

PROGRAMA SUSTENTABLE DE FERTILIZACIÓN PARA EL INGENIO PUJILTIC, CHIAPAS, MÉXICO

A Sustainable Fertilization Program for the Sugar Complex Pujiltic in Chiapas, Mexico

Sergio Salgado-García^{1‡}, David J. Palma-López¹, Joel Zavala-Cruz¹, Luz del C. Lagunes-Espinoza¹, Mepivoseth Castelán-Estrada¹, Carlos F. Ortiz-García¹, José F. Juárez-López¹, Joaquín A. Rincón-Ramírez¹ y Edith Hernández-Nataren¹

RESUMEN

Con el fin de establecer dosis de fertilización para caña de azúcar cultivada en diferentes tipos de suelo del ingenio Pujiltic de Chiapas, México, se llevó a cabo el presente trabajo utilizando el sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes. La identificación de unidades cartográficas de suelos se hizo mediante interpretación de fotografías aéreas, recorridos de campo y barrenaciones a 1.2 m de profundidad. En cada unidad se describieron perfiles agrológicos y se efectuaron análisis físicos y químicos para clasificar el suelo según el Referencial Mundial de Suelos. Se generaron cinco polígonos de Thiessen; la precipitación fluctuó de 920 a 1250 mm. La dosis de fertilización de N, P₂O₅ y K₂O para cada subunidad de suelo se estimó mediante un modelo conceptual que se basa en el balance entre la demanda del nutrimento por el cultivo, el suministro que hace el suelo de éste y la eficiencia del fertilizante. Para estimar la demanda, se consideró la producción de materia seca y la concentración de N, P y K de la biomasa aérea de la caña de azúcar. El suministro de P y K se estimó a partir de los resultados del análisis químico de suelos y los aportes de N a partir de la cantidad de los residuos de cosecha y su manejo. Se definieron nueve grupos mayores de suelos, los cuales se clasificaron a nivel de subunidad. Las dosis de fertilización ajustadas fueron: 120-80-80 para Chernozem chérnico (Pachic Argiudoll), Cambisol mólico (Humic Eutrudept), Fluvisol calcárico (Oxyaquic Udifluent) y Regosol calcárico (Oxyaquic Udorthent); 160-80-80 para Calcisol hipocálcico (Typic Calciudoll), Leptosol réndzico (Lithic Haprendoll) y Vertisol éutrico (Oxyaquic

Hapludert); 120-60-60 para Calcisol vértico (Vertic Calciudoll) y Feozem paquiléptico (Pachic Hapludoll); 140-80-120 para Gleysol mólico (Typic Endoaquoll) y 100-60-60 para Vertisol poliéutrico (Aquic Hapludert).

Palabras clave: *Saccharum officinarum*, dosis de fertilización, subunidad de suelo, modelo conceptual.

SUMMARY

This work was carried out to determine fertilization rates for the different types of soil in which sugarcane is cultivated in the sugar complex Pujiltic, Chiapas, Mexico. Cartographic soil subunits were identified through interpretation of aerial photographs, field observations, and soil drilling to a depth of 1.2 m. In each subunit, the agrologic profiles were described and physical and chemical analyses were done to classify the soil according to the World Soil Map. Five Thiessen's polygons were created; precipitation fluctuated between 920 and 1250 mm. Fertilization rates of N, P₂O₅, and K₂O for each soil subunit were estimated using a conceptual model. This model is based on the balance of nutrient demand of the crop, nutrients supplied by the soil, and fertilizer efficiency. To estimate demand, dry matter production and N, P, and K accumulation of the sugarcane aerial biomass were determined. P and K supply was calculated from the results of soil chemical analysis, plus the N contributions from crop residues and their management. Nine major soil groups were found and classified as subunits. The fertilization rates adjusted for each soil subunit were (N, P₂O₅, K₂O, kg ha⁻¹): 120-80-80 for Chernic Chernozem (Pachic Argiudoll), Mollic Cambisols (Humic Eutrudept), Calcaric Fluvisols (Oxyaquic Udifluent), and Calcaric Regosols (Oxyaquic Udorthent); 160-80-80 for Hypocalcic Calcisols (Typic Calciudoll), Rendzic Leptosols (Lithic Haprendoll) and Eutric Vertisols (Oxyaquic Hapludert); 120-60-60 for Vertic Calcisols (Vertic Calciudoll)

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México.

[‡] Autor responsable (salgados@colpos.mx)

and Pachileptic Phaeozens (Pachic Hapludoll); 140-80-120 for Mollic Gleysols (Typic Endoaquoll) and 100-60-60 for Pellicalcic Vertisols (Aquic Hapludert).

Index words: *Saccharum officinarum, fertilizer recommendation, soil unit, conceptual model*

INTRODUCCIÓN

El Ingenio Pujiltic se localiza en la región Central de Chiapas. Su área de abastecimiento abarca 16 500 ha de caña de azúcar en condiciones de riego, en las cuales se ha aplicado por más de 55 años la dosis de fertilización 160-85-85, sin considerar el cultivo de caña y la unidad de suelo. El rendimiento promedio del campo y la fábrica en la zafra 2004/2005, utilizando la dosis de fertilización referida fue de 90 Mg ha⁻¹ de tallos y 11.86% de azúcar (Cañeros, 2006). No obstante, dentro del ingenio existen áreas cuyos rendimientos son de 160 Mg ha⁻¹, lo cual ha derivado en una revisión del programa de manejo agronómico del cultivo de caña de azúcar en el ingenio Pujiltic. En la última década, las metodologías para generar recomendaciones de dosis de fertilización han recibido atención preferente de especialistas en fertilidad de suelos (Salgado *et al.*, 2000) y de economistas, debido a la creciente necesidad de utilizar con mayor eficiencia los fertilizantes (Volke y Etchevers, 1994; Martínez y Martínez, 1996), al incremento de sus precios y al imperativo de conservar el ambiente (Salgado *et al.*, 2001; Oliveira *et al.*, 2002). Uno de los enfoques que ha recibido un énfasis especial, por su sistema integrador, es el Sistema Integrado para Recomendar Dosis de Fertilizantes (SIRDF) que consta de ocho fases (Salgado *et al.*, 2005).

1. Diagnóstico del campo cañero para determinar la presencia de plagas, enfermedades, malezas, excesos de humedad, y áreas con o sin población de tallos homogénea.
2. Caracterización climática para definir áreas con la misma precipitación de acuerdo con los polígonos de Thiessen (Tabios y Salas, 1985).
3. Estudio agrológico para definir los principales grupos mayores o subunidades de suelo en el área de influencia del ingenio (FAO-ISRIC-SICS, 1999; Soil Survey Staff, 2006).
4. Muestreo de suelos para caracterizar la fertilidad de cada una de las unidades de suelos y calcular el suministro de N, P y K del suelo (Salgado *et al.*, 2006b; NOM-021-RECNAT, 2000).

5. Estimación del rendimiento potencial a partir de un muestreo de biomasa área en cada una de las subunidades de suelo para determinar la producción de materia seca de tallos y paja, así como la concentración nutrimental de N, P, K en la biomasa. Información necesaria para estimar la demanda de nutrimentos por subunidad.

6. Determinación de las dosis de fertilización con ayuda del modelo conceptual. Sus bases indican que para alcanzar un máximo rendimiento por condición agroecológica se debe satisfacer el balance entre la demanda del nutrimento por el cultivo (DEM) y el suministro que hace de éste el suelo (SUM). Si la demanda de un nutrimento es mayor que el suministro, se producirá un déficit que es necesario suplir con fertilización. Cuando la demanda es menor que el suministro, se aplicará una dosis para mantener la fertilidad del suelo y el rendimiento de caña, con base en criterios agronómicos y experiencia regional. La dosis de fertilización (DF) en situaciones de déficit nutrimental estará definida por la demanda, el suministro y la eficiencia de aprovechamiento del fertilizante por el cultivo (EF), ya que sólo parte del nutrimento aplicado es aprovechado. El modelo operativo para calcular la dosis de fertilización es: $DF = (DEM - SUM) / EF$ (Rodríguez, 1993), donde DEM es la cantidad del nutrimento que un cultivo requerirá para alcanzar el máximo rendimiento; se calcula con base en el requerimiento interno crítico del cultivo y la producción de biomasa asociada a dicho rendimiento. SUM comprende, por un lado, la capacidad del suelo para aportar el elemento y, por otro, la eficiencia de la planta para absorber el nutrimento disponible. Para el N, el suministro depende de factores de suelo y clima que afectan la mineralización de la materia orgánica (MO) del suelo y de los residuos de cosecha; para el P, el aporte depende de la capacidad del suelo para fijarlo, de su manejo, en relación con fertilizaciones previas y de su acumulación en los reservorios lábiles y no lábiles. La eficiencia de absorción de cada nutrimento por la planta depende del tipo de sistema radicular [densidad de raíces para el caso de P y K (Rodríguez, 1993)]. SUM para el P y K lo proporciona el análisis de suelo; sin embargo, para el N, Rodríguez (1993) considera que el suministro está en función de los residuos de cosecha, las raíces incorporadas y el nitrógeno inmovilizado de la fertilización del ciclo anterior, cuando el sistema se encuentra en equilibrio. Para el caso del P, el suministro es cuantificado a través del método de Olsen, juntamente con la eficiencia de absorción del cultivo, según el tipo

de sistema radical; para el caso del K, se mide la forma intercambiable, la capacidad tampón del suelo y la eficiencia de absorción del cultivo según el tipo de sistema radical. La eficiencia es la cantidad de nutrimento del fertilizante aplicado al suelo que es aprovechado por la planta y depende de factores como el tipo de cultivo, la unidad de suelo, la fuente, la época y la forma de aplicar el fertilizante.

7. 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.*, 2006a).

8. Establecimiento de parcelas de validación de las recomendaciones de fertilización; para ello, se selecciona una parcela por unidad de suelo, se fertiliza con la recomendación y se verifica el estado nutricional a los tres meses y los rendimientos de caña en el momento de la cosecha. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue generar un programa sustentable de fertilización por subunidad de suelos a través del SIRDF en caña de azúcar en el ingenio Pujiltic, ubicado en Venustiano Carranza, Chiapas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología basada en el SIRDF se aplica por segunda vez en su versión mejorada en caña de azúcar (Salgado *et al.*, 2005). En el presente trabajo, únicamente se exponen las fases de caracterización climática, estudio agrológico, muestreo de suelos, estimación del rendimiento potencial de caña de azúcar, aplicación del modelo conceptual y generación de dosis de fertilización por subunidad de suelo (Palma *et al.*, 2002). El trabajo se llevó a cabo de marzo de 2005 a mayo de 2006.

Caracterización Climática

La caracterización climática se realizó en dos fases; en la primera, 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 Pujiltic, con esta información se generó un climograma (Thorntwaite, 1948). Para la segunda fase, se utilizaron los datos de precipitación (mm) de seis estaciones climáticas cercanas a la zona de abastecimiento del ingenio, datos promedio de 30 años [de 1960 a 1990 (CONAGUA, 2006)]. Cada estación se georreferenció sobre el mapa de suelos obtenido del ingenio. En seguida se realizó la definición de áreas con

precipitación similar de acuerdo con los polígonos de Thiessen (Tabios y Salas, 1985), utilizando para ello el programa Arc Gis 9 (ESRI, 2007).

Levantamiento de Suelos

Recolección de información. En esta etapa, se revisó y colectó la información sobre la superficie cañera del ingenio Pujiltic, el padrón de productores del ingenio, las necesidades y requerimientos de N, P y K del cultivo de la caña de azúcar, la información sobre el manejo agronómico, los datos meteorológicos, la cartografía, las fotografías aéreas, los ortofotos y los modelos de elevación digital del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) realizadas en la región de estudio.

Fotointerpretación. La cartografía de suelos se realizó con base en la fotointerpretación de fotografías aéreas, escala 1:75 000 (INEGI, 1995). Posteriormente, se transfirió la información de las fotografías aéreas al mapa topográfico, escala 1:50 000 (INEGI, 1986).

Definición y caracterización de las unidades de suelo.

Una vez realizada la fotointerpretación del área, se procedió a la definición de sitios de muestreo por cada unidad cartográfica. La rectificación de la cartografía del suelo se realizó por medio de pozos agrológicos (calicatas) a 1.50 m de profundidad en promedio, describiéndose 44 perfiles de suelo (Cuanalo, 1981). En cada horizonte del perfil, se tomaron muestras compuestas de suelo, las cuales se secaron al aire y a la sombra, se molieron con un mazo de madera y se pasaron a través de un tamiz con malla 2 mm. El análisis correspondiente se realizó de acuerdo con los métodos descritos en la norma oficial mexicana-021-RECNAT-2000. A partir de la descripción de perfiles *in situ* y del análisis físico y químico se procedió a la clasificación de los suelos, para lo cual se consideraron el Referencial Mundial de Suelos y la Taxonomía (FAO-ISRIC-SICS, 1999; Soil Survey Staff, 2006).

Diagnóstico de la Fertilidad de las Subunidades de Suelos

Después de ubicar geográficamente los nueve grupos principales de suelos identificados: Chernozem, Calcisol, Cambisol, Fluvisol, Gleysol, Leptozol, Feozem, Regosol y Vertisol, se seleccionaron las parcelas a muestrear, al considerar la pendiente y localización de las mismas. En cada sitio se colectaron seis submuestras, siguiendo

un recorrido en zigzag; tres sobre el surco de caña y tres en el entresurco (Salgado *et al.*, 2006b) a una profundidad de 0 a 30 cm. En total se tomaron 154 muestras compuestas. Se determinó la concentración de MO, Nt, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn, Zn, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la textura, con los procedimientos descritos en NOM-021-REC/NAT-2000.

Muestreo de Biomasa de Caña de Azúcar

Para cuantificar el rendimiento potencial y estimar la demanda de nutrimentos por el cultivo de la caña de azúcar, se realizó el muestreo de biomasa aérea a los 11 meses de edad del cultivo (etapa de madurez). Para ello, se cosechó un metro lineal de biomasa (kg), y la cantidad obtenida se transformó a Mg ha⁻¹, considerando que una hectárea tiene 7692 m lineales. Estos rendimientos fueron ajustados con un factor de 0.3 para corregir el rendimiento de tallos zafrales (Mg ha⁻¹) y expresar la demanda de los nutrimentos en kg ha⁻¹. El sitio de muestreo se ubicó a 4 m de la orilla de la parcela. Después de pesar la muestra, se seleccionaron al azar cuatro tallos de caña, se separaron en tallo y paja, y se molieron en una picadora tipo Chetumal. Cada muestra se homogeneizó. De cada una se tomó una submuestra de 400 g, la cual se secó en estufa a 70 °C hasta alcanzar peso constante. El porcentaje de humedad por submuestra sirvió para determinar la producción de materia seca (MS). Enseguida las submuestras se pasaron a través de una malla de 2 mm en el molino Wiley para el análisis de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn y Zn, según los métodos señalados por Jones *et al.* (1991).

Cálculo de las Dosis de Fertilizantes

Para generar las dosis de fertilización de N, P y K por subunidad de suelo, se calcularon los parámetros del modelo conceptual $DF = (DEM - SUM) / EF$, de la siguiente manera (Rodríguez, 1993):

Demanda. Para determinar la demanda de N, P y K, se utilizó la materia seca del cultivo de caña correspondiente a paja (MSP) y tallos (MST) según la ecuación siguiente: $DEM (kg ha^{-1}) = MSP (kg ha^{-1}) * (\% \text{ nutrimento paja} / 100) + MST (kg ha^{-1}) * (\% \text{ nutrimento tallo} / 100)$

Suministro. En el caso del nitrógeno, se consideró que únicamente 10% de la demanda total de este elemento se incorpora al suelo a través de la desintegración de las hojas durante el período de crecimiento del cultivo y

las raíces (Hernández *et al.*, 1995). El resto se pierde en el campo con la quema de residuos y el transporte de los tallos al molino (Salgado *et al.*, 2005). La ecuación utilizada es:

$$SUM-N = (DEM-N * 0.10) + NDS$$

donde: NDS = nitrógeno derivado del suelo, estimado en 50 kg ha⁻¹, de acuerdo con el rendimiento de caña de azúcar obtenido sin fertilización (Salgado *et al.*, 2003b).

Para los otros elementos, las ecuaciones fueron:

$$SUM-P = [P \text{ suelo (mg kg}^{-1}) * Ec] + [(MSP * 0.6) * (\%P \text{ de paja} / 100)]$$

$$SUM-K = [K \text{ suelo (mg kg}^{-1}) * CK] + [(MSP * 0.6) * (\%K \text{ de paja} / 100)]$$

donde: el índice de eficiencia del cultivo (Ec) para gramíneas indica que por 1 mg kg⁻¹ de P Olsen, el cultivo absorbe 1.7 kg de P del suelo (Rodríguez, 1993). La eficiencia de absorción de K (CK) indica que por 1 mg kg⁻¹ de K intercambiable, el cultivo absorbe 1.4 kg de K en suelos francos y 1.3 kg de K en suelos arcillosos (Rodríguez, 1993). Para el cálculo del suministro del P y K, se considera que únicamente el 60% de la materia seca de paja es mineralizada en el primer año.

Eficiencia (EF). Para el N, la eficiencia utilizada fue de 50% (FAO, 1984; Basanta *et al.*, 2003); sin embargo, el N del fertilizante aplicado estimula la actividad microbiana mineralizándose mayor cantidad de N, el cual es tomado por el cultivo. Para el caso del P, la eficiencia es de 30% según la textura arcillosa, que caracterizó a estos grandes grupos. Para el K, la eficiencia es de 60% para suelos arcillosos (García, 1984; Rodríguez, 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización Climática

Durante el período de crecimiento y desarrollo del cultivo (mayo a octubre), la precipitación acumulada fue de 932 mm y la temperatura superior a 21 °C (Figura 1). En contraste, durante los meses de noviembre a abril, la precipitación fue mínima (72 mm de lluvia), lo que permitió la maduración y cosecha del cultivo. De acuerdo con este análisis, el clima en el área de abastecimiento es adecuado para el cultivo de la caña de

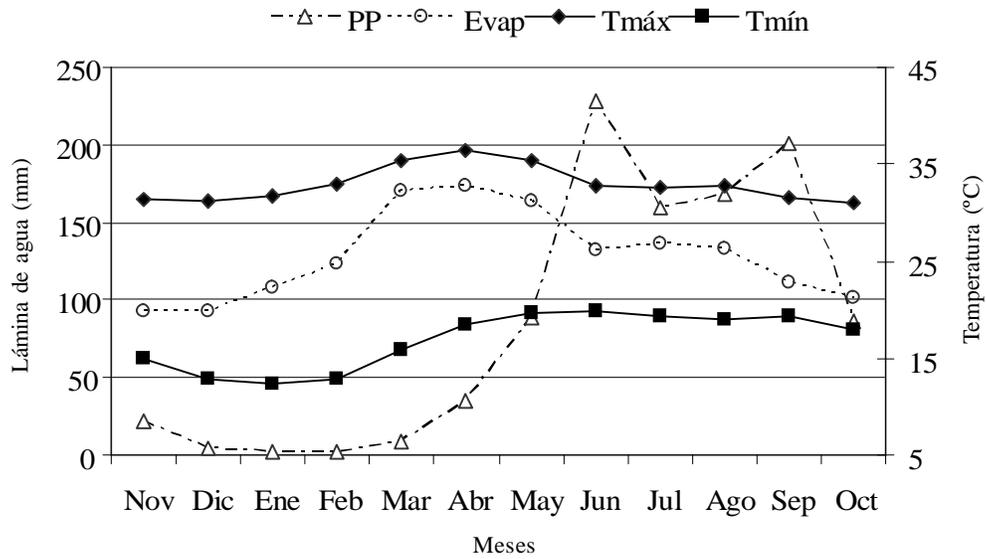


Figura 1. Comportamiento del clima en el área de abastecimiento del ingenio Pujiltic.

azúcar a excepción de la distribución de la precipitación y debido al déficit de humedad, es necesaria la aplicación de dos a tres riegos de auxilio. En la época de lluvias en suelos con textura arcillosa, es frecuente observar excesos de humedad, lo cual retrasa el desarrollo del cultivo, por lo que la adopción de un programa de drenaje superficial controlado es fundamental.

Lo anterior requiere de estudios específicos por zonas, ya que éstas van de 620 m en el valle a los 1200 m en Villa las Rosas. En la Figura 2, en la cual se presentan los cinco polígonos de Thiessen (Tabios y Salas, 1985), se observa que en la zona de abastecimiento del ingenio Pujiltic existe un intervalo de precipitación de 920 a 1250 mm; las mayores precipitaciones ocurren en la parte

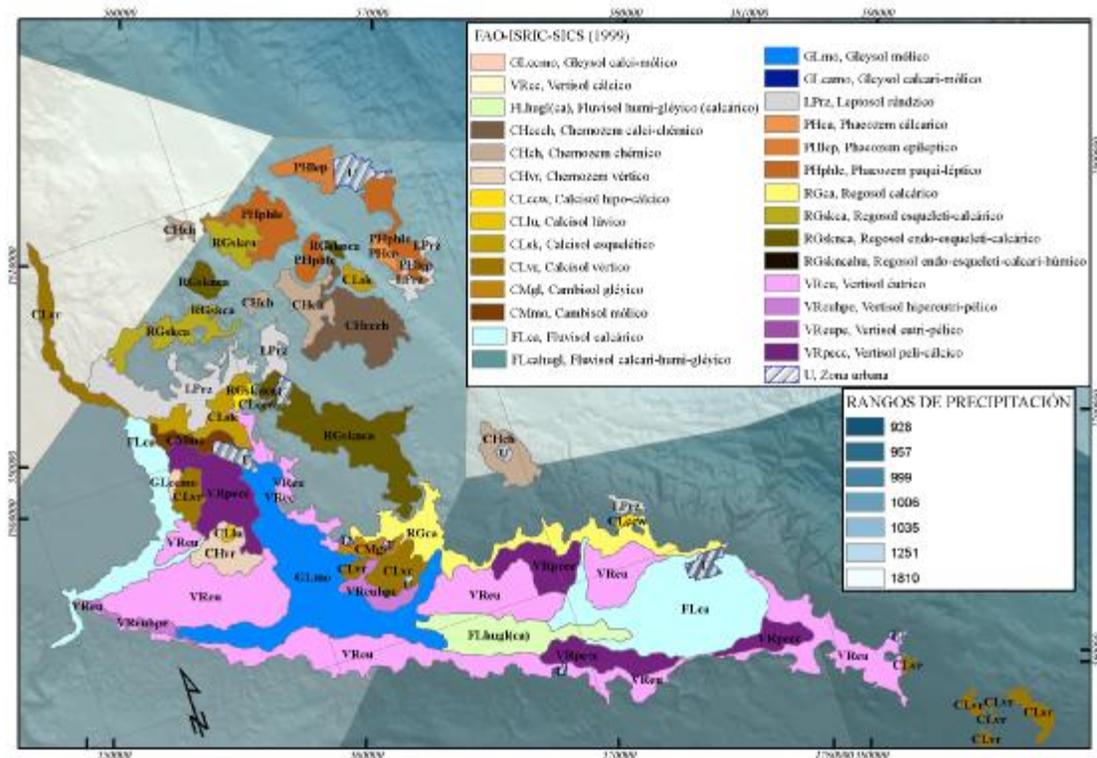


Figura 2. Polígonos de Thiessen en el área de abastecimiento del ingenio Pujiltic.

oeste y se reducen a medida que aumenta la altitud. Una ventaja de contar con estos polígonos es la programación de la zafra y la aplicación de los riegos, ya que la parte más seca y la zona de suelos delgados (Leptosol réndzico y Feozem paquiléptico) requerirán de mayor número de riegos.

Descripción de las Subunidades de Suelos del Área Cañera del Ingenio Pujiltic

Los suelos del área cañera de Pujiltic son diversos en cuanto a tipo y origen, el grupo dominante de suelos es el Vertisol (25.2%), seguidos del Fluvisol (12.6%), el Regosol (11.2%), y el de menor extensión, el Cambisol (0.9%). Es importante señalar que el origen calcáreo de la zona define la mayor parte de las características de los suelos y su fisiografía cárstica hace que un 20.5% sea ocupado por cerros con afloración de la roca, donde la pendiente ha limitado la formación de suelo. Se identificaron 11 subunidades de suelos (FAO-ISRIC-SICS, 1999), presentadas en el Cuadro 1 con su equivalente en la taxonomía de suelos americana, y la distribución de las subunidades en el área cañera en la Figura 2.

Demanda Nutricional del Cultivo de la Caña de Azúcar

En el Cuadro 2 se presentan los rendimientos y la materia seca para el tallo y paja de la caña de azúcar en

las diferentes subunidades de suelos, datos promedio seguidos de su desviación estándar. La relación paja/tallo de 0.32 indica que la caña tiene buen desarrollo salvo en las regiones donde los suelos son delgados y hace falta agua para el riego (Inman-Barber *et al.*, 2002; Salgado *et al.*, 2001). Este buen balance entre la producción de tallos y paja explica los altos rendimientos de campo y fábrica (90 Mg ha⁻¹) de caña y 11.86% de azúcar. Los grupos de suelos con mayor potencial de producción fueron: Calcisol > Cambisol > Leptosol > Gleysol > Chernozem > Regosol > Fluvisol > Feozem > Vertisol; no obstante, el Calcisol vértico presentó mayor variabilidad en el rendimiento. Se encontró que el tallo tiene menor concentración de nutrientes que la paja (Cuadro 3), lo cual favorece el rendimiento de azúcar en fábrica (Chen, 1991). En la paja, las concentraciones de P, Cu, Zn y Mn fueron bajas en todos los suelos, según Jones *et al.* (1991), lo cual corrobora la necesidad de aplicar estos nutrientes al suelo (Viets y Lindsay, 1973; Naranjo *et al.*, 2006). El tallo extrajo más N, P y K que la paja, lo cual se atribuye a la mejor relación paja/tallo (Cuadro 4).

Cálculo del Suministro

Se consideran los datos promedios de P y K de las subunidades de suelos (Cuadro 5) y la demanda de N, P y K de la paja (Cuadro 4). De los nutrientes contenidos en la paja, únicamente se aprovecha el 60% para el primer año (Gava *et al.*, 2005). Para el caso del N, se consideró

Cuadro 1. Subunidades de suelos en el área cañera de Pujiltic, Chiapas, México.

Simbología	Clasificación de suelos		Superficie	
	Referencial de suelos del mundo	Taxonomía de suelos americana	ha	%
CHch	Chernozem chérmico	Pachic Argiudoll	2041.0	6.1
CLccw	Calcisol hipocálcico	Typic Calciudoll	627.0	1.9
CLvr	Calcisol vértico	Vertic Calciudoll	1348.0	4.0
CMmo	Cambisol mólico	Humic Eutrudept	330.8	0.9
FLca	Fluvisol calcárico	Oxyaquic Udifluent	4288.0	12.6
GLmo	Gleysol mólico	Typic Endoaquoll	2547.0	7.5
LPrz	Leptosol réndzico	Lithic Haprendoll	1403.7	4.1
PHphle	Feozem paquiléptico	Pachic Hapludoll	1384.0	4.1
RGca	Regosol calcárico	Oxyaquic Udorthent	3448.0	11.2
VReu	Vertisol éútrico	Oxyaquic Hapludert	6852.0	19.0
VRpecc	Vertisol pelicálcico	Aquic Hapludert	2089.8	6.2
U	Zona urbana		635.9	1.9
C	Cerros		6978.9	20.5
Total			33974.7	100.0

Fuente: FAO-ISRIC-SICS (1999); Soil Survey Staff (2006).

Cuadro 2. Rendimientos y materia seca de tallo y paja promedios de caña de azúcar en las subunidades de suelo del ingenio Pujiltic.

Subunidad	Rendimiento		Materia seca	
	Tallo	Paja	Tallo	Paja
	----- Mg ha ⁻¹ -----			
Chernozem chérnico	97	31	30	11
DE [†]	14	4	4	1
Calcisol hipocálcico	107	34	33	13
DE	11	4	4	3
Calcisol vértico	87	28	27	10
DE	46	15	14	6
Cambisol mólico	105	34	32	15
DE	1	1	1	1
Fluvisol calcárico	92	29	29	11
DE	13	4	5	2
Gleysol mólico	101	32	33	13
DE	13	4	5	3
Leptosol réndzico	102	33	31	13
DE	7	2	2	1
Feozem paquiléptico	91	29	27	11
DE	12	4	5	2
Regosol calcárico	93	30	28	10
DE	18	6	6	2
Vertisol éutrico	91	29	28	11
DE	24	8	7	3
Vertisol pelicálcico	82	26	26	8
DE	25	5	5	1

[†]DE = desviación estándar.

un aporte del 10% de la demanda total de este nutriente, el cual es aportado durante la mineralización de las hojas secas cuando la caña está en crecimiento (Inman-Barber *et al.*, 2002). En el Cuadro 6 se presenta el suministro de N, P y K. En general, se observa que los suelos de Pujiltic suministran los macronutrientes primarios en el siguiente orden $K > N > P$, lo que coincide con Salgado *et al.* (2001). El K presentó mayor variabilidad en el suelo seguido de P y N, lo cual se relaciona con su génesis y el manejo agronómico. En este caso, los suelos de Pujiltic aportaron menor cantidad de P, el cual puede formar compuestos de baja solubilidad con el Ca y Mg debido al pH alcalino (Naranjo *et al.*, 2006).

Dosis de Fertilización por Tipo de Suelo

A partir de la demanda y el suministro se realizó el balance; los criterios que se aplicaron fueron:

En aquellos suelos donde el suministro fue mayor que la demanda, esto fue indicativo de 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 con base en criterios agronómicos (García, 1984; Gava *et al.*, 2005).

Los suelos donde el suministro fue mayor que la demanda indican que éste aporta más nutrientes de los que requiere el cultivo. Rodríguez (1993) señala que, en estos casos, se debe aplicar una dosis de manutención para asegurar la fertilidad del suelo con base en criterios agronómicos (García, 1984; Gava *et al.*, 2005).

Cuando la demanda fue menor que el suministro, se produce un déficit, los resultados se dividen entre la eficiencia de la utilización del N, es este caso, 50% para todos los suelos (FAO, 1984; Rodríguez, 1993); para P se asumió 30%, y para K, 60% debido a la textura arcillosa de estos suelos (García, 1984; Rodríguez, 1993; Salgado *et al.*, 2001; Palma *et al.*, 2002).

Las dosis de fertilización de Pujiltic generadas con el modelo conceptual (Cuadro 7) fueron más bajas en N, P y K que la dosis usada por el ingenio, la 160-85-85 y la recomendada por el IMPA, la 120-60-60 (Rojas

Cuadro 3. Promedio de concentración nutrimental en tallo y paja de la caña de azúcar ingenio Pujilic.

Subunidad de suelo	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	----- % -----					----- mg kg ⁻¹ -----				
	Tallo									
Chernozem chérnico	0.25	0.05	0.39	0.14	0.10	55.64	1.66	3.47	3.47	3.56
DE [†]	0.22	0.02	0.29	0.04	0.04	42.38	0.87	4.40	5.36	1.72
Calcisol hipocálcico	0.13	0.05	0.42	0.13	0.09	42.80	0.80	1.40	0.90	3.55
DE	0.08	0.02	0.26	0.00	0.03	33.92	0.72	1.25	1.27	2.59
Calcisol vértico	0.24	0.03	0.68	0.14	0.10	28.09	0.94	4.17	3.54	3.99
DE	0.16	0.02	0.48	0.02	0.02	19.45	0.64	2.01	4.40	2.80
Cambisol mólico	0.12	0.06	0.57	0.12	0.11	75.20	0.60	1.80	0.60	4.74
DE	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	1.2	0.20	0.50	0.4	1.2
Fluvisol calcárico	0.19	0.03	0.27	0.21	0.14	40.47	1.19	2.97	7.03	3.36
DE	0.07	0.01	0.26	0.35	0.06	26.84	1.07	4.10	8.04	1.82
Gleysol mólico	0.17	0.03	0.45	0.16	0.15	100.61	2.29	2.32	11.65	5.12
DE	0.08	0.01	0.39	0.03	0.03	80.57	1.78	1.30	8.06	1.33
Leptosol réndzico	0.23	0.04	0.70	0.12	0.11	75.49	1.31	3.57	15.29	5.34
DE	0.06	0.01	0.39	0.01	0.03	49.62	0.89	3.42	25.56	1.71
Feozem paquiléptico	0.24	0.04	0.38	0.13	0.09	52.13	1.93	4.97	3.78	4.28
DE	0.07	0.01	0.19	0.03	0.03	63.50	0.80	1.76	2.74	0.87
Regosol calcárico	0.28	0.04	0.73	0.32	0.17	112.79	1.56	3.97	7.48	4.22
DE	0.14	0.01	0.44	0.60	0.09	81.89	0.51	2.54	5.61	1.39
Vertisol éútrico	0.22	0.05	0.60	0.13	0.16	51.60	1.77	3.13	12.72	4.21
DE	0.11	0.02	0.45	0.04	0.06	38.64	1.50	2.46	16.28	1.59
Vertisol pelicálcico	0.22	0.07	1.26	0.18	0.23	79.73	1.30	5.90	11.65	4.76
DE	0.11	0.06	0.78	0.12	0.20	83.86	0.93	4.55	14.01	0.92
	Paja									
Chernozem chérnico	0.47	0.09	0.94	0.81	0.26	146.3	3.01	14.78	22.3	8.55
DE	0.08	0.02	0.47	0.24	0.11	100.0	1.60	5.20	19.2	3.54
Calcisol hipocálcico	0.25	0.05	0.74	0.68	0.18	151.7	1.40	8.70	29.0	12.03
DE	0.24	0.04	0.39	0.63	0.10	73.1	0.28	4.95	13.9	12.01
Calcisol vértico	0.29	0.06	0.71	0.70	0.18	134.9	1.50	9.17	24.6	11.33
DE	0.16	0.03	0.28	0.32	0.07	50.3	0.98	4.31	9.6	6.20
Cambisol mólico	0.42	0.07	1.28	1.02	0.22	137.0	2.40	15.60	11.2	18.01
DE	0.05	0.01	0.13	0.22	0.04	10.2	0.60	2.50	2.40	1.20
Fluvisol calcárico	0.49	0.14	0.84	0.80	0.29	127.5	3.34	16.36	25.3	9.25
DE	0.09	0.20	0.31	0.28	0.16	60.3	2.32	7.50	13.5	2.97
Gleysol mólico	0.44	0.09	0.80	0.95	0.39	186.3	4.05	15.15	32.9	10.78
DE	0.07	0.02	0.37	0.25	0.11	70.9	1.66	5.33	18.5	4.50
Leptosol réndzico	0.38	0.08	1.04	0.70	0.23	117.6	3.91	13.43	92.3	11.42
DE	0.10	0.02	0.44	0.48	0.07	53.1	2.47	5.06	158.6	2.44
Feozem paquiléptico	0.27	0.08	0.67	0.60	0.19	100.4	2.64	10.34	45.2	8.20
DE	0.18	0.06	0.37	0.31	0.11	49.2	1.07	5.26	53.2	5.25
Regosol calcárico	0.52	0.19	0.79	0.88	0.33	239.2	3.31	15.62	21.0	8.40
DE	0.11	0.34	0.40	0.19	0.10	407.6	0.94	5.67	15.9	3.21
Vertisol éútrico	0.54	0.10	1.01	0.77	0.29	139.8	3.33	15.58	36.1	9.70
DE	0.14	0.03	0.40	0.24	0.14	62.9	3.20	6.16	24.6	4.79
Vertisol pelicálcico	0.28	0.11	0.64	0.52	0.18	146.2	2.61	9.64	55.9	6.67
DE	0.18	0.11	0.28	0.26	0.09	122.5	1.08	4.69	48.1	3.22

[†]DE = desviación estándar.

Cuadro 4. Demandas de N, P y K para tallo y paja del cultivo de la caña de azúcar en las diferentes subunidades de suelo del ingenio Pujiltic.

Subunidad	Demanda del tallo			Demanda de la paja			Demanda total		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	----- kg ha ⁻¹ -----								
Chernozem chérnico	76	14	118	52	10	102	129	24	220
DE [†]	61	5	86	13	2	48	69	7	104
Calcisol hipocálcico	44	14	139	49	10	160	92	24	298
DE	29	6	92	5	3	47	28	8	134
Calcisol vértico	63	8	192	46	8	78	109	17	270
DE	42	6	153	11	2	21	48	8	155
Cambisol mólico	37	18	180	61	11	186	99	28	366
DE	2	1	2	1	1	2	1	1	2
Fluvisol calcárico	56	10	75	53	16	91	109	26	166
DE	25	4	66	15	25	36	35	27	97
Gleysol mólico	48	10	125	37	10	94	83	20	213
DE	16	5	44	24	7	59	36	9	96
Leptosol réndzico	71	14	224	49	10	131	120	24	355
DE	18	3	137	14	2	54	24	5	117
Feozem paquiléptico	65	9	97	46	8	85	111	17	182
DE	20	2	41	9	2	15	23	3	51
Regosol calcárico	74	10	201	54	22	82	128	32	283
DE	36	3	140	18	46	48	44	46	137
Vertisol éutrico	28	7	151	21	5	54	40	11	164
DE	20	5	53	21	11	50	39	11	97
Vertisol pelicálcico	50	18	288	47	23	75	96	41	363
DE	19	15	178	9	38	39	18	41	172

[†]DE = desviación estándar.

et al., 1984); además de que los suelos tienen alta fertilidad (Cuadro 5). Las dosis del modelo conceptual se ajustaron a los rendimientos de caña observados en la zafra 2004/05 que se compararon con los obtenidos en campo, pues dependiendo del rendimiento, el productor utilizará la dosis indicada en el Cuadro 7 (Salgado *et al.*, 2000; 2003b; Palma *et al.*, 2002), la cual considera los siguientes criterios agronómicos: la variabilidad observada en la fertilidad del suelo dentro de cada subunidad, el rendimiento de caña de azúcar y los requerimientos de N, P y K por tonelada de caña producida. Estas dosis requieren ser validadas, ya que de corroborarse que las dosis funcionan permitirán ahorros económicos considerables y se evitará contaminar los mantos acuíferos con los excedentes de N y P de los fertilizantes (Weier *et al.*, 1996).

Recomendaciones de Fertilización

Fuentes de fertilizantes. Para el cultivo de la caña de azúcar se ha utilizado por muchos años el complejo

20-10-10, cuya ventaja es su facilidad de aplicación, ya que no requiere mezclarse. Además, en el mercado es posible conseguir complejo 20-10-10 y Triple 17 enriquecidos con micronutrientes (EM). Otra fuente de fertilizante es la combinación del Triple 17 más urea, el cual resulta adecuado para los suelos moderadamente alcalinos del área de abasto del ingenio Pujiltic.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta el costo del fertilizante (Salgado *et al.*, 2006a).

Costo. Considerando los precios vigentes de las fuentes (al 19 de junio de 2006, FYPA S.A. de C.V): complejo 20-10-10 -EM de \$ 3300.00, de la urea \$ 3800.00 y del Triple 17 -EM \$ 3700.00, Mg⁻¹; el costo de la dosis de fertilización 160-80-80 para el Leptosol réndzico es:

- Complejo -EM = 3300 * 0.800 = \$ 2640.00 por hectárea.

- Urea + Triple 17 -EM = (3800 * 0.174) = \$ 661.20 y (3700 * 0.470) = \$1739.00, total \$ 2400.20.

La opción de fertilizar con urea más Triple 17 -EM resulta más económica y se genera un ahorro de \$ 239.80 por hectárea.

Cuadro 5. Promedios de las propiedades químicas y físicas de las subunidades de suelo (0-30 cm). Ingenio Pujilic.

Subunidad de suelo	pH	MO [‡]	N	P	K	Na	Ca	Mg	CIC	Fe	Cu	Zn	Mn	B	R [§]	L [¶]	A [#]	Clasificación textural
	Rel. 1:2	- %	- %	mg kg ⁻¹	-	-	cmol _c kg ⁻¹	-	-	-	-	mg kg ⁻¹	-	-	-	-	%	
Chernozem																		
chérnico	7.6	6.6	0.32	11.3	0.45	0.5	32.8	5.1	49.3	11.1	1.2	0.7	10.8	1.8	43	31	27	Arcilla
DE [†]	0.19	2	0.13	11.1	0.21	0.7	13.6	3.8	5.6	4.6	1.7	0.8	7.6	1.1				
Calcisol																		
hipocálcico	7.5	5.4	0.33	13.8	0.3	0.3	18.8	2.7	56.2	10.2	0.7	0.9	8.2	2.3	38	24	38	Migajón arcilloso
DE	0.2	0.7	0.13	12.3	0.09	0.2	1.5	0.7	7.1	3.6	0.2	0.2	9	1.1				
Calcisol																		
vértico	7.6	5.5	0.25	4.3	0.55	0.2	26.8	5.2	49.8	5.4	0.7	0.3	7.8	2.5	35	40	25	Migajón arcilloso
DE	0.1	2.5	0.13	2.9	0.16	0.3	9.7	2.5	5.8	3.7	0.7	0.3	8.4	1.6				
Cambisol																		
mólico	7.5	4.9	0.23	6.9	0.4	0.6	20.2	2.9	56.6	5.6	0.2	0.5	20.5	2.7	60	17	23	Arcilla
DE	0.1	0.5	0.10	1.0	0.05	0.1	2.0	0.3	1.5	1.0	0.1	0.2	2.0	0.6				
Fluvisol																		
calcárico	7.8	4.2	0.16	4.8	0.33	0.2	33.6	5.9	43.7	7.8	1.2	0.3	6.4	2	31	56	13	Migajón arcilloso limoso
DE	0.2	1.3	0.05	1.8	0.17	0.1	16.6	3.1	7	2.9	0.7	0.2	2.6	0.6				
Gleysol																		
mólico	7.6	4.7	0.22	4.5	0.39	0.4	30	7.5	53.4	8.6	2	0.4	7.2	2.7	42	41	16	Arcillo limoso
DE	0.1	1.6	0.06	1.8	0.08	0.2	11.2	4.4	2	6.8	0.7	0.2	4	0.5				
Leptosol																		
réndzico	7.5	6	0.27	6.7	0.53	0.3	23.9	2.7	50.4	11.4	0.5	0.8	18.7	3.1	37	22	41	Migajón arcilloso
DE	0.3	2.6	0.1	2.2	0.31	0.2	11.2	1.6	7.2	8.7	0.3	0.3	9.2	1.7				
Feozem																		
paquiléptico	7.1	8.4	0.44	9.9	0.48	0.3	26.5	3.1	51.6	27.7	0.1	10.6	20.3	1.2	58	19	23	Arcilla
DE	0.5	2.9	0.28	3.8	0.21	0.2	12.7	1.8	4	18.7	0.2	15.9	13.1	0.8				
Regosol																		
calcárico	7.7	5.9	0.29	6.2	0.59	0.2	36.2	5.5	50.6	8.4	1.3	1.6	8.9	2.4	47	27	26	Arcilla
DE	0.2	2.1	0.11	6.2	0.2	0.2	3.2	1.7	5.2	5.1	0.9	2.2	7.2	0.9				
Vertisol																		
éutrico	7.5	4.6	0.24	8.6	0.43	0.5	27.9	6.2	50.7	14.6	1.1	0.4	9.8	2.6	44	35	21	Arcilla
DE	0.3	2.2	0.09	6.6	0.21	0.4	9.6	4.3	4.2	10.8	0.8	0.3	6.9	0.9				
Vertisol																		
pelicálcico	7.6	5.4	0.48	10.5	0.46	0.6	27.4	5.1	53.7	9.7	1.3	0.5	9.1	2.1	59	25	17	Arcilla
DE	0.3	1.5	0.7	6.8	0.19	0.4	7.8	2.1	1	4	1	0.6	5.4	1.3				

[†] DE = desviación estándar. [‡] Materia orgánica. [§] Arena. [¶] Limo. [#] Arcilla.

Época. La fertilización debe realizarse de uno a tres meses de edad después del rebrote, la mejor es a los tres meses por que inicia el amacollamiento (Salgado *et al.*, 2003a). No se recomienda aplicar el fertilizante en el momento de la siembra, ya que la caña tarda aproximadamente 30 días en emitir las raíces verdaderas, el agua de riego puede contribuir a lixiviar el N del fertilizante o el lavado por escurrimiento si éste se aplica en forma superficial (Oliveira *et al.*, 2002).

Forma de aplicación. De preferencia debe realizarse en forma mecanizada, ya que se deposita el fertilizante en el suelo y se evita la volatilización de la urea. Este último

proceso favorece los suelos con pH alcalino. La fertilizadora con disco mejora la eficiencia de la aplicación del fertilizante en el ciclo de socas, ya que aplica el fertilizante en la cepa de la caña.

CONCLUSIONES

- En general, el manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar es bueno, lo que explica los altos rendimientos de caña y sacarosa.

- De noviembre a abril se presenta la época de sequía que coincide con la zafra; sin embargo, algunas cañas

Cuadro 6. Suministro de N, P, y K por las diferentes subunidades de suelos ingenio Pujiltic.

Subunidad	Suministro		
	N	P	K
	----- kg ha ⁻¹ -----		
Chernozem chérnico	77	25	307
DE †	41	20	127
Calcisol hipocálcico	55	29	261
DE	17	22	77
Calcisol vértico	65	12	346
DE	29	5	82
Cambisol mólico	59	18	332
DE	2	1	4
Fluvisol calcárico	66	18	233
DE	21	15	105
Gleysol mólico	50	19	215
DE	22	7	107
Leptosol réndzico	72	18	371
DE	14	4	143
Feozem paquiléptico	67	22	313
DE	14	7	117
Regosol calcárico	77	24	373
DE	27	28	126
Vertisol éutrico	24	13	111
DE	24	8	107
Vertisol pelicálcico	58	31	277
DE	11	23	78

† DE = desviación estándar.

que son cosechadas al inicio requieren de riegos de auxilio para hacer eficientes las labores de cultivo como el control de malezas y la fertilización. La temporada de lluvias es de mayo a octubre, en ellos, hay exceso de

humedad en los suelos de textura arcillosa, por esto se establecieron cinco polígonos de Thiessen en la zona de abastecimiento del ingenio Pujiltic. La precipitación fluctúa de 920 a 1250 mm anuales.

- Las subunidades de suelos del área de abastecimiento del ingenio Pujiltic son Chernozem chérnico (Pachic Argiudoll), Calcisol hipocálcico (Typic Calciudoll), Calcisol vértico (Vertic Calciudoll), Cambisol mólico (Humic Eutrudept), Fluvisol calcárico (Oxyaquic Udifluent), Gleysol mólico (Typic Endoaquoll), Leptosol réndzico (Lithic Haprendoll), Feozem paquiléptico (Pachic Hapludoll), Regosol calcárico (Oxyaquic Udorthent), Vertisol éutrico (Oxyaquic Hapludert), Vertisol peliéutrico (Aquic Hapludert).

- El diagnóstico de la fertilidad de las subunidades establece que los suelos del área de abastecimiento del ingenio Pujiltic son fértiles. Los factores limitantes son: arcilla, humedad, y deficiencias de Zn y Cu.

- El muestreo de biomasa efectuado en el ingenio Pujiltic indica que la relación paja/tallo fue de 0.32, que se considera adecuada, lo que explica los altos rendimientos de caña.

- A través del modelo conceptual se establecieron 11 dosis de fertilización, las cuales consideran la subunidad de suelos. Estas dosis de fertilizantes son más bajas que las utilizadas en el ingenio.

- Especial atención requiere el manejo de N y P, dada la naturaleza alcalina de los suelos que favorece las condiciones para que el N pueda perderse por volatilización y desnitrificación. El P puede formar

Cuadro 7. Dosis de fertilización generadas por el modelo y dosis de fertilización recomendada para el área cañera del ingenio Pujiltic según categoría de rendimiento.

Subunidad	Rendimiento	Dosis del modelo conceptual			Dosis ajustada			Rendimiento	Dosis ajustada			
	menor	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	mayor	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
	Mg ha ⁻¹	----- kg ha ⁻¹ -----									Mg ha ⁻¹	----- kg ha ⁻¹ -----
Chernozem chérnico	95	85	60	60	100	70	70	110	120	80	80	
Calcisol hipocálcico	108	70	40	40	120	60	60	125	160	80	80	
Calcisol vértico	87	76	60	40	100	60	40	97	120	60	60	
Cambisol mólico	105	79	78	67	100	80	80	110	120	80	80	
Fluvisol calcárico	90	80	60	80	100	60	80	105	120	80	80	
Gleysol mólico	99	90	60	120	120	60	120	110	140	80	120	
Leptosol réndzico	101	93	80	80	120	80	80	110	160	80	80	
Feozem paquiléptico	89	85	40	40	90	40	40	100	120	60	60	
Regosol calcárico	90	91	70	70	100	70	70	110	120	80	80	
Vertisol éutrico	85	87	80	80	100	80	80	110	160	80	80	
Vertisol pelicálcico	80	80	60	60	80	60	60	95	100	60	60	

complejos de baja solubilidad con el Ca y el Mg presentes en el suelo.

- El fertilizante debe aplicarse en forma mecanizada cuando la planta tenga de uno a tres meses de edad. La aplicación superficial del fertilizante debe hacerse sobre la cepa después de regar. Se recomienda validar las dosis de fertilizantes estableciendo una parcela por subunidad de suelo.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Produce Chiapas A.C. y a la Asociación Local de Productores de Caña de Azúcar de la CNPR del ingenio Pujiltic, por su apoyo económico y logístico en la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Basanta, M. V., D. Dourado N., K. Reichardt, O. O. Bachi S., C. M. Oliveira J., P. C. Trivelin O., C. Timm L., T. T. Tomi-Naga, V. Correchel, A. M. Cassaro F., F. Pires L., and R. Macedo J. 2003. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grow in Brazil. *Geoderma* 116(8): 235-248.
- CAÑEROS. 2006. Unión nacional de cañeros A. C.-CNPR: www.caneros.org.mx. (Consulta: junio 27, 2006).
- Chen, C. P. J. 1991. Manual de azúcar de caña. LIMUSA. México, D. F.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2006. Servicio meteorológico nacional. Estaciones climáticas de Chiapas. <http://smn.cna.gob.mx/>. (Consulta: mayo 25, 2006).
- Cuanalo C., H. 1981. Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. 2a ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Estado de México.
- ESRI. 2007. ARCGIS 9.0 single usuario. www.esri.com/software/arcgis/index.html. (Consulta: abril 10, 2007).
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1984. Uso óptimo de los fertilizantes para los cereales. Boletín de fertilizantes 3. FAO. Roma, Italia.
- FAO-ISRIC-SICS (Food and Agriculture Organization-International Soil Reference and Information Centre-Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo). 1999. Base referencial mundial del recurso suelo. Informe sobre los recursos mundiales de suelos 84. FAO-ISRIC-SICS. Roma, Italia.
- García, E. A. 1984. Manual del campo cañero mexicano. Serie divulgación técnica. Libro 24. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. México, D. F.
- Gava J. C. G., P. C. Trivelin O., A. C. Vitti, and M. Oliveira W. 2005. Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system. *Pesq. Agrop. Bras.* 40: 689-695.
- Hernández, I., E. Medina y D. López H. 1995. Respiración edáfica y aportes de materia orgánica por las raíces y la hojarasca en un cultivo de caña de azúcar. *Agronomía Tropical* 45: 121-142.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1986. Cartas topográficas, región Central y del Estado de Chiapas, México. Escala 1: 50 000. INEGI. Aguascalientes, Ags., México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1995. Fotografías aéreas, blanco y negro, región Central y del Estado de Chiapas, México. Escala 1: 75 000. INEGI. Aguascalientes, Ags., México.
- Inman-Barber, N. G., R. C. Muchow, and M. J. Robertson. 2002. Dry matter partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. *Field Crops Res.* 76: 71-84.
- Jones, J. B., B. Wolf, and H. A. Mills 1991. Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing. Athens, GA, USA.
- Martínez G., A. y M. A. Martínez D. 1996. Diseño de experimentos con fertilizantes. Publicación especial 5. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México.
- Naranjo F., J., S. Salgado G., L. C. Lagunes E., E. Carrillo A., and D. J. Palma L. 2006. Changes in the soil fertility of fluvisols cultivated with sugarcane through the years. *Soil Tillage Res.* 88: 160-167.
- NOM-021-RECNAT-2000. (Norma Oficial Mexicana 2000). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. 2a ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- Oliveira, M. W., P. C. O. Trivelin, A. E. Boaretto, T. Muraoka and J. Mortatti. 2002. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília* 37: 861-868.
- Palma L., D. J., S. Salgado G., J. J. Obrador O., A. Trujillo N., L. C. Lagunes E., J. Zavala C., A. Ruiz B. y M. A. Carrera M. 2002. Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra* 20: 347-358.
- Rodríguez S., J. 1993. Fundamentos de fertilidad de cultivos. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Rojas M., B., B. Ortiz V. y A. García E. 1984. Fertilización de la caña de azúcar. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. México, D. F.
- Salgado G., S., R. Núñez E., J. J. Peña C., J. D. Etchevers B., D. J. Palma-L. y M. R. Soto H. 2000. Respuesta de la soca de caña de azúcar a la fertilización NPK. *Agrociencia*. 34: 689-698.
- Salgado G., S., R. Núñez E., J. J. Peña C., J. D. Etchevers B., D. J. Palma-L. y M. R. Soto H. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno fertilizante en soca de caña de azúcar sometida a diferentes manejos de fertilización. *Terra* 19: 155-162.
- Salgado G., S., L. Bucio A., D. Riestra D. y L. C. Lagunes-E. 2003a. Caña de azúcar: hacia un manejo sustentable. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Salgado G., S., R. Núñez E. y L. Bucio A. 2003b. Determinación de la dosis óptima económica de fertilización en caña de azúcar. *Terra* 21: 267-272.
- Salgado G., S., D. J. Palma-L., L. C. Lagunes-E., C. F. Ortiz G. y J. M. Ascencio R. 2005. Bases para generar un programa sustentable de fertilización en un ingenio de Tabasco, México. *Interciencia* 30: 395-403.
- Salgado G., S., D. J. Palma L., L. C. Lagunes E. y M. Castelán E. 2006a. Manual para el muestreo de suelos plantas y aguas e interpretación de análisis. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México.
- Salgado G., S., R. Núñez E., D. J. Palma-L., L. C. Lagunes-E., H. Debernardi V. y R. H. Mendoza H. 2006b. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México.

- Soil Survey Staff. 2006. Claves para la Taxonomía de Suelos. 10a ed. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-Servicio de Conservación de los Recursos Naturales. (Trad. al español por Carlos A. Ortiz-Solorio y Ma. del Carmen Gutiérrez-Castorena. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México). Washington, DC, USA.
- Tabios, G. Q. and J. D. Salas 1985. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitaton. *Water Resources Bulletin*. JAWRA. 21: 365-380.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38: 55-94.
- Viets, F. G. and W. L. Lindsay. 1973. Testing soils for zinc, copper, manganese and iron. pp. 153-172. *In*: L. M. Walsh and J. D. Beaton (eds.). *Soils testing and plant analysis*. Revised edition. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Volke H., V. y J. D. Etchevers. 1994. Recomendaciones de fertilización para cultivos, necesidades y perspectivas de una mayor precisión. Cuaderno de Edafología 21. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Weier, K. L., C. W. McEwan, I. Vallis, V. R. Catchpoole, and R. J. Myers. 1996. Potential for biological denitrification of fertilizer nitrogen in sugarcane soils. *Aust. J. Agric. Res.* 47: 67-79.