

Programa de fertilización sustentable para plantaciones de cítricos en Tabasco, México

Sustainable fertilization program for plantations of citrus in Tabasco, Mexico

Sergio Salgado-García¹, David Jesús Palma-López¹, Joel Zavala-Cruz¹, Samuel Córdova-Sánchez^{2*}, Mepivoseh Castelán-Estrada¹, Luz del Carmen Lagunes-Espinoza¹, Carlos Fredy Ortiz-García¹, María del Carmen Rivera-Cruz¹, Floricel Ventura-Ulloa³, Álvaro Marín-Aguilar⁴, Elvia Moreno-Caliz¹, Joaquín Alberto Rincón-Ramírez¹

¹ Colegio de Postgraduados - Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n, CP. 86500. H Cárdenas, Tabasco.

² División de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Popular de la Chontalpa, Carretera Cárdenas - Huimanguillo, Km. 2, CP. 86500, H. Cárdenas, Tabasco, México. C. CA-QVDS.

³ Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Tabasco.

⁴ Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A.C.

*Autor de correspondencia: sacorsa_1976@hotmail.com

Artículo científico recibido: 07 de junio de 2014, **aceptado**: 06 de noviembre de 2015

RESUMEN. Se utilizó el Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilización (SIRDF) para generar un programa de fertilización sustentable en plantaciones de cítricos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México. Para aplicar el SIRDF, se obtuvieron datos climáticos locales, determinaron las propiedades físicas y químicas de los suelos, y la demanda de nutrientes del limón Persa y naranja Valencia se estimó para 10 nutrientes en función del potencial de rendimiento. La tasa de fertilización para N, P y K se determinó para cada subunidad de suelo. Los resultados muestran que las temperaturas de la región son adecuadas para los cítricos, pero la escasa precipitación registrada de febrero a mayo limita la producción de estos cultivos. Se determinaron dos grupos de suelos: Acrisoles y Cambisoles, ambos con suministro restringido de nutrientes para el cultivo. De acuerdo con el SIRDF las dosis de fertilización de N, P₂O₅ y K₂O para limón persa son: 207-69-240 para Acrisoles Distri-Hiperféricos; 207-69-300 para Acrisoles Ferri-Plínticos; 184-69-240 para Acrisoles Humi-Plínticos, Acrisoles Humi-Úmbricos y Acrisoles Umbri-Plínticos; 230-92-300 para Acrisoles Umbri-Gléyicos. Mientras que en el cultivo de naranja Valenciana se generaron las siguientes dosis de fertilización: 115-46-120 para Acrisoles Distri-Hiperféricos; 138-46-180 para Acrisoles Ferri-Plínticos, Acrisol Humi-Plíntico y Acrisol Humi-Úmbrico; 138-46-150 para Acrisoles Ferri-Úmbricos y Acrisoles Umbri-Gléyicos; 115-46-180 para Acrisoles Gleyi-Plínticos; y 115-46-150 para Acrisoles Umbri-Plínticos.

Palabras clave: Fertilidad, limón persa, modelo conceptual, naranja Valenciana, subunidades de suelo

ABSTRACT. Tell the Integrated fertilization (SIRDF) to generate a program for sustainable fertilization in citrus groves of the Savanna de Huimanguillo, Tabasco, Mexico System was used. To apply the SIRDF, local climate data were recorded, they determined the physical and chemical properties of soils and nutrient demand plantations Persian lime and orange Valencia 10 nutrients was estimated based on the yield potential. The fertilization rate for N, P and K was determined for each soil subunit of local ecological conditions. The results show that temperatures in the region are suitable for growing citrus fruits, but the low rainfall recorded from February to May is a limiting factor for the production of these crops. Acrisols and Cambisols, both with restricted supply of nutrients for growing the acrisols occupy the largest area: two groups of soils were determined. According to the SIRDF the fertilization of N, P₂O₅ and K₂O for Persian limes are: 207-69-240 in Acrisols Distri-Hiperféricos; 207-69-300 on Acrisols plinthic Lynch; 184-69-240 on Acrisols Humi-plinthic, Acrisols Humi-umbric and Acrisols Umbri-plinthic; 230-92-300 on Acrisols Umbri-gleyic. While in Valencia orange growing the following fertilization were generated: 115-46-120 in Acrisols Distri-Hiperféricos; 138-46-180 on Acrisols plinthic Lynch, Acrisol Humi-Plinthic and Acrisol Humi-Umbric; 138-46-150 on Acrisols Lynch umbric and Acrisols Umbri-gleyic; 115-46-180 on Acrisols Gleyi-plinthic; and 115-46-150 in Acrisols Umbri-plinthic.

Key words: Fertility, persian lime, conceptual model, Valencia Orange, soil subunits,

INTRODUCCIÓN

La Sabana de Huimanguillo, en Tabasco, México, tiene 15 371 ha de plantaciones de cítricos con limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) y naranja Valencia (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), en las que participan 726 productores de 58 comunidades (SIAP 2014). Las cuales se encuentran en suelos ácidos que se caracterizan por fijar fósforo con deficiencias de zinc, bajos niveles de amonio, nitratos, calcio, magnesio y potasio, y elevado porcentaje de saturación de aluminio (Zetina et al. 2002). Estas condiciones restrictivas de la fertilidad producen deficiencias nutricionales que reducen el rendimiento y la calidad de los frutos. Los rendimientos de naranja Valencia (NV) y limón Persa (LP) en la región son de 9.95 y 11.8 t ha⁻¹ (SIAP 2014), las cuales son inferiores a las 16.5 t ha⁻¹ para NV y 11.3 t ha⁻¹ para LP de otras zonas productoras del país (Curti et al. 2000).

Pese a los esfuerzo de los productores de cítricos de la región para disminuir la acidez de los suelos y corregir las deficiencias de B y Zn; las plantaciones presentan deficiencias de estos elementos (Zetina et al. 2002). Una opción, que se ha generada en el Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, es el Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilizantes (SIRDF), que genera recomendaciones de dosis de fertilización, tomando en cuenta las características del suelo, clima y cultivo (Salgado et al. 2005). Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue generar un programa de fertilización que considera la dosis de fertilizante, forma, época y costo de aplicación, en función de las subunidades de suelos de las plantaciones de LP y NV de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de Información

La información sobre la producción de LP y NV en la sabana de Huimanguillo, se recolectó y analizó junto con la superficie plantada, manejo agronómico, padrón de productores, requerimientos de NPK y datos meteorológicos (Salgado et

al. 2005). Además de la carta topográfica escala de 1:50 000 (INEGI 1986), modelos digitales de elevación, orto-fotos digitales a escala 1:75 000 y fotografías aéreas pancromáticas escala 1:75 000 (INEGI 2001).

Caracterización climática

El climograma se generó con los promedios mensuales de temperaturas máximas y mínimas, totales mensuales de precipitación y evaporación (Thorntwaite 1948), de la estación meteorológica Mosquitero con datos de 1960 a 1990 (CONAGUA 2006). Con los datos de precipitación anual de las estaciones meteorológicas: Paredón, Poblado C-32, Mosquitero, Mezcalapa, Francisco Rueda, Blasillo y Huimanguillo CFE y SMN, se generó un mapa temático de distribución de precipitación con los polígonos de Thiessen (Tabios y Salas 1985) con el programa Arc Gis 9 (ESRI 2007).

Caracterización edáfica

Se realizó de acuerdo con el manual para levantamientos de suelos de Ortiz y Cuanalo (1978). Se excavaron pozos pedológicos en cada unidad cartográfica de suelos (UCS) identificada, para describir el perfil de suelo, de acuerdo con el manual de Cuanalo (1981). De los cuales se colectaron muestras de suelo de cada uno de los horizontes, para realizar las determinaciones de materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y textura, para su clasificación de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT 2000). Los resultados de los análisis de laboratorio se utilizaron para clasificar los suelos con la Base de Referencia Mundial del Recurso Suelo (FAO-ISRIC-ISSS 2007) y Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff 2006). Las UCS se etiquetaron con el nombre de la subunidad, de acuerdo con la clasificación de la WRB.

Diagnóstico de la fertilidad de los suelos

Las parcelas muestreadas para diagnosticar la fertilidad de las subunidades de suelo se selec-

cionaron del mapa de subunidades. Se obtuvieron 152 muestras compuestas para determinar la fertilidad de las subunidades de suelo en el área de estudio. En cada plantación se colectaron 10 submuestras, de 0 a 30 cm de profundidad, en la zona de goteo del árbol, por medio de un recorrido en zig-zag dentro de la plantación para obtener muestras compuestas de distintos árboles (Salgado *et al.* 2013). Las muestras compuestas se secaron, se molieron y pasaron por una malla de dos milímetros. Para luego determinar el contenido de materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la clase textural, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (SEMARNAT 2000).

Estimación del rendimiento potencial de LP y NV

El rendimiento de frutos se obtuvo por medio de los registros de los productores, con lo cual se estimó el rendimiento potencial ($t\ ha^{-1}$), para luego usarlo en la estimación de la demanda nutrimental de cada plantación.

Estimación de la demanda nutrimental de N, P y K

La demanda nutrimental se obtuvo con la biomasa de frutos y hojas, considerando al resto de la planta como constante (Silva y Rodríguez 1993). La concentración nutrimental de los frutos se determinó a partir de una muestra compuesta de 10 árboles del centro de la parcela, que se muestrearon en un recorrido en zig-zag, en total se tomaron 20 frutos de LP y 10 de NV, los cuales se pesaron, cortaron en rodajas, colocaron en charolas de aluminio y se secaron en una estufa con flujo de aire a $70\ ^\circ C$, hasta peso constante (Olarate *et al.* 2001, Salgado *et al.* 2013). Para luego moler en un molino Wiley y pasar en un tamiz de malla de dos milímetros. El porcentaje de humedad se usó para determinar la producción de materia seca, tomando como base los rendimientos de cada plantación. El análisis de N se realizó con el método Micro-Kjeldahl, y el P y

K con HNO_3-HClO_4 , cuantificado por colorimetría y espectrofotometría de absorción atómica (Jones *et al.* 1991). Mientras que la biomasa de hojas se determinó con la relación: $RH = RF * 0.409$. Dónde: $RH =$ Rendimiento de hoja ($kg\ ha^{-1}$) y $RF =$ Rendimiento de fruto ($kg\ ha^{-1}$) (Silva y Rodríguez 1993).

La concentración nutrimental se determinó de una muestra compuestas de 80 hojas, provenientes de 10 árboles. Para lo cual se tomaron dos hojas de la parte media de la copa, en cada punto cardinal (Olarate *et al.* 2001). Para el secado, molienda y análisis, se siguió el procedimiento descrito para los frutos.

Aplicación del modelo conceptual

Para generar las dosis de fertilización para el N, P y K por subunidad de suelo, se calcularon los parámetros del modelo conceptual $DF = (DEM - SUM) / EF$ (Rodríguez 1993) de la siguiente manera: para determinar la demanda de N, P y K, se utilizó el peso de la materia seca (MS) y el contenido de N, P y K correspondiente a frutos y hojas de cada cultivo, según la ecuación: $DEM = MSF * (\%NF/100) + MSH * (\%HH/100)$. Dónde: $DEM =$ Demanda ($kg\ ha^{-1}$); $MSF =$ Materia seca de frutos ($kg\ ha^{-1}$); $MSH =$ Materia seca de hojas ($kg\ ha^{-1}$); $NF =$ Nutrimiento en frutos; $NH =$ Nutrimiento en hojas.

Debido a la baja fertilidad de los suelos de la sabana de Huimanguillo, el suministro se consideró como nulo (Pastrana *et al.* 1995, Zetina *et al.* 2002), por lo que el modelo conceptual se simplificó: $DF = DEM / EF$. La DF es la dosis de fertilizantes y la EF la eficiencia. La eficiencia de recuperación para el N se consideró de 50 % (Dasberg 1987), 30 % para el P y 40 % para el K (Silva y Rodríguez 1993).

RESULTADOS

Caracterización climática y edáfica

La precipitación total promedio de 30 años de la estación meteorológica Mosquitero es de 2 356 mm, la cual de acuerdo al balance de humedad satisface los requerimientos hídricos del cultivo

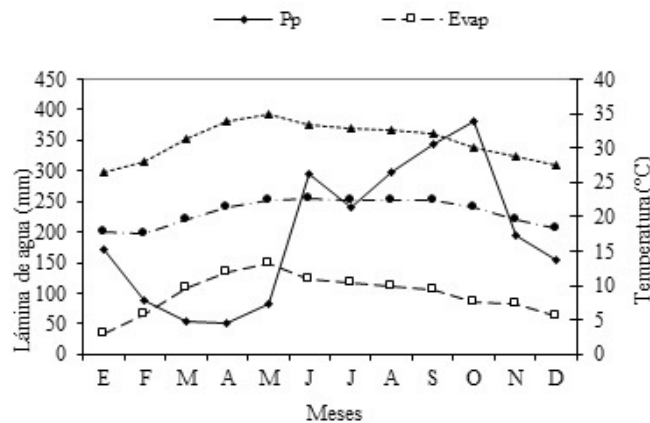


Figura 1. Comportamiento de elementos del clima de 1960 a 1990. Pp = precipitación, Evap = evaporación, Tmax = temperatura máxima y Tmin = temperatura mínima.

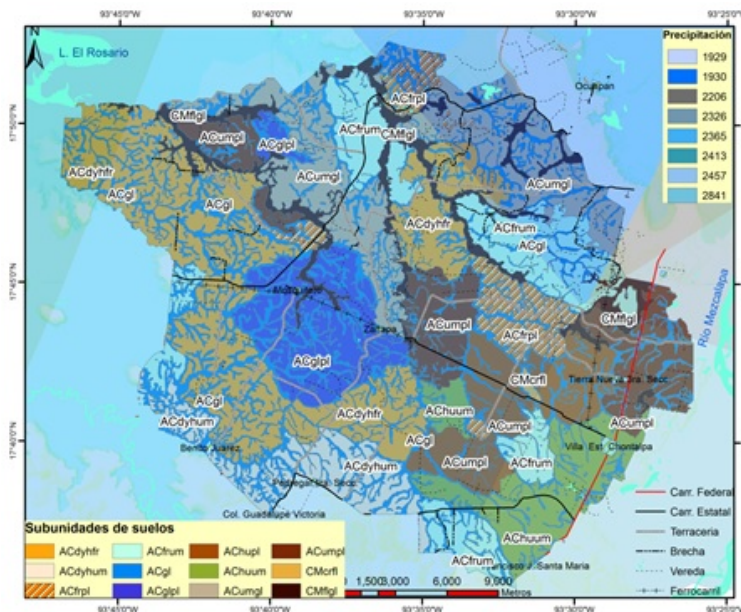


Figura 2. Polígonos de Thiessen y subunidades de suelos del área citrícola de Huimanguillo, Tabasco, México.

(Figura 1). Sin embargo, la precipitación oscila entre 1 930 y 2 400 mm (Figura 2), de acuerdo con los polígonos de Thiessen; por lo que la precipitación total supera los requerimientos hídricos de NV y LP, pero la distribución irregular a lo largo del año limita los rendimientos. La región citrícola de la sabana de Huimanguillo tiene 12 subunidades de suelos (Figura 2) que se clasifican como Migajón arcillo-arenosa (Tabla 2).

Fertilidad de las subunidades de suelo

Varias propiedades fisicoquímicas de las subunidades de suelo en la profundidad de 0 a 30 cm muestran similitud entre ellas (Tabla 1); el pH de los suelos fue menor a 5.0, por lo que se clasifica como fuertemente ácido en todos los suelos. Sin embargo, el contenido de MO mostró variaciones entre 3.7 y 7.6 %.

Las subunidades de suelos citrícolas presentan

Tabla 1. Grupos, subunidades de suelo y superficies en la zona citrícola de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Código de Grupo	Clasificación		Superficie (ha)	Porcentaje del Total
	Subunidades WRB (FAO-ISRIC-SICS 2007)	Taxonomía Americana (Soil Survey Staff, 2006)		
ACgl	Acrisol Gléyico	Aquic Kandiuult	14 327.52	19.93
ACdyhfr†	Acrisol Hiperdistri-Férrico	Plinthic Kandiuult	12 792.30	17.79
ACumgl†	Acrisol Umbri-Gléyico	Plinthaquic Kandiuult	7 964.20	11.08
ACfrum†	Acrisol Ferri-Úmbrico	Plinthic Kandiuult	7 452.65	10.37
ACumpl†	Acrisol Umbri-Plíntico	Typic Plinthudult	5 611.97	7.81
ACgpl†	Acrisol Gleyi-Plíntico	Typic Plinthudult	4 588.38	6.38
ACHuum†	Acrisol Humi-Úmbrico	Oxiaquic Kandiuult	4 508.78	6.27
ACHupl†	Acrisol Humi-Plíntico	Typic Plinthudult	4 293.86	5.97
CMflgl	Cambisol Ferrali-Gléyico	Aquic Dystrudept	4 281.30	5.95
ACfrpl†	Acrisol Ferri-Plíntico	Typic Plinthudult	3 026.64	4.21
ACdyhum	Acrisol Hiperdistri-Úmbrico	Oxiaquic Kandiuult	2 949.63	4.10
CMcrfl	Cambisol Cromi-Ferrálico	Oxyc Dystrudept	98.28	0.14
Total			71 895.50	100.00

† Subunidades de suelo donde existen plantaciones de cítricos.

contenidos de N de 0.10 a 0.20 %, P menor de 5 mg kg⁻¹, I K inferior a 0.20 cmol⁽⁺⁾ kg de suelo⁻¹, el Ca se encuentra entre 0.16 y 0.32 cmol⁽⁺⁾kg, mientras que el Mg se encuentra entre 0.10 y 0.32 cmol⁽⁺⁾ kg, y el NA entre 0.07 a 0.15 cmol⁺ kg de suelo⁻¹, mientras que la CIC se encuentra entre 5 y 15 cmol⁺ kg de suelo⁻¹. La concentración de Fe oscila entre 64 y 115 mg kg⁻¹, el Cu entre 0.60 y 1.10 mg kg⁻¹, el Zn entre 0.30 y 0.60 mg kg⁻¹ y el Mn en la subunidad ACfrum presenta 0.08, y hasta hasta 1.8 mg kg⁻¹ en las otras subunidades. El nivel de B es inferior a 1.0 mg kg⁻¹, lo cual es un valor adecuado (Tabla 2).

Demanda de NPK y dosis de fertilizantes

Los valores estimados de nutrientes que los cítricos extraen del suelo para producir entre 20 y 30 t ha⁻¹ de frutos de NV y LP se muestran en la Tabla 3 mientras que las dosis de fertilizantes diseñadas para satisfacer la demanda nutricional de estas especies, según la subunidad de suelo donde crecen, se presentan en la Tabla 4.

DISCUSIÓN

Caracterización climática

Una precipitación anual conveniente para el

cultivo de los cítricos debe de oscilar entre 875 y 1 400 mm (Orduz-Rodríguez y Mateus-Cagua 2012). En la zona de estudio la precipitación no se distribuye de forma adecuada en el año; ya que en los meses de febrero a mayo es deficiente (276 mm), lo que limita el crecimiento de los cítricos. En cambio de junio a enero, se registra una precipitación de 2080 mm, lo que favorece el desarrollo de los frutos de diciembre (Zetina et al. 2002) pero puede resultar excesiva si no existe buen drenaje.

Caracterización edáfica

De las 12 subunidades encontradas en las plantaciones de cítricos estudiadas, 10 subunidades corresponden al grupo Acrisol y dos al grupo Cambisol (FAO-ISRIC-ISSS 2007); las plantaciones de LP y NV estudiadas, se encuentran establecidas sobre ocho subunidades de Acrisoles (Tabla 1); de las que se presenta su equivalencia con los subgrupos de la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff 2006). Estos suelos presentan horizontes con características gléyicas lo que indica problemas de drenaje (Palma et al. 2007); presentando las subunidades ACgpl y ACumgl efectos de exceso de humedad en los meses más lluviosos, condiciones que provocan retrasos en el desarrollo de los cultivos y, en consecuencia en el rendimiento (Pastrana et al. 1995).

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de las subunidades de suelo en la profundidad de 0 a 30 cm, cultivadas con naranja Valencia y limón Persa en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Propiedad	Subunidad de Suelo							
	ACdyhfr	ACfrpl	ACfrum	ACgpl	ACHupl	ACHuum	ACumgl	ACumpl
pH (H ₂ O)	5.00±0.27	4.90±0.37	4.70±0.27	4.90±0.18	4.80±0.26	4.90±0.33	4.90±0.29	4.70±0.35
MO, %	4.50±1.90	5.80±3.20	3.90±2.20	7.60±4.10	5.20±2.40	3.70±1.80	6.50±3.10	4.70±2.80
N %	0.15±0.05	0.20±0.07	0.14±0.05	0.17±0.09	0.16±0.06	0.10±0.05	0.20±0.06	0.13±0.08
P mg kg ⁻¹	3.00±1.20	3.00±1.50	1.10±0.70	2.20±0.70	1.10±0.50	ND	2.20±1.40	2.40±1.70
K cmol(+)kg ⁻¹	0.15±0.09	0.10±0.04	0.13±0.05	0.10±0.10	0.10±0.06	0.10±0.06	0.11±0.09	0.11±0.10
Ca cmol(+)kg ⁻¹	1.00±0.70	1.50±0.90	1.10±0.60	2.10±1.40	1.50±0.90	1.20±0.90	1.60±1.00	1.20±1.00
Mg cmol(+)kg ⁻¹	0.21±0.10	0.20±0.19	0.16±0.12	0.10±0.06	0.32±0.24	0.23±0.20	0.17±0.09	0.19±0.15
Na cmol(+)kg ⁻¹	0.12±0.09	0.10±0.09	0.09±0.09	0.09±0.04	0.08±0.05	0.10±0.06	0.15±0.08	0.07±0.05
CIC cmol(+)kg ⁻¹	8.00±3.50	77.00±4.00	10.30±4.40	11.40±4.50	7.90±2.70	6.60±3.00	10.10±4.40	7.60±3.10
Acidezint cmol(+)kg ⁻¹	1.0±0.46	0.8±0.6	0.13±0.71	1.20±1.00	0.65±0.66	0.90±0.48	1.10±0.56	1.00±0.54
Al-int cmol(+)kg ⁻¹	0.75±0.40	0.40±0.27	0.35±0.36	0.80±0.40	0.30±0.36	0.41±0.22	1.02±0.56	0.72±0.50
Fe mg kg ⁻¹	67.00±52.00	76.00±21.00	21.00±16.00	115.00±58.00	85.00±29.00	94.00±29.00	72.00±15.00	64.00±49.00
Cu mg kg ⁻¹	0.60±0.30	0.80±0.50	0.4±0.30	1.10±0.20	0.80±0.50	0.60±0.50	0.80±0.20	0.70±0.50
Zn mg kg ⁻¹	0.30±0.20	0.50±0.30	0.4±0.10	0.50±0.20	0.60±0.50	0.30±0.20	0.30±0.20	0.51±0.30
Mn mg kg ⁻¹	1.50±0.90	1.80±1.00	0.8±0.50	1.20±0.60	1.70±0.80	1.10±0.50	1.10±1.00	1.20±0.90
B mg kg ⁻¹	2.00±0.80	1.80±0.70	2.2±0.40	2.40±0.40	2.30±0.50	2.00±1.10	2.30±0.30	1.70±0.50
Arcilla, %	33.00±4.00	33.00±7.00	35.00±11.00	29.00±3.00	34.00±4.00	34.00±8.00	34.00±4.00	34.00±9.00
Limo, %	13.00±4.00	14.00±6.00	15.00±6.00	19.00±7.00	15.00±6.00	11.00±5.00	16.00±6.00	14.00±5.00
Arena, %	54.00±8.00	53.00±6.00	50.00±6.00	52.00±4.00	52.00±6.00	55.00±7.00	50.00±5.00	52.00±8.00
Textura	Migajón Arcillo-arenosa	Migajón Arcillo-arenosa	Migajón Arcillo-arenosa	Migajón Arcillo-arenosa	Migajón Arcillo-arenosa	Migajón Arcillo-arenosa	Migajón Arcillo-arenosa	Migajón Arcillo-arenosa

Tabla 3. Demanda nutricional para satisfacer la producción de frutos de limón Persa y naranja Valencia en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Subunidad de suelo	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	kg ha ⁻¹									
I Limón Persa 30 t ha ⁻¹										
ACdyhfr	53.60±15.0	6.60±1.0	53.50±10.0	35.10±10.0	4.80±2.0	410.00±109.0	19.00±0.0	55.00±8.0	37.00±21.0	82.00±47.0
ACfrpl	60.10±24.0	7.80±2.0	64.00±2.0	32.10±10.0	4.90±1.0	405.00±95.0	25.00±6.0	93.00±37.0	46.00±10.0	100.00±15.0
AChupl	50.40±5.0	6.90±1.0	54.90±14.0	35.00±10.0	4.30±1.0	358.00±135.0	24.00±6.0	51.00±23.0	18.00±8.0	54.00±18.0
ACHuum	54.80±7.0	6.90±1.0	57.10±9.0	31.80±12.0	4.20±1.0	166.00±72.0	19.00±3.0	32.00±5.0	22.00±6.0	59.00±14.0
ACumgl	59.70±6.0	7.90±1.0	65.40±2.0	34.00±10.0	4.40±1.0	192.00±73.0	7.00±1.0	31.00±4.0	38.00±11.0	69.00±15.0
ACumpl	49.90±6.0	6.80±1.0	53.20±11.0	34.40±14.0	4.40±1.0	416.00±130.0	18.00±6.0	52.00±28.0	35.00±15.0	129.00±23.0
I Naranja Valencia 20 t ha ⁻¹										
ACdyhfr	23.4±15.0	3.0±2.0	23.9±12.0	15.6±8.0	2.0±1.0	157.0±91.0	9.0±5.0	28.0±10.0	17.0±9.0	37.0±15.0
ACfrpl	36.4±8.0	5.1±1.0	43.5±5.0	20.5±5.0	4.2±3.0	154.0±37.0	12.0±4.0	24.0±5.0	10.0±5.0	31.0±12.0
ACfrum	31.6±3.0	3.6±1.0	33.5±1.0	20.6±5.0	2.6±1.0	201.0±30.0	9.0±2.0	20.0±7.0	12.0±2.0	74.0±9.0
ACglpl	27.3±1.0	4.1±1.0	38.8±2.0	18.0±2.0	2.6±1.0	238.0±36.0	5.0±1.0	31.0±2.0	13.0±2.0	26.0±7.0
AChupl	36.6±9.0	4.80±1.0	39.4±6.0	20.0±5.0	3.3±1.0	307.0±160.0	13.0±4.0	38.0±16.0	12.0±4.0	52.0±24.0
ACHuum	35.0±13.0	4.0±1.0	40.2±7.0	16.9±5.0	3.0±1.0	161.0±68.0	12.0±2.0	10.0±3.0	8.0±5.0	88.0±15.0
ACumgl	29.8±4.0	4.5±1.0	33.0±5.0	17.8±3.0	2.4±1.0	148.0±71.0	8.0±4.0	23.0±8.0	12.0±3.0	14.0±6.0
ACumpl	32.7±6.0	4.5±1.0	32.7±9.0	21.3±11.0	2.6±1.0	165.0±67.0	10.0±5.0	20.0±7.0	13.0±5.0	73.0±24.0

I Se toma en cuenta el rendimiento potencial de los cultivos, ± = desviación estándar

Fertilidad de las subunidades de suelo

Los contenidos de MO en los suelos estudiados (Tabla 2), se clasifican de medios a muy ricos sin que esto sea limitante para el desarrollo de los cultivos de interés (Tavera 1985). Se tiene una baja disponibilidad de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn, lo que induce deficiencias nutrimentales en las plantaciones cítricas de la zona; mientras que la disponibilidad de Fe y Al se incrementa, induciendo toxicidad en las plantas de NV y LP. Para mejorar las condiciones de fertilidad y disminuir los contenidos de Fe y AL se recomienda aplicar cal dolomítica (Pastrana et al. 1995).

Los contenidos de N encontrados se clasifican de medios a ricos, mientras que en la relación C/N se clasifican como alta (Tavera 1985), lo que indica que en el suelo se da un proceso de inmovilización del N inorgánico, sobre todo por la alta acidez, por lo que no queda suficiente N disponible para el cultivo (Salgado et al. 2013). Los contenidos de P asimilable se consideran bajos (Borges-Gómez et al. 2008), lo que indica que se requiere aportar P suplementario para permitir el crecimiento y calidad de los frutos de NV (Quaggio et al. 2004). En lo referente al contenido de K se encontró que se encuentra bajo, lo que origina que los frutos de NV resulten de tamaño pequeño (Mattos et al. 2003); la alta acidez del suelo favorece la producción de ácidos orgánicos, principalmente ácido cítrico, que neutralizan el K disponible y provocan la senescencia precoz de los frutos (Malavolta 2006).

Los contenidos de Ca y Mg se clasifican como bajos, por lo que se recomienda practicar el encalado a base de cal dolomítica para incrementar el pH del suelo, abastecer de Ca y Mg a los cítricos y disminuir el Al intercambiable (Bertsch 1998). El Na en esta zona se encuentra en niveles adecuados (Salgado et al. 2013). Debido a que los suelos no tienen una estructura bien definida y a las pendientes de la zona, las bases son lavadas continuamente por las altas precipitaciones.

La CIC de las subunidades de estudio se clasifica como baja por lo que los suelos se consideran de baja fertilidad, con presencia de arcillas tipo Caolinita 1:1 (Palma et al. 2007) pero con más de

50 % de arena en los primeros 30 cm (Tabla 2), lo que produce una estructura no definida, aun cuando presentan altos contenidos de MO.

La concentración de Fe en la solución del suelo, se clasifica como alta (Roca et al. 2007), mientras que las concentraciones de Cu y Zn son bajas, por lo que es recomendable aplicar sulfato de cobre y sulfato de zinc para mejorar la disponibilidad de estos elementos (Salgado y Núñez 2010). Las concentraciones de Mn son bajas en la subunidad ACfrum, pero rara vez se observan deficiencias visuales en los cultivos de NV y LP. En el resto de las subunidades el contenido de MN se considera adecuado ($>1.0 \text{ mg kg}^{-1}$) aunque en algunas plantaciones se observaron valores mayores de 1.0 mg kg^{-1} . Mientras que el contenido de B se considera adecuado (Viets y Lindsay 1973).

Demanda NPK y dosis de fertilización

Bajo las condiciones de la Sabana de Huimanguillo y debido al mayor rendimiento de fruto, las plantaciones de LP presentan mayores demandas de N, P y K que las de NV (Quaggio et al. 2002). Las demandas estimadas de N, P y K de los cultivos de cítricos están dentro de los valores reportados para diversas regiones cítricas del mundo (Obreza 2003, Alva et al. 2006).

Las dosis de fertilizantes para NV recomendadas en este estudio son más bajas en N y P que la dosis propuesta por Pastrana et al. (1995) para plantaciones de NV y que las dosis recomendadas para otras regiones cítricas del país (Olar-te-Ortíz et al. 2001, Pérez 2004). Sin embargo, la dosis recomendada sugiere mayor aportación de K, ya que el contenido de este elemento en el suelo es pobre, además de su relación con los azúcares del fruto de los cítricos (Quaggio et al. 2002).

Para el LP solo se recomienda la fórmula 450-150-225 kg ha^{-1} (Curti et al. 2000). Esta dosis es extremadamente alta, pero de baja eficiencia, por lo que no es aplicable a las condiciones climáticas y edáficas de Tabasco (Obreza 2003). Dicha fórmula supera en mucho las dosis determinadas en este estudio para LP (Quaggio et al. 2002, Malavolta 2006).

Tabla 4. Grupos, subunidades de suelo y superficies en la zona citrícola de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, México.

Subunidad de suelo	Demanda total (frutos+hojas)			Dosis del modelo conceptual		
	N	P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	¹ Limón Persa 30 t ha ⁻¹					
ACdyhfr	101±21	9±10	77±15	202±42	71±11	248±49
ACfrpl	105±30	10±30	92±10	210±60	79±21	296±32
ACHupl	94±13	10±10	79±18	189±26	75±10	256±58
ACHuum	95±80	10±10	80±11	189±17	75±10	259±36
ACumgl	114±70	12±10	97±11	228±20	94±19	311±40
ACumpl	92±10	10±10	78±15	185±20	75±10	250±47
	¹ Naranja Valencia 20 t ha ⁻¹					
ACdyhfr	55±19	5±2	40±20	110±39	36±18	127±67
ACfrpl	68±11	7±1	58±70	137±22	51±10	186±25
ACfrum	65±50	5±1	50±30	130±90	40±70	160±10
ACglpl	57±30	6±1	56±50	115±50	44±20	182±16
ACHupl	66±12	6±1	55±80	132±24	48±13	179±27
ACHuum	61±15	6±1	58±10	121±32	42±90	186±34
ACumgl	67±20	6±1	48±90	134±64	46±70	155±30
ACumpl	63±80	6±1	49±12	126±16	47±50	159±40

¹Se toma en cuenta el rendimiento potencial de los cultivos. ± = desviación estándar.

Con base en los resultados de este estudio se proponen cuatro dosis de fertilización NPK para LP: 207-69-240 para la subunidad Acrisol Distri-Hiperférico; 207-69-300 para la subunidad Acrisol Ferri-Plíntico; 184-69-240 para las subunidades Acrisol Humi-Plíntico, Acrisol Humi-Úmbrico y Acrisol Umbri-Plíntico; y 230-92-300 para la subunidad Acrisol Umbri-Gléyico. Para las plantaciones de NV se proponen cinco dosis de fertilización: 115-46-120 para la subunidad Acrisol Distri-Hiperférico; 138-46-180 para las subunidades Acrisol Ferri-Plíntico, Acrisol Humi-Plíntico y Acrisol Humi-Úmbrico; 138-46-150 para las subunidades Acrisol Ferri-Úmbrico y Acrisol Umbri-Gléyico; 115-46-180 para la subunidad Acrisol Gleyi-Plíntico; y 115-46-150 para la subunidad Acrisol Umbri-Plíntico.

CONCLUSIONES

La zona citrícola de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco, presenta un clima adecuado para el desarrollo de los cultivos de limón Persa y naranja Valencia, aunque en los suelos ACglpl y ACumgl se presentan problemas de exceso de humedad. El análisis de suelo indica que el pH es ácido, con altos contenidos de MO, contenidos medios a ricos de N y bajos contenidos de P, K, Ca, Mg, Cu, Zn y Mn. Se generaron cuatro dosis de fertilización NPK para limón Persa, mientras que para naranja Valencia se generaron cinco dosis de fertilización.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Produce Tabasco, A.C., y al Consejo Citrícola de Tabasco, A.C., por el apoyo financiero para realizar el presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Alva AK, Paramasivam S, Obreza TA, Schumann AW (2006) Nitrogen best management practice for citrus trees: I. Fruit yield, quality, and leaf nutritional status. *Scientia Horticultura* 107: 233-244.
- Bertsch HF (1998) La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157p.
- Borges-Gómez L, Soria-Fregoso M, Casanova-Villarreal V, Villanueva-Cohuo E, Pereyda-Pérez G (2008)

- Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia* 42: 21-27.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2006) Normales climatológicas para el estado de Tabasco 1971-2000. CONAGUA, México. D. F. <http://smn.cna.gob.mx/>. Fecha de consulta 28 de agosto de 2013
- Cuanalo CH (1981) Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. 2a. Ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 30p.
- Curti DSA, Loredó SRX, Díaz ZU, Sandoval RJA, Hernández HJ (2000) Tecnología para producir limón persa. INIFAP-CIRGOC. Campo experimental Ixtacuaco. Libro técnico No. 8. Veracruz, México. 144p.
- Dasberg S (1987) Nitrogen fertilization in citrus orchards. *Plant and Soil Interfaces and Interactions* 100: 1-10.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI) (2007) ArcGis vs 9.0. Environmental Systems Research Institute. ESRI Gis and Mapping Software. Redlands, California, USA. 130p.
- FAO-ISRIC-SICS (2007) Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos 103. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-Centro 330 Internacional de Referencia e Información en Suelos-Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo. Roma, Italia. 98p.
- INEGI (2001) Fotografías aéreas en blanco y negro, región de Huimanguillo, Tabasco, México. Escala 1: 75 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (1986) Síntesis geográfica y anexo cartográfico del estado de Tabasco. México, DF. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 118p.
- Jones BJ, Wolf B, Mills HA (1991) *Plant Analysis Handbook: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide*. Micro-Macro Publ. Georgia, EEUU. 213p.
- Malavolta E (2006) Manual de nutrição mineral de plantas. Editora Agronômica CERES Ltda. São Paulo, Brasil. 631p.
- Mattos DJ, Quaggio JA, Cantarella H, Alva AK (2003) Nutrient content of biomass components of Hamlin sweet orange trees. *Scientia Agricola* 60: 155-160.
- Obreza TA (2003) Importance of potassium in a Florida Citrus nutrition program. *Better Crops* 87: 19-22.
- Olarte-Ortiz O, Almaguer VG, Espinoza JR (2001) Efecto de la fertilización foliar en el estado -nutrimental, la fotosíntesis, la concentración de carbohidratos y el rendimiento en Naranja "Valencia Late". *Terra* 2: 339-347.
- Orduz-Rodríguez JO, Mateus-Cagua DM (2012) Generalidades de los cítricos y recomendaciones agronómicas para su cultivo en Colombia. En: *Cítricos: Cultivo, poscosecha e industrialización*. Serie Lasallista Investigación y Ciencia. Universitaria Lasallista. Colombia. pp: 49-88.
- Ortiz SC, Cuanalo CHE (1978) Metodología del levantamiento fisiográfico: un sistema de clasificación de tierras. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados. México. 85p.
- Palma LDJ, Cisneros DJ, Moreno CE, Rincón RJA (2007) Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco, A.C. Villahermosa, Tabasco. 195p.
- Pastrana LA, Rodríguez CM, León AIE, Ramírez DG (1995) Manual de producción de naranja en suelos ácidos de Tabasco. INIFAP-CIRGOC-CAEHUI-ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco. 30p.

- Pérez ZO (2004) Concentración nutrimental en hojas, rendimiento, eficiencia de producción, calidad de jugo e índices nutrimentales de Naranja valencia injertado en portainjertos de cítricos. *Agrociencia* 38: 141-154.
- Quaggio JA, Mattos JD, Cantarella H, Sanchez SE, Sempionato RO (2004) Sweet orange trees grafted on selected rootstocks fertilized with nitrogen, phosphorus and potassium. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 39: 55-60.
- Quaggio JA, Mattos JD, Cantarella H, Almedida EEL, Cardoso SAB (2002) Lemon yield and fruit quality affected by NPK fertilization. *Scientia Horticulturae* 96: 151-162.
- Roca N, Pazos MS, Bech J (2007) Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO Argentino. *Ciencia del Suelo* 25: 31-42.
- Rodríguez SJ (1993) Fundamentos de fertilidad de cultivos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. 240p.
- Salgado GS, Núñez ER (2010) Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos, Editorial -Colegio de Postgraduados-Mundi Prensa, México, DF. 146p.
- Salgado GS, Palma LDJ, Castelán EM, Lagunés ELC, Ortiz LH (2013) Manual para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, Cárdenas, Tabasco, México. 101p.
- Salgado GS, Palma LDJ, Lagunés ELC, Ortiz GCF, Ascencio RJM (2005) Bases para generar un programa sustentable de fertilización en un ingenio de Tabasco, México. *Interciencia* 30: 395-403.
- SEMARNAT (2000) NOM-021-RECNAT. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 75p.
- SIAP (2014) Anuario Estadístico de la Producción Agrícola: Cierre de la producción agrícola por estado. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de SAGARPA, México, DF. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=348. Fecha de consulta 29 de octubre de 2015.
- Silva EH, Rodríguez SJ (1993) Fertilización de plantaciones frutales. Colección en Agricultura, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. 518p.
- Soil Survey Staff (2006) Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos- Servicio de Conservación de los Recursos Naturales. Ortiz-Solorio CA, Gutiérrez-Castorena MC (Trad.). Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 331p.
- Tabios GQ, Salas DJ (1985) A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resources Bulletin* 21: 365-380.
- Tavera GG (1985) Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes del laboratorio para las áreas de asistencia técnica. Publicación 3, SMCS, Delegación la Laguna, Matamoros Coahuila. 258p.
- Thornthwaite CW (1948) An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38: 55-94.
- Viets FG, Lindsay LW (1973) Testing soils for zinc, copper, manganese and iron. In: Walsh LM, Beaton JD (Eds) *Soils testing and plant analysis*. Soil Science Society of America. Wisconsin, EEUU. pp: 153-172.

Zetina LR, Pastrana AL, Romero MJ, Jiménez ChJA (2002) Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. INIFAP-CIRGOC. Campos experimentales Papaloapan y Huimanguillo. Libro Técnico Núm. 10. Veracruz, Veracruz, México. 170p.