

## TRANSFORMACIONES EN LAS FRACCIONES DE FOSFORO ORGANICO E INORGANICO EN UN SUELO CALCAREO FERTILIZADO

D. López-Hernández, M. Espinosa Luna y M. Nino.

Laboratorio de Estudios Ambientales, IZT. Facultad de Ciencias,  
Universidad Central de Venezuela. Apartado 47058, Caracas 1041-A. Venezuela.

### RESUMEN

El horizonte A1 de un Molisol cultivado con caña de azúcar ubicado en Palmarejo (Edo. Yaracuy, Venezuela) se fertilizó con dosis de P comprendidas entre 0-200  $\mu\text{g/g}$  y las muestras se mantuvieron a 3/4 de capacidad de retención de humedad durante 6 meses a la temperatura del laboratorio (alrededor de 20° C). En diferentes períodos se tomaron submuestras para realizar un fraccionamiento de P inorgánico. Al comienzo de la incubación (3-90 días) se observó un incremento en las fracciones de Ca-P, Fe-P y P-sol red. Por el contrario, en este período, la fracción inerte (P-res) disminuyó apreciablemente. Al final de la incubación se observa un cambio notable en la fracción P-inor con una disminución del 11 % por efecto de la fertilización. La fracción de P-inor más afectada fue la P-Ca. En este agroecosistema, la presencia de una cantidad apreciable de P-o determina una alta disponibilidad potencial de P (baja relación C/P-o). Este resultado, en conjunción con una actividad fosfatásica moderada en los suelos del área podría explicar la ausencia de respuesta de la caña de azúcar a las dosis de abono fosfatado.

Palabras Clave: P orgánico, fraccionamiento de P, actividad fosfatásica, caña de azúcar.

### TRANSFORMATIONS OF THE ORGANIC AND INORGANIC PHOSPHORUS FRACTIONS IN A FERTILIZED CALCAREOUS SOIL

#### ABSTRACT

Samples of a Mollisol cultivated with sugar-cane located in Palmarejo (Edo. Yaracuy, Venezuela) were fertilized (0-200  $\mu\text{gP/g}$ ) and maintained at 3/4 water holding capacity and at laboratory temperature (20° C) during 6 months. At different periods subsamples were analyzed for the changes among the inorganic forms. At the beginning of the incubation (3-90 days), an increase in the Ca-P, Fe-P and Psol-red fractions was observed. On the contrary, at that period a significant reduction was observed in the P-res fraction. At the end of the incubation a decrease in the inorganic P forms was recorded (11 %) being the P-Ca fraction the most affected. A low C/P-o and a moderate phosphatase activity in the agro-ecosystem, determines a high potential for available P which, in turn, could explain the absence of P response of sugar-cane crop.

Key words: Organic P, P fractionation, phosphatase activity, sugar-cane.

#### INTRODUCCION

Desde la introducción en la literatura agronómica del método de fraccionamiento químico del

fósforo por Chang y Jackson (1957) son numerosos los estudios que sobre este tópico se han realizado en suelos de diferentes regiones del mundo (López-Hernández, 1977). Desde un principio se

vio que el método era un instrumento de gran ayuda en el estudio del grado de evolución del fósforo en el perfil (Chang y Jackson, 1958) o en el estudio del destino que seguían las dosis de fertilizante fosfatado (Chang y Chu, 1961).

La movilización del fósforo en ecosistemas naturales y agroecosistemas depende del grado de evolución del perfil, por lo que, es de esperar que exista una relación entre la clase taxonómica y la distribución del fósforo en el suelo. Tal relación ha sido presentada por Dahne et al. (1964) para suelos de El Salvador, Fassbender et al. (1968) para suelos de América Central, Westin y de Brito (1969) para suelos de Venezuela y más recientemente por Tiessen et al. (1984) para suelos de U.S.A.

El método ha sido también extensivamente utilizado en el análisis de la redistribución de las formas inorgánicas del fósforo añadido como fertilizante. Así, Chang y Chu (op. cit.) en estudios sobre las transformaciones que sigue el fosfato en suelos mantenidos a capacidad de campo informan que a los 3 días el fósforo era retenido principalmente como Al-P, mientras que al cabo de 100 días el contenido de Fe-P incrementaba, pero los niveles de Ca-P y Al-P decrecían. Más recientemente Sah y Mikkelsen (1986) en cultivo de arroz encontraron que después de fertilizar con 100 µg P/g de suelo con  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  y equilibrar el suelo a 25 % de su contenido de humedad por 15 días, el fósforo añadido era principalmente recuperado en la fracción Al-P y Fe-P, lo que indicaba que para esos suelos, los óxidos de Fe y Al constituían los componentes más reactivos en el proceso de retención. En los ensayos de fraccionamiento del P inorgánico es común encontrar que una parte importante del P no es fácilmente identificable con ninguna de las fracciones establecidas. Esta fracción que se ha denominado residual es abundante en el caso de los Oxisoles y Ultisoles tropicales (Udo y Ogunwale, 1977). Sin embargo existe incertidumbre acerca de la naturaleza química precisa de esa fracción residual o inerte. Kurtz (citado por Udo y Ogunwale, op. cit.) sugiere que el fósforo residual es principalmente P que forma parte del enrejado cristalino, en una especie de sustitución isomórfica de P por Si. Syers et al. (1967) han identificado inclusiones de apatita resistente al ataque de los ácidos en algunos minerales primarios, concluyendo que el fósforo residual en esos suelos puede existir como apatitas ocluidas.

Los suelos del Valle del Río Yaracuy se caracterizan por presentar niveles adecuados de fósforo disponible (López-Hernández et al., 1984); un pH moderadamente alcalino (7,57) debe operar como

un probable mecanismo de control en relativa alta mineralización y por lo tanto en la disponibilidad de ese macronutriente. Ensayos de fertilización en el área bajo estudio, con dosis de 0 a 200 Kg P/Ha señalan ausencia de respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), principal cultivo de la zona (Jiménez y Medina, 1984).

Dos razones podrían explicar el fenómeno observado: o bien las variedades de cañas estudiadas tienen un requerimiento de fósforo muy bajo, inferior al que les puede proveer la matriz del suelo, o los suelos tienen una disponibilidad alta de este elemento. Sin embargo es práctica común en esta zona cañera fertilizar con moderadas cantidades de superfosfato como fertilización de mantenimiento (alrededor de 50 kg P/ha).

En la presente contribución se analizan los cambios que sufre el P nativo y el fertilizante agregado en ensayos de envejecimiento bajo condiciones controladas.

## MATERIALES Y METODOS

Se utilizó una muestra compuesta (48 submuestras) del horizonte superficial de un Molisol ubicado en la hacienda Santa Fe, situada entre las poblaciones de Farriar y Palmarejo, Edo. Yaracuy (Sequera et al., 1984). Las principales características químicas del horizonte en estudio se presentan en la Tabla 1. El estudio del perfil reveló la presencia de un horizonte mólico sobre el horizonte C. Taxonómicamente el suelo pertenece a la familia Haplacul típico, franca fina, isohipertérmica, muscovita - montmorillonita - caolinítica (J. L. Berroteran, comunicación personal).

El ensayo de envejecimiento se realizó sobre 2 kg de muestra del horizonte superficial. Fueron tratadas con dosis de fosfato de calcio monobásico,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , correspondiente a 0, 20, 50, 100 y 200 mg P/Kg. El suelo fue mantenido a temperatura de laboratorio (alrededor de 20° C) y a una humedad constante del 75 % de su capacidad de retención de agua en cápsulas de porcelana que fueron cubiertas para impedir la evaporación y desarrollo de algas. En el transcurso del experimento, el agua perdida por evaporación se repuso mediante diferencias de pesadas. Se efectuaron cuatro réplicas a los 3, 90 y 180 días a fin de realizar el ensayo de fraccionamiento de fósforo inorgánico.

El esquema de fraccionamiento de fósforo inorgánico utilizado fue el de Chang y Jackson (1957), de acuerdo a la modificación propuesta

**Tabla 1.** Propiedades del epipedón mólico del suelo estudiado.

Textura	pH agua	C %	N %	C / N	P-Olsen $\mu\text{g/g}$	Fe libre mmol Fe/ 100 g	CaCO <sub>3</sub> %
Franco limosa	7,66	1,2	0,10	12,0	15	3,9	1,21

por Petersen y Corey (1966). Las fracciones inorgánicas analizadas corresponden a la llamada "fracción activa" que incluye: fósforo soluble en NH<sub>4</sub>Cl (P-s) y las formas de fósforo asociadas al calcio (P-Ca), hierro (P-Fe) y aluminio (P-Al), según Udo y Ogunwale (op. cit.) y la fracción de fósforo más inerte que comprende fósforo soluble en reductores (P-sol red) y la fracción residual (P-res). El llamado P-res se calculó en base a la diferencia entre el contenido de P-inor total y la sumatoria de las fracciones activas y soluble en reductores. El fósforo total se determinó a su vez mediante una digestión con HF de acuerdo a la metodología propuesta por Agemian y Chau (1975). El fósforo orgánico (P-o) se determinó tomando la diferencia entre el P inorgánico y el P total.

Para la determinación de fósforo en las diferentes fracciones se usaron técnicas colorimétricas. El fósforo total e inorgánico fueron determinados por el método de Fogg y Wilkinson (1958), las formas de fósforo asociadas al Fe, Ca y al P soluble fueron analizadas por el método I de Jackson (1976). Finalmente el fósforo unido al Al y el soluble en reductores se determinaron por el método II de Jackson y el de Pons y Guthrie (citado por Hesse, 1971), respectivamente.

**Tabla 2.** Concentración absoluta ( $\mu\text{g/g}$ ) de las distintas fracciones del fósforo inorgánico y su expresión porcentual (%) respecto al P inorgánico total.

P-s		P-Al		P-Fe		P-sol red		P-Ca		P-res		P-inor	P-o	P total
$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$
3.6	0.6	32	5.0	72	11.2	122	18.9	105	16.3	309	48.0	644	288	932

### Cambios en las fracciones inorgánicas del suelo sometido a fertilización

#### Cambios en la fracción de P-Ca

La Tabla 3 presenta la información correspondiente al efecto del tiempo de envejecimiento

La actividad fosfática fue determinada de acuerdo a la metodología reseñada por López-Hernández et al. (1989) mediante el uso de P-nitro fenil fosfato como sustrato.

Las comparaciones estadísticas se realizaron a través de la prueba de Gabriel (Sokal y Rohlf, 1969). El cálculo de los análisis estadísticos se hizo mediante paquetes estadísticos diseñados para la microcomputadora Apple II + (Buhyoff et al., 1982).

### RESULTADOS Y DISCUSION

Como era de esperar debido a la naturaleza calcárea del suelo estudiado, dentro de la fracción activa la forma más abundante es la correspondiente al P-Ca (105  $\mu\text{g/g}$ ), el P-Fe (72  $\mu\text{g/g}$ ) presenta valores intermedios, mientras que la forma activa menos abundante corresponde al P-Al (32  $\mu\text{g/g}$ ) (Tabla 2). No obstante, que el suelo analizado presenta una disponibilidad mediana-alta de fósforo según el método Olsen (15  $\mu\text{g/g}$ ), la cantidad de fósforo que se extrae con el NH<sub>4</sub>Cl no es particularmente alta (3.6  $\mu\text{g/g}$  P-s). La fracción mayor de P-inor la constituye el P-res (309  $\mu\text{g/g}$ ); el fósforo soluble en reductores constituye también una fracción apreciable del fósforo inorgánico de este suelo (122  $\mu\text{g/g}$ ).

sobre la fracción activa ligada al calcio (P-Ca). En general esta fracción presenta una tendencia a incrementar significativamente entre 0 y 90 días, en particular para la dosis de

fertilización comprendidas entre 0-50  $\mu\text{g/g}$ , para luego disminuir y colocarse en un nivel un poco superior al original. El suelo control acusó un comportamiento análogo.

Resultados similares fueron reportados por Sah y Mikkelsen (op. cit.) en suelos calcáreos cultivados con arroz (*Oriza sativa* L.). El incre-

mento en la fracción P-Ca es básicamente debido a la precipitación del fósforo por el Ca.

A más altas dosis de P añadido (100-200  $\mu\text{g/g}$ ) ocurre un máximo a los 3 días de incubación, posteriormente a medida que la incubación prosigue ocurre una disminución apreciable en la fracción P-Ca.

Tabla 3. Cambios en la fracción P-Ca a diferentes dosis de P aplicada.

Tiempo (días)	Dosis de P aplicada				
	0	20	50	100	200
0	105(3) *abc**	105(3)abc	105(3)a	105(3)abc	105(3)ab
3	172(10)ad	190(8)ad	152(29)	204(3)ad	216(9)acd
90	219(12)bde	187(3)be	195(15)ab	191(10)be	160(5)bce
180	150(0)ce	135(7)cde	131(7)b	126(2)cde	119(4)de

\* Desviaciones standard.

\*\* Promedios seguidos de la misma letra difieren al 95 %.

#### Cambios en la fracción de P-s

El comportamiento de la fracción soluble fue similar para las diferentes dosis de P añadido (Tabla 4). A los 3 días de contacto suelo-fertilizante los niveles de P soluble incrementan de manera estadísticamente significativa, en el período subsiguiente de envejecimiento (3-

180 días) esta fracción disminuye a valores ligeramente por debajo del original. Esto podría sugerir que a medida que transcurre la incubación, el P originalmente añadido, al igual que el P-s nativo pasa a formar parte de las fracciones más insolubles (formas no fácilmente disponibles) orgánicas e inorgánicas.

Tabla 4. Cambios en la fracción P-s a diferentes dosis de P aplicada.

Tiempo (días)	Dosis de P aplicada				
	0	20	50	100	200
0	3.6(0.77)*ab**	3.6(0.77)a	3.6(0.77)a	3.6(0.77)a	3.6(0.77)
3	10(0.0)abc	11.25(2.5)abc	8.5(1.0)abc	11.5(1.73)abc	11(6)
90	2.6(0.0)c	2.43(0.35)b	3.00(0.46)b	2.6(0)b	2.8(0.4)
180	1.7(0.4)bd	1.90(0.0)c	2.43(0.35)c	1.9(0.0)c	1.9(0.0)

\* Desviaciones standard

\*\* Promedios seguidos por la misma letra difieren al 95 %.

**Cambios en la fracción de P-Fe**

La fracción P-Fe en general incrementa a los 3 días de incubación y el cambio es significativo en las dosis altas de P añadido (100 y 200  $\mu\text{g/g}$ , Tabla 5). El suelo control y el tratamiento con la dosis más baja también acusan un cierto incremento en esa fracción hasta los 90 días. En la dosis moderada de P añadido (50  $\mu\text{g/g}$ ) hay una ligera tendencia, aunque estadísticamente no significativa, a incrementar el nivel de P-Fe a lo largo del período de incubación ensayado.

En general en suelos inundados la fracción P-Fe incrementa (Mahapatra y Patrick, 1969) como consecuencia de la transformación de variscita (compuesto de P-Al) en vivianita (compuesto de Fe ferroso-P). Las condiciones de experimentación acá reseñadas, si bien no corresponden a la de un suelo inundado, indican una cierta movilidad del P hacia las fracciones P-Fe, particularmente a los tres días de incubación en las dosis de P más elevadas (100 - 200  $\mu\text{g/g}$ ). El suelo control igualmente acusó un incremento significativo a los 90 días de incubación.

Tabla 5. Cambios en la fracción P-Fe a diferentes dosis de P aplicada.

Tiempo (días)	Dosis de P aplicada				
	0	20	50	100	200
0	72.0(5.2)*a**	72.0(5.2)	72.0(5.2)	72.0(5.2)abc	72.0(5.2)ab
3	72.25(7.89)b	72.50(10.34)	74.7(7.0)	114.8(1.5)ade	107.3(4.7)ac
90	102.98(0.05)ab	83.75(1.50)	79.25(2.87)	86.8(1.5)bd	87.5(3.9)c
180	93.00(9.87)	90.25(8.50)	88.3(1.5)	92.3(2.9)ce	96.8(4.6)b

\* Desviación standard.

\*\* Promedios seguidos de la misma letra difieren al 95 %.

**Cambios en la fracción de P-Al**

La fracción P-Al no resultó mayormente afectada por la adición de fertilizante durante los primeros 90 días de incubación, se exceptúa la dosis más alta añadida (200  $\mu\text{g/g}$ ) en donde hay un incremento significativo a los 3 días

de experimentación. Los mayores valores de P-Al se obtuvieron a los 180 días de incubación, estos valores fueron independientes del nivel de P añadido y difirieron significativamente de las otras épocas de muestreo, exceptuándose el caso del suelo control.

Tabla 6. Cambios en la fracción de P-Al a diferentes dosis de P aplicada.

Tiempo (días)	Dosis de P aplicada				
	0	20	50	100	200
0	32.5(1.3)	32.5(1.3)*a**	32.5(1.3)a	32.5(1.3)a	32.5(1.3)ab
3	35.25(4.92)	34.5(1.0)b	32.0(2.3)b	34.25(2.75)	42.5(1.0)ac
90	35.50(1.73)	25.0(3.8)bc	31.0(2.0)c	30.0(3.3)b	30.0(4.6)ed
180	41.0(2.0)	41.0(2.0)ac	44.0(4.0)abc	42.0(0.0)ab	46.00(0.01)bd

\* Desviaciones standard.

\*\* Promedios seguidos de la misma letra difieren al 95 %.

### Cambios en la fracción de P-soluble en reductores

En el caso de la fracción P-sol red se observan dos comportamientos de acuerdo a la dosis de fósforo añadido: a las más bajas concentraciones (0-50  $\mu\text{g/g}$ ) el P-sol red disminuye significativamente a los 3 días (Tabla 7), luego incrementa (3 a 90 días) para finalmente disminuir a los 6 meses de incubación. En las dosis más altas de fertilizante (100 y 200  $\mu\text{g/g}$ ) hay una tendencia, primero a incrementar ligeramente el contenido de P-sol red entre 0 y 90 días, sin

embargo estas diferencias no mostraron significación estadística, luego disminuyen sensiblemente en el período comprendido entre 90 y 180 días, presentando esta caída confirmación estadística.

Al comienzo de la incubación a bajas dosis P (20-50  $\mu\text{g/g}$ ), parte importante del fósforo soluble en reductores es movilizad hacia otras fracciones, aunque estas diferencias son significativas, no disponemos de información complementaria que nos permita explicar el fenómeno observado.

Tabla 7. Cambios en la fracción P-sol red a diferentes dosis de P aplicada.

Tiempo (días)	Dosis de P aplicada				
	0	20	50	100	200
0	122(25)*ab**	122(25)ab	122(25)a	122(25)a	122(15)a
3	25.0(3.5)ac	29.3(2.5)ac	35(12)ab	152(28)b	165(31)b
90	117(21)cd	138(21)cd	147(23)bc	153(33)c	172(33)c
180	51(8)bd	51(5)bd	66(3)c	44(3)abc	50(3)abc

\* Desviación standard.

\*\* Promedios seguidos de la misma letra difieren al 95 %.

### Cambios en la fracción de P-res

El fenómeno anotado para la fracción anterior también se observa en el caso de P-res (Tabla 8). Durante los tres primeros días de envejecimiento en las dosis más bajas de P ensayado hay muy pocos cambios en el nivel de P-res exceptuándose un incremento notable en la dosis con 50  $\mu\text{g P/g}$ .

En la misma dosis esta fracción sin embargo disminuye fuertemente en el período de 3 a 90 días y luego incrementa durante los tres meses de incubación restantes. Para las más altas dosis de P ocurre una caída importante en el nivel de P-res en los tres primeros días de incubación para luego subir y mantenerse casi constante durante el resto del tiempo de incubación.

Tabla 8. Cambios en la fracción P-res a diferentes dosis de P aplicada.

Tiempo (días)	Dosis de P aplicada				
	0	20	50	100	200
0	309(23)*ab**	309(23)a	309(23)a	309(23)a	309(23)a
3	326(35)cd	283(12)b	408(44)bc	136(35)ab	135(27)ab
90	104(21)ace	176(28)ab	198(35)ab	221(31)	249(35)b
180	199(20)bde	231(32)	218(4)c	246(20)b	231(18)

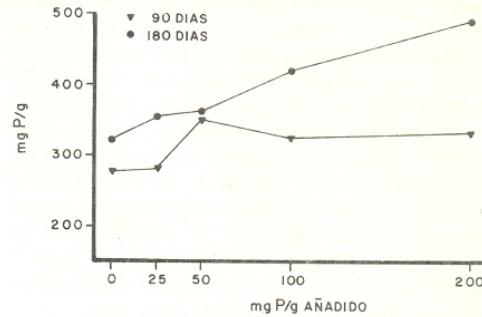
\* Desviación standard.

\*\* Promedios seguidos de la misma letra difieren al 95 %.

**P orgánico y actividad fosfatásica**

La Fig. 1 representa el cambio en el contenido de P orgánico (90 y 180 días de incubación) en función de la dosis de P aplicado. La fertilización, a las más altas concentraciones de P añadido tiene un efecto marcado sobre el Po en especial a los 6 meses de incubación. El Po si bien no es directamente aprovechable constituye una reserva potencial, particularmente si la relación C/Po es baja, tal es el caso de los suelos estudiados (Tabla 9). La información obtenida sobre la actividad fosfatásica indica que para el Molisol estudiado, hay un buen ambiente para la mineralización del Po, la actividad fosfatásica encontrada (0.43 + 0.09  $\mu\text{g mol DNP/gh}$ ) es ligeramente superior a la reportada por Sanchez (1985) para otras suelos venezolanos. Los datos sobre tasa de mineralización bruta de Po en estos suelos (para ser publicados en otra contribución) indican que una buena parte del P disponible es suplido por la mineralización bioquímica del Po.

En la fracción de fósforo inorgánico del Molisol estudiado domina la forma residual (Tabla 2). La fracción residual constituye 48 % del P inorgánico. Estas formas de fósforo han sido señaladas



**Fig. 1. Cambios en el contenido de P orgánico con relación a la dosis de P añadida.**

en la literatura como parte importante de la fracción inorgánica para algunos suelos tropicales (Udo y Ogunwale, op. cit.) y para suelos templados de Nueva Zelandia (Adams y Walker 1975). La naturaleza ligeramente calcárea del suelo en estudio sugiere que esta forma residual podría estar asociada con apatitas ocluidas tal y como ha sido reportado por Syers et al. (op. cit.). Esta última observación requiere sin embargo una investigación mineralógica más detallada.

**Tabla 9. Actividad fosfatásica y relaciones C/Po en las diferentes dosis de P aplicada a los 6 meses de incubación.**

Dosis P	Control	25	50	100	200	Actividad Fosfatásica $\mu\text{mol NF / gh}$
C/Po	37.2	33.9	33.1	28.5	25.0	0.43 (0.09)

La Tabla 10 resume la información presentada en las Tablas 3-8 sobre las transformaciones de fósforo añadido como fosfato dicálcico comparado con el suelo control (sin fertilizante fosforado). A los tres días de incubación, no resultaron mayormente afectadas por la fertilización respecto al control (sin fertilizante), la fracción inor-

gánica total así como tampoco las fracciones de P-sol y P-Al, mientras que se observó un ligero incremento en las fracciones P-Ca y P-Fe. La fracción soluble en reductores, por el contrario, resultó sensiblemente aumentada por la dosis de fertilizante, en el mismo período. La fracción residual, al contrario mostró una disminución consi-

**Tabla 10. Variaciones en las diferentes fracciones de fósforo a lo largo del período de incubación.**

Tiempo(días) Dosis ( $\mu\text{g P/g}$ )	P-inor		P-o		P-s		P-Ca		P-Fe		P-Al		P-sol red		P-res	
	3	180	3	180	3	180	3	180	3	180	3	180	3	180	3	180
0	67	64	33	36	1.1	0.2	18	17	8	11	4	5	3	6	34	25
200	68	53	32	47	1.1	0.2	22	12	11	9	4	4	16	5	13	23

derable. Este último resultado debe ser tomado con precaución puesto que la medida de P-res no es una observación analítica directa sino que constituye una determinación indirecta (a expensas del P-inor menos las formas activas + P-sol red).

A los 180 días, por el contrario, se observa un cambio notable en la fracción de P-inor el cual disminuye en un 11 % por efecto de la fertilización. En cuanto a las fracciones inorgánicas, no fueron mayormente afectadas por la adición de P: la fracción P-s, P-Fe, P-Al y P-sol red. La adición de 200 µg/g de P como fertilizante afecta significativamente el fósforo orgánico total (P-o).

### CONCLUSIONES

Por efecto de la fertilización ha habido un enriquecimiento en el pool de P-o. La presencia de cantidades apreciables de fósforo orgánico determina una gran disponibilidad potencial de P en estos agroecosistemas (tendencia a la mineralización). La relación C/P-o en el suelo sin fertilizar es del orden de 37.2 (Tabla 9), valor muy por

debajo, del señalado en la literatura (200 o más) para ecosistemas en donde el fósforo es limitante (Smeck, 1985). Tal relación disminuye sensiblemente por efecto de la adición del abono fosfatado (C/P-o 25); lo que claramente indica que parte del fósforo inorgánico añadido pasa a formar parte de un "pool orgánico", muy posiblemente de origen microbiano (bacterias y hongos). Se sugiere entonces que la baja relación C/P-o en estos Molisoles, y en consecuencia el alto potencial para la mineralización bioquímica del fósforo orgánico (Mc Gill y Cole, 1981) contribuye a explicar la ausencia de respuesta de la caña de azúcar a las dosis de abono fosfatado.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de un estudio general sobre el ciclaje de nutrientes en el área de influencia del Río Yaracuy. Agradecemos la colaboración financiera del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) y CENAZUCA.

### REFERENCIAS

- Adams, J. A. y T. W. Walker, 1975. Some properties of a chrono-topo sequence of soils from granite in New Zealand. 2. Forms and amount of phosphorus. *Geoderma* 13 : 41-51.
- Agemian, H. y S. Chau, 1975. An atomic absorption method for determination of elements in lake sediments after acid digestion. *Anal. Chim. Acta* 80 : 61 - 66.
- Buhyoff, G. J.; H. M. Rauscher; R. B. Hull IV; K. Killeen y R. C. Kirk, 1982. Statistical processing system version 4.2 for Apple II +. User's manual. U.S.D.A. Forest Service. 115 p.
- Chang, S. C. y W. K. Chu, 1961. The fate of soluble phosphate applied to soils. *J. Soil Sci.* 12 : 286 - 293.
- Chang, S. C. y M. L. Jackson, 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84 : 133 - 144.
- Chang, S. C. y M. L. Jackson, 1958. Soil phosphorus fraction in some representative soils. *J. of Soil Sci.* 9 : 108 - 119.
- Dahne, W. C.; J. L. Malcolm y M. E. Menendez, 1964. Phosphorus fractions in selected soil profiles of El Salvador related to their development. *Soil Sci.* 98 : 33 - 38.
- Fassbender, H. W.; L. Muller y F. Balerdi, 1968. Estudios del fósforo en suelos de América Central. II: Formas y su relación con las plantas. *Turrialba* 18 : 333 - 347.
- Fogg, D. N. y N. T. Wilkinson, 1958. The colorimetric determination of phosphorus. *Analyst.* 83 : 406 - 414.
- Hesse, P., 1971. A text book of soil chemical analysis. Capítulo 12, pag. 294. Hohn Murray Ltd. London. 520 p.
- Jackson, M. L., 1976. Análisis químico de suelos. Capítulo 7, págs. 190 - 253. Barcelona. Editorial Omega.
- Jiménez, B. y E. Medina, 1984. Análisis de plantas en siembras experimentales y comerciales de caña de azúcar con fines de diagnóstico nutricional: 81 - 131. P. E. Sequera, D. López-Hernández y E. Medina (Ed.). En *La producción de caña de azúcar en el Valle del Río Yaracuy*. Edicampa. Caracas. 135 p.
- López-Hernández, I. D., 1977. La química del fósforo en suelos ácidos. Ediciones de la Biblioteca Central. U. C. V., 123 p.
- López-Hernández, I. D.; L. Yanes; A. Febres y F. Tovar, 1984. Aspectos metodológicos y criterios para fertilización en base a los análisis del suelo: 39 - 79. En *La producción de caña de azúcar en el Valle del Río Yaracuy*. Edit. E; Sequera, I. D. López-Hernández y E. Medina. Edicampa. Caracas. 135 p.
- López-Hernández, D.; M. Niño; P. Nannipieri y J. C. Fardeau, 1989. Phosphatase activity in *Nasutitermes ephratae* termite nest, *Biol. Fertil. Soil* 7 : 134 - 137.
- Mc Gill, W. B. y C. V. Cole, 1981. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma* 26 : 267 - 286.
- Mahapatra, I. C. y W. H. Patrick Jr., 1969. Inorganic phosphate transformation in waterlogged soil. *Soil Sci.* 107 : 281-287.
- Petersen, G. y R. Corey, 1966. A modified Chang and Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30 : 565 - 567.