

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

LIXIVIACION DE NUTRIENTES EN TRES SUELOS
CON DOS NIVELES DE AGUA APLICADO P-K
EN FORMA GRANULAR Y EN SOLUCION



Guatemala, Septiembre de 1979

TESIS DE REFERENCIA
NO

SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.

R
01
T(386)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR Lic. Saúl Osorio Paz

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO Dr. Antonio Sandoval Sagastume
Vocal 1º Ing. Agr. Rodolfo Estrada González
Vocal 3º Ing. Agr. Rudy Villatoro Recinos
Vocal 4º Br. Juan Miguel Irfas Girón
Secretario Ing. Agr. Carlos Salcedo Zenteno

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO Ing. Agr. Rodolfo Estrada González
Examinador Ing. Agr. Sergio Mollinedo
Examinador Ing. Agr. Carlos Aguirre
Examinador Ing. Agr. Oscar Ufer Thiel
Secretario Ing. Agr. Leonel Coronado



Referencia.....
Asunto.....

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

3 de septiembre de 1979.

Dr. Antonio Sandoval S.
Decano de la
Facultad de Agronomía.
PRESENTE.

Señor Decano:

Atendiendo la designación que nos hiciera el Decanato de la anterior administración, nos complace en informar que hemos asesorado al Sr. RAFAEL FERNANDO MONTEAGUDO MAYORGA en la ejecución de su trabajo de tesis de grado titulado: "LIXIVIACION DE NUTRIENTES EN TRES SUELOS CON DOS NIVELES DE AGUA APLICANDO P-K EN FORMA GRANULAR Y EN SOLUCION".

El presente trabajo está basado en el método científico al intentar investigar el comportamiento de los nutrimentos fósforo y potasio de acuerdo a las reacciones químicas del suelo a través de su fase intercambiadora.

Consideramos que el presente trabajo es el primero en su género desarrollado en el Depto. de Edafología de esta Casa de Estudios y deja abierta una serie de inquietudes científicas además de la contribución en una primera aproximación al conocimiento de investigación en el campo de la dinámica del suelo.

Por lo anteriormente expuesto, consideramos que el trabajo del Sr. Monteagudo cumple con los requisitos básicos que toda tesis a nivel universitario debe llenar, por lo que recomendamos le sea aceptado para su aprobación, así como para su discusión y defensa que el autor debe sustentar en su Examen General Público previo a su graduación.

Deseamos dejar constancia del esfuerzo y dedicación que el autor manifestó durante todo el proceso del estudio.

Sin otro particular, nos es grato suscribirnos del Sr. Decano con muestras de consideración y aprecio.

Dr. Emilio Escamilla E.
ASESOR

Ing. Agr. Salvador Castillo O.
ASESOR
Director Depto. de Edafología.



DEDICO ESTA TESIS

- A Dios Todo Poderoso**
- A Mi Patria Guatemala**
- A La Universidad de San Carlos**
- A La Facultad de Agronomía**
- Al Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola.**

DEDICO ESTE ACTO

A MIS PADRES	Lic. José de Jesús Monteagudo Muñoz Thelma Mayorga de Monteagudo.
A MI ESPOSA	Flor de Marfa Rodríguez de Monteagudo
A MI HIJA	Marfa Fernanda Monteagudo Rodríguez
A MIS HERMANOS	Ing. Agr. Manuel de Jesús Monteagudo Ruth de Monteagudo Dr. Francisco José Monteagudo Sylvia de Monteagudo
A MIS ABUELAS	Marfa Angelica Muñoz Mirtala R. Vda. de Núñez
A MIS SOBRINOS	Pablo José Paola Marfa Mariella Andrea
A MIS SUEGROS	Prof. Rafael Rodríguez Profa. Victorina Rodríguez

AL

**Sr. Vicente Castañeda C. y
Sra. Alicia M. de Castañeda**

**Dr. Augusto Baldizón P. y
Sra. Clementina N. de Baldizón**

**Sr. José Luis Núñez y
Sra. Ana Marfa de Núñez**

**Dr. Mayo L. Cuenca y
Dra. Ana Isabel de Cuenca**

**Dr. Alberto Solórzano y
Sra. Janeth de Solórzano**

Sr. Alfonso Mayorga

A mis Amigos

**Ing. Agr. Max Edgar Zepeda
Ing. Agr. Juan Ricardo Vasquez**

AGRADECIMIENTO

A MIS ASESORES

Dr. Emilio Escamilla e Ing. Agr. Salvador Castillo O, por su valiosa colaboración brindada para la elaboración del presente trabajo de tesis

A1

P.A Augusto Barrios, por haberme facilitado en su propiedad la selección de parte de los suelos utilizados en esta investigación

A1

Ing. Agr. José Jesús Chonay e Ing. Mario Braeuner, por sus valiosos y acertados consejos, sugerencias y atenciones proporcionadas durante el desarrollo de esta tesis

A1

Personal de los Laboratorios de Nutrición Vegetal del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA), por su colaboración en los análisis de suelos

A1

Br. Rolando Portillo, por su valiosa ayuda aportada en los Laboratorios del Departamento de Edafología de la Facultad de Agronomía

A

Todas las personas que en una u otra forma contribuyeron a la realización del presente estudio.

INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
Primera Parte:	
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	2
III. MATERIALES Y METODOS	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	30
V. CONCLUSIONES	39
Segunda Parte:	
VI. MATERIALES Y METODOS	40
VII. RESULTADOS Y DISCUSION	45
VIII. CONCLUSIONES	64
IX. BIBLIOGRAFIA	67
X. APENDICE	70

PRIMERA PARTE

1. Introducción

En Guatemala de un tiempo acá, un fuerte número de agricultores utilizan fertilizantes para lograr mayores rendimientos en los cultivos; en consecuencia, es corriente y usual la demanda de estos bienes auxiliares de la agricultura. No obstante ello, debe reconocerse que dicha utilización; en términos generales, se realiza en forma empírica. En algunos casos siguiendo tan solo referencias de agricultores amigos y, en otras atendiendo únicamente sugerencias de los propios vendedores de estos productos.

Serfa prolijo entrar a narrar los pormenores y consecuencias de esta práctica en el agro guatemalteco; además, se aparta de los objetivos de este trabajo que se circunscriben a determinar, a través de la investigación directa, el comportamiento de dos elementos mayores (fósforo y potasio) en ciertos suelos seleccionados.

Se reconoce que un número reducido de agricultores llevan a cabo análisis de suelos, lo que les permite proporcionar los nutrimentos indispensables para los cultivos que desean emprender; pero aún en este caso, se desconoce el grado de fijación, movilidad y disponibilidad de los nutrimentos empleados. Este trabajo pretende dar respuesta a esta cuestión, para cuyo efecto se han tenido como objetivos centrales los siguientes:

OBJETIVOS:

- a) Estudiar la movilidad del fósforo y potasio (P-K) aplicados en la parte superficial del suelo en forma granular (convencional), y en solución, a fin de poder decidir el método más eficiente de fertilización; y,
- b) Estudiar el método de fertilización por el cual los elementos de poca movilidad sean distribuidos en mejor forma en el perfil del suelo para un desarrollo más favorable de las plantas.

Para los efectos de la investigación se utilizó la metodología actualmente usada y la fase experimental se realizó en condiciones de laboratorios, cuyos resultados se explican en los apartados subsiguientes de este trabajo. Es necesario anticipar que la investigación realizada no agotó el tema, que constituye tan solo un aporte en el esclarecimiento de esta materia, por lo que será necesario que entidades, como la Facultad de Agronomía, mantengan programas de investigación sobre el comportamiento de los fertilizantes, con miras a recomendar aquellos más eficaces y convenientes para la agricultura del país.

HIPOTESIS:

El movimiento del fósforo a través del suelo es limitado; el del potasio es relativamente grande en comparación al del fósforo.

Este trabajo de investigación se tuvo que hacer en dos partes para esclarecer en una mejor forma los objetivos que lo originaron.

II. Revisión de literatura:

Los cationes intercambiables del suelo son los que, absorbidos por el complejo de cambio, pueden intercambiarse en forma rápida y continua con los cationes de la solución del suelo (3).

El intercambio catiónico es una de las propiedades más importantes del suelo y tiene influencias sobre una gran cantidad de sus características. Los cationes cambiables influyen en la estructura, la actividad biológica, el régimen hídrico y gaseoso, la reacción, los procesos genéticos del suelo y en su formación.

Los cationes aplicados en forma de fertilizantes presentan interacciones con los cationes cambiables del suelo, generalmente son absorbidos quedando protegidos de ser lixiviados pero aún disponibles para la planta (6). Todos los cationes absorbidos en la superficie externa de los minerales arcillosos son cambiables, en cambio los atrapados en las superficies internas de las arcillas trilaminares son cambiables cuando se expanden por acumulación de agua entre paquetes (6).

Los cationes intercambiables por lo general se presentan en mayor cantidad que los que se encuentran en la solución de suelo, y constituyen una fuente de reabastecimiento de nutrientes a dicha solución. Desde el punto de vista del crecimiento de las plantas (3).

La primera evidencia química que se considerará se desprende de las observaciones que se hacen cuando se determinan los cationes intercambiables. Los análisis adecuados demostrarán que:

- 1) Cuando se lixivia una muestra de suelo con una solución salina, se elimina una cantidad de cationes mayor que cuando se lo hace con agua.
- 2) La cantidad de cationes de suelo removidos por la solución salina que excede los removidos por el agua es casi equivalente, desde el punto de vista químico, a la de los que retiene el suelo y que provienen de la solución salina, y,
- 3) Al principio, la remoción de cationes del suelo por la solución salina ocurre con rapidez, pero se interrumpe al poco tiempo; sin embargo, un análisis por fusión permite encontrar aún cantidades importantes de cationes individuales en el suelo (3).

La capacidad de intercambio de la materia orgánica se debe más que todo a los grupos funcionales carboxílicos ($-\text{COOH}$), los fenólicos ($-\text{OH}$), alcohólicos ($-\text{OH}$) y metoxílicos ($-\text{CH}$) que se encuentran en la periferia de las moléculas de ácidos húmicos. La intensidad de la capacidad de intercambio depende de la cantidad y el grado de acidez de estos grupos. Del grado de acidez depende su carácter anfótero, por el cual es posible la absorción de aniones y cationes. La capacidad de intercambio de la materia orgánica es comparativamente alta, varía entre 150 y 250 meq/100 g; se explica por la gran cantidad de grupos periféricos funcionales que contiene (6). En medio acuoso, como es la solución del suelo, los aniones y cationes hidratados rodean a los cambiadores en forma de una capa difusa compensando las

cargas electrostáticas que estos presentan. El complejo de cambio presenta cargas positivas que se compensan con aniones y cargas negativas que se compensan con cationes. La disposición de este enjambre de iones que rodean al complejo de cambio depende de las cargas y su densidad, de la composición iónica de la solución de los electrolitos existentes, de la presencia de iones antagónicos, y de la temperatura.

En la descripción de cómo ese enjambre rodea el complejo coloidal se ha utilizado la teoría de la capa doble difusa, en forma similar que para los condensadores eléctricos. Según esta teoría, la intensidad de retención de los cationes disminuye con la distancia entre las cargas negativas del complejo de cambio y las positivas de los cationes cambiables, estableciéndose por lo menos dos zonas de atracción definidas: los cationes absorbidos que forman la solución interna o micelar y aquellos que forman la solución externa que están distantes para no estar bajo la acción de la fuerza de atracción de los coloides. Entre la solución interna y externa existe un equilibrio o sea que las cantidades cambiables y las cantidades disueltas guardan cierta proporcionalidad, por lo que todo aumento o disminución en una de las partes conduce a un efecto similar en la otra, siempre que el suelo no está químicamente agotado (6).

Si la meteorización se intensifica es factible que aumente la velocidad de liberación de bases, a partir de formas no intercambiables en los materiales madre. Sin embargo, una meteorización intensa y prolongada agota el suministro de bases no intercambiables de modo que la

velocidad de liberación será inferior a la de un material edáfico, de origen igual expuesto a una meteorización débil o moderada. En el proceso meteorizante cuando un suelo se torna ácido, la liberación de bases a partir de formas no intercambiables no se efectúa con suficiente rapidez como para mantener las posiciones de intercambio saturadas de bases. Por lo tanto, el porcentaje de saturación de bases de un suelo natural puede servir como índice del equilibrio entre pérdidas de bases intercambiables del suelo y su acumulación a partir de formas no intercambiables (3). En este sentido, puede observarse que al aumentar progresivamente el contenido de materia orgánica y arcillas, aumenta la capacidad de intercambio catiónico de acuerdo a la capacidad de intercambio de los correspondientes cambiadores (11).

Es característico que la mayoría de las propiedades de intercambio catiónico de la parte inorgánica de los suelos se concentre en la fracción arcilla, por el pronunciado aumento en su capacidad cuando el tamaño de partículas disminuye; por lo tanto, el contenido porcentual de arcilla constituye un factor decisivo en la determinación de la capacidad de intercambio catiónico de un suelo (3). Los componentes amorfos son más reactivos que los cristalinos y pueden responder de manera sensible a determinadas condiciones (16). Algunos de los cationes intercambiables se encuentran localizados en posiciones entre capas de partículas separadas, y algunas partículas portadoras de sitios de intercambio están ubicadas en posiciones interiores de los agregados del suelo, los cationes no pueden llegar a estos sitios por el movimiento masivo de la solución y deben penetrar y salir por difusión (14).

Puede considerarse que la adsorción de cationes en una forma libremente difusible es un proceso pasivo, porque un movimiento como el del soluto puede darse en cualquier volumen que esté disponible para la difusión, sea éste una raíz o no (3).

Estas observaciones permiten afirmar que las raíces absorben cationes en forma tanto disponibles como intercambiables y, que éstos se hallan ubicados en el espacio libre (3). Por consiguiente, la absorción en forma intercambiables, así como en forma de difusión libre, debe considerarse un proceso pasivo que difiere de la adsorción hacia las partes interiores, vivientes, de las células (9).

Los coloides del complejo de cambio presentan algunas veces cargas externas positivas que originan proceso de intercambio aniónico.

Bajo condiciones ácidas, generalmente por debajo del punto iso-eléctrico de la materia orgánica, de los minerales arcillosos y de los hidróxidos de hierro y aluminio, se acumulan protones a los grupos $-HO-NH_2$, originándose cargas positivas.

Estas cargas electropositivas son compensadas por los aniones presentes en la solución del suelo dando origen al intercambio aniónico. Otra posibilidad de origen del proceso de intercambio aniónico es el reemplazo de grupos hidróxilos (OH) por iones del mismo tamaño como Fe y Cl (6).

Fósforo en el Suelo:

Por sus formas químicas el fósforo es relativamente estable en los suelos, y no presenta compuestos inorgánicos como el nitrógeno que puedan ser volatizados y lixiviados. Esta alta estabilidad resulta de una baja solubilidad que a veces causa deficiencia de disponibilidad de fósforo para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo. Esto puede evitarse en parte a través de una fertilización fosfatada, pero los fosfatos aplicados al suelo son objeto de reacciones rápidas de fijación. Así la dinámica del fósforo en el suelo incluye una serie de reacciones y transformaciones; tanto su poca solubilidad como movilidad en el suelo es la razón inmediata de deficiencia para las plantas (6). Si pudiese aumentarse la solubilidad, las pequeñas cantidades de fósforo pronto adquirirían gran importancia (3). El fósforo que se libera en forma soluble en los suelos por la meteorización de minerales primarios apatíticos y el proveniente de los residuos vegetales y fertilizantes se combinan primariamente con la fracción arcilla por consiguiente, el porcentaje de fósforo de la fracción arcilla puede superar al de las partículas de mayor tamaño. Además, si las demás condiciones permanecen constantes, el porcentaje de fósforo por lo general aumenta a medida que la textura se torna más fina (5). Aparentemente los suelos jóvenes, derivados de cenizas volcánicas presentan un mayor contenido de fósforo que los desarrollados de sedimentos meteorizados y redepositados en las áreas bajas tropicales (6). En perfiles de suelos formados en materiales madre en apariencia uniformes, el porcentaje mínimo de fósforo se da por lo general,

en la parte inferior del horizonte, 'A', o en la superior del horizonte 'B', (17). Es probable que el valor mínimo en el porcentaje de fósforo resulte de su absorción por las plantas y su pérdida por lixiviación. El mayor contenido en el suelo superficial puede atribuirse al hecho de que parte del fósforo absorbido por las plantas es devuelto y retenido por el suelo superficial que impide su rápido descenso por efecto de la lixiviación (3).

El contenido de fósforo total en los suelos de áreas bajas tropicales parece estar ligado con el contenido de materia orgánica y con su evolución pedológica, observándose que al aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos, y por ende de los fosfatos orgánicos, se obtiene un contenido mayor de fósforo total. Se encontró que el contenido total también depende de la textura de los suelos, tanto en áreas de clima templado como tropical, ya que cuando más fina su textura, mayor es el contenido de fósforo total. De manera general el contenido de fósforo total disminuye con la profundidad del suelo, lo que es explicable por la disminución de la materia orgánica y de los fosfatos orgánicos (6). Por consiguiente, aunque haya mucho drenaje, las pérdidas de fósforo en los suelos por lixiviación, son muy bajas; otro factor que confirma este hecho es que el contenido de fósforo disminuye cuando la precipitación aumenta (3).

El fósforo disponible se presenta en el suelo casi exclusivamente como fosfatos y todos los compuestos son derivados del ácido fosfórico H_3PO_4 .

Los fosfatos del suelo se pueden dividir en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánicos. En los orgánicos uno o más hidrógenos del ácido fosfórico dan origen a enlaces estéricos y el resto puede ser reemplazado por cationes. En los inorgánicos los iones hidrógeno del ácido fosfórico se reemplazan por cationes formando sales (6).

La concentración de fósforo en las soluciones saturadas de la mayoría de fertilizantes fosfatados es varios miles de veces mayor que la concentración en las soluciones del suelo, y si este nivel de solubilidad persistiera después de haberse agregado los fertilizantes al suelo, se perdería mucho fertilizante fosforado por lixiviación. Sin embargo, la mayoría de los suelos pueden reaccionar rápidamente con los fosfatos solubles y reducir su solubilidad. Por lo tanto, el fósforo de los fertilizantes tiende a permanecer cerca del punto de aplicación (3).

Las diferentes reacciones y transformaciones de los fosfatos nativos y los aplicados como fertilizantes, afectan constantemente el nivel de fósforo en la solución equilibrada del suelo.

Sólo se han publicado unos pocos trabajos sobre la determinación físico química de la capacidad de fijación y movilidad de los fosfatos (1-2). La disolución de los fertilizantes aplicados y de fosfatos nativos inorgánicos y la mineralización directa de los fosfatos orgánicos, son los procesos que llevan a la aparición de iones fosfato en la solución del suelo de donde la planta se nutre. Parte de los iones PO_4 absorbidos por la planta son sustraídos al cosechar sin permitir

su retorno. Una parte de las plantas después de la cosecha se incorpora nuevamente al suelo donde los fosfatos orgánicos presentes son mineralizados.

Al disolverse los fertilizantes en el suelo presentan una serie de interacciones a través de procesos de absorción en la superficie de partículas coloidales y de precipitación en forma de fosfatos menos solubles; gran parte del fósforo aplicado es fijado en el suelo. La velocidad de cada uno y de todos los procesos enumerados determinan los cambios de fósforo en el suelo y el ciclo correspondiente (6). Es probable que los únicos suelos en que las pérdidas de los fertilizantes fosforados por lixiviación a corto plazo revisten importancia sean los arenosos y los turbosos, que tienden a reaccionar poco con el fósforo (3).

En los estudios se ha encontrado que la capacidad de fijación del fósforo correlacionado significativamente con el contenido en materia orgánica, hidróxidos libres de aluminio, hierro y arcilla de los suelos.

Los factores más importantes para la fijación del P son el pH y el contenido de hidróxidos libres de Fe y la materia orgánica. La mayor parte de estudios realizados en Centroamérica los suelos retienen entre 25 y 35% del fósforo ofrecido. La técnica aplicada en este estudio permite conocer el comportamiento de un suelo ante una adición de fósforo pero no en términos agronómicos relacionados a las condiciones de campo, la cantidad de fertilizantes que se perderá ni tampoco el grado de disponibilidad de los fosfatos retenidos.

El efecto de los fosfatos naturales como fertilizantes depende de su solubilidad y su velocidad de disolución (granulometría). Al aplicarse un fertilizante resulta en el suelo una zona diferenciada denominada "Zona del Fertilizante" enriquecida en H_2PO_4 , de acuerdo a la solubilidad del mismo; el tiempo requerido para alcanzar la máxima concentración o solubilidad depende de la velocidad de disolución del material.

En estudios sobre la solubilidad de rocas fosfatadas se ha encontrado una gran dependencia del pH del suelo. Se demuestra que la solubilidad del fósforo de diferentes rocas fosfatadas aumenta en forma exponencial al disminuir el pH y el comportamiento de diferentes productos naturales y comerciales. La velocidad de disolución depende por otro lado del tamaño del gránulo (grado de molienda) o sea de la superficie de las partículas, del grado de calcinación y del pH (6). El fósforo orgánico que se devuelve al suelo con los residuos vegetales, no se transforma rápidamente a formas cristalinas estables y permanece durante mucho tiempo en formas de mayor solubilidad (3).

Las medidas de control de la fijación de fósforo se basan tanto en una disminución de velocidad de disolución, y así tener una liberación continua y persistente de fósforo del fertilizante, como en una alta concentración a largo plazo en la zona radicular para que la planta aproveche el fósforo aplicado en forma óptima; así resultan de gran importancia la elección del fertilizante a usarse, la dosis, el tamaño de las partículas, la forma y su época de aplicación (6).

Cuando en ausencia de plantas se colocaban en forma localizada en el suelo altas concentraciones de fertilizante fosfatado, el movimiento del fósforo en el suelo aumentaba según el contenido de agua del mismo; ésto corrobora que el fósforo se desplaza por medio del agua (10). La importancia que el contenido de agua en el suelo reviste en el proceso de la transferencia del fósforo a las plantas de uno en el que el suministro de aquél es uniforme en todo su volumen (13). En un trabajo experimental en condiciones controladas aporta una explicación teórica mejor sobre las observaciones que en la práctica y, señalan que la disponibilidad del fósforo del suelo es menor en un suelo seco que en uno húmedo (3).

Puesto que, según el principio del producto de solubilidad, la concentración del fósforo en solución debería aumentar a medida que la de calcio disminuye; la primera debería ser máxima en presencia de plantas que absorben mucho calcio (3). Por otro lado, se ha indicado que los sitios de intercambio catiónico de las raíces tornan inactivo al calcio; según esta teoría, debería ser mayor la disponibilidad de fósforo para las plantas cuyas raíces poseen una elevada capacidad de intercambio aniónico que para aquellas en que esa capacidad es reducida (4).

Potasio en el Suelo:

(Los suelos de áreas tropicales son relativamente bajos en potasio comparados con los valores externos para suelos de áreas de clima

templado (7). El potasio cambiante sólo representa una fracción relativamente pequeña del potasio total, lo cual indica que los procesos de absorción y percolación de potasio son bastante rápidos y se produce un cambio continuo en la actividad iónica de potasio en la solución del suelo; esto exige una reposición continua a partir de las reservas disponibles del suelo, de lo que resulta una mejor asociación con el parámetro de capacidad (6).

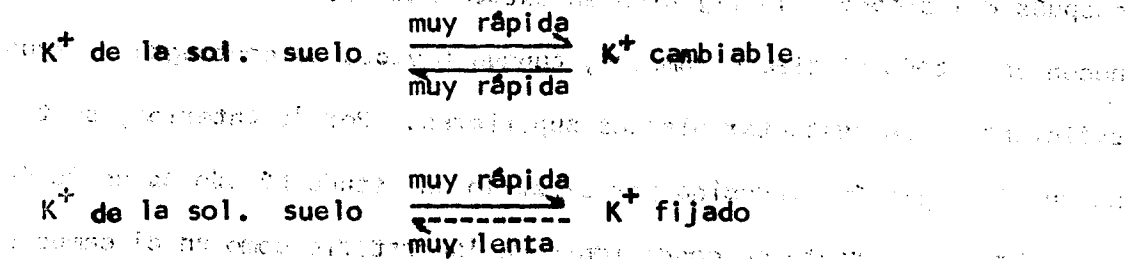
Para que pueda perderse en el agua de drenaje el potasio debe estar presente en forma de solución; el potasio que baja en el suelo en solución se equilibra continuamente con los cationes intercambiables del suelo. Un ion dado de potasio pasará la mayor parte del tiempo en forma intercambiable, y sólo una pequeña parte en solución, en forma de catión libremente difusible. Por consiguiente el descenso del potasio se ve muy demorado (3). Al mismo tiempo, las concentraciones quizá sean algo altas en comparación con las que se hubiera encontrado en condiciones de saturación en campo, porque el proceso de secado del suelo al aire suele aumentar el contenido de sales y de potasio de la solución de suelo y, también porque el proceso de saturación en el campo suele estar acompañado de un descenso de las sales presentes originariamente en la capa superficial.

En las reseñas bibliográficas sobre contracciones de potasio en soluciones de suelo desplazadas, dan una escala de valores entre 8 y 391 $\mu\text{g/ml}$, en tanto que otro autor la fija entre 3 y 156 $\mu\text{g/ml}$ (7). Mientras que en condiciones húmedas el potasio se difunde desde los residuos

vegetales y es absorbido por las plantas (8). Al disolverse los fertilizantes potásicos aplicados (KCl , K_2SO_4 y otros) en el suelo, el potasio liberado pasa a formar parte de la solución del suelo. Por lo general la velocidad de disolución es rápida, la influyen especialmente el tamaño de las partículas del fertilizante (gránulos grandes la retardan sensiblemente), el pH del suelo, su relación y composición química.

El potasio intercambiable que se encuentra absorbido al complejo coloidal (arcilla, materia orgánica, hidróxidos) están en equilibrio con el potasio de la solución del suelo. Al ser absorbido por las plantas, o al ser éste lavado, se produce su reposición en la solución del suelo a partir del potasio cambiante, por lo que esta fracción es muy importante en la nutrición vegetal, ya que representa una reserva, donde se almacena el potasio que poco a poco se pone a disposición de la planta. Al mismo tiempo este potasio se protege del lavado a través de la absorción (6).

La relación entre las tres primeras formas del K^+ puede representarse así (12):



También los fenómenos de percolación causan pérdidas de potasio en el suelo por lo que se debe corregir gradualmente, el cloruro o muriato de potasio (KCl , 60-63% K_2O) es el fertilizante potásico más generalizado y es altamente soluble en agua y de reacción neutra al hidrolizarse resultan concentraciones elevadas de potasio y cloro en la zona del fertilizante y la velocidad de disolución depende del grado de la molienda. Los iones K^+ resultantes son adsorbidos por el complejo de intercambio y en algunos casos se acumulan entre paquetes laminares de lo que resulta la fijación del suelo de donde es adsorbido por las plantas; en condiciones de alta humedad y percolación de agua resultan también grandes pérdidas de potasio (6).

Los resultados de un experimento muestran que el amonio y el potasio se fijan en los mismos sitios y que si el amonio se fijaba primero, el potasio ocupaba simplemente los restantes sitios fijadores de potasio que no estuvieran ya ocupados por el amonio (3).

La fijación de K^+ y NH_4^+ es pequeña o nula en los suelos ácidos, mientras que aumentan de acuerdo al contenido de bases (12). En investigaciones realizadas sobre la fijación del potasio en los suelos se atribuye mucha importancia a la distinción entre la fijación después del secado y la fijación en estado húmedo. Los suelos permanecen casi todo el tiempo húmedos, aunque a veces no contengan el agua suficiente para sustentar plantas superiores. Por lo anterior, se tiene que la fijación producida por el suelo en estado húmedo es un fenómeno observable tanto en condiciones de laboratorio como en el campo si

se agrega un exceso de potasio; los experimentos han indicado que algunos suelos fijan potasio en estado húmedo y otro no. Tal vez la mayoría de los suelos no fijadores podrían fijar algo de potasio en estado húmedo si se los expusiera largamente al efecto de un exceso suficiente de potasio. Son muchos más los suelos que muestran un aumento en la fijación de potasio cuando se los seca y someta al calor después de tratarlos con exceso de potasio en comparación de cuando se mantienen húmedos (3). Según se ve los valores obtenidos para el potasio intercambiable no eran de ninguna manera constantes sino que tienden a variar en razón inversa al contenido de agua del suelo, de manera semejante a los resultados obtenidos en laboratorios (3).

En cuanto a la relación que guarda la fijación del potasio con otras características del suelo, hay tres propiedades que se han encontrado significativas, y son, el contenido arcilla, el pH y el porcentaje de saturación de potasio (3). Entre los factores capaces de influir en la disponibilidad del potasio del suelo para las plantas, el contenido de agua del suelo es quizás el que mayor atención ha recibido (3).

De estos experimentos surge la teoría de que la disponibilidad del potasio aumenta con el contenido de agua del suelo, dado que tanto la proporción del volumen del suelo en que puede darse la difusión del potasio con el volumen de agua que puede transportar potasio a las raíces (por medio del movimiento masivo), aumenta con el volumen del suelo que ocupe el agua (3). Si es abundante el suministro de agua en todo

el suelo, la disponibilidad de potasio para las plantas será, por lo general, mayor en la capa superficial pues se suelen encontrar allí las mayores concentraciones de potasio intercambiables y de raíces. Durante períodos sin lluvia, el suelo se seca desde la superficie hacia abajo; por lo tanto, se reduce la disponibilidad de potasio en la parte más valiosa del suelo, las plantas dependen casi enteramente del potasio de los horizontes inferiores donde hay menos disponibilidad (3).

III. MATERIALES Y METODOS:

En la investigación que sustenta este trabajo se emplearon

los materiales y métodos que se describen a continuación.

(A continuación se describen los materiales y métodos que se emplearon en la investigación que sustenta este trabajo.)

A. MATERIALES:

- Tres suelos de diferente textura (arcilloso, franco y franco arenoso) y arena sílica.
- Tubos de P.V.C. (7.5 cms. de diámetro por 50 cms. de largo).
- Super fosfato simple.
- Muriato de potasio.
- Agua destilada.
- Cedazo plástico.
- Algodón de vidrio.
- Recipientes plásticos.

(A continuación se describen los métodos que se emplearon en la investigación que sustenta este trabajo.)

B. METODOS GENERALES:

1. Los suelos utilizados fueron extraídos de los siguientes lugares:

(A continuación se describen los lugares de donde se extraerán los suelos que se utilizarán en la investigación que sustenta este trabajo.)

- a) Arcilloso: (suelo serie Taxisco, 15)
Finca Monte Carmelo, Taxisco, Santa Rosa, propiedad del Lic. José de Jesús Monteagudo Muñoz, del

muestreo de dos hectáreas, con un desnivel de 8-10%, sembrado con árboles de naranja de ocho años, en plena producción.

b) FRANCO: (Suelo desarrollado de cenizas volcánicas).

Finca Chixoles, Santiago Sacatepeques, propiedad del P.A. Enrique Augusto Barrios Santacruz, del muestreo de una hectárea con un desnivel de 4-6%, sin cultivo.

c) FRANCO ARENOSO: (Suelo desarrollado de cenizas volcánicas).

Finca Chixoles, Santiago Sacatepeques, propiedad del P.A. Enrique Augusto Barrios Santacruz, proveniente del muestreo de cinco hectáreas con una superficie ondulada, sembrada con perales de dos años.

d) ARENA SILICA:

Obsequiada por Industria Centro Americana de Vidrio S.A. (CAVISA), sin proporcionar información de su procedencia y características.

En cuanto a los suelos empleados en el experimento, se procedió a analizarlos en sus características físicas y químicas en los laboratorios de suelos de la Facultad de Agronomía y en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA). Los resultados se dan en el cuadro I.

Cuadro 1

ANÁLISIS FÍSICO

Concepto	MUESTRA		
	No. 1	No. 2	No. 3
<u>Análisis de partículas</u>			
% arcilla	43.34	24.64	19.68
% limo	29.11	29.82	26.54
% arena	27.55	45.54	53.78
Clase Textural	arcilla	franco	Fr. arenoso
<u>% humedad equivalente</u>	30.08	35.09	31.73
<u>% coeficiente hidrocópico</u>	11.18	10.06	8.62
<u>Densidad</u>			
aparente	1.14	0.92	1.03
verdadera	1.84	1.81	1.85
<u>% espacio poroso total</u>	38.04	49.17	44.32

ANÁLISIS QUÍMICO

<u>% nitrógeno total</u>	0.18	0.23	0.15
<u>% carbono orgánico</u>	1.96	3.53	2.20
<u>% materia orgánica</u>	3.38	6.08	3.79
<u>carbono/nitrógeno</u>	10:1	15:1	14:1
<u>Cationes intercambiables meq/100 gramos</u>			
Capacidad total de intercambio	20.58	28.98	27.57
Calcio	7.81	8.38	8.73
magnesio	2.36	1.71	1.68
sodio	0.14	0.30	0.18
potasio	0.43	0.99	0.71
hidrógeno	9.84	17.60	16.27
<u>% saturación de bases</u>	52.18	39.26	40.99
<u>Disponibles ppm.</u>			
fósforo	0.00	0.00	0.50
potasio	90	230	190
<u>meq/100 gramos</u>			
calcio	8.40	8.80	9.60
magnesio	2.20	1.50	1.50

2) DOSIFICACION DE FERTILIZANTES:

Para el efecto del cálculo de las dosis de fertilizantes empleados fue necesario hacer un análisis de fraccionamiento químico de los mismos, asumiendo la utilización de 60 Kg. P_2O_5 /Ha. y 60 Kg. K_2O /Ha., en el primer nivel; y de 120 Kg. P_2O_5 /Ha., y 120 Kg. K_2O /Ha., en el segundo nivel. De donde las dosis resultantes de conformidad de las áreas de los tubos fueron las siguientes para ambos niveles:

Primer nivel: 0.145 gr. de super fosfato simple
(22.9% P_2O_5)
0.056 gr. de muriato de potasio (59.02% K_2O).

Segundo nivel: 0.290 gr. super fosfato simple
0.112 grs. de muriato de potasio

3) Formas de aplicación de los fertilizantes:

- a) Super fosfato simple: granular y diluido;
- b) Muriato de potasio: granular y diluido;
- c) Testigo: sin aplicación de fertilizante.

4) Espesor de las láminas de agua utilizadas:

Primer nivel: 2 cms.

Segundo nivel: 4 cms.

Para ambos casos se tomó en cuenta una evapotranspiración de 0.7 cms/dfa y una frecuencia en el riego de 5 días; consecuentemente, hubo de aplicarse las siguientes cantidades de agua:

Primer nivel: 110 cc. por riego.

Segundo nivel: 220 cc. por riego.

5) Para averiguar la fijación y disponibilidad de fósforo y potasio (P-K) como consecuencia del movimiento iónico de los nutrimentos aplicados a los diferentes suelos objeto del experimento, se hizo por medio del análisis químico de las muestras extraídas a profundidades de 10, 20 y 30 cms., después de 5 días del último riego.

6) Distribución de los tratamientos:

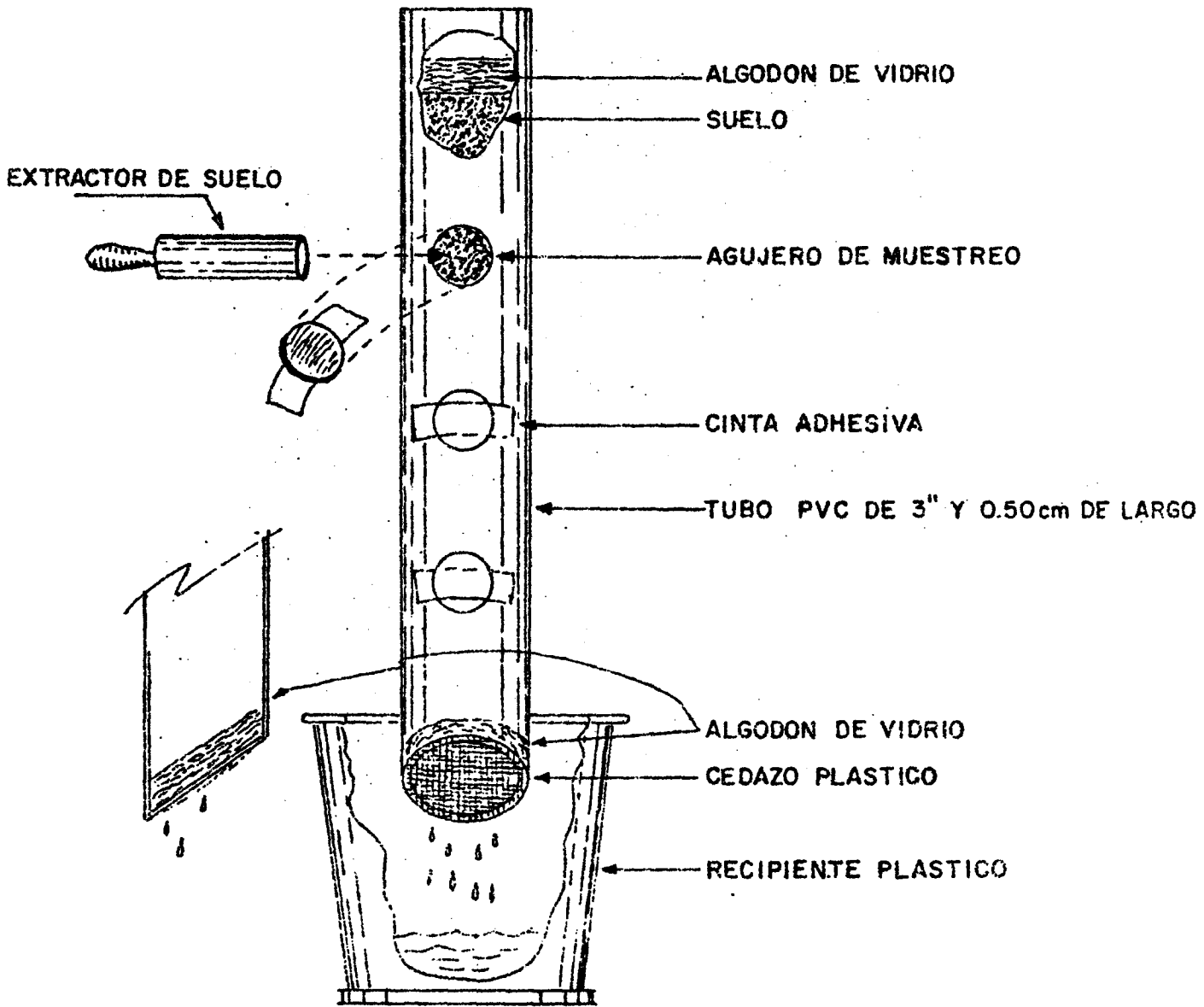
La distribución se hizo al azar y en triplicado para cada uno de los suelos objeto del experimento, utilizando las combinaciones posibles según el nivel de fertilizante, nivel de agua y forma de aplicación del nutrimento. El cuadro siguiente señala las combinaciones experimentadas:

Tratamiento número	Nivel fertilizante	Nivel agua	Forma fertilizante
1	0	1	Testigo
2	1	1	Granulado
3	1	2	Granulado
4	2	1	Granulado
5	2	2	Granulado
6	0	2	Testigo
7	1	1	Diluido
8	1	2	Diluido
9	2	1	Diluido
10	2	2	Diluido

7) Sistemática seguida:

- a) Recolección de los suelos;
- b) Secado al aire de los suelos;
- c) Homogenización y tamizado (3.2 mm), de los suelos;
- d) Caracterización total de los suelos secos al aire (ver cuadro 1)
- e) Caracterización de los fertilizantes (ver apéndice 1)
- f) Preparación de los tubos: se hizo un corte horizontal en la parte superior y un corte de 45° en la inferior, con el objeto de concentrar en un punto definido la gota de agua a percolar. A 10, 20, 30 cms. de profundidad del suelo, se hicieron agujeros de 3.75 cms. de diámetro para muestreo; para la abertura de dichos agujeros se usó un saca bocados especial, colocando los bocados nuevamente con cinta adhesiva. También se colocó en la parte inferior del tubo algodón de vidrio de un espesor de 5 cms., previamente lavado con ácido clorhídrico al 10%, y después con agua destilada el cual se sujetó con cedazo plástico. (figura 1).
- g) Llenado de los tubos: para el caso se utilizó un tubo de menor diámetro, para lograr una compactación homogénea del suelo. Para este objeto se fue llenando el tubo de menor diámetro colocado dentro del otro y secándolo con mucho cuidado.
- h) Los suelos previo a la aplicación de los fertilizantes hubo necesidad de ponerlos en su capacidad de campo (humedad) la que se logró por absorción capilar al colocar un valde de agua en la parte inferior de los tubos.

DIAGRAMA DE LA COLUMNA DE SUELO



- i) **Aplicación de los fertilizantes:** en el caso de los tratamientos granulados, éstos se aplicaron en la superficie del suelo, colocando enseguida algodón de vidrio de un espesor de 2 cms. para evitar el disturbamiento superficial causado por el agua de riego aplicada posteriormente. En el caso de los tratamientos de fertilizantes diluidos, se emplearon 20 cc del agua de riego para diluirlos éstos, aplicándose a la superficie del suelo mediante una varilla de vidrio para evitar el disturbamiento superficial e igualmente se colocó el algodón de vidrio para proceder a aplicar el resto del agua de riego.
- j) **Muestreo efectuado:** a los 15 días de iniciada la fertilización y con auxilio de un sacabocado, se extrajo la muestra, sin disturbar el resto de la columna de suelo, sacando de esa manera el suelo del área deseada.
- k) **Las muestras fueron analizadas con la humedad extraída (humedad de campo), usando: 10 grs., para pH; 10 grs., para humedad y; 5 grs., para elementos disponibles, cuyos resultados se corrigieron a base seca. También se efectuaron análisis de las muestras secadas al aire y además del agua percolada de cada columna de suelo.**

C) METODOLOGIA ESPECIFICA POR SUELO:

SUELO ARCILLOSO:

1. El sorteo efectuado al azar de los 10 tratamientos y sus réplicas quedaron así para esta clase de suelo:

Primera réplica:

Tratamiento No. 5-2-6-9-10-7-1-3-4-8

Segunda Réplica:

Tratamiento No. 10-2-6-8-7-5-9-1-4-3

Tercera Réplica:

Tratamiento No. 8-2-1-9-4-3-6-5-10-7

2. Para alcanzar las columnas de suelo su capacidad de campo tardaron 5 días. Se dejaron 48 horas entre la finalización de la absorción capilar y la aplicación del fertilizante y el primer riego, con el objeto de sacar cualquier exceso de agua en las columnas de suelo.

3. Aplicación de los riegos subsiguientes de acuerdo con el periodo establecido (cada 5 días).

SUELO FRANCO:

1. El sorteo al azar para esta clase de suelo fue el siguiente:

Primera Réplica:

Tratamiento No. 10-4-7-6-8-9-3-2-5-1

Segunda Réplica:

Tratamiento No. 9-5-7-3-2-1-10-8-4-6

Tercera Réplica:

Tratamiento No. 10-3-8-9-5-1-6-4-7-2

- 2) La absorción de agua para llegar a capacidad de campo se alcanzó en 2 días, teniendo que dejarlo 2¹/₂ horas para sacar cualquier exceso de agua que pudiera tener antes de iniciar la fertilización y los riegos.
- 3) La aplicación de los riegos, se hizo en igual forma que el suelo arcilloso.

SUELO FRANCO ARENOSO:

- 1) La colocación de las columnas por el sorteo efectuado quedó así:

Primera Réplica:

Tratamiento No. 1-4-9-7-10-5-2-3-8-6

Segunda Réplica:

Tratamiento No. 4-5-7-2-8-1-6-3-9-10

Tercera Réplica:

Tratamiento No. 7-6-3-4-8-5-1-9-10-2

- 2) La humedad requerida o sea la humedad de capacidad de campo se alcanzó en 2 días, dejando 2¹/₂ horas antes de iniciar la fertilización y los riegos.

3) Los riegos se hicieron como se indicó en los suelos anteriores.

ARENA SILICA:

1) Para este material y por las razones que se dan más adelante en este trabajo, se aplicaron los tratamientos siguientes:

Tratamiento número	Nivel fertilizante	Nivel agua	Forma fertilizante
5	2	2	Granulado
10	2	2	Diluido
4	2	1	Granulado
9	2	1	Diluido
2	1	1	Granulado
7	1	1	Diluido

2) Para humedecer la arena se le agregó por la parte superior 750 cc., de agua; el resto del experimento se efectuó igual que en el caso de los suelos anteriores con la diferencia que no se analizó las muestras en húmedo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Conforme a la metodología antes descrita el experimento realizado en los tres suelos seleccionados dió los siguientes resultados:

Tal como se puede apreciar en los cuadros 2 al 7 que aparecen a continuación, los resultados no fueron los esperados ya que los diferentes análisis de los tres suelos seleccionados en las condiciones en que se realizaron éstos, muestra que para los elementos estudiados (P-K) los datos tienden a tener entre sí unas diferencias muy reducidas.

Con el propósito de buscar respuesta a los resultados anteriores se aplicaron en arena sílica, parte de los tratamientos utilizados en los tres suelos seleccionados, para averiguar si la dosificación de los fertilizantes había sido la apropiada y consecuentemente si estos elementos habían tenido movimientos deseados en las respectivas columnas de suelo. El resultado de esta prueba adicional (ver cuadros 8-10) demostró que efectivamente la dosificación del fertilizante había sido la apropiada y si se había logrado la movilidad estipulada. Por lo anterior, y teniendo en cuenta que el fósforo tiene un movimiento muy limitado, cupo suponer que dicho elemento se había fijado en el suelo. Así mismo, se hace la observación que dicha dosificación del fertilizante podría estar en un nivel donde los suelos estudiados absorben casi por completo el nutrimento aplicado en forma de superfosfato.

CUADRO 2

SUELO ARCILLOSO SECADO AL AIRE: PROMEDIO DE LAS TRES REPLICAS
SEGUN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS

No. Trat.	NIVELES		Forma Aplic.	pH	MICROGRAMOS/ML		Meq/100 ML DE SUELO		% H
	Fert.	Agua			P	K	Ca	Mg	
1	0	1	T	5.90	0.75	84.14	7.62	1.87	6.29
2	1	1	G	5.87	1.08	82.22	7.76	1.85	
3	1	2	G	5.91	1.08	81.11	7.82	1.90	
4	2	1	G	5.85	0.83	78.89	7.42	1.76	
5	2	2	G	5.83	1.08	68.89	7.98	1.93	
6	0	2	T	5.94	1.17	66.67	7.62	1.81	
7	1	1	D	5.86	1.17	72.22	7.51	1.84	
8	1	2	D	5.80	1.28	65.56	7.33	1.87	
9	2	1	D	5.79	1.25	66.67	7.66	1.97	
10	2	2	D	5.77	1.17	70.00	7.27	1.90	

Fuente: Informes del Laboratorio de suelos del ICTA.

CUADRO 3

SUELO ARCILLOSO: PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS
DEL AGUA PERCOLADA EN LAS TRES REPLICAS

No. Trat.	PARTES POR MILLON EN SOLUCION								
	P*	K	Ca	Mg	Na	Fe*	Cu*	Mn	Zn
1	-	4.16	1577	128.3	28.0	-	-	0.69	0.07
2	-	4.00	1474	111.8	25.4	-	-	0.75	0.17
3	-	4.33	1789	137.9	31.3	-	-	1.07	0.19
4	-	4.00	1371	118.8	27.0	-	-	0.96	0.10
5	-	4.00	1767	136.4	40.0	-	-	0.75	0.05
6	-	4.16	1628	122.1	27.8	-	-	0.53	0.29
7	-	3.86	1540	122.1	27.8	-	-	0.96	0.13
8	-	4.00	1650	131.3	29.8	-	-	0.96	0.12
9	-	4.00	1379	114.0	25.9	-	-	0.59	0.11
10	-	4.16	1767	143.0	32.5	-	-	1.07	0.18

* No dió lectura.

Fuente: Informes del Laboratorio de suelos del ICTA.

CUADRO 4

SUELO FRANCO SECADO AL AIRE: PROMEDIO DE LAS TRES REPLICAS
SEGUN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS

No. Trat.	NIVELES		Forma Aplic.	pH	MICROGRAMOS/ML		Meq/100 ML DE SUELO		% H
	Fert.	Agua			P	K	Ca	Mg	
1	0	1	T	6.49	1.25	501.11	8.16	1.75	7.39
2	1	1	G	6.44	1.25	505.56	8.64	1.82	
3	1	2	G	6.24	1.33	496.67	8.80	1.89	
4	2	1	G	6.28	1.33	502.22	8.44	1.80	
5	2	2	G	6.32	1.25	514.44	8.66	1.87	
6	0	2	T	6.48	1.33	512.22	8.51	1.82	
7	1	1	D	6.36	1.25	465.56	8.49	1.80	
8	1	2	D	6.33	1.33	497.78	8.53	1.80	
9	2	1	D	6.34	1.33	495.56	8.78	1.91	
10	2	2	D	6.26	1.33	487.78	8.58	1.82	

Fuente: Informes del laboratorio de suelos del ICTA.

CUADRO 5

SUELO FRANCO: PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS
DEL AGUA PERCOLADA EN LAS TRES REPLICAS

No. Trat.	PARTES POR MILLON EN SOLUCION								
	P*	K	Ca	Mg	Na	Fe*	Cu*	Mn*	Zn*
1	-	9.7	5.3	1.7	10.7	-	-	-	-
2	-	9.0	5.3	1.7	15.4	-	-	-	-
3	-	9.7	4.7	1.3	9.8	-	-	-	-
4	-	9.3	4.0	1.3	9.3	-	-	-	-
5	-	10.3	5.3	1.3	8.8	-	-	-	-
6	-	9.7	4.7	1.3	10.4	-	-	-	-
7	-	9.3	4.0	1.0	10.1	-	-	-	-
8	-	10.0	4.7	1.0	10.0	-	-	-	-
9	-	10.0	4.7	1.7	16.9	-	-	-	-
10	-	10.0	5.3	1.3	8.9	-	-	-	-

* no dió lectura.

Fuente: Informes del laboratorio de suelos del ICTA.

CUADRO 6

SUELO FRANCO ARENOSO SECADO AL AIRE: PROMEDIO DE LAS TRES REPLICAS SEGUN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS

No. Trat.	NIVELES		Forma Aplic.	pH	MICROGRAMOS/ML		Meq/100 ML DE SUELO		% H
	Fert.	Agua			P	K	Ca	Mg	
1	0	1	T	5.95	1.83	252.22	10.22	1.65	5.98
2	1	1	G	5.86	2.17	252.22	10.22	1.65	
3	1	2	G	5.93	2.33	253.33	10.36	1.69	
4	2	1	G	5.80	2.00	254.45	9.93	1.62	
5	2	2	G	5.92	2.33	254.45	10.23	1.62	
6	0	2	T	5.96	2.33	260.67	10.04	1.61	
7	1	1	D	5.88	2.33	253.33	10.05	1.64	
8	1	2	D	5.89	2.33	256.67	10.00	1.62	
9	2	1	D	5.96	2.69	253.33	9.96	1.62	
10	2	2	D	5.94	2.25	261.11	10.27	1.65	

Fuente: Informes del Laboratorio de Suelos del ICTA.

CUADRO 7

SUELO FRANCO ARENOSO: PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS DEL AGUA PERCOLADA EN LAS TRES REPLICAS

No. Trat.	PARTES POR MILLON EN SOLUCION								
	P	K	Ca	Mg	Na	Fe*	Cu*	Mn*	Zn*
1	0.13	4.3	10.3	2.8	16.2	-	-	-	-
2	0.13	4.0	9.0	3.0	16.4	-	-	-	-
3	0.10	4.2	9.3	2.8	9.0	-	-	-	-
4	0.18	4.1	10.0	3.3	18.4	-	-	-	-
5	0.18	4.2	11.0	3.8	16.7	-	-	-	-
6	0.22	4.2	9.7	3.0	11.8	-	-	-	-
7	0.32	3.8	9.7	3.3	18.2	-	-	-	-
8	0.27	4.0	10.7	3.3	13.8	-	-	-	-
9	0.25	3.7	8.0	3.0	17.6	-	-	-	-
10	0.22	4.3	10.3	3.8	14.9	-	-	-	-

* No dio lectura

Fuente: Informes del laboratorio de suelos del ICTA.

CUADRO 8

ARENA SILICA: PROMEDIO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS
APLICADOS

No. Trat.	NIVELES		Forma Aplic.	pH	MICROGRAMOS/ML		Meq/100. ML DE SUELO	
	Fert.	Agua			P	K	Ca	Mg
5	2	2	G	5.30	2.50	10	0.33	0.20
10	2	2	D	5.43	2.33	10	0.37	0.20
4	2	1	G	5.50	6.17	10	0.40	0.20
9	2	1	D	5.97	3.17	10	0.33	0.10
2	1	1	G	5.83	4.83	10	0.30	0.10
7	1	1	D	5.63	2.25	10	0.20	0.10

Fuente: Informes del laboratorio de suelos del ICTA.

CUADRO 9

ARENA SILICA: RESULTADO DEL AGUA DE PERCOLACION

No. Trat.	PARTES POR MILLON EN SOLUCION								
	P	K	Ca	Mg	Na	Fe*	Lu*	Mn	Zn
5	11.5	140	26	6	22	-	-	1.92	0.04
10	12.0	124	66	7	24	-	-	2.40	0.16
4	9.2	116	34	9	31	0.80	-	4.48	0.60
9	13.0	148	96	10	35	-	-	4.00	0.24
2	0.7	25	16	6	29	-	-	2.56	0.36
7	10.6	85	60	9	31	-	-	2.72	0.08

* No dió lectura

Fuente: Informes del laboratorio de suelos del ICTA.

CUADRO 10

ÁRENA SILICA SECADA AL AIRE: RESULTADO DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS PROFUNDIDADES INDICADAS

No. Trat.	NIVELES		Forma Aplic.	Prof. cm.	pH	MICROGRAMOS/ML			Meq/100 ML DE SUELO	
	Fert.	Agua				P	S	K	C [#]	Mg
5	2	2	G	10	5.6	2.00		10	0.30	0.20
				20	5.4	2.75		10	0.40	0.20
				30	4.9	2.75		10	0.30	0.20
10	2	2	D	10	5.5	1.25		10	0.30	0.20
				20	5.6	2.00		10	0.40	0.20
				30	5.2	2.75		10	0.40	0.20
4	2	1	G	10	5.7	5.25		10	0.40	0.20
				20	5.5	5.25		10	0.40	0.20
				30	5.3	8.00		10	0.40	0.20
9	2	1	D	10	6.0	2.00		10	0.30	0.10
				20	6.2	3.75		10	0.40	0.10
				30	5.7	3.75		10	0.30	0.10
2	1	1	G	10	6.0	3.75		10	0.30	0.10
				20	6.0	4.50		10	0.30	0.10
				30	5.5	6.25		10	0.30	0.10
7	1	1	D	10	6.0	2.00		10	0.20	0.10
				20	5.9	2.75		10	0.20	0.10
				30	5.0	2.00		10	0.20	0.10

Fuente: Informes del Laboratorio de Suelos del ICTA.

Por otra parte, también se pensó en algo, que aunque es muy remoto que suceda pudo haber ocurrido, que en el suelo posiblemente motivó que los nutrimentos fueran absorbidos por el mismo llegando a variar los valores originales de cationes intercambiables, capacidad total de intercambio o el porcentaje de saturación de bases, por lo que hicieron pruebas a este respecto. Se utilizó muestras de suelos de algunos de los tratamientos ya estudiados. Los métodos utilizados dieron los siguientes resultados:

- a) Extracción por medio del método de acetato de amonio cuyo resultado indicó que no hubo cambio en los cationes intercambiables; en consecuencia a través de la aplicación de este método no se encontró la explicación de los resultados originales; y,
- b) Extracción por medio del método agitación y centrifugado, a pesar de considerarse un método por el que se obtiene datos más precisos desde el punto de vista cuantitativo, los resultados fueron semejantes a los del método anterior y asimismo no se logró despejar la incógnita surgida de los resultados poco significativos de los tres suelos citados.

Al comprobar por los resultados obtenidos en las columnas de arena sílica que las cantidades de fertilizantes eran las correctas para causar movimiento en la arena, aunque no necesariamente eran adecuadas para los suelos así como también que los cationes intercambiables no variaron, se llegó a pensar que lo ocurrido en las columnas de suelo, respecto a la semejanza de los resultados, se

debían a la difusión de los nutrimentos, ya que todo el tiempo las columnas de suelo se mantuvieron en o muy cerca de capacidad de campo, no obstante que durante el experimento se aplicó un riego.

Debe reconocerse que el experimento se realizó exclusivamente en condiciones de laboratorio, donde como es lógico estuvieron ausentes las condiciones de campo deseables tales como la evaporación causada por los cambios de temperatura ambiental. Esta suposición se confirmó al observar el sistema de riego empleado, puesto que al aplicar el agua, ésta comenzaba a percolar a los 2-3 minutos, o sea que había surgido un desplazamiento de masas líquidas de arriba para abajo dentro de las columnas de suelo; durante todo el período del experimento. Se podía pensar que la solución del suelo se equilibró en sus concentraciones de elementos, pero si este fuera el caso, se hubiera encontrado una mayor cantidad de P y K, en el agua percolada. También podría ser consecuencia de fijación de esos elementos en el complejo del suelo.

Como el fertilizante fosfatado aplicado es soluble en agua éste se transfirió en todo el suelo en una forma similar, el cual al reaccionar con el suelo equilibró el fósforo disponible en una forma igual en todo el perfil; las cantidades del P disp. fueron bajas debido posiblemente a que la cantidad de P que se aplicó se movilizó por difusión a todo lo largo de la columna y la capacidad de absorción del suelo es posiblemente mayor que la cantidad de P que existía en la solución del suelo.

Lo anterior es un punto de gran importancia debido a que aún cuando ha sido comprobada la poca movilidad del fósforo, los resultados de este estudio hacen suponer que el fósforo aplicado en forma de fertilizante soluble es rápidamente difundido en el suelo siempre y cuando el suelo se encuentre cercano a su capacidad de campo, o sea con una humedad ideal en todo su perfil.

Con el análisis de agua percolada se puede comprobar que el pH está en un punto en donde favorece más la absorción de cationes solubles en agua, esto siempre dependiendo del tipo de arcilla; esto queda demostrado en el suelo arcilloso donde se ven un arrastre elevado de calcio y magnesio; recordado que en el proceso de podzolización el calcio y magnesio se liberan quedando fijos el potasio y silice; estos últimos son liberados lentamente durante el proceso de latosolización.

V. CONCLUSIONES:

1. Los niveles de fertilizante aplicados no fueron los apropiados para estos suelos; lo anterior se demostró con la arena sílica.
2. Los cationes intercambiables, capacidad total de intercambio o el porcentaje de saturación de bases no tuvieron ninguna alteración como se vió en los resultados de las extracciones.
3. Los resultados obtenidos, se debieron posiblemente al alto grado de humedad del suelo y poca evaporación, lo que motivó una difusión de los nutrimentos a través de la columna del suelo.
4. La alta lixiviación del calcio y magnesio en el suelo arcilloso observado en el análisis de aguas percoladas, ya que en el proceso de podzolización se liberan quedando fijos el potasio y sílice.
5. En condiciones de mucha humedad por riego o lluvia en que el suelo se mantenga cercano a su punto de capacidad de campo, el movimiento de iones de P puede ocasionar disminución de la concentración de este elemento en la solución del suelo; si a esta disminución se agrega el de fijación por el suelo, las plantas que crezcan bajo estas condiciones posiblemente van a responder a altas cantidades de P. También habría que investigar que suceda al utilizar fertilizantes fosforados de baja solubilidad en agua.

SEGUNDA PARTE

Considerando las conclusiones anteriores de que el agua contenida en las columnas de suelo era una de las posibles causas de los resultados obtenidos, y, la baja administración de nutrimentos otra de ellos.

Para demostrar esta hipótesis y sobre todo averiguar la consistencia de los objetivos que motivaron este trabajo, se decidió modificar el experimento original introduciendo tres factores importantes: a) evaporación; b) discontinuidad de las columnas de suelo; y, c) aumentar las dosificaciones de los nutrimentos.

Este aumento se dió por no conocer con exactitud la capacidad de absorción de nutrimentos del suelo y como se expuso anteriormente el suelo absorbió casi por completo el fósforo aplicado en forma de fertilizante.

Para este nuevo ensayo se procedió a utilizar los materiales y métodos que se describen a continuación:

VI. MATERIALES Y METODOS

A. MATERIALES:

- Los tres suelos;
- Vasos plásticos de 125 cc.
- Super fosfato simple (SFS).

- Muriato de potasio (KCl).
- Agua destilada
- Filtro de cigarro, de 10 cms.
- Recipientes plásticos de 500 cc.
- Pajillas plásticas de 5 cms.

B. METODOS

1. Dosificación de fertilizantes:

Se tomaron tres niveles para el fósforo y potasio.

Primer Nivel	Segundo Nivel	Tercer Nivel	Unidad
NF-0	NF-1	NF-2	
0	100	200	P-Kg por Ha.
0	0.07	0.14	P-g por vaso
0	0.31	0.62	SFS.g por vaso
0	50	100	K-Kg por Ha.
0	0.02	0.04	K-g por vaso
0	0.03	0.06	KCl. g por vaso

2. Se aplicó el fertilizante únicamente en forma granular.

3. Las láminas de agua fueron:

- a) $\frac{1}{2}$ cm (1.5 pulg.) por semana (NA-1); y,
- b) $\frac{1}{2}$ cm (1.5 pulg.) dos veces por semana (NA-2).

Riego aplicado por vaso: 125 cc.

4. Distribución de tratamientos:

<u>Número de trat.</u>	<u>Fertilizante</u>	<u>Veces de agua por semana</u>
1	0 (NF-0)	2 (NA-2)
2	1 (NF-1)	2
3	2 (NF-2)	2
4	0 (NF-0)	1 (NA-1)
5	1 (NF-1)	1
6	2 (NF-2)	1

5. Los tratamientos se hicieron en duplicado.

6. Sistemática seguida:

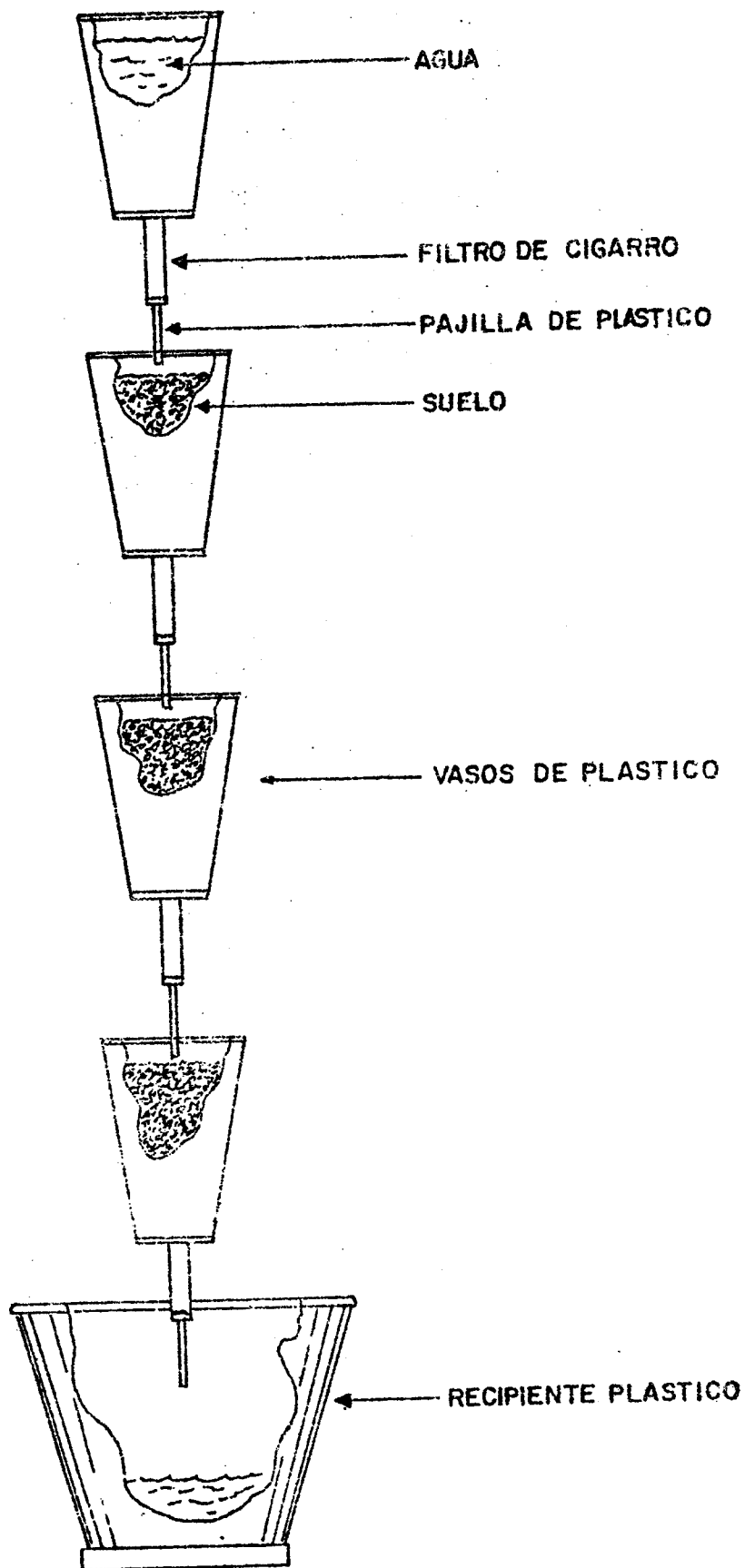
a) Se tomó el suelo de los mismos sacos utilizados en el experimento anterior.

b) Colocación de los vasos,

Los vasos se colocaron formando columnas constituidas por cuatro vasos cada una, separadas entre sí por un filtro de cigarro, al que se le agregó la pajilla de plástico con el hecho de que el movimiento del agua fuera únicamente descendente (figura 2).

Al proceder esta colocación se logró que la columna de suelo estuviera fragmentada, mientras el agua podía tener movimientos de un vaso a otro, a través del filtro.

DIAGRAMA DE LA COLUMNA FRACCIONADA DE SUELO



El primer vaso tenía como función recibir el agua de riego, el segundo, tercer y cuarto constituyen la columna de suelo fraccionada. El fertilizante se aplicó en la superficie del suelo en el vaso superior de la columna.

- c) Antes de iniciar el experimento el suelo de los vasos se llevó a capacidad de campo; para el caso se usó una caja de madera con el fondo de plástico y en la superficie una malla de 1 x 1 cms., donde se asentaron los vasos.
- d) El muestreo se realizó a las tres semanas de iniciado el experimento, utilizando para el efecto el contenido de suelo de cada vaso excepto el superior que recibió la fertilización, donde se removió aproximadamente la mitad superior del suelo con objeto de evitar cualquier residuo no disuelto del fertilizante susceptible a alterar los resultados.
- e) El experimento se llevó a cabo; una parte en el invernadero de la Facultad de Agronomía, o sea el suelo expuesto a cambios bruscos de temperatura y la otra parte, en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía, o sea sin cambios bruscos de temperatura.
- f) No se hizo análisis de agua percolada ya que en un caso se evaporó y consecuentemente no había posibilidad de comparación con el otro.

VII.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 11 que se refiere al suelo arcilloso se puede notar que los resultados del experimento en laboratorio son más elevados que los de invernadero, posiblemente por la humedad que mantenían las columnas en esas condiciones.

Ahora bien si observamos los niveles de agua, vemos que éstos tienen una marcada influencia con la disponibilidad del fósforo y potasio. Lo mismo sucede con los niveles de fertilizante.

En el suelo franco (cuadro 12) se ve claramente la influencia del agua en la disponibilidad del fósforo, ya que el fósforo al aplicarle el nivel de agua dos se mantuvo los valores de disponibilidad bajos con respecto a los valores obtenidos al aplicar el nivel de agua uno.

Esto es debido quizá a que en estas condiciones, el fósforo se mueve por difusión, por lo que el nivel de agua dos difundió más al fósforo de donde éste tuvo mayor fijación; esto se puede notar también con los niveles de fertilizante, ya que a mayor nivel de fertilizante y agua, menor disponibilidad de fósforo.

El potasio es influenciado por las cantidades de agua existente en el suelo, ya que los valores de los resultados varían muy poco entre niveles de fertilizantes no así con los niveles de agua.

El comportamiento de suelo franco arenoso es un comportamiento muy similar entre sí, ya sea entre niveles de fertilizantes como niveles de agua. La mayor disponibilidad del fósforo que los valores del cuadro anterior es quizás por el contenido más bajo de arcilla, ya que las arcillas fijan más fósforo. (ver cuadro 13)

Cuadro 11

COMPARACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL SUELO ARCILLOSO EN
CONDICIONES INDICADAS

No.	N I V E L E S		M I C R O G R A M O S / M L			
			Condiciones de laboratorio		Condiciones de inver- nadero	
			trat.	Fert.	Aqua	P
1	0	2	2.00	75.00	0.88	108.33
2	1	2	3.21	85.00	2.34	116.67
3	2	2	5.96	106.67	5.96	116.67
4	0	1	0.88	80.00	0.88	120.00
5	1	1	2.46	80.00	1.96	111.67
6	2	1	3.63	98.33	4.54	121.67

Cuadro 12

COMPARACION DE LOS RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS EN EL SUELO FRANCO EN
CONDICIONES INDICADAS

No.	N I V E L E S		M I C R O G R A M O S / ? M L			
			Condiciones de laboratorio		Condiciones de inver- nadero	
			trat.	Fert.	Aqua	P
1	0	2	1.13	428.33	0.75	410.00
2	1	2	1.13	453.33	0.88	425.00
3	2	2	1.38	450.00	0.75	428.33
4	0	1	1.25	458.33	2.21	391.67
5	1	1	0.88	481.67	2.50	383.33
6	2	1	1.13	488.33	1.25	396.67

Cuadro 13

COMPARACION DE LOS RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS EN EL SUELO FRANCO
ARENOSO EN CONDICIONES INDICADAS

No.	N I V E L E S		M I C R O G R A M O S / M L			
			LABORATORIO		INVERNADERO	
			trat.	Fert.	Aqua	P
1	0	2	1.50	275.00	1.50	276.67
2	1	2	1.75	266.67	1.50	268.33
3	2	2	1.79	276.67	2.29	271.67
4	0	1	1.38	223.33	0.88	251.67
5	1	1	1.75	196.67	1.25	275.00
6	2	1	2.00	260.00	1.63	275.00

FUENTE: DE LOS TRES CUADROS: Informes del laboratorio de suelos del
ICTA.

El cuadro 14 nos demuestra que el suelo arcilloso la mayor disponibilidad de fósforo se encuentra en los primeros 10 cms. de profundidad, la cual es mayor a mayor es el nivel de fertilizante y agua.

Con el potasio el comportamiento es diferente ya que es poca la diferencia existente en las diferentes profundidades.

En los suelos franco y franco arenoso no se encuentra mayores diferencias en disponibilidad con respecto a nivel de fertilizante o agua o bien respecto a la profundidad de muestreo ya que el suelo parece ser que tendió a fijar tanto el fósforo como el potasio.

CUADRO 14

		MICROGRAMOS / ML												
Nivel Fert.	Prof. cms	Nivel agua	SUELO ARCILOSO				SUELO FRANCO				SUELO FRANCO ARENOSO			
			LABORATORIO		INVERNADERO		LABORATORIO		INVERNADERO		LABORATORIO		INVERNADERO	
			P	K	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K
0			1.44	77.50	0.88	114.17	1.19	443.33	1.48	400.83	1.44	249.17	1.19	264.17
1			2.84	82.50	2.15	114.17	1.00	468.33	1.69	404.17	1.75	231.67	1.38	271.67
2			4.80	102.50	5.25	119.17	1.25	469.17	1.00	412.50	1.90	268.33	1.96	273.33
	10		5.61	104.17	5.82	122.50	1.19	447.50	1.40	393.33	1.90	234.17	1.71	265.00
	20		1.96	80.00	1.34	111.67	1.13	471.67	1.42	403.33	1.69	262.50	1.44	271.67
	30		1.50	78.33	1.13	113.33	1.13	461.67	1.36	420.83	1.50	252.50	1.38	272.50
		1	2.32	86.11	2.46	117.78	1.09	476.11	1.99	390.56	1.71	226.67	1.25	267.22
		2	3.73	88.89	3.06	113.89	1.21	444.44	0.80	421.11	1.68	272.78	1.77	272.22
0	10		1.63	77.50	0.69	107.50	1.07	422.50	1.44	387.50	1.25	222.50	1.26	270.00
0	20		1.44	75.00	0.69	117.50	1.25	447.50	1.50	387.50	1.63	275.00	1.07	260.00
0	30		1.26	80.00	1.26	117.50	1.25	460.00	1.51	427.50	1.44	250.00	1.26	262.50
1	10		4.69	90.00	3.69	120.00	1.07	455.00	1.69	395.00	1.82	220.00	1.44	260.00
1	20		2.01	80.00	1.69	110.00	0.88	480.00	1.69	410.00	1.82	242.50	1.44	277.50
1	30		1.82	77.50	1.07	112.50	1.07	470.00	1.69	407.50	1.63	232.50	1.25	277.50
2	10		10.51	145.00	13.07	140.00	1.44	465.00	1.07	397.50	2.62	260.00	2.44	265.00
2	20		2.44	85.00	1.63	107.50	1.25	487.50	1.07	412.50	1.63	270.00	1.82	277.50
2	30		1.44	77.50	1.07	110.00	1.07	455.00	0.88	427.50	1.44	275.00	1.63	277.50
0		1	0.88	80.00	0.88	120.00	1.25	458.33	2.21	391.67	1.38	223.33	0.88	251.67
0		2	2.00	75.00	0.88	108.33	1.13	428.33	0.75	410.00	1.50	275.00	1.50	276.67
1		1	2.46	80.00	1.96	111.67	0.88	481.67	2.50	383.33	1.75	196.67	1.25	275.00
1		2	3.21	85.00	2.34	116.67	1.13	453.33	0.88	425.00	1.75	266.67	1.50	268.33
2		1	3.63	98.33	4.54	121.67	1.13	488.33	1.25	396.67	2.00	260.00	1.63	275.00
2		2	5.96	106.67	5.96	116.67	1.38	450.00	0.75	428.33	1.79	276.67	2.29	271.67
	10	1	4.59	100.00	5.33	126.67	1.13	460.00	1.92	388.33	1.75	206.67	1.25	261.67
	20	1	1.38	81.67	1.17	113.33	1.13	490.00	2.08	385.00	1.88	245.00	1.25	271.67
	30	1	1.00	76.67	0.88	113.33	1.00	478.33	1.96	398.33	1.50	228.33	1.25	268.33
	10	2	6.63	108.33	6.30	118.33	1.25	435.00	0.88	398.33	2.04	261.67	2.17	268.33
	20	2	2.54	78.33	1.50	110.00	1.13	453.33	0.75	421.67	1.50	280.00	1.63	271.67
	30	2	2.00	80.00	1.38	113.33	1.25	445.00	0.75	443.33	1.50	276.67	1.50	276.67

Para facilitar la interpretación de los datos que aparecen en los cuadros 11-13, se presentan las siguientes gráficas donde se puede apreciar con mayor claridad estos datos y por ende da mayor facilidad a su discusión.

La discusión se realizará en forma separada por elemento (P y K), en cada suelo a través de las diferentes profundidades; únicamente se tratarán los datos obtenidos en condiciones de invernadero.

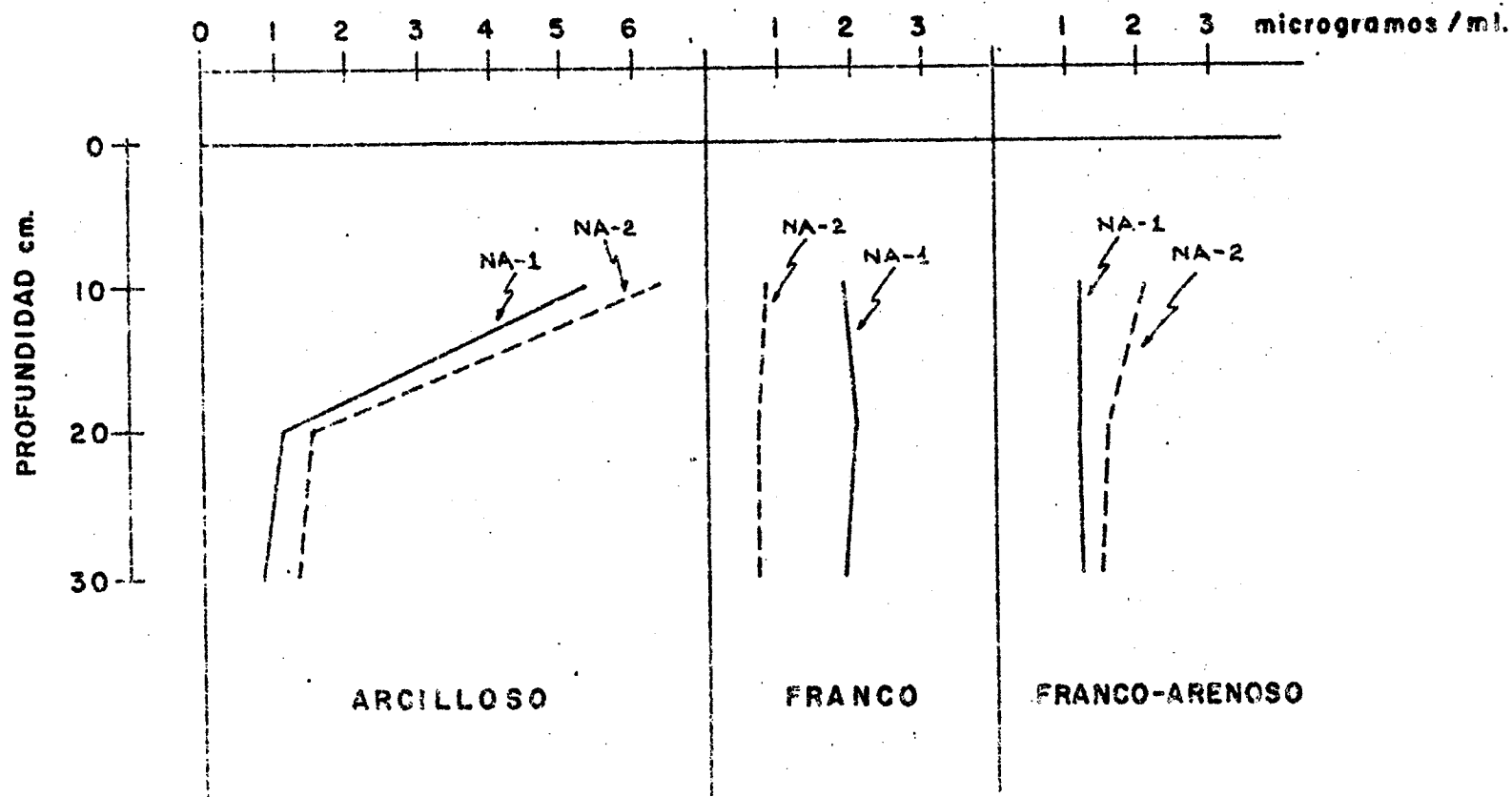
GRAFICO 1

1. SUELO ARCILLOSO

En este suelo se observa acumulación de fósforo en los primeros 10 cms.; de 10-20 cms. una redistribución de fósforo (6.3 a 1.5 ppm.) en el NA-2 el comportamiento del NA-1 es de 5.33 a 0.88 ppm. de fósforo; de donde se puede decir que hay acumulación de fósforo en la superficie y no existe lixiviación de fósforo con las cantidades de agua aplicadas, por lo que no se observa acumulaciones de fósforo en las partes inferiores.

Además de la profundidad de 20-30 cms. el contenido de fósforo se mantiene uniforme por la posible falta de acarreo por el agua. Esto es debido a la sequedad superficial del suelo que inhive la disponibilidad del fósforo; ésto hace que el P se deposite formando una lámina en la superficie del suelo.

FOSFORO DISPONIBLE EN LOS SUELOS INDICADOS A 10, 20 Y 30 cms DE PROFUNDIDAD SEGUN LOS DIFERENTES NIVELES DE AGUA APLICADOS



2. SUELO FRANCO

No se observa el movimiento del fósforo disponible hacia las capas inferiores. El NA-2 parece ser que distribuye en mejor forma el fósforo que el NA-1, esto se puede notar por la reducción del NA-2 (0.88 ppm) con respecto al NA-1 (2.08 ppm.); esto podría ser debido a que la distribución de fósforo en el suelo, da una mayor área de contacto de donde se infiere que hubo mayor fijación de fósforo en el NA-2 en comparación con el NA-1.

3. SUELO FRANCO ARENOSO

Su comportamiento es similar al suelo franco en vista que no existe diferencia de fósforo disponible a las diferentes profundidades. Con el NA-1 la concentración se mantiene a 1.25 ppm. en las tres profundidades. En el NA-2 la concentración disminuye de 2.17 a 1.5 ppm en los segundos 10 cms. de profundidad. Esto puede ser debido a que dicho suelo contiene menor cantidad de materia orgánica que el suelo franco, dando como resultado una reducción de cargas positivas de las arcillas alofanas, y por ende, una menor capacidad de fijación de fósforo.

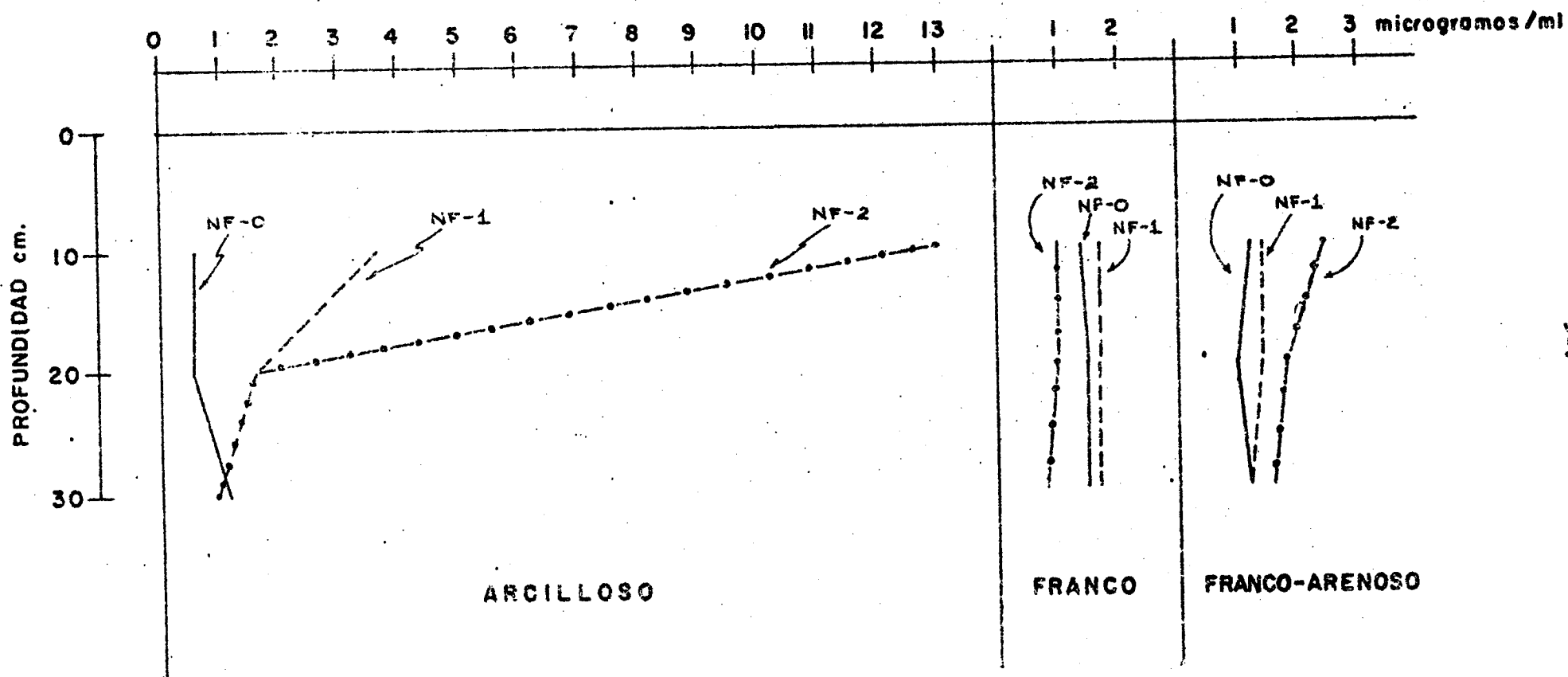
GRAFICA 2

1. SUELO ARCILLOSO

La acumulación de fósforo en los primeros 10 cms. de profundidad demuestran el poco movimiento natural de este elemento ya que existe una

GRAFICA 2

FOSFORO DISPONIBLE EN LOS SUELOS INDICADOS A 10, 20 Y 30 cms DE PROFUNDIDAD SEGUN LOS DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZANTES APLICADOS



marcada diferencia en la concentración en los diferentes niveles de fósforo aplicados. En el NF-0 existe un posible movimiento del P natural del suelo de las capas superiores hacia los 30 cms. de profundidad (de 0.6 se elevó la concentración a 1.2 ppm.). Aún cuando la precisión del método colorimétrico a estas bajas concentraciones no es muy grande y, pudiera mal interpretarse una diferencia tan pequeña en la concentración (0.6 ppm.) existe la posibilidad de un movimiento de fósforo a través del perfil del suelo cuando éste se encuentra en bajas concentraciones. A concentraciones más altas, dadas por la adición de fertilizantes, el movimiento del fósforo es limitado y, a pesar que la muestra se tomó descartando aproximadamente los primeros 5 cms. de suelo y la muestra se compuso de todo el suelo restante en el vaso, se nota la restricción de movimiento que tiene este elemento ya que a 20 cms. de profundidad la concentración de fósforo es la misma para NF-1 & NF-2. Este poco movimiento observado podría deberse también a la disponibilidad del fósforo en el fertilizante, es decir, puede estar afectado por la poca solubilidad del compuesto en ese corto período de tiempo y en condiciones de secamiento y humedecimiento intermitentes que indudablemente influyeron en estos resultados.

2. SUELO FRANCO

Este suelo presenta características completamente diferentes al suelo arcilloso. No existe una diferencia entre la concentración de fósforo en las diferentes profundidades. Las diferencias en concentración de fósforo en los distintos tratamientos no es

grande, por lo que los valores pueden estar influidos por la limitación en exactitud del método a esas bajas concentraciones. Una explicación del por qué de los valores más bajos en el tratamiento NF-2 en comparación con los otros tratamientos no vale la pena hacerlo debido a la poca diferencia que existe entre los datos obtenidos. Lo más importante que presentan estos datos es de la similaridad de concentración de fósforo en las tres profundidades. Esto podría ser explicado de diferentes razones que a continuación se exponen: a) El fertilizante no se disolvió y fue removido en los 5 cms. superficiales de suelos desechados; b) El fertilizante se disolvió completamente y fue lixiviado hasta salir del último vaso en el agua de percolación; y; c) La capacidad de fijación de compuestos de fósforo es muy elevada en este suelo.

La primera consideración no es factible ya que se comprobó en el suelo arcilloso que si hay disolución de fertilizante; en este suelo también se demuestra que existe transporte del elemento hasta por lo menos 10 cms. de profundidad y, teniendo en cuenta la textura más liviana, es de esperarse que exista un mayor movimiento de agua, por lo que podría pensarse en exceso de percolación. Con respecto a lo anterior, la segunda consideración podría ser posible aunque se explica mejor en Gráfica 1 sobre el efecto que tuvo la cantidad de agua agregada en el movimiento de iones; sin embargo, fue poca la cantidad de agua de percolación que se pudo observar que pasó a través de los 30 cms. de suelo y es poco probable que esas pocas gotas llevaran la totalidad del fertilizante aplicado (0;0.07 y, 0.14 gr/vaso).

La consideración más lógica sería la tercera por lo que se desarrollará con un mayor detalle. Siendo este suelo de origen volcánico (perteneciente al grupo ando) la cantidad de arcilla amorfas (alofanos) es muy grande; estas arcillas forman un conglomerado de tipo eléctrico con la materia orgánica descompuesta, dando por resultado que las superficies de estas partículas así formadas estén cargadas positivamente (+) por lo que tienden a retener aniones (este es el caso inverso de las otras arcillas que retienen cationes); es muy probable que la capacidad de fijación sea tan alta que fije completamente hasta los 0.14 gr. de fósforo aplicados que considerando el peso de la totalidad del suelo empleado sería de 0.037 g. P/100 gr. de suelo y, si todo el fósforo se fijó en primer vaso, esta capacidad sería de 0.112 g. P/100 gr. de suelo.

3. SUELO FRANCO ARENOSO

Este suelo se comportó en igual forma que el suelo franco con la única diferencia que el nivel NF-2 tiene una diferencia de concentración con respecto a NF-1 en los 10 cms. de profundidad; esto probablemente ocurrió por ser dicho suelo un suelo más joven en su formación.

Esta gráfica demuestra que efectivamente se forma una lámina superficial de P. en la superficie del suelo y que es mayor a mayor cantidad de P. agregado.

En el suelo arcilloso el **GRAFICA 13** muestra el comportamiento de la disponibilidad de potasio en los niveles NF-0, NF-1 y NF-2. En el suelo arcilloso el comportamiento es similar al del suelo arenoso.

En el suelo arcilloso con el NF-0 se observa un arras-

amiento de potasio de 10 a 20 cms., que varía entre 107.5 y 117.5 ppm., manteniéndose constante hasta los 30 cms.

En el NF-1 se observa que de 10 a 20 cms. la concentración

del potasio va de 120 ppm.; de 20 a 30 cms. se mantiene constante

en 112 ppm.

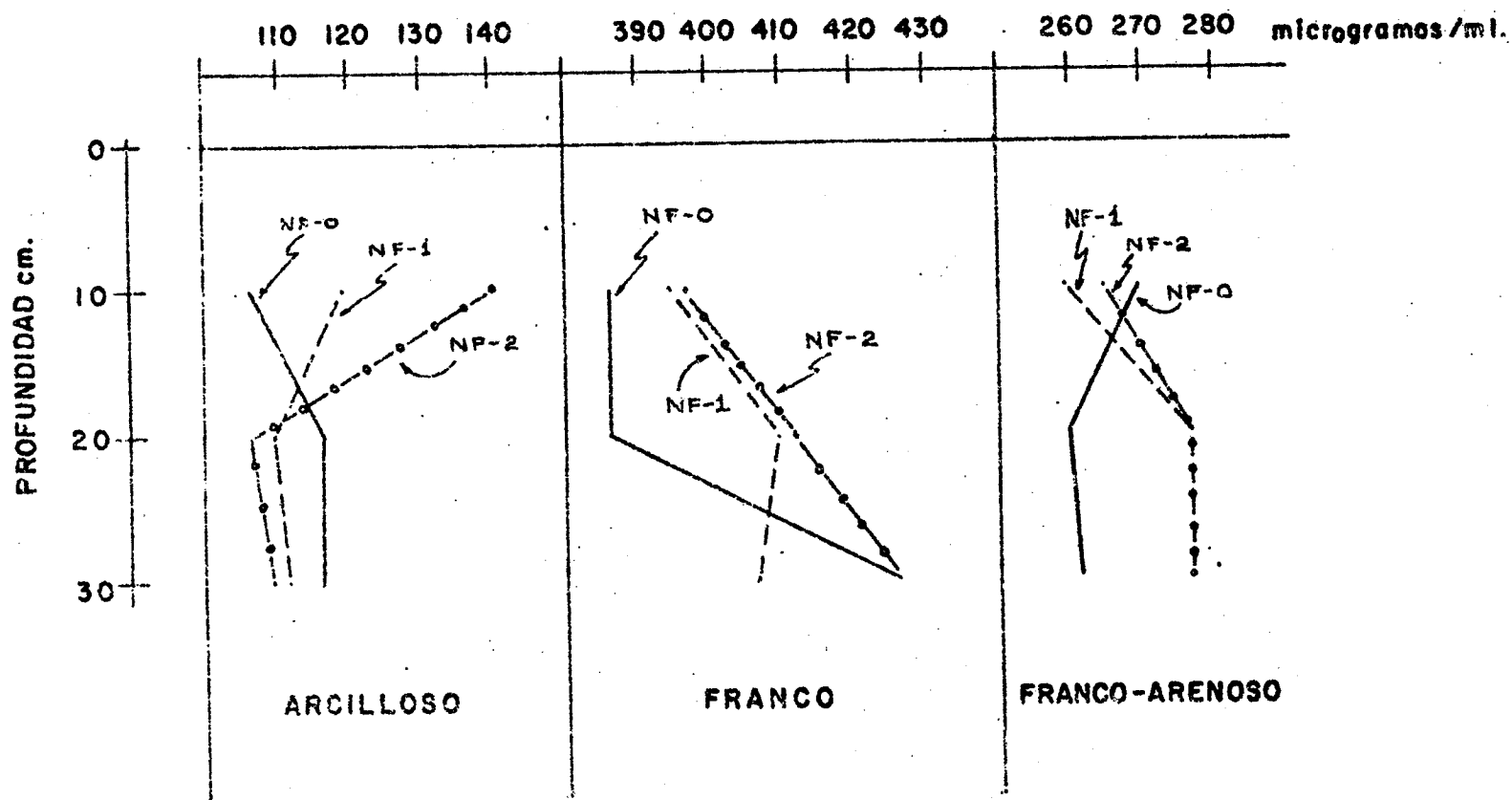
En el NF-2 el comportamiento es similar al del NF-1; la cantidad

observada de 10 a 20 cms. va de 140 a 107 ppm. y de 20 a 30 cms. 107 a 110 ppm. (prácticamente se mantiene constante).

El pequeño incremento de disponibilidad con el NF-0 pudo ser que se liberó potasio por la humedad existente, con la consiguiente expansión de las micelas de arcillas. Sin embargo, no existe una explicación lógica a la tendencia de que el K disponible se disminuya al aumentar la dosis de fertilizante en los 20 a 30 cms. de profundidad.

Con los niveles NF-1 y NF-2, se observa una fijación o poco movimiento del potasio a los primeros 20 cms. esto pudo ocurrir por la baja saturación de bases en relación al CTI con lo que se inter-
cambió la micela de arcilla.

POTASIO DISPONIBLE EN LOS SUELOS INDICADOS A 10, 20, Y 30 cms. DE PROFUNDIDAD SEGUN LOS DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZANTES APLICADOS



2. SUELO FRANCO

En K en el NF-0 se mantiene constante de 10-20 cms. (387.5 ppm), no así de 20-30 cms que va de 387.5 a 427.5 ppm de potasio. En NF-1 se nota un incremento de potasio disponible de 10-20 cms que corresponde de 395 a 410 ppm de 20-30 cms se mantiene prácticamente constante (410 ppm). En el NF-2 existe un incremento constante en el K desde los 10 a los 30 cms y aumenta de 397.5 a 427.5 ppm de potasio disponible.

En este suelo se podría suponer que en el contenido de humedad aumentaba la disponibilidad del potasio en vista que el análisis inicial reporta 230 ppm. de potasio con lo que se ve una liberación de potasio del suelo llegando en NF-0; a 387.5 ppm. ocurriendo lo mismo en los otros dos niveles.

También se observa pérdida de potasio de la parte superior a la inferior, esto se explicará mejor al discutir las gráficas correspondientes.

3. SUELO FRANCO ARENOSO

En el NF-0 existe una fijación de potasio disponible de los 10-20 cms, de 270 a 260 ppm y, de 20-30 cms., se mantiene a 260 ppm. En el NF-1 se aprecia un incremento de los 10-20 cms., de 260 a 277.5 ppm y, de 20-30 cms. se mantiene constante a 277.5 ppm.

En el NF-2 aquí existe una liberación de potasio de 10-20 cms de 265 a 277.5 ppm y de 20-30 cms se mantiene a 277.5 ppm; sin embargo, se puede considerar que se mantuvo con un nivel constante. El comportamiento del NF-0 nos da el comportamiento del suelo en sí; de donde se podría inducir que primero hubo liberación de potasio del suelo, dándose una fijación posterior como parte del comportamiento de equilibrio del suelo. Ahora bien en los NF-1 y NF-2 se podría pensar que existe liberación y posteriormente lavado y fijación de potasio en el suelo.

GRAFICA 4

1. SUELO ARCILLOSO

El movimiento que se ve es debido quizá por el tipo de arcilla, la que atrapa entre láminas al K conforme se va secando el suelo por lo que en los primeros 10 cms hay mayor disponibilidad de K, reduciéndose a los 20 y a los 30 cms. Se encontró un incremento del K con el NA-2 respecto al NA-1.

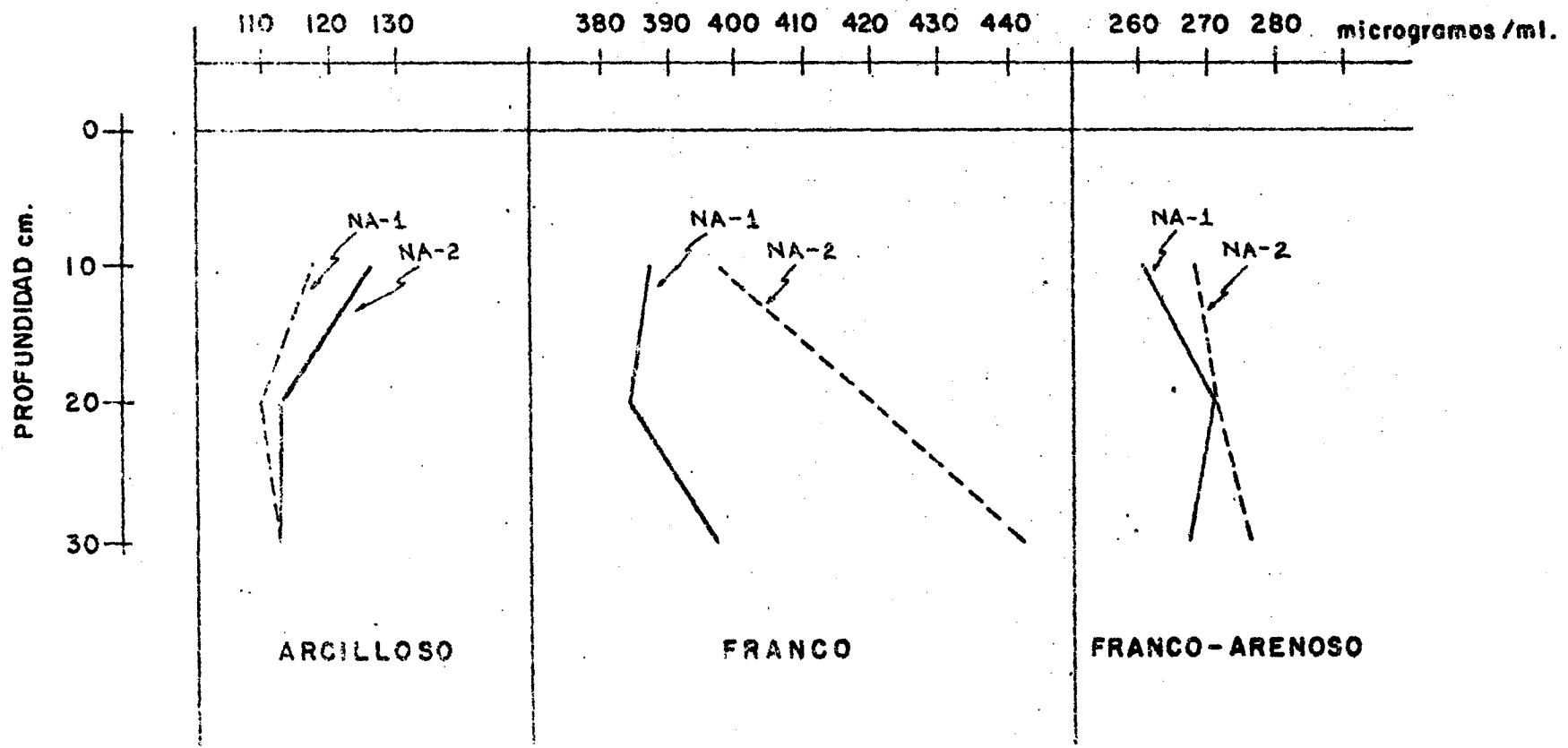
2. SUELO FRANCO

En este suelo se observa claramente con el NA-2 el movimiento descendente del K no así con el NA-1 donde el movimiento es muy poco. Lo que indica que hay lixiviación de K al aplicar el NA-2.

3. SUELO FRANCO ARENOSO

El potasio tiene un movimiento más uniforme en el NA-2, ya que es un movimiento rectilíneo. Ahora bien el NA-1 pareciera que llegó únicamente a 20 cms o sea que el agua aplicada no fue la suficiente como para humedecer todo el perfil, o acarrear el K más allá de los 20 cms.

POTASIO DISPONIBLE EN LOS SUELOS INDICADOS A 10, 20, Y 30 cms. DE PROFUNDIDAD SEGUN LOS DIFERENTES NIVELES DE AGUA APLICADA



Los datos correspondientes del experimento realizado en condiciones de laboratorio no serán discutidos, puesto que si se analizan detenidamente se podrá comprobar que la tendencia de dichas gráficas es similar a los datos en condiciones de invernadero. Se llega a discutir únicamente las gráficas en condiciones de invernadero debido a que dichas condiciones se semejan más a las de campo; ésto se ha hecho sin menospreciar los resultados obtenidos en condiciones de laboratorio, los que se encuentran incluidos en el trabajo.

Los resultados y gráficas nos demuestran:

El fósforo en los tres suelos es fijado, ya que, en el nivel de fertilizante dos se agregó al suelo 100 ppm de fósforo de lo que en el suelo sólo da una lectura de 13.07 ppm. de fósforo disponible al analizarlo; se ve que es una parte muy pequeña la cantidad de fósforo aplicado en forma de fertilizante, la que hace disponible a las plantas. Esto ocurre en los primeros 10 cms. reduciéndose la disponibilidad con la profundidad.

Con los suelos franco y franco arenoso (suelos ando), la fijación del fósforo agregado en forma de fertilizante es casi completa, como se pudo comprobar. Los niveles de agua no tienen influencia en la disponibilidad del fósforo en los tres suelos empleados en el experimento.

En el caso del potasio es diferente puesto que los niveles de potasio empleado en forma de fertilizante en el suelo arcilloso quedan completamente disponibles en el suelo en los primeros 10 cms., fijándose en los 20 cms., y esta fijación aumenta a mayor sea el nivel de fertilizante aplicado.

Los niveles de agua en este suelo no tienen influencia en el comportamiento del potasio, en los suelos arcilloso y franco-arenoso, pero sí en el suelo franco en que se observa un fuerte movimiento del K hacia abajo.

Como se indicó, en el suelo franco se ve una notable liberación de potasio, aumentada con el potasio del fertilizante aplicado; tanto el nivel de fertilizante como el nivel de agua tiene una marcada influencia en el comportamiento.

El comportamiento del potasio en el suelo franco arenoso es similar al franco, con la diferencia que este suelo no libera tanto potasio; la influencia del nivel del fertilizante se limita en los primeros cms. El nivel de agua si tiene influencia en el movimiento del potasio a través del perfil del suelo, o sea, que a volúmenes de agua mayores, mayor es el movimiento descendiente del potasio en el suelo.

VIII. CONCLUSIONES

1. El fósforo es un nutrimento que es rápidamente fijado por los suelos, estudiados principalmente por los del grupo ando.

1.1 En los suelos bien formados, o sea, con un desarrollo completo como lo es el suelo arcilloso, al estudiar el comportamiento del fósforo se demuestra una disponibilidad a las plantas en los primeros 10 cms. la que era de esperarse fue directamente proporcional a la fertilización.

1.1.1 El nivel de agua en el suelo arcilloso, usando niveles normales, no tiene ninguna incidencia en el movimiento del P lo que correlaciona con lo encontrado por otros estudios.

1.1.2 El P en las columnas de suelo, las que se mantuvieron casi en una condición de capacidad de campo sin cultivo, tendió a difundirse en el perfil completo de suelo de la columna.

1.2. En suelos con una formación reciente, como lo son los suelos franco y franco arenoso no muestran ninguna disponibilidad de fósforo.

1.2.1 Con los niveles de fertilizante empleados se nota que a mayor fertilización mayor podría ser la fijación, esto es por los valores tan pequeños dados por los análisis respectivos.

- 1.2.2** Los niveles de agua nos demuestran que a mayor volumen de agua mayor es la fijación y menor la disponibilidad.
- 1.2.3** El nivel de fertilizante nos da una mayor disponibilidad a mayor fertilización, siendo este incremento bastante reducido.
- 1.3.2** El nivel de agua tiende a aumentar la disponibilidad del fósforo, como en el caso anterior.
- 2.** En el caso del potasio es un nutrimento que se libera y fija en el suelo.
- 2.1** Suelo arcilloso, el suelo mantiene el contenido de potasio, dejando disponible en los primeros 10 cms., de profundidad.
- 2.1.1** Los niveles de fertilizante inciden en los primeros cms., en mayor disponibilidad a mayor fertilización, fijándose con la profundidad hasta mantener el contenido de potasio inicial.
- 2.1.2** Los niveles de agua no influyen en el comportamiento del potasio en el suelo; teniendo un pequeño aumento en disponibilidad a mayor volumen de agua.
- 2.2** Suelo franco, este suelo libera potasio disponible a las plantas hasta el 150% del potasio disponible original, además el potasio agregado queda completamente disponible hasta los 30 cms de profundidad.

2.2.1 Los niveles de fertilizante no influyen tanto en los primeros 10 cms de profundidad sino a mayores profundidades (20-30 cms) donde a mayor fertilización mayor disponibilidad de potasio en el suelo. Esto es posiblemente por lixiviación.

2.2.2 El nivel de agua es de suma importancia ya que a mayor volumen de agua mayor es la disponibilidad del potasio en el suelo, acumulándose conforme a la profundidad. Se debe tener muy en cuenta por posibles pérdidas de K por lixiviación.

2.3 Suelo franco arenoso, este suelo como el anterior liberó potasio intercambiable, dejando disponible el potasio agregado en la fertilización.

2.3.1 Los niveles de fertilizante no tienen una marcada diferencia entre sf.

2.3.2 Los niveles de agua en los primeros 20 cms. no tienen influencia alguna; de 20-30 cms el mayor volumen de agua acumula potasio, mientras el volumen menor ésta se ve reducida.

IX. BIBLIOGRAFIA:

- 1- Barrow, N.J., Ozanne, P.G. y Shaw, T.C. Nutrient potential and capacity. The concepts of nutrient potential and capacity and their application to soil potassium and phosphorus. Australian Journal of Agricultural Research. 1975. 61-76 pp.
- 2- Reckett, P.H.T. y White, R.E. Studies on the phosphate potentials of soils. The pool of labile inorganic phosphate. Plant and Soil. 1964. 253-282 pp.
- 3- Black, C.A. Relaciones suelo-planta. México, (A.I.D.). Editorial hemisferio sur. 1975. 2 v. 218-848 pp.
- 4- Drake, M. and Steckel, J.E. Solubilization of soil and rock phosphate as related to root cztion exchange capacity. Soil Sci. Soc. Amer. Pro. 1955. 449-450 pp.
- 5- Failyer, G.H., Smith, J.G. and Wade, H.R. The mineral composition of soil particles. US. Dept. Agr., Bur. Soils bul. 1908.
- 6- Fassbender, H.W. Química de suelos. Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. 1975. 119-350 pp.

- 7- Fried, M. y Shapiro, R.E. Soil-plant relationships in ion uptake. Annual review of plant physiology. 1961. 91-112 pp.
- 8- Grimes, D.W. An evaluation of the availability of potassium incrop residues. Ph. D. Thesis, Iowa State Univ., Ames. 1966.
- 9- Heintze, S.G. Studies on cation-exchange capacities of roots. Plant and Soil. 1961. 365-383 pp.
- 10- Heslop, J.M. and Black, C.A. Diffusion of fertilizer phosphorus in soils. Soil Sci. 1954. 389-401 pp.
- 11- Klinge, H. Umtauschkapazität und Ionenbelag von Böden aus El Salvador. Beiträge zur tropischen und subtropischen Landwirtschaft und tropen veterinärmedizin. 1965. 141-159 pp.
- 12- Magnarelli, R.L., Magnarelli, R.A. y Boneto, R.A. Fertilidad de los suelos agrícolas y la productividad vegetal. Argentina, Tipografía Llordén. 1972. 123-130 pp.
- 13- Olsen, S.R., Watanabe, F.S. and Danielson, R.E. Phosphorus absorption by corn roots as affected by moisture and phosphorus concentration. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1961. 289-294 pp.

- 14- Rich, C.I. and Thomas, G.W. The clay fraction of soils. Adv. Agron. 1960. 1-39 pp.
- 15- Simmons, CH.S., Taramo, H.M. y Pinto, J.H. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Guatemala. Instituto Agropecuario Nacional. 1959. 1000 p.
- 16- Sherman, G.D., Matsusuka, Y., Ikawa, H. and Uehara, G. The role of the amorphous fraction in the properties of tropical soils. Agrochimica. 1964. 146-163 pp.
- 17- Winters, E. and Simonson, R.W. The subsoil. Adv. Agron. 1951. 1-92 pp.

APENDICE 1

RESULTADO DE ANALISIS

MUESTRAS: Fertilizantes

Muriato de Potasio

Caracterfsticas generales:

Se presenta como un sólido cristalizado de color beige con partículos de tierra.

Caracterfsticas ffsicas y qufmicas:	Result.	NORMA
	análisis	ICAITI 44020
Potasio soluble en Agua expresado como K_2O (G/G)	59.02	58 mínimo
Humedad en % en peso (G/G)	2.60	0.5 máximo

Superfosfato Simple

Caracterfsticas generales:

Result.	NORMA
análisis	ICAITI 44018

Sólido granulado de color gris claro

Caracterfsticas ffsicas y qufmicas

Fosfato soluble en agua expresado como P_2O_5

en % en peso (G/G).	22.90	19 mínimo
Humedad, % peso (G/G)	3.00	5 máximo

Fuente: Informe del laboratorio de suelos del ICTA.

APENDICE 2

SUELO ARCILLOSO CON HUMEDAD DE CAMPO: PROMEDIO DE LAS TRES REPLICAS SEGUN
LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS PROFUNDIDADES INDICADAS

No. Trat.	NIVELES		Forma Aplic.	Profun- didad cm	pH	MICROGRAMOS/ML		Meq/100 ML DE SUELO		%H
	Fert.	Agua				P	K	Ca	Mg	
1	0	1	T	10	6.07	0.75	66.67	6.27	1.63	27.43
				20	6.07	0.75	53.33	6.33	1.60	28.15
				30	6.23	0.75	50.0	6.02	1.47	32.44
2	1	1	G	10	6.0	1.00	50.0	6.20	1.55	25.50
				20	6.0	0.75	50.0	6.15	1.57	29.13
				30	6.23	1.25	50.0	6.07	1.52	32.33
3	1	2	G	10	6.07	1.00	50.0	6.27	1.63	27.79
				20	6.1	1.50	50.0	5.73	1.45	28.95
				30	6.27	1.25	50.0	5.95	1.45	32.20
4	2	1	G	10	6.0	1.50	50.0	6.18	1.55	26.89
				20	6.0	1.25	63.33	6.38	1.60	29.12
				30	6.3	1.25	50.0	6.07	1.55	32.65
5	2	2	G	10	6.0	1.00	53.33	6.32	1.55	26.89
				20	6.03	1.00	53.33	6.20	1.55	30.02
				30	6.27	1.00	50.0	6.12	1.53	31.97
6	0	2	T	10	6.2	1.25	50.0	6.20	1.58	27.25
				20	6.13	1.25	50.0	6.30	1.57	29.51
				30	6.2	1.00	50.0	6.07	1.52	32.21
7	1	1	D	10	5.97	2.00	50.0	6.30	1.65	26.27
				20	6.00	1.50	50.0	6.37	1.63	28.35
				30	6.13	1.25	56.67	5.53	1.42	31.94
8	1	2	D	10	6.0	1.25	56.67	6.37	1.65	27.67
				20	6.03	1.50	56.67	6.10	1.58	28.40
				30	6.27	1.25	53.33	5.97	1.55	32.00
9	2	1	D	10	5.97	2.58	66.67	6.60	1.67	26.82
				20	6.0	1.00	56.67	6.13	1.62	29.99
				30	6.1	2.00	53.33	5.97	1.48	32.07
10	2	2	D	10	5.93	2.25	53.33	6.30	1.60	27.82
				20	5.97	1.50	53.33	6.05	1.55	31.32
				30	6.2	2.25	50.0	6.08	1.57	32.30

Fuente: Informe del Laboratorio de Suelos del ICTA.

ANEXO 1. Resultados de los experimentos de siembras de la ICITA.

Cultivo	Fertilizante	Dosis	Repeticiones	Producción (kg/ha)			Error estándar
				1960	1961	1962	
Maíz	N	0	1	10.0	10.0	10.0	0.00
			2	10.0	10.0	10.0	0.00
	N	1	1	10.0	10.0	10.0	0.00
			2	10.0	10.0	10.0	0.00
	N	2	1	10.0	10.0	10.0	0.00
			2	10.0	10.0	10.0	0.00
	N	3	1	10.0	10.0	10.0	0.00
			2	10.0	10.0	10.0	0.00
	N	4	1	10.0	10.0	10.0	0.00
			2	10.0	10.0	10.0	0.00
N	5	1	10.0	10.0	10.0	0.00	
		2	10.0	10.0	10.0	0.00	
Sorgo	N	0	1	10.0	10.0	10.0	0.00
			2	10.0	10.0	10.0	0.00
	N	1	1	10.0	10.0	10.0	0.00
			2	10.0	10.0	10.0	0.00
	N	2	1	10.0	10.0	10.0	0.00
			2	10.0	10.0	10.0	0.00
	N	3	1	10.0	10.0	10.0	0.00
			2	10.0	10.0	10.0	0.00
	N	4	1	10.0	10.0	10.0	0.00
			2	10.0	10.0	10.0	0.00
N	5	1	10.0	10.0	10.0	0.00	
		2	10.0	10.0	10.0	0.00	

LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ESTOS EXPERIMENTOS SE PRESENTAN EN LAS TABLAS SIGUIENTES. SE TOMÓ COMO PROMEDIO DE LAS TRES REPLICAS POR CADA TRATAMIENTO CON HUMEDAD DE CAMPO.

ANEXO 2

APENDICE 3

SUELO ARCILLOSO SECADO AL AIRE: PROMEDIO DE LAS TRES REPLICAS SEGUN
LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS PROFUNDIDADES INDICADAS

No. Trat.	NIVELES		Forma Aplic.	Profun- didad cm.	pH	MICROGRAMOS/ML		Meq/100 ML DE SUELO		% H
	Fert.	Agua				P	K	Ca	Mg	
1	0	1	T	10	5.9	0.75	86.67	7.87	1.93	6.29
				20	5.9	0.75	83.33	7.67	1.90	
				30	5.9	0.75	83.33	7.33	1.77	
2	1	1	G	10	5.77	1.00	83.33	7.80	1.80	
				20	5.87	1.00	80.00	7.40	1.77	
				30	5.97	1.25	83.33	8.07	1.97	
3	1	2	G	10	5.93	1.25	83.33	7.93	1.93	
				20	5.87	1.25	80.00	7.93	1.93	
				30	5.93	0.75	80.00	7.60	1.83	
4	2	1	G	10	5.7	0.75	80.00	7.47	1.80	
				20	5.93	0.75	80.00	7.13	1.67	
				30	5.93	1.00	76.67	7.67	1.80	
5	2	2	G	10	5.70	1.25	70.00	7.93	1.90	
				20	5.83	0.75	70.00	7.80	1.87	
				30	5.97	1.25	66.67	8.20	2.03	
6	0	2	T	10	5.97	1.00	66.67	7.40	1.73	
				20	5.93	1.25	66.67	7.67	1.83	
				30	5.93	1.25	66.67	7.80	1.87	
7	1	1	D	10	5.77	1.25	66.67	7.53	1.80	
				20	5.83	1.25	73.33	7.33	1.73	
				30	5.97	1.00	76.67	7.67	2.00	
8	1	2	D	10	5.73	1.00	66.67	7.60	1.97	
				20	5.7	1.25	63.33	7.00	1.73	
				30	5.97	1.58	66.67	7.40	1.90	
9	2	1	D	10	5.67	1.25	66.67	7.53	1.87	
				20	5.73	1.25	66.67	7.53	1.97	
				30	5.97	1.25	66.67	7.93	2.07	
10	2	2	D	10	5.67	1.00	70.00	7.53	2.10	
				20	5.70	1.25	70.00	6.67	1.73	
				30	5.93	1.25	70.00	7.60	1.87	

Fuente: Informes del Laboratorio de Suelos del ICTA.

APENDICE 4

SUELO FRANCO CON HUMEDAD DE CAMPO: PROMEDIO DE LAS TRES REPLICAS SEGUN
LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS PROFUNDIDADES INDICADAS

No. Trat.	NIVELES		Forma Aplic.	Profun- didad cm.	pH	MICROGRAMOS/ML		Meq/100 ML DE SUELO		% H
	Fert.	Agua				P	K	Ca	Mg	
1	0	1	T	10	6.47	1.25	390	8.47	1.43	36.06
				20	6.33	1.50	400	8.27	1.40	37.39
				30	6.4	1.50	386.67	7.80	1.27	39.59
2	1	1	G	10	6.23	1.75	393.33	8.47	1.40	35.65
				20	6.3	1.25	373.33	8.27	1.37	37.59
				30	6.37	2.00	366.67	7.60	1.27	40.34
3	1	2	G	10	6.23	1.75	396.67	8.20	1.30	38.86
				20	6.20	1.25	366.67	7.93	1.23	38.64
				30	6.47	1.75	353.33	7.93	1.20	40.15
4	2	1	G	10	6.3	1.50	393.33	8.13	1.33	35.92
				20	6.33	1.25	393.33	8.20	1.40	36.97
				30	6.47	1.50	366.67	7.60	1.23	40.59
5	2	2	G	10	6.2	1.25	396.67	8.27	1.40	37.03
				20	6.27	1.25	393.33	8.20	1.33	39.24
				30	6.33	1.25	366.67	7.67	1.33	41.36
6	0	2	T	10	6.04	1.25	383.33	8.27	1.37	37.75
				20	6.37	1.50	373.33	8.07	1.30	39.13
				30	6.4	1.50	350.0	7.67	1.27	41.81
7	1	1	D	10	6.3	1.50	386.67	8.73	1.43	35.32
				20	6.3	1.50	383.33	8.2	1.37	37.74
				30	6.37	1.50	340.00	7.80	1.33	40.17
8	1	2	D	10	6.17	1.75	386.67	8.27	1.43	35.09
				20	6.33	2.00	356.67	7.87	1.33	37.66
				30	6.37	1.25	363.33	7.87	1.33	38.06
9	2	1	D	10	6.13	1.75	386.67	8.13	1.37	35.64
				20	6.37	1.50	373.33	8.33	1.37	37.33
				30	6.43	1.75	373.33	8.13	1.30	40.01
10	2	2	D	10	6.0	2.00	396.67	8.80	1.43	36.92
				20	6.2	1.75	390.0	8.53	1.40	37.78
				30	6.37	2.00	300	7.67	1.23	41.81

Fuente: Informes del Laboratorio de Suelos del ICTA.

APENDICE 5

SUELO FRANCO SECADO AL AIRE: PROMEDIO DE LAS TRES REPLICAS SEGUN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS PROFUNDIDADES INDICADAS

No. Trat.	NIVELES		Forma Aplic.	Profundidad cm.	pH	MICROGRAMOS/ML		Meq/100 ML DE SUELO		% H
	Fert.	Agua				P	K	Ca	Mg	
1	0	1	T	10	6.43	1.25	503.33	7.07	1.53	7.39
				20	6.5	1.25	483.33	8.67	1.83	
				30	6.53	1.25	516.67	8.73	1.90	
2	1	1	G	10	6.37	1.25	493.33	8.53	1.73	
				20	6.43	1.25	506.67	8.80	1.90	
				30	6.53	1.25	516.67	8.60	1.83	
3	1	2	G	10	6.17	1.25	500.00	8.93	1.93	
				20	6.23	1.25	506.67	8.87	1.90	
				30	6.33	1.50	483.33	8.60	1.83	
4	2	1	G	10	6.17	1.25	506.67	8.67	1.80	
				20	6.13	1.25	503.33	8.53	1.83	
				30	6.53	1.50	496.67	8.13	1.77	
5	2	2	G	10	6.2	1.25	526.67	8.57	1.90	
				20	6.33	1.25	503.33	8.47	1.80	
				30	6.43	1.25	513.33	8.93	1.90	
6	0	2	T	10	6.47	1.25	520.0	8.50	1.83	
				20	6.47	1.25	513.33	8.83	1.87	
				30	6.5	1.50	503.33	8.20	1.77	
7	1	1	D	10	6.23	1.25	510.00	8.80	1.93	
				20	6.43	1.25	530.00	8.87	1.87	
				30	6.43	1.25	356.67	7.80	1.60	
8	1	2	D	10	6.2	1.25	513.33	8.67	1.87	
				20	6.3	1.25	496.67	8.73	1.87	
				30	6.5	1.50	483.33	8.20	1.67	
9	2	1	D	10	6.07	1.50	493.33	8.60	1.90	
				20	6.43	1.25	496.67	8.87	1.93	
				30	6.53	1.25	496.67	8.87	1.90	
10	2	2	D	10	6.07	1.25	506.67	8.67	1.83	
				20	6.3	1.25	466.67	8.20	1.73	
				30	6.4	1.50	490.00	8.87	1.90	

Fuente: Informes del Laboratorio de Suelos del ICTA.

APENDICE 6

SUELO FRANCO ARENOSO CON HUMEDAD DE CAMPO: PROMEDIO DE LAS TRES REPLICAS
SEGUN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS PROFUNDIDADES INDICADAS

No. Trat.	NIVELES		Forma Aplic.	Profun- didad cm.	pH	MICROGRAMOS/ML		Meq/100 ML DE SUELO		% H
	Fert.	Agua				P	K	Ca	Mg	
1	0	1	T	10	6.0	1.25	256.67	11.0	1.80	32.85
				20	5.97	1.75	246.67	10.20	1.67	34.33
				30	5.93	1.75	250	9.93	1.57	35.68
2	1	1	G	10	5.77	1.75	256.67	10.47	1.70	30.58
				20	5.83	1.25	250.0	10.60	1.70	34.68
				30	5.9	1.25	246.67	9.73	1.50	37.29
3	1	2	G	10	5.83	1.25	253.33	10.93	1.77	34.61
				20	5.83	1.25	250.0	10.27	1.53	36.27
				30	5.90	2.58	246.67	9.80	1.53	37.77
4	2	1	G	10	5.77	2.33	253.33	10.20	1.60	33.44
				20	5.93	1.50	253.33	9.93	1.50	34.63
				30	6.0	1.25	250.0	9.73	1.50	37.34
5	2	2	G	10	5.73	1.00	256.67	10.27	1.57	35.37
				20	5.9	1.25	253.33	9.87	1.43	36.70
				30	5.93	1.75	251.67	9.87	1.40	37.02
6	0	2	T	10	5.87	1.75	250.0	10.07	1.57	35.86
				20	5.87	1.50	253.33	9.93	1.50	37.25
				30	6.03	1.25	250.0	9.73	1.53	37.60
7	1	1	D	10	5.77	1.25	260.0	10.27	1.60	34.01
				20	5.9	1.50	263.33	9.93	1.40	34.99
				30	6.13	2.50	246.67	9.27	1.43	37.85
8	1	2	D	10	5.87	2.00	256.67	9.93	1.57	34.69
				20	6.0	2.25	260.0	9.67	1.57	36.81
				30	6.03	2.58	253.33	9.40	1.43	38.00
9	2	1	D	10	5.93	2.00	260.0	10.40	1.67	33.12
				20	6.0	1.50	263.33	10.13	1.60	34.59
				30	6.07	1.75	260.0	9.53	1.43	35.56
10	2	2	D	10	5.9	2.00	270.0	10.27	1.67	34.81
				20	5.97	2.00	266.67	9.40	1.47	36.83
				30	6.10	2.00	256.67	9.87	1.57	36.54

Fuente: Informes del Laboratorio de Suelos del ICTA.

APENDICE 7

SUELO FRANCO ARENOSOS SECADO AL AIRE: PROMEDIO DE LAS TRES REPLICAS SEGUN
LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS PROFUNDIDADES INDICADAS

No. Trat.	NIVELES		Forma Aplic.	Profun- didad cm	PH	MICROGRAMOS/ML		Meq/100 ML DE SUELO		% H
	Fert.	Agua				P	K	Ca	Mg	
1	0	1	T	10	5.9	1.50	253.33	10.47	1.73	5.98
				20	6.07	2.00	253.33	10.20	1.63	
				30	5.87	2.00	250.0	10.00	1.60	
2	1	1	G	10	5.77	2.00	253.33	10.40	1.70	
				20	5.87	2.25	253.33	10.27	1.63	
				30	5.93	2.25	250.00	10.00	1.63	
3	1	2	G	10	5.83	2.50	253.33	10.47	1.70	
				20	6.0	2.25	253.33	10.40	1.67	
				30	5.97	2.25	253.33	10.20	1.70	
4	2	1	G	10	5.87	2.00	256.67	10.13	1.67	
				20	5.7	2.00	250.0	9.80	1.60	
				30	5.83	2.00	256.67	9.87	1.60	
5	2	2	G	10	5.83	2.50	256.67	10.33	1.60	
				20	5.97	2.00	256.67	10.80	1.70	
				30	5.97	2.50	250.00	9.67	1.57	
6	0	2	T	10	5.9	2.25	260.00	10.00	1.57	
				20	6.0	2.25	256.67	9.93	1.58	
				30	5.97	2.50	265.33	10.20	1.67	
7	1	1	D	10	5.9	2.50	256.67	10.00	1.63	
				20	5.97	2.00	260.00	10.27	1.70	
				30	5.77	2.50	243.33	9.87	1.60	
8	1	2	D	10	5.83	2.75	256.67	9.87	1.57	
				20	5.9	2.00	256.67	10.20	1.67	
				30	5.93	2.25	256.67	9.93	1.63	
9	2	1	D	10	5.8	2.50	256.67	10.00	1.63	
				20	6.0	2.83	250.00	10.00	1.60	
				30	6.07	2.75	253.33	9.87	1.63	
10	2	2	D	10	5.77	2.00	270.00	10.67	1.73	
				20	5.97	2.00	256.67	9.93	1.63	
				30	6.07	2.75	256.67	10.20	1.60	

Fuente: Informes del Laboratorio de Suelos del ICTA.

APENDICE 8

PROMEDIO DE DATOS DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS Y SUS INTERACCIONES SEGUN SE INDICA

NIVEL FERT.	Forma aplicación	PROF. EN CMS	NIVEL DE AGUA	MICROGRAMOS/ML					
				ARCILLOSO		FRANCO		FRANCO ARENOSO	
				P	K	P	K	P	K
0				0.96	75.56	1.29	506.67	2.08	256.11
1				1.15	75.28	1.29	491.39	2.29	253.89
2				1.08	71.11	1.31	500.00	2.32	255.84
	Granulado			1.02	77.78	1.29	504.72	2.21	253.61
	Diluido			1.22	68.61	1.31	486.67	2.40	256.11
		10		1.05	74.00	1.28	507.33	2.25	257.33
		20		1.08	73.33	1.25	500.67	2.16	254.67
		30		1.13	73.67	1.38	485.67	2.38	253.33
			1	1.02	76.89	1.29	494.00	2.21	253.11
			2	1.16	70.45	1.32	501.78	2.32	257.11
1	Granulado			1.08	81.67	1.29	501.12	2.25	252.78
2	Granulado			0.96	73.89	1.29	508.33	2.17	254.45
1	Diluido			1.23	68.89	1.29	481.67	2.33	255.00
2	Diluido			1.21	68.34	1.33	491.67	2.47	257.22
0		10		0.88	76.67	1.25	511.67	1.88	256.67
0		20		1.00	75.00	1.25	498.33	2.13	255.00
0		30		1.00	75.00	1.38	510.00	2.25	256.67
1		10		1.13	75.00	1.25	504.17	2.44	255.00
1		20		1.19	74.17	1.25	510.00	2.13	255.83
1		30		1.15	76.67	1.38	460.00	2.31	250.83
2		10		1.06	71.67	1.31	508.34	2.25	260.00
2		20		1.00	71.67	1.25	492.50	2.21	253.34
2		30		1.19	70.00	1.38	499.17	2.50	254.17
0			1	0.75	84.44	1.25	501.11	1.83	252.22
1			1	1.13	77.22	1.25	485.56	2.25	252.78
2			1	1.04	72.78	1.33	498.89	2.35	253.89
0			2	1.17	66.67	1.33	512.22	2.33	260.67
1			2	1.18	73.34	1.33	497.23	2.33	255.00
2			2	1.13	69.45	1.29	501.11	2.29	257.78
	Granulado	10		1.06	79.17	1.25	506.67	2.25	255.00
	Granulado	20		0.94	77.50	1.25	505.00	2.13	253.33
	Granulado	30		1.06	76.67	1.38	502.50	2.25	252.50
	Diluido	10		1.13	67.50	1.31	505.83	2.44	260.00
	Diluido	20		1.25	68.33	1.25	497.50	2.21	255.84
	Diluido	30		1.27	70.00	1.38	456.67	2.56	252.50
	Granulado		1	0.96	80.56	1.29	503.89	2.09	253.34
	Granulado		2	1.08	75.00	1.29	505.56	2.33	253.89
	Diluido		1	1.21	69.45	1.29	480.56	2.51	253.33
	Diluido		2	1.23	67.78	1.33	492.78	2.29	258.89
		10	1	1.00	76.67	1.30	501.33	2.10	255.33
		20	1	1.00	76.67	1.25	504.00	2.22	253.33
		30	1	1.05	77.33	1.30	476.67	2.30	250.67
		10	2	1.10	71.33	1.25	513.33	2.40	259.33
		20	2	1.15	70.00	1.25	505.33	2.10	256.00
		30	2	1.22	70.00	1.45	494.66	2.45	256.00

Apéndice 9

COMPARACION DE LOS RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS EN EL SUELO ARCILLOSO EN CONDICIONES INDICADAS

No.	NIVELES			Profundidad en cms	Condiciones de Laboratorio		Condiciones de invernadero	
	Fer- trata- mien- tos	tili- zan- te	Agua		P Microgramos/ML	K	P Microgramos/ML	K
1	0	2	1	10	2.38	70	0.88	95
				20	2.00	70	0.88	115.
				30	1.63	85	0.88	115
2	1	2	10	10	4.88	100	4.10	125
				20	2.38	80	1.25	110
				30	2.38	75	1.63	115
3	2	2	10	10	12.63	155	13.88	135
				20	3.25	85	2.38	105
				30	2.00	80	1.63	110
4	0	1	10	10	0.88	85	0.50	120
				20	0.88	80	0.50	120
				30	0.88	75	1.63	120
5	1	1	10	10	4.50	80	3.25	115
				20	1.63	80	2.13	110
				30	1.25	80	0.50	110
6	2	1	10	10	8.38	135	12.25	145
				20	1.63	85	0.88	110
				30	0.88	75	0.50	110

FUENTE: INFORMES DEL LABORATORIO DE SUELOS DEL ICTA

Apéndice 10COMPARACION DE LOS RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS EN EL SUELO FRANCO
EN CONDICIONES INDICADAS

No. trata- mien- tos	NIVELES		Profun- didad en cms	Condiciones de laboratorio		Condiciones de invernadero	
	Fer	Agua		P	K	P	K
	tili	zante					
1	0	2	10	0.88	420	0.88	380
			20	1.25	425	0.50	405
			30	1.25	440	0.88	445
2	1	2	10	1.25	445	0.88	410
			20	0.88	470	0.88	435
			30	1.25	450	0.88	430
3	2	2	10	1.63	440	0.88	405
			20	1.25	465	0.88	425
			30	1.25	445	0.50	455
4	0	1	10	1.25	425	2.00	395
			20	1.25	470	2.50	370
			30	1.25	480	2.13	410
5	1	1	10	0.88	465	2.50	380
			20	0.88	490	2.50	385
			30	0.88	490	2.50	385
6	2	1	10	1.25	490	1.25	390
			20	1.25	510	1.25	400
			30	0.88	465	1.25	400

FUENTE: Informes del Laboratorio de suelos del ICTA

Apéndice 11

COMPARACION DE LOS RESULTADOS PROMEDIOS OBTENIDOS EN EL SUELO FRANCO-ARENOSO EN CONDICIONES INDICADAS

No. tra- ta- mien- tos	NIVELES		Profun- didad en cms	Condiciones de laboratorio		Condiciones de invernadero	
	Fer- tilizante	Agua		P	K	P	K
1	0	2	10	1.25	270	1.63	295
			20	1.63	285	1.25	265
			30	1.63	270	1.63	270
2	1	2	10	2.00	255	1.63	250
			20	1.63	275	1.63	275
			30	1.63	270	1.25	280
3	2	2	10	2.88	260	3.25	260
			20	1.25	280	2.00	275
			30	1.25	290	1.63	280
4	0	1	10	1.25	175	0.88	245
			20	1.63	265	0.88	255
			30	1.25	230	0.88	255
5	1	1	10	1.63	185	1.25	270
			20	2.00	210	1.25	280
			30	1.63	195	1.25	275
6	2	1	10	2.38	260	1.63	270
			20	2.00	260	1.63	280
			30	1.63	260	1.63	275

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Aparado Postal No. 1845

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia
Asunto
.....

"IMPRIMASE"



DR. ANTONIO A. SANDOVAL S.
D E C A N O