

## **Dinámica del fósforo y evaluación de la eficiencia de una roca fosfórica modificada cubana en dos suelos, empleando el P<sup>32</sup>.**

**Antonio Nuviola,<sup>1</sup> Claro A. Alfonso<sup>1</sup>, Aurelio García,<sup>1</sup> Olegario Muñiz,<sup>1</sup> Felipe C. Alvarez<sup>2</sup>, Zoila Palacios<sup>2</sup> y Domingo Chong<sup>1</sup>.**

**<sup>1</sup> Dirección Provincial de Suelo Habana . Instituto de Suelo. Cuba  
Teléfono 066 8 21 12, E mail larenee @ceniai. Inf. cu**

### **RESUMEN.**

Con el objetivo de estudiar la factibilidad del uso de la Roca Fosfórica Parcialmente Acidulada al 60% (RFPA), alternativa nacional comparada al Superfosfato Triple (SFT) importado y su fraccionamiento en el cultivo del arroz, variedad J-104, se condujo un ensayo con suelos Alíticos y Vertisol en condiciones controladas en el que se determinó la cinética de sorción, desorción y la isoterma de adsorción de P y el P isotópicamente intercambiable, mediante el uso del trazador radiactivo <sup>32</sup>P, siendo las dosis de fósforo de 0 y 70 mg P. macetas<sup>-1</sup> todo en siembra o fraccionado, 50 % en siembra (S) y 50 % en Ahijamiento Activo (AA). Las curvas de cinética de sorción de fósforo en los suelos se caracterizaron por un proceso rápido de sorción, fenómeno que se explica por la rápida fijación del P. La velocidad de desorción del suelo de textura ligera es superior al suelo de textura arcillosa. La adición de los portadores fosfóricos (SFT) y (RFPA) incrementaron los valores de E<sub>1</sub> por encima del umbral crítico (0,2 µg P.l<sup>-1</sup>). Resulta conveniente en los primeros momento de la siembra aplicar dosis de fosfato en forma fraccionada para lograr corregir la deficiencia de P del suelo expresadas en el factor cantidad (E<sub>1</sub>) pudiéndose utilizar la (RFPA), como fuente fosfórica. Se comprobó que el aprovechamiento de los fertilizantes fosfóricos esta condicionado por las capacidades de fijación y liberación de fosfatos. Así mismo el empleo del trazador radiactivo <sup>32</sup>P, permitió determinar, el P isotópicamente intercambiable y los contenidos de P derivados del fertilizante y del suelo (% Pddf y Pdds), observándose que la planta privilegia el P derivado del suelo antes que el del fertilizante.

## **1 . INTRODUCCIÓN.**

El fósforo es uno de los elementos más problemáticos en los suelos, por presentarse no disponible lo que afecta la disponibilidad de P para los cultivos en muchos de los suelos tropicales, lo que ha sido demostrado en estudios realizados con  $^{32}\text{P}$  (Muraoka y Tziboy, 1998). La dinámica del fósforo depende del tipo de suelo teniendo gran importancia conocer las características físicas, físico – químicas y químicas de estos, así como su interrelación con los cultivos.

Por otra parte, el arroz (*Oriza sativa, L*) es un cultivo alimenticio que se produce en diferentes regiones climáticas y de suelos del mundo y ocupando la mayor área en los países tropicales, también es cultivado en zonas templadas (China y Japón) abarcando estos dos países el 45% del total mundial.

En Cuba, se produce arroz en los Complejos Agroindustriales de Los Palacios en la provincia de Pinar del Río, Sur del Jíbaro en Sancti Spíritus, Ruta Invasora en Camagüey y Fernando Echenique en Granma, donde se cultiva el mismo en diferentes tipos suelos. A esta forma de producción se añade en los últimos años otra llamada arroz popular, debido fundamentalmente a su importancia en la dieta alimentaria de la población cubana.

Por la importancia que tiene el P este cultivo tomado como indicador, es necesario obtener información detallada sobre la sorción y desorción de fosfato a fin de predecir y mejorar la respuesta a la aplicación de los fertilizantes fosfatados. Por lo que el objetivo del siguiente artículo fue:

Conocer el estado actual de la fertilidad fosfórica en los suelos Alftico de Baja Actividad Arcillosa Amarillento y Vertisol Pélico, mediante el empleo del método cinético de intercambio isotópico con  $^{32}\text{P}$  y evaluar el efecto de la Roca Fosfórica Parcialmente Acidulada, como alternativa para el manejo de la fertilización fosfórica en el cultivo del arroz.

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

En el Laboratorio de Técnicas Nucleares de la Dirección Provincial de Suelos la Reneé Habana, perteneciente al Instituto de Suelos, se condujeron experimentos en

condiciones de laboratorio y casa de cristal, usando la técnica del trazador radiactivo ( $^{32}\text{P}$ ). Para lo que se seleccionó y preparó porciones de la capa arable (0-20cm) de dos suelos pertenecientes a los agrupamientos clasificados Alítico y Vertisol, en el subtipo Alítico de Baja Actividad Arcillosa Amarillento Gléyico (Alítico) y Vertisol Pélico Gléyico (Vertisol), respectivamente (Instituto de Suelos, 1999). dedicadas al cultivo del arroz,

A los suelos se le determinó: pH en  $\text{H}_2\text{O}$  y KCl (método potenciométrico); materia orgánica (método de Walkley-Black); P disponible (método Bray - Kurtz I); textura (método de la "Pipeta de Robinson"); valores S y T por el método de Schatchabel, según el Manual de Técnicas Unificadas de Suelos y Fertilizantes (MINAGRI, 1982). (tabla 1).

Tabla 1. Características de los suelos estudiados: Alítico y Vertisol.

VARIABLES	UNIDADES	ALÍTICO	VERTISOL
PH $\text{H}_2\text{O}$	-	6.95	7.20
PH KCl	-	6,60	6.10
Materia Orgánica	%	2,48	4.4
P: Bray –Kurtz I	mg P $\text{kg}^{-1}$	3,3	5.4
Arcilla	%	24,5	67.7
Limo	%	34,0	20.0
Arena	%	41,5	12.3
Ca	cmol(+) $\text{kg}^{-1}$	12,30	40.4
Mg	cmol(+) $\text{kg}^{-1}$	2,92	11.5
Na	cmol(+) $\text{kg}^{-1}$	0,48	0.4
S	cmol(+) $\text{kg}^{-1}$	15,78	53.8
T	cmol(+) $\text{kg}^{-1}$	16,02	43.9

En condiciones de laboratorio se determinó la dinámica de sorción y desorción de fosfatos, cuya cinética se determinó por el método estático de Rachinskii (1974). La actividad de las muestras se determinó utilizando un radiómetro Ratemeter SR - 7 acoplado a un contador Geiger - Müller.

En el experimento en condiciones de laboratorio (incubación), se escogieron los siguientes tratamientos, con 4 replicas: 1)Control (0 P), 2) Control (0 P) y la adición de

100 mg P kg<sup>-1</sup> y 3) Todo el P al inicio del experimento y fraccionado (50 % en el inicio y el otro 50% pasados los 15 días) utilizando como portadores roca fosfórica parcialmente acidulada al 60% con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (RFPA) y superfosfato triple (SFT) como patrón de comparación, las características de la RFPA aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2 - Características de la RFPA (García *et al.* 1998)

Portador	Composición (% del mineral)				Solubilidad (% del %P total)			
	P	SO <sub>3</sub>	CaO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Á. F. 2%	Á. C. 2%	Ac. de NH <sub>4</sub>
RFPA	10,4	3,10	36,1	5,01	25,7	55,7	65,7	46.2

**A.F 2%= Ácido fórmico al 2%, A.C. 2% = Ácido cítrico al 2% y Ac. de NH<sub>4</sub>= Acetato de Amonio.**

A los tratamientos 2 y 3 se le tomaron muestras triplicadas y se mantuvieron en incubación por un período de 30 días a 25 °C ± 1 °C. Las mismas fueron secadas al aire y analizadas utilizando el método cinético de intercambio isotópico (Fardeau *et al.* 1991; García *et al.* 1998).

Para desarrollar el experimento desarrollado en condiciones de Invernadero, se condujeron utilizando macetas de 2 kg de capacidad, replicadas 4 veces, para ambos suelos. estos suelos fueron marcados con una actividad específica de 3,7 MBq de <sup>32</sup>P kg<sup>-1</sup> de suelo. Se utilizó el método indirecto (marcaje del suelo) según recomiendan FAO/IAEA (1990) y Zapata y Axman (1991). Los tratamientos fueron: 1) un control (0 P), 2) el control y la adición de 70 mg P kg<sup>-1</sup> y Todo el P al inicio del experimento y fraccionado (50% en siembra y 50% en Ahijamiento Activo, AA) utilizando como portadores roca fosfórica parcialmente acidulada al 60% con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (RFPA) y superfosfato triple (SFT) como patrón de referencia.

A cada maceta se le aplicó un fondo fijo para todo el ciclo del cultivo de N (475 mg N kg<sup>-1</sup>) y K (400 mg K kg<sup>-1</sup>) utilizando como portadores urea y cloruro de potasio, respectivamente. Se utilizó como cultivo indicador semillas de arroz de la variedad J-104, se mantuvieron en aniego permanente hasta la cosecha de la parte aérea a los 65 días después de germinadas (d.d.g). A las muestras se le determinó materia seca y la concentración de P en planta según la metodología citada anteriormente. Los parámetros isotópicos que se determinaron fueron: fósforo proveniente del suelo (% Pdds) y del fertilizante (Pddf) y % de utilización del fertilizante (% UF). Las lecturas

isotópicas, se realizaron con el uso de un equipo de centelleo líquido (WALLAC- 1409) basado en el efecto Cherenkov.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de la sorción y desorción de fosfato en los suelos Alfítico y Vertisol se presenta en la Figura 1. El proceso de la cinética de sorción de fosfatos que ocurre al interaccionar el suelo y la solución fosfórica marcada con  $^{32}\text{P}$ , se divide en dos etapas o fases para ambos suelos. Una etapa inicial caracterizada por una rápida sorción específica y una segunda caracterizada por una difusión intra particular en los suelos, donde se produce un intercambio más lento y prolongado, hasta llegar a un estado de equilibrio donde la curva se hace asintótica, el que se alcanza entre 24 y 50 horas de agitación. Se consideró 48 horas como el tiempo donde se alcanza el equilibrio.

El comportamiento general de los dos suelos en estudio no es semejante, existen diferencias marcadas en cuanto a los valores netos de sorción de fosfatos y el tiempo para alcanzar el punto de equilibrio entre ambos, resultando tres veces mayor la cantidad de P sorbido en el Vertisol que en el Alfítico. En este último suelo la saturación o equilibrio se alcanza a las 24 horas de interacción, mientras que en el Vertisol este valor fue de 40 horas, según las condiciones en que se desarrolló la experiencia, en especial la concentración de P

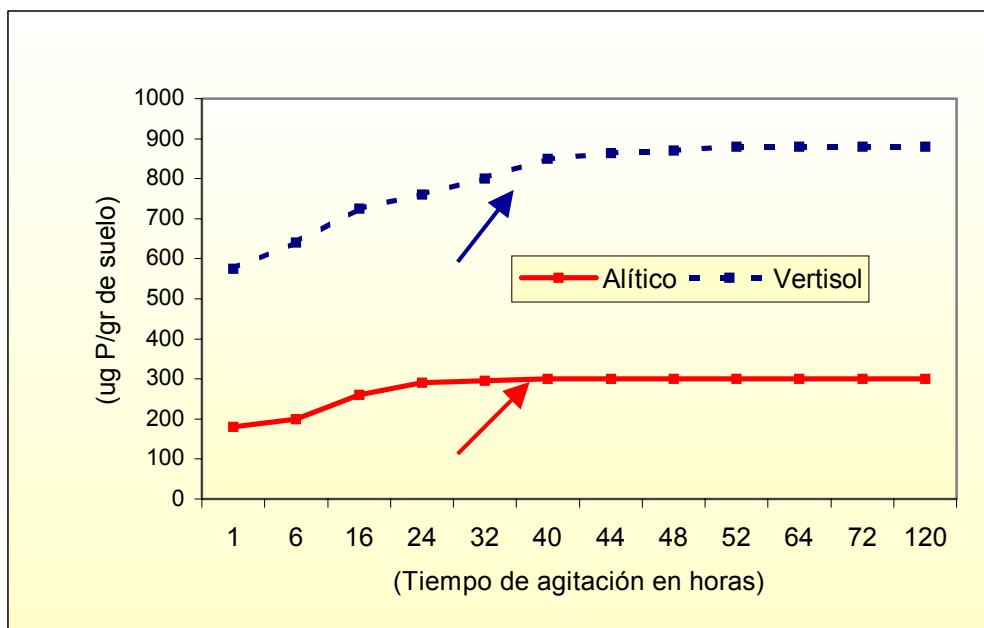


Figura 1. Cinética de sorción de fósforo de los suelos Alítico y Vertisol.

La diferencia en el comportamiento de ambos suelos pudiera ser explicada por la presencia del tipo de arcilla y no a la cantidad que presentan los mismos: el Vertisol presenta una fracción arcillosa de más de 67% (textura arcillosa) con predominio de las Esmectitas con una CIC en arcilla de  $> 40 \text{ cmol}(+) \text{ kg.}$ , mientras que el suelo Alítico presenta una fracción arcillosa de un 24% (textura loam areno arcillosa) con predominio de arcillas del tipo caolinítica, con presencia de goethita y gibbsita y una CIC en arcilla  $< 20 \text{ cmol}(+) \text{ kg.}$

La caolinita retiene o fija más P que las Esmectitas, la que a su vez no presenta una superficie reactiva y retienen cantidades de P en menor cuantía (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1997). La cantidad de arcilla en estos dos suelos es 2,5 veces más elevada en el suelo Vertisol (67,7%) que en el Alítico (24,5%), lo que determina la diferencia en el funcionamiento (cantidad y fuerza de enlace) con respecto a la sorción del fósforo de ambos suelos.

La cinética de desorción, ocurre simultáneamente con el proceso explicado para la sorción, por lo que en la primera etapa (primeras horas) se obtiene de igual forma una rápida desorción o liberación de los iones fosfatos retenidos por los coloides del suelo hacia la solución desorbente utilizada ( $\text{Ca Cl}_2 \text{ } 0,01\text{M}$ ). En el Vertisol luego de 44 horas de comenzado el proceso de desorción, el mismo se hace más lento, y a tiempo mayores, las cantidades netas desorbidas van disminuyendo. Contrariamente, en el suelo Alítico, de textura más arenosa que el Vertisol, la mayor desorción ocurre más rápidamente, en el orden de las 24 horas.

### **Fósforo isotópicamente intercambiable (Valor E).**

Los resultados para el suelo Alítico, muestran que la adición de los portadores fosfóricos incrementa la concentración de P en la solución del suelo, en relación con el testigo ( $0,08 \text{ mg P. L}^{-1}$ ) cuando se utiliza RFPA a valores cercanos a  $0,2 \text{ mg P L}^{-1}$  y superiores a  $0,4 \text{ mg P L}^{-1}$  cuando se empleó SFT (Tabla 3).

Tabla 3 - Efecto de los portadores fosfórico

Tratamientos	Índice de Retención $r_1/R_0$	n	Cp (mg P L <sup>-1</sup> )	Valor E <sub>(t)</sub> <sup>(2)</sup> (mg P kg <sup>-1</sup> )
Suelo Alítico				
Testigo	0.21	0.33	0.077	3.63
70 SFT	0.17	0.22	0.415	24.12
35 + 35 SFT	0.15	0.20	0.410	40.00
70 RFPA	0.15	0.12	0.190	12.92
35 + 35 RFPA	0.13	0.13	0.186	23.00
Suelo Vertisol				
Testigo	0.03	0.23	0.010	3.69
70 SFT	0.03	0.20	0.034	11.30
35 + 35 SFT	0.03	0.18	0.032	22.00
70 RFPA	0.03	0.16	0.015	5.76
35 + 35 RFPA	0.03	0.14	0.012	25.20

$r_{(t)}$  = radioactividad remanente en solución después de 1 minuto de intercambio isotópico. R = radioactividad total introducida. n = Coeficiente de energía

Se obtuvo un valor de E<sub>1</sub> superior a 12,92 mg P kg<sup>-1</sup>, no limitante para el desarrollo de los cultivos cuando se añade la RFPA, siendo dos veces superior al valor obtenido al fraccionarla. El SFT muestra una respuesta similar pero muy superior a los valores obtenidos para la RFPA, motivado por su solubilidad. La respuesta de la RFPA derivada del tratamiento o modificación de la roca fosfórica de Trinidad de Guedes, demuestra que puede ser utilizada como fertilizante fosfórico en suelos con características semejantes al suelo Alítico estudiado.

En el suelo Alítico el factor cantidad (E<sub>1</sub>) es un limitante para el desarrollo de los cultivos (valor crítico: 4-5 mg P kg<sup>-1</sup>) mientras que el factor intensidad (P-solución) al ser superior al límite crítico, (0,020 mg P L<sup>-1</sup>), no limita el crecimiento vegetal.

La adición de los portadores fosfóricos, RFPA y SFT incrementaron el valor E<sub>1</sub> por encima del límite crítico, por lo que puede afirmarse que ambos portadores, ya sea

aplicado todo en siembra o fraccionado en dos aplicaciones, logran corregir la deficiencia de P del suelo expresada en el factor cantidad.

El valor  $E_1$  (fósforo isotópicamente intercambiable luego de 1 minuto de interacción) del suelo Vertisol en los tratamientos con RFPA y SFT, manifiestan un incremento con respecto al testigo, mejorándose la eficiencia del fósforo con el fraccionamiento del portador. Sin embargo, la efectividad del fraccionamiento de la RFPA tiene un impacto mucho mayor que cuando no se fracciona, contrario a lo que ocurre en el suelo Alítico, en este suelo además de recomendarse el fraccionamiento la RFPA también supera la eficiencia del SFT. Esta respuesta pudiera estar relacionada con la capacidad de retención de P de las arcillas (Esmectitas) que predominan en este suelo, lo que permite una liberación más lenta del mismo a la solución del suelo.

La aplicación del SFT, en el Vertisol, ya sea aplicado todo en siembra o fraccionado, logró elevar el valor del fósforo en solución, a valores superiores a  $0.02 \text{ mg P L}^{-1}$ , por lo que el factor intensidad ( $C_p$ ), deja de ser limitante. Sin embargo, la adición de RFPA, todo el P en siembra o fraccionado, resultó ineficaz respecto a la obtención de valores de  $C_p$  superiores al límite crítico.

La adición de los portadores fosfóricos no tuvo efecto sobre la relación  $r_1/R$  (índice de retención), la cual permite evaluar la capacidad relativa de cada suelo en retener el P añadido.

Por tanto el suelo Alítico se clasifica como de baja capacidad de retención de P mientras que el Vertisol se clasifica como de alta capacidad de retención.

### **Experimento en casa de cristal.**

La aplicación de RFPA y SFT utilizados en el experimento de invernadero con el suelo Alítico cultivado con arroz (Tabla 4), presentaron una respuesta positiva y significativa para los valores de materia seca producida y de extracción de P. Los mejores resultados para estas dos variables se debieron a la aplicación fraccionada del portador de P.

La evaluación del parámetro isotópico ( $\% P_{ddf}$ ) demostró que para los portadores evaluados (SFT y RFPA), el cultivo realiza mayor aprovechamiento del fósforo proveniente del fertilizante en la primera aplicación. Para el superfosfato, la



cantidad de fósforo que extrae el cultivo en la segunda aplicación representa aproximadamente el 50% del P extraído en la primera aplicación, mientras que para la RFPA, la cantidad de P utilizado por el cultivo en la segunda aplicación, en el ahijamiento activo, es solo un 25% de la cantidad de P utilizada de la aplicación realizada en siembra.

Tabla 4. Evaluación de la aplicación en siembra y fraccionada del SFT y la RFPA en el suelo Alfítico cultivado con arroz con el empleo del isótopo  $^{32}\text{P}$ .

Variables evaluadas	Tratamientos (mg P maceta <sup>-1</sup> )					E.S. X
	0	70*	(35+35)*	70*	(35+35)*	
		SFT	SFT	RFPA	RFPA	
Materia Seca (g)	2,70c	6,01b	9,30a	5,93b	9,18a	0,710*
Ext. de P (mg P mac <sup>-1</sup> )	4,66d	10,82c	18,99a	13,42b	15,29b	1,240*
% Pddf	—	39,0	33,3	25,0	17,0	-
% Pdds	100	61,0	66,7	75,0	83,0	-
mg P en planta derivado del fert.	-	4,20	6,32	3,36	2,59	-
mg P en planta derivado del suelo	4,66	6,60	12,67	10,06	12,70	-
% UF	-	6,03	9,03	4,80	3,70	-
Valor A*	-	-	-	210	342	-

\*Valor A unidades equivalente (1 Kg SFT => Kg RFPA) \*Marcada con  $^{32}\text{P}$

**a, b, c, d: Letras iguales en una misma fila no difieren significativamente entre sí según prueba de Rango Múltiple de Duncan.  $P < 0.05$ .**

Mientras que la evaluación del parámetro isotópico (% Pdds) permite reafirmar que, empleando el fraccionamiento de los portadores hay un mayor aprovechamiento del fósforo derivado del suelo, siendo superior cuando se aplicó la RFPA con respecto a la aplicación del SFT. Además, los mayores contenidos de P en la planta provienen del P derivado del suelo, deduciéndose de esta respuesta que las plantas privilegian en primer lugar el P del suelo antes que el P del fertilizante, el cual incrementa fundamentalmente la reserva de este nutriente en el suelo, manteniendo el equilibrio del

P en la solución del mismo, lo cual ha sido señalado también por Inés Pino, (19869 y Pino y Casas (1989).

Tabla 5. Evaluación con  $^{32}\text{P}$  de la aplicación en siembra y fraccionada del SFT y la RFPA en el Vertisol cultivado con arroz.

Variables evaluadas	Tratamientos (mg P. mac <sup>-1</sup> )					
	0	70*	(35+35)*	70*	(35+35)*	E.S. X
		SFT	SFT	RFPA	RFPA	
Materia Seca (g)	1,58 c	8,75 a	8,98 a	4,91 b	6,27 b	0,353*
Extracción de P total (mgP mac <sup>-1</sup> )	0,25 c	9,89 a	10,33 a	7,09 b	9,25 a	1,382*
% Pddf	-	20,0	27,0	13,0	16,0	-
% Pdds	100	80,0	73,0	87,0	84,0	-
mg P en planta derivado del fert.	-	1,98	2,79	0,92	1,48	-
mg P en la planta derivado del suelo	0,25	7,91	7,54	6,17	7,14	-
% UF	-	2,82	3,98	1,32	2,11	-
Valor A*	-	-	-	468,46	367,50	-

\*Valor A unidades equivalente (1 Kg SFT => Kg RFPA) . \*Marcaje con  $^{32}\text{P}$

a, b, c, d: Letras iguales en una misma fila no difieren significativamente entre sí según prueba de Duncan,  $P < 0.05$

Por otra parte la eficiencia de utilización del fertilizante (% UF), se corresponde con los valores de P derivados del fertilizante encontrados en planta.

Los resultados del efecto de la aplicación de los portadores RFPA y SFT utilizados en el ensayo de invernadero con el suelo Vertisol Pélico Gleyico (Vertisol) cultivado de arroz en condiciones de invernadero (Tabla 5), presentó diferencias significativas de la materia seca producida con respecto a los valores del control, correspondiéndole los mayores valores a los tratamientos donde se aplicó superfosfato triple sin diferencias entre las formas de aplicación, seguido por el tratamiento de RFPA.

Algo similar ocurre cuando se evaluó la variable correspondiente a la extracción total de P en la planta para el SFT, no así en el portador RFPA donde la respuesta es

significativamente mayor para el fraccionamiento sin diferencias significativas con respecto al SFT.

El empleo del  $^{32}\text{P}$  mostró igualmente que el % *Pddf* fue superior cuando se aplicó el superfosfato triple que cuando se utilizó la RFPA, y presentó mayores valores, lo contrario a la respuesta del suelo Alítico cuando se fraccionaron ambos portadores (20 y 13% en siembra contra 27 y 16% fraccionado en el momento del ahijamiento activo). El % de fósforo derivado del suelo (% *Pdds*) fue ligeramente superior cuando se aplicó todo el fertilizante en siembra para ambos portadores; siendo algo más alto para la RFPA sin diferencias apenas con respecto a los momentos de su aplicación.

Cuando se determinó los contenidos de P en la planta procedente del fertilizante, se encontró que fue superior para el SFT como era de esperar, siendo mayor también para el fraccionamiento de ambos portadores, aunque en comparación con la cantidad del reportado por el suelo Alítico, son menores. Sin embargo para el P en la planta derivado del suelo no se diferencian los valores obtenidos para los portadores entre sí, ni entre los momentos de aplicación, siendo ligeramente superior en el fraccionamiento de la RFPA (7,14 mg P kg<sup>-1</sup> contra 6,17 mg P kg<sup>-1</sup> en siembra), estos resultados son similares a los obtenidos por Nuviola *et al.*, (1997).

Por otra parte el porcentaje de utilización del fertilizante (% *UF*) fue superior cuando se fraccionó la dosis de fósforo para ambos portadores, siendo los valores absolutos del SFT superiores a los de la RFPA y muy inferiores a los resultados obtenidos para el suelo Alítico.

A medida que es menor la disponibilidad fosfórica del suelo, estas fuentes resultan más eficaces y la mayor efectividad se manifiesta cuando se esparcen en la superficie del suelo, se incorporan en los primeros 15 - 20 cm de profundidad o se fraccionan. Por lo que resulta viable la utilización de estos portadores de P, ya que la residualidad de los mismos a partir de su aplicación, es duradera al menos, durante cuatro años (Cabrera *et al.* 1993).

## **CONCLUSIONES.**

1. Las curvas de la cinética de sorción de fósforo en los suelos Alítico y Vertisol, se caracterizan por un proceso rápido de sorción, seguido por una reacción de

intercambio más lento y prolongado, fenómeno que se explica por la rápida inmovilización del P en los suelos, donde se establece el equilibrio de la sorción neta y disminuye a partir de las 24 y 44 horas, considerándose 48 horas como el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio.

2. Los suelos estudiados se diferencian en la capacidad de desorber el fosfato inicialmente añadido y retenido. Expresado en % de P desorbido del total de P inicialmente sorbido o fijado, se encontró diferencias entre ambos suelos: el 80% del P inicialmente fijado en el suelo Alítico es desorbido, mientras que en el Vertisol, es de solo el 24%. Sin embargo, las cantidades de P desorbido en ambos suelos presentaron valores similares, cercanas a  $240 \text{ mg P kg}^{-1}$  suelo.
3. El empleo del método cinético de intercambio isotópico permitió evaluar el efecto de los portadores fosfóricos y su fraccionamiento sobre la dinámica del P en los suelos Alítico y Vertisol. En el primero los portadores fosfóricos lograron incrementar las concentraciones de P en solución y los tenores de P isotópicamente intercambiables luego de 1 minuto de interacción, a valores que sobrepasan los correspondientes umbrales críticos. Mientras que el Vertisol no alcanzó dicho umbral.
4. La adición de los portadores fosfóricos, SFT y RFPA, incrementaron los valores de  $E_1$  por encima del umbral crítico ( $4 \text{ mg P kg}^{-1}$ ), por lo que se puede afirmar que la roca fosfórica de Trinidad de Guedes modificada puede corregir la deficiencia de P, lo cual resultó una alternativa a los fertilizantes fosfóricos totalmente solubles.
5. Se comprobó que los mayores contenidos de P en la planta provienen del P derivado del suelo, lo que demuestra que la planta absorbe en primer lugar el P del suelo antes que el P del fertilizante, el cual incrementa fundamentalmente la reserva de este nutriente en el suelo, manteniendo el equilibrio del P en la solución.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

1. Cabrera, A.; Villegas R y López M. 1993. Requerimiento externo de fósforo de la caña de azúcar. Resúmenes. III. Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo. III. Seminario Científico de la Est. Exp. La Renee. La Habana, Cuba. 10p.

2. Fardeau, J.C.; Morel C. y Boniface R. 1991. Cinétique de la transference des ions phosphate du solvers la solution du sol: Parametres Caracteristiques: Agronomie 11:787-797.
3. García, A.; Nuviola, A.; Hernández, G. y Alvarez, F.C. 1998. Algunos resultados de evaluación de roca fosfórica natural y modificada realizados en Cuba utilizando técnicas nucleares. Editor Dr. Eduardo Casanova. ARCAL Universidad Central de Venezuela. Venezuela. 30-38.
4. IAEA - FAO. 1976. Use of Isotopique and radiation methods in soils and water managements and crops nutrition. FAO-IAEA. Joint Division of Nuclear Techniques in forte agriculture and Biotechnology Laboratory Trading Courser . Serie No 14. Viena.
5. Instituto de Suelos. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Minag. Ciudad de La Habana. 64 p.
6. Instituto de la potasa y el Fósforo. 1997. Manual Internacional de fertilidad de suelos. Editado por Potash & Phosphate institute. Capitulo 4.
7. MINAGRI. 1982. Manual de técnicas unificadas de suelos y fertilizantes. La Habana Cuba. 35 P.
8. Muraoka, T. y Tziboy, A. E. 1998. Fertilización fosfórica en el Brasil. Edición. Dr. Eduardo Casanova. Arcal. Universidad Central De Venezuela.24-33.
9. Nuviola, A., Alvarez, F.; García, A. y Muñiz, O. 1997. Evaluación del fraccionamiento de fuentes de fósforo en un suelo textura arenosa cultivado con arroz, empleando el trazador radiactivo P-32. Resúmenes. First International Symposium on Nuclear and Relate Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment. (28-30 October 1997) Habana, Cuba. P.
10. Pino I.; Michaud, A. y Casas, G. L. 1986. Eficiencia de Superfosfato Triple (32P) en cuatro suelos derivados de Cenizas Volcánicas. Nucleotécnica. 6 (11):43-50.
11. Pino, I. y Casas L. 1989a. Evaluación Agronómica de Roca Fosfórica de Bahía Inglesa con Utilización de Técnicas Isotópicas. II. Efecto de la Aplicación de Roca fosfórica en Tres suelos derivados de cenizas volcánicas en condiciones de invernadero. Nucleotécnica 9(16): 37-40.

12. Ranchinskii, V. V. 1974. Curso básico de física atómica aplicada a la agricultura ( en Ruso ). En Academia Agrícola "K. A. Timiriazev", Moscú, 391 pp.
13. Zapata, F. and Axman, H. 1995.  $^{32}\text{P}$  isotopic techniques for evaluating the agronomic effectiveness of rock phosphate. Fertilizer Research. 41(3) 189-195.