
LOTIFICACIÓN DEL CAMPO CAÑERO: UNA METODOLOGÍA PARA INICIAR LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN INGENIOS DE MÉXICO

SERGIO SALGADO-GARCÍA, DAVID J. PALMA-LÓPEZ, JOEL ZAVALA-CRUZ,
LUZ DEL C. LAGUNES-ESPINOZA, CARLOS F. ORTIZ-GARCÍA,
MEPIVOSETH CASTELÁN-ESTRADA, ARMANDO GUERRERO-PEÑA,
EMILIO M. ARANDA-IBÁÑEZ, ELVIA MORENO-CÁLIZ y JOAQUÍN A. RINCÓN-RAMÍREZ

RESUMEN

El minifundio es un fenómeno muy generalizado en las zonas cañeras de México. Para establecer un manejo agronómico bajo agricultura de precisión se propone un sistema de lotificación como alternativa a dicha problemática. Este trabajo se llevó a cabo utilizando como base el Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilizantes (SIRDF) en caña de azúcar. Mediante este sistema se generó la cartografía de las subunidades de suelos a escala 1:40000; seis polígonos de Thiessen, donde cada polígono representa un volumen de precipitación que fluctuó entre 1643 a 2165mm al año, en función del cual se forma el rendimiento de tallos molidos; un programa sustentable de fertilización constituido por 10 dosis de fertilización N, P₂O₅ y

K₂O; la época, forma de aplicación y el encalado complementario además de dosis de B, Zn y Cu. A partir del mapa de subunidades de suelos y la georreferenciación de las 962 parcelas que forman el área de abastecimiento del ingenio Azsuremex, se generaron 116 lotes de manejo, considerando un margen de 10 días por retrasos por tiempo perdido. La lotificación del campo cañero consistió en la agrupación de parcelas para integrar áreas compactas de manejo con superficie de 25-50ha. Los lotes fueron ubicados dentro de las subunidades de suelo, y deben ser cosechados el mismo día para homogenizar las labores de cultivo y mejorar la madurez del cultivo. Con esta información se elaboró un mapa a escala 1:30000.

El campo cañero del ingenio Azsuremex, en Tenosique, Tabasco, México, ocupa una superficie de 4484ha, de cuya actividad económica dependen directamente 600 familias. El área se caracteriza por estar compuesta de pequeñas superficies (<3,0ha por productor) y alta dispersión, lo cual dificulta el control de madurez y otras labores. Los rendimientos medios de caña de azúcar son de 60ton·ha⁻¹, menores a la media nacional de

PALABRAS CLAVE / Agricultura de Precisión / Programa de Fertilización / *Saccharum officinarum* / Subunidad de Suelo /

Recibido: 10/02/2009. Modificado: 19/02/2010. Aceptado: 23/02/2010.

Sergio Salgado-García. Doctorado en Ciencias en Fertilidad de Suelos, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesor-Investigador, COLPOS, Tabasco. Dirección: Periférico Carlos A. Molina s/n km 3.5. H. Cárdenas, Tabasco. México. e-mail: salgados@colpos.mx

David J. Palma-López. Doctorado en Ciencias en Génesis y Clasificación de Suelos, Institut National Polytechnique de Lorraine, Francia. Profesor-Investigador, COLPOS, México.

Joel Zavala Cruz. Doctorado en Ciencias en Fertilidad de Suelos, COLPOS, México. Profesor-Investigador, COLPOS, México.

Luz del C. Lagunes-Espinoza. Doctorado en Ciencias en Biología y Agronomía, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, Francia. Profesora-Investigadora, COLPOS, México.

Carlos F. Ortiz-García. Doctorado en Ciencias en Biología Molecular y Celular Vegetal, Universidad Paul Sabatier, Francia. Profesor-Investigador, COLPOS, México.

Mepivoseth Castelán-Estrada. Doctorado en Ciencias en Ecofisiología Vegetal, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Francia. Profesor-Investigador, COLPOS, México.

Armando Guerrero-Peña. Doctorado en Ciencias Químicas, Universidad de Salamanca, España. Profesor-Investigador, COLPOS, México.

Emilio M. Aranda-Ibáñez. Doctorado en Ciencia Animal, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Profesor-Investigador, COLPOS, México.

Elvia Moreno Cáliz. Maestría en Edafología, COLPOS, México. Investigadora, COLPOS, México.

Joaquín A. Rincón-Ramírez. Maestría en Ciencias Forestales, COLPOS, México. Investigador, COLPOS, México.

74ton-ha⁻¹, lo cual afecta negativamente los ingresos de los productores (Cañeros, 2007). Esta baja productividad es atribuida a la reducción de la fertilidad de los suelos, al retraso en la época de aplicación del fertilizante, y a la falta de renovación de las variedades de caña de azúcar en campo. Dentro del Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilización (SIRDF, Salgado *et al.*, 2005) se elaboraron algunos elementos necesarios para la agricultura de precisión, tales como el mapa de suelos a nivel semidetallado (escala 1:40000), las recomendaciones de fertilizantes por subunidad de suelo, los polígonos de Thiessen que representan el volumen de precipitación de cada estación meteorológica y las parcelas georeferenciadas; todo esto, con la finalidad de reducir la variabilidad observada en el campo (Bullock *et al.*, 2007). La lotificación consiste en establecer lotes compactos con superficie de 25-50ha para dar al cultivo de caña de azúcar un manejo agronómico uniforme y eficiente, logrando con ello aumentar la calidad y rendimientos de la materia prima (Sagarpa, 2007). Sin embargo, en México una característica de sus ingenios es el minifundismo, ya que la superficie promedio nacional de caña de azúcar por productor es <3,5ha, lo cual dificulta mejorar la mecanización del cultivo al existir un manejo agronómico diverso. El presente trabajo se desarrolló con los objetivos de mejorar el programa de fertilización y generar la lotificación del campo cañero del ingenio Azsuremex, a fin de uniformar el manejo agronómico del cultivo y contribuir a mejorar la calidad y rendimiento de la materia prima.

Materiales y Métodos

El ingenio Azsuremex S.A. de C.V. se dedica a la fabricación de azúcar estándar y como principal subproducto genera melaza. Se localiza en la Carretera La Palma, km 2+000, en Tenosique, Tabasco, México a los 17°25'N y 91°24'O, a una altitud de 60msnm. La temperatura promedio anual es de 26°C, la precipitación promedio anual de 1595mm y la humedad relativa promedio de 83% (Conagua, 2008). El trabajo se realizó de marzo 2005 a abril 2006, utilizando la metodología del SIRDF, que consta de siete fases (Palma *et al.*, 2002; Salgado *et al.*, 2005), a saber:

1- Caracterización climática, para lo cual en una primera etapa se analizaron los registros de temperaturas máximas y mínimas (°C), precipitación (mm) y evaporación (mm), obteniéndose datos promedio

mensuales de cada variable de la estación climatológica del Ingenio Azsuremex entre 2000 y 2006. Con esta información se generó un climograma (Thorntwaite, 1948). Además, con los datos de precipitación promedios mensuales de 55 años, se caracterizó el periodo de zafra en función de la cantidad de lluvia. En una segunda etapa se utilizaron los datos de siete pluviómetros del área de abastecimiento del ingenio, se calculó el promedio de precipitación de 1996 a 2006, y cada pluviómetro se georeferenció sobre el mapa de suelos generado. En seguida se realizó la definición de áreas con precipitación similar de acuerdo a los polígonos de Thiessen (Tabios y Salas, 1985), utilizando para ello el programa *Arc Gis 9* (ESRI, 2008).

2- Levantamiento de suelos, para definir los grupos mayores y subunidades de suelo en el área de influencia del ingenio (IUSS, 2007). Los planos de las parcelas cañeras fueron proporcionados por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Tabasco. La elaboración del mapa de suelos a escala 1:40000 se hizo utilizando el paquete de cómputo *Arc Gis 9* (ESRI, 2008).

3- Muestreo de suelos, para caracterizar la fertilidad de cada una de las unidades y calcular el suministro de N-P-K del suelo. Las profundidades de muestreo fueron 0-30cm y 30-60cm, tomando una muestra compuesta por parcela con una barrena de acero inoxidable. Los análisis se realizaron de acuerdo con (NOM, 2000).

Para el cálculo del suministro de N se considera que únicamente el 10% de la demanda de nitrógeno total (DEM-N), se incorpora al suelo a través de la desintegración de las hojas y las raíces; el resto se pierde en el campo (Inman-Barber *et al.*, 2002; Faroni y Trivelin, 2006). La fórmula utilizada es

$$\text{SUM-N} = (\text{DEM-N} * 0,10) + \text{NDS}$$

donde NDS: nitrógeno derivado del suelo, estimado en 30kg-ha⁻¹, en base a los rendimientos de caña de azúcar obtenidos sin fertilización (Salgado *et al.*, 2003) y la baja fertilidad de estos suelos. Para el fósforo,

$$\text{SUM-P} = [\text{P suelo (ppm)} * \text{Ec}] + [(\text{MSP}) * (\text{PPF} * 10)]$$

donde MSP: materia seca de la paja, considerando que el 60% de estos residuos se mineraliza y son los que pueden aportar P y K al cultivo de caña; PPF: concentración de P proveniente del análisis foliar (%); Ec: índice de eficiencia

del cultivo, el cual indica que por una ppm de P-Olsen, el cultivo absorbe 1,7kg de P del suelo para el caso de las gramíneas (Rodríguez, 1993). Finalmente, para el potasio

$$\text{SUM-K} = [\text{K suelo (ppm)} * \text{CK}] + [(\text{MSP}) * (\text{PKF} * 10)]$$

donde, PKF: concentración de potasio proveniente del análisis foliar (%). CK: la eficiencia de absorción de potasio, indica las ppm de K intercambiable que el cultivo absorbe según el tipo de suelo; cuyos índices son 1,4 para suelos francos y 1,3 para suelos arcillosos, respectivamente (Rodríguez, 1993).

Eficiencia (EF) es la cantidad de nutriente del fertilizante que es aprovechado por la planta y depende de factores tales como el tipo de cultivo, la fuente de fertilizante, la época y forma de aplicación. Para el N, la eficiencia se ha estimado en 50%, para el P en 30 y 40% para suelos arcillosos y francos, respectivamente, y para el K en 60 y 65% para suelos arcillosos y francos, respectivamente (Salgado *et al.*, 2005).

4- Estimación del rendimiento potencial, donde a partir de un muestreo de biomasa aérea en cada una de las subunidades de suelo, se determina la producción de materia seca de tallos y paja, así como la concentración nutricional de N, P y K (Jones *et al.*, 1991). Esta información es necesaria para estimar la demanda de nutrientes por subunidad.

5- Determinación de las dosis de fertilización, utilizando el modelo conceptual, $\text{DF} = (\text{DEM-SUM}) / \text{EF}$ (Rodríguez, 1993).

6- Generación de las recomendaciones de manejo de fertilizantes, tomando en consideración la unidad de suelo, el pH, y las fuentes de fertilizantes (Salgado *et al.*, 2006).

7- Lotificación de las parcelas cañeras, que se generó a partir del mapa de subunidades de suelos y la georeferenciación de las parcelas. Para integrar los lotes se tomó en consideración que éstos se ubicaran dentro de una subunidad de suelo, que en la agrupación de parcelas éstas fueran lo más cercanas posible, y que se organizaran para ser cosechadas en el mismo día. En esta etapa no se consideró la variedad ni el tipo de madurez que presentan las variedades: tempranas, medias y tardías. La elaboración del mapa considera las dosis de fertilizantes y se hizo mediante el paquete de cómputo *Arc Gis 9* del ESRI (ESRI, 2008).

Resultados y Discusión

Caracterización climática

El cultivo de caña de azúcar requiere una lámina de agua resultante de una precipitación de 1500mm por año para satisfacer sus requerimientos hídricos. En el área de abastecimiento del ingenio Azsuremex la precipitación promedio anual varía de 1643 a 2165mm, lo cual teóricamente podría satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. En la Figura 1, se observa que en la zona del ingenio, durante los meses de diciembre a abril, llueve 541mm, afectando la zafra y el proceso de maduración. Un análisis de datos de precipitación de 55 años, indica que el periodo de zafra se clasifica como húmedo (>420mm) en 26 años, semi-húmedo (300-420mm) en 18 años y seco (<300mm) en 11 años. En cambio, de mayo a octubre se registra la mayor precipitación, que es de 1982mm. Plantaciones de caña cosechadas al inicio de zafra requieren de riegos de auxilio para mejorar el con-

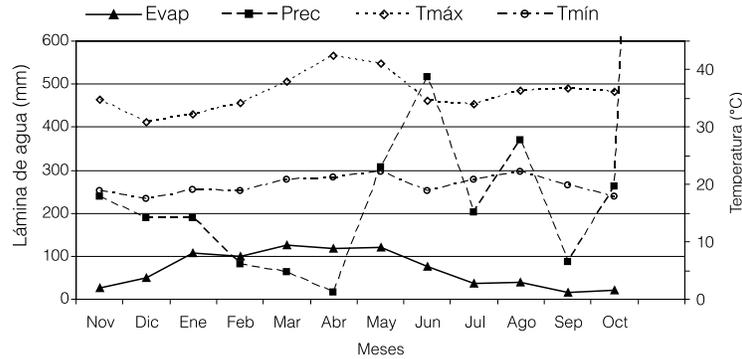


Figura 1. Comportamiento de algunos elementos del clima en el área de abastecimiento del Ingenio Azsuremex (Prec: precipitación, Evap: evaporación, Tmáx: temperatura máxima, Tmín: temperatura mínima).

trol de malezas y la fertilización del siguiente ciclo de cultivo. Las temperaturas durante el período de crecimiento son <20°C, pudiendo retardar el crecimiento y desarrollo del cultivo cuando la caña es cosechada a partir de abril. En los suelos Cambisol, Calcisol, Gleysol, Luvisol y Vertisol es frecuente observar los efectos de excesos de humedad en el suelo, que reducen el crecimiento y los rendimientos, y dificultan las labores de cultivo.

Se identificaron seis polígonos (Figura 2) donde la precipitación varía de 1643 a 2165mm; las mayores precipita-

ciones ocurren en la parte este-oeste y se reduce hacia el norte-sur, por lo que la adopción de un programa de drenaje superficial es necesaria en los Grupos Vertisol, Luvisol y Cambisol, ya que el exceso de humedad reduce el rendimiento del cultivo.

Estudio de suelos

A partir de la descripción de 30 perfiles, se identificaron 12 subunidades de suelo (IUSS, 2007): Calcisol Hipocálcico (Rúptico), Calcisol Hipocálcico (Límico), Cambisol Háplico (Límico, Éútrico, Arcillico), Cambisol Endogleyico Vértico (Arcillico, Éútrico), Cambisol Vértico (Arcillico, Éútrico), Fluvisol Háplico (Arcillico, Éútrico), Leptosol Mólico Gléyico (Hiperesquelético, Húmico), Leptosol Réndzico (Húmico), Luvisol Cutánico (Arcillico, Hipéútrico), Luvisol Cutánico (Férrico, Hipéútrico), Luvisol Gléyico Vértico (Arcillico), y Vertisol Stágnico (Pélico, Éútrico). Estos suelos abarcan 120012ha, lo que indica amplia dispersión del área cultivada con caña de azúcar (Figura 3).

TABLA I
DEMANDAS DE N, P Y K PARA TALLO, PAJA Y TOTAL DEL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR, Y EL SUMINISTRO DE NUTRIMENTOS EN LAS DIFERENTES SUBUNIDADES DE SUELO DEL INGENIO AZSUREMEX

Subunidad	Demanda de tallo (kg·ha ⁻¹)			Demanda de paja (kg·ha ⁻¹)			Demanda total (kg·ha ⁻¹)			Suministro (kg·ha ⁻¹)			Dosis del modelo (kg·ha ⁻¹)		
	N	P	K	N	P	K	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CLwc(cl)	31,9	6,3	100,4	54,8	11,3	82,4	86,8	40,4	219,4	39	49	207	96	0	21
DS	2,5	0,2	7,4	1,6	0,3	2,4	4,1	1,1	11,8	0	33	46			
CLwc(rp)	31,6	6,2	52,5	49,8	11,3	106,8	81,5	40,1	191,1	38	101	230	87	0	0
DS	0,6	0,1	1,6	0,3	0,1	0,9	0,9	0,4	3,0	0	41	53			
CMha(cleuca)	26,8	6,2	54,8	52,3	11,2	107,4	79,1	39,8	194,7	38	83	185	82	0	15
DS	1,7	0,4	5,0	2,4	0,7	5,8	4,0	2,3	12,9	0	35	50			
CMngvr(ceeu)	32,7	6,2	59,8	53,3	10,8	83,5	85,9	39,1	172,0	39	50	180	95	0	0
DS	2,2	0,3	6,1	1,6	0,5	3,9	3,8	1,7	12,0	0	29	59			
CMvr(ceeu)	21,5	5,8	86,2	49,7	9,5	82,6	71,2	35,0	202,5	37	44	296	68	0	0
DS	0,7	0,5	11,8	0,9	0,8	7,5	1,6	3,0	23,2	0	14	155			
FLha(ceeu)	36,4	8,9	166,8	66,3	15,4	102,2	102,7	55,5	322,7	40	50	362	125	18	0
DS	2,2	0,2	11,4	1,7	0,4	2,7	3,9	1,4	16,9	0	23	144			
LPmogl(hkhu)	32,1	5,9	70,9	50,3	10,7	92,3	82,4	38,1	195,9	38	50	224	88	0	0
DS	1,9	0,3	6,1	0,9	0,3	2,6	2,8	1,5	10,5	0	27	67			
LPrz(hu)	32,1	5,6	48,4	59,3	12,6	106,5	91,4	41,8	185,8	39	68	156	104	0	50
DS	1,7	0,2	3,6	1,5	0,3	3,5	3,1	1,3	8,6	0	17	40			
LVct(cehe)	22,6	3,9	36,0	52,0	9,3	90,0	74,7	30,2	151,2	37	36a	141	74	0	18
DS	0,8	0,2	3,2	1,6	0,3	3,4	2,4	1,1	8,0	0	15	62			
LVct(frhe)	28,8	5,9	52,8	51,6	11,2	90,5	80,3	39,1	171,9	38	57	227	85	0	0
DS	3,9	0,5	5,5	2,7	0,4	3,4	6,5	2,1	10,8	1	14	60			
LVglvr(ce)	40,1	6,3	71,2	56,8	11,5	74,0	96,9	40,7	174,2	40	38	166	114	9	14
DS	3,2	0,3	8,5	1,3	0,5	3,1	4,5	2,0	13,9	0	17	35			
VRsp(peeu)	37,3	6,6	94,0	54,0	11,2	88,1	91,2	40,9	218,4	39	66	245	104	0	0
DS	3,7	0,3	12,8	1,0	0,5	3,1	4,8	1,9	19,1	0	30	100			

DS: Desviación estándar

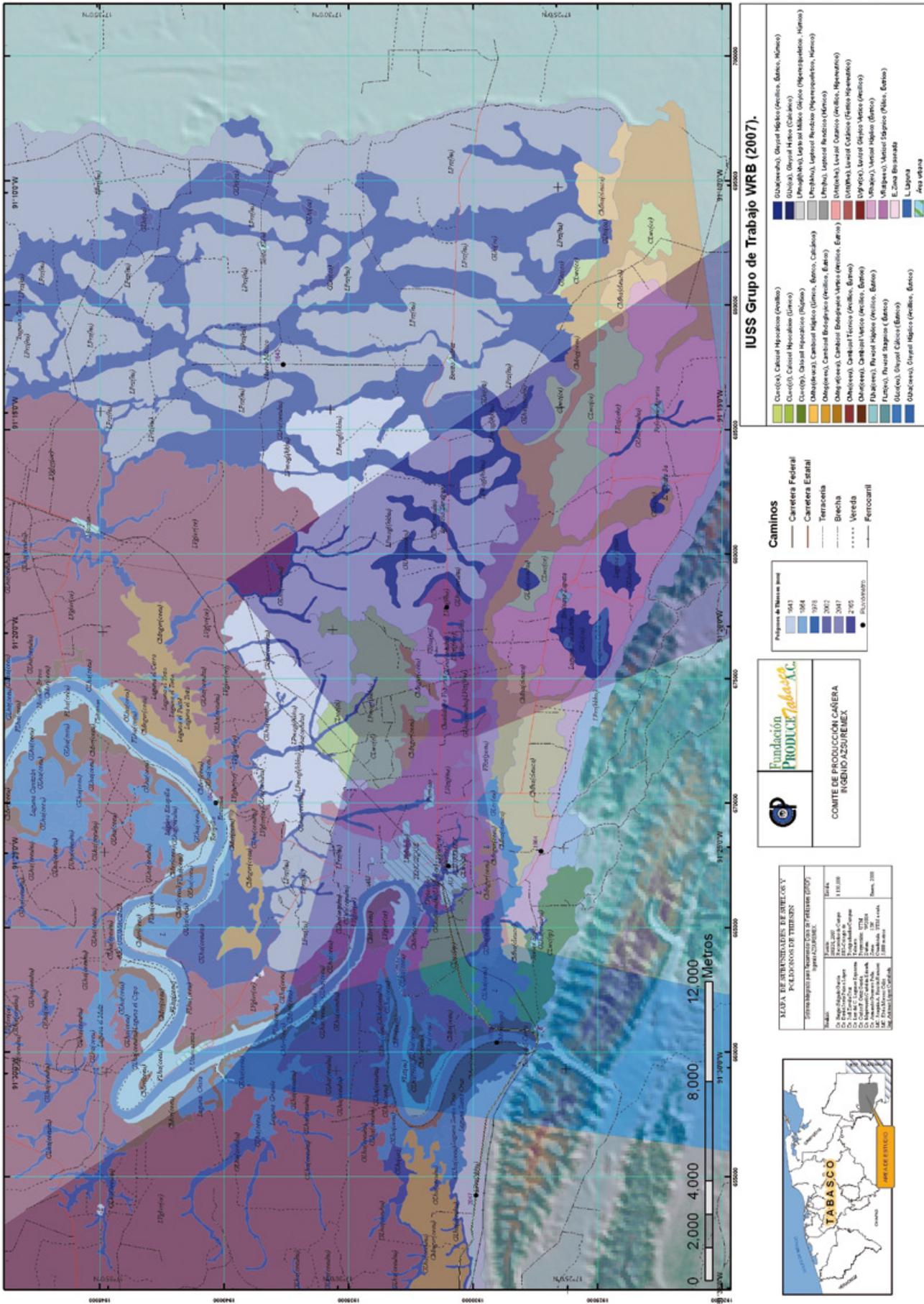


Figura 2. Polígonos de Thiesen en el ingenio Azsuremex en Tabasco México.

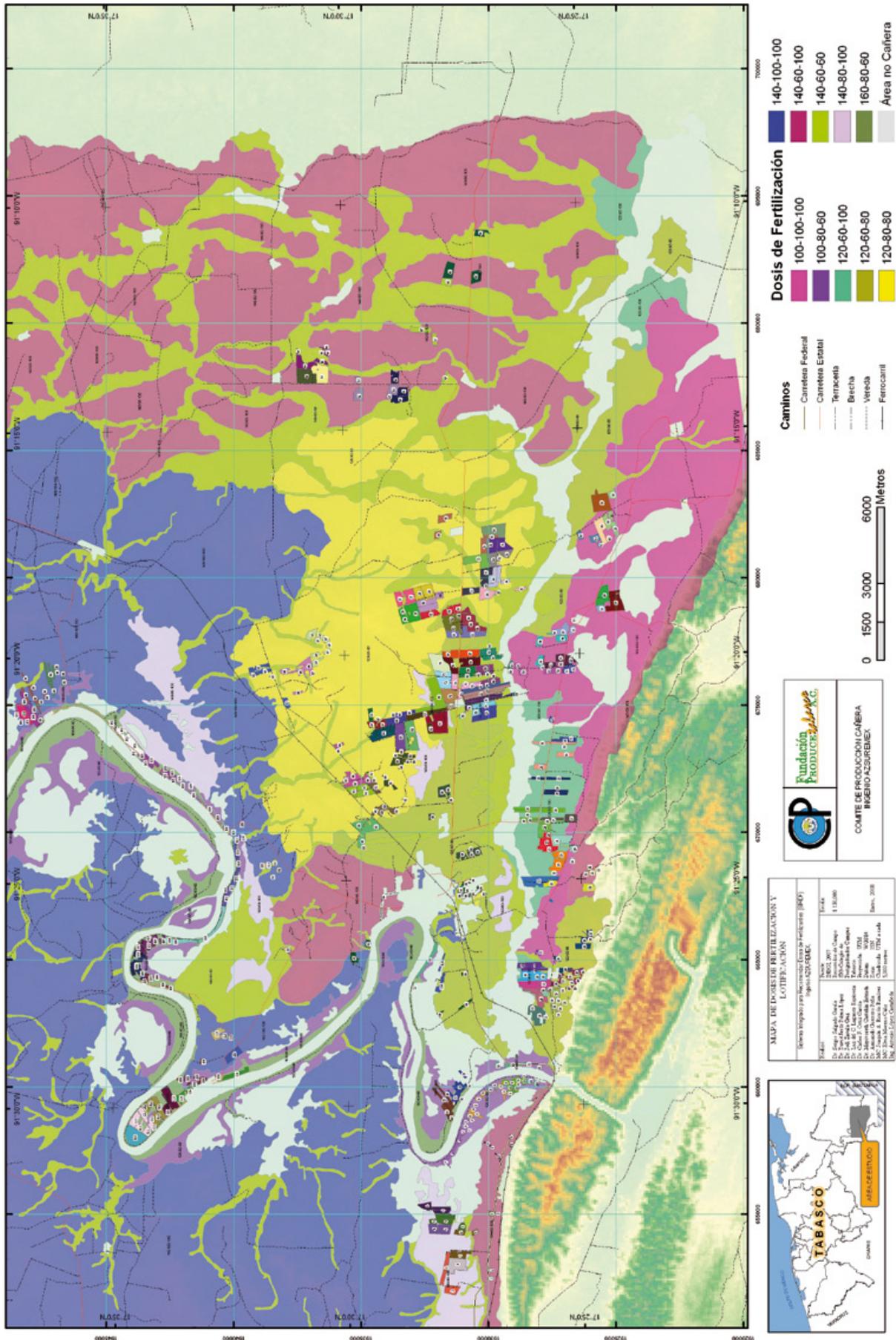


Figura 3. Ubicación geográfica de lotes cañeros y dosis de fertilización generadas para cada unidad de suelo en la zona de influencia del Ingenio Azsuremex en Tabasco, México.

TABLA II
FUENTES DE FERTILIZANTES RECOMENDADAS SEGÚN DOSIS Y COSTOS, PARA EL ÁREA CAÑERA
DEL INGENIO AZSUREMEX

Subunidad de suelo	Rendimiento potencial (kg·ha ⁻¹)	Dosis de fertilizante ajustada			Opciones de fuentes de fertilizantes	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	1: Triple 17	3: 20-10-10
		(kg·ha ⁻¹)				
CLwc(cl)	68	120	80	80	126-80-80 470kg Triple 17+100kg urea \$ 2808,00	120-83-90 600kg 20-10-10+50kg SPT+50kg KCl \$ 2815,00
CLwc(rp)	63	120	60	80	129-60-90 150kg Urea+353kg triple 17+50kg KCl \$ 2886,00	120-60-90 600kg 20-10-10 +50kg KCl \$ 2508,00
CMha(cleuca)	76	120	60	100	129-60-105 150kg Urea+353kg triple 17+75kg KCl \$ 3006,00	120-60-95 600kg 20-10-10 +75kg KCl \$ 2628,00
CMngvr(ceeu)	72	140	80	100	139-80-110 125kg Urea+470kg triple 17+50kg KCl \$ 3360,00	150-75-105 750kg 20-10-10 +50kg KCl \$ 3075,00
CMvr(ceeu)	69	100	80	60	106-83-60 100kg Urea+353kg triple 17+50kg SPT \$ 2682,00	100-83-65 500kg 20-10-10 +75kg SPT +25kg KCl \$ 2415,00
FLha(ceeu)	93	160	80	60	172-80-80 200kg Urea+470kg triple 17 \$ 3524,00	166-83-60 100kg urea+600kg 20-10-10 +50kg SPT \$ 3115,00
LPmogl(hkhu)	69	120	80	80	126-80-80 100kg Urea+470kg triple 17 \$ 2984,00	120-83-90 600kg 20-10-10 +50kg SPT +50kg KCl \$ 2815,00
LPrz(hu)	72	140	60	100	140-60-105 175kg Urea+353kg triple 17+75kg KCl \$ 3141,00	143-60-105 50kg urea+600kg 20-10-10 +75kg KCl \$ 2538,00
LVct(cehe)	68	100	100	100	100-100-100 588kg triple 17 \$ 3058,00	100-96-110 500kg 20-10-10 +100kg SPT+100kg KCl \$ 2983,00
LVct(frhe)	68	120	60	80	129-60-90 150kg Urea+353kg triple 17+ 50kg KCl \$ 2886,00	120-60-83 600kg 20-10-10 +50kg KCl \$ 2508,00
LVglvr(ce)	77	140	100	100	146-100-100 100kg Urea+588kg triple 17 \$ 3598,00	150-75-75 750kg de 20-10-10 \$ 2835,00
VRsp(peeu)	69	140	60	60	140-60-60 175kg Urea+353kg triple 17 \$ 2781,00	143-60-60 50kg urea+600kg 20-10-10 \$ 2538,00

Dosis de fertilización

Con los datos de 129 muestras de materia seca y la concentración nutricional de tallo y paja, se calculó la demanda nutricional (Tabla I). Las subunidades de suelos con mayor potencial de producción fueron FLha(ceeu) con más de 90ton·ha⁻¹; LVglvr(ce), CMha(cleuca), LPrz(hu) y CMngvr(ceeu) con más de 70ton·ha⁻¹, y el resto con más de 60ton·ha⁻¹ (Tabla I). Los suelos del Ingenio Azsuremex suministran los macronutrientes primarios en el siguiente orden K>P>N. El tallo presentó menor concentración de nutrientes en comparación de la paja. En la paja las

concentraciones de N, P, Cu y Zn fueron deficientes en todos los suelos (Jones *et al.*, 1991); la relación paja:tallo de 0,39 indica que la caña produce más paja que tallos moladeros, lo cual explica los bajos rendimientos de campo. El diagnóstico de la fertilidad de suelo indica que el contenido de arcilla, humedad, acidez y deficiencias de P, K, Cu, Zn y B son limitantes para la producción de la caña de azúcar (Corá *et al.*, 2004; Thorburn *et al.*, 2007). La fertilidad del suelo en los horizontes de 30-60cm disminuyó, lo cual indica que no existe acumulación de P y K (datos no mostrados). A partir de la demanda y el suministro se realizó el balance,

con los criterios que a continuación se detallan. En aquellos suelos donde el suministro fue mayor que la demanda es indicativo que el suelo aporta más nutrientes de los que requiere el cultivo; en estos casos Rodríguez (1993) señala que se debe aplicar una dosis de manutención para asegurar la fertilidad del suelo (Naranjo *et al.*, 2006). Cuando la demanda fue mayor que el suministro, se produce déficit, los resultados se dividen entre la eficiencia de utilización de N, P y K. Las dosis de fertilización para el Ingenio Azsuremex, generadas con el modelo conceptual (Tabla I), fueron más bajas en N, P y K que la dosis usada por el inge-

nio, de 120-60-60 (Rojas *et al.*, 1984) y las recomendadas por Palma *et al.*, 2002); estas dosis pudieran subestimar las necesidades de N, P y K debido al bajo rendimiento obtenido. Si el drenaje superficial es realizado los rendimientos de caña aumentarán y por consecuencia las demandas de N, P y K. Por esta razón, las dosis del modelo conceptual deben ser ajustadas tomando en consideración los rendimientos potenciales promedio de cinco zafras (2001/02 a 2005/06) y los resultados experimentales de estudios de fertilización (Salgado, 2003), para asegurar una balanceada nutrición al cultivo de caña (Tabla II).

Programa Sustentable de Fertilización

Dosis de fertilizantes. Se generaron 10 dosis de fertilizantes (Tabla II).

Fuentes. Las combinaciones de urea más 17-17-17 y el complejo 20-10-10, son más baratas (Tabla II).

Fecha. La fertilización debe realizarse de 1 a 3 meses después del rebrote, ya que a los 3 meses inicia el periodo de crecimiento acelerado y con él una demanda nutricional pronunciada (Gava *et al.*, 2006). No se recomienda aplicar el fertilizante al momento de la siembra, para reducir las pérdidas por volatilización y lavado.

Forma de aplicación. De preferencia la aplicación debe realizarse en forma mecanizada, ya que se deposita el fertilizante bajo el suelo y se disminuye así la volatilización del N.

Micronutrientes. En todas las subunidades de suelos aplicar 5kg·ha⁻¹ de sulfato de cobre, 10kg·ha⁻¹ de Prozacinc-C y 5kg·ha⁻¹ de Granubor. Los micronutrientes deben aplicarse un mes después de aplicar la cal, sobre el surco.

Cal. Después del corte, aplicar 400kg·ha⁻¹ de cal dolomítica en suelos con pH ácido, sobre el surco.

Lotificación

En México, poco o nada se ha trabajado en la lotificación del campo cañero (Sagarpa, 2007). El ingenio Azsuremex cuenta con 986 parcelas cultivadas con caña de azúcar, que en conjunto abarcan una superficie de 4484ha. Un lote es la agrupación de varias parcelas para integrar una superficie de 25-50ha. Se asume que un lote puede ser la superficie mínima de cosecha por día dentro del ingenio, por lo que se establecieron 116 lotes, dejando un margen de algunos

días para compensar el tiempo perdido. Para integrar los lotes es recomendable utilizar el mapa de subunidades de suelos. En teoría, un lote permitiría homogenizar el manejo agronómico del cultivo (destronque, resiembra, cultivo, fertilización y control de malezas), para favorecer la maduración uniforme de la caña de azúcar y, por lo tanto, incrementar la recuperación de azúcar en fábrica. En la Figura 3 se presenta el mapa de dosis de fertilizantes y la lotificación del campo cañero. En esta etapa no se consideró la variedad ni el ciclo de madurez de las mismas, porque las 4484ha cultivadas con caña están distribuidas en una superficie de 120012ha. El mapa de lotes resultante es a escala 1:30000.

Conclusiones

En el ingenio Azsuremex, durante los meses de zafra (diciembre a abril) llueve en promedio 541mm, afectando la zafra y el proceso de maduración de la caña de azúcar. Cañas que son cosechadas al inicio requieren riegos de auxilio para hacer más eficientes labores de cultivo tales como control de malezas y fertilización, sobre todo en los suelos LPrz(hu). El período de Mayo a Octubre corresponde a los meses más lluviosos, que ocasionan excesos de humedad en los suelos de textura arcillosa, por lo cual es necesario un programa de drenaje parcelario.

Se generaron seis polígonos de Thiessen, donde la precipitación varía de 1643 a 2165mm; las mayores precipitaciones ocurren en la zona este-oeste y se reducen hacia el norte-sur.

El diagnóstico de la fertilidad de las 12 subunidades establece que los suelos del área de abastecimiento del ingenio son de mediana fertilidad y los factores limitantes de la producción son contenido de arcilla, humedad, acidez y deficiencias de P, K, Cu, Zn y B.

El muestreo de biomasa mostró una relación paja:tallo de 0,39 que indica que se produce más paja de lo necesario, explicando los bajos rendimientos de caña.

Con el modelo conceptual se establecieron 10 dosis de fertilización diferenciadas, que fueron más bajas en N, P y K que la dosis general usada en el ingenio, por lo cual las dosis fueron ajustadas a los rendimientos promedio desde la zafra 2001/02 hasta la zafra 2005/06, y a los contenidos de P y K de cada tipo de suelo.

Especial atención requiere el manejo de N y P, dada la na-

turalidad alcalina de los suelos, ya que existen condiciones propicias para que el nitrógeno se pierda por volatilización. En el caso del fósforo, este puede ser fijado por el Ca y el Mg presente en el suelo.

Se generaron 116 lotes de manejo para mejorar el rendimiento y la calidad de la caña de azúcar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Produce Tabasco, A.C. y al Comité de Producción Cañera del Ingenio Azsuremex, por su apoyo económico y logístico en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Bullock SD, Kitchen N, Bullock DJ (2007) Multidisciplinary teams: A necessity for research in precision agriculture systems. *Crop Sci.* 47: 1765-1769.
- Cañeros (2007) Unión nacional de cañeros A.C.-CNPR: www.caneros.org.mx
- Conagua (2008) Servicio Meteorológico Nacional - Comisión Nacional del Agua. Normales. <http://smn.cna.gob.mx/>
- Corá JE, Araujo AV, Pereira GT, Beraldo JMG (2004) Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 28: 1013-1021.
- ESRI (2008) *ARCGIS 9.0 single usuario*. www.esri.com/software/arcgis/index.html. Cons. 10/04/2008).
- Faroni CE, Trivelin OPC (2006) Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. *Pesq. Agropec. Bras.* 41: 1007-1013.
- Gava JCG, Silva AM, Trivelin OPC, Vitti AC, Penati AC, Caputo MM (2006) Acumulación de fitomasa y macronutrientes en rebrotes de caña de azúcar cultivados en suelos cubiertos por paja. In: *Memorias del VI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latino América y el Caribe*, ATALAC. Guayaquil, Ecuador. pp. 1-9.
- Inman-Barber NG, Muchow RC, Robertson MJ (2002) Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. *Fields Crop Res.* 76: 71-84.
- IUSS (2007) *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. 1ª actualización. IUSS Grupo de Trabajo WRB. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos N° 103. FAO. Roma, Italia. 127 pp.
- Jones BJ, Wolf B, Mills HA (1991) *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing. Athens, Georgia, EEUU. 213 pp.
- Naranjo de la FJ, Salgado GS, Lagunes ELC, Carrillo AE, Palma-López DJ (2006) Changes in the soil fertility of fluvisoles cultivated with sugarcane

- through the years. *Soil Till. Res.* 88: 160-167.
- NOM (2000) *Norma Oficial Mexicana que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis.* NOM-021-RECNAT-2000. 2ª ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 26 pp.
- Palma-López DJ, Salgado GS, Trujillo NA, Obrador OJJ, Lagunes-ELC, Zavala CJ, Ruiz BA, Carrera MMA (2002) Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización (SIRDF). *Terra* 20: 347-358.
- Rodríguez SJ (1993) *Fundamentos de Fertilidad de Cultivos.* Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. 240 pp.
- Rojas MB, Ortiz VB, García EA (1984) *Fertilización de la caña de azúcar.* IMPA. México, D.F. 27 pp.
- Sagarpa (2007) *Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2007-2012.* SAGARPA. México. 52 pp.
- Salgado GS, Núñez ER, Bucio AL (2003) Determinación de la dosis óptima económica de fertilización en caña de azúcar. *Terra* 2: 267-272.
- Salgado GS, Palma-LDJ, Lagunes-ELC, Ortiz GCF, Ascencio JMR (2005) Bases para generar un programa sustentable de fertilización en un ingenio de Tabasco, México. *Interciencia* 30: 395-403.
- Salgado GS, Núñez ER, Palma-LDJ, Lagunes-ELC, Debernardi VH, Mendoza HRH (2006) *Manejo de Fertilizantes y Abonos Orgánicos.* ISPROTAB. Colegio de Postgraduados, Tabasco, México. 211 pp.
- Tabios GQ, Salas JD (1985) A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resour. Bull. AWRA.* 21: 365-380.
- Thorburn PJ, Webster AJ, Biggs IM, Biggs JS, Staunton SP, Park SE (2007) Systems to balance production and environmental goals of nitrogen fertilizer management. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 26: 302-309.
- Thorntwaite CW (1948) An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review.* 38(1): 55-94.

PARCELING OF SUGAR CANE FIELDS: AN ALTERNATIVE TO INITIATE PRECISION AGRICULTURE OF SUGAR PRODUCTION IN MEXICO

Sergio Salgado-García, David J. Palma-López, Joel Zavala-Cruz, Luz del C. Lagunes-Espinoza, Carlos F. Ortiz-García, Mepivoseth Castelán-Estrada, Armando Guerrero-Peña, Emilio M. Aranda-Ibáñez, Elvia Moreno-Cáliz and Joaquín A. Rincón-Ramírez

SUMMARY

Parceling of land into smaller plots is an alternative to the larger "minifundio", which is prevalent in the sugar cane areas of Mexico, as it would permit an agricultural precision land management. This was accomplished using the Integrated System for Recommended Doses of Fertilizers (ISRDF). ISRDF served to generate the cartography of soil subunits at a scale of 1:40000; six polygons of Thiessen, each representing a volume of participation in which the quantity of rain, which fluctuated from 1643 to 2143mm per year, increases or diminishes the output of sugar cane; and a fertilizer supported program that considers 10 doses of the fertilizers N, P₂O₅ and K₂O; the season and the form of ap-

plication, the addition of lime and the application of B, Zn and Cu. Using a map of soil subunits, and the demarcation of the 962 parcels of land that supply the Azsuremex mill, 116 lots were generated, allowing for a 10 days of delay for time lost. The plotting of sugar cane fields consisted in the cooperation of the producing parcels in order to integrate management parcels of 25-50ha. The lots located within a given soil subunit should be harvested on the same day in order to standardize harvest efforts and in order to improve the maturity of the harvest. A scale 1:30000 map was produced with this information.

LOTIFICAÇÃO DO CAMPO DE CANA: UMA METODOLOGIA PARA INICIAR A AGRICULTURA DE PRECISÃO EM ENGENHOS DO MÉXICO

Sergio Salgado García, David J. Palma-López, Joel Zavala Cruz, Luz del C. Lagunes Espinoza, Carlos F. Ortiz García, Mepivoseth Castelán Estrada, Armando Guerrero Peña, Emilio M. Aranda Ibáñez, Elvia Moreno Cáliz e Joaquín A. Rincón Ramírez

RESUMO

O minifundio é um fenômeno muito generalizado nas áreas de plantio de cana do México. Para estabelecer um manejo agrônomo sob agricultura de precisão é proposto um sistema de loteamento como alternativa a dita problemática. Este trabalho foi realizado utilizando como base o Sistema Integrado para Recomendar Doses de Fertilizantes (SIRDF) na cana de açúcar. Mediante este sistema se gerou a cartografia das sub-unidades de solos a escala 1:40.000; seis polígonos de Thiessen, onde cada polígono representa um volume de precipitação que variou entre 1643 a 2143mm ao ano, em função do qual se forma o rendimento de caules para extração; um programa sustentável de fertilização constituído por 10 doses de fertili-

zação N, P₂O₅ e K₂O; a época, forma de aplicação e o encaixado complementar além de doses de B, Zn e Cu. A partir do mapa de sub-unidades de solos e o georreferenciamento dos 962 lotes que formam a área de abastecimento do engenho Azsuremex, se geraram 116 lotes de manejo, considerando uma margem de 10 dias por atrasos por tempo perdido. O loteamento do campo de cana consistiu na agrupação de lotes para integrar áreas compactas de manejo com superfície de 25-50ha. Os lotes foram localizados dentro das sub-unidades de solo, e devem ser colhidos no mesmo dia para homogeneizar os trabalhos de cultivo e melhorar a maturidade do cultivo. Com esta informação se elaborou um mapa a escala 1:30000.