



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,
A.C.
México

Palma López, David J.; Salgado García, Sergio; Obrador Olán, José J.; Trujillo Narcía, Antonio;
Lagunes Espinoza, Luz del C.; Zavala Cruz, Joel; Ruiz Bello, Alejandrina; Carrera Martel, Miguel A.

Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF)

Terra Latinoamericana, vol. 20, núm. 3, julio-septiembre, 2002, pp. 347-358

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57320314>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

SISTEMA INTEGRADO PARA RECOMENDAR DOSIS DE FERTILIZACION EN CAÑA DE AZUCAR (SIRDF)

Integrated System for Recommending Fertilization Rates in Sugar Cane (ISRFD)

David J. Palma-López¹, Sergio Salgado García^{1*}, José J. Obrador Olán¹, Antonio Trujillo Narcía¹, Luz del C. Lagunes Espinoza¹, Joel Zavala Cruz¹, Alejandrina Ruiz Bello¹ y Miguel A. Carrera Martel²

RESUMEN

En la última década, la generación de metodologías para la recomendación de dosis de fertilización ha sido motivo de la atención de especialistas en fertilidad de suelos y de economistas, debido a la creciente necesidad de utilizar más eficientemente a los fertilizantes, al incremento de sus precios y al imperativo de conservar el ambiente. Con el objetivo de generar dosis de fertilización para caña de azúcar que se cultiva en los diferentes tipos de suelo, se llevó a cabo el presente trabajo. 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 de acuerdo con la Taxonomía de Suelos y la carta de suelos del mundo. Se estimó la dosis de fertilización (DF) N, P y K para cada unidad de suelo mediante un modelo conceptual, que se basa en el balance entre la demanda del nutriente (DEM) por el cultivo, el suministro que hace de éste el suelo (SUM) y la eficiencia del fertilizante (EF). El algoritmo respectivo es $DF = (SUM-DEM)/EF$. 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 cinco unidades de suelos, los cuales se clasificaron en Subunidad o familias. Las dosis de fertilización del modelo conceptual debieron ser ajustadas para generar una recomendación de

fertilización para la caña de azúcar por tipo de suelo en el ingenio Azsuremex. Las dosis de fertilización N, P y K fueron: Fluvisol 160-60-60, Vertisol 120-80-80, Cambisol 120-60-60, Luvisol 140-80-80 y Leptosol 160-80-80. Para el ajuste se consideraron la demanda para un rendimiento esperado por tipo de suelo y el mantenimiento de la fertilidad del suelo desde el punto de vista de manejo sostenible del cultivo de la caña de azúcar.

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

SUMMARY

During the last decade, the generation of methodologies for recommending fertilization rates has been a key issue for economists and soil fertility specialists due to the need of using fertilizer more and more efficiently, because of price increases and to protect the environment. This work was carried out to generate fertilization rates according to the different soil types where sugarcane is cultivated. To identify cartographic soil units, interpretation of aerial photographs, field observations and soil drilling to a depth of 1.2 m were performed. In each unit, the agrologic profiles were described and physical and chemical analysis were done to classify the soil according to both the American Taxonomic System of Soils and the World Soil Map. To estimate the fertilization rates (DF) N, P, and K for each soil unit, the conceptual model was used. This model is based on the balance of the nutrient demand (DEM) of the crop, the nutrients supplied by the soil (SUM) and the fertilizer efficiency (EF). The model is $DF = (SUM-DEM)/EF$. To estimate the demand, dry matter production and N, P, and K accumulation of the sugarcane aerial biomass were determined. The P and K supply was calculated from the sum of soil chemical analysis, plus the N contributions from crop residues and their management. Five soil units were found and they were classified as Subunits or families.

¹ Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. 86500 H. Cárdenas, Tabasco, México.

* (salgados@colpos.colpos.mx)

² PYCSA. de C.V. México, D.F.

In the conceptual model, fertilization rates had to be adjusted to generate a fertilizer rate for the sugarcane crop appropriate for the kind of soil in the Azsuremex sugar complex. For each soil unit, fertilization recommendations were Fluvisol 160-60-60, Vertisol 120-80-80, Cambisol 120-60-60, Luvisol 140-80-80, and Leptosol 160-80-80. For the adjustment, the demand for expected yields in each soil type and maintenance of the soil fertility from the perspective of sustainable management of the sugarcane crop were considered.

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

INTRODUCCION

En el campo cañero del ingenio Azsuremex (3731 ha) se ha utilizado por más de 15 años la dosis de fertilización 120-60-60, sin considerar la variedad, el ciclo de cultivo y el tipo de suelo; se obtuvo con este manejo un rendimiento promedio de 65 t ha⁻¹ (CNIAA, 2000). Este rendimiento es inferior a 80 t ha⁻¹ que se obtienen en el ingenio Dos Patrias que se ubica en Teapa, Tabasco. En la última década, las metodologías para generar recomendaciones de dosis de fertilización han recibido atención preferente de especialistas en fertilidad de suelos (Etchevers y Volke, 1991; Rodríguez, 1993; Salgado *et al.*, 2000b) y de economistas, debido a la creciente necesidad de utilizar más eficientemente los fertilizantes (Volke y Etchevers, 1994; Martínez y Martínez, 1996), al incremento de sus precios y al imperativo de conservar el ambiente (Weier *et al.*, 1996; Salgado *et al.*, 2001a). Uno de los enfoques propuestos se basa en un modelo conceptual que permite estimar la dosis de fertilización requerida por los cultivos. Las bases del modelo indican que para alcanzar un rendimiento en cierta condición agroecológica, se debe satisfacer un 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 de éste por el suelo, 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 por 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, se resume en la siguiente ecuación (Rodríguez, 1993):

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

Donde: La demanda del cultivo es la cantidad teórica que éste requerirá para alcanzar el máximo rendimiento posible con cierto grado de probabilidad. Por lo general, se calcula con base en una concentración crítica requerida por el cultivo (requerimiento interno) y, a veces, a 90% de éste y la producción de biomasa asociada a dicho rendimiento.

El suministro del nutrimento por el suelo comprende, por un lado, la capacidad del suelo para suministrar el nutrimento y, por otro, la eficiencia de la planta para absorber el nutrimento disponible. En estos términos, la capacidad del suelo para suministrar nutrimentos depende de los diversos factores que intervienen en la dinámica de los nutrimentos, sean éstos factores del suelo, del clima y del manejo, según el nutrimento de que se trate. Así, para el nitrógeno, el suministro depende de factores de suelo y clima que afectan la mineralización de la materia orgánica del suelo y de los residuos de cosecha del ciclo anterior; para el fósforo, el suministro depende de factores de suelo, como su capacidad de fijación de fósforo, y de manejo, en relación con fertilizaciones previas y su acumulación en los reservorios lábiles y no lábiles. Por su parte, la eficiencia de absorción de la planta depende del tipo de sistema radicular de la planta, en cuanto a su densidad de raíces para el caso de los nutrimentos inmóviles, como el fósforo y el potasio, y la profundidad para el caso de nutrimentos móviles, como el nitrógeno (Rodríguez, 1993). De esta manera, la eficiencia de absorción depende del cultivo según su tipo de sistema radicular, así como de factores de suelo, clima y manejo.

Un índice de suministro de nutrimentos por el suelo, para el fósforo y potasio, lo da el análisis de suelo. Sin embargo, para el nitrógeno, Rodríguez (1993) consideró que el suministro no es adecuadamente medido mediante índices químicos, que más bien es función de los residuos de cosecha y las raíces incorporadas, y del nitrógeno inmovilizado de la fertilización del ciclo anterior, cuando el sistema se encuentra en equilibrio. Otros investigadores han considerado el nitrógeno potencialmente mineralizable (Stanford y Smith, 1972). Para el caso del fósforo, se ha considerado el fósforo determinado

por el método de Olsen, conjuntamente con la eficiencia de absorción del cultivo, según el tipo de sistema radical, y para el caso de potasio, al potasio intercambiable y 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, clase de suelo, la fuente de fertilizante, la época y forma de aplicación.

En la región de la Chontalpa, Tabasco, los rendimientos experimentales del cultivo de la caña de azúcar son del orden de 150, 130 y 110 t ha⁻¹ para el ciclo plantilla, soca y resoca, respectivamente, con el tratamiento de fertilización 160-80-80 en las variedades Méx 69-290 y SP 70-1284 (Salgado *et al.*, 2000a, 2001b). Sin embargo, la metodología de recomendaciones específicas por agrosistemas, utilizada para determinar la dosis óptima económica, requiere de mayor tiempo y recursos económicos (Etchevers y Volke, 1991). Tomando en consideración lo anteriormente expuesto, se realizó el presente trabajo con el objetivo de generar recomendaciones de dosis de fertilización por tipo de suelo a través del modelo conceptual con el fin de hacer más eficiente el programa de fertilización del ingenio Azsuremex de Tenosique, Tabasco.

MATERIALES Y METODOS

El sistema integrado para recomendar dosis de fertilización se aplicó por primera vez en caña de azúcar. La metodología consistió en cinco fases: un estudio de gran visión para clasificar los suelos en el área de abastecimiento del ingenio Azsuremex, ubicado en Tenosique, Tabasco; un muestreo de suelos para caracterizar la fertilidad de las unidades de suelos y calcular el suministro nutrimental; un muestreo de biomasa aérea para determinar el rendimiento potencial y la demanda nutrimental; la generación de las dosis de fertilización a través del modelo conceptual; y la elaboración de recomendaciones sobre el manejo de la fertilización.

Clasificación de los Suelos

Recolección de información. Se realizó una revisión y recolección de información referente a los siguientes temas: mapa de integración de la superficie cañera del ingenio Azsuremex, padrón de productores del ingenio, necesidades y requerimientos de N, P y K

del cultivo de la caña de azúcar, información sobre el manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar, datos meteorológicos, cartografía y fotografías aéreas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Fotointerpretación. La cartografía de subunidades de suelo se realizó en la primera fase, con base en la fotointerpretación de fotografías aéreas, escala 1:75 000 (INEGI, 1984). 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 identificación del tipo de suelo correspondiente a cada unidad cartográfica definida y a la caracterización del suelo por medio de barrenaciones a 1.20 m de profundidad para los suelos ocupados con caña de azúcar, y descripción de perfiles de suelo siguiendo la metodología de Cuanalo (1981). Se describieron cinco perfiles, uno para cada subunidad de suelo. Después se muestreó el suelo para fines de clasificación; para ello, se extrajo una muestra compuesta de suelo de cada horizonte detectado. Las muestras 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 modificados y adaptados por Etchevers (1988¹). A partir de la descripción de perfiles y del análisis físico y químico, se procedió a la clasificación de los suelos, tomando la referencia del sistema taxonómico de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Soil Survey Staff, 1994) y también a partir de la carta de los suelos del mundo de FAO-UNESCO (FAO, 1989).

Diagnóstico de la Fertilidad de las Unidades de Suelos

Después de ubicar geográficamente las cinco subunidades de suelos, se procedió a seleccionar las parcelas para el muestreo dentro de cada una de ellas, tomando en consideración la pendiente y la localización de las parcelas. En cada sitio se colectaron con una barrena 20 submuestras, en un recorrido en zig-zag (Salgado *et al.*, 1994) en dos profundidades (0 a 30 y 30 a 60 cm). En total se tomaron 54 muestras compuestas (38 muestras de 0 a 30 y 16 muestras de 30 a 60 cm). Se determinó el

¹ Comunicación personal.

contenido de materia orgánica, P asimilable Olsen y K intercambiable, con los procedimientos adaptados por Etchevers (1988¹).

Muestreo de Biomasa Aérea de Caña de Azúcar

Para determinar el rendimiento esperado y estimar la demanda de nutrimentos por el cultivo de la caña de azúcar, se realizó el muestreo de biomasa aérea a 10 meses de edad del cultivo (etapa de madurez fisiológica), en los sitios representativos donde se describieron los perfiles de suelo. Se colectaron ocho muestras por sitio, la muestra se obtuvo a partir de 1 m lineal, además en dos surcos de 2 m lineales se cuantificó el número de tallos, para corregir el rendimiento de tallos zafrables ($t\ ha^{-1}$) y expresar la demanda de los nutrimentos (en $kg\ ha^{-1}$). El sitio de la muestra se ubicó a 4 m de la orilla de la parcela. Después de pesar la muestra, se seleccionaron al azar cuatro tallos de caña y se molieron en una picadora, tipo Chetumal; el material se homogeneizó y se tomó una muestra de 1 kg aproximadamente, la cual se procedió a secar en estufa a 70 °C hasta alcanzar peso constante. El porcentaje de humedad cuantificado fue de 75%, sirvió de base para determinar la producción de materia seca (MS). El análisis nutrimental de N, P y K se realizó después de moler las muestras en el molino Wiley a través de una malla de 2 mm, con los métodos adaptados por Etchevers (1988¹).

Cálculo de las Dosis de Fertilización

Para generar las dosis de fertilización de N, P y K por unidad de suelo, se procedió a calcular 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, la materia seca (MS) del cultivo de caña incluyó la biomasa aérea de hojas y tallos. La ecuación es:

$$DEM\ (kg\ ha^{-1}) = MS\ (kg\ ha^{-1}) * (\% \text{ Nutrimento planta}/100)$$

Suministro. A continuación se describen las fórmulas para el cálculo del suministro.

En el caso del nitrógeno, se consideró que únicamente 4% de la demanda de este elemento se incorpora al suelo a través de la desintegración de las hojas 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.

$$SUM-N = (DEM-N * 0.04) + NDS$$

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.*, 2000b).

$$SUM-P = [P\ suelo\ (mg\ kg^{-1}) * Ec] + [(M.S.R) * (\%P\ foliar/100)]$$

$$SUM-K = [K\ suelo\ (mg\ kg^{-1}) * CK] + [(M.S.R) * (\%K\ foliar/100)]$$

Donde: el índice de eficiencia del cultivo (Ec) indica que por $1\ mg\ kg^{-1}$ de P Olsen, el cultivo absorbe $1.7\ kg$ de P del suelo para el caso de las gramíneas (Rodríguez, 1993). La eficiencia de absorción de potasio (CK) indica que por $1\ mg\ kg^{-1}$ de K intercambiable, el cultivo absorbe $1.4\ kg$ de K para suelos francos y $1.3\ kg$ de K para suelos arcillosos (Rodríguez, 1993). Para el cálculo del suministro del fósforo y potasio, la materia seca de residuos (MSR) incluyó 9% de la biomasa aérea más la MS de paja, ya que se considera que estos nutrimentos se incorporan al suelo con la quema.

Eficiencia (EF). Para el nitrógeno, la eficiencia utilizada fue de 50% (García, 1984), aunque resultados reportados por Salgado *et al.* (2001a) indican que corresponde a 18%. Para el caso del fósforo, la eficiencia varía dependiendo del tipo de suelo, así para el Luvisol es de 20 %, para el Cambisol es de 38%, para el Fluvisol y Vertisol es de 40% y para el Leptosol es de 42%. Por último, para el potasio, la eficiencia estimada es de 50 y 40% para suelos francos y arcillosos, respectivamente, con cultivo de gramíneas (Rodríguez, 1993).

RESULTADOS Y DISCUSION

Area de Abastecimiento del Ingenio Azsuremex

Se localiza entre las coordenadas $17^{\circ} 23'$ y $17^{\circ} 36'N$ y $91^{\circ} 15'$ y $91^{\circ} 37' O$. La zona de abastecimiento abarca $3731\ ha$ y se distribuye principalmente al norte y al este de la fábrica, a una distancia máxima de $15\ km$ (Figura 1). La vegetación natural, de la cual sólo quedan relictos en la mayor parte del área, está constituida por selva alta

perennifolia de canshán, selva alta subperennifolia de ramón y selva mediana subperennifolia de chicozapote y pukté (López, 1980). Desde el punto de vista fisiográfico, existen tres topofomas en la zona de abasto: planicie o llanura aluvial, barrotos de río y lomeríos (INEGI, 1981). La geología de esta zona se constituye, principalmente, por areniscas sedimentarias del Terciario, menos importantes son las áreas con predominancia de calizas del Terciario y rocas sedimentarias del Cuaternario. El clima es cálido húmedo con las siguientes características: la precipitación anual se encuentra en el intervalo óptimo (1750 a 3250 mm) para satisfacer los requerimientos hídricos de la caña de azúcar, existe un período crítico (déficit de humedad en el suelo) a partir de mediados de febrero y termina a finales de mayo, lo que coincide con el período de zafra, y la temperatura media anual es de 26 °C, por lo que las condiciones para el cultivo de la caña son óptimas (Humbert, 1974).

Descripción de las Subunidades de Suelos

La distribución y superficie de las subunidades de suelos en el área de estudio se presentan en la Figura 1. Debido a que el principal objetivo de este trabajo fue estudiar la fertilidad de los suelos cultivados con caña de azúcar, no todos los suelos presentados en el mapa son descritos, tal es el caso del Acrisol háplico, Gleysol éútrico, Leptosol lítico y Regosol éútrico. Por otro lado, la escala y categoría del estudio (gran visión) no permite describir todos los tipos de suelos, es necesario aclarar que el mapa de las subunidades de suelos se refiere a la subunidad dominante, aceptando una variación y mezcla de las mismas (Palma y Cisneros, 1996).

Se identificaron nueve subunidades de suelos, de las cuales existen cinco cultivadas con caña de azúcar, tres se agrupan en los suelos de poco o nulo desarrollo del perfil: Fluvisol molli-éútrico, Vertisol éútrico y Leptosol réndzico; las otras dos subunidades corresponden a suelos con moderado a fuerte desarrollo del perfil: Cambisol eutri-calcárico y Luvisol hapli-gléyico. La superficie ocupada así como la clasificación taxonómica de las cinco subunidades se reportan en el Cuadro 1.

Fluvisol molli-éútrico. Son suelos de texturas medias ubicados paralelamente a los cauces de los ríos, se originan a partir de aluviones antiguos, poseen colores pardos. Estos suelos no presentan problemas mayores para el cultivo de caña, salvo que se esperan deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio (Cuadro 2).

Vertisol éútrico. Son suelos originados por aluviones y tienen texturas finas, al menos en el primer metro de profundidad, así como agrietamiento pronunciado en la época de secas. Poseen coloración pardusca, se localizan en las llanuras de inundación cercanas a los cauces de los ríos y arroyos. Estos suelos tienen una permeabilidad moderadamente lenta, manifiestan problemas de encharcamiento y dificultan la labranza en la época de lluvias. Se esperan deficiencias de nitrógeno y potasio en el cultivo de la caña de azúcar (Cuadro 2).

Cambisol eutri-calcárico. Se localizan sobre lomeríos de poca altitud, se originan a partir de rocas calizas y areniscas. Poseen colores amarillentos o anaranjados (rasgos de oxidación) y texturas medias. Estos suelos presentan riesgos latentes de erosión hídrica si están descubiertos en la época de lluvias. El pH del suelo es alcalino, contiene carbonatos solubles.

Cuadro 1. Clasificación de los suelos del área de abastecimiento del ingenio Azsuremex. Tenosique, Tabasco.

Subunidad de suelo (FAO, 1989)	Familia de suelo (Soil Survey Staff, 1994)	Superficie ha	Porcentaje del total
Fluvisol molli-éútrico	Tropofluent típico; francoso fino, mezclado, isohipertérmico, no ácido	3,617	4.9
Vertisol éútrico	Hapludert crómico; arcilloso fino, mezclado, isohipertérmico	27,390	36.9
Cambisol eutri-calcárico	Eutropept fluvéntico; francoso fino, mezclado, calcáreo, isohipertérmico	15,693	21.1
Luvisol hapli-gléyico	Hapludalf ácuico; arcilloso fino, mezclado, isohipertérmico	12,360	16.7
Leptosol réndzico + Leptosol lítico	Rendoll lítico; francoso fino, mezclado, isohipertérmico	15,138	20.4
Otros suelos		4,601	24.9

Cuadro 2. Características físicas y químicas de los perfiles representativos de las unidades de suelos del ingenio Azsuremex. Tenosique, Tabasco.

Perfil	Arena	Limo	Arcilla	Textura	pH	MO	Nt	Relación C/N	K	Mg	Ca	CIC	P-Olsen
	- - - - % - - - -					- - - % - - -			- - - cmol (+) kg ⁻¹ de suelo - - -				mg kg ⁻¹
Fluvisol													
Ap	57	12	31	M Ar A [†]	7.4	4.30	0.21	11.8	0.30	6.2	17.6	27.0	2.6
Ac	67	13	20	M A	8.0	1.09	0.04	15.8	0.15	4.6	18.7	17.1	2.6
C	58	24	18	M A	8.6	0.63	0.03	12.8	0.11	5.9	38.3	16.3	4.1
IIIC	58	12	30	M Ar A	8.6	0.57	0.03	11.0	0.18	8.7	21.7	19.9	0.7
Vertisol													
Ap	50	13	37	Ar A	7.4	3.13	0.15	12.1	0.26	13.0	27.7	42.0	13.2
C1	49	15	36	Ar A	5.5	0.94	0.05	10.9	0.18	13.9	37.8	51.9	2.6
C2	56	24	20	M A	8.5	0.47	0.04	6.8	0.08	7.3	27.6	35.0	0.7
Cambisol													
Ap	54	17	29	M Ar A	8.2	4.85	0.23	12.2	0.21	1.1	48.3	49.6	7.7
Bw	51	21	28	M Ar A	8.4	1.57	0.07	13.0	0.10	1.2	51.9	53.1	1.8
Ci	49	26	25	M Ar A	8.5	0.63	0.02	18.2	0.08	0.5	47.9	48.4	0.9
C2	50	25	25	M Ar A	8.4	0.26	0.01	15.0	0.08	0.4	46.7	42.3	2.7
Luvisol													
Ap	60	8	32	Ar A	6.7	3.60	0.16	13.0	0.18	20.8	32.3	52.9	0.9
Btg1	58	3	39	Ar A	5.6	1.09	0.03	21.0	0.13	29.3	39.0	65.1	3.0
Btg2	59	2	39	Ar A	4.7	0.52	0.01	30.1	0.12	31.5	40.2	67.1	5.8
Cr	60	0	40	Ar A	7.0	0.10	0.0	58.0	0.05	34.3	43.6	70.7	2.7
Leptosol													
Ap	57	15	28	M Ar A	8.2	6.72	0.31	12.5	0.21	2.1	54.0	56.3	9.5
C/R	52	22	26	M Ar A	8.4	1.88	0.09	12.1	0.05	0.8	43.3	44.2	1.4

[†] M Ar A = migajón arcillo arenosa, M A = migajón arenosa, Ar A = arcillo arenosa.

Se esperan deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, hierro y zinc (Cuadro 2).

Luvisol hapli-gléyico. Estos suelos se localizan en sitios semejantes a la subunidad anterior, son suelos más desarrollados, con texturas finas, colores amarillentos y grisáceos y el pH es ácido. Los problemas de permeabilidad lenta son importantes en estos suelos, además éstos presentan riesgos de erosión moderada y deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio (Cuadro 2).

Leptosol réndzico. Estos suelos se ubican en los cerros de baja altitud, al sur del área de estudio, se caracterizan por desarrollarse a partir de rocas calizas del terciario y tener profundidades no mayores que 60 cm antes de que aparezca el estrato rocoso. Los colores son oscuros, la textura media y su consistencia es muy friable. Estos suelos presentan problemas moderados de labranza (pedregosidad) y pH alcalino que conduce a deficiencias de micronutrientes. En cuanto al nitrógeno, fósforo y potasio, éstos se encuentran en cantidades medianamente bajas (Cuadro 2).

Determinación de la Dosis de Fertilización

En general, la utilización del modelo conceptual para estimar dosis de fertilización resultó sencilla, ya que es capaz de describir el esquema nutrimental de los cultivos en su totalidad con un mínimo de postulados.

Estimación de la demanda. En el Cuadro 3, se presenta el rendimiento de la biomasa aérea, seguido de su desviación estándar. Para estimar la demanda del cultivo de la caña de azúcar, se consideró el rendimiento promedio de la biomasa aérea (Cuadro 3). Se observa que las unidades Fluvisol, Luvisol y Leptosol producen los mayores rendimientos de biomasa aérea, los cuales tienen diferentes relaciones hoja/tallo, lo que repercute en el rendimiento de campo a 10 meses de edad (Cuadro 4). Además, los mayores rendimientos de caña de azúcar se asociaron con la potencialidad de los suelos. En el Cuadro 5 se presentan las concentraciones nutrimentales de la biomasa aérea, los cuales se encuentran dentro de la amplitud establecida para caña de 10 a 13 meses de edad (Jones *et al.*, 1991).

Cuadro 3. Rendimiento de biomasa aérea y de caña de azúcar (peso fresco), en las unidades de suelo del área del ingenio Azsuremex. Tenosique, Tabasco.

Unidad de suelo	Variedad	Tallo			Biomasa	Rendimiento de caña [†]
		Número	Peso			
			T+H	T-H		
		m lineal	kg			t ha ⁻¹
Fluvisol	Méx 57-453	20.3±2.0	1.080±0.15	0.60±0.08	174± 45	97±24
Vertisol	Méx 68-P-23	15.5±1.0	1.090±0.11	0.76±0.06	134± 24	94±14
Cambisol	Méx 68-P-23	17.4±1.5	0.910±0.10	0.51±0.06	126± 26	71±15
Luvisol	Méx 68-P-23	15.5±1.3	1.504±0.16	0.75±0.06	185± 38	92±16
Leptosol	Méx 68-P-23	16.4±1.2	1.456±0.13	0.94±0.09	190± 32	123±21

[†]R = [(No. T * Peso promedio de T) * 7.962]/1000.

T = tallo, H = hoja.

Cuadro 4. Rendimiento de materia seca (MS) para estimar la demanda y el suministro de NPK ingenio Azsuremex. Tenosique, Tabasco.

Unidad de suelo	MS de biomasa (tallo+paja)	MS de tallo	MS de paja
Fluvisol	47.96±6.8	26.65±6.0	21.31±3.3
Vertisol	36.88±2.6	25.71±3.5	11.17±1.3
Cambisol	34.62±3.4	19.42±3.7	15.21±1.3
Luvisol	46.25±9.3	23.00±4.0	23.25±5.5
Leptosol	47.50±8.0	30.75±5.2	16.75±2.7

Con los datos promedio de materia seca y las concentraciones de N, P y K de la biomasa aérea, se calculó la demanda (Cuadro 6). Se observa que la variedad Méx 57-453, cultivada en el Fluvisol, y la variedad Méx 68-P-23, cultivada en el resto de los suelos, demandaron diferentes cantidades de nutrimentos, lo anterior concuerda con lo reportado por Salgado *et al.* (2001b), quienes encontraron los siguientes valores: nitrógeno de 1.07 a 1.78 kg, fósforo de 0.4 a 1.14 kg P₂O₅ y potasio de 2.1 a 4.95 kg de K₂O por tonelada de caña producida. El orden de requerimiento es: potasio, nitrógeno y fósforo, lo que coincide con lo reportado por Humbert (1974).

Cuadro 5. Concentración nutrimental de la caña de azúcar (tallos + paja) en las diferentes unidades de suelo del ingenio Azsuremex. Tenosique, Tabasco.

Concentración nutrimental	Unidades de suelo				
	Fluvisol Méx 57-453	Vertisol Méx 68-P-23	Cambisol Méx 68-P-23	Luvisol Méx 68-P-23	Leptosol Méx 68-P-23
%					
N	0.31±0.03	0.19±0.08	0.37±0.04	0.28±0.03	0.27±0.04
P	0.09±0.01	0.09±0.01	0.11±0.01	0.09±0.02	0.11±0.01
K	0.75±0.07	0.80±0.06	0.80±0.09	0.66±0.04	0.48±0.06

Se obtuvo una demanda de potasio para el cultivo de la caña de azúcar mayor que 249 kg ha⁻¹, lo que implica que la dosis de fertilización 120-60-60, usada en la actualidad por el ingenio, no satisface las demandas del cultivo, por lo que éste tiene que tomar el K de las reservas del suelo (Jafri, 1987; Salgado *et al.*, 2000a). Al respecto, Cortés *et al.* (1987) reportaron que a cinco años de cultivarse caña de azúcar en un Vertisol, el suelo presentó una reducción en el contenido nutrimental y la densidad aparente se incrementó de 1.0 a 1.31 g cm⁻³, lo que redujo el espacio poroso dificultando el crecimiento radical; a nueve años de cultivo, el Vertisol presentó una pequeña recuperación en el contenido nutrimental y esta tendencia se mantuvo hasta 13 años. Lo anterior indica la capacidad del suelo para restablecer sus propiedades químicas, lo cual demuestra que el monocultivo de caña no es tan perjudicial en los Vertisoles. Sin embargo, las propiedades físicas sufren modificaciones que pueden restablecerse con el subsuelo profundo, al reemplazar las plantaciones viejas, lo que ocurre cada siete años.

Estimación del suministro. El suministro representa la cantidad de nutrimentos que el suelo es capaz de proveer al cultivo durante su desarrollo más la que se incorporó al suelo por la quema de los residuos de caña (Cuadro 6). El suministro de nitrógeno es bajo,

Cuadro 6. Demanda, suministro y balance de NPK en las diferentes unidades de suelos en el ingenio Azsuremex. Tenosique, Tabasco.

Unidad de suelo	Demanda del cultivo			Suministro del suelo			Balance (D-S)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- kg ha ⁻¹ -----								
Fluvisol	149	99	464	56	92	473	93	7	-9
Vertisol	70	76	381	53	78	339	17	-2 [†]	42
Cambisol	97	87	357	54	73	340	43	14	17
Luvisol	171	95	394	57	79	332	114	16	62
Leptosol	128	120	294	55	101	271	73	19	23

[†] Valores con signo negativo indican que el suelo puede satisfacer la demanda del cultivo de P y K.

debido a que la mayor parte de este elemento se pierde durante la quema (Hernández *et al.*, 1995), no obstante que la relación C/N de estos suelos indica que ocurre el proceso de mineralización (Cuadro 7), pero la liberación de nitrógeno es insuficiente para satisfacer las demandas del cultivo. Para el caso del fósforo, el suministro casi es suficiente en la mayoría de los suelos estudiados. Esto se debe, principalmente, al reciclaje del fósforo por la quema de residuos, la poca movilidad de este elemento en el suelo y las aplicaciones anuales a través de la fertilización. Sin embargo, es recomendable que las aplicaciones de fertilizante fosforado se realicen en banda para evitar la inmovilización por los carbonatos solubles en suelos con pH alcalinos, y por el hierro y aluminio en suelos de pH ácido (Cuadro 7). Ortega (1979) estudió la distribución de raíces de la caña en el suelo y encontró que, a medida que se incrementa la dosis de fósforo (150 kg ha⁻¹), el crecimiento del sistema radicular es de 70% en los primeros 20 cm de profundidad, con una mejor distribución en el suelo y el contenido de fósforo se mantiene alrededor de

20 mg kg⁻¹ hasta 30 cm de profundidad; lo que demuestra la necesidad de mantener valores óptimos de este nutrimento en el suelo para incrementar el crecimiento de la caña. El suministro de potasio en la unidad Fluvisol indicó que este suelo logró abastecer la demanda del cultivo de caña, a pesar de que la concentración de este elemento se clasificó como media (Cuadro 7); lo anterior se atribuye al proceso de incorporación del K durante la quema y a la aplicación continua de triple 17.

Balance nutrimental. A partir de las determinaciones de la demanda y el suministro (Cuadro 6), se estableció el balance nutricional del modelo conceptual (Rodríguez, 1993). Se obtuvo un déficit en todos los casos para nitrógeno y en cuatro sitios para fósforo y potasio (Cuadro 6). Los déficits difieren entre sí, lo que refleja la variabilidad del contenido nutrimental de los suelos, la variación en rendimiento y el historial de manejo de cada sitio (Cuadro 7). Estos valores pueden parecer poco realistas si se considera el potencial máximo de producción de los sitios, tal es el caso del Luvisol donde el déficit

Cuadro 7. Concentraciones promedio de N, P y K de las unidades de suelo utilizadas para calcular el suministro en el ingenio Azsuremex. Tenosique, Tabasco.

Unidad de suelo	Profundidad	MO	Nt	Relación C/N	P Olsen	K	pH
	cm	----- % -----	-----		----- mg kg ⁻¹ -----	-----	
Fluvisol	0 a 30	2.56±0.84	0.13±0.02	11	10.0±4.8	125±11.7	7.6±0.14
	30 a 60	1.90±0.43	-		3.8±3.5	86±23.4	-
Vertisol	0 a 30	1.76±0.49	0.09±0.01	11	12.4±5.1	113±27.3	6.1±0.12
	30 a 60	1.57±0.21	-		9.4±2.4	98±15.6	-
Cambisol	0 a 30	2.22±0.59	-	-	6.9±2.5	90±11.7	6.3±0.10
	30 a 60	1.33±0.04	-		0.8±0.2	51±7.8	-
Luvisol	0 a 30	1.95±0.38	0.11±0.02	10	5.7±3.2	59±7.8	4.5±0.60
	30 a 60	2.13±0.45	-		1.4±1.1	70±11.7	-
Leptosol	0 a 30	2.26±0.80	0.17±0.02	7	12.4±4.2	78±19.5	8.2±0.15
	30 a 60	3.20±0.65	-		1.4±1.0	70±15.6	-

Cuadro 8. Dosis de fertilización por unidad de suelo ingenio Azsuremex. Tenosique, Tabasco.

Unidad de suelo	Dosis de fertilización		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg ha ⁻¹		
Fluvisol	186	18	0
Vertisol	34	0	105
Cambisol	86	37	42
Luvisol	228	80	155
Leptosol	146	45	46

calculado de N y K resulta evidentemente sobrestimado; esto posiblemente se debió al exceso de humedad en el suelo, que ocasionó que el cultivo modificara su relación tallo/hoja (0.5 aproximadamente), demandando una mayor cantidad de NPK, ya que se ha demostrado que, en condiciones normales de humedad en el suelo, la caña produce 30% de hojas y 70% de tallos molederos aproximadamente (Salgado *et al.*, 2001b). Otra posible causa puede ser algún error de tipo experimental en el momento del muestreo, por lo que estos valores se consideran como aislados dentro del área de interés. En el Fluvisol, se observa que con este método no se recomendaría la aplicación de potasio, no obstante que estos suelos presentaron valores deficitarios de este elemento de acuerdo con los estándares de Etchevers (1988¹). Esto pone de manifiesto que es necesario contar con estudios de suministro nutrimental que permitan utilizar con mayor precisión el modelo conceptual.

Dosis de fertilización. Las dosis de fertilización para el cultivo de caña se calcularon tomando en consideración las eficiencias reportadas (Cuadro 8). Debido a que las recomendaciones de fertilización no fueron del todo satisfactorias por los problemas descritos en la sección del balance nutrimental, para dar una respuesta a los productores del ingenio Azsuremex, se optó por ajustar las recomendaciones

de fertilización (Cuadro 9), de acuerdo con las experiencias obtenidas en varios años con ensayos de fertilización en suelos similares (Salgado *et al.*, 2000a); estas experiencias indican que la caña de azúcar produce rendimientos superiores a 150 t ha⁻¹, con dosis de 160 a 180 kg ha⁻¹ de N. Para el caso del fósforo y potasio, las dosis fluctúan de 60 a 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y K₂O, respectivamente; y el diferencial de suministro de N, P y K de cada tipo de suelo (Palma y Cisneros, 1996).

Cuando se analizan las dosis de fertilización, se observa que existe una relación muy estrecha con la potencialidad de los suelos. En los casos donde el método no recomienda la aplicación, se optó por una dosis para mantener la fertilidad del suelo, evitando que, a largo plazo, existan desbalances nutrimentales difíciles de corregir, que repercutirían finalmente en el rendimiento del cultivo de caña de azúcar. En el Cuadro 9, se indican las fuentes y la cantidad de fertilizante comercial que se debe aplicar. Se sugiere el empleo de supernitrato para el Fluvisol y el Leptosol, por la reacción ácida de este fertilizante; además de que contiene azufre (33.5-0-0-10 de N-P-K-S). La fertilización debe realizarse en forma mecanizada, después del primer cultivo para plantillas y socas (Salgado *et al.*, 2001b). La eficiencia de aprovechamiento del fertilizante es 18% mayor en comparación con la aplicación manual, pues el fertilizante se deposita a 15 cm de profundidad favoreciendo el enraizamiento profundo. En caso de que la aplicación sea manual, ésta debe efectuarse un día antes del aporque para que con esta labor se cubra el fertilizante.

RECOMENDACIONES

Para alcanzar el rendimiento esperado con base en la fertilización recomendada, es necesario que el resto de las labores de cultivo se realicen en tiempo y

Cuadro 9. Recomendaciones de dosis y fuentes de fertilizantes por unidad de suelo con base en el rendimiento esperado de caña en el ingenio Azsuremex. Tenosique, Tabasco.

Unidad de suelo	Rendimiento esperado t ha ⁻¹	Dosis de fertilización			Fuentes de fertilizantes				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Recomendación 1		Recomendación 2		
					20-10-10 + S. Nitrato		17-17-17 + S.Urea o S. Nitrato		
		kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹				
Fluvisol	120	160	60	60	600	123	353	-	308
Vertisol	100	120	80	80	-	-	471	92	-
Cambisol	80	120	60	60	600	-	353	138	-
Luvisol	100	140	80	80	-	-	471	138	-
Leptosol	120	160	80	80	800	-	471	-	247

con eficiencia, para lo cual se dan algunos señalamientos:

Resiembra. Durante el recorrido de campo se detectó que los predios cañeros, en general, presentaban una reducción de 25% aproximadamente de población. Esto debe atenderse a la brevedad posible mediante un programa de resiembras, pues los efectos de la baja densidad de población repercuten en la disminución del rendimiento de campo, favorecen la incidencia de malezas y la pérdida de dinero por la ejecución de las labores de cultivo en 25% del espacio que está vacío.

Drenaje. Para las subunidades Vertisol y Luvisol que presentan texturas arcillosas, debe implementarse un programa de drenaje superficial que disminuya el riesgo de encharcamiento en la época de lluvias; lo anterior permitirá que el cultivo de caña aproveche mejor el fertilizante.

Variedades. Por seguridad no es recomendable que una variedad ocupe más de 60% de la superficie total cultivada, por lo que debe implementarse un programa de introducción de nuevas variedades con instituciones involucradas en el mejoramiento genético de la caña de azúcar, para que, a mediano y largo plazo, se cuente con un grupo de variedades, de tal forma que los efectos de plagas y enfermedades se vea disminuido por la diversidad genética.

CONCLUSIONES

Se determinaron cinco unidades de suelos en el área de abastecimiento del ingenio Tenosique. A través del modelo conceptual no fue posible llegar a generar las dosis de fertilización para cada tipo de suelo. Los resultados mostraron que aún quedan dudas en los parámetros a utilizar para la estimación del suministro de los nutrimentos del suelo, sobre todo en lo que respecta a los aportes de los restos de cultivo para la temporada siguiente; esto es aún más evidente si se trata de estimar los aportes después de la quema de los residuos de cosecha. Con respecto a la demanda, hacen falta estudios más puntuales sobre las variedades de caña de azúcar. Las dosis de fertilización obtenidas con el modelo conceptual debieron ser ajustadas para generar una recomendación viable para la fertilización de la caña de azúcar en el ingenio Azsuremex.

LITERATURA CITADA

- CNIAA. 2000. Desarrollo operativo campo-fábrica 1993/1998. Comité de la Agroindustria Azucarera. CNIAA. <http://www.sagar.gob.mx/users/coaazucar> (abril 2000).
- Cortés L., T., I. Pacheco H. y J.R. Ramírez V. 1987. Efecto del uso continuo con caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) sobre algunas variables importantes en un Vertisol, en la Chontalpa, Tabasco, México. p. 114. In: A. Aguilar S. y J.D. Etchevers B. (eds.). Memorias del XX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Zacatecas, México.
- Cuanalo de la C., H. 1981. Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. 2a. ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Etchevers B., J.D. y V. Volke H. 1991. Generación de tecnologías mejoradas para pequeños productores. Serie Cuadernos de Edafología 17. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- FAO. 1989. Carte mondiale des sols, Légende révisée. Rapport sur les ressources en sols du monde 60. FAO-UNESCO. Rome, Italie.
- García E., A. 1984. Manual de campo en caña de azúcar. Serie Divulgación Técnica. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar. Libro 24. México, DF.
- 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.
- Humbert, R.P. 1974. El cultivo de la caña de azúcar. Continental. México, DF.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1981. Carta fisiográfica. Villahermosa, Tabasco. Escala 1: 1000 000.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1984. Fotografías aéreas, blanco y negro Tenosique y del Estado de Tabasco. México. Escala 1:75 000.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1986. Cartas topográficas, Tenosique y del Estado de Tabasco. México. Escala 1:50 000.
- Jafri, S.M.H. 1987. Effect of potassium with nitrogen and phosphorus on sugarcane in plant-ratoon cropping sequence in alluvial soil. J. Indian Soc. Soil Sci. 35: 667-671.
- Jones, B.J., B. Wolf y H.A. Mills. 1991. Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing. Athens, GA.
- López M., R. 1980. Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas. Centro Regional Puyacatengo, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- 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, México.
- Ortega, E. 1979. Características del fósforo como elemento mineral esencial en la nutrición de la caña de azúcar. Tesis candidato a doctor en ciencias. Universidad de la Habana, Cuba.

- Palma, L., D.J. y J. Cisneros D. 1996. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. Vol. 1. Fundación Produce Tabasco, A.C. Villahermosa, Tabasco, México.
- Rodríguez S., J. 1993. La fertilización de los cultivos: Un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. ANAGRA, S.A.
- Salgado G., S., A. Trujillo N. y R. Torres R. 1994. Manual para muestreo de suelos de uso agrícola y ganadero en el estado de Tabasco. Campus Tabasco-Instituto de Recursos Genéticos y Productividad-Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, Tabasco, México.
- Salgado G., S., R. Núñez E., J.J. Peña C., J.D. Etchevers B., D.J. Palma L. y M.R. Soto H. 2000a. Respuesta de la soca de caña de azúcar a la fertilización NPK. *Agrociencia* 34: 689-698.
- Salgado G., S., D.J. Palma L., R. Núñez E., L.C. Lagunes E. y H. Debernardi de la V. 2000b. Manejo de fertilizantes y abonos orgánicos. ISBN 968-839-281-2. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.
- Salgado G., S., R. Núñez E., J.J. Peña C., J.D. Etchevers B., D.J. Palma L. y M.R. Soto H. 2001a. Eficiencia de recuperación de nitrógeno fertilizante en soca de caña de azúcar sometidas a diferentes manejos de fertilización. *Terra* 19: 155-162.
- Salgado G., S., L. Bucio A., D. Riestra D. y Luz del C. Lagunes E. 2001b. Caña de azúcar: Hacia un manejo sustentable. ISBN 968-839-331-2. Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados-Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.
- Soil Survey Staff. 1994. Keys to soil taxonomy. 6th ed. US Department of Agriculture-Soil Conservation Service. Washington, DC.
- Stanford, G. y S.J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 465-472.
- Volke H., V. y J.D. Etchevers B. 1994. Recomendaciones de fertilización para cultivos necesidades y perspectivas de una mayor precisión. Cuaderno de Edafología 21. Instituto de Recursos Naturales, Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México.
- Weier, K.C., C.W. McEwan., I. Vallis., V.R., Catchoole y R.J. Myers. 1996. Potential for biological denitrification of fertilizer nitrogen in sugarcane soils. *Aust. J. Agric. Res.* 47: 67-79.