73-121

UNIVERSIDAD DE CALDAS

FACULTAD DE AGRONOMIA

MANIZALES

VARIABILIDAD DEL METODO PARA MEDIR FIJACION DE FOSFORO EN EL SUELO USANDO EL SISTEMA RADIOQUIMICO DE DILUCION ISOTOPICA

BIBLIOTECA TIBAITATA

POR

RAFAEL ANTONIO GONZALEZ QUIROGA

TESIS DE GRADO PRESENTADA A LA FACULTAD DE AGRONOMIA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO

MANIZALES JUNIO DE 1973

Presidente de Tesis: Dr. Eduardo Castro Lara

Presidente Honorario de Tesis: Dr. Emiro López Montaña

A MIS PADRES Y HERMANOS

AGRADECIMIENTOS

A las Directivas del Instituto de Asuntos Nucleares, por su decidida y desinteresada colaboración la que hizo posible la realización de este trabajo.

A las siguientes personas por su valiosa ayuda técnica:

Ing. Agr. Eduardo Castro Lara, bajo cuya dirección se hizo este estudio.

Ing. Agr. Marco A. Perdomo Caicedo, Jefe Area Agropecuarias del Instituto de Asuntos Nucleares.

Ing. Agr. M.S. Julio Henao, Jefe Sección de Biometría y Estadística del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del ICA, Tibaitatá, Bogotá.

Químico Rafael H. Espinosa, Sección Química y Biológía del Instituto de Asuntos Nucleares .

Ing. Agr. Alonso Antia Arroyave, Jurado de Tesis, Profesor de Suelos, Universidad de Caldas.

Ig. Agr. Ph.D. Germán Mejía Giraldo, Jurado de Tesis, Profesor de Suelos, Universidad de Caldas.

ARTICULO 14 DEL ACUERDO 016 DE 1.972

" La Facultad de Agronomía, el Presidente de Tesis y el Jurado de Tesis, no serán responsables de las ideas emitidas por el Candidato. "

C O N T E N I D O

		Página
I.-	INTRODUCCION	1
II.-	REVISION DE LITERATURA	4
	A. GENERALIDADES	4
	B. PRINCIPIO DE DILUCION ISOTOPICA	5
	C. CINETICA DE INTERCAMBIO CON ^{32}P	6
III.-	TEORIA Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	7
	A. TEORIA	7
	B. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	9
	1. Selección de los suelos	9
	2. Preparación de los suelos	10
	3. Características del radionúclido ^{32}P y - forma química de aplicación	10
	4. Radiactividad presente en los extractos y determinación del P total	12
	DISEÑO DEL EXPERIMENTO	16
IV.-	RESULTADOS Y DISCUSION	22
V.-	CONCLUSIONES	28
VI.-	RECOMENDACIONES	31
VII.-	RESUMEN	32
	Apéndice 1.- Espectrómetro de centelleo líquido Tri-Carb modelo 3320, usado en el experimento	54
	Apéndice 2.- Espectrofotómetro Beckman modelo DB-G, usado en el experimento ...	55
	Apéndice 3.- Glosario	56
	REFERENCIAS	62

INDICE DE TABLAS

Página

TABLA 1.- Cantidad de elemento por muestra y actividad de las soluciones fertilizantes 11

TABLA 2.- Factores de corrección por decaímiento radiactivo, para los cuatro períodos de extracción empleados..... 15

TABLA 3.- Análisis de caracterización de los suelos .. 34

TABLA 4.- P total, P fertilizante y P nativo del suelo determinado en los extractos Bray I, Bray II y Truog, para los tres suelos y los cuatro - períodos de extracción empleados. Dosis de 1.090 γ de P. 35

TABLA 5.- P Total, P fertilizante y P nativo del suelo determinado en los extractos Bray I, -- Bray II y Truog, para los tres suelos y los cuatro períodos de extracción empleados. Dosis de 2.180 γ de P. 36

TABLA 6.- P total, P fertilizante y P nativo del suelo determinado en los extractos Bray I, Bray II y Truog, para los tres suelos y los cuatro períodos de extracción empleados. Dósis 3.270 γ de P. 37

TABLA 7.- Porcentajes de fósforo fertilizante en los - extractos Bray I, Bray II y Truog, de los -- suelos "Cenicafé", "Naranjal" y "Paraguaycito", empleados..... 38

TABLA 8.- Actividades específicas en uCi/g. de P encontradas en los extractos Bray I, Bray II y -- Truog para los períodos de extracción a los 3, 6, 9 y 12 días y los suelos "Cenicafé", - "Naranjal" y "Paraguaycito"..... 41

INDICE DE FIGURAS

Página

FIGURA 1.- Curva de desintegración del radionúclido ^{32}P. 44

FIGURA 2.- Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Cenicafé". Dosis 1.090 γ por 100 g. (50 kg. P_2O_5/ha.) 45

FIGURA 3.- Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Cenicafé". Dosis 2.180 γ - por 100 g. (100 kg. P_2O_5/ha.) 45

FIGURA 4.- Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Cenicafé". Dosis 3.270 γ - por 100 g. (150 kg. P_2O_5/ha.) 46

FIGURA 5.- Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Naranjal". Dosis 1.090 γ - 46

FIGURA 6.- Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Naranjal" Dosis 2.180 γ - 47

FIGURA 7.- Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Naranjal". Dosis 3.270 γ - 47

FIGURA 8.- Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 1090 γ 48

FIGURA 9.- Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 2.180 γ 48

Página

FIGURA 10.- Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 3.270 γ 49

FIGURA 11.- Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Cenicafé". Dosis 1.090 γ 49

FIGURA 12.- Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Cenicafé" Dosis 2.180 γ 50

FIGURA 13.- Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Cenicafé". Dosis 3.270 γ 50

FIGURA 14.- Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Naranjal". Dosis 1.090 γ 51

FIGURA 15.- Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Naranjal". Dosis 2.180 γ 51

FIGURA 16.- Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Naranjal" Dosis 3.270 γ 52

FIGURA 17.- Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 1.090 γ 52

FIGURA 18.- Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 2.180 γ 53

FIGURA 19.- Variación de la actividad específica a traves de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 3.270 γ 53

CAPITULO I

INTRODUCCION

El desarrollo de técnicas nucleares es de especial interés en aquellos casos donde los métodos analíticos convencionales no brindan la información que el investigador quiere obtener. La confiabilidad de esta información depende de la metodología de trabajo empleada y de ahí la importancia de estudiar en detalle la influencia de los diferentes factores que afectan el método en referencia.

Mediante el empleo de la técnica de dilución isotópica, se ha estudiado el comportamiento que el fósforo aplicado asume en el suelo, obteniendose un conocimiento de la cantidad de este nutriente que es fijado y la fracción disponible para la planta. Es de anotar, que la fijación del fósforo es un fenómeno de común ocurrencia en los suelos colombianos, lo que se traduce en menor disponibilidad de los fertilizantes fosfóricos incorporados a los mismos. De lo anterior, se deriva la importancia de caracterizar los suelos respecto a este hecho, ya que en base a su conocimiento se pueden hacer recomendaciones con el fin de corregir la carencia de este nutriente en el suelo.

La dilución isotópica es empleada en su evaluación, siendo así posible estudiar el fenómeno aprovechando las radiaciones del radionúclido ^{32}P.

Debe tenerse en cuenta, entonces, a qué tiempo debe hacerse el muestreo o extracción con el fin de lograr uniformidad aceptable en los resultados.

El trabajo fue desarrollado en los laboratorios del Instituto de Asuntos Nucleares, en Bogotá, durante el segundo semestre de 1972, para cual se emplearon tres suelos alofánicos con diferente contenido de materia orgánica y distintos pH, los que fueron tratados con 0, 50, 100 y 150 kg. P_2O_5/ha. Como fertilizante se usó superfosfato concentrado del 48.8% de P_2O_5 " marcado" con ^{32}P, con una actividad específica de 6.64 milicurios por gramo de P. Después de aplicado el superfosfato, se hicieron extracciones de fósforo a los 3, 6, 9 y 12 días, con las soluciones Bray I, Bray II, y Truog El fósforo extraído fue discriminado en fósforo proveniente del fertilizante y fósforo nativo. Los cálculos para obtener el índice del fósforo aplicado presente en el extracto, se basaron en el cambio de actividad específica y el fósforo total determinado colorímétricamente. El arreglo experimental se hizo en " parcelas divididas" con cinco replicaciones.

Los objetivos del presente estudio son:

1.- Determinar el orígen del fósforo en los extractos Bray I, Bray II y Truog..

2 - Estudiar el efecto de las dosis de aplicación de fósforo sobre la disponibilidad de este nutriente en el suelo.

3. - Determinar el período de muestreo adecuado para la dosis de ^{31}P portador que permite un equilibrio aproximado del ^{32}P con el P del suelo

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

A. GENERALIDADES

Se ha reconocido que en la fertilización fosfórica solamente una pequeña cantidad de fósforo aplicado es tomado por la planta, siendo el resto fijado o retenido por el suelo (1, 5, 7, 8).

La fijación del fósforo consiste en la conversión de los fosfatos solubles aplicados al suelo como fertilizantes a formas de difícil absorción por la planta. De aquí que, sea de importancia conocer la capacidad de fijación de los fosfatos de los suelos, mediante una técnica y metodología apropiadas que permita una evaluación real de este fenómeno.

En términos generales, el método experimental para determinar la retención, consiste en tratar una muestra de suelo de peso conocido, con un volúmen también conocido de la disolución problema. Se añade una solución extractora, se filtra y se analiza el filtrado. La cantidad de fósforo adsorbido se calcula a partir de las concentraciones ofrecida y encontrada en el líquido.

Baker (2) en un estudio sobre dilución isotópica, como técnica para relacionar la retención a la disponibilidad del fósforo en el suelo, sugiere que el fósforo extractable por las soluciones Bray I (4) y Bray II (4) es un índice de confianza, respecto a las características de retención.

Baker, hace esta afirmación, en base a la alta correlación obtenida entre el fósforo absorbido por la planta y la cantidad de este elemento encontrada en el extracto. Así mismo, encontró que de las cantidades de ^{31}P empleadas como portadores (25, 100 y 400 ppm) la de 400 ppm ofrecía un mejor grado de equilibrio; para su estudio utilizó seis suelos con diferentes propiedades que se consideran afectan la retención y liberación de fósforo, los que fueron encalados y se les permitió equilibrarse con una cantidad constante de ^{32}P y 25 , 100 y 400 ppm. de ^{31}P mediante humedecimiento y secado alternados cuatro veces, antes de sembrar plantas de maíz y trigo.

B. - PRINCIPIO DE DILUCION ISOTOPICA.

El procedimiento de análisis por dilución isotópica es particularmente útil cuando no existen métodos de separación cuantitativa de sustancias químicamente similares o son difíciles de aplicar (9).

La dilución isotópica, respecto al fósforo, tiene lugar cuando a un suelo con su fósforo nativo se le adiciona un fertilizante fosfatado " marcado", en consecuencia el conjunto va a mostrar una actividad específica inferior a la de la solución radiactiva aplicada.

De tal manera que, en la situación anterior, puede evaluarse la disponibilidad del fósforo aplicado y el efecto de las diferentes dosis de " material portador" (^{31}P) en el fósforo inicialmente presente en el suelo. Estudios relacionados con este tópico, han sido llevados a cabo con plantas (3) y soluciones extractoras (15).

C. - CINETICA DE INTERCAMBIO CON ^{32}P

La aplicación del principio de dilución isotópica en estudios sobre fijación de fósforo, requiere el establecimiento de un equilibrio entre el ^{32}P y el ^{31}P nativo y aplicado. Cuando se adiciona la solución de ^{32}P al suelo, se verifica un intercambio de iones con los fosfatos isotópicos allí presentes. El equilibrio heterogéneo es difícil de alcanzar en razón de que el ^{31}P en el suelo existe en variadas formas de fosfato de solubilidad específica. La contribución de cada compuesto al intercambio sotópico depende de la energía con que el ^{31}P es retenido en la molécula, siendo un índice de la disponibilidad del compuesto en cuestión. Un estudio a fondo en este aspecto ha sido hecho por Tandon y Kurtz (12.).

CAPITULO III

TEORIA Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A. - TEORIA

Cuando una muestra de suelo es tratada con una determinada cantidad de fertilizante fosfatado " marcado" con ^{32}P éste se diluye y en consecuencia, su actividad específica se reduce. Es claro, que se ha asumido que todo el fósforo aplicado toma parte en la dilución, pero, en la práctica ocurre que algo de ^{32}P es ocluído por compuestos de Fe, Al y otros, lo que hace que aquél no permanezca por más tiempo en equilibrio, es decir, no se somete a intercambio isotópico (12).

Por lo dicho anteriormente, la actividad total no permanece constante, lo que resta exactitud al método; la fórmula aquí empleada es la misma que utilizaron Bouldin y Black (3), número 1 en el presente escrito.

Si el fertilizante " marcado" con ^{32}P se agrega al sistema suelo y éste es uniforme respecto a la actividad específica final, puede hacerse el siguiente balance:

Cantidad de elemento	Actividad específica
Unidades de masa de P nativo del suelo (p_{si})	0
Unidades de masa de P fertilizante marcado (p_{fi})	S_o
(p_{si} + p_{fi}) unidades de masa de P total	S_{vi}

o sea:

$$(p_{si} + p_{fi})\ S_{vi} = p_{fi}\ S_o$$

Entonces, la actividad específica resultante S_{vi}, de la dilución del P fertilizante con el P nativo en un volúmen infinitesimal de suelo v_i será:

$$S_{vi} = \frac{p_{fi}\ S_o}{p_{si} + p_{fi}}$$

S_c es la actividad específica inicial del P fertilizante aplicado.

Si de v_i se extrae un total de q_i unidades de P, la cantidad de verdadero P fertilizante y_t está dada por:

$$y_t = \frac{S_{vi}}{S_o}\ q_i \qquad (1)$$

o sea

$$q_i \frac{S_{vi}}{S_o} = q_i \frac{P_{fi}}{P_{si} + P_{fi}} \qquad (2)$$

Luego el P del suelo será:

$$q_i - q_i \frac{P_{fi}}{P_{si} + P_{fi}} = q_i \frac{P_{si}}{P_{si} + P_{fi}} \qquad (3)$$

Por las expresiones (2) y (3) aparece claro que el P total extraído de v_i para todo el volúmen de suelo fertilizado, está dado por:

$$P_{total} = \sum_{i=1}^{i=N} q_i \frac{P_{si}}{P_{si} + P_{fi}} + \sum_{i=1}^{i=N} q_i \frac{P_{fi}}{P_{si} + P_{fi}}$$

B. - PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. - Selección de los Suelos.

Para el presente estudio, realizado en los laboratorios del Instituto de Asuntos Nucleares, se utilizaron suelos tomados de los terrenos de tres granjas cafeteras de propiedad de la Federación Nacional de Cafeteros: " Cenicafé", " Naranjal" y " Paraguaycito". En varios estudios (10 , 11) se anota que estos suelos poseen una alta capacidad de fijación de fósforo. Son originados en las capas de cenizas volcánicas depositadas por las erupciones del "Ruíz"; y , el contenido de materia orgánica es 4. 2%, 11. 7% y 7. 4% respectiva-

mente. Los análisis de caracterización fueron realizados por el Departamento de Química Agrícola del Centro Nacional de Investigaciones de Café de Chinchiná, Caldas, Y, se observan en la tabla 3.

La disposición experimental se hizo en " parcelas divididas", con cinco replicaciones, de la manera siguiente: en las parcelas principales se estudiaron los períodos de extracción o de muestreo: 3, 6, 9, 12 días; las sub-parcelas estaban constituídas por el factor suelos: " Cenicafé", " Naranjal" y "Paraguaycito"; las sub-parcelas por los tratamientos de fósforo: 0, 50, 100 y 150 kg. P_2O_5/ha.

2. - Preparación de los suelos

Los suelos fueron tomados de la capa superficial (0-20 cms .) y secados a temperatura de invernadero, para posteriormente pasarlos por una malla de 1 mm., De cada suelo se utilizaron muestras de 100 g. depositadas en discos de plástico . Las replicaciones se dispusieron en las mesas del laboratorio, cuya temperatura se mantenía constante. a 17°C.

3. - Características del radionúclido ^{32}P y forma química de aplicación,

Como fertilizante fue empleado superfosfato concentrado del

48.8% de P_2O_5 " marcado" con ^{32}P obtenido de los laboratorios Tennessee Valley Authority, Tenn., USA., por el Instituto de Asuntos Nucleares. El superfosfato estaba libre de impurezas radioactivas, tal como fue indicado por la linealidad de la curva de desintegración. Ver figura 1.

El radionúclido ^{32}P se caracteriza por tener una radiación beta de energía máxima de 1.7 Mev y un período de semidesintegración de 14.3 días, siendo por ello uno de los elementos más empleados en el estudio de la nutrición de la planta.

Se prepararon soluciones para las respectivas dosis de fertilizante . Las concentraciones radioactivas obtenidas el día de su aplicación se indican en la tabla 1.

TABLA 1

Cantidad de elemento por muestra y actividad de las soluciones fertilizantes

Dosis (kg. P_2O_5/ha.)	γ de P por 100 g. suelo	Concentración radiactiva (uCi/ml.)
0	0.0	0.000
50	1.090	1.656
100	2.180	3.312
150	3.270	4.968

A cada muestra se le suministraron 10 ml. del tratamiento correspondiente, usando una pipeta automática. Las actividades logradas fueron compatibles con el tiempo experimental y lo suficientemente altas como para asegurar precisión en las mediciones.

Luego de aplicar el fertilizante, se agregó a cada muestra de suelo 40 ml. de agua destilada con el fin de obtener en lo posible una distribución uniforme del radionúclido. Después de los muestreos a los 3, 6, 9 días, se aplicaban 10 ml., esta vez, para mantener humedecido el suelo y facilitar reacciones de intercambio isotópico.

Tratadas las muestras y ubicadas en las mesas del laboratorio, se procedió a cubrirlas con tela plástica con el fin de minimizar la pérdida de humedad de aquellas.

4. - Radiactividad presente en los extractos y determinación del P Total.

Transcurridos los períodos de muestreo, la disponibilidad del fósforo fue determinada a partir de la fracción de este elemento extraída por las soluciones Bray I (4), Bray II (4) y Truog (14); utilizando para las dos primeras tres gramos de muestra y 0.5 gramos para la tercera, para sí obtener un volúmen de extracto apropiado para la medición de P total y actividad del ^{32}P. Después de la extracción, la suspensión se centrifugó durante 20 minutos a 2500 RPM, en una

centrífuga International. Luego se filtró cuidadosamente, usando un papal filtro watman 589[1]. Un gran número de filtrados correspondientes a los extractos Bray I y Bray II exhibieron el color amarillo, por lo que hubo que agregárseles carbón activo y filtrar de nuevo. Para el procedimiento Truog todos los filtrados fueron incoloros y, al igual que los de Bray I y Bray II, estaban exentos de coloides en suspensión. El P total fue determinado mediante la tramitancia de la solución azúl, producida cuando una alícuota de cinco ml. era tratada de acuerdo a los métodos Bray I, Bray II y Truog, empleando para el último diez ml. de alícuota problema. Las lecturas se hicieron en un espectrofotómetro Beckman modelo DB-G. La longitud de onda de operación fue de 725 mμ para Bray I y Bray II y 700 mu para Truog. dadas por el mínimo de tramitancia en la curva espectral indicada por el registrador, en cada caso. Los reactivos se suministraron con una pipeta automática y los filtrados radiactivos con una pipeta normal, provista de una propipeta con mecanismo valvular (tipo Pumpet).

Las mediciones de radiactividad del ^{32}P en los extractos se hicieron en un espectrómetro de centelleo líquido Tri-Carb modelo 3320, usando un tiempo de contaje de cinco minutos.

Debido a la alta energía de la radiación beta del ^{32}P no se usó solución centelladora, Las mediciones se hicieron teniendo en cuenta el efecto Čerenkov. La radiación Čerenkov es producida por emisores beta altamente energéticos. La emisión de luz es azulosa con un espectro de 3000 a 7000 Å y se manifiesta cuando las partículas beta atraviesan un medio con una velocidad más grande que la de la luz en ese medio (6).

Los datos de actividad fueron corregidos cada vez para fondo ("Background"), decaimiento radiactivo y eficiencia de contaje para el canal en el Tri-Carb bajo las condiciones de operación y los distintos volúmenes de extracto usados. Como fondo se tomó la actividad registrada por las muestras control.

La corrección por decaimiento se hizo según la fórmula:

$$A_t = A_o \; e^{-t\lambda}$$

donde:

A_t = actividad que " queda" o sea la restante al haber pasado un tiempo " t "

A_o = actividad inicial, la que existe en un instante denominado tiempo cero.

e = base de los logaritmos neperianos

λ = constante de desintegración

λ = Ln 2/T = 0.693/T

T = período físico del radionúclido

Los factores de corrección por decaimiento hallados para los diferentes períodos de extracción aparecen en la tabla 2.

TABLA 2

Factores de corrección por decaimiento radiactivo para los cuatro períodos de extracción empleados

Período de extracción	Factor de corrección
E_1, a los 3 días	1.1503
E_2, a los 6 días	1.3364
E_3, a los 9 días	1.5373
E_4, a los 12 días	1.7860

DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Replicación 1

E_3	S_1	P_o	S_2	P_2	S_3	P_3
		P_2		P_3		P_3
		P_3		P_o		P_1
		P_1		P_1		P_o
E_2	S_3	P_1	S_1	P_o	S_2	P_3
		P_3		P_3		P_o
		P_2		P_2		P_2
		P_o		P_1		P_1
E_4	S_2	P_3	S_3	P_3	S_1	P_2
		P_2		P_2		P_3
		P_1		P_o		P_1
		P_o		P_1		P_o
E_1	S_3	P_o	S_2	P_o	S_1	P_2
		P_1		P_3		P_o
		P_2		P_2		P_3
		P_3		P_1		P_1

Replicación 11

E_4	S_3	P_1	S_2	P_3	S_1	P_2
		P_2		P_2		P_3
		P_o		P_o		P_1
		P_3		P_1		P_o
E_3	S_2	P_3	S_1	P_3	S_3	P_o
		P_2		P_1		P_3
		P_o		P_2		P_1
		P_1		P_o		P_2
E_1	S_1	P_1	S_3	P_2	S_2	P_3
		P_3		P_3		P_o
		P_2		P_o		P_1
		P_o		P_1		P_2
E_2	S_3	P_3	S_2	P_2	S_1	P_3
		P_2		P_o		P_o
		P_o		P_3		P_1
		P_1		P_1		P_2

Replicación III

E_2	S_3	P_2	S_2	P_3	S_1	P_3
		P_o		P_2		P_o
		P_1		P_1		P_1
		P_3		P_o		P_2
E_1	S_1	P_3	S_2	P_2	S_3	P_3
		P_o		P_o		P_o
		P_1		P_1		P_2
		P_2		P_3		P_1
E_3	S_2	P_3	S_3	P_o	S_1	P_2
		P_o		P_1		P_o
		P_2		P_3		P_3
		P_1		P_2		P_1
E_4	S_3	P_1	S_1	P_3	S_2	P_3
		P_o		P_o		P_2
		P_3		P_2		P_1
		P_2		P_1		P_o

Replicación IV

E3	S_1	P_o	S_2	P_3	S_3	P_3
		P_3		P_2		P_2
		P_1		P_1		P_o
		P_2		P_o		P_1
E_4	S_3	P_3	S_1	P_3	S_2	P_2
		P_o		P_2		P_3
		P_1		P_o		P_1
		P_2		P_1		P_o
E_1	S_2	P_3	S_3	P_1	S_1	P_2
		P_o		P_2		P_3
		P_1		P_3		P_o
		P_2		P_o		P_1
E_2	S_3	P_3	S_1	P_3	S_2	P_3
		P_o		P_2		P_o
		P_1		P_o		P_1
		P_2		P_1		P_2

Replicación V

E_1	S_2	P_o	S_1	P_3	S_3	P_1
		P_2		P_o		P_o
		P_1		P_1		P_2
		P_3		P_2		P_3
E_4	S_2	P_2	S_3	P_o	S_1	P_1
		P_3		P_1		P_2
		P_1		P_3		P_o
		P_o		P_2		P_3
E_2	S_3	P_2	S_2	P_1	S_1	P_1
		P_3		P_o		P_3
		P_1		P_3		P_2
		P_o		P_2		P_o
E_3	S_1	P_2	S_3	P_o	S_2	P_3
		P_3		P_3		P_2
		P_o		P_1		P_o
		P_1		P_2		P_1

E_1, E_2, E_3, E_4 : extracciones a los 3, 6, 9 y 12 días, respectivamente.

S_1, S_2, S_3: suelos " Cenicafé", " Naranjal " y " Paraguaycito"

P_o = Control ; P_1 = 50 kg. P_2O_5ha.

P_2 = 100 kg. P_2O_5/ha. ; P_3 = 150 kg. P_2O_5 /ha.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

La extracción de fósforo total, es decir ^{31}P y ^{32}P, mediante Bray I, fue superior significativamente a nivel del 5% para el suelo " Cenicafé" a los 6 días, en relación al mismo suelo y las extracciones hechas a los 3 y 9 días. Los suelos " Naranjal" y " Paraguaycito" dieron lugar a una recuperación pobre, al parecer el fertilizante influyó en forma negativa, ocurriendo un mayor grado de fijación.
Al examinar los extractos Bray I se encontró que la liberación de fósforo nativo fue más notable para el suelo " Cenicafé" en las extracciones a los 3, 6, y 9 días, respecto a los suelos " Naranjal" y "Paraguaycito" cuyos promedios mostraron ser relativamente bajos.

Así mismo para esta solución extractora, las interacciones; suelo " Cenicafé" por 150 kg. P_2O_5/ha. por extracción a los 3 días; suelo " Cenicafé" por 150 kg. P_2O_5/ha. por extracción a los 6 días y suelo " Cenicafé" por 100 kg. P_2O_5/ha. por extracción a los 6 días presentaron significancia estadística al 5% de probabilidad, al comparar los promedios de fósforo fertilizante recuperado. Por lo que, puede decirse, que el suelo " Cenicafé" liberó más fósforo fertilizante, siendo tal liberación directamente proporcional a la cantidad de fósforo aplicado. El suelo " Paraguaycito" presentó una alta capacidad fijadora

y todavía más el suelo " Naranjal", cuyos promedios de fósforo fertilizante recuperado fueron demasiado bajos respecto al suelo " Cenicafé". Las figuras 3, 6 y 9 ilustran lo dicho anteriormente. Posiblemente, el comportamiento del suelo " Cenicafé" sea debido al pH (6.6) y al bajo contenido de materia orgánica (4.2%) con relación a los otros suelos. (Tabla 3).

Mediante la prueba de Duncan se encontró que para la solución Bray II, la extracción de fósforo total fue mayor para el suelo " Paraguaycito" a los 6 días. Se presentó una amplia variación para los tres suelos en los diferentes períodos de muestreo, habiendo una extracción mínima en el suelo " Naranjal" a los 12 días de haber aplicado el fósforo. Tal como puede verse en las tablas 4, 5 y 6. Posiblemente esto se deba a la influencia de la materia orgánica presente en cada suelo; según la tabla 3, el suelo " Naranjal" es más rico en ella y se sabe que ésta ayuda a la fijación del fósforo que se encuentra en solución (13).

Al analizar la interacción suelo por dosis por período de extracción, con respecto al fósforo fertilizante recuperado por la solución Bray II, se encontró una diferencia significativa a nivel del 5% para las interacciones : suelo " Cenicafé" por 150 kg. P_2O_5/ha. por extracción a los 6 días y suelo " Paraguaycito" por 150 kg. P_2O_5/ha. por extracción

a los 6 días. Se observó una recuperación baja en los períodos de extracción a los 9 y 12 días para los tres suelos y las diferentes dosis de fósforo. Los resultados de estas interacciones indican que, posiblemente, ocurrió una fijación acentuada de fósforo en los períodos más prolongados y en sitios no intercambiables en las partículas del suelo. Según el análisis de caracterización (tabla 3), los suelos son medianamente ácidos, presumiéndose por ésto que el fósforo aplicado pudo precipitarse bajo las formas de fosfatos de Fe y Al, los que son relativamente insolubles de mayor a menor en el órdenc itados. Tandon y Kurtz (12) estudiaron la disponibilidad de estos fosfatos, hallando como más soluble el fosfato de Al y el menos el fosfato de Ca, formándose este último más comunmente en condiciones alcalinas. El fosfato de Fe se encontró que era de disponibilidad intermedia. La extracción decreciente de fósforo fertilizante para la solución Bray II, para los distintos períodos de muestreo, se aprecia en los datos de las tablas 4,5 y 6 y más claramente en las figuras 2 a 10.

Por lo anterior, puede afirmarse que los tres suelos usados en este ensayo fijan bastante fósforo, lo que está de acuerdo con lo hallado por otros autores en suelos similares a los del presente estudio (10, 11). Las pérdida de solubilidad del fosfato fertilizante no es solamente notable para la extracción lograda con el método Bray 11; pues, resultados semejantes fueron encontrados para Bray 1 y Truog, tal como se ilustra en las figuras 2 a 10.

Observando el comportamiento de los suelos respecto a la dosis de fósforo aplicado y su recuperación por la solución Truog, se encuentra que el suelo " Cenicafé" fijó menos fósforo fertilizante para la dosis de 150 kg. P_2O_5/ha., ya que por comparación de los promedios presentó diferencia significativa al 5%. El efecto contrario se observó con la dosis de 50 kg. P_2O_5/ha. El suelo " Naranjal" fijó más fósforo para las dosis de 50 y 100 kg. P_2O_5/ha, el suelo "Paraguaycito" se comportó en forma similar.

Para Truog, las extracciones a los 3 y 6 días exhibieron una significancia estadística al 5% al presentar promedios de recuperación relativamente altos de fósforo aplicado, especialmente la realizada a los 3 días.

Quizá ésto se deba a la cantidad de fósforo aplicado (150 kg. P_2O_5/ha). y a una mayor permanencia del nutriente en solución. Debe anotarse que, para la extracción a los 9 días hubo una recuperación pobre con el tratamiento de 50 kg. P_2O_5/ha.

En cuanto a la cantidad de fósforo nativo encontrado en el extracto, el suelo " Cenicafé" presentó diferencia altamente significativa a nivel del 1% de probabilidad, con relación a los suelos " Naranjal" y "Paraguaycito", los que dieron una variabilidad casi igual. Las extracciones a los 3, 6, y 12 días ofrecieron resultados similares, pero, significativamente superiores a los obtenidos a los 9 días.

Las extracciones de fósforo total para los períodos de muestreo empleados mostraron variación entre sí. La mayor extracción se obtuvo en el suelo " Cenicafé" , siendo esta diferencia altamente significativa al 1% al comparar los promedios de los tres suelos usados. Los datos se incluyen en las tablas 4, 5 y 6.

Considerando las actividades específicas, expresadas en uCi por gramo de P, en la tabla 8, obtenidas para las tres soluciones extractoras y los períodos de extracción estudiados, se encuentra que Truog y Bray I muestran uniformidad aceptable , como puede observarse en las figuras 11 y 14, correspondientes a los suelos " Cenicafé" y " Naranjal" para la dosis de 50 kg. P_2O_5 por Ha.

Debe anotarse que, cuando se emplean radionúclidos en el estudio de la química de un nutriente en el suelo, generalmente se presenta una dispersión notable en los datos.

De ahí que, al estudiar la variabilidad de un método radioquímico, lo que se hace es tratar de establecer una metodología que provea de la mayor uniformidad posible en los resultados, para lo cual debe tenerse en cuenta las variables con sus rangos razonables aplicables a fines investigativos y luego elegir los valores de interés. Cuando no se conoce muy bien el método de análisis que emplea un núclido " trazador", se prefiere sacrificar la precisión a cambio de obtener

una información sobre el fenómeno que no podría conseguirse por los métodos corrientes.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Con base en este estudio es posible concluír lo siguiente:

1. Los suelos empleados en el ensayo: " Cenicafé", " Naranjal" y " Paraguaycito" son altamente fijadores de fósforo, hecho que se manifestó con las dosis aplicadas: 50, 100 y 150 kg. P_2O_5/ha.

2 Teniendo en cuenta la interacción suelo por dosis de fósforo por extracción, el suelo " Cenicafé" fijó menos fósforo fertilizante para la dosis de 150 kg. P_2O_5/ha y extracción a los tres días, siendo las diferencias significativas al 5% de probabilidad en las tres soluciones: Bray 1, Bray 11 y Truog.

3 En términos generales, la dosis más alta de fósforo empleada (150 kg. P_2O_5/ha). fue la que tuvo una influencia más favorable en los tres suelos dando lugar a una mayor recuperación del fósforo aplicado.

4. - La liberación de fósforo nativo fue ligeramente superior para el suelo " Cenicafé" según el análisis de los extractos Bray 1 obtenidos a los 3, 6 y 9 días, pero, sin mostrar diferencias

significativas. Para el extracto Truog las diferencias fueron altamente significativas a nivel del 1% con respecto a los suelos " Naranjal" y " Paraguaycito".

5. La cantidad de fósforo extraido por los métodos Bray I, Bray II y Truog fue baja si se tiene en cuenta la dosis aplicadas.

6. - Por los resultados obtenidos puede decirse que el pH y el contenido de materia orgánica alto influyen negativamente en la disponibilidad del fósforo fertilizante en los suelos.

7. - Se notó una tendencia general del fósforo extraído a disminuír para los períodos de extracción más prolongados. Generalmente la extracción fue máxima a los tres días de hechas las aplicaciones.

8. - De los suelos estudiados, " Cenicafé" respondió de un modo más favorable a las dosis de fósforo fertilizante, especialmente a la de 150 kg P_2O_5 por hectárea , pues, se obtuvieron extracciones relativamente altas de fósforo nativo y fertilizante.

9. - Los suelos " Naranjal" y " Paraguaycito." se comportaron en forma similar en el grado de fijación de fósforo llegando a ser más acentuada con respecto al suelo " Cenicafé". El suelo " Paraguaycito" pareció fijar menos a la dosis más alta (150 kg. P_2O_5/ha.).

10.- Las soluciones Bray 1 y Truog mostraron uniformidad aceptable en sus extracciones, a juzgar por los resultados obtenidos de los suelos " Cenicafé" y " Naranjal" para la dosis de 50 kg. P_2O_5/ha.

11.- Al parecer el período de extracción a los tres días es el más adecuado por la menor variabilidad observada en los datos obtenidos. Períodos más largos conducen a una mayor fijación del P lo que afecta desfavorablemente la sensibilidad del método.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

1.- Sería conveniente continuar estas investigaciones empleando períodos de extracción a intervalos de horas, en esta forma pueden advertirse los cambios bruscos de actividad recién aplicado el fósforo.

2.- Teniendo en cuenta la gran variedad de suelos con características diferentes a los aquí empleados, sería de interés estudiar la variabilidad del método utilizando diversas fuentes de fósforo y condiciones distintas a las de este trabajo

CAPITULO VII

RESUMEN

En uno de los laboratorios del Instituto de Asuntos Nucleares, en Bogotá, se efectuó un trabajo durante el segundo semestre de 1972, con el fin de determinar:

1.- Orígen del fósforo en los extractos Bray 1, Bray 11 y Truog.

2.- Efecto de las dosis de aplicación de fósforo sobre la disponibilidad de este nutriente en el suelo.

3.- Período de muestreo adecuado para la dosis de ^{31}P portador que permite un equilibrio aproximado del ^{32}P con el P del suelo.

El diseño experimental usado en el ensayo fue el de " parcelas divididas", con cinco replicaciones, de la manera siguiente: en las parcelas principales se estudiaron los períodos de extracción o de muestreo: 3, 6, 9 y 12 días; la sub-parcelas estaban constituídas por el factor suelos y las sub-sub-parcelas por los tratamientos de fósforo:

(0, 1090, 2180 y 3270 γ de P/100 g. de suelo)
0, 50, 100 y 150 kg. P_2O_5 /ha.)

Tres suelos fueron empleados en este estudio, denominados:

" Cenecafé", " Naranjal" y " Paraguaycito" de orígen volcánico y

de reconocida fijación fosfórica, con un contenido de materia orgánica de 4.2%, 11.7%, 7.4% y pH de 6.6, 4.8 y 5.6, respectivamente.

Como fuente de fósforo se usó superfosfato concentrado 48.8% de P_2O_5 " marcado" con 32_P, aplicado en forma de solución. Después de las aplicaciones se suministraron 40 ml. de agua destilada para homogenizar la muestra y luego de cada extracción 10 ml. para mantener humedecido el suelo.

En término de cada período se hicieron extracciones con las soluciones Bray 1, Bray 11 y Truog. El P total extraído se discriminó en fósforo del suelo y fósforo proveniente del fertilizante.

El términos generales, la dosis más alta de fósforo empleada (3270 ppm/ 100 g. suelo) fue lo que tuvo una influencia más favorable en los tres suelos, dando lugar a una mayor recuperación del fósforo aplicado. Se notó una tendencia general del fósforo extraído a disminuír para los períodos de extracción más prolongados. Bray 1 y Truog mostraron uniformidad aceptable en sus extracciones para la dosis de 1090 ppm por 100 g. suelo y el período de muestreo a los tres días, en el cual la extracción de fósofor fue, también, máxima para las tres soluciones.

TABLA 3

ANALISIS DE CARACTERIZACION*

Suelos	Textura	pH activo	% M.O.	P. ppm. Bray I	P. ppm. Bray II	P. ppm. Cenicafé	N.Org. Tot.%	Ca. Meq/100	Mg. Meq/100	K Meq/100	Bases T Meq/100
Cenicafé	FA	6.6	4.2	10.1	23.1	24	0.241	9.5	3.3	0.34	13.1
Naranjal	FA	4.8	11.7	4.5	14.0	23	0.566	1.0	0.4	0.11	1.5
Paraguaycito	AF	5.6	7.4	20.3	37.1	11	0.370	5.8	2.8	0.84	9.4

(*) Análisis realizado por el Departamento de Química Agrícola del Centro Nacional de Investigaciones de Café de Chinchiná, Caldas.-

TABLA 4

P total, P fertilizante y P nativo del suelo determinado en los extractos Bray I, Bray II y Truog, para los tres suelos y los cuatro períodos de extracción empleados.

γ de P por 100 g. de suelo*

Trat.	Bray I			Bray II			Truog		
	P_{total}	P_{suelo}	$P_{fert.}$	P_{total}	P_{suelo}	$P_{fert.}$	P_{total}	P_{suelo}	$P_{fert.}$
	Dosis de 1090 γ (= 50 kg. P_2O_5/ha.)								
E_1S_1	288.7	266.7	22.0	581.4		20.0	752	730	21.2
E_2S_1	749.6	716.3	33.0	883.8	861.8	21.8	624	610	12.6
E_3S_1	511.5	508.2	3.0	289.0	279.7	9.2	484	474	9.6
E_4S_1	406.3	396.6	9.7	187.1	181.5	5.6	592	584	7.2
E_1S_2	73.9	72.3	1.2	181.2	178.5	2.5	204	188	16.8
E_2S_2	58.6	50.0	8.2	110.6	108.2	2.4	244	240	3.4
E_3S_2	258.1	256.7	1.3	191.5	190.1	1.1	150	146	2.8
E_4S_2	105.2	104.6	0.7	24.3	22.6	1.6	252	248	3.6
E_1S_3	75.9	73.3	3.3	278.1	268.7	9.2	352	334	18.4
E_2S_3	163.5	158.5	4.7	677.3	668.3	8.5	280	276	4.0
E_3S_3	472.2	466.5	5.7	536.8	527.1	9.3	234	226	8.0
E_4S_4	208.8	204.8	4.3	634.4	624.4	9.9	198	192	6.0

* Promedios de cinco replicaciones

E_1, E_2, E_3, E_4 : extracciones a los 3, 6, 9 y 12 días, respectivamente.

S_1, S_2, S_3: suelos " Cenicafé ", " Naranjal " y " Paraguaycito ", respectivamente.

TABLA 5

P total, P fertilizante y P nativo del suelo determinado en los extractos Bray I, Bray II y Truog, para los tres suelos y los cuatro períodos de extracción empleados.

γ de P por 100 g. de suelo *

Trat.	Bray I			Bray II			Truog		
	P_{total}	P_{suelo}	$P_{fertil.}$	P_{total}	P_{suelo}	$P_{fert.}$	P_{total}	P_{suelo}	$P_{fert.}$
	Dosis de 2180 γ (= 100 kg. P_2O_5/ha.)								
E_1S_1	407.6	381.3	27.6	478.9	462.2	16.6	718	686	31.4
E_2S_1	846.5	762.0	83.6	538.5	502.5	40.6	764	732	30.8
E_3S_1	637.7	630.0	7.7	279.1	264.7	14.1	529	502	19.8
E_4S_1	404.9	387.9	19.0	304.4	296.4	7.9	706	682	26.6
E_1S_2	19.6	19.3	0.3	168.8	155.5	3.1	143	130	12.2
E_2S_2	301.7	298.7	3.0	55.6	47.3	8.4	218	208	8.4
E_3S_2	320.7	318.0	2.3	39.6	38.3	1.3	152	148	3.4
E_4S_2	207.1	206.1	1.0	48.0	45.0	3.0	264	258	8.4
E_1S_3	46.3	43.6	2.7	1.192.5	1.153.3	38.4	388	360	18.0
E_2S_3	279.1	262.7	16.0	1.337.7	1.278.4	58.6	429	398	19.6
E_3S_3	466.5	458.5	8.0	605.1	587.7	17.4	246	232	13.8
E_4S_3	280.7	273.7	6.7	368.3	355.0	14.3	150	134	18.0

* Promedios de cinco replicaciones

E_1, E_2, E_3, E_4: extracciones a los 3, 6, 9 y 12 días, respectivamente

S_1, S_2, S_3 : suelos " Cenicafé ", "Naranjal" y "Paraguaycito", respectivamente.

TABLA 6

P total, P fertilizante y P nativo del suelo determinado en los extractos Bray I, Bray II y Truog para los tres suelos y los cuatro períodos de extracción empleados.

γ de P por 100 g. de suelo *

Trat.	Bray I			Bray II			Truog		
	P_{total}	P_{suelo}	$P_{fert.}$	P_{total}	P_{suelo}	$P_{fert.}$	P_{total}	P_{suelo}	$P_{fert.}$
	Dosis de 3270 γ (= 150 kg. P_2O_5 /ha.)								
E_1S_1	617.7	517.8	99.5	545.1	521.1	23.8	758	700	56.0
E_2S_1	1.146.2	1.025.3	120.5	894.8	820.2	74.4	644	598	44.4
E_3S_1	483.5	471.9	11.7	193.8	171.8	21.1	528	504	23.0
E_4S_1	273.4	243.4	30.0	241.4	222.1	18.8	578	550	26.6
E_1S_2	51.6	50.6	1.0	323.7	303.4	20.3	374	350	23.6
E_2S_2	34.6	33.6	0.7	153.2	147.2	6.0	236	216	19.0
E_3S_2	350.3	347.3	2.7	34.6	32.0	2.6	170	160	8.4
E_4S_2	257.7	256.4	1.3	49.0	46.6	2.2	384	376	8.4
E_1S_3	77.3	72.6	4.7	424.6	396.3	21.3	342	298	43.0
E_2S_3	249.1	236.1	13.0	599.1	563.4	35.4	382	362	19.6
E_3S_3	540.1	523.5	16.7	255.7	241.1	14.6	270	256	13.8
E_4S_3	322.1	213.7	8.7	759.2	729.9	29.2	350	332	18.0

* Promedios de cinco replicaciones

E_1, E_2, E_3, E_4 : extracciones a los 3, 6, 9 y 12 días, respectivamente.

S_1, S_2, S_3 : suelos " Cenicafé ", " Naranjal " y " Paraguaycito ", respectivamente.

TABLA 7

Porcentajes de fósforo fertilizante en los extractos Bray I, Bray II Truog, de los suelos " Cenicafé", " Naranjal" y " Paraguaycito," en los cuatro períodos de extracción empleados

Trat.	Solución Extractora					
	Bray I		Bray II		Truog	
	% del P Total	% del P aplicado	% del P total	% del P aplicado	% del P Total	% del P aplicado
	Dosis de 1.090 γ por 100 g. suelo					
E_1S_1	7.60	2.00	3.40	1.80	2.80	1.90
E_2S_1	4.40	3.00	2.50	2.00	2.00	1.20
E_3S_1	0.60	0.30	3.20	0.80	2.00	0.90
E_4S_1	2.40	0.90	3.00	0.50	1.20	0.70
E_1S_2	1.60	0.10	1.40	0.20	0.20	1.50
E_2S_2	14.00	0.80	2.20	0.20	1.40	0.30
E_3S_2	0.50	0.10	0.60	0.10	1.90	0.30
E_4S_2	0.70	0.10	6.60	0.10	1.40	0.20
E_1S_3	4.30	0.30	3.30	0.80	5.20	1.70
E_2S_3	2.90	0.40	1.30	0.80	1.40	0.40
E_3S_3	1.20	0.50	1.70	0.90	3.40	1.70
E_4S_3	2.10	0.40	1.60	0.90	3.00	0.60
	Dosis de 2180 γ por 100 g. suelo					

Trat	% del P Total	% del P aplicado	% del P. total	% del P aplicado	% del P Total	% del P aplicado
E_1S_1	6 80	1.26	3.50	0.76	4.30	1.40
E_2S_1	9 90	3.83	7.50	1 86	4.00	1.40
E_3S_1	1 20	0 35	5.10	0.64	3.80	0.90
E_4S_1	4 70	0.87	2.60	0.36	3.70	1.20
E_1S_2	1.50	0.01	2.00	0.14	8.50	0.50
E_2S_2	1.00	0.13	15.10	0.38	3.80	0.38
E_3S_2	0 70	0.10	3.30	0.05	2.20	0.15
E_4S_2	0 50	0.04	6 30	0.13	3.10	0.38
E_1S_3	5 80	0.12	3.20	1.76	4.60	0.32
E_2S_3	5 70	0.73	4.40	2.68	4.60	0.89
E_3S_3	1 70	0.36	2.90	0.79	5.60	0.63
E_4S_3	2.40	0 30	3 90	0.65	12.00	0.82

Dosis de 3270 γ por 100 g. suelo.

Trat	% del P Total	P del P aplicado	% del P total	% del P aplicado	% del P total	% del P aplicado
E_1S_1	16.10	3.00	4.36	0.72	7.30	1.71
E_2S_1	10.50	3.60	8.31	2.27	6.30	1.35
E_3S_1	2.40	0.35	10.88	0.64	4.30	0.70
E_4S_1	10.90	0.91	7.78	0.57	4.60	0.81
E_1S_2	1.90	0.03	6.20	0.62	6.30	0.72
E_2S_2	2.00	0.02	3.90	0.18	8.05	0.58
E_3S_2	0.77	0.08	7.50	0.07	4.90	0.25
E_4S_2	0.50	0.03	4.40	0.06	2.10	0.25
E_1S_3	6.00	0.14	5.00	0.65	12.5	1.31
E_2S_3	5.20	0.39	5.90	1.08	5.1	0.59
E_3S_3	3.00	0.51	5.70	0.44	5.1	0.42
E_4S_3	2.70	0.26	3.80	0.39	5.1	0.55

E_1, E_2, E_3, E_4 : extracciones a los 3, 6, 9 y 12 días respectivamente

S_1, S_2, S_3 : Suelos " Cenicafé", " Naranjal ", y " Paraguaycito", respectivamente

TABLA 8

Actividades específicas en uCi /g. de P encontradas en los extractos Bray I Bray II y Truog para los períodos de extracción a los 3, 6, 9, y 12 días y los suelos " Cen café", " Naranjal", " Paraguaycito" *

Tratamiento	Solución extractora		
	Bray I	Bray II	Truog
$E_1S_1P_1$	394.45	214.22	195.69
$E_2S_1P_1$	290.50	218.40	158.26
$E_3S_1P_1$	58.32	643.46	178.90
$E_4S_1P_1$	175.61	137.28	75.91
$E_1S_1P_2$	444.77	270.69	275.20
$E_2S_1P_2$	929.12	566.22	296.64
$E_3S_1P_2$	79.56	323.02	431.61
$E_4S_1P_2$	304.57	221.00	215.21
$E_1S_1P_3$	1.100.22	293.17	557.99
$E_2S_1P_3$	701.77	297.63	582.57
$E3S_1P_3$	187.02	952.57	443.87
$E_4S_1P_3$	888.43	748.67	655.15

$E_1S_2P_1$	50.56	84.06	181.28
$E_2S_2P_1$	119 98	237.43	95.68
$E_3S_2P_1$	30.17	308 82	168.73
$E_4S_2P_1$	49 29	647.80	104.34
$E_1S_2P_2$	303 88	128.45	841.78
$E_2S_2P_2$	87 41	619 08	239 52
$E_3S_2P_2$	48 94	321 07	185.91
$E_4S_2P_2$	38 03	947 51	153 40
$E_1S_2P_3$	72 00	317.94	432 01
$E_2S_2P_3$	240 34	577 83	585 02
$E_3S_2P_3$	59 48	593 75	400.66
$E_4S_2P_3$	42 84	302.26	174.73
$E_1S_2P_3$	256.22	223.40	391 84
$E_2S_2P_3$	187.20	93.46	212 14
$E_3S_2P_3$	82 79	271.16	206.43
$E_4S_2P_3$	756 22	161.81	250 33

$E_1S_3P_1$	1 457.71	272.69	404.65
$E_2S_3P_1$	878.77	495.09	380.35
$E_3S_3P_1$	131.86	191.71	778.82
$E_4S_3P_1$	359.94	267.88	516.70
$E_1S_3P_2$	526.52	429.51	1.146.63
$E_2S_3P_2$	1 069.03	625.74	323.65
$E_3S_3P_2$	345.41	381.31	842.02
$E_4S_3P_2$	641.35	259.16	372.91

---

* Promedio de cinco replicaciones

E_1, E_2, E_3 E_4: extracciones a los 3, 6, 9 y 12 días, respectivamente

S_1, S_2, S_3 : suelos "Cenicafé", "Naranjal" y "Paraguyacito", respectivamente

P_1 = 50 kg P_2O_5/ha.

P_2 = 100 kg P_2O_5/ha

P_3 = 150 kg P_2O_5/ha

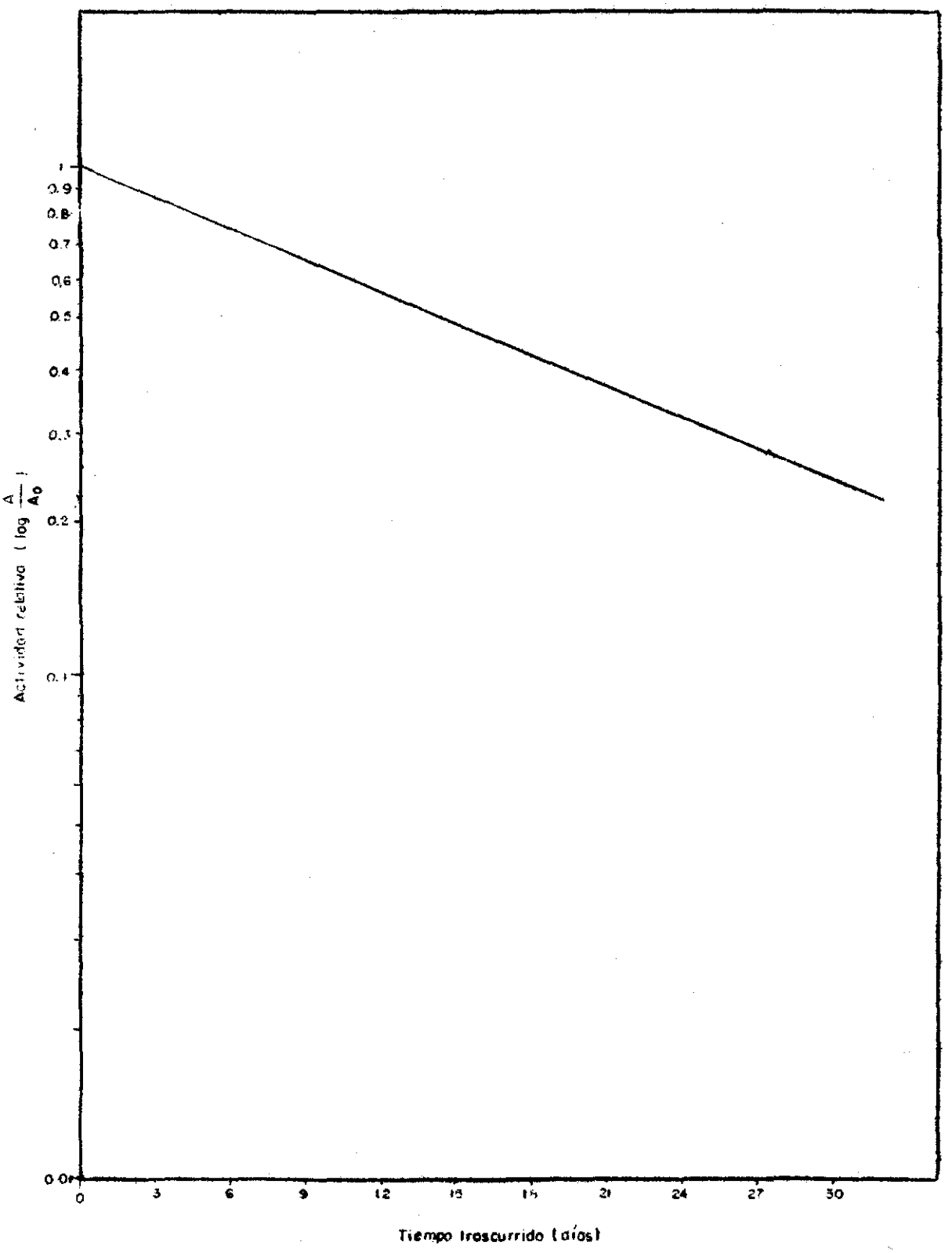


FIG.-1 Curva de desintegración del Radionúclido ^{32}P

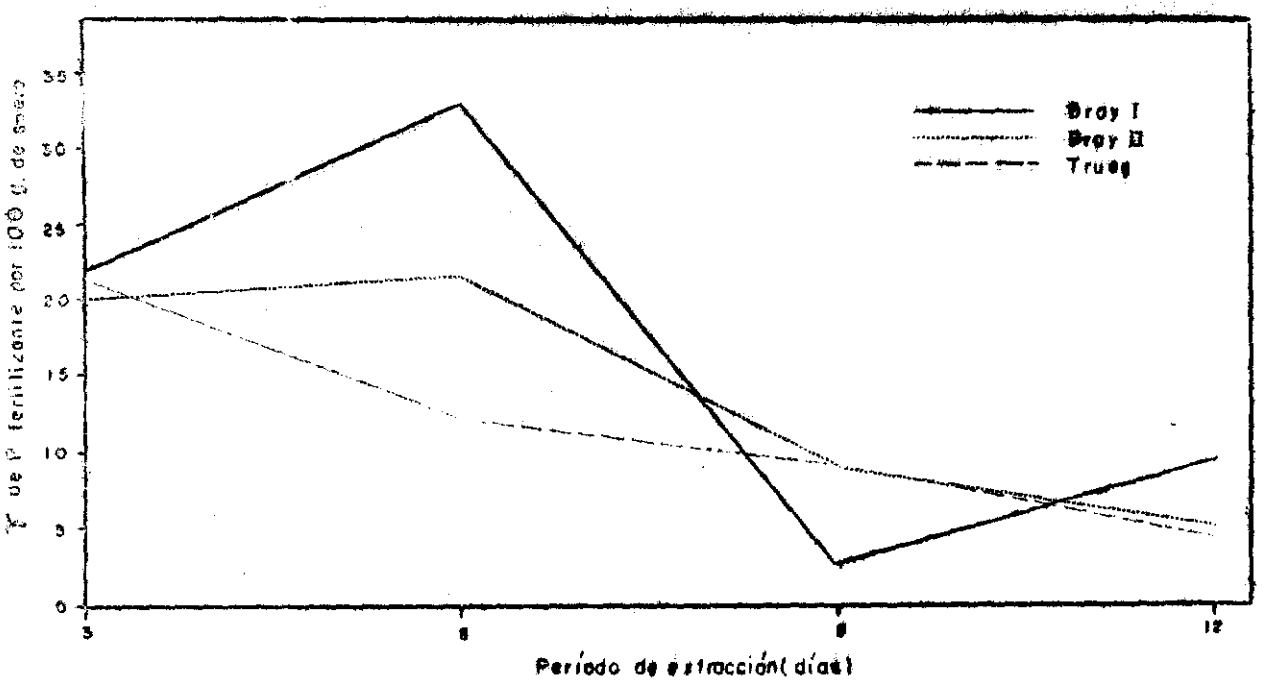


FIG.— 2 Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Cenicafé". Dosis 1.090 g por 100 g. (50 kg.P_2O_5/ha).

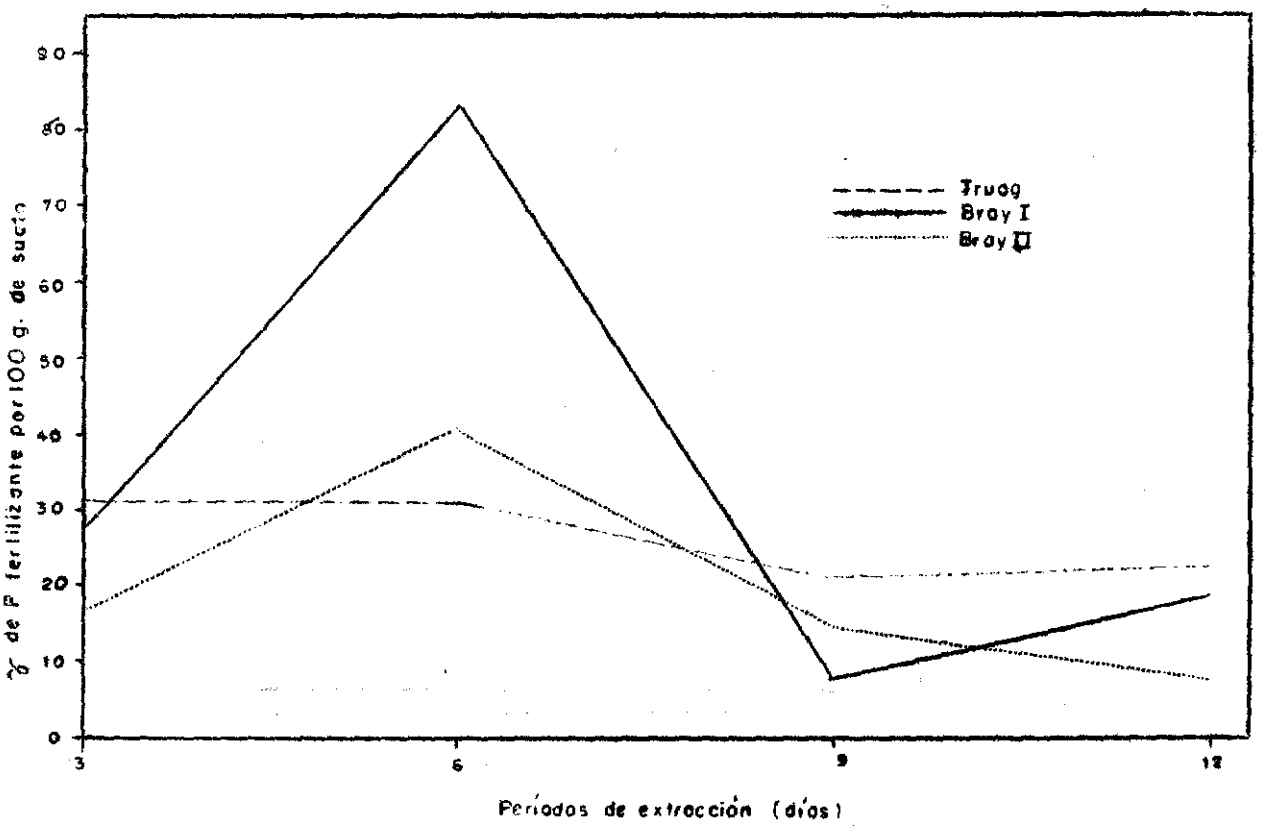


FIG.— 3 Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Cenicafé". Dosis 2.180 g por 100 g. (100 kg. P_2O_5/ha.).

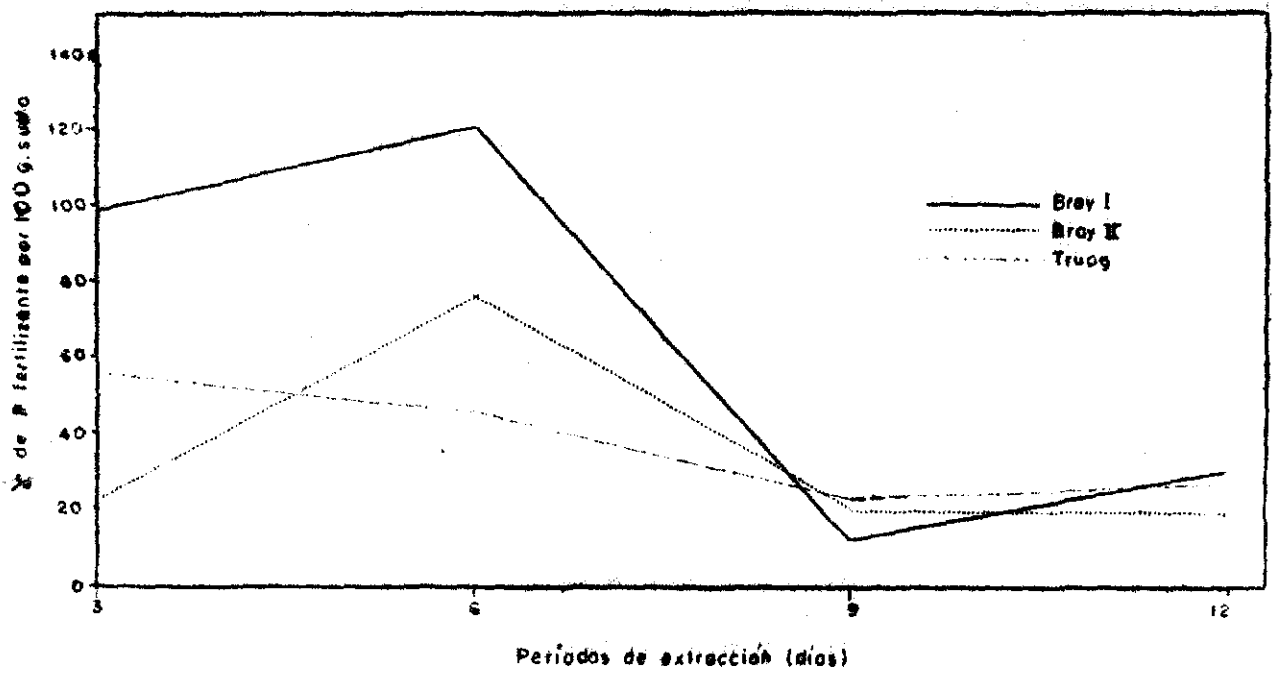


FIG.- 4 Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad - del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Cenicafé". Dosis 3.270 γ por 100 g. - (150kg. P_2O_5/ha.).

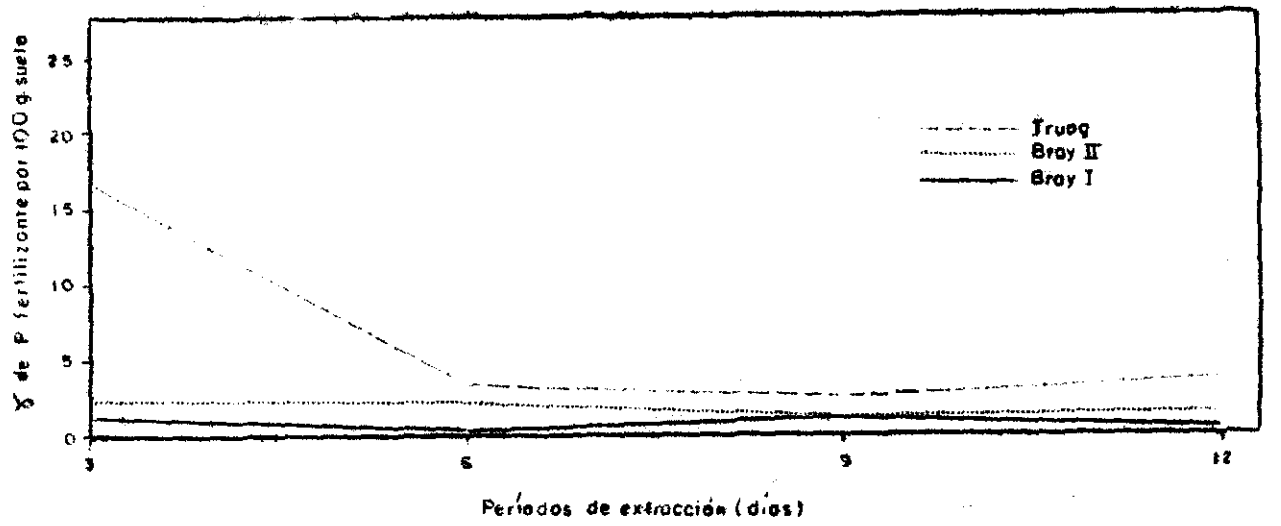


FIG.-5 Influencia del período de muestre sobre la disponibilidad del - fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Naranjal". Dosis 1.090 γ .

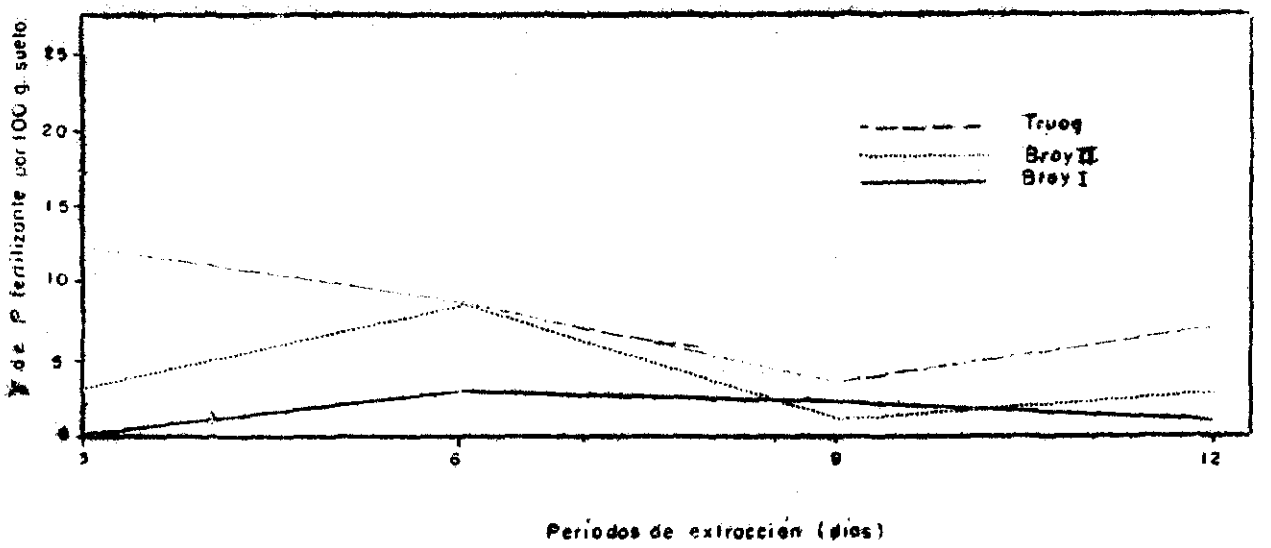


FIG - 6 Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Naranjal". Dosis 2.180 % .

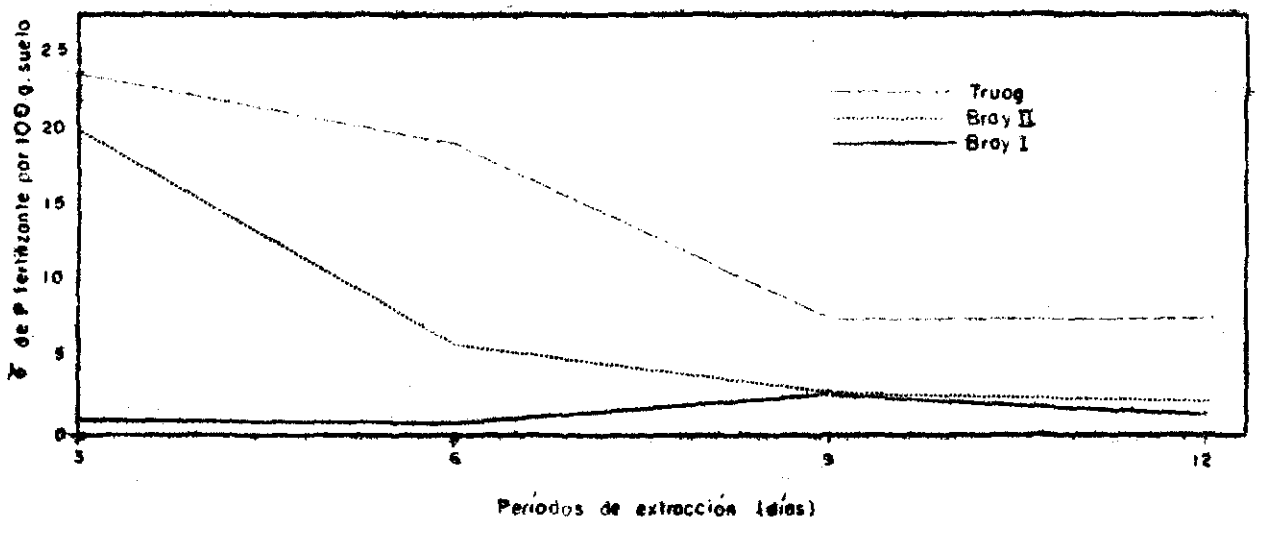


FIG. - 7 Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Naranjal". Dosis 3.270 % .

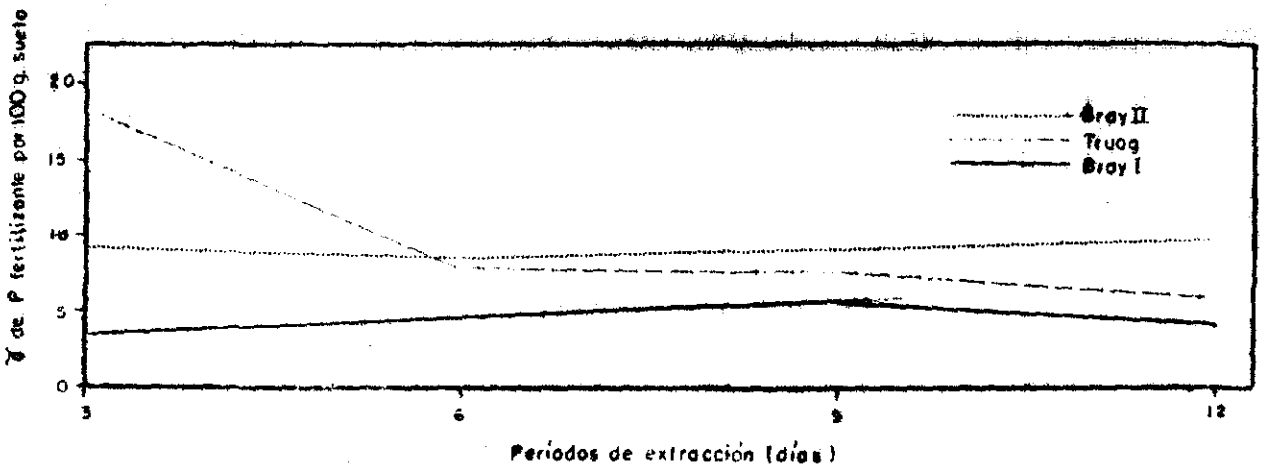


FIG.—8 Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 1.090 γ .

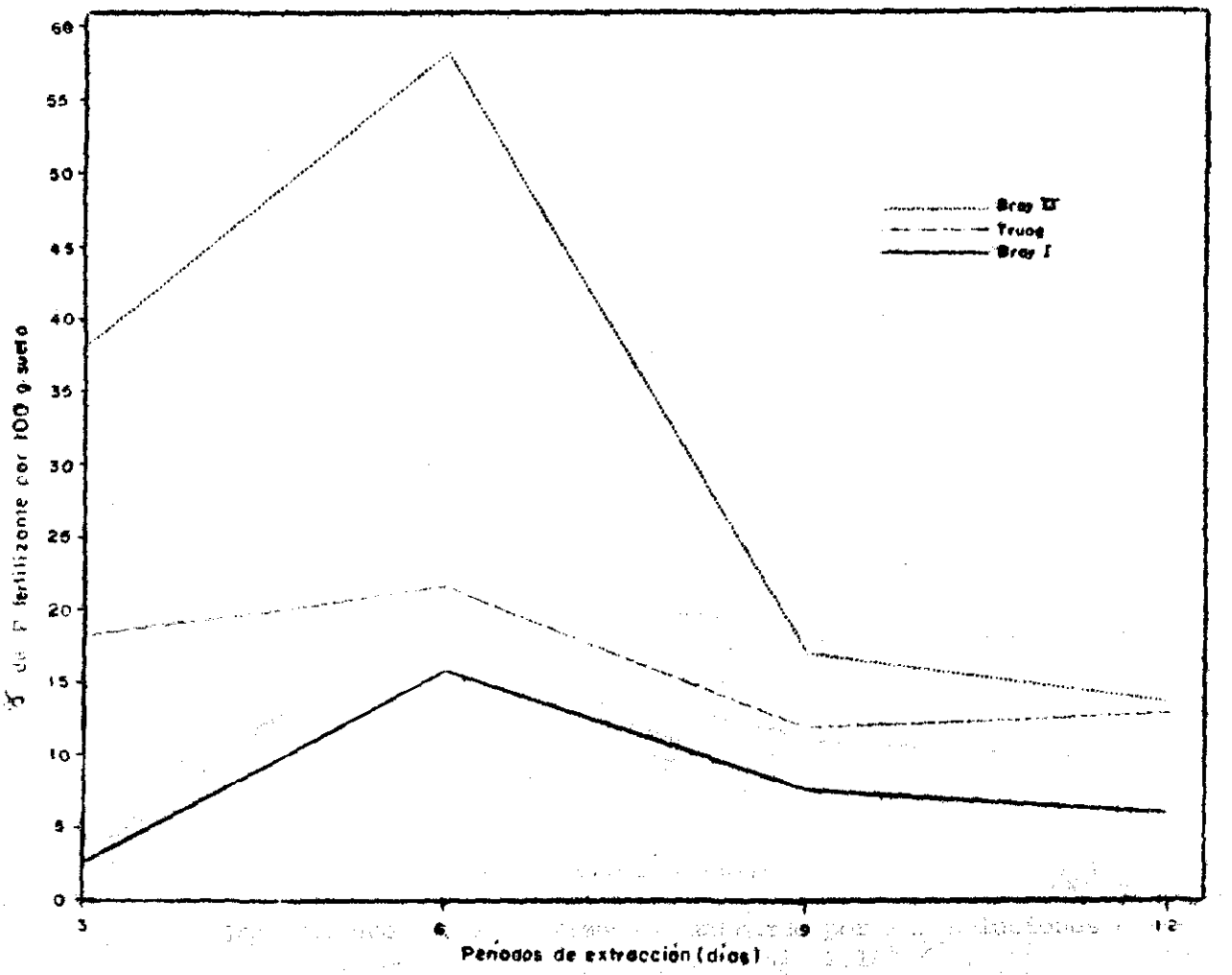
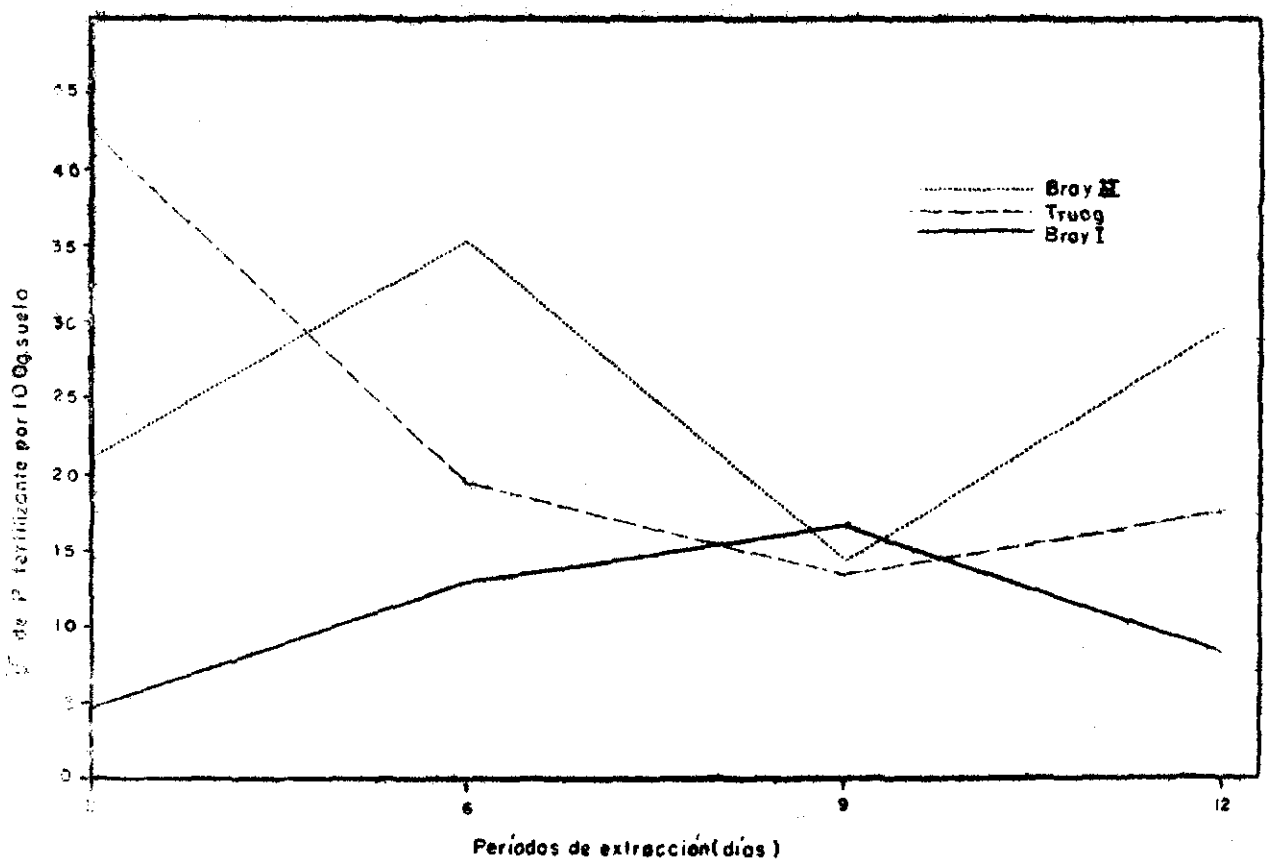
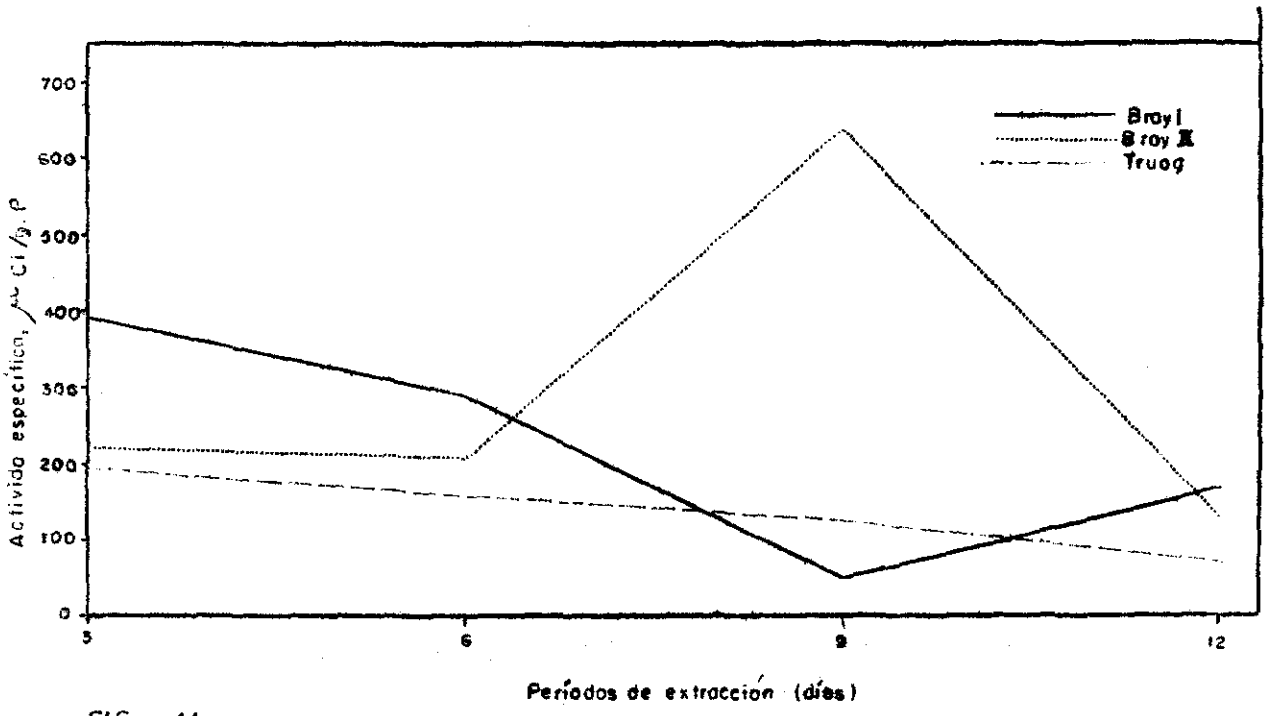


FIG.—9 Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 2.180 γ .



FIG—10 Influencia del período de muestreo sobre la disponibilidad del fósforo proveniente del fertilizante, extraído por las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 3.270 γ .



FIG—11 Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog.. Suelo "Ceni café". Dosis 1.090 γ .

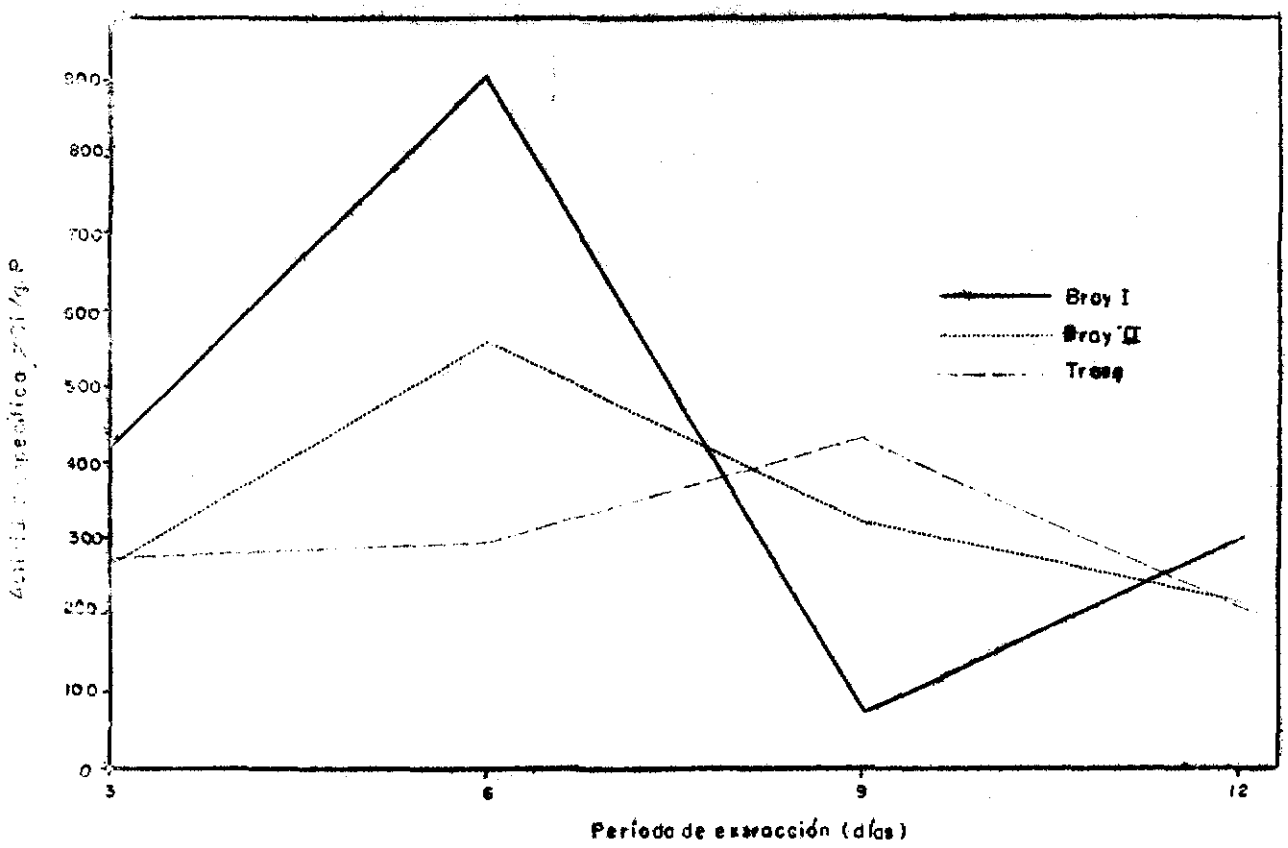


FIG.-12 Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Cenicafé. Dosis 2.180 γ .

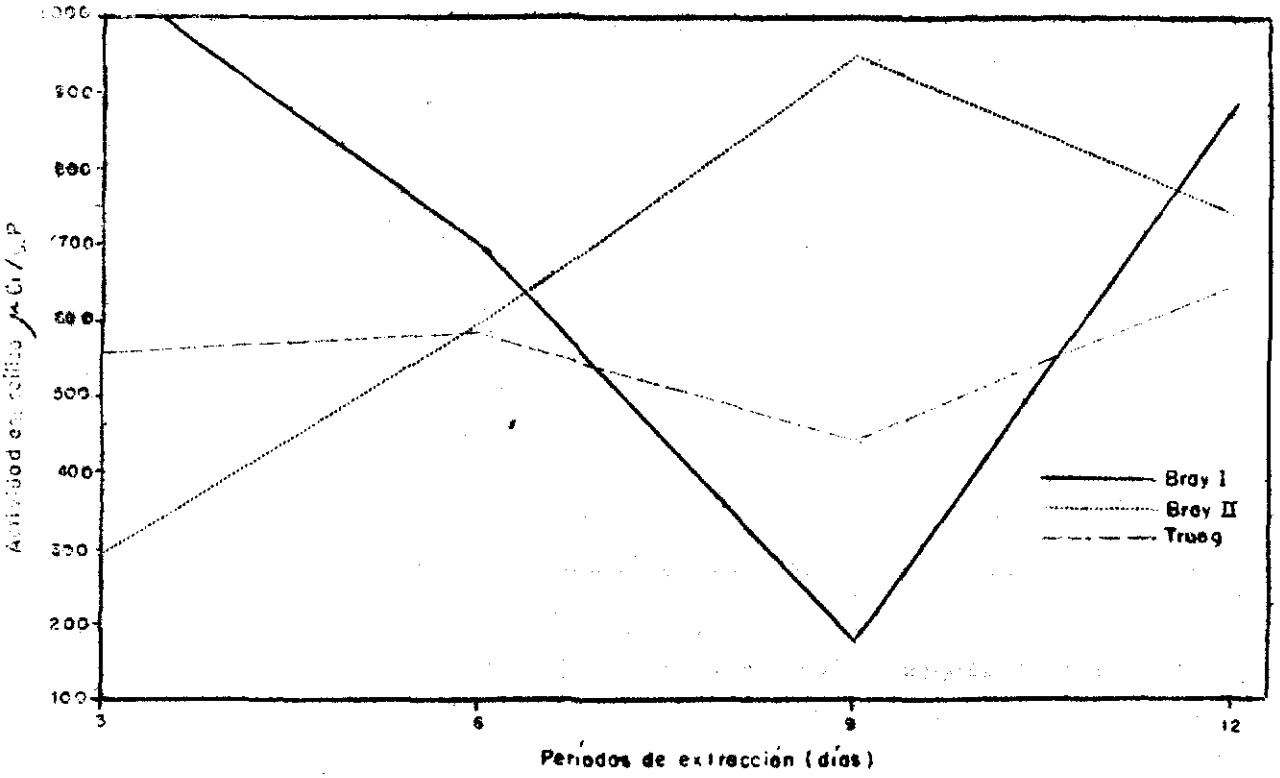


FIG.-13 Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Cenicafé". Dosis 3.270 γ .

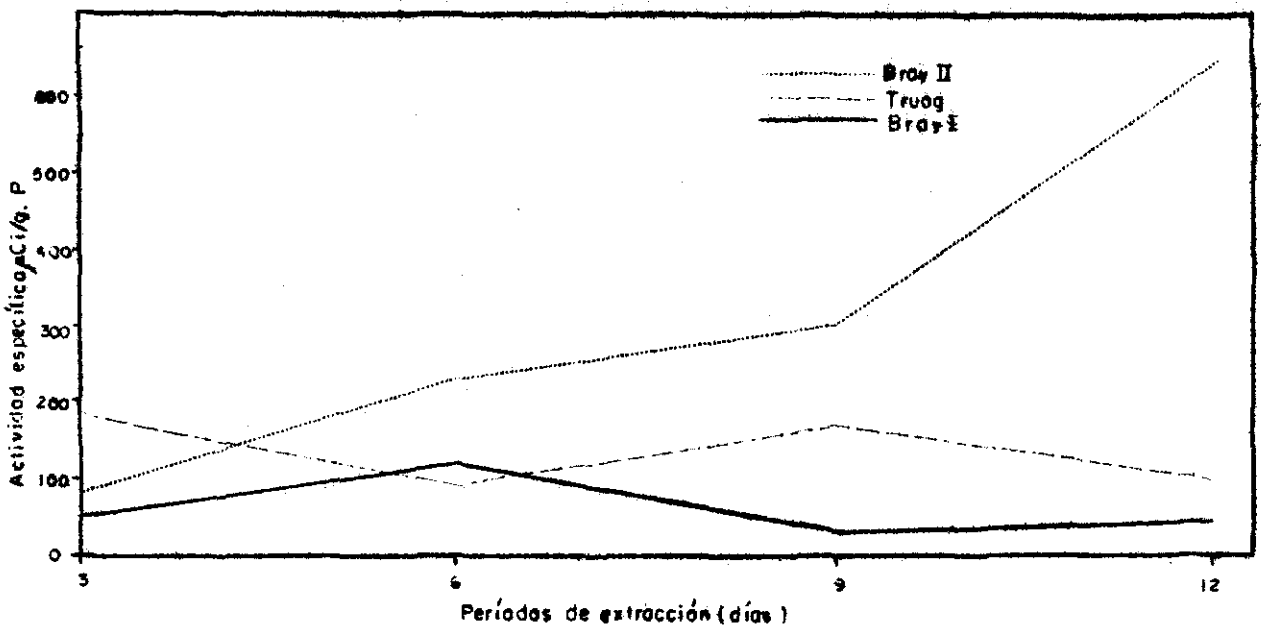


FIG.—14 Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Naranjal". Dosis 1.090 γ .

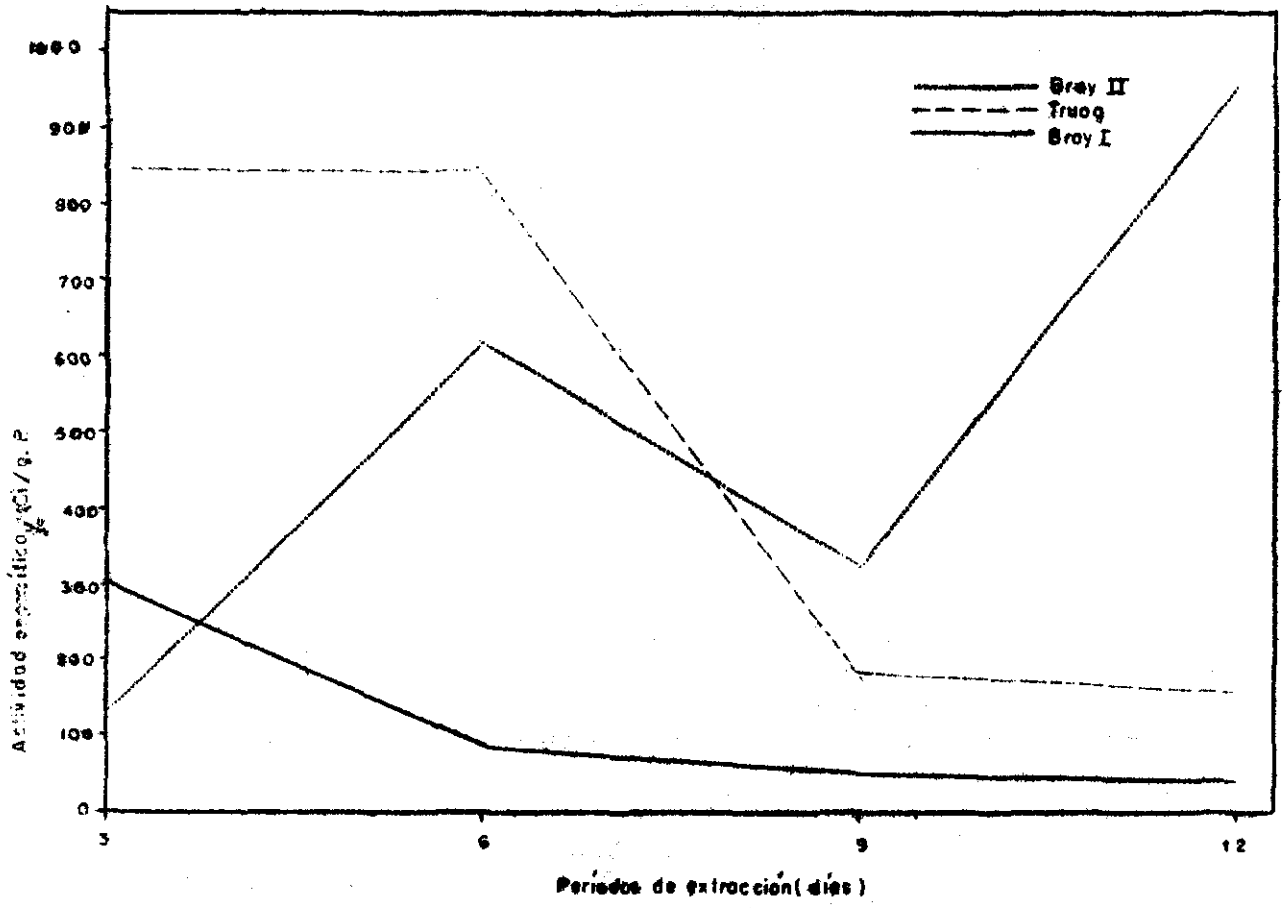


FIG.—15 Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I Bray II y Truog. Suelo "Naranjal". Dosis 2.180 γ .

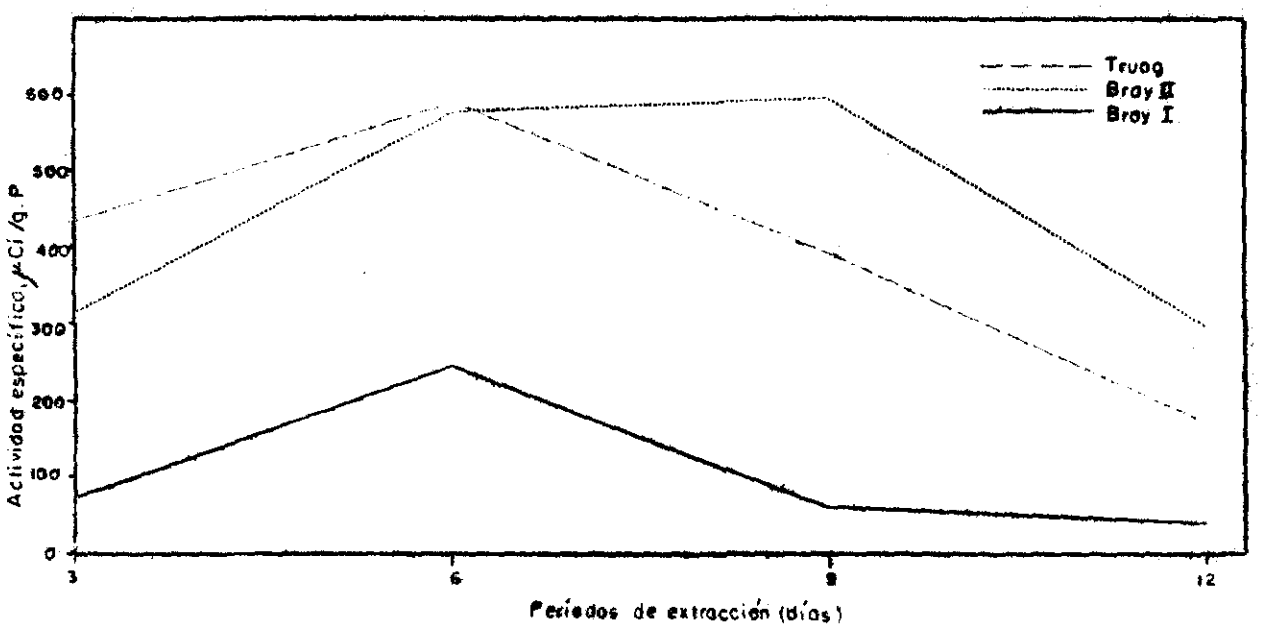


FIG.—16 Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Naranjal". Dosis 3.270 γ .

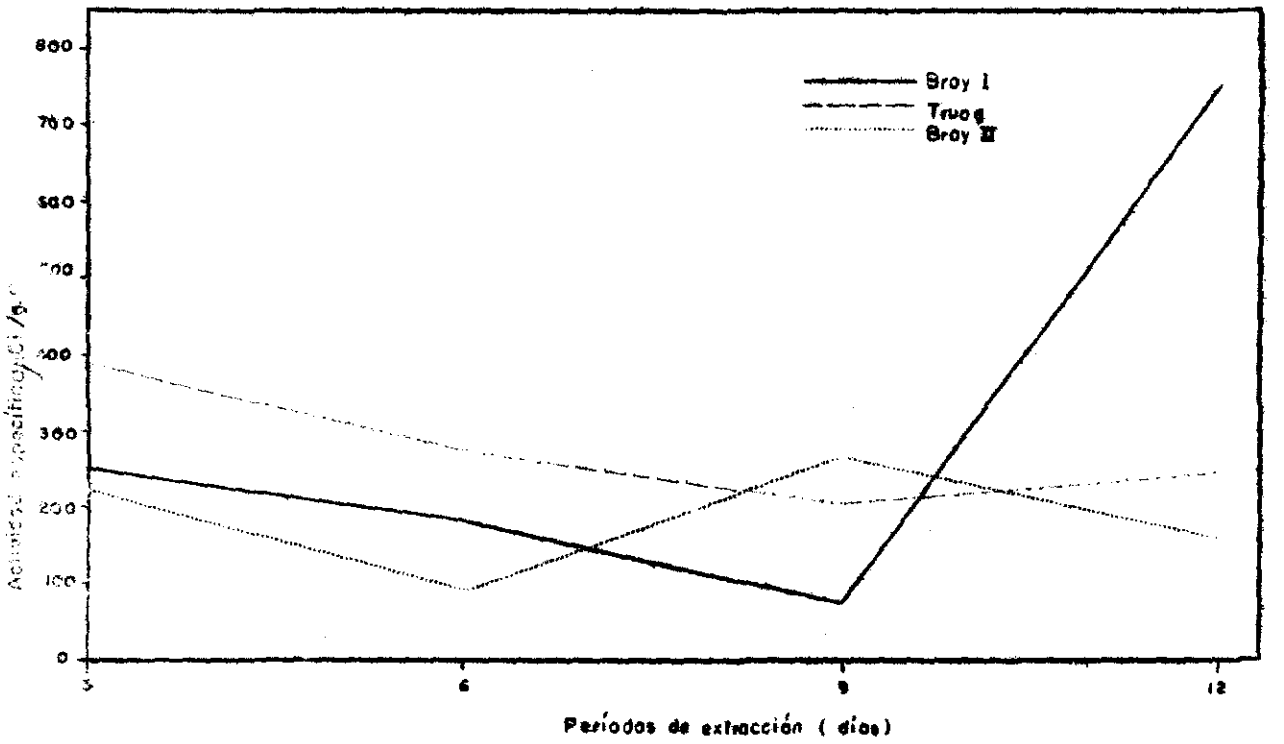


FIG.—17 Variación de la actividad específica a través de los períodos - de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 1.090 γ .

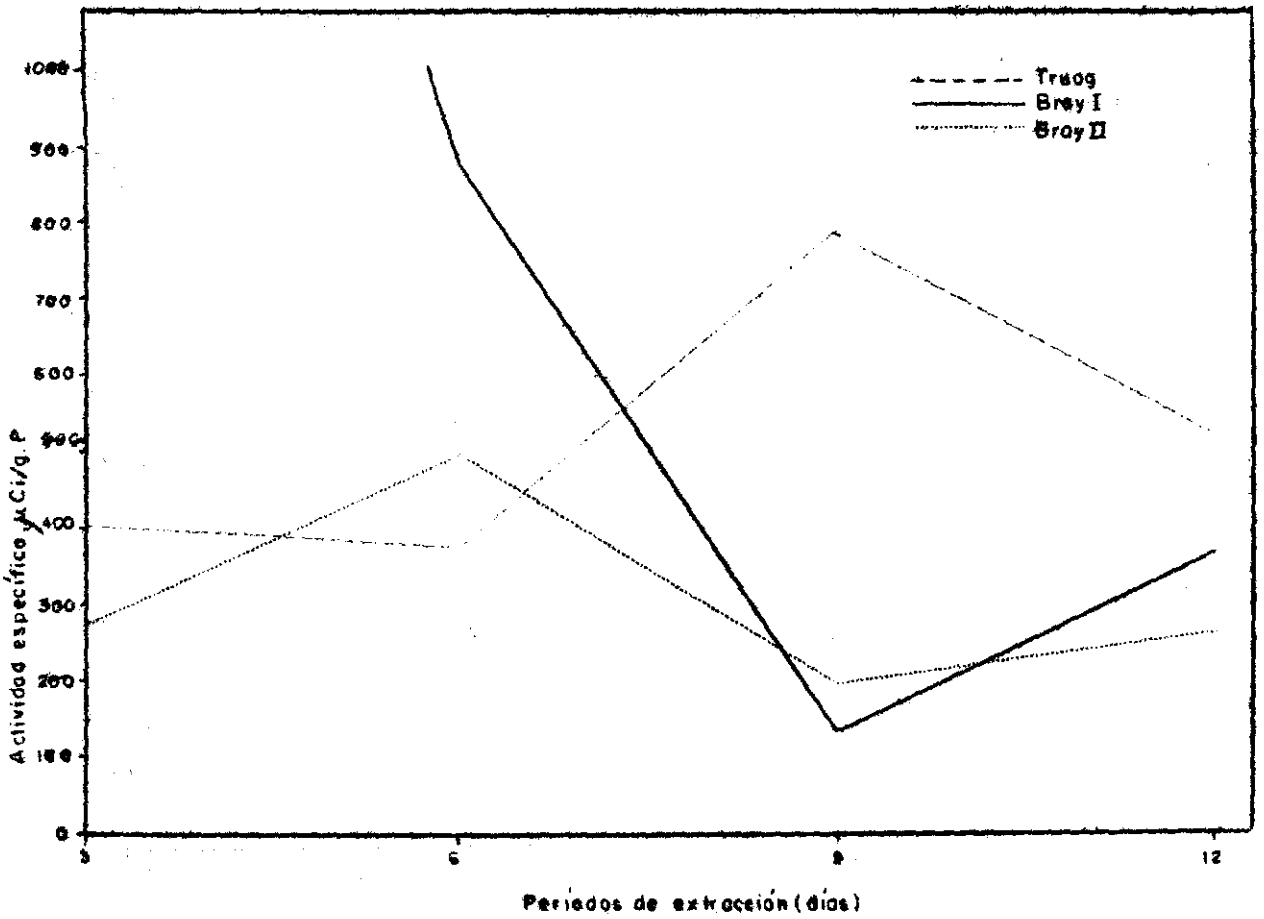
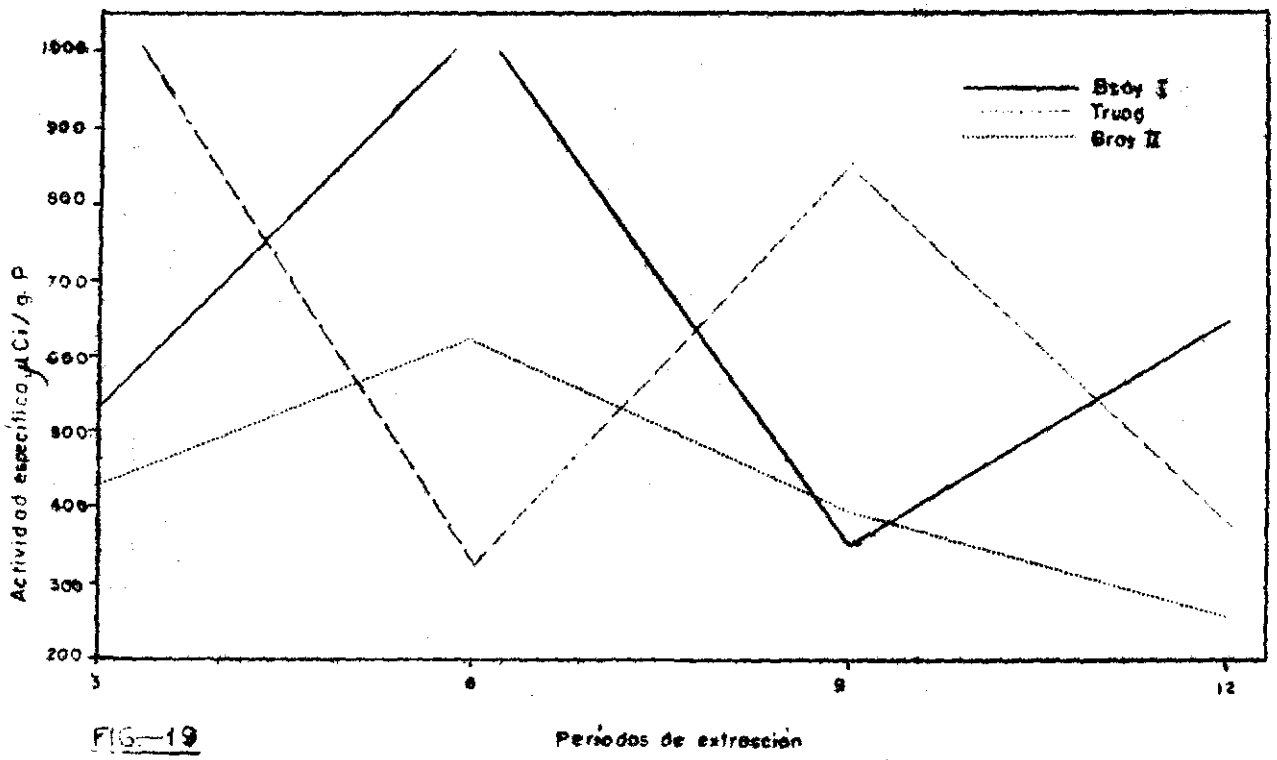


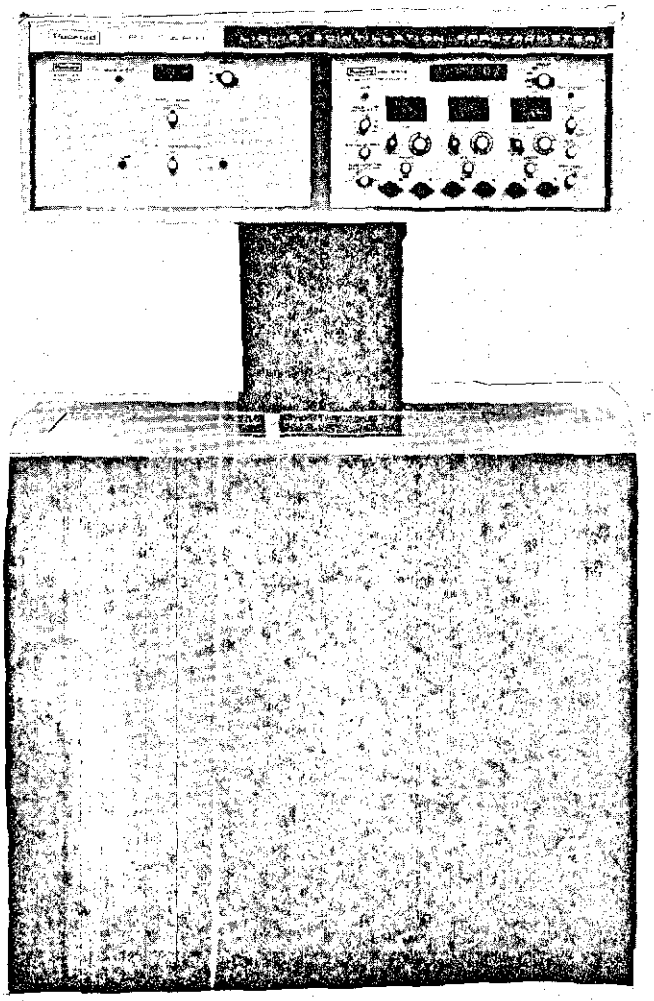
FIG.—18 Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 2.180 γ .



FIG—19

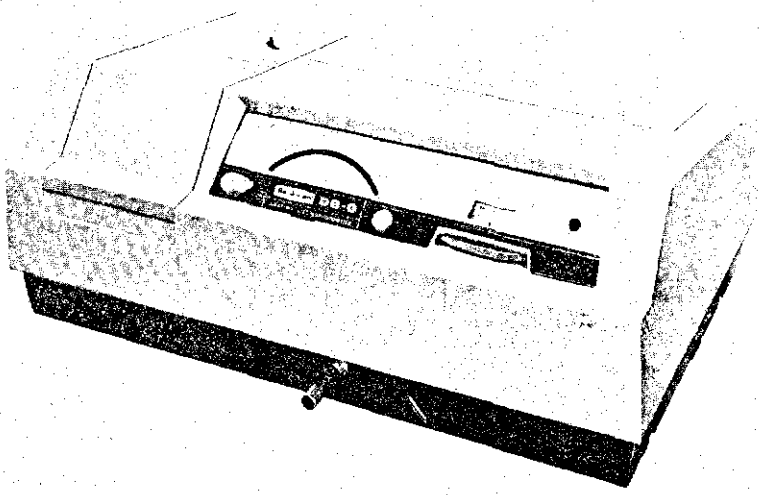
Variación de la actividad específica a través de los períodos de extracción, con las soluciones Bray I, Bray II y Truog. Suelo "Paraguaycito". Dosis 3,270 γ .

APENDICE 1



Espectrómetro de centelleo líquido Tri-Carb modelo 3320, usado en el experimento.

APENDICE 2



Espectrofotómetro Beckman modelo DB-G, usado en el experimento.

APENDICE 3

GLOSARIO

ACTIVIDAD. Es el número de desintegraciones por unidad de tiempo. También se expresa en otras unidades, como el - Curio.

ACTIVIDAD ESPECIFICA. Es el cociente entre la actividad de un radionúclido y la masa existente del elemento químico al cual pertenece el radionúclido. Dicha masa de - elemento comprende la masa del mismo radionúclido en sí y, además, la masa de los núclidos estables que - sean isótopos del radionúclido en cuestión y que lo acompañen.

ATOMO. Partícula divisible, compuesta de un núcleo central integrado principalmente por nucleones, y de un cortejo de electrones que giran alrededor de dicho núcleo.-

CONCENTRACION RADIACTIVA. Es el cociente entre la actividad de un radionúclido y el volúmen líquido o gaseoso en el cual está distribuído.

COSNTANTE DE DESINTEGRACION. Denominada también "donstante radiactiva", es la "fracción" del número de átomos radiactivos que se desintegran por unidad de tiempo.

CONTADOR DE CENTELLEO. Aparato para contar partículas atómicas - por medio de diminutos destellos que las partículas - producen al chocar con ciertos cristales.

CONTAJE. Número total de pulsos que registra un aparato, causados por la actividad de un radionúclido. Indice de contaje es el cociente entre el contaje y el tiempo "para un instante dado". El índice de contaje se conoce también como rata de contaje.

CURIO. Cuyo símbolo es Ci, se define como $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo. Múltiplos: Kilocurio (kCi) y megacurio (MCi). Submúltiplos: milicurio (mCi), microcurio -- (uCi), nanocurio (nCi) y picocurio (pCi).

DECAIMIENTO RADIACTIVO. Es la reducción en la cantidad de material inestable con el tiempo. Las nuevas sustancias formadas por desintegración de los átomos inestables se denominan productos de decaímiento. Ejemplo: Para el Cl-36 el producto de decaímiento es el Ar-36. La rata de decaímiento es diferente para cada núclido inestable.

DESINTEGRACION. Es el cambio espontáneo de un átomo individual - en otro átomo. Ejemplo: uno de los átomos del radionú-- clido C-14, en un instante dado y de manera espontánea , se cambia en un átomo individual de N-14.

EFICIENCIA DE CONTAJE. Se define como la relación C/A. En donde C es la rata de contaje neto y A la actividad teórica del núclido.

ELECTRON VOLTIO. (eV). Es la energía que adquiere un electrón a través de una diferencia de potencial de un voltio. El megaelectrónvoltio vale un millón de electronvoltios: 1 MeV = 10^6 eV.

ELEMENTO. Es un conjunto de átomos caracterizado por el número de protones.

ENERGIA ATOMICA. La energía liberada en reacciones nucleares. -- De interés particular es la energía liberada -- cuando el núcleo del átomo se divide en pedazos más pequeños (fisión) ó cuando dos núcleos se - juntan bajo la influencia de temperaturas de millones de grados (fusión). "Energía atómica" - es en realidad un nombre vulgar inexacto. El - término correcto es el de "energía nuclear".

FACTOR DE CORRECCION. Es el número por el cual se debe multiplicar la lectura de un instrumento para obtener - el verdadero valor del fenómeno físico que di-- cho instrumento mide.

ISOTOPOS. Son los núclidos que tienen igual número de protones - pero diferente número de neutrones.

MARCACION. Confiere a un material las cualidades que lo hacen -- discernible en virtud de su radiactividad. Para ello se le mezclan algunos átomos radiactivos.

NUCLIDO. Es un conjunto de átomos caracterizado por el número de protones y por el número de neutrones y, en ciertos casos en que estos dos número no bastan, por el nivel de energía.

NUCLIDOS ESTABLES. Son aquellos cuyos núcleos permanecen inalterados a través del tiempo, mientras no haya acción extranuclear que los afecte. Ejemplo: N-14, N-15, Cl-35, Cl-37, Au-197.

NUCLIDOS RADIACTIVOS. Son aquellos que se cambian en otros núclidos, de manera espontánea y gradual a través del tiempo. Se llaman también "radionúclidos" y "radioisótopos". - Ejemplo: N-16, Cl-36, Au-198.

PERIODO FISICO. Llamado también "período de semidesintegración"- ("half life"). Es el tiempo que se requiere para que - el número de átomos radiactivos de una muestra quede reducido a la mitad de su valor inicial.

RADIONUCLIDO LIBRE DE PORTADOR. ("Carrier free"). Es un radio - núclido que no está acompañado de ninguno de sus isótopos estables.

RADIACION. Emisión, por los núcleos atómicos de partículas rapidísimas o de rayos. Las tres principales clases de radiación son: alfa, beta y gama.

RADIACION DE FONDO ("BACKGROUND). La radiación de fondo se detecta siempre en un contador. Proviene de fuentes dis

tintas del material radiactivo que se estudia. Este "fondo", se debe principalmente a los rayos cósmicos que constantemente bombardean la tierra procedentes del espacio exterior;

RADIACION DE CERENKOV. Luminiscencia azulada emitida por los electrones que atraviesan un material transparente - como el agua. Es ésta la radiación visible durante el funcionamiento de algunos reactores nucleares.

RADIACTIVIDAD. Cambio espontáneo y gradual de un núclido en - otro núclido.

RADIACION ALFA (α). Partícula compuesta de dos protones y dos neutrones, que salen del núcleo de los átomos de ciertos radionúclidos. Los rayos alfa tienen idéntica -- composición que los núcleos de He-4; después de recorrer un corto trayecto, adquieren dos electrones y se convierten en átomos neutros de He-4.

RADIACION BETA. (β). Electrón negativo que sale del núcleo de los átomos de ciertos radionúclidos, cuando un neutrón se transforma espontáneamente en protón.

RADIACION GAMA (γ). Onda electromagnética, que por sí misma no tiene masa ni carga y que sale del núcleo de los - átomos de ciertos radionúclidos en el momento en que dicho núcleo pasa a un nivel inferior de energía, sin cambio en su composición.

Este GLOSARIO se basa en los siguientes textos :

GUZMAN, M. E. Núcleónica elemental. Sección de Radiofísica Sanitaria. Instituto de Asuntos Nucleares. Bogotá, Colombia.- 1972. (Mimeografiado).

USAEC Office of Technical Information Extension. Oak Ridge, - Tennessee. 1961.

THE AECL. Radioisotope Handbook. Technical Bulletin RP 3. -- Ottawa, Canadá. 1960.

REFERENCIAS

1.- AHENKORAH, Y. Phosphorus retention capacities of some cocoa-growing soils of Ghana and their relationship with soil -- properties. Soil Sci. 105: 24-30. 1968.

2.- BAKER, D. E. A study of isotopic dilution as a method for - relating phosphorus retention to availability of phosphorus in widely different soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 511-517. 1964.

3.- BOULDIN, D. R. and C. A. BLACK. Fertilizer evaluation: IV.- Use of P-32 -labeled fertilizers. Soil Sci. Soc. Amer. - Proc. 24:491-496. 1960.

4.- BRAY, R. H. and L. T. KURTZ. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45. 1945.

5.- GRIFFIN, G. F. and W. J. HAMA. Phosphorus fixation and profi table fertilization: Fixation en New Jersey soils. Soil Sci. 103:202-208. 1967.

6.- HABERET, VON K. Measurement of beta activities in aqueous - samples utilizing Cerenkov radiation. Packard Technical - Bulletin, Number 16, enero. 1966.

7.- HSU, P. H. Adsorption of phosphate by aluminum and iron in - soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28:474-478. 1964.

8.- LAVERTY, J. C. and E. O. MCLEAN. Factors affecting yields -- and uptake of phosphorus by different crops: Kinds of phos phate- native, applied and formed. Soil Sci. 91:166-171. 1961.

9.- LINNENBOM, V. J. Radioactivity applied to analytical chemistry. In: Radioactivity applied to chemistry. A. C. Wahl and N. A. Bonner, eds. John Wiley & sons, Inc., New York, pp. 82-801. 1951.

10.- LOPEZ, A. M. Valoración de las formas de fósforo, orgánica e inorgánica, de un suelo de la zona cafetera de Colombia. -- Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé 11(7): 189-204, Chinchiná, Caldas. 1960.

11.- MEJIA, G., H. KOHNKE, and J. L. WHITE. Clay mineralogy of certain soils of Colombia. Soil Sci. Soc. Amer. Proc.- 32: 665-670. 1968.

12.- TANDON, H. L. S. and L. T. KURTZ. Isotopic exchange characteristics of aluminum- and iron-bound fractions of soil phosphorus. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:799-802. - 1968.

13.- TISDALE, S. L. and W. L. NELSON. Factors influencing P retention in soils. Soil and fert. 2 ed. pp. 211-212.- 1966.

14.- TRUOG, E. The determination of readily available phosphate in soils. Jour. Amer. Soc. Agron. 22:874-882. 1930.

15.- VOLK V. V. and E. O. MCLEAN. The fate of applied phosphorus in four Ohio soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27:53-58. 1963.