

**ABSORCION FOLIAR DE FOSFORO RADIOACTIVO EN  
PLANTAS DE CAFE**

**CESAR G. LABARCA C.**

**INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS  
TURRIALBA. COSTA RICA  
SETIEMBRE, 1960**

ABSORCION FOLIAR DE FOSFORO RADIATIVO EN PLANTAS DE CAFE

Por  
✓  
César G. Labarca C.



Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas  
Turrialba, Costa Rica  
Setiembre, 1960

ABSORCION FOLIAR DE FOSFORO RADIOACTIVO EN PLANTAS DE CAFE

Tesis

Sometida al Consejo de Estudios Graduados  
como requisito parcial para optar al grado

de

Magister Agriculturae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas

APROBADO: W. Baranough Consejero  
Jorge Peña Comité  
J.R. Hunter Comité

Setiembre, 1960

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar sus agradecimientos a los miembros de su Comité Consejero Dr. Jorge León y Dr. Robert Hunter por su asesoramiento y especialmente a su Consejero principal Dr. Howard Boroughs, a quién pertenece la idea original de este trabajo.

A la Organización de los Estados Americanos y a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile, por haberle brindado la oportunidad de realizar estudios postgraduados.

A aquellos miembros del personal del Instituto que prestaron su gentil colaboración para llevar a cabo el presente trabajo.

## BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Valparaíso, Chile, en el año 1931.

Realizó sus estudios universitarios en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile, graduándose de Ingeniero Agrónomo en 1954.

En 1955 y 1956 trabajó en el Ministerio de Agricultura de Chile y de 1956 en adelante en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile.

Ingresó al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas en Julio de 1959 para realizar estudios postgraduados, mediante una beca de la Organización de los Estados Americanos, egresando en Junio de 1960.

TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	3
MATERIAL Y METODO.....	16
RESULTADOS.....	20
DISCUSION.....	34
RESUMEN.....	39
SUMMARY.....	42
LITERATURA CITADA.....	45
APENDICE.....	50

## INTRODUCCION

El suministro de fósforo a las plantas cultivadas en los suelos tropicales presenta comunmente problemas especiales debido a la fijación de este elemento en el suelo. Los resultados que se han obtenido en la aplicación de fertilizantes fosfatados al suelo en plantaciones de café en Costa Rica no son concluyentes y aunque al parecer no son comunes las deficiencias de fósforo en esta planta, pueden existir desórdenes nutritivos no tan aparentes que afecten especialmente la producción de frutos.

La fertilización foliar, que se ha desarrollado sólo en los últimos años y que se usa ya en forma extensiva en algunos cultivos (47) no se utilizan aún en el cafeto para elementos mayores e incluso las investigaciones realizadas en absorción foliar con esta planta son muy limitadas, no encontrándose actualmente ningún trabajo publicado sobre absorción de fósforo.

El objetivo de este trabajo es conocer algunos aspectos del comportamiento del cafeto en la absorción foliar de fósforo y, al mismo tiempo determinar la eficiencia de los agentes humectantes como coadyuvantes en dicha absorción.

Los agentes humectantes han sido utilizados generalmente con éxito en experiencias de absorción foliar y su uso ha alcanzado ya un nivel más extensivo. Dadas las características de la acción de los humectantes, parece lógico suponer que deben contribuir a aumentar la absorción, aunque pueden existir interacciones con los productos aplicados que pueden reducir su efecto.

Los productos comerciales que se usan actualmente como humectantes o que reúnen esas características son centenares y su composición química es diversa. En este trabajo se seleccionó entre los disponibles, tres pertenecientes a los tres grupos en que se dividen de acuerdo a sus propiedades químicas: compuestos aniónicos, catiónicos y no-iónicos.

El trabajo se realizó con plantas pequeñas y en invernadero, con el fin de disponer en lo posible de condiciones conocidas y eliminar variables que, como las condiciones climáticas, interfirieran la experiencia.

En el apéndice se ha incluido sólo un ejemplo del cálculo de los porcentajes de fósforo-32 absorbido y movilizado y del análisis estadístico de los datos, por ser estos cálculos muy extensos y de rutina.

## REVISION DE LITERATURA

La aplicación de elementos nutritivos al follaje se ha desarrollado en los últimos años hasta llegar a ser un área de gran interés en la investigación agrícola. Sin embargo, este principio ha sido utilizado desde hace mucho tiempo y hay referencias, citadas por Wittwer (46), del año 1803. Asimismo, Tukey y colaboradores (43) mencionan aspersiones en árboles frutales con fertilizantes nitrogenados durante el período de receso vegetativo, en los años 1914-15, que son posiblemente las primeras aplicaciones de campo comerciales conocidas.

En los últimos años, junto con la creciente disponibilidad de fertilizantes solubles comerciales, existe un uso extensivo de pesticidas asperjables y ha habido un avance notable en la producción de equipo para su aplicación. Este desarrollo está ligado a la importancia de la absorción por la parte aérea de la planta como responsable de la efectividad de los compuestos usados en el control selectivo de malezas y como reguladores de crecimiento y a la efectividad de las aplicaciones de elementos menores al follaje para corregir algunos desórdenes nutritivos. Se ha despertado así un gran interés en las posibilidades de aplicar nutrientes esenciales en aspersiones, ya sea solos o en combinación con otros compuestos. Esta práctica es llamada nutrición foliar o nutrición no radical.

En los últimos veinte años, los isotopos radiactivos han sido de gran valor en el estudio de la absorción y movimiento de los elementos nutritivos aplicados en la parte aérea de las plantas y es un área en que han probado ser muy útiles en la investigación agrícola. Probablemente los primeros trabajos publicados en que se utilizó los isótopos

radiactivos en este campo fueron los de Biddulph (3) en 1941 y Colwell (8) en 1942, ambos usando fósforo radiactivo. El uso de los isotopos radiactivos permite evaluar en forma precisa la nutrición no radical, siendo posible diferenciar entre los elementos absorbidos por la parte aérea y los absorbidos simultáneamente por las raíces o ya existentes en la planta, y estudiar el movimiento, distribución y utilización de los elementos aplicados.

Las plantas absorben normalmente los elementos nutritivos por las raíces y aunque se ha demostrado que la parte aérea es también capaz de desempeñar esta función, seguramente la nutrición no radical no reemplazará a las aplicaciones al suelo como práctica general y su mayor utilidad consistirá en su efectividad para solucionar problemas especiales como deficiencias de elementos menores y para suministrar complementos nutritivos en etapas críticas del desarrollo de las plantas. Se ha determinado que mediante aplicaciones foliares es posible corregir deficiencias de Fe, Zn, Cu, Mn, Bo y Mo y se ha encontrado efectos positivos en aplicaciones de N, Mg, S, P y K. Wittwer y Teubner (47) mencionan que en Hawaii los cultivos de piña reciben de 75 a 80 % del nitrógeno que se les aplica en forma de aspersiones de urea, y que 40 a 50 % del fósforo y potasio es aplicado al follaje.

Existen estudios de nutrición no radical en árboles durante el período de receso vegetativo (43) y se ha demostrado que también existe absorción a través de la corteza. Aplicaciones de este tipo pueden tener buenas posibilidades ya que el tronco y ramas de los árboles tienen una superficie considerable, y antes de la aparición de las hojas es posible utilizar concentraciones mayores sin daño para la planta. Los frutos también pueden absorber elementos nutritivos, pero son las hojas, por su

gran superficie, las estructuras no radicales más importantes en la retención y absorción de elementos nutritivos aplicados por medio de aspersiones.

En general, todas las sustancias que son absorbidas por las raíces pueden serlo por las hojas (21) y en la mayor parte de los casos el porcentaje de elementos nutritivos absorbidos en relación a la cantidad aplicada es mayor en la aplicación al follaje (39). Naturalmente, el abastecimiento que se puede hacer al suelo es mucho mayor, pero el aprovechamiento de la aplicación es, en general, mucho mayor en las hojas.

La eficiencia de una aplicación foliar está determinada, no sólo por la absorción, sino también por la movilidad de los elementos absorbidos dentro de la planta. Bukovac y Wittwer (6) encontraron que el Rb, Na y K eran los elementos más rápidamente absorbidos y de más alta movilidad; P, Cl y S tuvieron movilidad menor; Zn, Cu, Mn, Fe y Mo fueron de movilidad intermedia y decreciente en el orden indicado; el Mg, Ca, Sr y Ba fueron absorbidos pero no movilizadas.

Al hacer una aplicación de fertilizante fosfatado al suelo, aquel no se mueve apreciablemente del área de aplicación y aun cuando esté presente, puede no estar disponible para la planta, ya sea por su posición o por estar fijado por el suelo. Cuando esto sucede, o cuando la absorción radical está limitada por bajas temperaturas del suelo u otras condiciones adversas, las aspersiones foliares pueden servir como fuente complementaria de este elemento, especialmente durante estados críticos del desarrollo.

En los pocos casos en que se ha comparado la efectividad de las aspersiones foliares y las aplicaciones al suelo de fosfatos, considerando

naturalmente las pequeñas cantidades que pueden ser aplicadas sin daño al follaje, los resultados han favorecido en forma amplia a la aspersión foliar. Así Thorne (39) determinó que el 80 % del fósforo aplicado fué absorbido y Wittwer y colaboradores (48) encontraron una eficiencia veinte veces mayor para aplicaciones foliares que para aplicaciones al suelo, determinada por el porcentaje de fósforo aplicado que se encontró en los frutos de tomate y frijol ~~en~~ desarrollo durante un período de tres semanas. Yegorov (53) en experimentos con girasol y remolacha, observó asimilación rápida de fósforo e incorporación inmediata al metabolismo, encontrándose el fósforo aplicado en todos los compuestos que contenían fósforo una hora después de la aplicación. Ursulenko (45), en un trabajo de nutrición no radical en frutales con fósforo radiactivo, indica que aún con alimentación abundante en el suelo, la eficiencia fotosintética de las hojas no alcanza su máximo potencial, lo que es evidente al aumentar dicha eficiencia apreciablemente con nutrición no radical. Ramunni (30) evitó síntomas de deficiencia de fósforo en tabaco con aplicaciones foliares y elevó el contenido de nicotina, fósforo y peso seco de la planta.

Aunque es conocido que las soluciones nutritivas pueden ser absorbidas por las hojas, el mecanismo de dicha absorción no está claro y aun y sobre él hay opiniones contradictorias. Skoss (35) deduce de sus observaciones experimentales que los estomas son el principal camino de entrada de las soluciones. Roberts (31), en cambio, explica la entrada a través de la cutícula en hojas de manzano, por la presencia de sustancias pécticas que se encuentran en capas discontinuas en las paredes externas de las células epidérmicas, entremezcladas con las áreas cuntinizadas y formando un paso continuo desde la superficie. Orgell (29) ha sugerido que la cutícula podría funcionar como una membrana semilipoidal de inter-

cambio de cationes. La ocurrencia de plasmodesmas epidérmicos (23) podría también proporcionar lugares de entrada a través de la cutícula. Estos plasmodesmas pueden encontrarse en gran número y podrían penetrar la cutícula, siendo posible que existan en ellos reacciones de intercambio. Crafts (10) ha indicado la posibilidad de un paso de soluciones acuosas a través de la cutícula, que explicaría la absorción de las soluciones nutritivas. Scott (32) indica la existencia de una cutícula en las células de las cavidades subestomáticas y espacios intercelulares del mesófilo, lo que implicaría que si las soluciones entraran por los estomas, también tendrían que atravesar una barrera de este tipo. Wittwer y colaboradores (49) encontraron que las hojas de frijol eran tan eficientes para absorber fosfatos por el lado superior como por el inferior de la lámina, a pesar que existen siete veces más estomas en el lado inferior. En el trabajo de Cain (7) con urea en café, se encontró absorción más rápida en el lado inferior de la lámina que en el superior, pero en este último, en que no se han encontrado estomas, fué también considerable: 90 % de la solución aplicada en 15 horas en hojas jóvenes y 50 % en hojas maduras.

Actualmente los conocimientos son insuficientes para definir el mecanismo de la absorción foliar de los diferentes nutrientes. Es probable que este mecanismo y los factores que controlan la absorción de los distintos elementos y en distintas especies vegetales sean diferentes. En general se prefiere discutir la absorción foliar separando los nutrientes en varios grupos. Así, Wittwer y Teubner (47) los dividen en: a) nitrógeno en forma de urea, que es el más rápidamente absorbido, transportado y metabolizado; b) aniones, como P, S, Cl y I; c) cationes monovalentes, K, Na, Rb; d) cationes divalentes Ca, Mg, Sr, Ba y e) elemen-

tos menores. Shereverya (33) indica que la nutrición foliar es no sólo una forma adicional de nutrición, sino también un medio de regular la absorción radical. Los cambios en el nivel de nutrición mineral después de una aplicación foliar serían debidos no tanto a la absorción foliar misma, como al efecto de ella sobre la absorción de nutrientes por las raíces. Los efectos de la aplicación foliar podrían llegar a ser negativos, dependiendo del nivel de humedad y cantidad de nutrientes en el suelo y de la forma del nutriente aplicado, especialmente nitrógeno. Thorne (39) encontró también un aumento de la absorción de nitrógeno por las raíces después de aplicar nitrato de amonio en las hojas.

La absorción foliar está condicionada por factores no bien conocidos y que dependen tanto de las características de la planta y de la solución nutritiva, como del medio ambiente.

Entre los factores dependientes de las características de la planta se puede citar la morfología de la hoja, el estado de desarrollo en el momento de la aplicación y el estado de nutrición. Hojas de diferentes especies pueden ser muy diferentes en cuanto a propiedades que favorezcan la retención de soluciones nutritivas, en número de estomas y en características de la cutícula, que al parecer desempeña un papel tan importante en la absorción. Pueden existir también variaciones considerables entre plantas de una misma especie en diferentes ambientes, en una misma planta entre hojas de diferente edad y entre los dos lados de la lámina de una hoja. Fogg (14) encontró grandes diferencias en los ángulos de contacto del agua en hojas de diferentes especies, debidas a las características de su superficie. Si se considera la cutícula como la principal barrera, el grado en que ella sea continua puede afectar la velocidad de absorción. Boynton (5) sugiere que las discontinuidades de la

cutícula causadas por agentes climáticos, insectos, etc., pueden ser un factor dominante. En general, las hojas jóvenes absorben nutrientes más rápidamente que las maduras y esto ha sido determinado para el fósforo por varios autores (13, 22, 23).

El estado de desarrollo de las plantas parece tener importancia. Las plantas tienen diferente intensidad de crecimiento con su edad y un ritmo anual y la absorción puede estar relacionada a la actividad metabólica, como indica Kaindl (21) que encontró absorción máxima de fósforo a través de las hojas asociada a períodos de máxima vitalidad.

Se ha observado que la absorción de fósforo por las hojas es influenciada por el estado de nutrición de las plantas para este elemento, siendo mayor en aquellas cultivadas con poco fósforo (38 18). Isoda (19) encontró dos veces más absorción en plantas de vid cultivadas en solución de bajo contenido de fósforo que en las cultivadas en solución de alto contenido de este elemento y Yatazawa e Higashimo (50) obtuvieron una y medio veces más absorción de fósforo radiactivo en plantas de trigo en medio deficiente en fósforo que en medio normal. Por otra parte, puede considerarse que una planta mal alimentada tendrá menos follaje y por ello menos superficie y la absorción puede ser menor. Wittwer y colaboradores (48) determinaron que la cantidad de fosfato retenida por el follaje en plantas de frijol y tomate, fué una función del peso seco de la parte aérea.

Entre los factores dependientes de las características de la solución fertilizante aplicada, debe considerarse el tipo de portador químico, el pH de la solución, su concentración y las sustancias químicas agregadas. Según Tukey y colaboradores (44) hay grandes diferencias en la absorción de fósforo con diferentes portadores químicos y a diferen-

tes pH y en su trabajo, mezclando fosfatos monosustituídos con ácido ortofosfórico y a pH 2 a 3 se comprobó una absorción 2 a 10 veces mayor que con los demás fosfatos inorgánicos. Varios autores han determinado el ácido ortofosfórico como el mejor portador (34, 24, 13, 49) y a pH cercano a 2. Eggert (12) en manzano, obtuvo los mejores resultados con fosfato monoamónico y Teubner y colaboradores (38) indican el fosfato de amonio a pH 2 a 3 como el mejor. Por otra parte, Koontz y Biddulph (22) determinaron mayor absorción con fosfato monosódico.

El uso de agentes humectantes para aumentar la absorción ha sido poco estudiado. Los agentes humectantes actúan reduciendo la tensión superficial de la solución y la tensión interfacial, disminuyendo los ángulos de contacto de las gotitas de solución sobre las hojas. Esto permite que haya un contacto más íntimo entre la solución y la superficie foliar y una mayor superficie mojada con igual volumen de solución, lo que puede contribuir a aumentar la absorción, pero puede haber también interacciones entre la solución fertilizante y el humectante que sean de tanta o mayor importancia que el efecto positivo anterior, por lo cual es necesaria una cuidadosa selección del humectante. Boynton (5) da importancia al ángulo de contacto de las gotas de solución aplicada sobre la hoja y al grado en que esta moja la superficie y Thompson (42) encontró relación entre el "poder humectante" del agente humectante y su eficiencia para mojar la superficie de hojas de varias plantas.

En plantas del género Phaseolus, que son muy utilizadas para estudios de absorción foliar, los humectantes parecen no tener efecto positivo (38, 22, 2) e incluso se indica en algunos casos que redujeron la adherencia de la solución y bajaron marcadamente la absorción de fósforo (38,37). En manzano, Fischer y Walker (13) encontraron un aumento de la absorción

de fósforo al utilizar humectante.

Los humectantes han sido también utilizados en ensayos de absorción de otros compuestos. Staniforth (36) indica que la toxicidad de aspersiones de 2,4-D aumenta con la agregación de humectantes y Barrier y Loomis (2) determinaron un aumento en la absorción de este mismo producto. Freed y Montgomery (15), estudiando absorción de amitrol en *Phaseolus* obtuvieron valores entre 5 y 15 veces mayores con humectantes. Otros autores como Cook y Boynton (9) y Guest y Chapman (16) citan aumentos notables de la absorción foliar agregando agentes humectantes a las soluciones aplicadas.

Hay varios trabajos sobre el efecto de otras sustancias químicas en la absorción foliar de fósforo. Yatazawa e Higashimo (50) en un estudio sobre el efecto de la agregación de azúcares, encontraron que aceleraba la absorción, que fué tres veces más rápida que sin azúcar. Yatazawa y Tai (52) determinaron que en plantas crecidas en la oscuridad y deficientes en azúcares la agregación de estos a la solución de fosfatos, aumentó la absorción.

Yatazawa e Ishihara (51) ensayaron el efecto de algunos insecticidas y fungicidas sobre la absorción de ortofosfato, al aplicarlos mezclados, y determinaron que el hexacloruro de benceno, sulfato de nicotina y los que contenían calcio actuaban como inhibidores y en cambio no tenían efecto el tetraetilpirofosfato, parathion, DDT y arseniato de plomo. Fisher y Walker (13) tampoco encontraron efecto de la urea, ácido etilendiaminotetraacético, formamida y metilcelosolve.

Las condiciones ambientales tienen también efecto sobre la absorción foliar, aunque sobre la acción de estos factores no existen tampoco resultados concluyentes. La temperatura más apropiada para la absorción, se-

gún Long y colaboradores (24) sería la que permita un crecimiento óptimo de la planta. Teubner y Wittwer (38) señalan una temperatura óptima para la absorción de fósforo de 21°C en frijol y tomate y Wittwer y colaboradores (49) indican que la absorción de fósforo aumenta directamente con aumentos de temperatura bajo condiciones controladas.

Se ha encontrado que la absorción de fósforo en frijol y tomate es generalmente mayor en horas del día o en plantas expuestas a la luz (24, 38, 40), pero hay también indicaciones de que en estas mismas plantas la absorción varía poco del día a la noche cuando la temperatura y humedad relativa del aire se mantienen constantes (49).

Varios autores (5, 21, 22, 40, 49, 1) coinciden en estimar que la absorción aumenta con mayor humedad relativa, debido probablemente a que el proceso de secado de la solución sobre la superficie de la hoja es más lento. Koontz y Biddulph (22) encontraron que la translocación del fósforo estaba directamente relacionada con el tiempo de secado de la solución y sugieren que la higroscopicidad de la sal aplicada puede tener gran importancia. Observaron además que el fosfato monosódico y el dipotásico, que eran los más movilizables, no cristalizaban sobre la hoja tan rápidamente como los demás y encontraron que la traslocación de los fosfatos de sodio y potasio era proporcional a la capacidad de retención de agua de las soluciones, a excepción del fosfato tripotásico. Jyung (20) asigna también importancia al tiempo de secado de la solución. Barinov y Ratner (1) dan especial importancia a la higroscopicidad y solubilidad de las sales utilizadas, ya que las soluciones en general se secan después de un corto tiempo de la aplicación. Encontraron una absorción muy baja para las sales de fósforo que formaban precipitado al secarse, como el  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . La formación de precipi-

tado o la capacidad de mantener una condición de solución saturada depende en muchos casos de la humedad relativa del aire, como sucede por ejemplo con el  $K_2HPO_4$ . Barinov y Ratner, estudiando el efecto del pH en la absorción de fosfatos, encontraron que en el caso del fosfato de sodio, la absorción de una solución alcalina es más baja que la de una solución ácida y lo contrario ocurre con el fosfato de potasio, en que la asimilación del fosfato alcalino es mayor. Estos autores hacen notar la coincidencia de estos datos con los de solubilidad e higroscopicidad de estas sales a diferentes pH. Así, el fosfato de potasio aumenta su solubilidad al variar el pH de 4.5 a 9, en tanto que el fosfato de sodio la disminuye. En el caso del fosfato de amonio no encontraron una relación tan constante para el efecto del pH y la solubilidad, pero la solubilidad de esta sal es mayor a pH alcalino y en la mayor parte de los experimentos se encontró mayor absorción en esos pH, así como en los experimentos de Eggert y colaboradores (12).

Refiriéndose al mecanismo de la absorción foliar, Wittwer y Teubner (47) dicen que: "Juzgando por los datos muy limitados que existen para acumulación, irreversibilidad, respuestas al pH, sensibilidad a los inhibidores y posiblemente efectos de temperatura y requerimientos de energía, en el caso de los fosfatos, sulfatos y cloruros, parece predominar un proceso ya sea de intercambio o de absorción activa".

En café, al parecer los únicos trabajos sobre absorción foliar de nutrientes son los de Malavolta (26) con cinc y Cain (7) con urea. Este último determinó absorción más rápida en el lado abaxial de la lámina foliar y en hojas jóvenes.

El ciclo de crecimiento del café, que puede estar relacionado con la absorción foliar, ha sido estudiado en Turrialba por Newton (28),

McFarlane (25), Boss (4) y Molina (27). Boss y McFarlane trabajaron con *Coffea arabica* variedad típica y encontraron un período de descanso relativo de Octubre a Enero y dos cimas de crecimiento máximo alrededor de Febrero y Junio. Molina encontró una curva muy semejante para la variedad Mundo novo. Boss trabajó además con plantas de almácigo de 18 meses, sin producción de frutos, y encontró el mismo ciclo de crecimiento anual que para las plantas grandes en producción. Newton trabajó con plantas de la variedad Bourbón de 15 a 20 años y obtuvo sólo un máximo de crecimiento, iniciándose el crecimiento más activo en Enero para disminuir en Mayo y mantenerse con intensidad mínima durante el fin del año. No hay datos de este tipo para plantas de almácigo de la variedad Bourbón. En los estudios realizados, las condiciones climáticas como temperatura y humedad parecen no estar directamente relacionadas con el crecimiento.

Sobre las diversas técnicas utilizadas en los estudios de absorción foliar, se encuentra una buena revisión en el trabajo de Jyung (20). Los métodos de aplicación de soluciones radiactivas que se han empleado son: asperjar las superficies a tratar (34, 39, 41, 9, 11, 13, 40, 22, 38, 7); pintar las superficies foliares con las soluciones (2, 18, 39, 50, 52); sumergir en la solución las partes a tratar (6, 48); colocar una gota de la solución (2, 22) o varias (38) sobre las hojas. Como modificación del método de colocar una sola gota sobre la hoja, el rodearla de un anillo de lanolina (17) o plasticina (8) para mantenerla en el mismo lugar. Se han usado también inyecciones (22), espolvoreo e infiltración al vacío (8).

En el lavado de las partes tratadas para eliminar la solución no absorbida, se ha utilizado agua destilada, sola o con detergentes y también acidificada con HCl; se han empleado también soluciones diluídas de fos-

fatos. Estas soluciones de lavado han sido aplicadas en forma de chorro fino, o bien se ha sumergido en ellas las partes tratadas.

Un método que evita el lavado de las hojas tratadas es el de aplicar una sola gota de solución radiactiva y posteriormente remover un pequeño disco de tejido con la solución no absorbida. Este método necesita una manipulación muy cuidadosa para evitar contaminaciones y tiene la desventaja de no considerar la absorción en el disco de tejido removido. Jyung (20) en un estudio comparativo de la absorción foliar de fósforo determinada por el método de remoción del disco de tejido y por lavado de las hojas tratadas, indica este último como más exacto, habiendo obtenido valores más bajos al extraer el disco de tejido foliar, proveniente la diferencia del fósforo absorbido en dicho tejido. En el trabajo citado (20) la aplicación de una cantidad relativamente pequeña de agua destilada (10 ml) en forma de chorro fino sobre la hoja, fué suficiente para eliminar el ácido ortofosfórico no absorbido.

## MATERIAL Y METODO

Se utilizaron plantas de Coffea arabica L., variedad Bourbon Salvadoreño, de seis meses de edad, plantadas en macetas de hojalata de dos galones. Todos los experimentos se llevaron a cabo en invernadero. Se utilizaron soluciones de fosfatos de concentración 0.1 M, marcadas con fósforo-32<sup>\*</sup> para obtener una actividad específica de 20 mc/ml (microcurios por mililitro). Las aplicaciones se efectuaron en una de las hojas superiores bien desarrolladas de cada planta, que previamente se limpiaron suavemente con un algodón para eliminar polvo y sustancias extrañas. La cantidad de solución radiactiva aplicada en cada hoja fué de 0.1 ml (2uc), en forma de pequeñas gotas distribuídas en el lado adaxial de la lámina.

Se hizo un experimento preliminar de lavado de las hojas tratadas, un experimento de autoabsorción, un experimento de absorción con tres pH diferentes y dos experimentos sobre efecto de agentes humectantes en la absorción de fosfato de amonio y de potasio.

Lavado de hojas tratadas.

En este experimento se aplicó una solución radiactiva de fosfato de amonio en dos tratamientos diferentes, con y sin humectante (Fenopon AC 78 al 0.1%). Se utilizaron seis repeticiones en cada tratamiento y se tomaron las muestras 5 días después de la aplicación para permitir una absorción apreciable. Al tomar las muestras se consideró solamente las hojas tratadas.

Se lavaron tres hojas de cada tratamiento con agua destilada y las otras tres con una solución de lavado de NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> al 0.5% y HCl al 2.5%.

\* De Union Carbide and Chemical Co., Oale Ridge, Tennessee, U.S.A.

Los lavados se hicieron colocando las hojas en un vaso de precipitado con 50 ml. del líquido de lavado y agitando. Se hicieron cinco lavados sucesivos a cada hoja y los líquidos correspondientes se recogieron por separado, se llevaron a un volumen de 100 ml y se determinó la radiactividad de una parte alícuota en un tubo contador Geiger-Muller para líquidos y escalador TMC, SG-2A.-

Autoabsorción. Se prepararon planchetas en triplicado con diferentes cantidades de material vegetal molido y seco y tratado con fósforo radiactivo. Se colocaron entre 50 y 500 mg por plancheta y se determinó su radiactividad.

En todos los experimentos de absorción, al tomar las muestras las plantas se separaron en: hoja tratada, demás hojas, tallo y raíces. Se separó cuidadosamente el suelo de las raíces, tratando de dañarlas lo menos posible y se lavaron con agua para eliminar las partículas adheridas. Las hojas tratadas se lavaron dos veces con agua destilada para eliminar el fosfato no absorbido, según resultados del experimento correspondiente. Las soluciones de lavado se diluyeron hasta 500 ml con agua y se prepararon planchetas con 1 ml, en triplicado, para determinar su radiactividad. Las muestras de las diferentes partes de la planta se secaron a 70°C durante 48 horas en estufa de circulación forzada y se determinó su peso seco. Luego se molieron en molino de laboratorio Wiley. Modelo intermedio, a un diámetro máximo de 0.84 mm (20 mallas) y se prepararon planchetas en triplicado con 100 mg en cada una del material molida. Se determinó previamente que con 100 mg del material vegetal molido no había pérdidas por autoabsorción (gráfico Nº 1). Las planchetas así preparadas se contaron para fósforo-32 con tubos contadores Geiger Muller (con ventana de mica) y escaladores El-Tronics, Se

hicieron las correcciones pertinentes para decaimiento, eficiencia y geometría.

En todos los experimentos se utilizó un diseño irrestrictamente al azar y la significancia de las diferencias fué determinada por el análisis de la variancia y test de F. Los resultados se expresan como porcentaje de fósforo-32 absorbido y movilizado, entendiéndose por absorbido la suma de lo encontrado en las diferentes partes de la planta y por movilizado el encontrado fuera de la hoja tratada. La dosis aplicada, en base a la cual se calcularon los porcentajes, se determinó sumando la radiactividad encontrada en toda la planta y en el líquido de lavado. Los resultados de absorción y transporte se expresan como porcentaje de fósforo-32 aplicado a las plantas.

#### Absorción a pH 3.0, 4.0 y 5.0.

En este experimento se utilizó una solución de fosfato de amonio 0.1 M con humectante aniónico Fenopon AC 78 al 0.1 %. El pH de la solución original fué 4.1 y se ajustó a los pH utilizados con  $H_3PO_4$  0.5 M y  $NH_4OH$ . Se tomaron las muestras 2, 6 y 18 días después de la aplicación. En cada tratamiento se utilizaron 48 plantas, 16 para cada tiempo de absorción, distribuidas en 4 repeticiones de 4 plantas cada una.

#### Efecto de tres humectantes en la absorción de $NH_4H_2PO_4$ .

Se hicieron dos experimentos separados y en distinta fecha, con fosfato de amonio (28-III al 15-IV) y con fosfato de potasio (17-IV al 5-V). Se utilizaron soluciones de  $NH_4H_2PO_4$  y  $KH_2PO_4$  0.1 M y se hicieron 4 tratamientos en cada experimento: uno sin humectante y tres con diferentes humectantes, aniónico Fenopon AC 78 al 0.1% p/v; no iónico Tween 80 al 0.1% v/v; catiónico Hyamine 2389 0.1% v/v. El pH de las soluciones fué de 4.5.

Se tomaron las muestras después de 2, 6 y 18 días de la aplicación. Se utilizaron 48 plantas en cada tratamiento, 16 para cada tiempo de absorción, distribuidas en 4 repeticiones de 4 plantas cada una.

Los humectantes utilizados fueron:

Fenopon AC 78: Sulfonato de sodio del laurinato de etilo. 83% de ingrediente activo. Polvo blanco con densidad de 0.7-0.8 pH de la solución al 10%, 7.0-8.0. Tensión superficial de la solución acuosa al 0.1% y a 25°C = 27 dinas/cm. Tensión interfacial de la solución acuosa al 0.1% y a 25°C = 5 dinas. Aniónico.

Hyamine 2389: 40% de cloruro de metil-dodecil-bencil-trimetil-amonio, 10% de metil-dodecil-xililene bis trimetil cloruro de amonio. 50% de ingrediente activo. Líquido viscoso de color ámbar. Tensión superficial de la solución al 0.1% a 25°C = 32.2 dinas/cm. Tensión interfacial de la solución 0.1% a 25°C = 1.3 dinas. Catiónico.

Tween 80: Producto de condensación de óxido de etileno y monooleato de sorbitano. Líquido semiviscoso, de color ámber. No iónico.

## RESULTADOS

Lavado de las hojas tratadas.

El porcentaje de fósforo-32 lixiviado en cada lavado, del total lixiviado de las hojas tratadas, fué el siguiente:

CUADRO Nº 1

## PORCENTAJE DE FOSFORO-32 LIXIVIADO DE LAS HOJAS TRATADAS

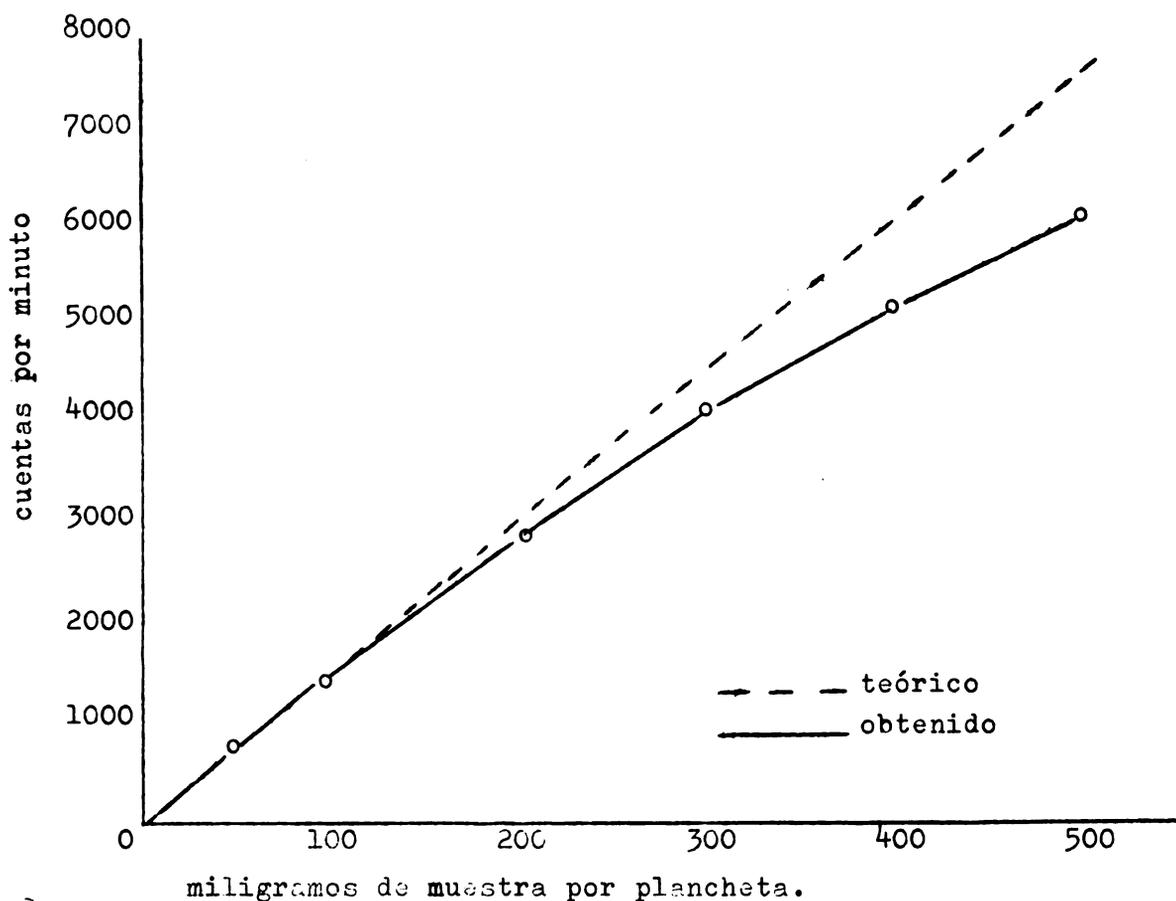
Hojas tratadas con solución de fosfato de amonio y humectante:	1º	2º	Lavados		
			3º	4º	5º
lavadas con agua:	98.5	1.5	-	-	-
lavadas con solución de NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> y HCl:	99.0	1.0	-	-	-
Hojas tratadas con solución de fosfato de amonio, sin humectante:					
lavadas con agua:	99.0	1.0	-	-	-
lavadas con solución de NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> y HCl:	98.5	1.5	-	-	-

Con el primer lavado se solubiliza todo el fertilizante no absorbido, en todos los tratamientos. El fósforo-32 que aparece en el segundo lavado, corresponde seguramente al líquido del primero que queda mojando las paredes del vaso y la hoja.

Con dos lavados con 50 ml de agua destilada cada uno basta para separar de la hoja tratada el fertilizante no absorbido. Este método de lavado se aplicó en los experimentos siguientes.

Autoabsorción

Los resultados de la experiencia de autoabsorción pueden apreciarse en el gráfico Nº 1. Se determinó que con 100 mg de material molido por plancheta no había pérdidas por autoabsorción.

GRAFICO Nº 1AUTOABSORCION EN MATERIAL VEGETAL MOLIDOAbsorción de  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  a pH 3.0, 4.0 y 5.0.

Los resultados de este experimento se resumen en el Cuadro Nº 2. La relación Translocado/Absorbido indica la fracción de fósforo-32 absorvido que se movilizó fuera de la hoja tratada.

CUADRO Nº 2ABSORCION DE  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  A pH 3.0, 4.0 y 5.0

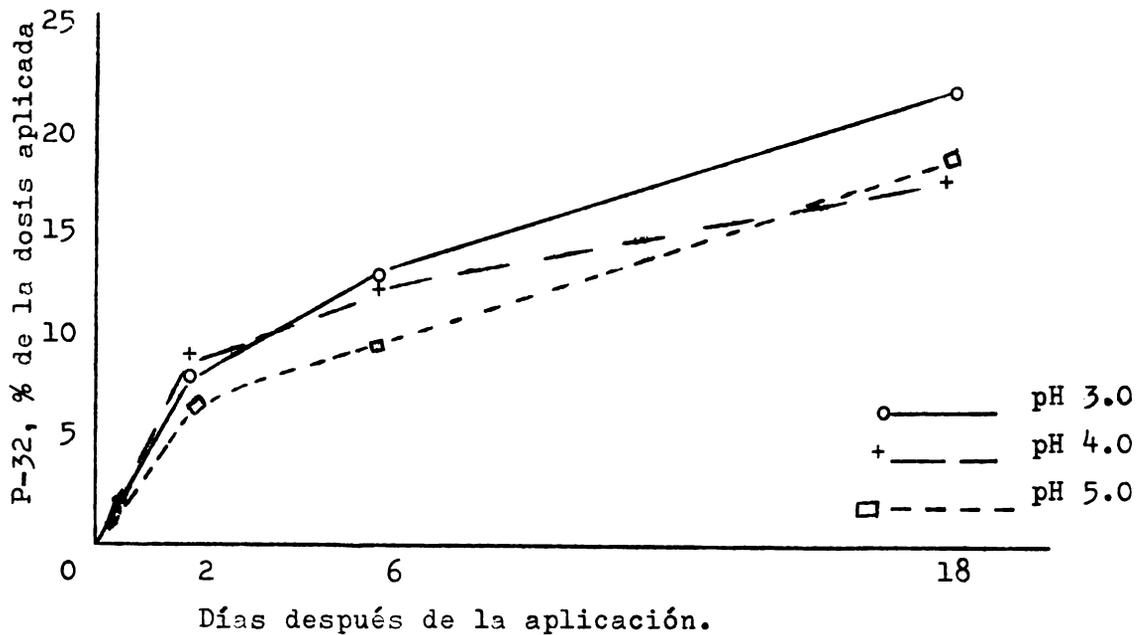
	2 días			6 días			18 días		
	Abs. %	Trans. %	Trans. Abs.	Abs. %	Trans. %	Trans. Abs.	Abs. %	Trans. %	Trans. Abs.
pH 3.0	9.17		14.44			23.97			
	0.29			1.85			5.17		
			0.032			0.128			0.216
pH 4.0	9.75		13.89			19.65			
	0.24			1.28			4.79		
			0.025			0.093			0.241
pH 5.0	7.98		10.78			20.66			
	0.22			0.99			4.87		
			0.029			0.093			0.237

Absorción:

Dos días después de la aplicación no hubieron diferencias significativas entre los tratamientos. A los seis días la absorción a pH 5.0 fué significativamente ( $P=0.05$ ) menor que en los otros tratamientos. A los 18 días no hubieron diferencias significativas.

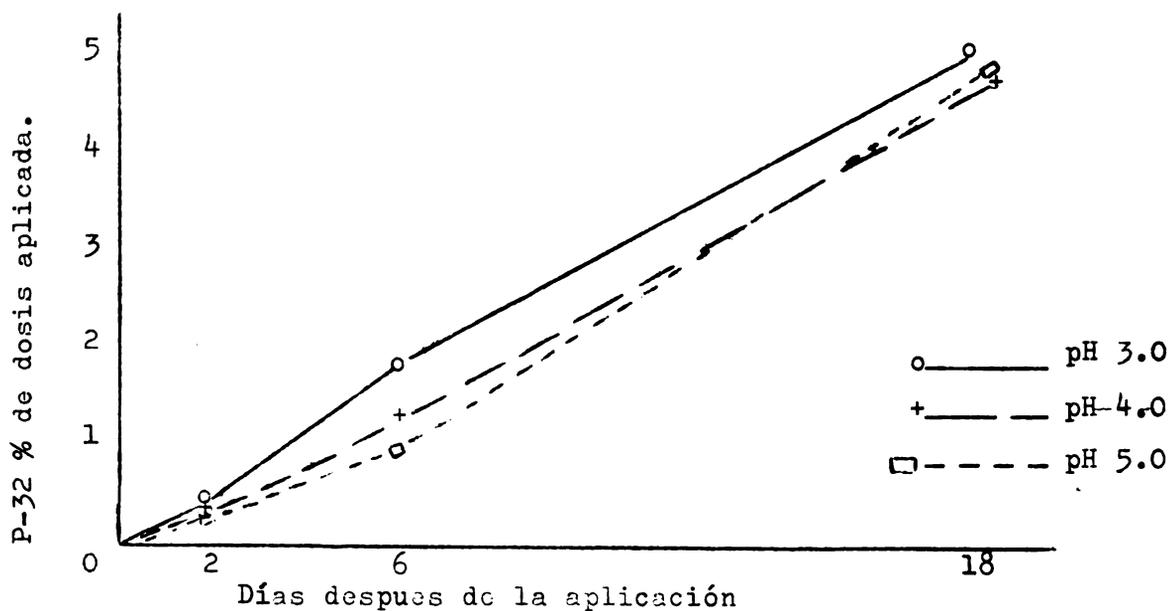
GRAFICO Nº 2

ABSORCION DE  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  a pH 3.0, 4.0 y 5.0



#### Traslocación (o fósforo movilizado?)

A los 2 y 18 días después de la aplicación no hubo diferencias significativas entre los tratamientos. A los 6 días la traslocación fué mayor en pH 3.0 que en pH 4.0 y 5.0, con diferencia altamente significativa. ( $P=0.01$ ).

GRAFICO N° 3TRASLOCACION DE  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  pH 3.0, 4.0 y 5.0

El fósforo-32 movilizado a las diferentes partes en que se separó las plantas, o sea, tallos, hojas y raíces, se resume en el Cuadro N° 3, donde aparecen solamente los promedios generales para cada tiempo de absorción, sin considerar tratamientos, ya que no había diferencias significativas entre ellos.

CUADRO N° 3

P-32 MOVILIZADO A TALLOS, HOJAS Y RAICES

	<u>2 días.</u>	<u>6 días</u>	<u>18 días</u>
Hojas	0.03	0.37	1.88
Tallos	0.14	0.51	1.42
Raíces	0.09	0.48	1.64

Absorción de  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  con tres humectantes.

Los resultados de este experimento se resumen en el Cuadro N<sup>o</sup> 5, en que aparecen los promedios de cada tratamiento.

CUADRO N<sup>o</sup> 4ABSORCION DE  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  CON TRES HUMECTANTES

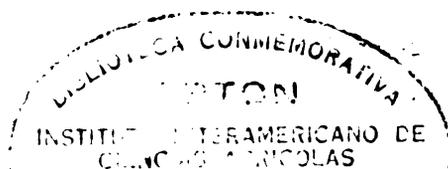
	2 días			6 días			18 días		
	Abs. %	Trans. %	Trans. Abs.	Abs. %	Trans. %	Trans. Abs.	Abs. %	Trans. %	Trans. Abs.
Testigo	1.09			1.41			2.54		
		0.03			0.25			0.59	
			0.024			0.191			0.232
	14.92			23.96			31.0		
Aniónico		0.54			3.16			8.78	
			0.036			0.132			0.286
	8.14			16.51			26.64		
No-iónico		0.28			1.85			7.89	
			0.035			0.110			0.296
	17.68			18.42			33.50		
Catiónico		0.56			2.35			8.59	
			0.031			0.127			0.256

Absorción:

En todos los tratamientos con humectante fué mayor que el testigo, con diferencia altamente significativa. La relación promedio de absorción con humectante o sin humectante fué aproximadamente de 12:1. .

A los 2 días de la aplicación la absorción fué, en orden descendente: catiónico-aniónico-no-iónico, con diferencia altamente significativa entre los dos primeros y el último.

A los 6 días, la absorción fué mayor en el tratamiento con humectan-

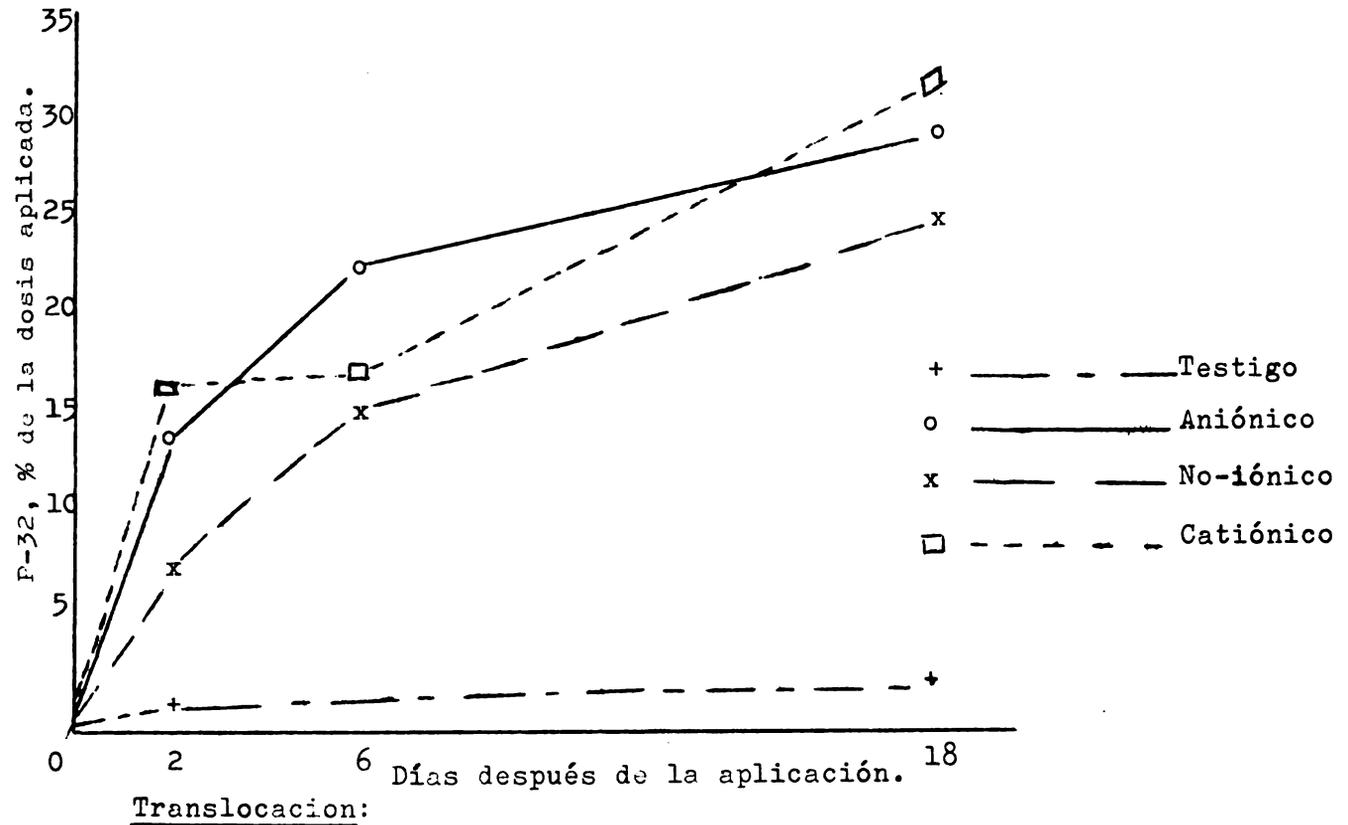


te aniónico, seguido del catiónico y no-iónico, con diferencia significativa entre el primero y el segundo y altamente significativa entre el primero y el último.

A los 18 días la absorción fué mayor en el tratamiento con humectante catiónico, ligeramente menor en el aniónico y más baja en el no-iónico. No hubo diferencia significativa entre los dos primeros, pero si entre estos y el último.

GRAFICO Nº 4

ABSORCION DE  $NH_4H_2PO_4$  CON TRES HUMECTANTES



Estos resultados están íntimamente relacionados con los de absorción, siendo mayor la cantidad de fósforo-32 movilizado en los tratamientos donde la absorción fué mayor. La cantidad de fósforo-32 movilizado en todos los tratamientos con humectante fué mayor que en el control y en todos los tiempos de absorción. La relación entre los tratamientos con y sin humectante fué entre 10 y 20 a 1.

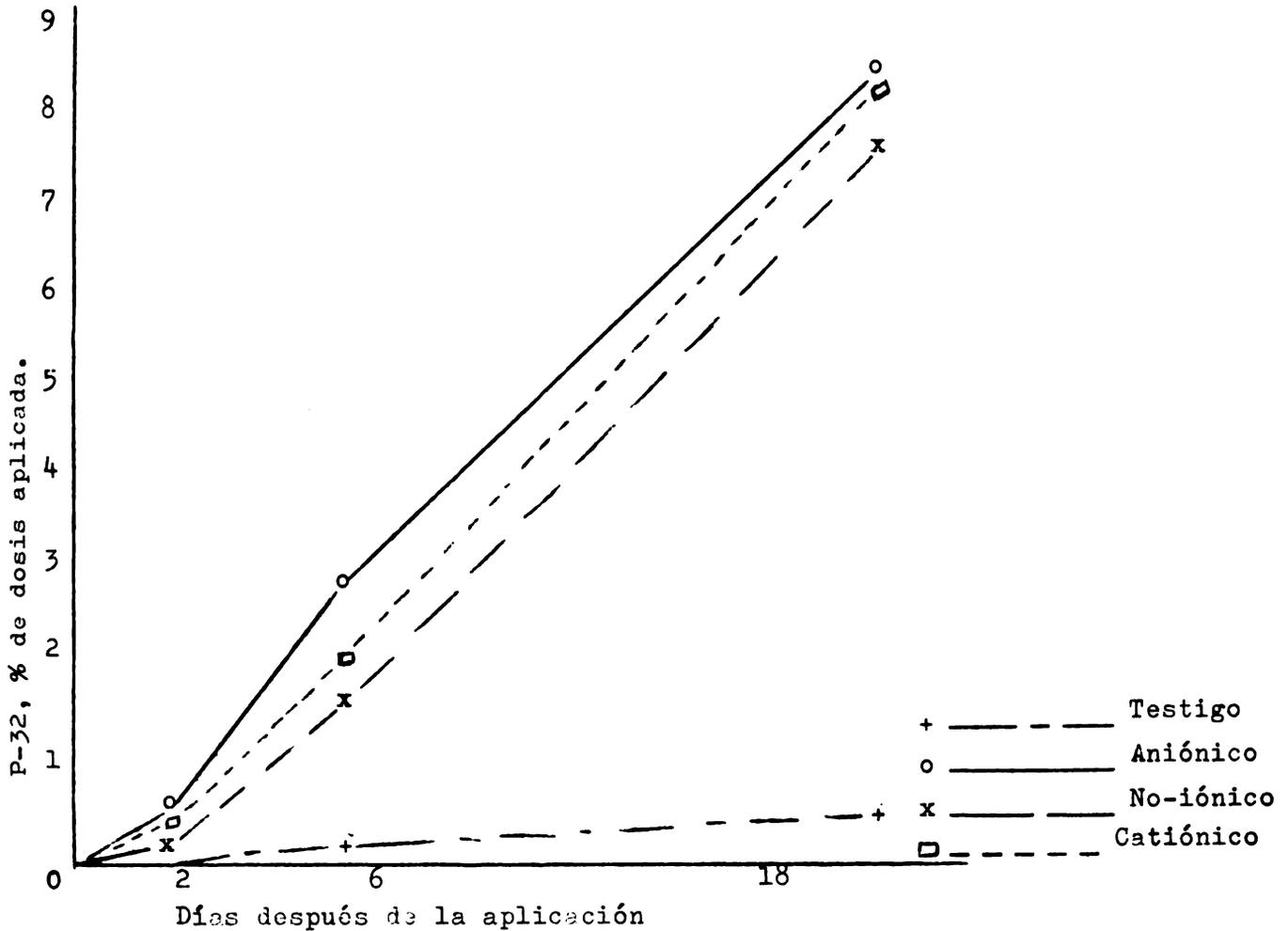
Relación P movilizado/P absorbido: (Trans/Abs.)

Los valores son muy semejantes en cada tiempo de absorción entre los diferentes tratamientos. Sólo hubo diferencia significativa a los 6 días entre el pH 3.0 que fué mayor que en pH 4.0 y 5.0.

A los dos días la traslocación fué mayor en los tratamientos con humectante catiónico y aniónico y menor en el no-iónico, con diferencia significativa.

A los 6 días la traslocación, en orden descendente, aniónico-catiónico-no-iónico, con diferencia significativa entre los dos primeros y altamente significativa entre el primer o y el último.

A los 18 días el orden fué el mismo, pero no hubieron diferencias significativas entre ellos.

GRAFICO N° 5TRASLOCACION DE  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  CON TRES HUMECTANTES

El fósforo-32 movilizado a las diferentes partes de la planta se resume en el Cuadro N° 5, donde aparecen solamente los promedios de los tres tratamientos con humectantes para cada tiempo de absorción. No se consideró los valores del tratamiento control, sin humectante, por ser muy bajos.

CUADRO Nº 5

## P-32 MOVILIZADO A TALLOS HOJAS Y RAICES

	<u>2 días</u>	<u>6 días</u>	<u>18 días</u>
Hojas	0.07	0.88	3.55
Tallos	0.20	0.69	1.98
Raíces	0.19	0.88	2.90

Relación P movilizado/P absorbido:

No hubo diferencias significativas entre tratamientos a los 2 y 6 días y a los 18 días fué mayor en los tratamientos con humectante que en el testigo, con **diferencia** altamente significativa. Puede observarse que los valores son muy semejantes entre control y tratamientos con humectantes.

Absorción de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> con tres humectantes.

Los resultados de este experimento se resumen en el cuadro N<sup>o</sup> 6 en que aparecen los promedios de cada tratamiento.

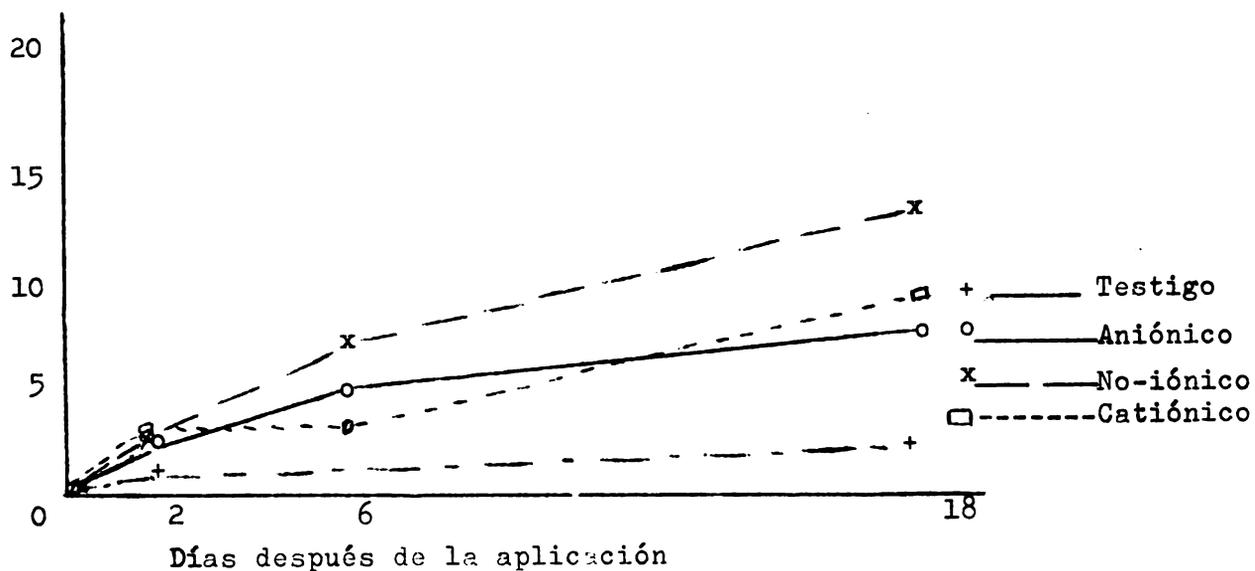
CUADRO N<sup>o</sup> 6ABSORCION DE KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> CON TRES HUMECTANTES

	2 días			6 días			18 días		
	Abs. %	Trans. %	Trans. Abs.	Abs. %	Trans. %	Trans. Abs.	Abs. %	Trans. %	Trans. Abs.
Testigo	0.81			1.34			3.07		
		0.03			0.25			0.89	
			0.031			0.181			0.276
Aniónico	2.56			5.64			8.99		
		1.03			1.78			3.38	
			0.332			0.236			0.359
No-iónico	3.17			6.96			15.38		
No-iónico		0.09			0.90			4.41	
			0.028			0.136			0.292
Catiónico	3.53			3.84			10.82		
		0.26			0.51			3.22	
			0.078			0.134			0.300

Absorción:

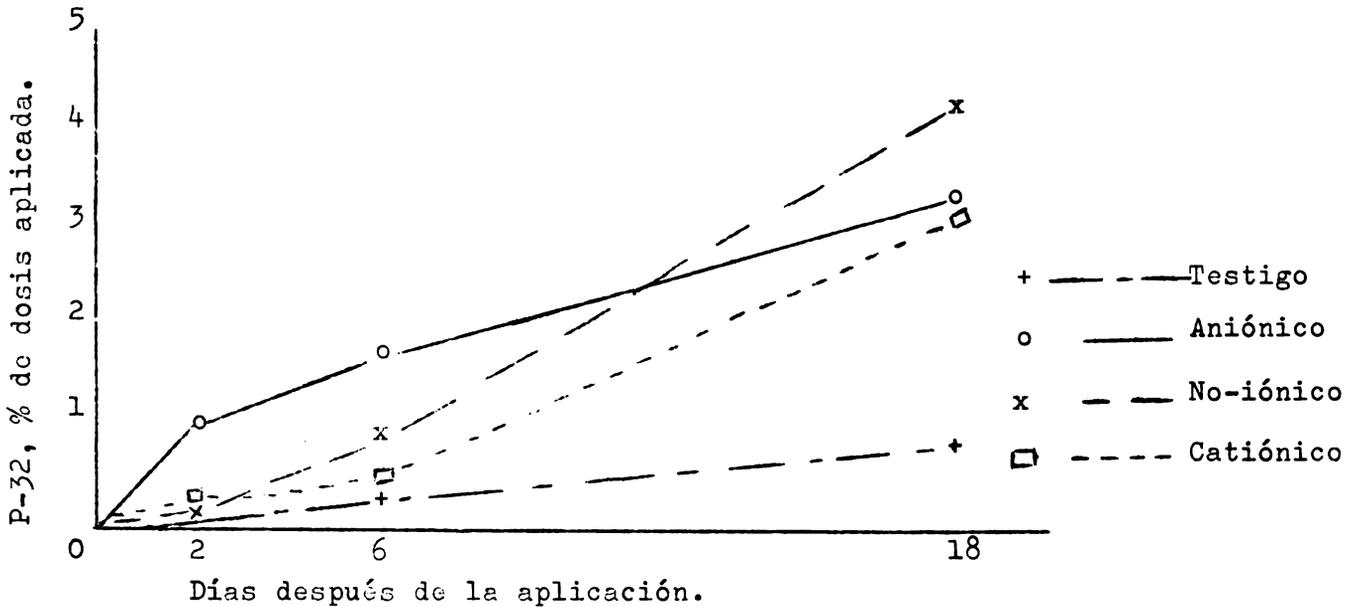
La absorción en todos los tratamientos con humectante fué mayor que en el control y en todos los tiempos después de la aplicación. Las diferencias fueron significativas al 1% a los 2 y 6 días y al 5% a los 18 días. La relación entre absorción con y sin humectante fué entre 3.5 y 4 a 1.

Entre los tratamientos con humectante no hubo diferencias significativas en ninguno de los tres tiempos después de la aplicación.

GRAFICO Nº 6ABSORCION DE  $KH_2PO_4$  CON TRES HUMECTANTESTraslocación:

Sólo hay diferencia significativa entre los tratamientos con humectante y el testigo a los 18 días. En general en los tratamientos con humectante hay mayor traslocación pero mucha diferencia entre repeticiones.

Entre tratamientos, a los dos días el tratamiento con humectante aniónico fué significativamente superior a los demás, incluyendo el testigo.

GRAFICO N° 7TRASLOCACION DE KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> CON TRES HUMECTANTES

El fósforo-32 movilizado a las diferentes partes de la planta se resume en el Cuadro N° 7, en que aparecen solamente los promedios de los tres tratamientos con humectante para cada tiempo de absorción. No se consideró los valores del tratamiento sin humectante, por ser muy bajos.

CUADRO N° 7

## P-32 MOVILIZADO A TALLOS, HOJAS Y RAICES

	<u>2 días</u>	<u>6 días</u>	<u>18 días</u>
Hojas	0.28	0.30	2.00
Tallos	0.15	0.53	0.87
Raíces	0.04	0.23	0.80

Relación P movilizado/P absorbido:

A los dos días después de la aplicación, esta relación fué mayor para el tratamiento con humectante aniónico y la diferencia con los demás tratamiento altamente significativa. A los 6 y 18 días después de la aplicación, no hubieron diferencias significativas entre tratamientos.

## DISCUSION

En el experimento de absorción de  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  a pH 3.0, 4.0 y 5.0 no se observaron diferencias entre los tratamientos. Debe advertirse que en realidad no es exacto referirse a  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  a diferentes pH, ya que al cambiar el pH del original de la solución, se tendrá sobre él una mezcla de fosfato mono y diamónico y para los valores inferiores al original, la mezcla será, en este caso de fosfato monoamónico y ácido fosfórico. Un factor que es necesario mencionar es que el método para ajustar el pH a los valores bajo 4.5 mediante agregación de ácido fosfórico 0.5M introdujo cambios en la concentración del fósforo de la solución original (0.1M) y por lo tanto cambios en la actividad específica de la solución radiactiva aplicada, de modo que el P-32 en que se expresan los resultados no corresponde a cantidades iguales de P-31 a los diferentes pH de este experimento. De esta manera, los valores de P-32 absorbido y movilizado corresponden seguramente a valores de P-31 mayores en el caso del pH 3.0 y con una diferencia mucho menor para el pH 4.0.

La mayoría de los autores (25, 12, 18, 14, 48, 43, 7, 21) ha determinado mayor absorción de fósforo a pH bajos y Wittwer (47) da la posible dependencia del pH como una de las razones para sugerir que la absorción de fosfatos puede ser un proceso activo, pero no se conoce en que forma las variaciones en el pH pueden originar las diferencias en absorción.

Barinov y Ratner (1) destacan la importancia en la absorción de la higroscopicidad y solubilidad de las sales aplicadas y relacionan estas características con el pH de las soluciones usadas. Koontz y Biddulph

(22) encontraron una relación directa entre la retención de agua de sales de sodio y potasio mono y disustituídas y su traslocación en la planta. El ácido fosfórico, que ha sido determinado por varios autores (13, 24, 34, 44, 49) como el compuesto de fósforo mejor absorbido y a pH cercano a 2.0, tiene como característica ser muy soluble y deliquescente, lo que evitaría que se secase sobre la hoja. Si se compara su solubilidad con la de los fosfatos de amonio, sodio o potasio puede verse que es muy superior (548g en 100 ml de agua fría y 2340g en 100 ml de agua a 26°C). Esto probablemente tiene importancia en la mayor absorción del ácido fosfórico.

El efecto del pH sobre la absorción puede ser en parte indirecto, determinado por las características del compuesto de fósforo que se encuentre presente a determinado pH y especialmente a su capacidad para mantenerse en solución.

En los ensayos de absorción realizados, en este trabajo se observó que las soluciones se secaban sobre las hojas un corto tiempo después de la aplicación. Aunque no se tomó datos de estos tiempos, es especialmente notable en el caso del fosfato monopotásico, la formación de cristales grandes. Si se observa los resultados de la absorción, se ve que entre los 2 y los 18 días después de la aplicación, esta aumenta considerablemente, cuando las sales aplicadas sobre las hojas se encontraban aparentemente secas, y en el caso del fosfato monopotásico, con poca superficie de contacto con la hoja. Es probable que haya habido una capa de sal en solución, posiblemente saturada, entre la sal seca y la hoja, ya que es difícil imaginar que una sustancia seca se absorba directamente. El agua de transpiración que se ha citado en algunos casos como de posible importancia, seguramente no la tiene en este caso, ya

que no hay estomas en el lado adaxial de la lámina de la hoja de café en que se hizo la aplicación. Considerando lo anterior, la concentración de la solución aplicada tendría una importancia muy relativa en sales con poca capacidad para retener agua y que no sean absorbidas rápidamente.

Los valores de la absorción en los tres experimentos realizados no son directamente comparables, por haber sido hechos en diferentes fechas y por ser posible que esté envuelto un ritmo anual de crecimiento en las plantas jóvenes que podría afectar la absorción foliar. Boss (4) encontró variaciones de la intensidad de crecimiento en plantas de café de 18 meses en distintas épocas del año.

La absorción de los fosfatos de amonio y de potasio fué mucho mayor cuando se utilizó humectantes en la solución aplicada, siendo 12 veces mayor en el caso del fosfato de amonio y 3.5 a 4 veces mayor para el fosfato de potasio. La absorción de los tratamientos sin humectantes fué muy semejante para los dos fosfatos y la diferencia viene dada por una absorción más baja de los tratamientos de humectante para el fosfato de potasio que para el de amonio, por lo cual se puede pensar en un diferente efecto de los humectantes en ambos casos o en interacción entre éstos y las soluciones aplicadas.

Los humectantes actúan reduciendo la tensión interfacial y superficial, ayudando a que haya un contacto más íntimo entre la solución y la hoja y aumentando el área de contacto, de manera que para el mismo volumen de líquido aplicado se tiene una superficie mojada mayor. Es posible que el área mojada por la solución aplicada o área de contacto entre la solución y la superficie de la hoja sea un factor de importancia para la absorción y que una de las causas del incremento de

la absorción producido por los humectantes sea el aumento de esta área.

Aún cuando la solución se seque poco tiempo después de aplicada, los humectantes contribuyen a repartir la sal sobre una superficie mayor. La superficie de la solución en contacto con el aire también aumenta al agregar humectantes a la solución y posiblemente el tiempo de secado disminuya por esta causa.

En general, se encontró una variación bastante grande en el comportamiento individual de las plantas de café utilizadas para la absorción foliar, como se observó ya en experimentos preliminares. Estas diferencias individuales podrían deberse, al menos en parte, a características de la cutícula, como roturas producidas por insectos u otras no aparentes a simple vista y que podrían tener influencia importante sobre la absorción, tal como sugiere Boynton (5).

La mayor absorción se obtuvo en el experimento con fosfato monopotásico con el humectante no-iónico, que fué el menos efectivo con el fosfato monoamónico, pero en general las diferencias entre humectantes fueron pequeñas y no siempre significativas. Con el humectante catiónico la absorción no aumentó entre los dos y seis días, pero fué mucho mayor a los 18 días, siendo este resultado el mismo para los dos fosfatos utilizados, tal como puede verse en los gráficos correspondientes. No se encontró explicación satisfactoria para esto.

En general, la traslocación o cantidad de fósforo movilizado, fué proporcional a la absorción, aún cuando esta fué muy diferente. Por ejemplo, entre el fosfato de amonio con y sin humectante hay una relación de 12:1 en la absorción, pero la relación entre absorción y traslocación se mantiene constante, para un mismo tiempo de absorción. Esta característica y el hecho que la relación traslocación-absorción

mencionada aumenta en todos los tratamientos con el tiempo, permite sugerir que en las condiciones de este experimento, la cantidad de P-32 movilizado sería una función de la absorción y del tiempo.

## RESUMEN

Se realizó un estudio sobre algunos aspectos del comportamiento de plantas de café a la absorción foliar de fósforo, especialmente sobre el efecto de agentes humectantes, usando fósforo radiactivo.

Se utilizaron plantas de 6 meses de Coffea arabica, variedad Bourbon Salvadoreño, plantadas en macetas en invernadero. Se hicieron 4 experimentos: a) Lavado de hojas tratadas; b) Absorción de fosfato monoamónico a pH 3.0, 4.0 y 5.0; c) Absorción de fosfato monoamónico con tres humectantes; d) Absorción de fosfato monopotásico con tres humectantes. En los dos últimos experimentos se seleccionaron tres humectantes para estudiar su efecto sobre la absorción: aniónico, Fenopon AC78; catiónico, Hyamine 2389 y no-iónico, Tween 80. En los experimentos de absorción se estudió también el movimiento del fósforo aplicado a las diversas partes de la planta.

Las soluciones radiactivas aplicadas a las plantas tenían una concentración 0.1 M y una actividad específica de 20 microcurios por mililitro y los humectantes se usaron a una concentración de 0.1%. Se aplicó 0.1 ml de las soluciones en una de las hojas superiores de cada planta y se tomaron las muestras después de 2, 6 y 18 días, dividiendo las plantas en hoja tratada, demás hojas, tallo y raíces. Se utilizó un diseño irrestrictamente al azar, con 4 repeticiones para cada tratamiento y tiempo, estando constituida cada repetición por cuatro plantas. Los resultados se expresan en fósforo-32, como porcentaje de la dosis aplicada.

Las conclusiones obtenidas son las siguientes:

1. En el lavado de las hojas tratadas se determinó que con dos lavados

con 50 ml de agua destilada en un vaso de precipitado era suficiente para separar la solución no absorbida.

2. La absorción de fosfato de amonio no alcanzó diferencias significativas entre pH 3.0 y 5.0.

3. La absorción de fosfato monoamónico fué 12 veces mayor cuando se utilizaron humectantes, fluctuando entre 26.6 y 33.5% a los 18 días para los tratamientos con humectante, contra 2.6% para el control sin humectante.

4. La absorción de fosfato monopotásico fué en promedio 3.5 a 4 veces mayor en los tratamientos con humectantes, fluctuando entre 9.0 y 15.4%, contra 3.1 del control a los 18 días.

5. La cantidad de fósforo-32 movilizado fuera de la hoja tratada fué proporcional a la absorción y aumentó con el tiempo. Alcanzó un máximo de 8.8% de la dosis aplicada para el fosfato de amonio a los 18 días y un 4.4% para el fosfato monopotásico.

6. La relación fósforo movilizado/fósforo absorbido fué más o menos constante para los diferentes tiempos, a pesar de existir grandes diferencias entre la absorción con y sin humectantes, pero aumentó con el tiempo transcurrido después de la aplicación.

7. No hubo grandes diferencias en el efecto de los diferentes humectantes. Con el fosfato de potasio el más efectivo fué el humectante no-iónico, que fué el menos efectivo con fosfato de amonio.

8. Aunque los experimentos de absorción de fosfato de amonio y de potasio no son directamente comparables por ser hechos en diferentes fechas, puede verse que la absorción de los tratamientos sin humectante en ambos casos es muy semejante, existiendo en cambio gran diferencia en los tratamientos con humectante. Esto puede interpretarse como un

diferente efecto de los humectantes con las dos sales utilizadas.

Se observó además que se llevaba a efecto absorción cuando las sales aplicadas estaban aparentemente secas sobre las hojas y en el caso del fosfato monopotásico formando cristales.

Se discute la importancia del pH de las soluciones aplicadas, especialmente en relación con el compuesto de fósforo presente a diferentes pH y sus características de solubilidad y capacidad de retención de agua.

## SUMMARY

A study was done on some aspects of the behavior of coffee plants to the foliar application of radiophosphorus, especially on the effect of wetting agents.

Six month plants of Coffea arabica, Bourbon salvadoreño variety were used in pots in the greenhouse. Four experiments were done: a) Washing of treated leaves; b) Absorption of monoammonium phosphate at pH 3.0, 4.0 and 5.0; c) Absorption of monoammonium phosphate with three wetting agents; d) Absorption of monopotassium phosphate with three wetting agents. In the last two experiments three wetting agents were selected in order to study their effect on absorption: anionic (Fenopon AC78), cationic (Hyamine 2389) and non-ionic (Tween 80). In the absorption experiments, translocation of the applied phosphorus to the different parts of plant was studied.

The radioactive solutions applied to the plants had a concentration of 0.1 M and a specific activity of 20  $\mu\text{C}/\text{ml}$ , and the wetting agents were used at 0.1% concentration. 0.1 ml of solution was applied to one of the upper leaves in each plant, and samples were taken 2, 6 and 18 days after application, by dividing the plants into treat ed leaf, other leaves, stems, and roots. A completely random design was used, with four replications/treatment and four plants/replication. Results are given as percentage of the applied dose.

The following conclusions were obtained:

1. In the washing of treated leaves it was determined that two washings with 50 ml of distilled water in a beaker removed the non-absorbed solution.

2. Ammonium phosphate absorption was not significantly different between pH 3.0 and 5.0.
3. Monoammonium phosphate absorption was 12 times greater when wetting agents were used, varying between 26.6 and 35.5% after 18 days in the treatments with wetting agent, against 2.6% for the control without wetting agent.
4. The average monopotassium absorption was 3.5 to 4 times greater in the treatments with wetting agents, varying between 9.0 and 15.4%, against 3.1 for the control at 18 days.
5. The amount of phosphorus-32 translocated out of the treated leaf was proportional to the absorption and increased with time. After 18 days it reaches a maximum of 8.8% of the applied dose for ammonium phosphate, and 4.4% for monopotassium phosphate.
6. The translocated/absorbed phosphorus ratio was in general constant at each time period, despite the great differences between absorption with and without wetting agents. The ratio increased with time after application.
7. There were no great differences between the effects of the wetting agents. With monopotassium phosphate, the most effective wetting agent was the non-ionic, which was the least effective with ammonium phosphate.
8. Although the absorption experiments with ammonium and potassium are not directly comparable because they were done at different times, it can be seen that absorption is very similar in both treatments without wetting agent, but that there is a great difference in the treatments with wetting agents between the two salts used.

Besides, it was observed that absorption occurred when the salts

applied on the leaves were apparently dry, and with monopotassium phosphate, in a crystalized form.

The importance of the pH of the applied solutions is discussed, especially in relation with the phosphorus compound present and its solubility and hygroscopic characteristics.

## LITERATURA CITADA

1. BARINOV, G.V. & RATNER, E.I. Some features of the assimilation of substances through the leaves after foliar application. *Plant Physiology (Fiziologiya Rastenii)* 6(3): 333-340. 1959.
2. BARRIER, G.E. & LOOMIS, W.E. Absorption and traslocation of 2,4-Diclorophenoxyaceticacid and P32 by leaves. *Plant Physiology* 32(3): 225-231. 1957.
3. BIDDULPH, O. Diurnal migration of injected radiophosphorus from bean leaves. *American Journal of Botany* 28(4): 348-352. 1941.
4. BOSS, M.L. Some external and internal factors related to the growth cycle of coffee. Unpublished M. A. thesis. Turrialba, C. R., Inter-American Institute of Agricultural Sciences, 1951. 64 p. (typewritten)
5. BOYNTON, D. Nutrition by foliar application. *Annual Review of Plant Physiology* 5: 31-54. 1954.
6. BUKOVAC, M.J. & WITWER, S. H. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. *Plant Physiology* 32(5): 428-435. 1957.
7. CAIN, J.C. Absorption and metabolism of urea by leaves of coffee, cacao and banana. *American Society for Horticultural Sciences. Proceedings* 67: 279-286. 1956.
8. COLWELL, R.N. The use of radioactive phosphorus in translocation studies. *American Journal of Botany* 29(10): 798-807. 1942.
9. COOK, J.A. & BOYNTON, D. Some factors affecting the absorption of urea by McIntosh apple leaves. *American Society for Horticultural Sciences. Proceedings* 59: 82-90. 1952.
10. CRAFTS, A.S. Weed control: applied botany. *American Journal of Botany* 43(7): 548-556. 1956.
11. EGGERT, R. & KARDOS, L.T. Further results on the absorption of phosphorus by apple trees. *American Society for Horticultural Sciences. Proceedings* 64: 47-51. 1954.
12.                      KARDOS, L.T. & SMITH, R. D. The relative absorption of phosphorus by apple trees and fruits from foliar sprays, and from soil applications of fertilizer using radioactive phosphorus as a tracer. *American Society for Horticultural Sciences.* 60: 75-86. 1952.

13. FISHER, E.G. & WALKER, D. R. The apparent absorption of phosphorus and magnesium from sprays applied to the lower surface of McIntosh apple leaves. American Society for Horticultural Sciences, Proceedings 65: 17-24. 1955.
14. FOGG, G.E. Quantitative studies on the wetting of leaves by water. Royal Society Proceedings (London) Serie B, Biological Sciences 134(877): 503-522. 1947. (Original not available for examination; abstracted in Biological Abstracts 23: 24738. 1949)
15. FREED, V. H. & MONTGOMERY, M. The effect of surfactants on foliar absorption of 3-amino-1,2,4-triazole. Weeds 6(4):386-389. 1958.
16. GUEST, P.L. & CHAPMAN, H.D. Investigations on the use of iron sprays, dusts, and soil applications to control iron chlorosis of citrus. American Society for Horticultural Sciences. Proceedings 54: 11-21. 1949. \* \*
17. GUSTAFSON, F. G. Absorption of Co-60 by leaves of young plants and its translocation through the plant. American Journal of Botany 43(2): 157-160. 1956.
18. HIGASHIMO, S. & YATAZAWA, M. The metabolism of phosphorus compounds. I. Utilization of radioactive isotopes. Science Rept. Shiga Agr. Coll., Ser.I, N91: 39-41. 1952. (Original not available for examination; abstracted in Chemical Abstracts 50(9):6597 h. 1956).
19. ISODA, R. The foliar absorption of radioactive phosphorus by grape vine. Shiga Kenritsu Nogyo Tankidaigaku, Gakujutsu Hokoku. Ser.1, N96: 3-4. 1954. (Original not available for examination; abstracted in Chemical Abstracts. 51(14): 10676 i. 1957)
20. JYUNG, W.H. Foliar absorption of mineral nutrients with special reference to the use of radioisotopes and the "leaf washing technique". M.S. thesis. U.S. Atomic Energy Unclassified Report N9 AECU-4433. 1959. 45 p.
21. KAINDL, K. Foliar fertilization with phosphatic nutrient labelled with  $^{32}\text{P}$ . In Johnston, J. E., Ed. Radioisotope conference, 1954; proceedings of the second conference, Oxford, 19-23 July. London, Butterworths Scientific Publications, 1954. Vol. 1, pp. 397-404.
22. KOONTZ, H. & BIDDULPH, O. Factors affecting absorption and translocation of foliar applied phosphorus. Plant Physiology 32(5) 463-470. 1957.
23. LAMBERTZ, P. Untersuchungen ueber das Vorkommen von Plasmodesmen in den Epidermisaussenwaenden. Planta 44(2): 147-190. 1954.

24. LONG, W.G., & OTHERS. The effects of internal and external factors upon foliar absorption and distribution of radioactive phosphorus, potassium and rubidium in plants. *Plant Physiology* 30 (supplement): 1955.
25. McFARLANE, W.L. Some factors affecting growth and yield of coffee. Unpublished M.A. thesis. Turrialba, C.R., Inter-American Institute of Agricultural Sciences, 1949. 47p. (typewritten)
26. MALAVOLTA, E., ARZOLLA, J.P. & HAAG, H.P. Preliminary note on the absorption of radiozinc by young coffee plants (*C. arabica*) grown in nutrient solution. *Phyton* 6(1):1-6. 1956.
27. MOLINA, J.R. El efecto de cuatro substancias de crecimiento sobre la floración, fructificación y crecimiento de *Coffea arabica* L. Tesis sin publicar M.A. Turrialba, C. R., Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1956. 71p. (mimeografiado)
28. NEWTON, O. A. A preliminary study of the growth and flower habits of *Coffea arabica* L. Unpublished report. Turrialba, C. R., Inter-American Institute of Agricultural Sciences, 1952. 37p. (typewritten)
29. ORGELL, W.H. The isolation of plant cuticle with pectic enzymes. *Plant Physiology* 30(1):78-80. 1955.
30. RUMANNI, A. Extraradical nutrition of *Nicotiana tabacum* plants. II. Phosphorus absorption by the leaves of *Nicotiana tabacum* plants (Round tip variety). *II Tabacco* 61:480-489. 1957. (original not available for examination; abstracted in *Chemical Abstracts* 52(22):20452c. 1958).
31. ROBERTS, E.A., SCUTHWICK, M.D. & PALMITER, D.H. A microchemical examination of McIntosh apple leaves showing relationship of cell wall constituents to penetration of spray solutions. *Plant Physiology* 23(4):557-559. 1948
32. SCOTT, F.M. Internal suberization of tissues. *Botanical Gazette* 111(4): 378-394. 1950
33. SHEREVERYA, N.I. The interrelationship of foliar and root mineral nutrition in plants. *Plant Physiology (Fiziologiya Rastenii)* 6(1): 18-25. 1959
34. SILBERSTEIN, O. & WITWER, S.H. Foliar application of phosphatic nutrients to vegetable crops. *American Society for Horticultural Sciences. Proceedings* 58: 179-190. 1951
35. SKOSS, J.D. Structure and composition of plant cuticle in relation to environmental factors and permeability. *Botanical Gazette* 117(1): 55-72. 1955
36. STANIFORTH, D. W. & LOOMIS, W.E. Surface action in 2,4-D sprays. *Science* 109(2843):628-629. 1949

37. SWANSON, C.A. & WHITNEY, J.B.(Jr.) Studies on the translocation of foliar-applied P-32 and other radioisotopes in bean plants. *American Journal of Botany* 40(10):816-823. 1953
38. TEUBNER, F.G., & OTHERS. Some factors affecting absorption and transport of foliar-applied nutrients as revealed by radioactive isotopes. Michigan Agricultural Experiment Station, Quarterly Bulletin 39(3):398-415. 1957
39. THOMPSON, C.C. Efficiencies of wetting agents used in agricultural sprays. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 9: 650-657. 1958 (Original not available for examination; abstracted in *Chemical Abstracts* 53(4):3586i. 1959)
40. THORNE, G.N. The effect of applying a nutrient in leaf sprays on the absorption of the same nutrient by the roots. *Journal of Experimental Botany* 8(24):401-412. 1957
41. \_\_\_\_\_ Factors affecting uptake of radioactive phosphorus by leaves and its translocation to other parts of the plant. *Annals of Botany* 22(87):381-398. 1958
42. \_\_\_\_\_ Interactions of nitrogen, phosphorus and potassium supplied in leaf sprays or in fertilizer added to the soil. *Journal of Experimental Botany* 6(16): 20-42. 1955
43. TUKEY, H.B., & OTHERS. Absorption of nutrients by stems and branches of woody plants. *Science* 116(3007):167-168. 1952
44. \_\_\_\_\_ Y OTROS. Utilización de los isótopos radioactivos en el estudio del grado de efectividad de la absorción foliar de los elementos nutritivos por las plantas. En Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos, Ginebra, 1956. New York, Naciones Unidas, 1956. vol.12, pp.154-160
45. URSULENKO, P.K. The use of labeled phosphorus in a study of nonroot feeding of fruit plants. In U.S. Atomic Energy Commission. All union conference on the application of radioactive and stable isotopes in the national economy and science; (abstracts of papers and plenary session papers.) Translated from the Russian by the Consultants Bureau, Inc. Washington, D.C., Department of Commerce, Office of Technical Services, 1958? p. 172 (Unclassified Report no. AEC-tr-2925).
46. WITWER, S.H. Nutrient uptake with special reference to foliar absorption. In Comar, C.L., ed. Atomic energy and agriculture; a symposium presented at the Atlanta meeting on December 27-29, 1955. Washington, D. C., American Association for the Advancement of Science, 1957. pp. 139-164. (AAAS Publication no.49)
47. \_\_\_\_\_ & TEUBNER, F.G. Foliar absorption of mineral nutrients. *Annual Review of Plant Physiology* 10: 13-32. 1959

48. WITTWER, S.H., TEUBNER, F.G. & McCALL, W.W. Comparative absorption and utilization by beans and tomatoes of phosphorus applied to the soil and foliage. American Society for Horticultural Sciences. Proceedings 69: 302-308. 1957. \*
49. \_\_\_\_\_ & OTHERS. Current status of nutritional spraying as revealed by radioactive isotopes. California Horticultural Society Journal. 17:50-57. 1956. (Original not available; abstracted in Chemical Abstracts 52(18):1579g. 1958)
50. YATAZAWA, M. & HIGASHIMO, S. The metabolism of phosphorus compounds II Utilization of radioactive isotopes. Science Reports of Shiga Agricultural College Ser.I, no.2: 31-39. 1952.(Original not available for examination; abstracted in Chemical Abstracts 50(9):6597i. 1956.)
51. \_\_\_\_\_ & ISHIHARA, T. Effect of accompanying agricultural chemicals on the foliar absorption of orthophosphate. Shiga Kenritsu Nogyo Tankidaigaku, Gakujutsu Hokoku Ser.I, No 6: 23-24. 1954. (Original not available for examination; abstracted in Chemical Abstracts 51(14):10820h. 1957)
52. \_\_\_\_\_ & TAI, K. The mechanism of foliar absorption of phosphate. I Effect of accompanying sugars upon the foliar absorption of phosphate. Journal of the Science of Soil and Manure (Japan24:93-95. 1953. (Original not available for examination; abstracted in Chemical Abstracts 48(3):1486d. 1954.
53. YEGOROV, A.V. Translocation and metabolism of tagged phosphorus in the nonroot nutrition of sunflowers and sugar beets. In: United States Atomic Energy Commission. Tagged atoms in the study of plant nutrition and use of fertilizers: conference transactions. Translated from a publication of the publishing house of the U.S.S.R. Academy of Sciences, Moscow, 1955. Washington, D. C., Department of America, Office of Technical Services. n.d. pp. 153-163. (AEC-tr-3376).

A P E N D I C E

Ejemplo de determinación de % de  $P^{32}NH_4H_2PO_4$  18 días después de la aplicación.  
 Repetición N° 3 del tratamiento con humectante aniónico:

Muestra	Cuentas Totales	Tiempo Minutos	C.P.M.	Prom.	Corrección para actividades de fondo	Corrección para decaimiento y geometría	Total de muestra	Total de Actividad Total C.M.P.	% del Total
Lavado	1 ml	3.200	492	496	424	2.126 (1)	500 ml	1.063.000	
	"	"	508						
	"	"	489						
Hoja									
Tratada	100 mg	"	1.600	1.600	1.536	71.734 (2)	0.54 g	387.364	24.33
	"	"	1.600						
Demás hojas	"	"	520	518	434	1.272 (3)	4.09 g	52.025	3.27
	"	"	512						
	"	"	533						
Tallos	"	"	780	751	680	1.983 (4)	2.05 g	40.652	2.55
	"	"	762						8.92
	"	"	810						Trans.
Raíces	"	"	508	508	442	1.854 (5)	2.66 g	49.316	3.10
	"	"	504						
	"	"	512						
								<u>1.592.357</u>	<u>33.25</u>
									(absorbido)

(1) Factor de corrección =  $5.013 = 2.258$  (decaimiento) x  $2.22$  (geometría)  
 (2) " " =  $46.702 = 17.057$  ( " ) x  $2.738$  ( " )  
 (3) " " =  $2.932 = 2.932$  ( " ) -  
 (4) " " =  $2.916 = 2.916$  ( " ) -  
 (5) " " =  $4.195 = 4.195$  ( " ) -

Los diferentes factores de corrección se deben a que las muestras se contaron en diferentes días y por ello el decaimiento era diferente y algunas (lavado y hoja tratada) se contaron en diferente posición respecto al tubo contador, por lo cual fué necesario corregir para geometría.  
 El punto de referencia para calcular los factores de corrección fué un patrón de P-32 que se contó 3 veces cada día hasta 10.000 cuentas y en las diferentes posiciones cuando fué necesario.

EJEMPLO DEL ANALISIS ESTADISTICOAbsorción de  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  a los 18 días de la aplicación

Testigo	Aniónico	No iónico	Catiónico	
2.33	25.43	26.95	31.34	
2.84	26.43	25.23	40.12	
2.40	33.25	26.88	33.20	
2.58	38.84	27.50	29.12	
10.15	124.00	106.56	133.82	374.53
2.54	31.00	26.64	33.50	

$$\text{Factor de corrección} = \frac{(374.53)^2}{16} = 8767.05$$

(S.deC.)

$$\text{Suma de Cuadrados Total} = 11.373.79 - \text{F.C.} = 2.606.74$$

(S.deC.)

$$\text{Suma de Cuadrados entre Tratamientos} = 11.185.46 - \text{FC} = 2.418.41$$

Tabla de Análisis de la Variancia:

(F.deV.) Fuente de Variación	G. L.	S.deC.	CM	Fcalc.	0.10	0.05	0.01
Entre Tratamientos	3	2.418.41	806.14	51.38 <sup>++</sup>		3.49	5.95
Tratamiento vs. Hu- mectantes	1	2.323.11	2.323.11	148.06 <sup>++</sup>		4.75	9.35
Entre Humectantes	2	95.30	47.65	3.036 <sup>10</sup>	2.81	3.88	6.93
Noiónico vs. Anión- ico y Catiónico	1	83.25	83.25	5.31 <sup>+</sup>	3.18	4.75	9.33
Aniónico vs. Catió- nico	1	12.05	12.05	0.77 <sup>NS</sup>	"	"	"
Error	12	188.33	15.69				
Total	15	2.606.74					

++ = Significativo al 1% de probabilidad o altamente significativo

+ = Significativo al 5% de probabilidad

10 = Significativo al 10% de probabilidad