

COMO APROVECHA EL CAFE LOS FERTILIZANTES

Estudio con Radiofósforo

Por:

Jaime PARRA H.*

Arturo McCORMICK N.**

INTRODUCCION

Las transformaciones del fósforo en el suelo, la reacción de los fertilizantes fosfóricos y el aprovechamiento de este elemento por la planta son fenómenos complejos que se han venido dilucidando por el perfeccionamiento de técnicas experimentales, como es el uso de substancias químicas "marcadas" con isótopos radiactivos.

La falta de claridad en estos cambios se debe a la tendencia reactiva del ácido ortofosfórico en el suelo, medio no homogéneo constituido por partículas minerales y orgánicas de diferente naturaleza, y al requerimiento propio de las plantas por este elemento nutritivo. Estas situaciones relacionadas entre sí o consideradas en conjunto por métodos apropiados de cultivo, se pueden expresar en un mayor desarrollo de las plantas y por consiguiente de la productividad.

Con el radiofósforo ha sido posible ampliar las investigaciones sobre nutrición mineral llegando a puntualizarse, de manera muy nítida, la eficiencia del aprovechamiento de diferentes fertilizantes en

* Jefe de la Sección de Fertilidad de Suelos del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná - Colombia.

** Jefe de la Sección de Química Agrícola del Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Bogotá - Colombia.

algunos cultivos. También se puede observar el curso de la utilización de los abonos con respecto al tipo de suelo o capacidad fijadora de los nutrimentos.

APROVECHAMIENTO DE LOS FERTILIZANTES

Son numerosas las referencias bibliográficas que existen de trabajos experimentales para comprobar la utilización de los elementos fertilizantes en distintas plantas. Entre los estudios recientes, con isótopos estables, se puede mencionar el de Purvis y Leo (5) que investiga la disponibilidad del nitrógeno: se compara el contenido de este elemento en plantas de trigo, fertilizadas con una mezcla de sulfato de amonio y nitrato de sodio, y en ausencia de compuestos de nitrógeno adicionados al suelo. Weir (6) por un método semejante ha investigado en coliflor, como planta índice, la absorción de los fosfatos del suelo, y su conversión en formas insolubles y por consiguiente no aprovechables.

En café se han hecho varios estudios con radioisótopos tendientes a mejorar la utilización del fósforo mediante una correcta aplicación de los fertilizantes. En experimentos de campo, Bonnet y Riera (1) en Puerto Rico alcanzaron en las hojas entre 3 y 15 por ciento del fósforo como proveniente de la fertilización, lo cual es índice del aprovechamiento diferencial de los nutrientes según la localización del abono en el suelo. Malavolta y Menard (4), también en condiciones de campo, e incluyendo un tratamiento de aspersión foliar, encontraron en las hojas de café 38 por ciento del fósforo que provenía del fertilizante, en cambio el porcentaje era muy bajo cuando se incorporaba el superfosfato al suelo, en distintas posiciones. Es decir la fijación puede llegar a un grado tan avanzado que anule totalmente en la planta las manifestaciones de la fertilización con fosfatos.

El Centro Nacional de Investigaciones de Café, con la colaboración del Instituto de Investigaciones Tecnológicas, teniendo en cuenta la común carencia de fósforo de nuestros terrenos, ha decidido usar métodos de radioquímica para estimar aunque sea de modo aproximado la velocidad y la eficiencia de la absorción del fósforo en el café, en condiciones de campo, y tales resultados son objeto de la presente publicación. Esta información puede ser de interés práctico en la dosificación de abonos, porque el objetivo de fertilizar con superfosfato es asegurar que los fosfatos estarán a disposición de la planta durante el periodo de crecimiento que es cuando son más eficaces.

MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

El campo experimental fue una parcela a plena exposición preparada en el Centro Nacional de Investigaciones de Café. Estaba formado por 30 árboles de tamaño uniforme, de la variedad Caturra, de un año de edad, sembrados en cuadro y a una distancia de 1.5 metros.

Los hoyos para la siembra de los cafetos tenían las dimensiones 50 por 50 por 50 centímetros y fueron rellenados con suelo típico de la "serie" Chinchiná, habiéndose añadido además "compost" de basuras urbanas, perfectamente descompuesto, en la proporción del diez por ciento por peso. El "compost" tenía la finalidad de mejorar la ventilación del terreno para hacer notoriamente propicio al aprovechamiento del fertilizante. El suelo Chinchiná es de origen volcánico, textura ligera, reacción ácida, rico en materia orgánica y pobre en bases y fósforo aprovechable.

Dosis de Radiofósforo

La sal portadora del fósforo era fosfato monopotásico 'marcado' con radioisótopo P^{32} y la fertilización del suelo se hizo en la forma de solución, aplicándola superficialmente alrededor del tallo en una corona de ocho centímetros de radio. Cada dosis de P_{205} fue de 14 gramos por planta, según normas prácticas para abonar cafetos jóvenes, y recibió además una actividad de 1.2 microcuries (mc) de radioisótopo P^{32} , o sea una cantidad de radiofósforo que experimenta aproximadamente 4.4 por 10^4 desintegraciones atómicas por segundo.

Muestras, preparación y análisis

En períodos de dos semanas y durante 3 meses fueron cosechadas dos plantas completas, tomadas al azar, con especiales precauciones para evitar mutilación de las raíces. Se determinó en ellas el peso seco de raíces, tallos, ramas, hojas tiernas y hojas maduras. Además, en muestras de estos tejidos se hizo en los laboratorios del Instituto de Investigaciones Tecnológicas el análisis de fósforo total y radioactivo. En las muestras se estimó la cantidad de fósforo proveniente del fertilizante, comparando su actividad específica con la del fosfato monopotásico originalmente adicionado al suelo. Por ejemplo, si la actividad específica en algún órgano de la planta es solo la quinta parte de la observada en la solución fertilizante original, se concluye que el veinte por ciento del fósforo en el tejido proviene del fertilizante y lo restante del suelo. La apreciación del fósforo utilizado por el árbol entero se hace consideran-

do conjuntamente el peso de sus distintos órganos y la composición química de éstos. Finalmente, obtenida la información anterior, se puede deducir el aprovechamiento del abono por la planta entera.

Resultados y análisis estadísticos

El análisis estadístico de los datos originales fue realizado por la Sección de Biometría del Centro Nacional de Investigaciones de Café, habiendo sido reunidos en dos agrupaciones principales para estudiar: a) el porcentaje de fósforo en varias partes de la planta y el árbol entero que procede del fertilizante, en distintos períodos, y b) el porcentaje de fósforo, del mismo fertilizante, aprovechado por los distintos órganos y la planta completa, durante el tiempo experimental. Los estimativos de fósforo en los distintos órganos de café, se hicieron con el promedio de resultados de uno solo de los árboles, tomado al azar. En el árbol entero se usó el promedio de los dos cafetos considerados en el período experimental. Por este motivo hay una ligera discrepancia de valores pero la tendencia general de las observaciones es la misma. Las conclusiones se pueden resumir así:

- a) Porcentaje de fósforo en distintos órganos de la planta y el árbol entero que procede del fertilizante.

El análisis estadístico de varianzas mostró diferencias altamente significativas entre las partes examinadas de la planta y las fechas de muestreo. También se notó que el fósforo se va acumulando en los árboles con ritmo ligeramente desigual, aunque la tendencia general es semejante.

En el Cuadro 1 puede observarse el porcentaje promedio de P205 del fertilizante en los distintos tejidos, durante 12 semanas, haciendo las observaciones bisemanalmente.

Cuadro 1: Fósforo del fertilizante en los tejidos

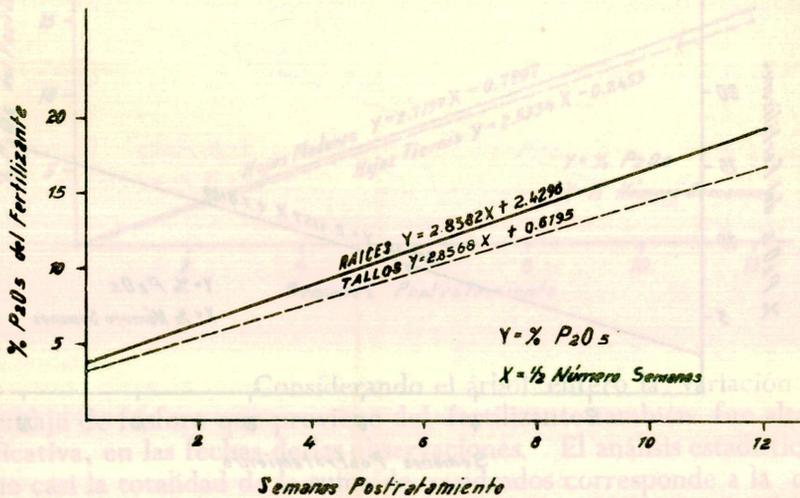
Tejidos	% Promedio de P205 del fertilizante	
Raíces		12.7
Tallos		11.5
Ramas		11.1
Hojas maduras		8.7
Hojas tiernas		8.6
D.M.S.	0.05	1.4
	0.01	1.9

Las raíces tienen un porcentaje de fósforo originario en el abono estadísticamente igual a los tallos y superior a las demás partes de la planta. En el Cuadro 2 y la Figura 1 se puede observar como se enriquecen estos órganos en fósforo hasta llegar a representar aproximadamente la quinta parte del fósforo total de los tejidos.

Cuadro 2: Fósforo del fertilizante en raíces y tallos

Semanas (Postratamiento)	% Promedio de P ₂ O ₅ del fertilizante	
	Raíces	Tallos
2	4.29	2.94
4	9.43	7.77
6	13.40	11.20
8	11.20	9.80
10	18.90	15.30
12	18.90	21.70

Figura 1: Fósforo del fertilizante en raíces y tallos



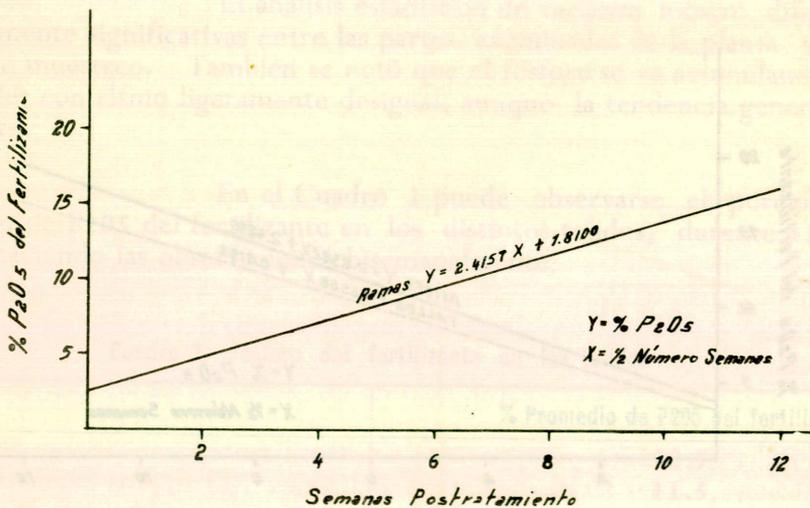
Las ramas tienen una proporción de fósforo estadísticamente igual a los tallos y superior a las hojas. En el Cuadro 3 y la Figura 2 puede notarse como aumenta en las ramas el porcentaje de fósforo

ro originado en el abono hasta alcanzar un valor relativamente alto al final de las observaciones.

Cuadro 3: Fósforo del fertilizante en ramas

Semanas (Postratamiento)	% Promedio de P ₂ O ₅ del fertilizante Ramas
2	3.14
4	7.80
6	11.80
8	9.60
10	15.10
12	19.20

Figura 2 Fósforo del fertilizante en ramas

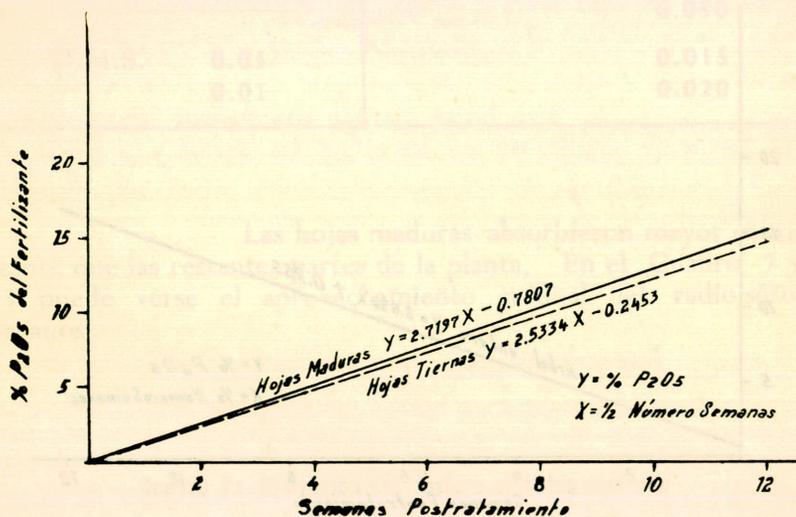


Las hojas maduras y tiernas son estadísticamente iguales entre sí en cuanto al porcentaje de fósforo resultante del abono. En el Cuadro 4 y la Figura 3 puede apreciarse en las hojas el aumento del porcentaje de fósforo tomado del fertilizante.

Cuadro 4: Fósforo del fertilizante en hojas

Semanas (Postratamiento)	% Promedio de P2O5 del fertilizante	
	Hojas tiernas	Hojas maduras
2	1.90	1.61
4	5.46	5.73
6	4.24	8.60
8	7.60	7.60
10	12.30	11.70
12	15.80	17.30

Figura 3: Fósforo del fertilizante en hojas

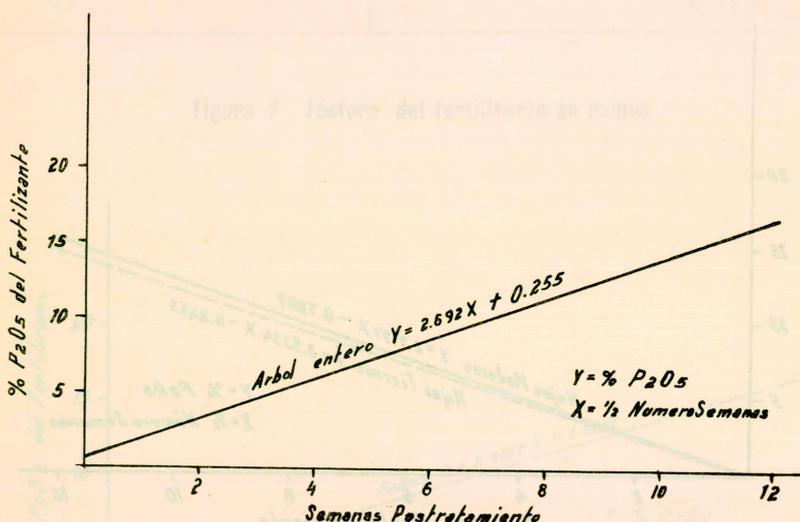


Considerando el árbol entero la variación en el porcentaje de fósforo que proviene del fertilizante también fue altamente significativa, en las fechas de las observaciones. El análisis estadístico indicó que casi la totalidad de la suma de cuadrados corresponde a la componente lineal, por lo cual se considera que una ecuación de primer grado es adecuada para representar esta tendencia. En el Cuadro 5 y la Figura 4 puede verse como se enriquece el árbol entero en fósforo después de 12 semanas de experimentación.

Cuadro 5: Fósforo del fertilizante en el árbol completo

Semanas (Postratamiento)	% Promedio de P ₂ O ₅ del fertilizante Arbol completo
2	2.46
4	6.46
6	9.91
8	8.40
10	13.30
12	17.80

Figura 4: Fósforo del fertilizante en el árbol completo



b) Por ciento de fósforo adicionado al suelo aprovechado por distintos órganos de la planta y el árbol entero.

El análisis estadístico de varianzas mostró diferencias altamente significativas, para el aprovechamiento del fertilizante, en los distintos órganos de la planta y las fechas de muestreo. La interacción entre órganos de la planta y fechas de muestreo indica que el ritmo de utilización no es igual en los distintos tejidos. En el Cuadro 6 puede obser-

vase la utilización promedio del fertilizante, por planta, en los diversos tejidos, durante un período experimental de doce semanas y haciendo anotaciones bisemanalmente.

Cuadro 6: Utilización del fósforo en los tejidos

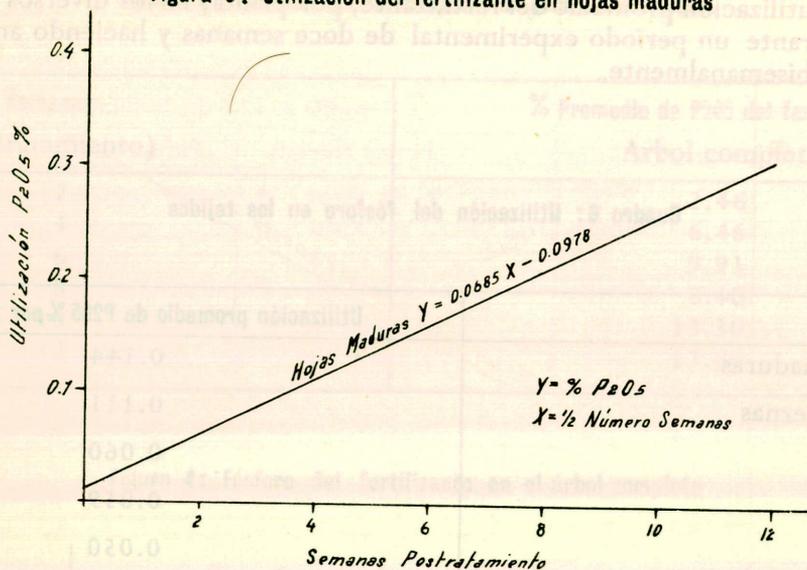
Tejidos	Utilización promedio de P205 % por planta	
Hojas maduras		0.144
Hojas tiernas		0.111
Tallos		0.060
Ramas		0.059
Raíces		0.050
D.M.S.	0.05	0.015
	0.01	0.020

Las hojas maduras absorbieron mayor cantidad de fertilizante que las restantes partes de la planta. En el Cuadro 7 y la Figura 5 puede verse el aprovechamiento gradual del radioisótopo en esos órganos.

Cuadro 7: Utilización del fósforo en hojas maduras

Semanas (Postratamiento)	Utilización promedio de P205 % por planta Hojas maduras
2	0.014
4	0.050
6	0.086
8	0.097
10	0.237
12	0.380

Figura 5: Utilización del fertilizante en hojas maduras

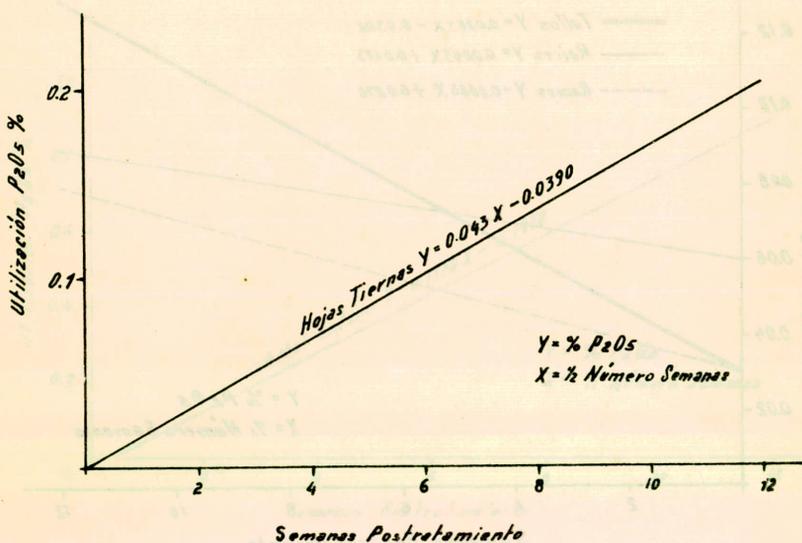


Las hojas tiernas absorbieron en promedio una cantidad mayor de fertilizante que los tallos, las ramas y las raíces. En el Cuadro 8 y la Figura 6 se aprecia la utilización creciente del fósforo en hojas tiernas.

Cuadro 8: Utilización del fósforo en hojas tiernas

Semanas (Postratamiento)	Utilización promedio de P_{2O_5} % por planta	
	Hojas tiernas	
2	0.015	
4	0.042	
6	0.091	
8	0.097	
10	0.204	
12	0.219	

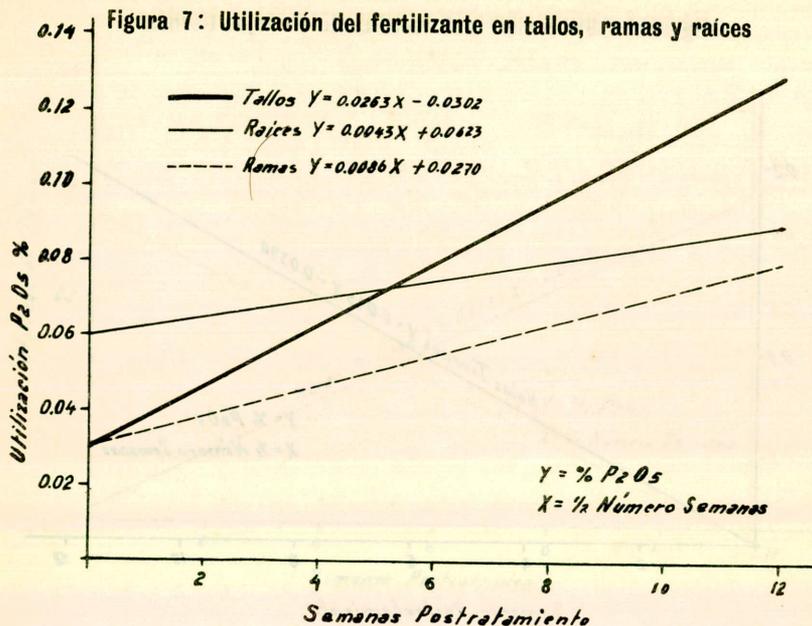
Figura 6: Utilización del fertilizante en hojas tiernas



Los tallos, ramas y raíces absorbieron una cantidad igual de fertilizante, desde el punto de vista estadístico, porque sus diferencias no alcanzaron los niveles convencionales de significación. En el Cuadro 9 y la Figura 7 puede apreciarse la eficiencia de la utilización del fósforo en esos órganos.

Cuadro 9: Utilización del fósforo en tallos, ramas y raíces

Semanas (Postratamiento)	Utilización promedio de P205 % por planta		
	Tallos	Ramas	Raíces
2	0.009	0.012	0.016
4	0.025	0.026	0.028
6	0.042	0.047	0.045
8	0.042	0.042	0.039
10	0.086	0.102	0.068
12	0.156	0.126	0.102

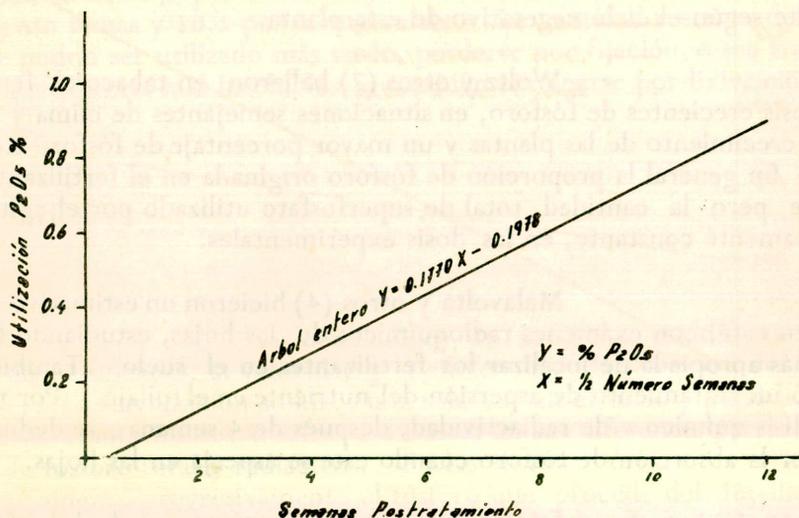


En el árbol entero la eficacia del aprovechamiento del fertilizante fue altamente significativa en las fechas de observaciones. En este caso también se concluyó que una ecuación de primer grado es suficiente para representar esta tendencia. En el Cuadro 10 y la Figura 8 puede verse como el árbol entero absorbe el fósforo disponible del fertilizante después de 12 semanas de experimentación.

Cuadro 10: Utilización del fósforo en árbol completo

Semanas (Postratamiento)	Utilización promedio de P205 %por planta Arbol entero
2	0.063
4	0.167
6	0.310
8	0.314
10	0.686
12	0.990

Figura 8: Utilización del fertilizante en árbol completo



DISCUSION DE RESULTADOS

Las investigaciones con P³² se hacen mezclando cantidades muy pequeñas del isótopo radiactivo al fertilizante y cálculos apropiados permiten conocer la proporción de fósforo en el cultivo fertilizado que proviene del suelo y de los superfosfatos. Por este motivo los métodos radioquímicos hacen posible estimar la disponibilidad del fósforo en distintas sustancias portadoras, conocer el requerimiento propio o individual de los cultivos y también medir el aprovechamiento de los fertilizantes fosfóricos en suelos con diferente riqueza de este elemento.

Experimentalmente se ha descubierto que los cultivos tienen diferente capacidad para aprovechar el fósforo del suelo y los fertilizantes. Sobre el particular se conoce con amplitud los trabajos hechos en los Estados Unidos en maíz, soya, papa y tabaco.

Krantz y otros (3) en Carolina del Norte encontraron en maíz y frijol un porcentaje similar de fósforo derivado del fertilizante aunque muy diferente a la papa. Los resultados en el último cultivo fueron comprobados por Jacob y otros (2) en terrenos de Long Island y Carolina del Norte. En papa el 60 por ciento del fósforo es proveniente del fertilizante durante el período del crecimiento vegetativo, en suelos

pobres en este nutriente. En cambio maíz y frijol presentan un porcentaje de fósforo alto al comienzo de las observaciones que decae progresivamente según el ciclo vegetativo de esta planta.

Woltz y otros (7) hallaron en tabaco al fertilizar con dosis crecientes de fósforo, en situaciones semejantes de clima y suelo, mejor crecimiento de las plantas y un mayor porcentaje de fósforo total en éstas. En general la proporción de fósforo originada en el fertilizante disminuye pero la cantidad total de superfosfato utilizado por el cultivo es prácticamente constante, en las dosis experimentales.

Malavolta y otros (4) hicieron un estimativo semejante en café, con exámenes radioquímicos de las hojas, estudiando la manera más apropiada de localizar los fertilizantes en el suelo. También se incluyó un tratamiento de aspersión del nutriente en el follaje. Por medio de análisis químico y de radiactividad, después de 4 semanas, se deduce ser superior la absorción de fósforo cuando este se asperja en las hojas.

En cuanto al aprovechamiento gradual del fósforo en café se dispone de la información preliminar del presente ensayo. El porcentaje de fósforo tomado del fertilizante en todos los órganos de la planta como son raíces, tallos, ramas, hojas maduras y hojas tiernas, citándolos en orden descendente, y también en el arbusto entero, aumenta progresivamente durante las 12 semanas del experimento. Al final de este período se alcanzó en las distintas partes del café un porcentaje de fósforo procedente del fertilizante que por aproximación es del 20 por ciento. En cultivos que no son perennes como maíz, soya, frijol y tabaco, de un modo opuesto al café, esta tendencia es decreciente; debido a las características propias del crecimiento, el porcentaje de fósforo tomado del fertilizante es mayor al comienzo de las observaciones. Podría encontrarse proporciones diferentes de radiofósforo en los tejidos del café si se experimenta con niveles de fosfatos distintos a los aquí anotados o suelos de riqueza variable en este elemento. Pero es probable que la disposición general al aprovechamiento del abono sea semejante en árboles de igual estado fisiológico. Los cafetos crecieron durante el tiempo del experimento según una tendencia lineal estimándose en 26 gramos el aumento del peso seco del árbol entero en cada período bisemanal.

La eficiencia de utilización del fósforo aplicado al suelo es un fenómeno también creciente pero no concomitante con el porcentaje presente en los distintos órganos del árbol de café. Seguramente debido al menor peso seco de los tejidos que acusan un porcentaje más alto de fósforo del fertilizante. En el árbol entero se aprovechó únicamente el uno por ciento del pentóxido incorporado al suelo, o sea una fracción muy

pequeña, que fue distribuido en la siguiente forma: 37.4 por ciento para hojas maduras, 22.2 por ciento hojas tiernas, 15.6 por ciento tallos, 14.2 por ciento ramas y 10.5 por ciento raíces. La cantidad restante del fertilizante podría ser utilizado más tarde, perderse por fijación, o sea transformación en formas más insolubles, o también eliminarse por lixiviación.

RESUMEN

En condiciones de campo se estudió, en un período de 12 semanas, la velocidad y la eficiencia de la absorción del fósforo en café. La fertilización se hizo, una sola vez en el suelo y periódicamente fueron arrancados dos árboles para buscar en sus diferentes partes la cantidad de fósforo total y radiactivo. En los distintos órganos y en el árbol entero aumentó progresivamente el fósforo que procede del fertilizante y también la utilización de este último. Sin embargo, después de tres meses, solamente el uno por ciento del fertilizante fue absorbido por el árbol entero.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- BONNET, J. A. RIERA, A. R. & ROLDAN, J. Radioactive studies with P^{32} in tropical soils and crops of Puerto Rico. Soil Science Society of América. Proceedings 19(3):283-284. 1955.
- 2.- JACOB, W. C. & OTHERS. Utilization of phosphorus by potatoes. Soil Science 68:113-120. 1949.
- 3.- KRANTZ, B. A. & OTHERS. A comparison of phosphorus utilization by crops. Soil Science 68:171-177. 1949.
- 4.- MALAVOLTA, E., MENARD, L. N. & LOTT, W. L. Estudos sobre a alimentacao mineral do cafeeiro. II. Absorcao do superfosfato radioativo pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L., var. Bourbon amarelo) en condicoes de campo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Anais 16:101-111. 1959.

- 5.- PURVIS, E. R. & LEO, M. W. M. Nitrogen availability in soils: rapid procedure for estimating potentially available soil nitrogen under greenhouse conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 9(1):15-17. 1961.
- 6.- WEIR, C. C. Evaluation of chemical soil tests for measuring available phosphorus on some Jamaican soils. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 39(1):67-72. 1962.
- 7.- WOLTZ, W. G., HALL, N. S. & COLWELL, W. E. Utilization of phosphorus by tobacco. *Soil Science* 68:121-128. 1949.