

Fertilización y nutrición sustentable de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en Tabasco, México

Fertilization and sustainable nutrition of oil palm (*Elaeis guineensis*) in Tabasco, Mexico

Sergio Salgado-García¹ ,
 David Jesus Palma-López¹ ,
 Joel Zavala-Cruz¹ ,
 Luz del Carmen Lagunes-
 Espinoza¹ ,
 Samuel Córdova-Sánchez^{2*} ,
 Mepivoseth Castelán-Estrada¹ ,
 Carlos Fredy Ortiz-García¹ ,
 Joaquín Alberto Rincón-
 Ramírez¹ ,
 Sergio Salgado-Velázquez¹ 

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Área ambiental y ciencia vegetal. Group MASCANA-CP. Periférico Carlos A. Molina s/n km 3 carr. Cárdenas-Huimanguillo Cárdenas, CP. 86500. Cárdenas, Tabasco, México.

²Universidad Popular de la Chontalpa, División de Ciencias Básicas e Ingenierías. CA-QVYDS. Carr. Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2.0, CP. 86500. Cárdenas, Tabasco, México.

*Autor de correspondencia: sacorsa_1976@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 14 de julio 2021

Aceptado: 13 de marzo 2023

Como citar: Salgado-García S, Palma-López DJ, Zavala-Cruz J, Lagunes-Espinoza LC, Córdova-Sánchez S, Castelán-Estrada M, Ortiz-García CF, Rincón-Ramírez JA, Salgado-Velázquez S (2023) Fertilización y nutrición sustentable de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(1): e3082. DOI: 10.19136/era.a10n1.3082

RESUMEN. El estado de Tabasco es principal productor de palma de aceite. El objetivo del presente trabajo fue generar una dosis de fertilización por subunidad de suelo y un rendimiento potencial para la palma de aceite. Se utilizó la metodología del Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilizantes (SIRDF). Se obtuvieron ocho polígonos de Thiessen, los cuales se agruparon en polígonos de baja (1 281 a 1 623 mm), mediana (1 830 a 1 977 mm) y alta precipitación (> 2 044 mm). Además de 13 subunidades de suelos, de las cuales 11 están cultivadas con palma de aceite: Leptosol Réndzico (Húmico), Luvisol Gléyico (Arcíllico, Éútrico, Diferéntico), Acrisol Gléyico Crómico (Éútrico, Francoso, Cutánico, Diferéntico), Calcisol Pétrico Cámbico (Francoso, Rúptico), Cambisol Gléyico Éútrico (Francoso), Phaeozem Réndzico Léptico Cámbico (Arcíllico), Vertisol Pélico (Gléyico, Mesotrófico, Estágnico), Fluvisol Gléyico Calcárico (Arcíllico), Gleysol Oxigléyico Dístrico (Arcíllico, Vértico), Lixisol Abrúptico (Arcíllico, Cutánico), y Arenosol Dístrico (Alúmico). El análisis de suelos indica de mediana a baja fertilidad con deficiencia de N, P, K, Ca, Fe, Zn, Cu, y B. Se generó la dosis de fertilizante para cada subunidad de suelo y para tres escenarios de rendimiento de fruta fresca. Se generó la recomendación de macro y micro nutrimentos para lograr una fertilización balanceada de la palma de aceite y su forma de aplicación.

Palabras clave: Dosis fertilizante, subunidad de suelo, rendimiento potencial.

ABSTRACT. The cultivation of oil palm in the state of Tabasco is the main producer. The objective of this work was to generate a fertilization dose per soil subunit and a potential yield for oil palm. The methodology of the Integrated System to Recommend Fertilizer Doses (SIRDF) was used. Eight Thiessen polygons were obtained, which were grouped into low (1 281 to 1 623 mm), medium (1 830 to 1 977 mm) and high precipitation (>2 044 mm) polygons. In addition to 13 soil subunits, of which only 11 are cultivated with oil palm: Leptosol Réndzico (Humic), Luvisol Gléyico (Arcíllico, Eutric, Diferéntico), Acrisol Gléyico Crómico (Eutric, Loamy, Cutánico, Diferéntico), Calcisol Pétrico Cambic (Franky, Ruptic), Gleyic Eutric (Franky) Cambisol, Phaeozem Réndzic Leptic Cambic (Arcyllic), Pelic Vertisol (Arcyllic, Vertic) Gleysol, Abruptic Lixisol (Claylic, Cutanic), and Dystric Arenosol (Aluminic). Soil analysis indicates medium to low fertility with deficiencies of N, P, K, Ca, Fe, Zn, Cu, and B. The fertilizer dose was generated for each soil subunit and for three fresh fruit yield scenarios. Recommendations for macro and micronutrients were generated to achieve a balanced fertilization of the oil palm and its form of application.

Key words: Fertilizer dose, soil subunit, potential yield.

INTRODUCCIÓN

Estudios realizados por Acevedo *et al.* (2017), indican que la demanda de aceites vegetales comestibles a nivel mundial se duplicará de 120 a 240 millones de t año⁻¹ para el 2050; debido a la influencia del consumo per cápita y el crecimiento de la población. El actual crecimiento de la superficie cultivada con la palma aceite (*Elaeis guineensis*), ha provocado muchos debates sobre la sostenibilidad de este cultivo (Molina *et al.* 2017), debido al desplazamientos de sistemas pecuarios, a la deforestación y la destrucción del hábitat, tal como sucedió en Indonesia, lo que plantea serias preocupaciones con respecto a la sostenibilidad del cultivo (Carrasco *et al.* 2012). Una problemática que enfrenta el cultivo de palma de aceite en Tabasco es la dispersión del área cultivada, la cual supera un radio de 60 km, los bajos rendimientos de fruto fresco (7 t ha⁻¹) y el tamaño de las plantaciones (<5.0 ha). Ejemplo claro es la variación de los rendimientos de fruto en las últimas cosechas (7 a 20 t ha⁻¹), lo que indica que se está perdiendo potencial de rendimiento (Salgado-García *et al.*, 2017b).

La baja en la productividad puede deberse a la carencia de un programa sustentable de fertilización (Woittiez *et al.* 2018), como tienen otros cultivos como caña de azúcar, piña y cítricos, donde, se aplicado la metodología del sistema integrado para recomendar una dosis de fertilización (Salgado-García *et al.* 2011, Salgado *et al.* 2016, Salgado *et al.* 2017a). Ya que la cantidad de nutrientes aplicados por los productores de palma de aceite de la región ríos no alcanza a cubrir la demanda del cultivo (Córdova-Sánchez *et al.* 2017). Al respecto se sabe que la palma de aceite extrae del suelo de 8 a 15 kg de N, 6 a 11 kg de P₂O₅ y de 16 kg de K₂O por tonelada de fruto fresco (Castelán *et al.* 2010). Un racimo tarda en desarrollarse 36 meses, por lo que la fertilización debe realizarse de forma continua (Munévar 2001), para obtener resultados favorables. Una fertilización deficiente tiene de riesgo reducir la productividad e inducir deficiencias nutrimentales (Salgado *et al.* 2003). Por lo anterior el objetivo fue generar una dosis de fertilización por subunidad de

suelo y un rendimiento potencial para la palma de aceite en la Región de los Ríos, Tabasco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El estudio se hizo en la región de los Ríos que comprende los municipios de Balancán, Emiliano Zapata y Tenosique (SIA 2018). Se utilizó la metodología del Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilización (SIRDF) empleada en los cultivos de caña de azúcar, piña y cítricos (Salgado *et al.* 2016, Salgado *et al.* 2017a)

Estudio agrológico de suelos

Sobre el mapa de suelo del área cañera y del área de palma de aceite (SIAP 2018, Salgado *et al.* 2007), se sobrepuso el área total cultivada con palma de aceite para delimitar los polígonos. La ubicación de los perfiles se hizo en forma participativa entre la Asociación Agrícola Local de Productores de Palma de Aceite de Tenosique A.C. (AALPPAT) y el equipo técnico del SIRDF. Se seleccionaron 20 perfiles representativos del estudio de suelo del cultivo de caña de azúcar y 20 perfiles representativos del estudio de suelos de la palma de aceite. Además, en el campo se procedió a realizar la descripción de 31 perfiles con base a la metodología de Cuanalo (1981). En total el estudio se basó en 71 perfiles de suelo.

Clasificación y caracterización física y química de las unidades de suelo

Se tomó una muestra compuesta de suelo de cada horizonte detectado en las subunidades encontradas. Las cuales se secaron bajo sombra, se molieron y tamizaron en un tamiz de 2 mm. Las determinaciones físicas y químicas (pH (H₂O), CE, MO, Nt, P, B, K, Ca, Mg, Na, CIC, Fe, Cu, Zn, Mn y Textural) se realizaron con los procedimientos de la NOM-021-RECNAT (SEMARNAT 2002). Con base a la descripción de los perfiles y los análisis físicos y químicos, se realizó la clasificación de los tipos de suelo, tomando como referencia el mapa de los suelos del mundo (IUSS Grupo de Trabajo WRB 2014).

La elaboración del mapa de suelos a escala 1:75 000 se realizó con el paquete de cómputo Arc Gis 9.3 del ESRI.

Caracterización climática

Consistió en dos procesos, en el primero se analizaron los registros de temperaturas máximas y mínimas (°C), precipitación (mm) y evaporación (mm), datos promedios mensuales de las estaciones meteorológicas de los municipios de Balancán, Emiliano Zapata y Tenosique. Con la información de las normales de 1951 al 2010, se generó el climograma para cada municipio (Thorntwaite 1948). Para el segundo proceso, se utilizaron los datos de 13 estaciones meteorológicas distribuidas en los tres municipios, se calculó el promedio de precipitación anual (CONAGUA 2014), y las estaciones se georreferenciaron sobre el mapa de suelos, posteriormente se realizaron los polígonos de Thiessen para definir las áreas de igual precipitación (Tabios y Salas 1985). Este procedimiento se llevó a cabo digitalmente en el programa Arc Gis 9.3 del ESRI (2008).

Diagnóstico de la fertilidad y cálculo del suministro del suelo

A partir de la digitalización de las plantaciones de palma de aceite (SIAP 2018), se definieron las plantaciones para establecer los sitios de muestreo; tomando en consideración la pendiente y la localización de las plantaciones dentro del área de estudio. Una vez seleccionadas las plantaciones, se realizó el muestreo de suelo de acuerdo a los procedimientos descritos por Salgado *et al.* (2013); los cuales consisten en un recorrido en zigzag por el terreno y tomar una sub-muestra de suelo en la zona de goteo (tres entre plantas y tres entre hilera) para ello se seleccionaron seis palmas. Posteriormente, estas se mezclaron, se homogenizaron y se tomó 1.5 kg de suelo para la determinación de sus propiedades físicas y químicas (pH (H₂O), CE, MO, Nt, P, B, K, Ca, Mg, Na, ClC, Fe, Cu, Zn, Mn y Textural), con los métodos descritos por la NOM-021-RECNAT (SEMARNAT 2002). La profundidad de muestreo fue de 0 a 30 cm. En total se muestrearon 110 plantaciones. Para

el cálculo del suministro de N se consideró que solo el 60% del total de la materia seca de hojas puede contribuir al aporte de N, P y K en el primer año.

$$SUM N = [(MSH) * (PNF * 10)]$$

Donde: MSH: materia seca de las hojas, se considera que el 60% de estos residuos se mineraliza y son los que pueden aportar N al cultivo de palma de aceite, PNF: concentración de nitrógeno proveniente del análisis foliar (%).

$$SUM P = [P\ suelo(ppm) * Ec] + [(MSH) * (PPF * 10)]$$

Dónde: PPF: concentración de fósforo proveniente del análisis foliar (%), Ec: el índice de eficiencia del cultivo, indica que por cada parte por millón (ppm) de P-Olsen, el cultivo absorbe 1.0 kg de P del suelo (Rodríguez 1993).

$$SUM K = [K\ suelo(ppm) * CK] + [(MSH) * (PKF * 10)]$$

Dónde: CK: la eficiencia de absorción de potasio, indica las ppm de K intercambiable que el cultivo absorbe según el tipo de suelo; las cuales son 0.90 suelos arenosos, 0.85 suelos aluviales, 0.80 para suelos arcillosos (Rodríguez 1993), y Eficiencia (EF): Es la cantidad de nutrimento del fertilizante que es aprovechado por la planta y depende de factores como el cultivo, la fuente de fertilizante, la época y forma de aplicación. La eficiencia de recuperación del fertilizante para N, P y K fue de 48, 54 y 74%, respectivamente (Prabowo *et al.* 2013, Ng *et al.* 1999).

Determinación la demanda nutrimental de N, P₂O₅ y K₂O

Para determinar la demanda de nutrimentos por el cultivo de palma de aceite, se realizó el muestreo de hojas y racimos de la misma planta, en las mismas plantaciones donde se tomó la muestra de suelo. Se colectaron tres tipos de muestras:

Muestra foliar

Se cortó la hoja 9 en plantas de menores de

seis años después del establecimiento y la 17 hoja en plantas mayores a seis años (Carrillo *et al.* 2015), se colectaron tres hojas de cada plantación. En la parte central de la hoja se cortaron cuatro folíolos en ambos lados, a los folíolos se les eliminó la base, la punta y la nervadura. Las muestras se les analizaron N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, B y S, con los métodos descritos por Jones *et al.* (1991). Esta información se utilizó para realizar el diagnóstico nutricional y corroborar si la planta estaba absorbiendo los nutrientes del suelo.

Muestras de fruto y raquis

Las muestras compuestas se obtuvieron a partir de tres racimos de fruto fresco, los que se pesaron en una balanza de reloj con precisión de 0.1 g. Después de pesar la muestra se seleccionó un tercio de cada racimo, para separar frutos y raquis. Estos componentes fueron cortados en rodajas con cuchillo de acero inoxidable para facilitar su secado. La muestra se homogenizó, se realizó el cuarteo y se tomó una submuestra de 400 g que se secó a la estufa a 70 °C, hasta alcanzar peso constante.

La muestra de fruto por su alto contenido de aceite se molió en una picadora Molinex® con cuchillas de acero inoxidable. Entre cada muestra se lavó con alcohol la picadora. Las muestras foliares y de raquis se molieron en el molino Wiley y fueron tamizadas a 2 mm, para su análisis químico de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn, B y S, con los métodos descritos por Jones *et al.* (1991). Esta información y la materia seca del fruto se utilizó para calcular la demanda de N, P y K, con el siguiente modelo:

$$DEM(kg.ha^{-1}) = [(MSF(t.ha^{-1})) * (PNF * 10)] + [(MST(t.ha^{-1})) * (PNT * 10)]$$

Donde: DEM: Demanda del nutriente (kg ha⁻¹), PNF: Concentración de los nutrientes N, P y K (%) en los frutos de palma de aceite, PNT: Concentración de los nutrientes N, P y K (%) en los racimos vacíos o tuzas, MSF: Materia seca de los frutos (t ha⁻¹), y MST: Materia seca de los racimos vacíos o tuzas (t ha⁻¹).

Las dosis de fertilizantes se calcularon para rendimientos de 10, 15 y 20 t ha⁻¹ de racimos de fruto fresco. Se consideró que solo los nutrientes contenidos en el racimo deben reponerse para asegurar una producción sustentable de frutos (Munévar 2001, Ng 1972, Silva y Rodríguez 1995). Las hojas se cortan y se dejaron en la plantación para el reciclaje.

Cálculo de las dosis de fertilización de N, P₂O₅ y K₂O

Con la obtención de la demanda y el suministro se efectuó el balance nutricional del modelo conceptual (Rodríguez 1993).

$$DF = DEM - SUM$$

En aquellos casos donde se encontró que la demanda es mayor que el suministro y se produce un déficit y se calculó la dosis de fertilizantes corrigiendo por la eficiencia (EF) con que trabajan los fertilizantes N, P y K (Prabowo *et al.* 2013, Ng *et al.* 1999). En el caso contrario, solo se aplicó una dosis de mantenimiento. Para el cálculo de la dosis de fertilizantes, el modelo toma la forma:

$$DF = (DEM - SUM)/EF$$

Solo se consideró a la demanda y la eficiencia del fertilizante para calcular las dosis de fertilizantes.

$$DF = DEM/EF$$

RESULTADOS

Caracterización climática

Los climogramas de Thornthwaite de los municipios indican el siguiente orden de menor a mayor precipitación en los municipios de Balancán <E. Zapata <Tenosique. Y el comportamiento de precipitación (PP), evaporación (EV), temperaturas máximas y mínimas (T_{máx} y T_{mín}) (Figuras 1, 2 y 3). Los ocho polígonos de Thiessen muestran la distribución de la precipitación en la región de los Ríos (Figura 4). Los polígonos se agrupan en polígonos

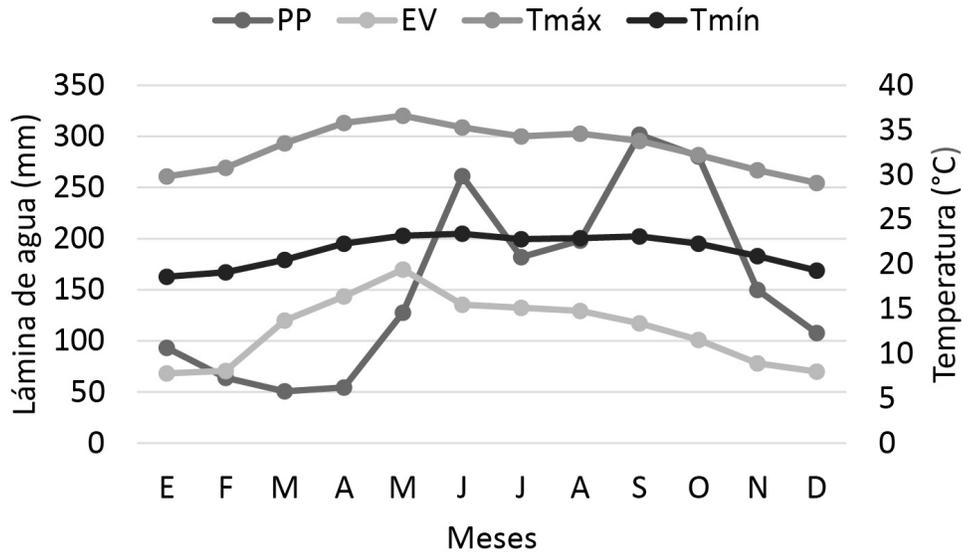


Figura 1. Comportamiento de Precipitación (PP), evaporación (EV), temperaturas máximas y mínimas (Tmáx y Tmín) en el municipio de Balancán, Tabasco.

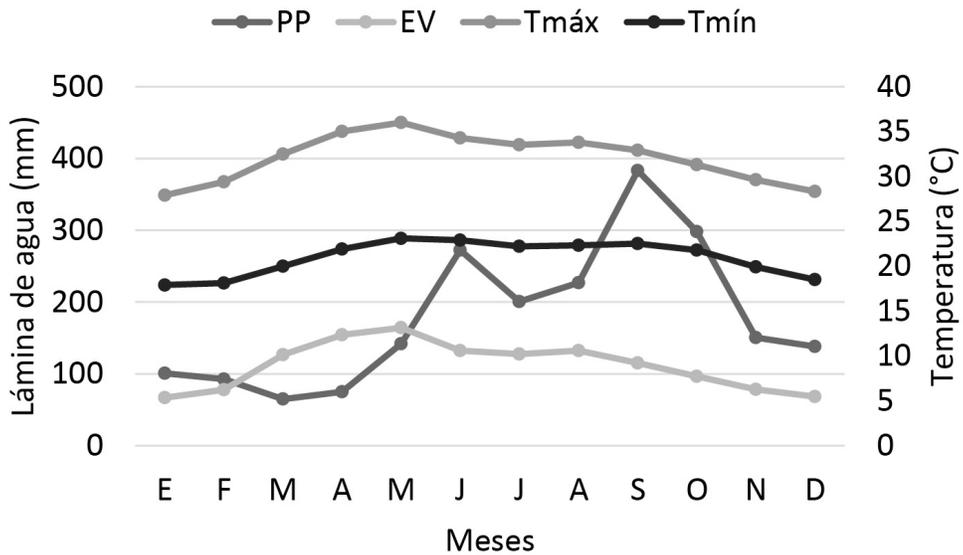


Figura 2. Comportamiento de precipitación (PP), evaporación (EV), temperaturas máximas y mínimas (Tmáx y Tmín) en el municipio de Tenosique, Tabasco.

de baja precipitación (1 281 a 1 623 mm), polígonos de mediana precipitación (1 830 a 1 977 mm), y polígonos de alta precipitación (>2 044 mm).

El estudio de suelos

El área de estudio abarcó una superficie de 361 855.9 ha, y por la gran diversidad de sub-

unidades se tuvo la necesidad de reagruparlas en 13 subunidades de suelos y 59 subunidades de suelo (Figura 4) tomando como criterios la superficie y representatividad en el área (Tabla 1). De las 13 subunidades, solo 11 están cultivadas con palma de aceite en la Tabla 2 se presentan propiedades químicas.

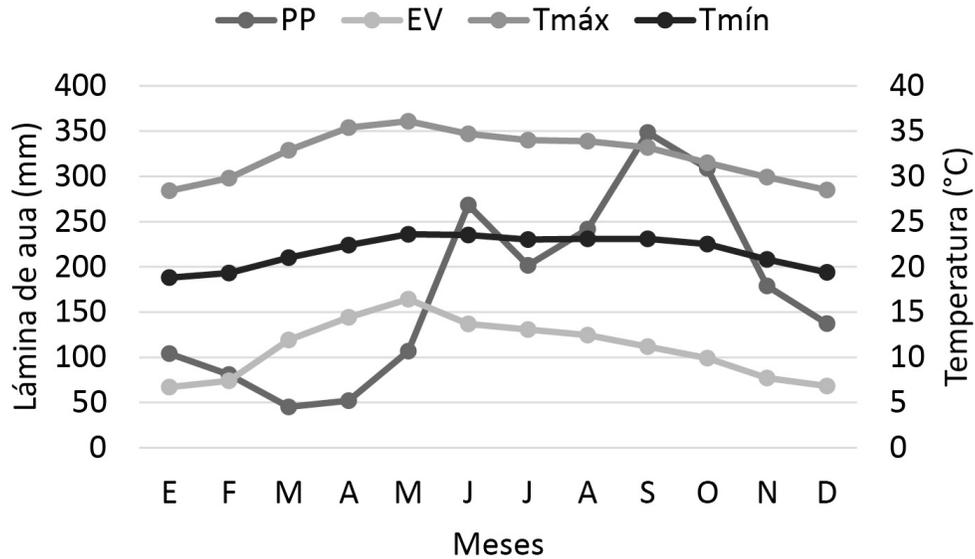


Figura 3. Comportamiento de precipitación (PP), evaporación (EV), temperaturas máximas y mínimas (Tmáx y Tmín) en el municipio de E. Zapata, Tabasco.

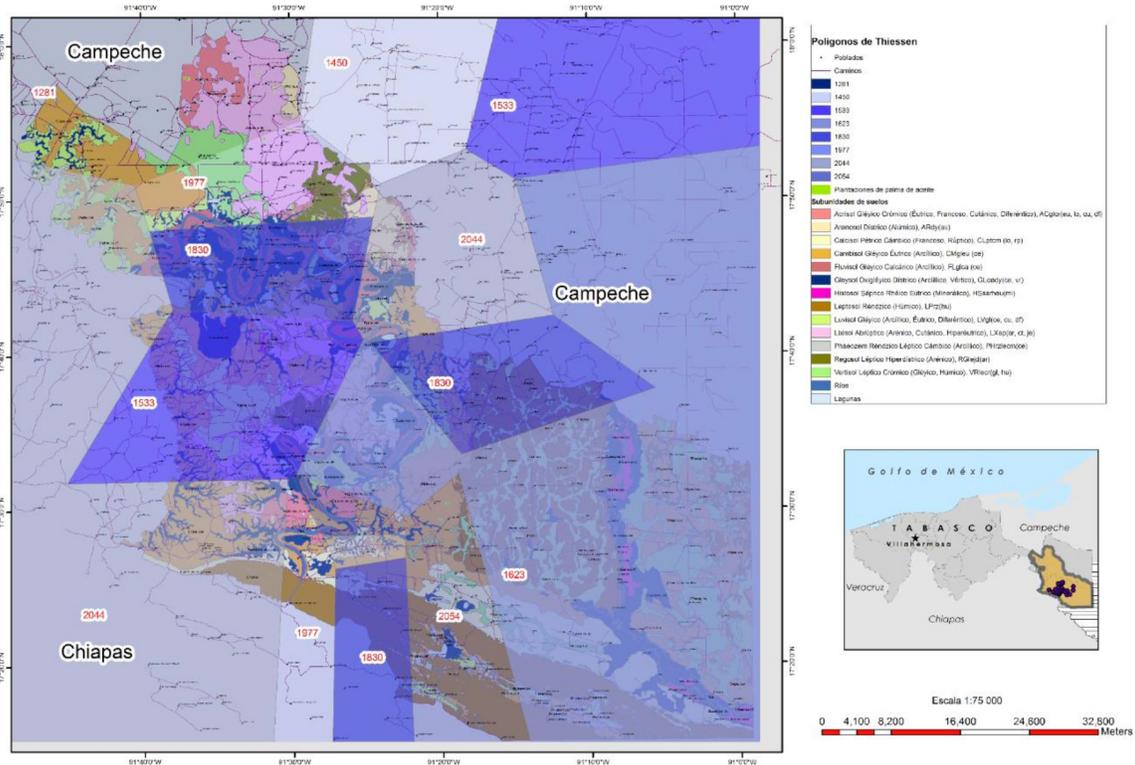


Figura 4. Polígonos de Thiessen de la región de los Ríos, Tabasco.

Tabla 1. Subunidades de suelos del área cultivada con palma de aceite en la región Ríos, Tabasco.

Subunidad de suelos	Perfiles	Superficie	
		(ha)	(%)
Acrisol Gléyico Crómico (Éutrico, Francoso, Cutánico, Diferéntico), ACgclr(eu, lo, cu, df)	22, 25, 27	9 816.6	2.7
Arenoso Dístico (Alúmico), ARdy(au)	23,24,39p	5 817.7	1.6
Calcisol Pétrico Cámbico (Francoso, Rúptico), CLptcm (lo, rp)	4c, 13c, 21c	17 909.6	4.9
Cambisol Gléyico Eútrico (Arcillo), CMgleu (ce)	3p, 5p, 2c, 3c, 6c, 8c, 11c, 15c, 19c, 1, 2, 3, 7, 10, 13,15, 18, 29	87 351	24.1
Fluvisol Gléyico Calcárico (Arcillo), FLgca (ce)	1c, 9c, 43p	12 555.3	3.5
Gleysol Oxigléyico Dístico (Arcillo, Vértico), GLoydy(ce, vr)	8c, 10c, 18c, 1p, 12, 16, 19, 21	40 845.1	11.3
Histosol Sáprico Rhéico Eútrico (Mineralico), HSsarheu(mi)	42p, 20	2 390.3	0.7
Leptosol Réndzico (Francoso, Húmico), LPrz(lo, hu)	16c, 20c, 22c, 4, 28, 30	69 099.4	19.1
Luvisol Gléyico (Arcillo, Éutrico, Diferéntico), LVgl(ce, cu, df)	12c, 14p, 5, 8, 9, 14, 26	35 359	9.8
Lixisol Abrúptico (Arénico, Cutánico, Hiperéutrico), LXap(ar, ct, je)	5p, 11p, 16p, 19p, 23p, 25p, 29p, 30p, 34p, 11	35 087.3	9.7
Phaeozem Réndzico Léptico Cámbico (Arcillo), PHrzlecm(ce)	17	2 200.6	0.6
Regosol Léptico Hiperdístico (Arénico), RGlej(ar)	36p, 31	5 860.1	1.6
Vertisol Léptico Crómico (Gléyico, Húmico), VRlecr(gl, hu)	17c, 32p, 38p, 40p, 6	25 059.4	6.9
Ríos y cuerpos de agua		12 504.5	3.5
Total		361 855.9	100

Tabla 2. Propiedades químicas de las subunidades de suelos de la región Ríos, Tabasco.

Subunidad	pH (H ₂ O)	CE (μScm^{-1})	MO (%)	Nt (%)	POlsen (mg kg^{-1})	B (%)	K (mg kg^{-1})	Ca (cmol kg^{-1})	Mg (cmol kg^{-1})	Na (cmol kg^{-1})	CIC	Fe (mg kg^{-1})	Cu (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textural
LPrz(hu)	6.7	242	3.5	0.21	2.3	0.93	0.35	26.5	5.3	0.03	39.5	15.7	2.2	0.88	40.1	54	18	28	
dS	0.7	513	0.8	0.05	0.9	0.31	0.15	16.0	4.1	0.01	19.1	10.3	0.9	0.83	39.8	18	12	17	Arcilla
LVgl (ce, cu, df)	5.8	57	3.3	0.19	1.7	0.70	0.26	12.5	5.7	3.3	30.2	42.0	2.0	1.26	29.9	49	20	31	Franco
dS	0.5	36	1.5	0.08	0.7	0.42	0.16	13.5	5.6	8.3	19.4	29.7	1.1	1.07	36.9	21	12	18	arenosa
ACgclr (eu, lo, cu, df)	5.5	32	2.2	0.13	2.5	0.60	0.24	4.1	0.4	0.13	5.0	43.3	1.1	0.71	21.1	14	16	70	Franca
dS	0.1	13	0.60	0.05	1.6	0.16	0.10	3.6	0.4	0.10	2.3	27.6	0.7	0.69	21.7	5	2	3	arenosa
CLptcm (lo, rp)	5.7	79	3.6	0.19	1.2	0.40	0.25	15.1	2.4	0.09	24.2	32.0	1.8	0.65	62.5	58	14	28	
dS	0.8	68	1.1	0.05	0.8	0.33	0.18	8.8	2.7	0.03	10.2	7.0	1.0	0.45	21.3	24	2	25	Arcilla
CMgleu (lo)	6.2	100	3.5	0.20	2.9	0.61	0.26	8.4	3.5	0.16	20.3	24.8	1.9	0.99	18.0	48	17	35	
dS	0.9	90	1.5	0.09	3.8	0.32	0.15	7.3	3.0	0.03	12.5	27.9	1.1	0.98	12.5	25	10	23	Arcilla
PHrzlecm(ce)	6.6	130	4.0	0.23	1.0	0.30	0.30	1.0	2.8	0.40	23.7	13.3	2.5	0.47	17.6	69	12	19	
dS	0.8	54	0.9	0.04	0.3	0.17	0.20	0.2	0.8	0.27	3.4	8.5	1.1	0.11	9.6	7	3	6	Arcilla
VRpe (gl, ms, st)	7.2	156	3.0	0.18	2.0	0.49	0.25	18.8	4.6	0.2	27.3	9.4	2.2	0.61	7.2	61	22	18	
dS	1.1	68	1.0	0.04	0.8	0.10	0.09	1.6	1.7	0.2	5.3	6.2	1.2	0.23	1.7	9	15	12	Arcilla
FLgca (ce)	7.7	139	2.4	0.16	2.8	0.75	0.38	10.1	3.7	0.10	18.0	11.1	2.5	0.66	9.9	43	37	20	
dS	0.1	20	0.0	0.02	0.2	0.04	0.08	0.2	0.9	0.01	2.8	6.3	0.9	0.09	1.3	16	6	22	Arcilla
GLoady(ce, vr)	5.4	72	3.5	0.20	2.2	1.10	0.18	12.7	7.9	0.10	21.8	12.0	1.0	0.93	0.7	55	13	32	
dS	0.3	4.0	0.1	0.04	0.2	0.1	0.08	0.1	1.2	0.02	0.2	2.8	0.06	0.06	0.01	12	9	3	Arcilla
LXap(ce, ct)	5.3	17	1.2	0.07	2.2	0.41	0.20	0.90	0.18	0.09	2.9	36.2	1.0	0.40	11.9	16	13	71	
dS	0.3	4	0.7	0.03	1.7	0.15	0.06	0.30	0.08	0.07	1.4	40.9	0.3	0.22	7.5	6	4	7	Arcilla
ARdy(au)	5.3	19	0.9	0.06	1.2	0.33	0.21	0.5	0.1	0.04	1.7	11.8	0.5	0.49	3.6	11	11	78	Franco
dS	0.1	3	0.2	0.01	0.6	0.12	0.01	0.2	0.1	0.01	0.3	5.2	0.1	0.22	1.5	1	3	4	Arenosa

dS: Desviación estándar.

Diagnóstico nutricional foliar de palma de aceite

Las plantaciones establecidas en las subunidades de suelos LPrz(hu), LVgl(ce, cu, df), CLptcm (lo, rp), CMgleu (lo), PHrzlecm(ce), FLgca (ce), GLoady(ce, vr), LXap(ce, ct) y ARdy(au) presentan los contenidos de nitrógenos y potasio cercanos a los óptimos. Así mismo, para fósforo a excepción a las establecidas en la subunidad GLoady(ce, vr). El calcio se encontró mas alto en las plantaciones establecidas en la subunidad LPrz(hu), el magnesio se encontró alto en plantaciones establecidas en las subunidades PHrzlecm(ce), FLgca (ce) y en LXap

(ce, ct). Para hierro los contenidos más altos se encontraron en plantas establecidas en la subunidad LPrz(hu) y en general todos los microelementos se encuentran en proporciones altas y adecuados, datos presentados en la Tabla 3.

Demanda nutricional de N, P₂O₅ y K₂O

Las demandas de N, P₂O₅ y K₂O, representan los nutrientes que son extraídos del suelo con los racimos de fruta fresca y dado que los racimos vacíos no se retornan a las plantaciones, estos nutrientes deben aportarse con la fertilización química.

Tabla 3. Diagnóstico nutrimental foliar de palma de aceite por subunidad de suelos en la región Ríos, Tabasco.

Subunidades de suelos	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B	S
	(%)					(mg kg ⁻¹)					
LPrz(hu)	1.8	0.10	0.90	0.70	0.70	212.4	7.2	18.0	237.5	17.0	2020.5
dS	0.3	0.05	0.21	0.50	0.29	50.2	1.3	3.6	183.3	3.8	185.9
LVgl(ce, cu, df)	1.8	0.08	0.82	0.27	0.82	96.4	7.8	21.3	315.4	12.8	2009.1
dS	0.3	0.06	0.26	0.47	0.22	47.1	1.9	5.0	250.5	1.9	213.3
ACgIcr(eu, lo, cu, df)	2.0	0.14	1.00	0.47	0.88	99.1	8.2	19.5	446.6	14.4	2070.8
dS	0.1	0.01	0.16	0.53	0.47	48.7	1.8	2.1	177.3	2.8	157.5
CLptcm (lo, rp)	2.1	0.14	0.61	0.35	0.92	118.0	8.3	26.4	805.3	15.6	3761.1
dS	0.0	0.01	0.18	0.58	0.46	80.4	1.9	3.8	742.2	1.9	731.8
CMgleu (lo)	1.9	0.12	0.86	0.28	0.93	108.4	8.7	21.4	375.8	14.8	2183.2
dS	0.3	0.04	0.24	0.54	0.36	49.6	3.1	3.8	324.0	2.8	628.2
PHrIzlecm(ce)	1.8	0.13	0.89	0.11	1.02	71.5	12.0	20.5	396.7	13.6	1778.6
dS	0.3	0.01	0.37	0.25	0.34	9.0	9.5	3.4	215.3	2.5	112.5
VRpe(gl, ms, st)	1.6	0.09	0.75	0.01	1.16	77.3	7.5	22.7	297.7	13.2	1822.5
dS	0.2	0.07	0.32	0.00	0.11	20.8	1.7	5.1	114.3	2.9	143.8
FLglca (ce)	2.0	0.15	0.99	0.61	1.17	73.3	7.9	24.4	68.5	17.5	1926.8
dS	0.2	0.01	0.39	0.84	1.00	7.8	4.1	9.9	65.5	2.2	336.5
GLoady(ce, vr)	2.1	0.03	0.89	0.01	0.59	58.8	7.8	25.2	368.0	12.5	2283.3
dS	0.1	0.01	0.20	0.01	0.11	0.12	1.3	5.0	121.0	2.8	167.0
LXap(ce, ct)	1.9	0.14	1.01	0.19	1.19	95.7	9.2	22.7	488.6	15.8	2030.9
dS	0.3	0.02	0.40	0.37	0.34	21.9	1.7	4.1	218.9	3.4	102.6
ARdy(au)	1.9	0.13	1.16	0.01	0.87	113.2	11.4	19.0	570.1	13.4	1851.0
dS	0.3	0.02	0.40	0.0	0.38	14.1	3.5	2.0	259.2	1.0	148.0

dS: Desviación estándar Convertir S(%) = 2020.2/10000 = 0.20 %.

Dosis de fertilizantes N, P₂O₅ y K₂O

En la Tabla 4, se presentan las dosis de fertilizantes para plantaciones establecidas en 11 subunidades de suelo y para tres diferentes rendimientos de fruta fresca por hectárea (10, 15 y 20 t ha⁻¹). En la Figura 5 se presenta el mapa de la distribución por subunidades de suelos de las dosis de fertilizantes.

DISCUSIÓN

Caracterización climática

La distribución de la precipitación muestra que en Tenosique se presentan 3 meses de sequía y 3.5 meses en los municipios de Balancán y E. Zapata; ambos periodos coinciden con los requerimientos de 2 a 4 meses de sequía de este cultivo (Ruíz-Álvarez et al. 2012); la mayor precipitación se presenta en los meses de septiembre y octubre, en los suelos profundos es necesario realizar drenaje. En general el volumen de precipitación de la región cubre las necesidades del cultivo de palma de aceite, 1 780 a 2 280 mm (Paramanathan 2003). La temperatura promedio anual se encuentra entre la óptima para es-

te cultivo, que va de 25 a 29 °C (Romero et al. 2007). En la región de los Ríos, se observa que en los municipios de Balancán y E. Zapata, los meses de diciembre a febrero presentan temperaturas menores de 20 °C, mientras que en Tenosique es de noviembre a febrero; esta baja temperatura ocasiona reducción en el crecimiento del cultivo (Romero et al. 2007).

Polígonos con media a alta precipitación, son los que requieren de drenaje superficial (Villón 2007, Cristancho et al. 2013), ya que los excesos de humedad pueden generar pérdidas de hasta 5 t ha⁻¹ de fruta fresca por año (Acosta 2010). Las plantaciones ubicadas en los polígonos con precipitación menor de 1 800 mm pueden requerir de riego de auxilio, práctica que ha mostrado amplios beneficios, ya que el rendimiento es de hasta 30 t ha⁻¹ (Lee et al. 2013).

Diagnóstico nutrimental foliar de palma de aceite

Las concentraciones óptimas para el nitrógeno foliar en palmas de aceite adultas son de 2.4-2.8% N (Munévar 2001), las concentraciones de nitrógeno foliar en las palmas de aceite adultas son óptimas, situación similar se observa con el fósforo en la región

Tabla 4. Dosis de fertilizante para el cultivo de palma de aceite según los rendimientos de fruta fresca en la región Ríos, Tabasco.

Dosis de fertilizantes para diferentes rendimientos de fruto	10 t ha ⁻¹ RFF —(kg ha ⁻¹)—			15 t ha ⁻¹ RFF —(kg ha ⁻¹)—			20 t ha ⁻¹ RFF —(kg ha ⁻¹)—		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Subunidades de suelo									
Leptosol Réndzico (Húmico), LPrz(hu)	73	26	89	110	38	125	147	51	166
Luvisol Gléyico (Arcílico, Éútrico, Diferéntico), LVgl(ce, cu, df)	71	20	92	107	31	130	143	41	173
Acrisol Gléyico Crómico (Éútrico, Francoso, Cutánico, Diferéntico), ACglcr(eu, lo, cu, df)	84	26	96	126	39	135	168	52	180
Calcisol Pétrico Cámbico (Francoso, Rúptico), CLptcm (lo, rp)	72	28	65	108	42	92	144	57	123
Cambisol Gléyico Éútrico (Francoso), CMgleu (lo)	73	24	84	110	36	118	146	48	157
Phaeozem Réndzico Léptico Cámbico (Arcílico), PHrzlecm(ce)	65	23	79	98	35	111	131	47	148
Vertisol Pélico (Gléyico, Mesotrófico, Estágnico), VRpe(gl, ms, st)	68	23	94	103	35	132	137	47	176
Fluvisol Gléyico Calcárico (Arcílico), FLglca (ce)	76	28	87	114	41	122	152	55	163
Gleysol Oxigléyico Dístico (Arcílico, Vértico), GLoady(ce, vr)	59	12	88	89	17	123	119	23	165
Lixisol Abruptico (Arcílico, Cutánico), LXap(ce, ct)	69	27	86	103	41	121	137	54	161
Arenosol Dístico (Alúmico), ARdy(au)	79	28	94	118	41	132	157	55	176

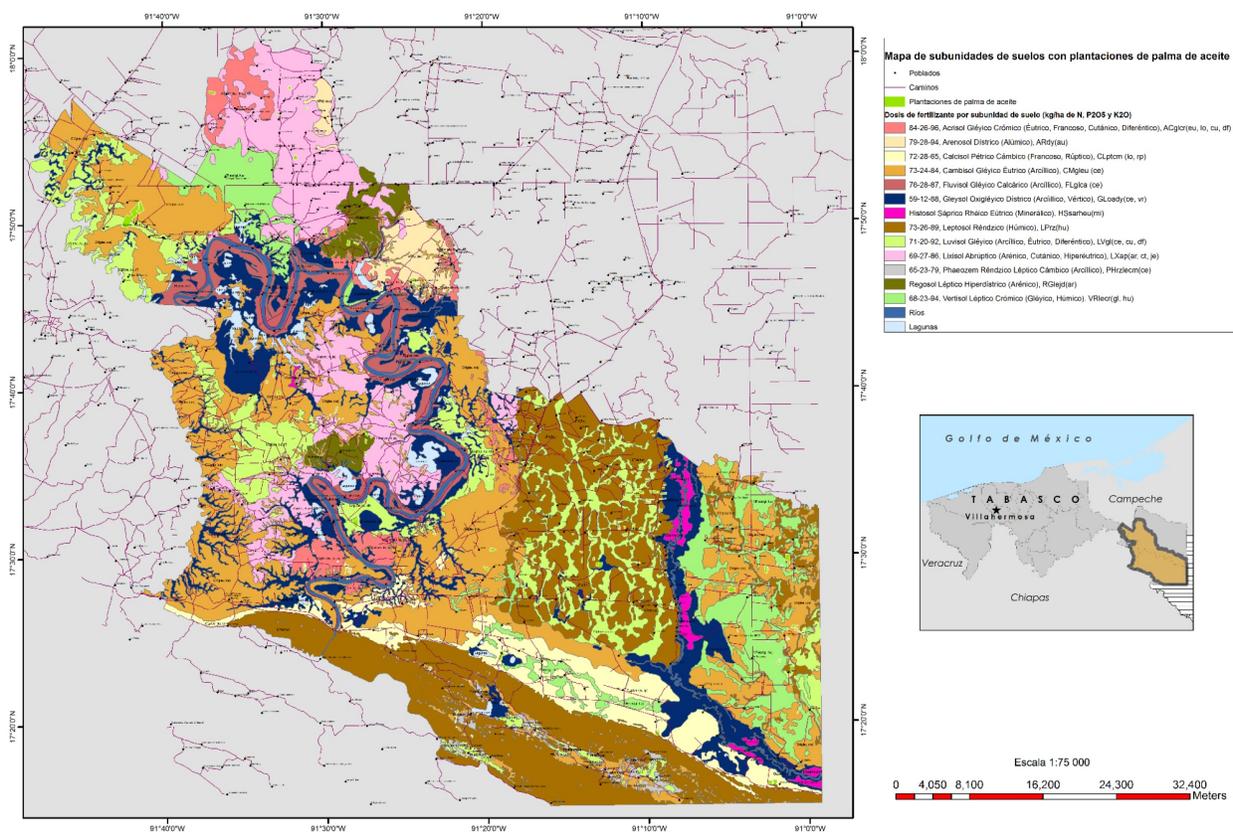


Figura 5. Mapa de dosis de fertilizantes para palma de aceite en la región de los Ríos, Tabasco.

de los ríos, donde todas las plantaciones se encontraron entre los parámetros de estos elementos, recomendados por Munévar (2001). Lo anterior es reflejo de la calidad en la fertilidad de los suelos, aunque se ha aplicado una baja o nula fertilización de N, P y K al cultivo.

El contenido de calcio es óptimo para las subunidades Leptosol Réndzico (Húmico) y Fluvisol Gléyico Calcárico (Arcílico), mientras que en el resto de las subunidades es deficiente (0.5-0.75% de Ca). En tanto que el contenido de magnesio se considera óptimo entre el 0.25-0.40% y en exceso se encuen-

tra el Mg en algunas plantaciones (>0.70% de Mg) de acuerdo con Ng *et al.* (1999) y Munévar (2001). La concentración foliar del azufre solo fue óptima en el Calcisol Pétrico Cámbico (Francoso, Rúptico), en tanto que en el resto es deficiente (0.25-0.35% de S), por lo que sería conveniente aplicar 50 kg ha⁻¹ de flor de azufre (Salgado y Núñez 2012). No obstante, para plantaciones de palma de aceite de otras regiones, se considera como óptimo una concentración de 0.15% de S (Lee *et al.* 2013).

Con respecto a los contenidos de los micronutrientes, el Fe se considera deficiente para las plantaciones ubicadas en las subunidades Gleysol Oxiglético Dístrico (Arcíllico, Vértico), Fluvisol Glético Calcárico (Arcíllico), Phaeozem Réndzico Léptico Cámbico (Arcíllico) y Vertisol Pélico (Glético, Mesotrófico, Estágnico), en el resto de las subunidades las concentraciones foliares se ubican en el rango óptimo (>90 mg kg⁻¹ de Fe) (Yepes 2019).

De acuerdo con Yepes (2019), las concentraciones de cobre son óptimas en todas las plantaciones de palma de aceite (5-8 mg kg⁻¹ de Cu). Sin embargo, el drenaje superficial es necesario porque puede reducir la disponibilidad del Cu. Con respecto a la concentración foliar de Zn de 15 mg kg⁻¹ de Zn se considera como óptima de acuerdo con Jones *et al.* (1991).

Las concentraciones foliares de manganeso con excepción del Fluvisol Glético Calcárico (Arcíllico) se considera excelente (150 mg kg⁻¹ de Mn, Jones *et al.* 1991, Yepes 2019). Para los Llanos orientales de Colombia se ha establecido como óptimo 350 mg kg⁻¹ de Mn, y se recomienda realizar drenaje superficial porque condiciones de humedad favorece la pudrición del cogollo y altas concentraciones foliares (Santacruz *et al.* 2004).

Para el boro, las concentraciones foliares se clasificaron como óptimas (10-20 mg kg⁻¹ de B); no obstante, en campo se presentan deficiencias visuales de este elemento tanto en la región de los Ríos como en Jalapa, Tabasco (Salgado *et al.* 2003), por ello, se recomienda aplicar 10 kg ha⁻¹ de bórax (Salgado y Núñez 2012).

Demanda nutrimental de N, P₂O₅ y K₂O

La palma de aceite es un cultivo exigente en nutrientes, si el productor no fertiliza, se puede perder hasta el 50% del rendimiento potencial de la palma de aceite, por el agotamiento de los nutrientes del suelo (Ng *et al.* 1999), y en la región de los Ríos se observa este agotamiento acompañado por déficit hídrico en cierto tiempo del año, por ello los bajos rendimientos (7 t ha⁻¹) de fruta. La demanda de N, P₂O₅ y K₂O por tonelada de racimo de fruta fresca en plantaciones con buena fertilización y rendimientos de 20 t ha⁻¹ es de 4.8 kg de N, 1.37 kg de P₂O₅ y 7.9 kg de K₂O. Esta es menor a la calculada para la región de los Ríos considerando un rendimiento de 10 t ha⁻¹ de fruta: 2.0 a 4.0 kg de N, 0.60 a 1.5 kg de P₂O₅ y 4.8 a 7.1 kg de K₂O.

Dosis de fertilizantes N, P₂O₅ y K₂O

Los productores que aún no alcancen los rendimientos promedios de 10 t ha⁻¹ de fruta fresca, para subsanar el agotamiento del suelo del P deben aplicar 46 kg a través de la presentación superfosfato triple; independientemente de las recomendaciones de fertilizante. Así mismo, deben considerar la necesidad de efectuar la resiembra para sustituir a las palmas de tronco cónico. En el caso de la subunidad Leptosol Réndzico (Húmico), se recomienda la dosis 73-26-89 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente; para un rendimiento de 10 t ha⁻¹ de fruta.

Complemento de macro y micronutrientes

Es necesario realizar aplicaciones de Cal dolomítica para aportar Ca y Mg, además de micronutrientes como Zn, Cu, B y Mn para no agotar las cantidades aportadas por el suelo, como se indica en la Tabla 5 (Salgado y Núñez 2012). Estas dosis fueron ajustadas considerando su contenido en el suelo y la concentración en la planta proveniente del diagnóstico nutrimental.

CONCLUSIONES

Los polígonos con media ha alta precipitación, requieren de drenaje superficial. Las plantaciones ubicadas en los polígonos con precipitación menor

Tabla 5. Macro y micronutrientes para una nutrición balanceadas de palma de aceite en la región Ríos, Tabasco.

Subunidades de suelos	Ca	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	(kg ha ⁻¹)					
Leptosol Réndzico (Húmico), LPrz(hu)			5	5		5
Luvisol Gléyico (Arcílico, Éútrico, Diferéntico), LVgl(ce, cu, df)	500		5			10
Acrisol Gléyico Crómico (Éútrico, Francoso, Cutánico, Diferéntico), ACglcr(eu, lo, cu, df)	500		5	5		10
Calcisol Pétrico Cámbico (Francoso, Rúptico), CLptcm (lo, rp)	500		5	5		10
Cambisol Gléyico Éútrico (Francoso), CMgleu (lo)	500	10	5	5		10
Phaeozem Réndzico Léptico Cámbico (Arcílico), PHrzlecm(ce)	500	10	5	5		10
Vertisol Pélico (Gléyico, Mesotrófico, Estágnico), VRpe(gl, ms, st)	500	10		5		10
Fluvisol Gléyico Calcárico (Arcílico), FLglca (ce)		10		5	5	10
Gleysol Oxigléyico Dístico (Arcílico, Vértico), GLoady(ce, vr)	500		5	5		10
Lixisol Abrúptico (Arcílico, Cutánico), LXap(ce, ct)	500		5	5		10
Arenosol Dístico (Alúmico), ARdy(au)	500		5	5		10

de 1 800 mm requieren de riego de auxilio. Solo 11 subunidades de suelos están cultivadas con palma de aceite. El análisis de la fertilidad indica suelos de mediana a baja fertilidad, deficientes en N, P y K, Ca, Fe, Zn, Cu, y B, lo cual fue corroborado por el diagnóstico nutricional. Se generó la dosis de fertilizante para cada subunidad de suelo y para tres escenarios de rendimiento de fruta fresca. Se creó las recomendaciones de macro y micro nutrientes para lograr una fertilización balanceada de la palma de aceite y su forma de aplicación. Se debe mantener una cultura de fertilizar las plantaciones, para recalcular las dosis de fertilizantes dentro de 10 años, esto considerando el N, P y K que se retiene en el tronco por

año y el aporte de N, P y K del suelo y del reciclaje de hojas, por lo que no se recomienda la extracción de los restos vegetales del sistema.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Produce Tabasco, A. C., por la aportación económica para realizar este trabajo. A las asociaciones agrícolas locales de productores de palma de aceite de Tenosique A. C., asociación de productores de palma de aceite de Balancán A. C., y al Consejo Estatal de Productores de palma de aceite A. C. por la confianza y apoyo para esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Acevedo ELB, Jurado JMV, Lombana J (2017) Alternativas productivas para la industria de biodiésel en Colombia. Cuadernos Latinoamericanos de Administración 13: 135-148.
- Acosta GA (2010) Manejo integrado de la nutrición de la palma de aceite: experiencias en América Tropical. Palmas. Publicación Especial 31: 178-190.
- Carrasco AE, Sánchez NE, Tamagno LE (2012) Modelo agrícola e impacto socioambiental en la Argentina: monocultivo y agronegocios. Series: Serie Monográfica Sociedad y Ambiente: Reflexiones para una nueva Latinoamérica; Monografía N° 1. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina. 153p.
- Carrillo ZM, Cevallos SV, Cedeño GC, Gualoto GW, Mite VFA, Navarrete PM, Ortega CD, Ortega CJ, Quintero RL, Racines JM, Vera AC, Vera CD, Zambrano MS, Zambrano SW (2015). Manual del cultivo de la palma aceitera. Manual técnico No. 2. INIFAP, Estación Experimental Santo Domingo. México. 109p.
- Castelán EM, Salgado GS, Palma LDJ (2010) Fertilización NPK en la palma de aceite. In: Velázquez MJR, Gómez VA (eds) Palma Africana en Tabasco: Resultados de Investigación. UJAT. Villahermosa, Tabasco. pp: 25-53.

- CONAGUA (2014) Información estadística climática, información sobre estaciones climáticas. Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2020.
- Córdova-Sánchez A, Obrador-Olán JJ, Salgado-García S, Castelán-Estrada M (2017) Fertilización química para el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis*JACQ.) en Chiapas, México. *AGROProductividad* 10: 56-64.
- Cristancho RJA, Alonso COA, Molina LDL (2012) Revisión de literatura sobre el papel del suelo y la nutrición de plantas en la Pudrición del cogollo de la palma de aceite. *Palmas* 33: 9-22.
- Cuanalo de la CH (1981) Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. 2a. ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 40p.
- ESRI (2008) What is ArcGIS 9.3. ESRI, 380 New York Street, Redlands, CA, USA. 194p.
- IUSS Working Group WRB (2014) World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources. Reports No. 106. FAO, Rome. 203p.
- Jones BJ, Wolf FB, Mills HA (1991) Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia, USA. 213p.
- Lee CT, Chin CW, Norizan MS, Tan CC, Salihuddin M, Yusof M, Rahman ZA, Ishak CF, Hanafi MM (2013) Mejoramiento en la eficiencia de la nutrición de la palma de aceite mediante el riego y los materiales de siembra. *Palmas, Publicación especial* 34: 280-293.
- Molina M, Gutiérrez MA, Gutiérrez R, Vargas J (2019) Análisis de la prohibición de siembra de palma aceitera en el Sur del Lago de Maracaibo basado en indicadores de sostenibilidad ecológica. *Agroalimentaria*, 25: 121-135.
- Munévar MF (2001) Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. *Palmas* 22: 9-17.
- Ng HCP, Chew PS, Goh KJ, Kee KK (1999) Requisitos de nutrientes y la sostenibilidad en palmas de aceite maduras - Una evaluación. *Palmas* 20: 19-28.
- Ng SK (1972) The oil palm, its culture, manuring and utilization. International Potash Institute, Berne. Paris/France. 145p.
- Paramanathan SDD (2003) Land selection for oil palm. In: Fairhurst TY, Härdeter R (ed) Oil palm-management for large and sustainable yields. Potash and Phosphate Institute/Phosphate Institute of Canada; International Potash Institute. Oxford Graph.ic Printers Pte Ltd. Singapore pp: 27.57.
- Prabowo NE, Foster HL, Nelson S, Sitepu B, Nelson P (2013) Uso práctico de la eficiencia fisiológica de la palma de aceite con respecto a la recuperación de nutrientes y la eficiencia agronómica en diferentes sitios de Sumatra. *Palmas. Publicación Especial* 34: 221-242.
- Rodríguez SJ (1993) Fundamentos de fertilidad de cultivos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. 240p.
- Romero HM, Ayala IM, Romero RR (2007) Ecofisiología de la palma de aceite. *Palmas* 28 (Número Especial. Tomo I: 176-184.
- Ruiz-Álvarez O, Arteaga-Ramírez R, Vázquez-Peña MA, Ontiveros Capurata RE, López-López R (2012) Water balance and climatic classification of the state of Tabasco, Mexico. *Universidad y Ciencia* 28: 1-14.
- Salgado GS, Núñez ER (2012) Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa. México. 146p.

- Salgado GS, Palma LDJ, Ortiz GCF (2003) Las deficiencias de Boro en palma de aceite. Revista Produce Tabasco 4: 11-13.
- Salgado GS, Palma LDJ, Zavala CJ, Córdova SS, Castelán EM, Lagunes EL del C, Moreno CE (2016) Programa de fertilización sustentable para plantaciones de cítricos en Tabasco, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 3: 345-356.
- Salgado GS, Palma LDJ, Zavala CJ, Lagunes ELC, Ortiz GCF, Castelán EM, Guerrero PA, Moreno CE, Rincón RJA (2007) Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF): Ingenio Azsuremex. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México. 102p.
- Salgado GS, Palma LDJ, Zavala CJ, Ortiz GCF, Espinoza LL del C, Córdova SS (2017a) Integrated system for recommending fertilization rates in pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) crop. Acta Agronómica 66: 566-573.
- Salgado S, Palma LDJ, Lagunes EL del C, Castelán EM (2013) Manual para el muestreo de suelos plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados. México. 101p.
- Salgado-García S, Palma-López DJ, Zavala-Cruz J, Lagunes-Espinoza LC, Castelán-Estrada M, Ortiz-García CF, Juárez-López, JF, Ruiz-Rosado O, Armida-Alcudia L, Rincón-Ramírez JA, Córdova-Sánchez S (2011) Un programa de fertilización sustentable para el Ingenio "Presidente Benito Juárez" en Tabasco, México. Avances en Investigación Agropecuaria, 15: 45-65.
- Salgado-García S, Palma-López DJ, Zavala-Cruz J, Lagunes-Espinoza LC, Córdova-Sánchez S, Castelán-Estrada M, Ortiz-García CF, Rincón-Ramírez JA, Martínez-Becerra A (2017b) Recomendaciones de fertilizantes en palma de aceite en la Región de los Ríos de Tabasco. Grupo SIRDF-PA. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 69p.
- Santacruz A, Cristancho JA, Munévar MM (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 Publicación Especial 25: 160-169.
- SEMARNAT (2002) NOM-021-RECNAT Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. MÉXICO. 88p.
- SIAP (2018) La palma de aceite en el estado de Tabasco. Informe final. Padrón Nacional Georreferenciado de Palma de Aceite. México. 6p.
- Silva H, Rodríguez SJ (1995) Fertilización de las plantas frutales. Facultad de agronomía de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Departamento de Ciencias Vegetales. Santiago, Chile. 519p.
- Tabios GQ, Salas JD (1985) A comparative of precipitaton. Water Resources Bulletin 21: 365-380.
- Thorntwaite CW (1948) An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38: 55-94.
- Villón M (2007) Drenaje. Editorial tecnológica de Costa Rica. Primera edición. 544p.
- Woittiez LS, van Wijk MT, Slingerland M, van Noordwijk M, Giller KE (2018) Brechas de rendimiento en el cultivo de palma de aceite: una revisión cuantitativa de factores determinantes. Revista Palmas 39: 16-68.
- Yepes ORH (2019) Nutrición y fertilización con micronutrientes y su efecto en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jack). Revisión: Nutrition and fertilization with micronutrients and their effect on oil palm (*Elaeis guineensis* Jack). Review. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 4: 93-110.