, el muestreo se hace en la hoja Nº 9 debido a la tasa de crecimiento en plantas jóvenes y la hoja Nº 17 puede tener solamente de cinco a seis meses de edad [8]. Por lo tanto, es aconsejable referirse a rangos óptimos en lugar de valores críticos en este cultivo [11]. La secuencia común de concentración de elementos mayores en *E. guineensis* fue $N > Ca > K > Mg > P$.

El contenido de nitrógeno total (Nt) se muestra óptimo en todas las localidades tanto en monocultivo como en SAF, excepto en la localidad La Palma en monocultivo en el 2020; el promedio fue de 2,60% a 2,82% (Cuadros 1 y 2). [16] menciona que varios investigadores reportan como nivel óptimo 2,5% para la hoja Nº 17 y 2,7 % para la hoja Nº 9.

El K mostró un contenido promedio de 0,64% y 0,87% en el monocultivo, y de 0,65% y 0,7% en el SAF, deficiente en ambos tratamientos, excepto en la parcela Piedras Blancas en monocultivo. Las consultas hechas por [16] reportan como nivel óptimo el valor de 1,0% de potasio en la hoja Nº 17 y de 1,25% para la hoja Nº 9. Esta deficiencia en *E. guineensis* podría estar relacionada por la falta de absorción del K, debido al efecto antagónico entre el magnesio y el potasio [17], en este estudio se encontró que el K está desbalanceado respecto al Ca y al Mg.

La concentración promedio de Ca fue de 0,7% a 0,78% para ambos tratamientos, clasificado como excesivo y alto, el rango óptimo es de 0,5% a 0,7% para la hoja Nº 17 en plantación menor a cuatro años, según von Uexküll y Fairhurst, citado por [11]. El alto contenido de calcio en las hojas puede ser debido a que en los resultados de análisis de suelos fueron altos, de acuerdo a los niveles propuesto por [18]. El estado óptimo de Ca en las hojas es importante en *E. guineensis*, ya que según Nair y Sreedharan citado por [19] el contenido de Ca en la hoja Nº 17 se correlaciona positivamente con el número de inflorescencias femeninas y con el peso de fruto fresco. El contenido promedio de Mg en este estudio fue de 0,3% (Cuadros 1 y 2), encontrándose deficiente únicamente en la localidad de Piedras Blancas, muy probable por el exceso de Ca respecto al Mg, cuyo valor mínimo fue de 14,21 y rango óptimo es de 2 a 5 [18].

Respecto al P, [11] reportan como rango óptimo de 0,16 % a 0,19 % en la hoja Nº 17 para planta menor de seis años y 0,16% para la hoja Nº 9 [16], por los valores obtenidos (Cuadros 1 y 2) Rancho Quemado y La Palma son los de patrón deficientes, quizás porque los suelos en esas dos localidades son los más deficientes en este elemento. Otro elemento con deficiencia generalizada en las hojas es el Zn, es posible que se deba a esa misma condición en el suelo y al patrón predominante de Ca alto en otras localidades.

Estado nutricional de *T. cacao*, *musa sp* y *C. megalantha*

En cacao (*Theobroma cacao*), para Nt se mantuvo óptimo en los dos años, mientras, mientras que el K tuvo una variación de adecuado a alto tanto en el 2019 como en el 2020 y P foliar mantuvo un comportamiento alto (Cuadro 3), esta especie al parecer es eficiente en la toma de P, dado que este elemento es deficiente en el suelo de todas las localidades, además que puede estar afectado por las condiciones de acidez en el suelo en la localidad de Rancho Quemado y por el alto contenido calcio en los suelos de las otras cuatro localidades. Por el comportamiento de los resultados del K, *T. cacao* es una especie eficiente en la toma de K, puesto que por sus condiciones en el suelo en tres localidades existen alta competencia con Ca y es deficiente en dos de ellas. La media del K en las hojas en cada finca siempre fue más alta en el año 2019 que en el 2020, tanto en cacao como en musáceas (cuadros 3 y 4), quizás por no aplicarse y las plantas absorben dado que ya estaban en producción. De acuerdo a los rangos de suficiencias adaptados por [12] este cultivo no es eficiente en la toma de Ca, puesto que es deficiente en las hojas con altos contenidos en el suelo según rangos propuesto por [18].

En cuanto musáceas (*Musa AAB* y *Musa ABB*), solamente se explica para el año 2020, debido a que en el 2019 no se muestreó en dos parcelas por no cumplir las plantas la edad mínima propuesta y en las localidades La Guaria y La Palma el subgrupo plantado fue Bluggoe (ABB) conocido en Costa Rica como “Cuadrado” por lo que los niveles de suficiencia no corresponden. Lo importante de rescatar es que, en las tres fincas restantes, respecto al plátano (AAB), el Nt, el P y los micronutrientes mostraron valores óptimos y altos, el Zn fue deficiente, quizás porque es deficiente en los suelos, según los niveles propuestos por [18]. La concentración en las hojas fue $K > N$ lo que coincide con la extracción encontrada por [20], seguido por $Ca > Mg > P$ (cuadro 4).

En Laurel (*Cordia megalantha*), el orden de concentración de nutrientes en las hojas fue: $Ca > N > K > Mg > P$ (cuadro 4), lo que difiere de la mayoría de las especies que siempre presentan un orden donde la mayor concentración es N o K. A los dos y tres años de establecidos los árboles de *C. megalantha*, se hicieron mediciones en tres árboles de cada parcela, el mayor incremento en diámetro, altura y volumen se registró en los árboles de la localidad de Rancho Quemado y el menor se registró en La Guaria como se observa en el Cuadro 5, resultados que coinciden con los obtenidos por [21], quizás debido a que en esta última localidad el drenaje del agua es muy limitado. [22] menciona que una especie que tiene un buen crecimiento es aquella que registra un incremento medio anual en diámetro (IMAD) superior a 2,5 cm y en altura (IMAH) superior a 1,20 m. Este mismo autor, obtuvo un incremento medio anual en diámetro de 3,2 cm y en altura de 1,3 m en árboles de *C. megalantha* de doce años de edad en asocio con *T. cacao*, sin embargo, los árboles en este estudio son de edad mucho menor, los cuales pueden tener un crecimiento más acelerado. Por otro lado, son árboles que contienen mucho contenido de agua, por lo que el porcentaje de materia seca tiene a ser baja.

El menor IMAD en este estudio fue 2.28 cm con un promedio de 3.86 cm y en cuando a IMAH el promedio fue de 2.24 cm en el 2019; para el 2020 el menor IMAD fue de 2.60 cm y el promedio de 4.63 cm y para el IMAH el menor valor fue de 1.73 cm y el promedio de 2.39 en las cinco localidades (cuadro 5). En Costa Rica en suelos Ultisol con potreros y bajo sombra, [23] encontraron en *C. megalantha* incrementos anuales menores a los obtenidos en esta investigación en árboles de la misma edad de tres años.

Extracción de nutrimentos por la cosecha

En promedio, una hectárea de *C. megalantha* de dos años de edad, con un volumen promedio de 0,0156 m³ por árbol y una densidad de 42 árboles/ha, presenta una absorción de macronutrientes de 3,04 kg de Ca; 3,03 kg de N; 1,95 kg de K; 0,48 kg de Mg y 0,23 kg de P en macronutrientes (cuadro 6).

Por lo anterior, el orden estimado de absorción por el fuste obtenido en este estudio es $Ca = N > K > Mg > P$, lo que difiere en parte, con lo reportado por González, citado por [21], que indica que la relación de absorción de macronutrientes por *C. megalantha* es $Ca > K > N > P > Mg$, [24] encontró este último orden de extracción en los fustes de *C. alliodora* de siete años de edad asociado con café en la zona de Turrialba.

Referencias

- [1] Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. Boletín estadístico agropecuario. 29 ed. S. Mora y Y. Quirós (eds.). MAG, San José, Costa Rica, 2019. [en línea] Disponible: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BEA-0029.PDF>
- [2] G. Rodríguez. “Análisis del desempeño de la cadena productiva de palma aceitera, 2004-2008”. SEPSA, Costa Rica, 2010. (01 octubre, 2019) [en línea] Disponible en http://www.infoagro.go.cr/Agronegocios/Documents/Cadena_Palma_publicable%2031-03-10.pdf
- [3] M. Román y J. E. Angulo. “Panorama socioeconómico de los cantones de Osa y Golfito: tendencias y desafíos para el desarrollo sostenible. INOGO”, Costa Rica, 2013. (01 octubre, 2019) [en línea] Disponible: http://inogo.stanford.edu/sites/default/files/Informe%20econ%C3%B3mico%20INOGO%20Feb%202013_2.pdf
- [4] I. E. Henson. “Impactos ambientales de las plantaciones de palma de aceite en Malasia” (original en inglés). Revista Palmas 16 no 4, pp. 49-66. 1995. (20 setiembre, 2019) [en línea]. Disponible: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/490/490>
- [5] R. Quesada. “Los bosques de Costa Rica”. Cartago, Costa Rica, ITCR, 2007. (4 octubre, 2019) [en línea]. Disponible: <http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponencias2007/RupertoQuesada.pdf>
- [6] Instituto Meteorológico Nacional. Promedios mensuales de datos climáticos de las estaciones meteorológicas ubicadas en los cantones de Osa y Golfito, Puntarenas, IMN, 2019. San José, Costa Rica.
- [7] Centro de Investigaciones Agronómicas. “Mapa digital de suelos de Costa Rica”, 2020. (25 enero, 2021) [en línea]. Disponible: http://www.cia.ucr.ac.cr/?page_id=139
- [8] F. Munévar, P. Franco, N. Arias. Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite. Boletín Técnico Nº 37. 3 ed. Bogotá, Colombia, SENA-Cenipalma. 2016. 68 p.
- [9] M. Carrillo. “El muestreo foliar en cacao”. Instituto Nacional Autónomo de Ciencias Agropecuarias (INIAP). Quevedo, Los Ríos, Ecuador, 2006. (19 setiembre, 2019) [en línea] Disponible: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3881/6/iniapeetp-P-429.PDF>
- [10] A. López y J. Espinosa. “Manual de nutrición y fertilización del banano”. Pococí, Costa Rica, IPNI. 1995. (25 octubre, 2019) [en línea] Disponible: [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/c093707b0327c2fe05257a40005f359f/\\$FILE/N%20F%20Banano.002.002.pdf/N%20F%20Banano.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/c093707b0327c2fe05257a40005f359f/$FILE/N%20F%20Banano.002.002.pdf/N%20F%20Banano.pdf)
- [11] T.H. Fairhurst and E. Mutert. “Interpretation and management of oil palm leaf analysis data”. Better Crops International 13 no1, pp. 48-51. (en línea) (04 diciembre 2020) Disponible: https://www.researchgate.net/profile/Thomas_Fairhurst/publication/237334825_Interpretation_and_Management_of_Oil_Palm_Leaf_Analysis_Data/links/54c9decd0cf2f0b56c24d3e6/Interpretation-and-Management-of-Oil-Palm-Leaf-Analysis-Data.pdf
- [12] Y.J. Puentes-Páramo, J.C. Menjívar-Flores, F. Aranzazu-Hernández. “Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao”. Agronomía Mesoamericana 27 no2, pp.329-336. 2016. [en línea] (19 diciembre, 2020). <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i2.19728>
- [13] D. Azofeifa. Efecto de la fertilización foliar con Ca, Mg, Zn y B en la severidad de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), en el crecimiento y la producción del banano (*Musa* AAA, cv. Grande Naine). Tesis Lic. ITCR, San Carlos, Costa Rica, TEC. 2007.
- [14] J. Imaña y O. Encinas. “Epidometría forestal”. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasil. 2008. [en línea] (25 octubre, 2020) Disponible: https://www.academia.edu/39203782/EPIDOMETRIA_FORESTAL

- [15] J. Di Rienzo, F. Casanoves, M. Balzarini, L. González, M. Tablada, C. Robledo, InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- [16] E. Owen. "Fertilización de la palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia". Revista Palmas 13 no2, pp. 39-64. 1992.
- [17] N. Durán. "Manejo de los suelos y fertilización en palma aceitera". In G. Meléndez, E. Molina (eds.). Memoria. Fertilidad de Suelos y Manejo de la Nutrición de los Cultivos en Costa Rica, 2001 [en línea] (1 setiembre, 2019). Disponible: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilidad%20de%20Suelos.pdf>
- [18] J.C. Méndez y F. Bertsch. Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. 1era ed. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José, Costa Rica, 2012.
- [19] E. Owen. "Fertilización de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) con elementos secundarios en varios suelos de Colombia". Palmas 15 no 3, pp.25-39.1994.
- [20] P. Furcal-Beriguete y A. Barquero-Badilla. "Fertilización del plátano con nitrógeno y potasio durante el primer ciclo productivo". Agron. Mesoam. 25 no2, pp. 267-278. 2014. doi 10.15517/am.v25i2.15429
- [21] L. Mack. "Evaluación de los sistemas de producción de palma africana (*Elaeis guineensis*) establecidos por el proyecto LAPA en la región de Osa-Golfito", Puntarenas, Costa Rica. Tesis Lic. TEC. Cartago, Costa Rica, 2019. 79 p. [en línea] (01 agosto, 2019) Disponible: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11173/evaluacion_sistema_agroforestal_monocultivo_palma_africana.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [22] Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. Programa de cacao y agroforestería. Informe técnico. La Lima, Cortés, Honduras. 2009. [en línea] (14 enero, 2021) Disponible: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A8119e/A8119e.pdf>
- [23] J. Cordero y D.H. Boshier.(eds.). "Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Turrialba, Costa Rica, OFI-CATIE. pp. 493-496. 2003. [en línea] (23 octubre, 2019) Disponible:<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/a11445e/a11445e.pdf>
- [24] H. W. Fassbender, L. Alpizar, J. Heuvelodop, G. Enríquez, H. Fölster. "Sistemas agroforestales de café (*Coffea arábica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica". III. Modelos de la materia orgánica y los elementos nutritivos. Turrialba 35 no4, pp. 403-413, 1985. [en línea] (07 marzo, 2021) Disponible: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3991/Sistemas_agroforestales_de_cafe.pdf?sequence=1&isAllowed=y