CULTIVOS TROPICALES. VOL. 11, No. 3/SEPTIEMBRE 1989
© INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRICOLAS

INFLUENCIA DE LA APLICACION RESIDUAL DE DOS PORTADORES FOSFORICOS SOBRE LAS DIFERENTES FORMAS DEL FOSFORO DEL SUELO Y LOS RENDIMIENTOS DE LA CAÑA DE AZUCAR CULTIVADA EN UN SUELO FERRALITICO ROJO COMPACTADO

R. GOMEZ

RESUMEN

Se estudió la influencia de diferentes dosis residuales de dos portadores fosfóricos (superfosfato simple y fosforita) sobre las formas del fósforo y los rendimientos de la caña de azúcar, cultivada en un suelo Ferralítico Rojo compactado desaturado. Se comprobó el dinamismo del fósforo asimilable y las fracciones activas del fósforo a través del tiempo, obteniéndose valores ligeramente superiores de estas últimas cuando se utilizó superfosfato sencillo como portador. Al relacionar los contenidos de las formas del fósforo con los rendimientos, se obtuvieron altos valores de R^2. Los por cientos de las fracciones activas respecto al fósforo total oscilaron para el P/Fe entre 10,5 y 12,7 y para el resto de las fracciones entre 1,2 y 2,7. Se determinó de igual forma el efecto de la aplicación residual de ambos portadores, obteniéndose los mejores resultados con las dosis de 50 kg P_2O_5/ha para el superfosfato y 150 kg P_2O_5/ha de fosforita para el acumulado de dos cosechas.

INTRODUCCION

Las fracciones activas del fósforo, unidas al fósforo asimilable, constituyen en los suelos tropicales la parte más importante del fósforo inorgánico. Las mismas participan activamente en la nutrición de las plantas, dependiendo la contribución específica de cada una del tipo de suelo y las propiedades físico-químicas del mismo.

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana.

Dada las condiciones específicas de los suelos tropicales, las transformaciones del fósforo se llevan a cabo mucho más rápidamente que en otros tipos de suelo (Black, 1969 y Kamprath, 1974).

Diferentes autores han relacionado las fracciones activas del fósforo con la extracción que hace la caña de azúcar de este elemento (Wong 1968 y Wang, Fang y Robertson, 1977), mientras que otros han dado gran importancia a la distribución porcentual de estas fracciones de acuerdo al tipo de suelo (Baisre y Pérez Jiménez, 1979 y Vantour y Carriera, 1984).

Un aspecto poco estudiado ha sido la dinámica de las fracciones de fósforo a través del tiempo, así como la influencia que ejerce el tipo de portador en la contribución de las mismas al rendimiento del cultivo. Por todo lo antes expuesto, los objetivos del presente trabajo estuvieron encaminados a:

- estudiar la dinámica del fósforo asimilable y de las fracciones activas del fósforo del suelo, para los dos portadores fosfóricos utilizados
- evaluar la aplicación residual del fertilizante fosfórico sobre las formas del fósforo en el suelo
- relacionar los rendimientos del cultivo con las fracciones activas del fósforo en el suelo.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio fue realizado en la Estación Experimental de Caña de Bainoa en la provincia La Habana, evaluándose las cepas de caña planta y dos retoños de la variedad Ja. 60-5 en un suelo Ferralítico Rojo compactado, desaturado (Hernández *et al.*, 1975), algunas de cuyas características agroquímicas se reflejan en la Tabla I.

El experimento fue realizado mediante un diseño de bloques al azar con 12 tratamientos y 5 réplicas, donde se estudió el efecto de 4 dosis de superfosfato sencillo (25, 50, 75, 100 kg/ha P_2O_5), un testigo absoluto, un fondo fijo de N y K_2O a razón de 120 kg/ha, la norma de fertilización (fórmula 7:6:20), 4 dosis de fosforita cubana (100, 150, 200 y 500 kg/ha de P_2O_5 total) y un tratamiento comparativo, donde se aplicó 100 kg/ha P_2O_5 en cada cosecha usando superfosfato sencillo como portador.

Las dimensiones de las parcelas fueron de 6 m x 9,6 m con un área de cálculo de 38,4 m^2. Se aplicó el fertilizante fosfórico en el momento de la plantación, estudiándose el efecto de la aplicación residual del mismo.

Los fertilizantes empleados fueron sulfato de amonio (21 % N), cloruro de potasio (60 % K_2O), superfosfato sencillo (20 % P_2O_5) y fosforita cubana (26 % P_2O_5 total). Los fertilizantes fueron aplicados en el fondo del surco antes de la plantación y en bandas a ambos lados del surco en los retoños, según los tratamientos en estudio.

Tabla I. Principales características agroquímicas del suelo estudiado.

profundidad (cm)	P asimilable (mg/kg)	K cambiable (mg/kg)	Ca cmol/kg	Mg cmol/kg	M.O. %	pH H_2O
0-30	1,7	50	3,05	1,88	2,81	4,5
30-60	0,7	50	2,75	1,07	1,07	4,5
60-100	0,7	44	2,50	1,15	0,67	4,5
100-120	-	22	4,0	0,90	0,52	5,4

P asimilable - Bray-Kurtz P1.
Cationes canjeables - extracción NH_4Ca pH, Ca y Mg - absorción atómica, K fotometría de llama.
Materia orgánica - Walkley y Black.
pH - potenciometría, relación 1:2,5.

Durante el transcurso del experimento, se realizaron muestreos de suelo a los 3, 9, 12 y 15 meses en caña planta y a los 3, 9 y 12 meses en los retoños. Para los estudios de dinámica en los tratamientos seleccionados (0, 50 kg P_2O_5/ha, superfosfafo y 150/ha P_2O_5 total, fosforita), se les determinó el P asimilable por Bray-Kurtz P1, el P total por digestión con $HClO_4$ y la determinación con metavanadato y las fracciones activas del fósforo por Chang-Jackson.

Para conocer la relación existente entre las formas del fósforo en el suelo y los rendimientos en caña, se realizaron regresiones lineales con el conjunto de datos experimentales obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Al evaluar la dinámica del fósforo asimilable, durante las tres cosechas efectuadas en tres tratamientos representativos de los dos portadores utilizados, se observó que los contenidos del mismo variaron en rangos estrechos en las diferentes etapas del desarrollo del cultivo, mostrando los tratamientos con superfosfato niveles de fósforo superiores a aquellos con fosforita y al testigo sin fósforo (Figura 1). En la cepa de caña planta se observó una disminución del contenido de fósforo asimilable a los 9 meses, con un posterior incremento a los 12 y 15 meses respectivamente, lo que puede deberse a la solubilización del fertilizante fosfórico en un principio y a la posterior retención del fósforo por los procesos que transcurren en el suelo, hasta que se establece el equilibrio con un suministro estable de fósforo a la solución del suelo, la cual se mantiene en el ciclo de los retoños.

La aplicación de fosforita en un principio hace que disminuyan los niveles de fósforo asimilable, incluso a valores inferiores al testigo, pero este efecto se hace menos acentuado con el tiempo de contacto; ya en el primer retoño este portador produce valores superiores al testigo, efecto que se mantiene en el segundo retoño pero nunca sobrepasan los alcanzados con el superfosfato. El efecto de liberación lenta del fósforo a través del tiempo se ve favorecido, según plantean Blanchet y Chaumont (1964), por las aplicaciones localizadas de fosfato en la zona radical de las plantas, lo cual hace más efectivos los fertilizantes, aumentando la posibilidad de desorción de los mismos.

En la Figura 2 se presenta la dinámica de las fracciones activas del fósforo en todo el ciclo del cultivo en los tratamientos seleccionados. Al evaluar la caña planta, se encontró que la fracción P/Fe fue la predominante en todos los casos, obteniéndose un incremento de las fracciones activas al aplicarse fertilizante fosfórico con respecto al testigo (representado por el punto 0). En los tratamientos de 50 kg P_2O_5/ha de superfosfato sencillo y 150 kg P_2O_5/ha de fosforita, se obtuvo una disminución en el primer retoño, mientras que en el tratamiento donde se aplicó 100 kg P_2O_5/ha de superfosfato en cada cosecha, se observó un incremento en los contenidos de las fracciones activas hasta el primer retoño con una tendencia a la disminución en el segundo retoño, lo que tiene su explicación en la gran cantidad de fósforo aplicado en este tratamiento, lo que hace que las diferentes fracciones del fósforo se vean favorecidas, en relación con otros tratamientos que lo hacen hasta caña planta.

En el tratamiento de 25 kg P_2O_5/ha en cada cosecha como superfosfato sencillo, el mayor efecto se obtuvo en caña planta con tendencia a la disminución

en los retoños. Los mayores incrementos en los contenidos de las fracciones correspondieron al hierro y al calcio.

De forma general, se reflejó una tendencia al incremento de las fracciones activas cuando se utiliza superfosfato en lugar de fosforita, lo cual puede estar relacionado con los contenidos de calcio del superfosfato y los altos contenidos de óxidos e hidróxidos de hierro presentes en los suelos Ferralíticos Rojos.

En la Tabla II se presenta el comportamiento de las fracciones activas expresadas en por ciento del fósforo total en tres momentos del ciclo del cultivo.

Puede observarse que durante todo el ciclo, la fracción predominante fue la ligada al hierro, la cual muestra una tendencia al incremento, siguiéndola en mucha menor proporción la ligada al aluminio y al calcio. Entre estas últimas, la ligada al aluminio presentó valores ligeramente superiores y ambas muestran una tendencia a disminuir a través del tiempo. Todo esto demuestra el dinamismo de estas fracciones y su aporte a las formas asimilables del fósforo; de igual forma, se comprueba el efecto de la aplicación residual de ambos portadores, los que fueron capaces de garantizar niveles adecuados de fósforo en el suelo para el normal desarrollo del cultivo (Figuras 1 y 2, Tabla IV).

La aplicación residual de fósforo produjo rendimientos acumulados superiores al testigo sin fósforo, con tendencias al incremento al aumentar las dosis (Tabla IV), comprobándose que existió respuesta a estas aplicaciones en ambos portadores. La fosforita resultó ser un portador adecuado de fósforo para la caña de azúcar, pudiéndose utilizar para realizar aplicaciones residuales de fósforo, siendo una dosis adecuada la de 150 kg P_2O_5 t/ha para dos cosechas. El superfosfato brindó mejores resultados en la dosis de 50 kg P_2O_5/ha para dos cosechas, pero es de importación, mientras que la fosforita es de producción nacional.

Vantour y Mustelier (1985), en estudios sobre la influencia de diferentes fertilizantes en el contenido de las fracciones inorgánicas de fósforo, llegaron a la conclusión de que el superfosfato sencillo poseía gran residualidad, incidiendo en el incremento de las fracciones ligadas al hierro y al aluminio.

Otros autores como Baisre y Pérez Jiménez (1979); Camacho, Martínez y Vantour (1983) y Vantour y Carriera (1984) han señalado la gran importancia de la fracción ligada al hierro en el régimen fosfórico de los suelos Ferralíticos Rojos, la cual predominó entre todos los fosfatos unidos a los sesquióxidos. También Villegas *et al.* (1983), al estudiar diferentes tipos de suelos Ferralíticos Rojos dedicados al cultivo de la caña de azúcar, encontraron que los suelos Ferralíticos Rojos desaturados presentaron contenidos de fósforo ligado al

hierro superiores a los de las fracciones ligadas al aluminio y calcio, informando por cientos con el fósforo total de 2,9; 7,7 y 2,5 en relación con el aluminio, hierro y calcio respectivamente, correspondiendo a la suma de las fracciones activas un 13 %, lo que se asemeja bastante a los resultados obtenidos en este trabajo.

Al relacionar las fracciones activas del fósforo con los rendimientos (Tabla III), los mejores resultados (mayores coeficientes de determinación) se obtuvieron al utilizar fosforita como portador para caña planta en las fases de 3, 9 y 15 meses de edad; también se obtuvieron coeficientes aceptables para las regresiones con el fósforo asimilable a los 3 y 9 meses en la misma cepa.

Las regresiones con superfosfato sencillo presentaron bajos valores de R^2 para las fracciones activas y el fósforo asimilable (entre 0,18 y 0,25), por lo que no se incluyen en este trabajo.

Tabla II. Composición porcentual de todas las fracciones inorgánicas del fósforo respecto al fósforo total.

etapa	tratamientos	P/Al	P/Fe	P/Ca	suma fracciones activas
3 meses (caña planta)	0	2,7	10,5	2,1	15,3
	50 kg/ha P_2O_5 (SFS)	2,5	11,1	2,4	16,0
	150 kg/ha P_2O_5 (fosforita)	2,6	11,0	2,4	16,0
15 meses (caña planta, cosecha)	0	2,1	12,6	1,6	16,3
	50 kg/ha P_2O_5 (SFS)	2,2	12,5	1,7	16,4
	150 kg/ha P_2O_5 (fosforita)	2,1	12,2	1,6	15,9
12 meses (1er. retoño, cosecha)	0	2,1	12,4	1,4	15,9
	50 kg/ha P_2O_5 (SFS)	2,1	12,7	1,2	16,0
	150 kg/ha P_2O_5 (fosforita)	1,5	12,0	1,2	15,1

SFS : superfosfato sencillo.

En la Figura 3 se representan los rendimientos obtenidos en caña y pol, recomendándose la dosis de 50 kg/ha de P_2O_5, superfosfato y 150 kg/ha de P_2O_5, fosforita, como las óptimas para dos cosechas. De esta figura y de los rendimientos expuestos en la Tabla IV se concluye que existió una respuesta a la dosis de fertilizantes empleadas, por lo que las ecuaciones de regresión obtenidas fueron representativas de una buena producción del cultivo.

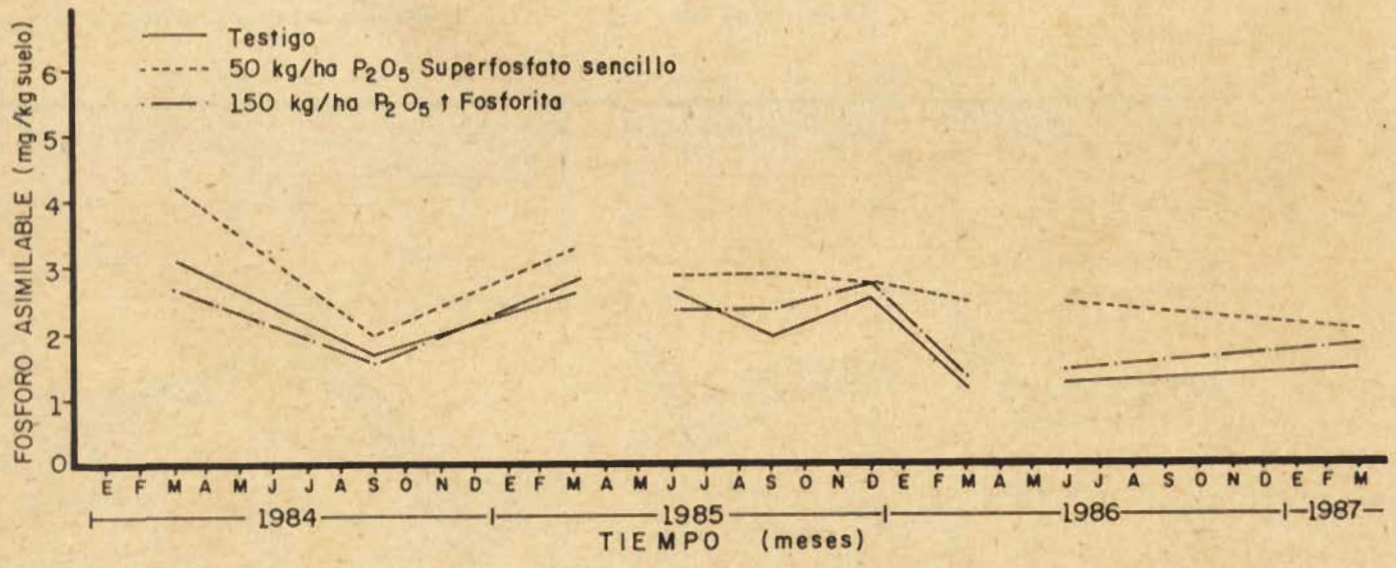

Figura 1. Dinámica del fósforo asimilable durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo. Suelo Ferralítico Rojo compactado.

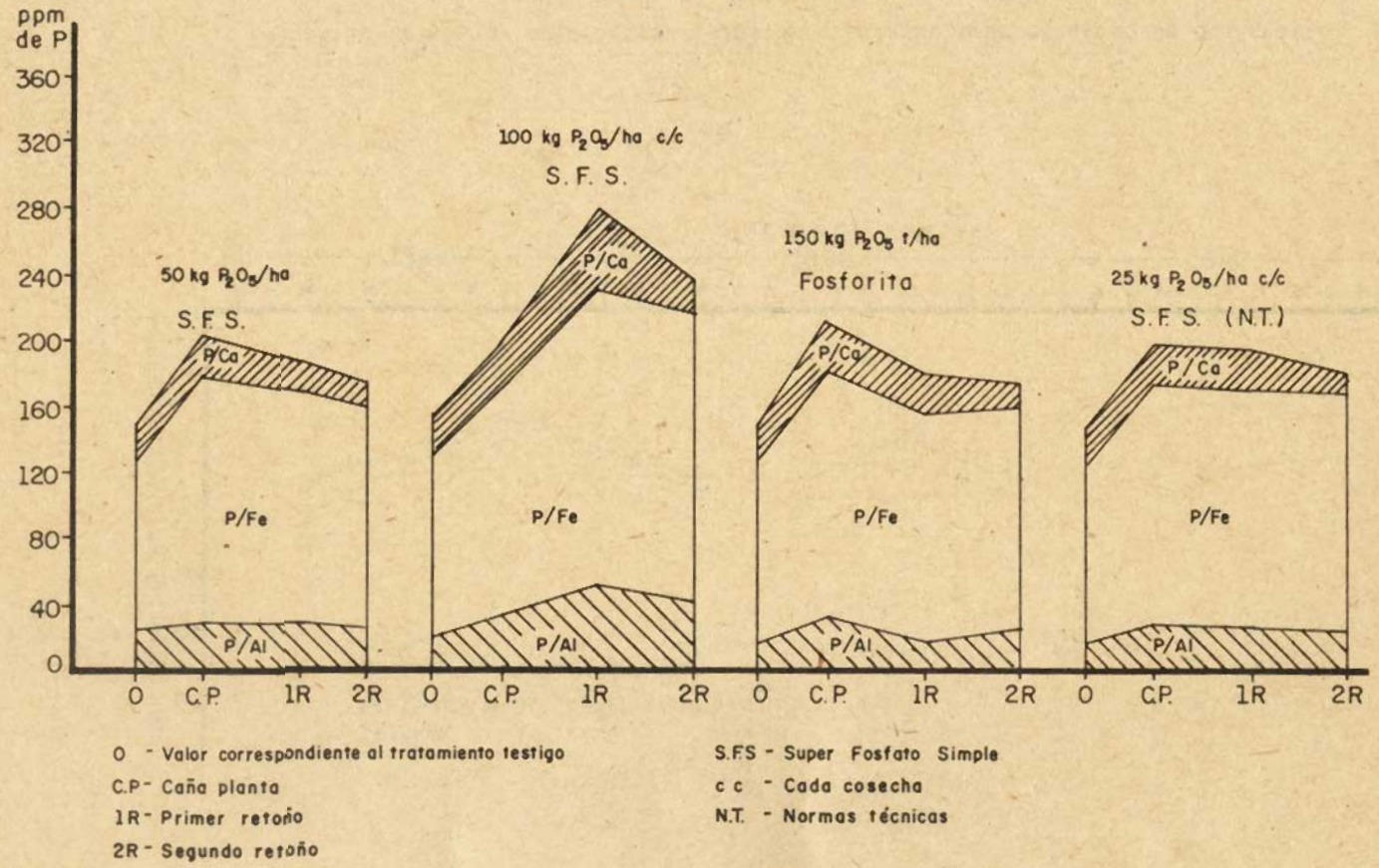

Figura 2. Dinámica de las fracciones activas del fósforo del suelo en todo el ciclo de desarrollo del cultivo. Suelo Ferralítico Rojo compactado.

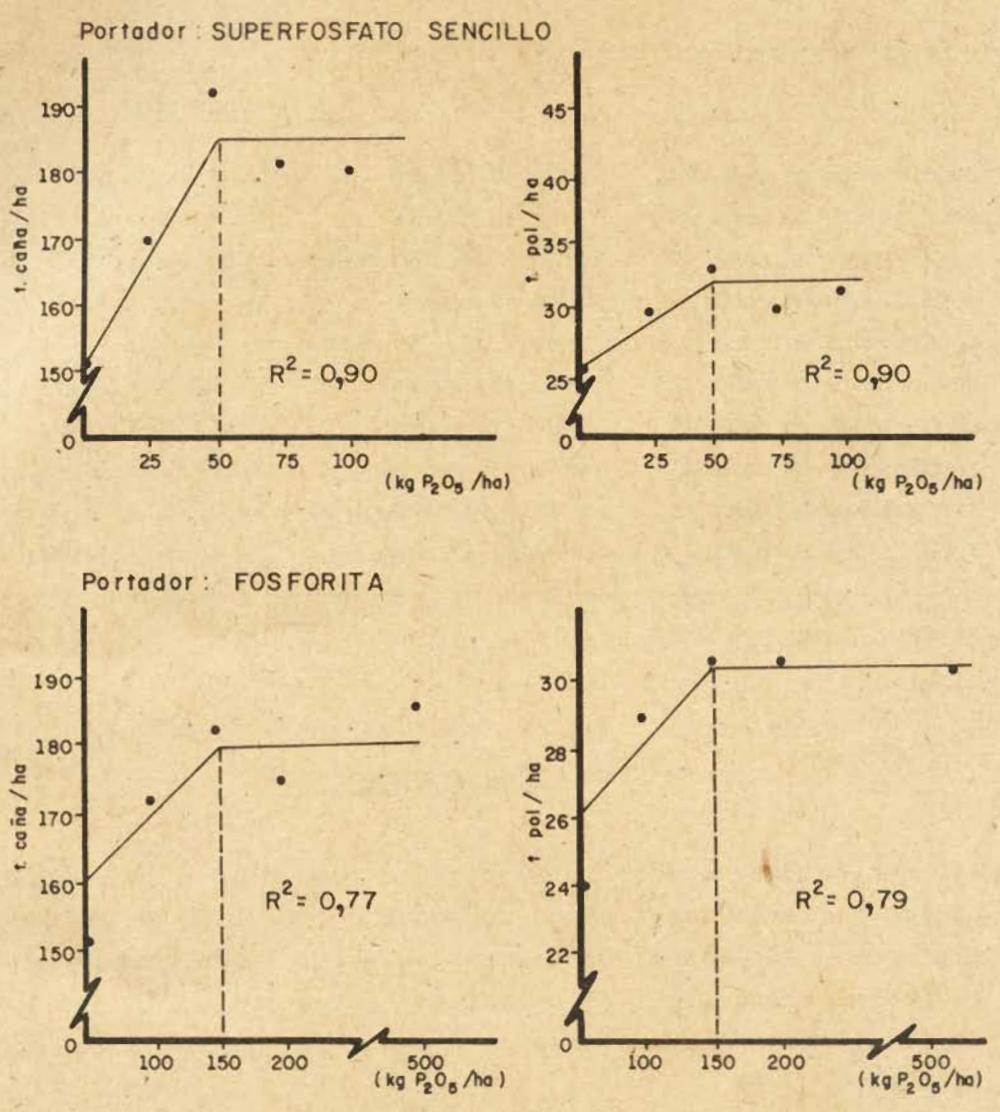

Figura 3. Respuesta de los rendimientos de la caña de azúcar a niveles de fertilización fosfórica mediante ajuste a modelos rectilíneos discontinuos (acumulados de dos cosechas).

Tabla III. Análisis de regresión entre el rendimiento (t caña/ha) y los contenidos de las formas del fósforo (ppm) en el suelo para la cepa de caña planta, con la utilización de fosforita como portador.

Y	X	ecuación de regresión	R^2
rendimiento en caña VS	P/Al (3 meses)	Y= 3,59x + 4,60	0,88 **
rendimiento en caña VS	P/Fe (3 meses)	Y= 0,78x + 3,72	0,92 **
rendimiento en caña VS	Σ fracc. act. (3 meses)	Y= 0,56x + 1,51	0,94 **
rendimiento en caña VS	P/Fe (9 meses)	Y= 0,80x + 7,27	0,97 **
rendimiento en caña VS	Σ fracc. act. (9 meses)	Y= 0,60x + 7,27	0,89 **
rendimiento en caña VS	P/Al (15 meses)	Y= 4,10x + 5,15	0,88 **
rendimiento en caña VS	P/Fe (15 meses)	Y= 0,70x + 3,55	0,91 **
rendimiento en caña VS	P/Ca (15 meses)	Y= 3,91x + 18,7	0,78 **
rendimiento en caña VS	P asim. (3 meses)	Y= 0,51x + 14,06	0,77 **
rendimiento en caña VS	P asim. (9 meses)	Y= 4,37x + 32,60	0,59 **

** significativo $p < 0,01$.

CONCLUSIONES

1. Los contenidos de fósforo asimilable presentaron un comportamiento dinámico a través del tiempo, dependiendo del tipo de portador fosfórico empleado. Los más altos valores se presentaron cuando se utilizó superfosfato sencillo. Al relacionar estos contenidos con los rendimientos se obtuvieron altos valores de R^2, utilizando fosforita como portador fosfórico.

2. Las fracciones activas del fósforo también presentaron un comportamiento dinámico al transcurrir el tiempo, predominando el P/Fe sobre las fracciones restantes. Las aplicaciones sucesivas de fertilizante fosfórico incrementan los niveles de fósforo ligado al hierro y calcio, aunque se presenta una tendencia a la disminución y estabilización al transcurrir las cosechas de caña de azúcar. Los contenidos de las fracciones respecto al fósforo total oscilaron para el P/Fe entre 10,5 y 12,7 %, mientras que las demás fracciones variaron dentro del rango de 1,2 a 2,7 %.

3. En general todas las fracciones activas presentaron altos valores de R^2 al relacionarlas con los rendimientos del cultivo (entre 0,78 y 0,97) en la cosecha de caña planta, utilizando fosforita como portador.

4. Se obtuvo efecto en la aplicación residual del fósforo con ambos portadores, correspondiéndole a las dosis de 50 kg P_2O_5/ha como superfosfato sencillo y 150 kg P_2O_5/ha como fosforita los mejores resultados en los rendimientos del cultivo.

REFERENCIAS

BAISRE, J. Y J. M. PEREZ JIMENEZ. Formas de fosfatos inorgánicos de algunos suelos cubanos. *Ciencias de la Agricultura* (La Habana) 4:63-67, 1979.

BLANCHET, R. Y C. CHAUMONT. Some aspects of the desorption and movement of phosphate ions in soil and their role in plant nutrition. *Ann. Agron.* (Washington) 15(5):519-538, 1964.

BLACK, C. A. Soil Plant relationships. / C. A. Black.-- 2ed.-- New York : John Wiley and Sons, 1969.

CAMACHO, E. El fósforo en los suelos Ferralíticos Rojos sobre caliza poco profunda de la provincia La Habana, Cuba. / E. Camacho, R. Martínez, A. Vantour.-- *En:* IV Seminario Científico del INCA : Resúmenes, 1983.-- p. 144.

HERNANDEZ, A. */et al./*. Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba. Serie Suelos* (La Habana) 23:1-25, 1975.

KAMPRATH, E. J. Aspectos químicos y formas del fósforo en el suelo en regiones tropicales. *Edic. Soc. Colombiana de la Ciencia del Suelo* (Bogotá) 4(1):1-18, 1974.

VANTOUR, A. Y Z. CARRIERA. Formas y contenidos del fósforo en suelos Ferralíticos Rojos en relación con el pH y la materia orgánica. *Ciencias de la Agricultura* (La Habana) 18:103-113, 1984.

VANTOUR, A. Y A. MUSTELIER. Transformaciones y disponibilidad de fósforo aplicado con 4 portadores en un suelo Oscuro Plástico. *Ciencias de la Agricultura* (La Habana) 22:115-123, 1985.

EL FOSFORO EN LA AGRICULTURA DE CUBA : Ponencia. / R. Villegas.../*et al*/.-- *En:* Primera Reunión Nacional de Agroquímica, Academia de Ciencias de Cuba, Dirección Agrícola, 1983.

WONG, Y. Phosphate in the lateritic soil and Latosols of Mauritius and its availability to plants growing in pots. / Y. Wong.-- *En:* Proceedings of the thirteenth Congress of the International Society of Cane Technologists, 1968.-- p. 738.

WANG, C.C. Forms of phosphorus in soils and their availability to sugarcane. C. C. Wang, J. J. Fang, L. S. Robertson.-- *En:* 16th Congress of ISSCT, 1977.-- p.1489-1508.

Tabla IV. Influencia de la fertilización fosfórica sobre los rendimientos agrícolas y azucareros de la caña de azúcar.

tratamiento (kg P_2O_5/ha)	rendimiento agrícola (t caña/ha) caña planta	total 2 cosechas	rendimiento azucarero (t pol/ha) caña planta	total 2 cosechas
0	80,52	129,67	13,96	21,87
25 residual	107,00	171,06	18,30	29,16
50 residual	124,98	194,25	21,72	33,33
75 residual (SFS)	117,12	182,74	18,66	29,74
100 residual	110,72	181,55	18,57	30,66
100 anual	115,78	192,90	12,54	32,02
100 residual	108,64	174,00	18,58	29,57
150 residual (fosforita)	116,20	185,47	19,63	31,14
200 residual	114,70	176,94	20,31	30,54
500 residual	113,04	183,67	19,02	30,90
N.T. (25 anual) kg P_2O_5/ha	115,02	173,61	18,23	29,01
fondo NK	102,08	149,89	15,85	23,97
$\bar{x}$	110,48	174,64	18,53	29,33
ES	4,85 ***	7,46 ***	0,83 ***	1,40 ***

*** significación $p < 0,001$.
SFS: superfosfato sencillo.

ABSTRACT

DIFFERENT SOIL P FORMS AND YIELDS OF SUGARCANE CULTIVATED ON A COMPACTED RED FERRALITIC SOIL, AS INFLUENCED BY THE RESIDUAL APPLICATION OF TWO P CARRIERS

This experiment was aimed at studying the influence of different residual doses of two P carriers (single superphosphate and phosphorite) upon P forms and yields of sugarcane, cultivated on a desaturated compacted Red Ferralitic soil. Dynamics of available P and its active fractions were proved throughout time, then slightly higher values of the latter were obtained with single superphosphate as a carrier. When relating P contents to yields, high R^2 values were achieved. Percentages of active fractions, with respect to total P, ranged from 10,5 to 12,7 for P/Fe and from 1,2 to 2,7 for the other fractions. The effect of residual applications of both carriers was also determined, thus the best results were attained with 50 kg P_2O_5/ha for superphosphate and 150 kg P_2O_5/ha of phosphorite for the cumulative data of both harvests.

Manuscrito recibido el 19/IX/89

XX ANIVERSARIO INCA

abril 1990