

DINÁMICA DEL POTASIO EN VERTISOLES Y FLUVISOLES CULTIVADOS CON CAÑA DE AZÚCAR

Potassium Dynamics in Vertisols and Fluvisols Planted with Sugarcane

Gloria Ivette Bolio-López¹, Sergio Salgado-García^{2‡}, David Jesús Palma-López³,
Luz del Carmen Lagunes-Espinoza³, Mepivoseh Castelán-Estrada² y Jorge D. Etchevers-Barra³

RESUMEN

Se determinó el tamaño de los reservorios de potasio (K) y el efecto de la aplicación de K en la dinámica de las fracciones de potasio soluble (Ks), potasio intercambiable (Ki), potasio no intercambiable (Kni) y la capacidad amortiguadora del potasio (cK) de un Vertisol y Fluvisol cultivados con caña de azúcar en tres plantaciones con 10, 20 y 30 años de monocultivo. En cada sitio se colectó una muestra compuesta de suelo (100 kg por cada tipo de suelo y edad de la plantación). De esta masa de suelo se pesaron submuestras de 250 g, a las cuales se les adicionó 100 mg kg⁻¹ de K como KCl y se mezclaron uniformemente, se humedecieron a capacidad de campo y se colocaron a incubar durante 0, 1, 3, 7, 15, 30, 60, 90, 120 y 150 días; el ensayo constó de cinco repeticiones, para cada fecha de incubación se retiró la serie correspondiente y se les determinó Ks, Ki y Kni. El tamaño de los reservorios nativos (tiempo 0) de Ks, Ki y Kni varió en función del tipo de suelo, independientemente de los años de monocultivo. La concentración de Ks y Ki fue mayor en el Fluvisol que en el Vertisol, por la presencia de arcillas tipo illita ricas en K. Como consecuencia de la adición de K soluble, se incrementó la concentración de Ks y Ki en ambos tipos de suelos, independientemente de los años de monocultivo, siguiendo la misma tendencia que se observó al determinar el tamaño de los reservorios nativos. La disminución de las formas solubles e intercambiables de K y el incremento de las no intercambiables (fijación), finalizaron a los 30 días de

incubación. El Vertisol presentó una cK similar al Fluvisol, ya que en promedio, la fijación de K fue de 36%. No hubo efecto del tiempo de monocultivo en la dinámica de K.

Palabras clave: capacidad amortiguadora de potasio.

SUMMARY

The size of potassium (K) reservoirs and the effect of K supply on the dynamics of soluble K (Ks) fractions, exchangeable K (Ke), non-exchangeable K (Kne), and buffer capacity of K (cK) of a Vertisol and a Fluvisol planted with sugar cane in three plantations with 10, 20, and 30 years of monocropping were determined. At each site a compound soil sample (100 kg for each soil type and age of plantation) was collected. Of this soil mass, 250 g subsamples were weighed, 100 mg kg⁻¹ K were added as KCl. These subsamples were mixed uniformly, moistened to field capacity, and incubated during 0, 1, 3, 7, 15, 30, 60, 90, 120, and 150 days. The test consisted of five replications; for each incubation date the corresponding samples was withdrawn, and Ks, Ke, and Kne were determined. The size of the native reservoirs (time 0) of Ks, Ke, and Kne varied according to soil type, regardless of years of monocropping. Ks and Ke concentrations were higher in Fluvisol than in Vertisol, caused by the presence of illite-type lime particles, rich in K. As a consequence of the addition of soluble K, the concentration of Ks and Ke increased in both soil types, regardless of years of monocropping, following the same tendency as observed in determining the size of native reservoirs. The decrease in the soluble and exchangeable forms of K and the increase of the non-exchangeable K ended at 30 days of incubation. Vertisol presented a cK equal to that of Fluvisol (36%). There was no effect of monocropping time on the K dynamics.

Index words: potassium buffer capacity.

¹ Universidad Popular de la Chontalpa. 86500 Cárdenas, Tabasco, México.

² Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 56570 Cárdenas, Tabasco, México.

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

³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

INTRODUCCIÓN

El potasio (K), elemento esencial para el crecimiento y el desarrollo de la caña de azúcar, es demandado en mayores cantidades que otros nutrimentos que aporta el suelo. En el estado de Tabasco, México la caña de azúcar es cultivada en 27 041 ha, en suelos derivados de aluviones recientes pertenecientes a las unidades Fluvisol, Vertisol, Gleysol, Cambisol, Leptosol y Luvisol (Salgado *et al.*, 2005), siendo uno de los cultivos comerciales más importantes. Si las reservas de K en esos suelos no son suficientes para compensar el K extraído por las plantas, este elemento se convertirá en un factor limitante para la producción. La extracción de K por la planta de caña de azúcar supera los 350 kg ha⁻¹ pero varía en función de la variedad y el rendimiento obtenido. Jafri (1987) encontró que esta planta extraía 150 kg ha⁻¹ de K₂O en promedio, en suelos aluviales de la provincia de Uttar Pradesh en la India, para satisfacer la demanda impuesta para producir 16.6 Mg ha⁻¹ de azúcar. En contraste, Palma-López *et al.* (2002) reportan extracciones de 354 kg ha⁻¹ con la variedad Méx 68-P-23 que alcanzó rendimientos de 94 Mg ha⁻¹ y extracciones de 431 kg ha⁻¹ con la variedad Méx 57-453 que tuvo rendimientos de 97 Mg ha⁻¹; la primera variedad se había cultivado en un Vertisol y la segunda en un Fluvisol, ambos en el estado de Tabasco, México.

Las principales unidades de suelos que constituyen el área de cultivo del ingenio Santa Rosalía, objeto de este estudio, son Fluvisol y Vertisol. Estos suelos se han cultivado de manera continua con caña de azúcar por más de 30 años y durante este período, la fertilización ha estado constituida por aplicaciones anuales de 120-60-60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, con lo que se ha obtenido un rendimiento promedio de 50 Mg ha⁻¹ de caña. Sin embargo, el rendimiento potencial en esa zona se estima en 130 Mg ha⁻¹, por lo cual se sospecha que pudiese existir un problema con el abastecimiento de algún nutrimento. Se sabe que el rendimiento de caña de azúcar es determinado, además por otros factores importantes, como el manejo agronómico, el tipo y la edad de la variedad, el clima, el estado nutrimental de los suelos, las plagas y las enfermedades.

Ribón *et al.* (2003) han señalado que el monocultivo de caña de azúcar no altera el reservorio de K en Vertisoles. No obstante, la dosis de fertilización aplicada en los suelos del ingenio Santa Rosalía y el conocimiento de las altas extracciones de K que realiza la caña de azúcar durante cada ciclo de cultivo, supone que éstas

no serían suficientes para satisfacer la demanda potencial de 577 kg ha⁻¹ de K₂O del cultivo. Dado que los trabajos de campo para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar requieren de varios años de estudio y grandes cantidades de recursos, Salgado *et al.* (2005) propusieron el empleo de un sistema integrado para recomendar dosis de fertilización (SIRDF) para este cultivo. El SIRDF permite generar y validar recomendaciones de fertilización mediante siete etapas, y toma en cuenta el potencial del suelo y la variedad de caña cultivada. La etapa cinco de este sistema utiliza el modelo conceptual (Rodríguez, 1990) para establecer las dosis de fertilización para N, P y K. Las bases del modelo conceptual indican que para alcanzar un rendimiento en cierta condición agroecológica se debe satisfacer un balance entre la demanda de un nutrimento por el cultivo (DEM) y el suministro que hace de este nutrimento el suelo (SUM).

La estimación del suministro que hace el suelo comprende, por un lado, la capacidad de éste para aportar el nutrimento y, por otro, la eficiencia de la planta para absorber el nutrimento disponible en ese medio. En el caso de K, existen tres fracciones importantes para la nutrición de los cultivos. Estas formas se encuentran en equilibrio dinámico, el cual se modifica por las entradas de K al sistema, mediante la fertilización y los residuos de cosecha, y por las salidas de K por la absorción del mismo por los cultivos. El suministro de K del suelo a la planta se puede calcular mediante el análisis químico de suelo. Por lo tanto, para definir y generar información acerca de la dinámica del K en los suelos cañeros, es necesario conocer los cambios en los equilibrios de los diferentes reservorios de K que se producen con el transcurso del tiempo al adicionarles un fertilizante potásico.

El presente trabajo tiene el propósito de estudiar, en condiciones controladas, el efecto del monocultivo sobre el tamaño de los reservorios de K y el cambio en los mismos al agregar un fertilizante potásico, en suelos cañeros del área de abastecimiento del ingenio Santa Rosalía, en el estado de Tabasco, que han permanecido en monocultivo por más de 30 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron para el estudio tres plantaciones de caña de azúcar con 10, 20 y 30 años de monocultivo ubicadas en dos unidades de suelos: Vertisol y Fluvisol, en el área de abastecimiento del ingenio Santa Rosalía,

Tabasco, México. En cada una de ellas se colectó una muestra compuesta de suelo. Las muestras se tomaron en puntos sobre una diagonal imaginaria trazada en la parcela, de 0 a 30 cm de profundidad, 15 cm de ancho y una longitud de 1.3 m. Posteriormente, estas muestras se mezclaron para formar una muestra compuesta de 100 kg (por cada unidad de suelo y edad de la plantación). El tratamiento con 0 años de monocultivo se colectó de una selva mediana perennifolia para el Vertisol y de una plantación de cacao para el Fluvisol, y sólo se utilizó para estimar los reservorios en estado inicial, por lo cual no estuvo sujeto a incubación.

El estudio del K en esos suelos se realizó en tres etapas. La primera fue la determinación del tamaño de los reservorios Ks, el cual corresponde al K presente como ion en la solución del suelo; el Ki, es la fracción de reserva de respuesta rápida, está adsorbido en las arcillas, compensa las cargas negativas que resultan de las sustituciones isomórficas en la estructura de éstas o de las fracturas del cristal, y se encuentra en equilibrio con el Ks; y el Kni, es una fracción que aporta K a las fracciones de donde las plantas toman el K con facilidad (*i.e.* Ks y Ki); el K es retenido en sitios específicos en la periferia de la estructura de las arcillas, en especial micáceas que constituye parte importante de la fracción fina. La segunda, el establecimiento de las tasas de cambio en el tamaño de los reservorios de Ks y Ki, que resultaron de la adición de fertilizante potásico. La tercera etapa consistió en definir la capacidad amortiguadora del potasio (cK) que se considera un índice de la labilidad del Ki y caracteriza el equilibrio entre el Ki y el Ks (Aguado *et al.*, 2002); y el establecimiento de una relación cuantitativa entre este valor y el contenido y el tipo de arcilla de los suelos con diferentes tiempos de monocultivo con caña de azúcar.

Se estableció un experimento, en condiciones controladas con un diseño factorial de tratamientos, donde los factores y niveles evaluados fueron: (a) unidad de suelo con dos niveles, Vertisol y Fluvisol; (b) tiempo de monocultivo, con tres niveles, 10, 20 y 30 años; y (c) tiempo de incubación con 10 niveles, 0 (suelo sin incubar), 1, 3, 7, 15, 30, 60, 90, 120 y 150 días de incubación. Los tratamientos resultantes de la combinación de los tres factores y sus niveles se alojaron en un diseño completamente al azar. Cada tratamiento se repitió cinco veces. La unidad experimental (UE) era un contenedor de polipropileno que contenía 250 g de suelo. El total de UE fue de 300.

Los reservorios se determinaron de la siguiente forma: (a) el Ks con CaCl_2 0.01 M (Houba *et al.*, 1986); (b) el de Ki con acetato de amonio 1N, pH 7, una relación suelo:solución 1:10 (Pratt *et al.*, 1982); y (c) el de Kni con HNO_3 1 N (ebullición por 10 min) (Pratt *et al.*, 1982), utilizando una muestra de 5, 1 y 2.5 g de suelo en Ks, Ki y Kni, respectivamente.

El cambio del tamaño de los reservorios se midió después de adicionar 47.71 mg de KCl a 250 g de suelo, cantidad equivalente a una aplicación de 100 mg de K kg^{-1} de suelo. El suelo tratado se colocó en un contenedor de polipropileno, se humedeció a capacidad de campo y se incubó a temperatura ambiente (30 °C) durante 60 días. La humedad se mantuvo adicionando agua para mantener peso constante cada tercer día. En los suelos incubados, así como en los nativos (sin incubar), se hicieron extracciones sucesivas de las fracciones Ks y Ki hasta alcanzar un valor constante de K. Los procedimientos empleados fueron los descritos anteriormente.

En la tercera etapa se determinó la mineralogía de cada uno de los sitios de estudio a través de la técnica de difracción de rayos X, utilizando la fracción fina (< 2 mm) del suelo. La metodología empleada fue la descrita por Aguado *et al.* (2002) para un estudio similar. La caracterización se hizo en muestras libres de materia orgánica (MO) (oxidación con H_2O_2), y eliminación de Fe, carbonato (ácido acético al 10%) y materiales amorfos (Hidalgo, 1991). Para la caracterización de los minerales arcillosos se emplearon tres tratamientos generales: a temperatura ambiente (N-O), saturación con etilenglicol (EG) y calentamiento (C-490 °C). La cK se midió utilizando el método propuesto por Rodríguez (1990). La capacidad amortiguadora del potasio o cK se calculó mediante la ecuación:

$$cK = \frac{Ks_{24} - Ks_i}{Ki_{24} - Ki_i}$$

donde: cK = índice de la capacidad amortiguadora del potasio, Ks_{24} = K soluble a las 24 h, Ks_i = K soluble inicial, Ki_{24} = K intercambiable a las 24 h, Ki_i = K intercambiable inicial.

Valores de cK cercanos a cero indican alta fijación de K y, valores cercanos a 1, baja fijación de K por las arcillas (Karpinets, 1993). Para esta variable se realizó un análisis factorial (tres edades de cultivo y dos tipos de suelo) y la prueba de comparación múltiple de medias

de Tukey (Martínez, 1988), usando el programa SAS (SAS Institute, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características Químicas y Físicas de los Suelos de Estudio

En el Cuadro 1 se presentan las características químicas y físicas de la capa arable del Vertisol y Fluvisol analizados. El pH del Vertisol (5.7 a 6.1) se clasificó como moderadamente ácido y el del Fluvisol (6.0 a 7.0) como ligeramente neutro. El porcentaje de MO en ambos suelos, Vertisol y Fluvisol, fue mayor de 2, similar al reportado por Ribón *et al.* (2003) y Palma-López *et al.* (2007). El intervalo fue de 2.1 a 3.6%. En ambos tipos de suelo el Na intercambiable fue bajo (0.05 a 0.36 cmol_c kg⁻¹ de suelo) lo cual corresponde el valor máximo del testigo Vertisol (selva mediana perennifolia). El P-Olsen varió de 5.5 a 32 mg kg⁻¹, valores considerados en el intervalo medio-alto (NOM-021-RECNAT, 2001). Estos valores de P-Olsen en el intervalo alto reflejarían el efecto residual de las aplicaciones de fertilizantes fosfatados a lo largo de los años (Naranjo *et al.*, 2006). Los Fluvisoles mostraron los valores más bajos de este elemento. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) varió de media a alta (11.1 a 27.7 cmol_c kg⁻¹) (NOM-021-RECNAT, 2001), pero la de los Fluvisoles fue inferior a la de los Vertisoles. Los porcentajes de arcilla variaron desde 23.6 a 67.6, siendo más bajos en los Fluvisoles que en los Vertisoles. Los Fluvisoles tuvieron mayores porcentajes de arena, lo cual confiere a estos suelos mayor aireación y

permeabilidad al agua. Los Fluvisoles que tienen mayor contenido de fracciones finas (10 y 30 años), presentan mayores valores de P, K y CIC. La conductividad eléctrica (CE) varió de 0.306 a 0.676 dS m⁻¹ para Vertisoles y de 0.413 a 0.686 dS m⁻¹ para Fluvisoles.

Mineralogía

Los Fluvisoles contienen abundantes micas e illitas, y una menor cantidad de montmorillonitas. En el Vertisol las montmorillonitas fueron más abundantes que las illitas. En ambos casos se trataba de una mezcla de illitas y montmorillonitas en distinta proporción (Figura 1), lo que le confiere al Fluvisol mayor contenido de K (López *et al.*, 2002).

Tamaño de los Reservorios Nativos de Ks, Ki y Kni

La sumatoria de ocho extracciones sucesivas de Ks fue significativamente menor en los Vertisoles con 10 y 30 años que en los Fluvisoles monocultivados con caña de azúcar. Esto se explicaría por la mayor capacidad de amortiguación que exhiben los primeros, dado la mayor cantidad de arcilla. Sin embargo, en el año cero el tamaño del reservorio Ks nativo en ambos suelos fue similar. En el Vertisol la disminución del Ks con el transcurso del tiempo de cultivo fue de tipo lineal, indicando un agotamiento progresivo del reservorio de Ks (Ribón *et al.*, 2003; Maia y Ribeiro, 2004); contrariamente, en el Fluvisol se observó un comportamiento irregular (Cuadro 2). En estos suelos aparentemente la textura tiene una influencia mayor que el tiempo de monocultivo; los suelos que tienen mayor

Cuadro 1. Propiedades químicas y físicas de los suelos en estudio (0 a 30 cm).

Edad de cultivo	pH	CE [‡]	MO [§]	Nt	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC [¶]	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación textural
años	H ₂ O	dS m ⁻¹	%	%	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	%	%	%					
Vertisol														
0 SMP [†]	6.1	0.67	3.6	0.15	15.6	0.44	5.4	8.6	0.36	14.8	67.6	30	2.4	Arcilla
10	6.0	0.40	2.1	0.12	32.0	0.26	11.9	5.6	0.16	17.9	55.6	34	10.4	Arcilla
20	5.7	0.30	3.3	0.15	17.0	0.28	11.1	6.7	0.20	18.3	59.6	34	6.4	Arcilla
30	5.8	0.51	2.3	0.15	28.1	0.24	16.8	6.9	0.16	24.1	55.6	42	2.4	Arcillo-limoso
Fluvisol														
0 Cacao	6.0	0.59	3.1	0.12	10.8	0.38	6.1	2.7	0.05	9.2	23.6	34	42.4	Franco
10	6.4	0.62	2.4	0.13	9.2	0.92	7.6	4.2	0.09	12.8	37.6	50	12.4	Migajón arcillo-limoso
20	6.2	0.41	2.4	0.12	5.5	0.26	8.0	4.0	0.10	12.4	33.6	38	28.4	Migajón arcilloso
30	7.0	0.68	2.8	0.13	14.5	0.66	9.6	4.9	0.12	15.3	39.6	46	14.4	Migajón arcillo-limoso

[†] SMP = selva mediana perennifolia; [‡] CE = conductividad eléctrica; [§] MO = materia orgánica; [¶] CIC = capacidad de intercambio catiónico.

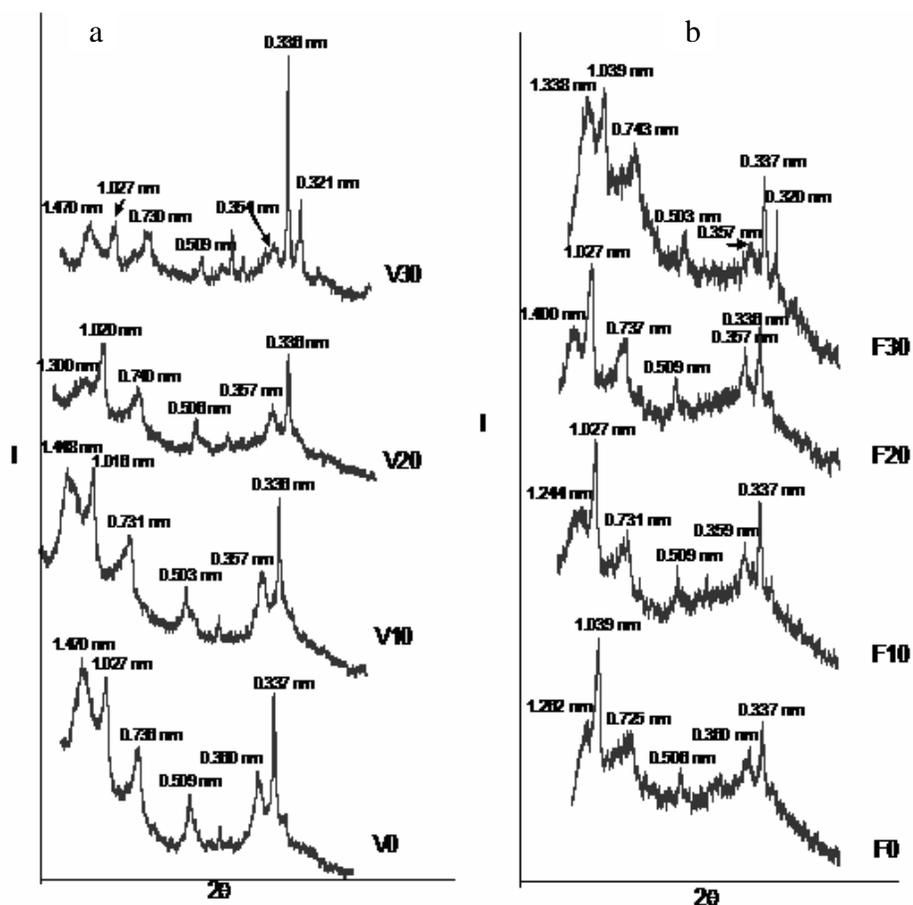


Figura 1. Difractogramas correspondientes a los tratamientos: orientados al natural (NO). Para las muestras de a) Vertisoles y b) Fluvisoles con 0, 10, 20 y 30 años de monocultivo.

contenido de fracciones finas (limo y arcilla) presentan mayor contenido de Ks (10 y 30 años), como lo señalan López *et al.* (2002).

Con respecto al Ki nativo, el Vertisol muestra una tendencia a disminuir significativamente con las extracciones sucesivas conforme aumentan los años de cultivo (Cuadro 2). Por el contrario, en el Fluvisol se sigue presentando ese efecto irregular: después de 10 y 30 años de monocultivo se observó una mayor concentración de Ki (Cuadro 2) que en el sujeto a 20 años de monocultivo. Se sabe que el tipo y la cantidad de arcilla, además del manejo, se relacionan con el contenido de K en las posiciones de intercambio y la energía con que es retenido. El estudio mineralógico demostró que los Fluvisoles presentaban una mayor proporción de materiales tipo micas e illitas, y menos montmorillonitas en comparación con los Vertisoles. Las illitas presentan la característica de poseer un alto contenido de K estructural y, por ende, una mayor capacidad de intercambio iónico (Rodríguez, 1990).

La fracción Kni presentó un comportamiento similar a las fracciones Ks y Ki, tanto en el Vertisol como en el Fluvisol con respecto al tiempo, pero el reservorio de Kni fue mayor en el Fluvisol que en el Vertisol, lo que se atribuyó a su mayor proporción de micas e illitas. En ciertas situaciones, la fijación de K puede considerarse benéfica, ya que permite regenerar la estructura del material original a través de la restauración de los látices; esta fracción puede ser más disponible que la fracción de K nativo y se libera a la solución cuando disminuye la concentración de K en el suelo (Henríquez *et al.*, 1994).

Balance entre los Reservorios de Ks, Ki y Kni Nativo e Incubado

En el Cuadro 3 se presentan los valores de las concentraciones de Ks, Ki y Kni antes y después de la incubación en las condiciones descritas. Al hacer

Cuadro 2. Tamaño del reservorio potasio soluble (Ks), intercambiable (Ki) y no intercambiable nativo (Kni) para dos suelos cañeros de Tabasco, México.

Suelo	Tiempo de monocultivo (años)			
	0	10	20	30
	Ks (mg kg ⁻¹)			
Vertisol	264.6a [†]	149.2 b	147.6 b	135.9 c
Fluvisol	263.5c [†]	530.8 a	137.6 d	372.2 b
	Ki (mg kg ⁻¹)			
Vertisol	251.0a [†]	153.2 c	152.7 b	134.9 d
Fluvisol	196.8c [†]	432.8 a	114.8 d	
	Kni (mg kg ⁻¹)			
Vertisol	§	824.4 b [‡]	667.8 b	783.0 b
Fluvisol	§	1860.2 a	1122.0 a	1521.4 a

DMS (Ks Vertisol): 2.3; DMS (Ks Fluvisol): 8.5; DMS (Ki Vertisol): 7.6; DMS (Ki Fluvisol): 32.5; y DMS (Kni 10 años): 2.0; DMS (Kni 20 años): 2.4 y DMS (Kni 30 años): 6.8.

[†] Medias con la misma letra entre hileras son iguales estadísticamente (Tukey, P ≤ 0.05).

[‡] Medias con la misma letra dentro de la columna son iguales estadísticamente (Tukey, P ≤ 0.05).

[§] Suelos no incubados.

un balance total de los reservorios de K en el Vertisol, la fracción Ks representó de 13 a 15% de la sumatoria de todas las formas de K, la de Ki de 14 a 17% y el Kni de 70 a 74%. En el Fluvisol, por su parte, el balance arrojó entre 17 y 18% de Ks, de 15 a 17% de Ki y de 68 a 70% de Kni. El Fluvisol con 20 años de cultivo constituyó una excepción (10% de Ks, 9% de Ki y 81% de Kni), caracterizándose por una mayor fijación de K; este fenómeno ha sido observado por Shaviv *et al.* (1985) y Henríquez *et al.* (1994), quienes concluyen que la fijación es más fuerte a bajas concentraciones de K. Estos valores se presentan en forma general, tanto para suelos nativos como incubados, haciendo notar que se incrementan las cantidades, pero no las proporciones de las diferentes fracciones de K, en los suelos estudiados, no observándose efecto del tiempo de monocultivo con caña de azúcar. No obstante, estos valores de K son menores que los reportados por Aguado *et al.* (2002) para suelos templados de México.

Dinámica de Potasio en el Reservorio Ks y Ki Nativos

El Ks del Vertisol y Fluvisol, a los 0 años de monocultivo, muestra un comportamiento similar para ceder K independientemente de su contenido en ambos suelos. El Fluvisol con 10 años de monocultivo mostró

Cuadro 3. Balance entre los reservorios potasio soluble (Ks), intercambiable (Ki) y no intercambiable (Kni) en dos suelos cañeros de Tabasco, México.

Tiempo de cultivo años	Reservorio	Vertisol	Fluvisol
		- mg kg ⁻¹ de suelo -	
10	Ks nativo	150	531
	Ks incubado	190	543
	Diferencia	40	12
	Ki nativo	153	432
	Ki incubado	171	501
	Diferencia	22	69
20	Kni nativo	824	1860
	Kni incubado	874	2195
	Diferencia	50	335
	Ks nativo	148	137
	Ks incubado	222	187
	Diferencia	74	49
30	Ki nativo	153	120
	Ki incubado	226	155
	Diferencia	73	35
	Kni nativo	668	1122
	Kni incubado	825	1122
	Diferencia	157	0
	Ks nativo	136	372
	Ks incubado	149	410
	Diferencia	13	38
	Ki nativo	135	304
	Ki incubado	174	382
	Diferencia	39	78
Kni nativo	783	1521	
Kni incubado	904	1728	
Diferencia	121	207	

mayor contenido de Ks, pero su abatimiento es drástico. De acuerdo con la información de la Figura 2, las pendientes de las ecuaciones que describen la extracción de Ks difieren entre sí, lo cual indica que, a los 10 años de estar cultivado con caña de azúcar, el Fluvisol cede más rápido su Ks que el Vertisol, debido a una menor capacidad para fijar el K y al menor contenido de arcilla. A los 20 años de cultivo ambos suelos presentan pendientes similares, lo que indica que los suelos sólo tienen ligeras diferencias en su comportamiento. A los 30 años se observa un comportamiento similar al de los suelos con 10 años de monocultivo, probablemente debido a la igualdad en la textura en los Fluvisoles con 10 y 30 años de monocultivo; cabe señalar que las arcillas

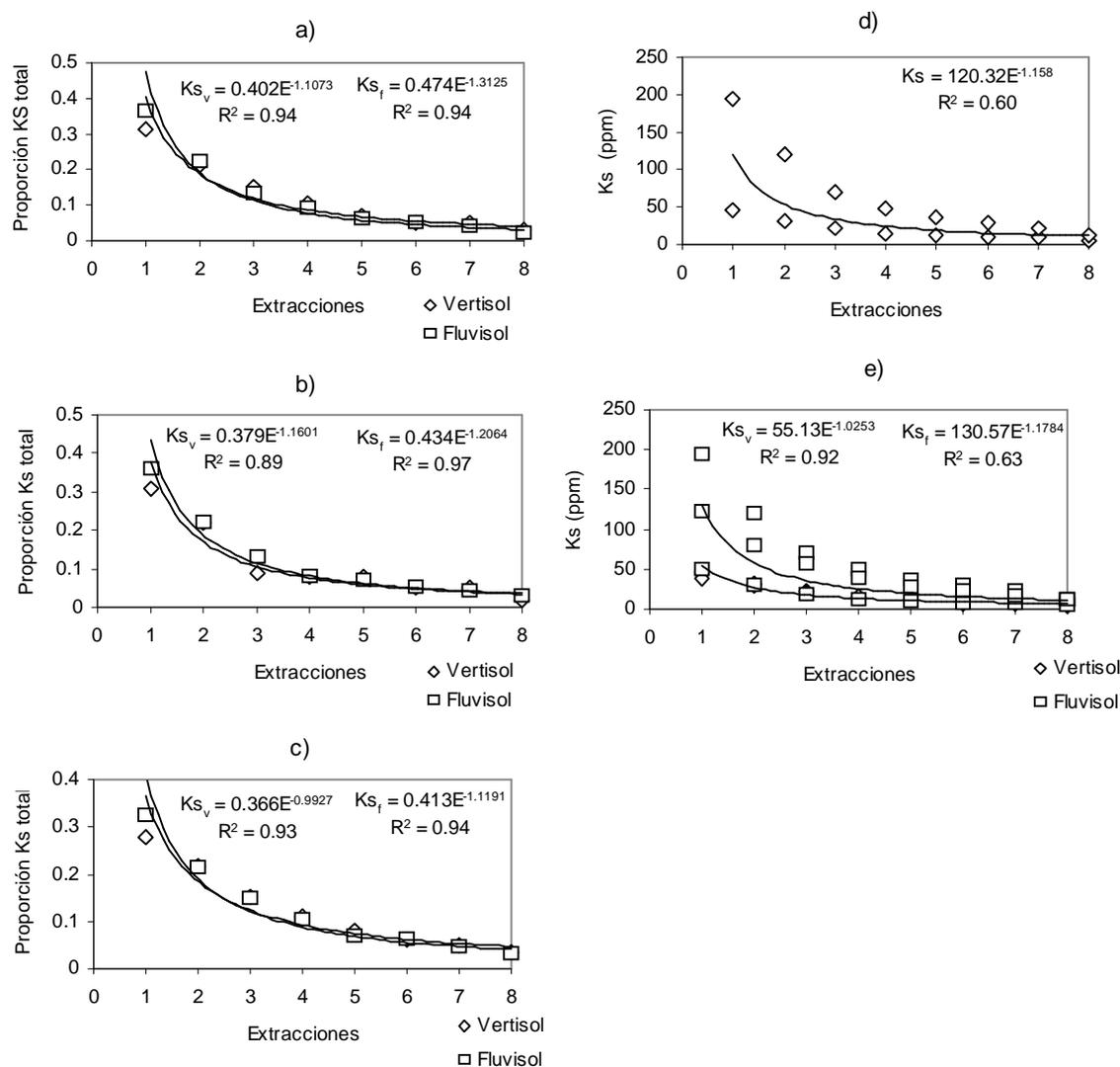


Figura 2. Proporción de potasio soluble (Ks) nativo para el Vertisol y Fluvisol con: a) 10 años de cultivo; b) 20 años de cultivo; c) 30 años de cultivo; d) modelo de liberación de Ks nativo para ambos suelos a los 10 años de cultivo, y e) modelos de liberación de Ks nativo para el Vertisol y Fluvisol en todos los años de cultivo.

presentes en estos suelos son una mezcla de illitas y motmorillonitas, y estas últimas se caracterizan por presentar una fijación variable y débil, respectivamente (Ross *et al.*, 1989).

La cantidad total de Ki extraído fue similar a la de Ks, aunque el número de extracciones fue de cuatro en el caso de Ki (Figura 3). Algunos autores sostienen que las tasas de liberación del K de sus formas no intercambiables a Ki o Ks se debe a la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} en los minerales secundarios (esmeclitas, illitas, montmorillonitas), lo que provoca cambios en las características fisicoquímicas de la fase mineral del suelo, incluyendo la solubilidad en agua, carga eléctrica y área superficial (Chen *et al.*, 1987; Lear y Stucki, 1989).

Dinámica de Potasio en el Reservorio Ks Incubado

Todos los suelos presentaron una disminución en el contenido de Ks a medida que el número de extracciones aumentaba (Figura 4). Más del 90% de Ks extraído correspondió a las dos primeras extracciones, sólo el 10% restante se liberó en las tres siguientes extracciones.

El mayor abatimiento de Ks en las primeras dos extracciones correspondió a los Fluvisoles con 10 y 30 años de cultivo con caña de azúcar, lo cual se asoció con el mayor contenido inicial de Ki. La aplicación de fertilizante potásico soluble produce un incremento del reservorio de K en la solución. Al aumentar el tamaño

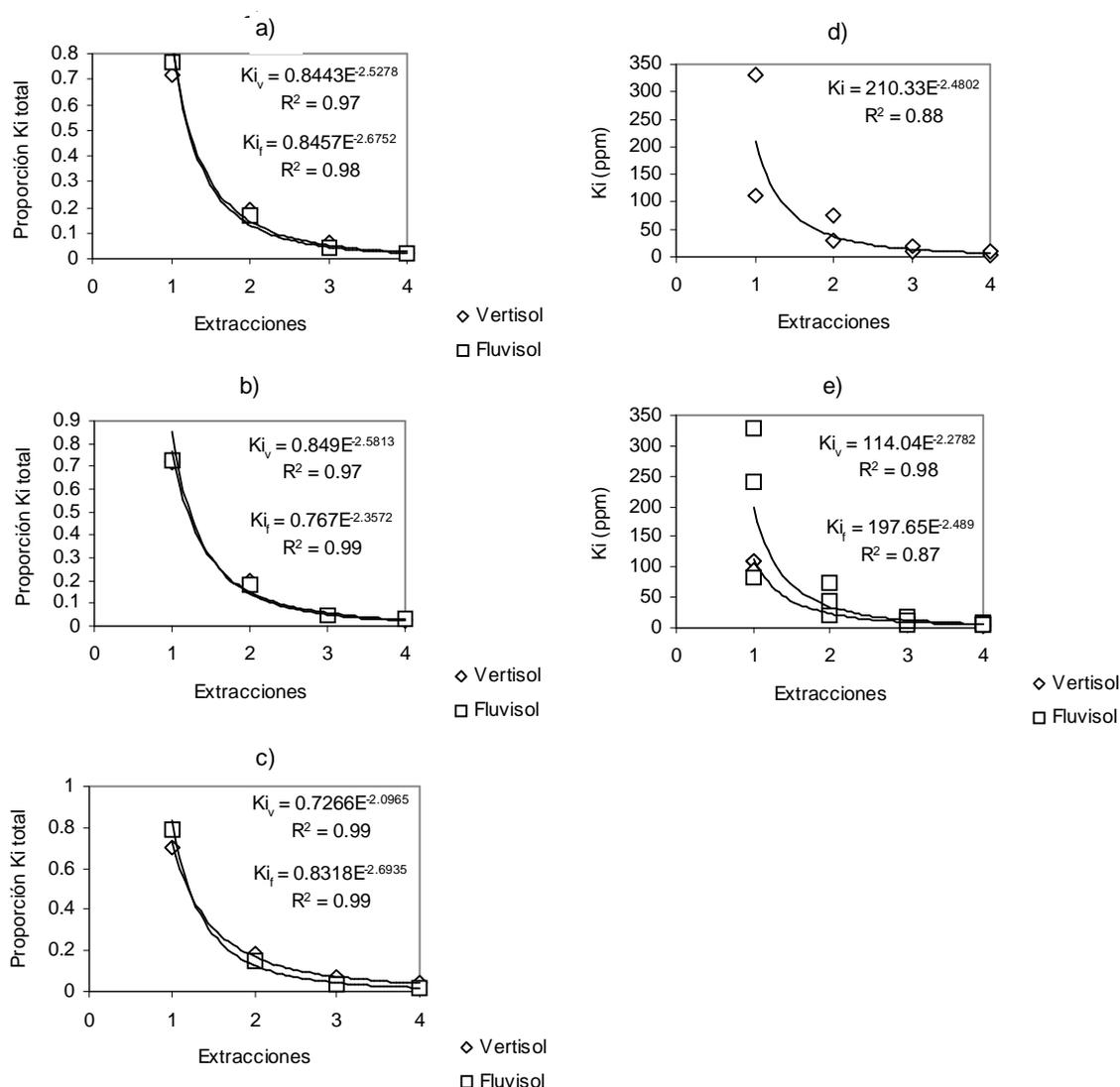


Figura 3. Proporción de potasio intercambiable (Ki) nativo para el Vertisol y Fluvisol con: a) 10 años de cultivo; b) 20 años de cultivo; c) 30 años de cultivo; d) modelo de liberación de Ki nativo para ambos suelos a los 10 años de cultivo, y e) modelos de liberación de Ki nativo para el Vertisol y Fluvisol en todos los años de cultivo.

del reservorio se produce un flujo hacia el reservorio de K de intercambio, estableciéndose un nuevo equilibrio entre ellos (Maia y Ribeiro, 2004). Las tasas de desorción dependen de la energía con que esté retenido el K en los diferentes reservorios y ésta, a su vez, de la cantidad y tipo de arcillas (Henríquez *et al.*, 1994).

Dinámica de Potasio en el Reservorio K_i Incubado

En general, se presentan sólo ligeras diferencias entre el K_i nativo e incubado, esto sugiere que el suelo presenta sólo pequeñas diferencias en la facilidad o dificultad para liberar el potasio (Figura 5). Se observó también que entre los tipos de suelo estudiados existe

una diferencia significativa en la cantidad de K almacenado en sus reservorios y con la adición de pequeñas cantidades de fertilizantes; estos reservorios tienden a comportarse en forma específica, dependiendo de su tipo y el contenido de arcilla, así como de la abundancia del elemento (Henríquez *et al.*, 1994).

Capacidad Amortiguadora del Potasio (cK)

El Vertisol y el Fluvisol presentaron valores estadísticamente iguales de cK (Cuadro 4), mismos que se clasifican como bajos. Un suelo con una cK cercana a uno carece de sitios específicos de intercambio para que el K quede retenido en forma intercambiable y

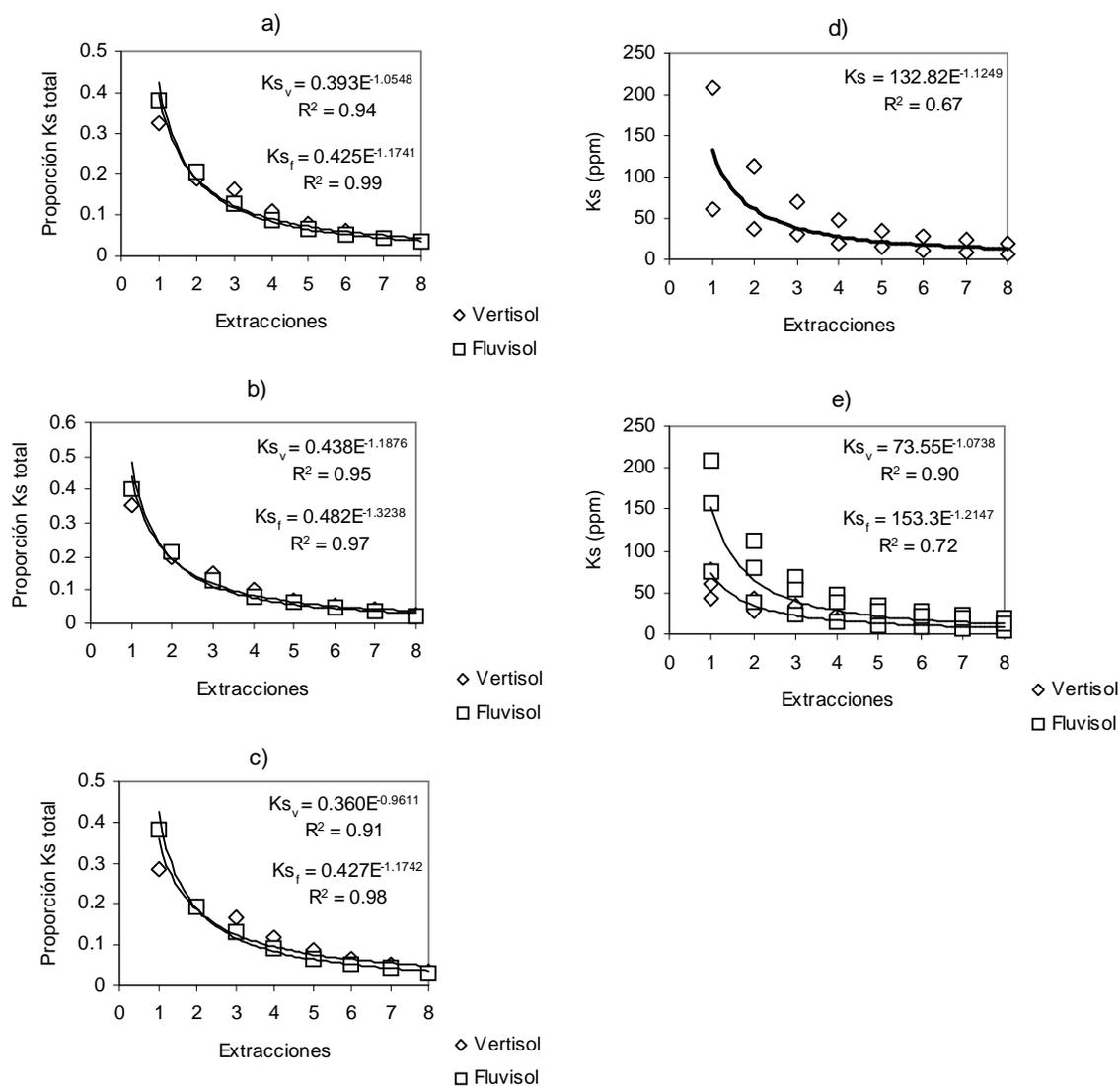


Figura 4. Proporción de potasio soluble (Ks) incubado para el Vertisol y Fluvisol con: a) 10 años de cultivo; b) 20 años de cultivo; c) 30 años de cultivo; d) modelo de liberación de Ks incubado para ambos suelos a los 10 años de cultivo, y e) modelos de liberación de Ks incubado para el Vertisol y Fluvisol en todos los años de cultivo.

se libere a la solución del suelo cuando éste disminuye en su concentración (Conti *et al.*, 2001). La cK de 0.64 indica que, en promedio, de cada 100 unidades de K aplicado al suelo, se liberan 64 y se retienen 36. Este valor puede ayudar a corregir la dosis de fertilizante potásico que se debe agregar al suelo para mantener una adecuada nutrición del cultivo, como lo plantearon Karpinets (1993) y González *et al.* (2004).

CONCLUSIONES

- El tamaño de los reservorios de potasio varía en función del tipo de suelo, ya que la concentración de potasio soluble (Ks) nativo fue significativamente menor en

el Vertisol que en el Fluvisol, independientemente de los años de monocultivo con caña de azúcar.

- Como consecuencia de la adición de potasio soluble al suelo, se incrementaron las concentraciones de Ks y potasio intercambiable (Ki). Se presenta una relación estrecha entre el Ks y el Ki en ambos tipos de suelo, independientemente de los años de monocultivo.

- La disminución del potasio de las formas solubles e intercambiables, llamada fijación o transformación a las formas no intercambiables de los suelos, finalizó prácticamente en los primeros 30 días de incubación. No se presentó homogeneidad alguna en las cantidades fijadas de potasio en los diferentes años de monocultivo

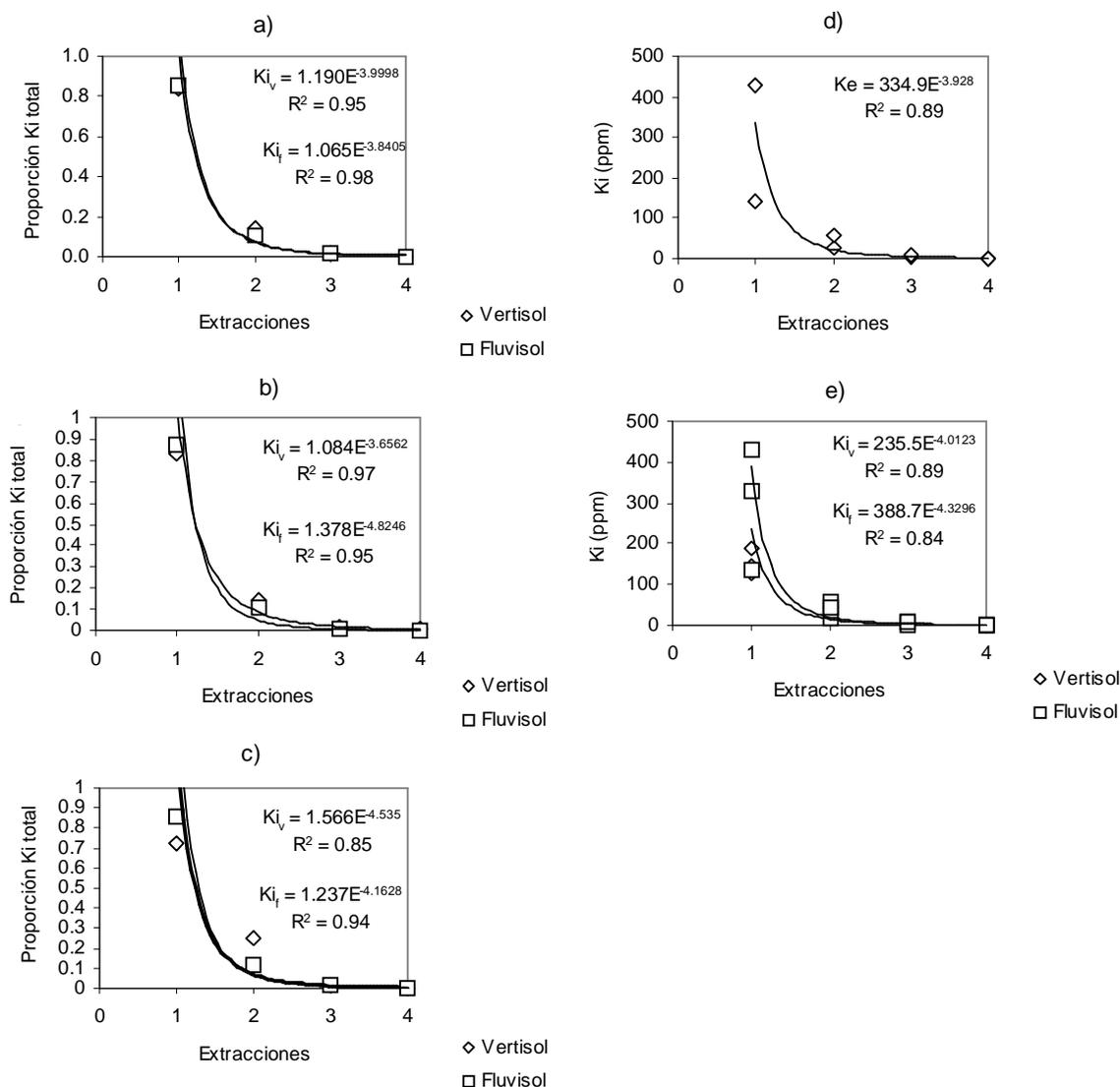


Figura 5. Proporción de potasio intercambiable (Ki) incubado para el Vertisol y Fluvisol con: a) 10 años de cultivo; b) 20 años de cultivo; c) 30 años de cultivo; d) modelo de liberación de Ki incubado para ambos suelos a los 10 años de cultivo, y e) modelos de liberación de Ki incubado para el Vertisol y Fluvisol en todos los años de cultivo.

con caña de azúcar para ambos suelos. La fijación promedio de potasio para ambos suelos fue de 36%.

- El Vertisol requiere de una dosis mayor de fertilización, ya que sus reservorios de potasio tienden a agotarse con el tiempo de monocultivo; esto no sucede con el Fluvisol, debido a una mayor proporción de micas e illitas, por lo que sus reservorios de potasio permanecen constantes en los tiempos de estudio de este monocultivo.

LITERATURA CITADA

- Aguado L., G., J. D. Etchevers, C. Hidalgo M., A. Galvis S. y G. A. Aguirre. 2002. Dinámica de potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia* 36: 11-21.
- Chen, S. Z., P. F. Low, and C. B. Roth. 1987. Relation between potassium fixation and the oxidation state of octahedral iron. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 82-86.
- Conti, M. E., A. M. de la Horra, D. Efron, and D. Zourarakis. 2001. Factors affecting potassium in Argentine agricultural soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 2679-2690.
- González, M., G. Moreno, E. M. Conti y E. Giardina. 2004. Uso del índice de residualidad para mejorar el diagnóstico de la fertilización potásica en suelos de Argentina. *Agric. Téc. (Santiago)* 64: 95-100.
- Henríquez, C., E. Bornemisza y F. Bertsch. 1994. Fijación de potasio en vertisoles, inceptisoles, andisoles y ultisoles de Costa Rica. *Agron. Costarricense* 18: 133-140.
- Hidalgo M., C. 1991. Contribution á l'étude des sols volcaniques indurés ("tepates") de la región de México (cementation, induration). D. E .A. de Pédologie, Université de Nancy I-ORSTOM. France.

Cuadro 4. Capacidad amortiguadora (cK) para dos suelos cañeros cultivados con caña de azúcar en Tabasco, México.

Unidad de suelo	Tiempo de cultivo con caña de azúcar (años)			Media de unidad de suelo
	10	20	30	
Vertisol	0.53	0.81	0.42	0.60 a
Fluvisol	0.80	0.60	0.65	0.69 a
Media de tiempo	0.67 a [†]	0.72 a	0.57 a	0.64
CV (%)	58			
Prob. de F:				
Suelo (S)	0.54ns			
Tiempo (T)	0.53ns			
Int. S*T	0.25ns			
DMS (S)	0.28			
DMS (T)	0.42			

[†] Medias con la misma letra entre columnas son iguales estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Ns = no significativo.

- Houba, V. J., G. I. Novozamsky, A. W. M. Huybregts, and J. J. van der Lee. 1986. Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCl_2 , by EUF and by some conventional extraction procedures. *Plant Soil* 96: 433-437.
- Jafri, M. L. 1987. Effect of potassium with nitrogen and phosphorus on sugarcane in plat-ratoon cropping, sequence in an alluvial soil. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 35: 667-671.
- Karpinets, T. W. 1993. Estimation of potassium fixation and release in soils by two consecutive extractions. *Potash Rev.* 1: 29-33.
- Lear, P. R. and J. W. Stucki. 1989. Effects of iron oxidation state on the specific surface area of nontronite. *Clays Clay Miner.* 37: 547-552.
- López M., C., M. Alvarez E. y M. Fernández. 2002. Potasio en suelos de Galicia y su relación con la Mineralogía. *Edafología* 9: 305-312.
- Maiá L., J. L. e M. R. Ribeiro. 2004. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um Argissolo Amarelo fragipânico. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília* 39: 1127-1132.
- Martínez G., A. 1988. Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría. Trillas. México, D. F.
- Naranjo de la F., J., S. Salgado-García, L. C. Lagunes-Espinoza, E. Carrillo-Ávila, and D. J. Palma-López. 2006. Changes in the properties of a Mexican Fluvisol following 30 years of sugarcane cultivation. *Soil Tillage Res.* 88: 160-167.
- NOM-021-RECNAT-2001. 2001. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Primera versión corregida. Diario Oficial de la Federación. México, D. F.
- Palma-López, 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.
- Palma-López, D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón R. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-Fundación Produce Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.
- Pratt, P. F., D. Knudsen, and G. A. Peterson. 1982. Lithium, sodium, and potassium. pp. 225-247. *In:* A. L. Page, R. A. Miller, and D. R. Keeney (eds.). *Methods of soil analysis. Agronomy* 9. Part 2. Soil Science Society of America. Madison, WI. USA.
- Ribón C., M. A., S. Salgado G., D. J. Palma-López y L. C. Lagunes E. 2003. Propiedades químicas y físicas de un Vertisol cultivado con caña de azúcar. *Interciencia* 28: 154-159.
- Rodríguez, S. J. 1990. La fertilización de los cultivos: un método racional. Pontificia Universidad Católica, Facultad de Agronomía, Departamento de Ciencias Vegetales. Santiago, Chile.
- Ross, G. J., A. Cline R., and S. Gamble D. 1989. Potassium methodology in soil-K research. *Proc. Can. J. Soil Sci.* 69: 649-661.
- 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.
- SAS Institute. 1996. SAS/STAT user's guide: statistics. Release 6.1.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Shaviv, A., M. Mohsin, F. P. Pratt, and V. S. Mattigod. 1985. Potassium fixation characteristics of five Southern California soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1105-1109.