

ESTUDIO COMPARATIVO DE TRES FUENTES Y CUATRO NIVELES DE  $P_2O_5$   
EN RELACION A FIJACION DE FOSFORO Y EFICIENCIA DEL FERTILIZANTE EN UN SUELO DEL ALTIPLANO DE PASTO

Por

GERARDO HUERTAS H.

y

GERARDO LOZANO C.

Tesis de grado presentada como requisito parcial  
para optar al título de  
INGENIERO AGRONOMO

Presidente de Tesis

RICARDO GUERRERO H., M.Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS  
Pasto - Colombia

1970

T.  
631.8  
4/887

"Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de grado, son de responsabilidad exclusiva de sus autores".

Art. 1º del Acuerdo No. 324 del 11 de Octubre de 1.966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Maricao.

A MIS PADRES  
A MIS HERMANOS  
A MIS FAMILIARES  
A MIS AMIGOS

A MI NIÑO

DEDICO

GERARDO HUERTAS H.

A MIS PADRES  
A MIS HERMANAS  
A MIS FAMILIARES  
A MI ESPOSA  
A MI HIJO

DEDICO

GERARDO LOZANO C.

AGRADECIMIENTOS A:

RICARDO GUERRERO RIASCOS I.A. Ms.c.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO

FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA

HUGO HERNANDO HUERTAS CHAVES

Todas las personas que colaboraron  
en el desarrollo del presente traba

jo.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 El fósforo en la planta.....	3
2.2 Formas del fósforo en el suelo.....	4
2.2.1 Fósforo Orgánico.....	5
2.2.2 Fósforo Inorgánico.....	7
2.2.3 Fósforo Total.....	10
2.3 Formas de Fósforo y su Relación con las Plantas.....	11
2.4 Fijación del Fósforo.....	12
2.5 Naturaleza y Composición de los fertilizantes Fosfóri cos.....	15
2.5.1 Elaboración.....	16
2.5.1.1 Superfosfato.....	17
2.5.1.2 Superfosfato Triple.....	17
2.5.1.3 Calfos.....	18
2.5.2 Solubilidad de los Fertilizantes.....	18
2.6 Fertilización Fosfatada.....	18
2.6.1 Trabajos realizados en Colombia.....	21
III. MATERIALES Y METODOS.....	23
3.1 Planta indicadora.....	23
3.2 Condiciones generales del lugar.....	23
3.2.1 Localización.....	23
3.2.2 Clima.....	24
3.3 El Suelo Experimental.....	24
3.3.1 Condiciones Generales.....	24

	Pág.
3.3.2 Métodos utilizados en el Análisis Físico-Químico del Suelo.....	25
3.3.3 Fraccionamiento de Fosfatos Inorgánicos.....	25
3.3.4 Determinación del fósforo Orgánico.....	25
3.3.5 Determinación del fósforo Total.....	25
3.3.6 Fósforo Aprovechable.....	26
3.3.7 Fósforo Inerte.....	26
3.4 Diseño Experimental.....	26
3.5 Siembra y Aplicación de Fertilizantes.....	26
3.6 Cortes.....	27
3.7 Muestreo del suelo.....	27
3.8 Análisis del Material Vegetal.....	27
3.9 Análisis Estadístico.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	30
4.1 Efecto de los Niveles de $P_{25}O$ sobre las Variables de Respuesta.....	30
4.1.1 Materia seca.....	30
4.1.2 Contenido y Absorción de Fósforo.....	39
4.1.3 Fracciones de Fósforo.....	42
4.2 Efecto de las fuentes de fósforo sobre las variables de respuesta.....	46
4.3 Formas de fósforo y su relación con la planta.....	48
V. CONCLUSIONES.....	56
VI. RESUMEN.....	58
SUMMARY.....	60
VII. BIBLIOGRAFIA.....	61
APENDICE.....	1

ILUSTRACIONES

	Pág.
Figura 1. Efecto de los niveles de $P_2O_5$ sobre la producción de materia seca.....	37
Figura 2. Efecto de los niveles de $P_2O_5$ sobre la producción de materia seca para las tres fuentes utilizadas.....	38
Figura 3. Efecto de los niveles de $P_2O_5$ sobre el contenido del fósforo en la planta.....	40
Figura 4. Efecto de los niveles de $P_2O_5$ sobre el contenido de fósforo en la planta para las tres fuentes utilizadas.....	41
Figura 5. Efecto de los niveles de $P_2O_5$ sobre la absorción de fósforo por la planta para las tres fuentes utilizadas.....	43
Figura 6. Efecto de los niveles de $P_2O_5$ sobre el fósforo unido al calcio no apatítico.....	44
Figura 7. Efecto de los niveles de $P_2O_5$ sobre el fósforo unido al calcio no apatítico para las tres fuentes utilizadas.....	45
Figura 8. Efecto de los niveles de $P_2O_5$ sobre el fósforo unido al calcio apatítico.....	47
Figura 9. Efecto de la fuente fosfatada sobre la absorción de fósforo por la planta.....	49
Figura 10. Efecto de la fuente fosfatada sobre el fósforo unido al hierro.....	50
Figura 11. Relación entre fósforo unido al aluminio y fósforo aprovechable.....	52
Figura 12. Relación entre fósforo unido al calcio no apatítico y fósforo aprovechable.....	53
Figura 13. Relación entre fósforo aprovechable y contenido de fósforo.....	54
Figura 14. Relación entre fósforo orgánico y fósforo aprovechable...	55

TABLAS

	Pág.
Tabla I. Cuadrados medios y significación estadística para las variables de respuesta (Fracciones de Fósforo).....	31
Tabla II. Resultados promedios de: Materia Seca - Contenido de Fósforo - Absorción de fósforo a diferentes niveles de $P_{2}O_{5}$ (Primer corte).....	32
Tabla III. Resultados promedios de: Materia Seca - Contenido de Fósforo - Absorción de fósforo a diferentes niveles de $P_{2}O_{5}$ (Segundo corte).....	33
Tabla IV. Fracciones de Fósforo en los diferentes niveles de $P_{2}O_{5}$ para superfosfato triple ( ppm ).....	34
Tabla V. Fracciones de fósforo en los diferentes niveles de $P_{2}O_{5}$ para Calfos ( ppm ).....	35
Tabla VI. Fracciones de fósforo en los diferentes niveles de $P_{2}O_{5}$ para superfosfato simple ( ppm ).....	36

ESTUDIO COMPARATIVO DE TRES FUENTES Y CUATRO NIVELES DE  $P_2O_5$

EN RELACION A FIJACION DE FOSFORO Y EFICIENCIA DEL FERTILIZANTE

ZANTE EN UN SUELO DEL ALTIPLANO DE PASTO (")

Por

GERARDO HUERTAS H.

y

GERARDO LOZANO C.

## I INTRODUCCION

Uno de los problemas que más afecta la productividad agrícola está relacionado con la aprovechabilidad de los elementos en los fertilizantes los cuales, muchas veces, no aportan las cantidades necesarias de nutrientes para una producción económica.

En el caso del fósforo, se han descubierto grandes dificultades relacionadas con su absorción y aprovechabilidad por la planta. En cuanto a la absorción se refiere, es conocido el hecho de que tan solo una mínima parte de fósforo disponible en el fertilizante es aprovechado por los cultivos. Su eficiencia varía de acuerdo a la calidad del fertilizante y a las condiciones físico-químicas del suelo.

---

(") Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Ricardo Guerrero R. M.Sc.

Pero quizá, uno de los problemas que mas incide en la aprovechabilidad del fósforo, es su "fijación" hacia formas insolubles que no están asequibles a la planta.

Teniendo en cuenta las acentuadas deficiencias que de este elemento se han reportado en esta región y la escasa respuesta que estos suelos han tenido a la adición de fertilizantes fosfatados, se ha decidido efectuar una investigación con el fin de evaluar tanto la absorción de fósforo por la planta, como la "fijación" de éste por el suelo, en relación a diferentes dosis y fuentes comerciales de fósforo.

## II REVISION DE LITERATURA

### 2.1 El Fósforo en la planta

El Fósforo es uno de los macroelementos que más necesita la planta para su crecimiento y desarrollo. Su esencialidad fue determinada, por primera vez, por Vong Liebig citado por Blasco (12).

El fósforo desempeña un papel primordial en la fisiología de la planta, ya sea como parte de la estructura celular y sus componentes como los ácidos nucleicos, así como actuando en el metabolismo de la planta.

\* Es un elemento regulador de pH de las células, fuente de energía en la respiración y fermentación e interviene en el crecimiento de la planta y en la maduración de semillas y frutos (53,85,112). Además de estas funciones, el fósforo interviene en la asimilación de otros elementos necesarios para la planta, como el nitrógeno cuya absorción, según Infante (57), aumenta en presencia del fósforo.

\* Las plantas absorben el fósforo que se encuentra en el suelo formando diferentes compuestos, ya sean iones  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$  o en formas orgánicas. Pero estas formas llamadas "asimilables por la planta" se encuentran en el suelo en cantidades pequeñas, que según Tisdale (107) son menores a 1 ppm. y no son suficientes para la planta.

Existen diferentes formas que regulan la asimilación del fósforo por parte de la planta. Baldevinos y Grant (6), encontraron que la cantidad de fósforo absorbida por la planta incrementa con el contenido de arcilla.

Pero el factor limitante en la aprovechabilidad del fósforo, es el Ph del suelo (71). Los iones  $H_2PO_4^-$  predominan bajo condiciones ácidas y la forma iónica  $HPO_4^{2-}$  predomina bajo condiciones alcalinas (76,86,106).

En forma orgánica, la planta puede absorber fósforo en forma de fitina y lecitina (9,10,18,76,93). Pero en general, se acepta que la contribución de la fracción orgánica a la nutrición fosfatada de la planta, se efectúa a través de la mineralización de la materia orgánica.

Rojas de Peña (92), dice que el maíz es capaz de absorber fósforo por el follaje para luego dispersarse por medio del sistema vascular por toda la planta. Esta absorción puede ser del 3 al 20% del aplicado originalmente.

## 2.2 Formas del fósforo en el suelo.

El fósforo se encuentra en el suelo en dos formas: orgánica e inorgánica. Su forma orgánica se debe, principalmente, a la presencia de materia orgánica y microorganismos. De la descomposición de esta se forman compuestos orgánicos fosforados como: fitina, lecitina, ácidos nucleicos, nucleótidos y fosfolípidos (37,94). En forma inorgánica se presenta como compuestos derivados del  $H_3PO_4$ , cuyo anión puede ser absorbido por el complejo coloidal, formar sales definidas (fosfatos), o ser atrapados en los cristales de los hidróxidos (10,12,26,37).

El fósforo que se encuentra en forma orgánica puede, por el proceso químico de mineralización pasar a formas inorgánicas. El proceso contrario se denomina inmovilización. La velocidad de la mineralización y sus productos resultantes dependen de varios factores, entre los cuales sobresalen el compuesto orgánico sobre el cual se opera, la tem

peratura, la relación C/P, la humedad y otros (94).

La mineralización será mas rápida, cuando abunden los ácidos nucleicos; si predomina la fitina, será lenta (13).

Alexander, citado por Blasco y Bohórques (13), dice que se presentará mineralización cuando la relación C/P orgánico sea menor de 200:1. Los mismos autores encontraron que el proceso dominante en suelos volcánicos del Puracó es la inmovilización a pesar de que la relación C/P es menor de 200.

Black y Goring, citados por Blasco y Bohórques (13), demuestran que la mineralización o inmovilización depende mas de la cantidad de fósforo orgánico que de la relación C/P.

### 2.2.1 Fósforo Orgánico

El fósforo orgánico en los suelos proviene de los residuos de los vegetales y animales así como también de los microorganismos. La acumulación de estos residuos constituye la materia orgánica del suelo, de cuya descomposición se genera una serie de compuestos, entre los cuales se encuentra el humus el cual representa una reserva para las plantas (54).

La mayor proporción del humus está como fitina y sus derivados (40-80%), ácidos nucleicos (0-10%), fosfolípidos, fosfoproteínas (0-3%) y otras combinaciones no identificadas (9).

Anderson, citado por Bear y Firman (9), ha podido identificar bases de purina, guanina, adenina y pirimidinas (citosina, timina y uracil).

Existen fosfatos metabólicos en forma de azúcar fosforilado, que son metabolizados por la flora (9). De estos compuestos, son interesantes aquellos que pueden ser aprovechados por la planta.

Caldwell y Black (19), dicen que el inositol hexafosfato constituye en promedio, el 17% del fósforo orgánico, con un rango del 3-52%. En suelos de bosque, constituye el 24% y en suelos de pradera el 12%.

Brower, citado por Caldwell (19), indica que el 32% del fósforo orgánico se presenta como inositol hexafosfato. El mismo autor cita a Pederson (1952) y a Anderson (1956), quienes encontraron porcentajes del 30 y 46%, respectivamente, del fósforo orgánico, como inositol hexafosfato.

En cuanto al contenido total del fósforo orgánico, existen factores que determinan su cantidad. Hornonissa e Igue (15), dicen que el porcentaje del fósforo orgánico total y la relación C/P-orgánico de crece con la profundidad del horizonte coincidiendo en esto con la opinión de otros autores (30,56,61,94,113).

Dyer, citado por Dean (26), dice que el 50% del fósforo total en suelos pedregosos está en combinaciones orgánicas. En 23 localidades de Colorado, Greb y Olson (43), encontraron que el fósforo orgánico es el 23% del total y el 27% en suelos vírgenes.

La contribución del fósforo orgánico al fósforo total es muy variable. En general la fracción orgánica se incrementa cuando se aumenta la materia orgánica. Fassbender y colaboradores (37), encontraron que el fósforo orgánico representa entre el 14% y el 82% del fósforo total en suelos de América Central.

Blasco y Tafur, citados por Pantoja (85), dicen que en Colombia el contenido de fósforo orgánico, para suelo y subsuelo, varía del 20 al 30% del fósforo total. Pantoja (85) dice que en suelos de clima medio de Nariño el fósforo orgánico representa el 14,9% del fósforo total, en suelos de pradera. Bastidas y colaboradores (8), en el Valle de Sibundoy, encontraron que el fósforo orgánico representa el 30,06% del fósforo total.

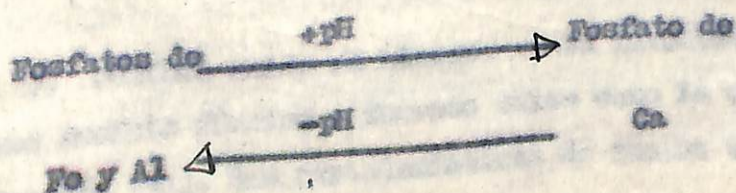
### 2.2.2 Fósforo Inorgánico

La totalidad del fósforo inorgánico que existe en la naturaleza se presenta como derivados del ácido fosfórico cuyo anión puede reaccionar con los cationes del suelo y formar sales, ser atrapado en los cristales de los hidróxidos, o ser absorbido en el complejo coloidal (37).

La calidad de los fosfatos inorgánicos presentes en el suelo depende principalmente del material parental original, del grado de meteorización y de otros factores como el pH y las reacciones químicas.

Las sales del ácido fosfórico en su mayoría son: fluor, oxo, e hidroxifosfatos de Fe, Al, Ca, Mg, Mn. (26,61,63,85,113).

En suelos ácidos predominan los fosfatos de Fe y Al; en suelos básicos los fosfatos de Ca, tal como lo indica el siguiente diagrama:



Las regresiones de los fosfatos se cruzan a pH 5,5 marcando el punto divisorio de los fosfatos de Ca y los fosfatos de Fe y Al (4,9,31,37).

La solubilidad de los compuestos inorgánicos depende de la clase de compuesto, siendo la forma insoluble la mas abundante y su cantidad relativamente constante (9,18,113).

Las fracciones mas importantes del fósforo inorgánico son;

a. Fósforo unido al calcio. Los fosfatos de calcio que se presentan en el suelo son: fosfato monocalcico, dicalcico y variedades de apatitas (fluor, oxl, hidroxl, cloro, carbonato apatita) (49,112). Estos fosfatos son abundantes en suelos recientes y en perfiles ricos en  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{CaO}$ , predominando en suelos aluviales (38).

Los fosfatos mono y dicalcicos son solubles y mayormente aprovechados por la planta (104). Las cantidades de fósforo unido al calcio con relación al fósforo total varían entre 2% y 50% (33,36,50).

Panteja (85), en suelos de clima medio de Haríño, encontró que la cantidad de fósforo unido al calcio va de 2,49% en suelos de pradera a 6,49% en suelos de cultivo.

Bastidas et al. (8), en suelos del Valle de Sibundoy, encontraron que esta fracción es mas abundante en la primera capa que en las mas profundas.

b. Fósforo unido al hierro. Esta fracción se presenta en el suelo como fosfato férrico o ferroso tales como la vivianita, estrengita y dufrenita (31). Son característicos de suelos tropicales y altamente meteorizados, especialmente en suelos lateríticos pardo rojizos, alu

viales y en laterales. En andosoles no son frecuentes (33,100,104).

Curtz, citado por Miller (76), dice que tanto la edad como el grado de cristalización, tienen efecto en la aprovechabilidad por la planta.

Martínez y Lucena (74), indican que el fósforo unido al hierro representa entre el 4% y el 25% del fósforo total. Pantoja (85), para suelos de clima medio de Maricao, encontró cantidades que varían entre 8,48% en suelos de pradera y 9,64% en suelos de bosque. Bestidas y colaboradores (8), en suelos del Valle de Sibundoy, encontraron que el 9,83% del fósforo total, está representado como fósforo unido al hierro.

c. Fósforo unido al Aluminio. Esta fracción se encuentra en el suelo como fosfato o hidróxidos de Al como la variscita y wavelita. Se presenta principalmente en suelos andosólicos pedregolizados y especialmente en suelos cultivados (31,33,61). Westin y Buckley (112), dicen que los valores más altos para el fósforo unido al aluminio, se atribuyen a la discontinuidad litológica, donde la sílice se encuentra debajo presentando una gran cantidad de fósforo unido al aluminio.

Según Faschender (33), es la forma más importante de fosfatos en los suelos de Costa Rica, representando el 82,5% de los fosfatos retenidos, para los andosoles. El mismo autor (37), encontró cantidades que oscilan entre 104 ppm., en suelos ácidos, y 58 ppm., en suelos con predominancia de Ca. Bestidas (8) encontró en suelos del Valle de Sibundoy, cantidades de 229,86% para el fósforo unido al aluminio.

d. Fósforo: Fácilmente reemplazable - soluble en agua - aprovechable. En la mayoría de los suelos estas fracciones se presentan en menor cantidad con relación a las otras.

+ Tisdale y Nelson (106), afirman que el ácido carbónico, formado por disolución del  $\text{CO}_2$  (que se desprende de la descomposición de la Materia Orgánica) en el agua, juega un papel importante en el incremento de los fosfatos aprovechables debido a que descompone los minerales primarios del suelo.

+ Martínez y Lucena (74), observan una marcada relación del fósforo cambiante con el pH del suelo. En suelos con pH menores a 6,9, el fósforo presente en esta forma es nulo, éste aumenta con el pH y tiene un valor medio de 1,5%. A Ph mayor de 7 ocupa un valor predominante la forma asimilable.

+ Miller (76), dice que la cantidad de fósforo en la solución del suelo, va desde: 0,1 ppm. a 0,5 ppm. En suelos fértiles puede llegar a 1 ppm.

### 2.2.3 Fósforo Total

El fósforo total da una idea de las reservas de este elemento en el suelo. Su contenido obedece a una serie de factores entre los cuales se destacan: naturaleza del material parental, procesos de formación y desarrollo del suelo, adición de fertilizantes fosfóricos y precipitación (54,76).

Las mayores cantidades de fósforo total se encuentran en las capas profundas (56,94). Los suelos arcillosos contienen mayor cantidad de fósforo total que cualquier otro suelo (54,62,94).

Kellog, citado por Miller (76), considera que el contenido de fósforo total, de los latosoles, es similar al de los suelos pedoclicos rojo amarillentos de los EE.UU.

\* El fósforo total también depende del tiempo de cultivo Parker, citado por Sánchez (94), dice que el tiempo de cultivo reduce la cantidad de fósforo en un 10%. En áreas de poca lluvia las cosechas no solo remueven el fósforo, sino que también alteran las proporciones de las diferentes formas de fósforo.

### 2.3 Formas de Fósforo y su Relación con las Plantas

Las aportaciones de las diferentes formas de fósforo a las plantas dependen de las disponibilidades de éstas en el suelo. En términos generales, las formas insolubles de fósforo llegan a ser aprovechadas por la planta después de sufrir procesos bien sea de mineralización como en el caso del fósforo orgánico o transformaciones a formas solubles asimilables a la planta.

Los fosfatos solubles y mayormente aprovechables por las plantas son los fosfatos mono y dicálcicos; entre los insolubles tenemos la apatita, wavelita, estrengita, y vaicita.

Weir y Soper (111), encontraron para todos los suelos por ellos estudiados, que los fosfatos del suelo son más solubles que la hidroxapatita; sin embargo según Kaila (61), existen numerosos organismos capaces de disolver la apatita aportando fósforo que puede ser aprovechado por las plantas.

Según Curtis, citado por Martínez (74), la edad y grado de cristalización tanto de los fosfatos de hierro como de aluminio tienen efecto en la aprovechabilidad por la planta. Mac Kenzie, citado por Kaila (65), dice que el fósforo unido al aluminio es el que más sufre de fósforo a la solución del suelo, por lo tanto los suelos vírgenes son pobres en fósforo aprovechable.

Chang y Jackson, citados por Baker (5), indican que el fósforo aprovechable por las plantas está mas altamente correlacionado con la fracción de fósforo unido al hierro, que con cualquier otra fracción.

Baker y Hall (5), dicen que el fosfato de aluminio libera mas fósforo para el crecimiento de las plantas cuando han sido fertilizados los suelos recientemente con fertilizantes fosfatados.

#### \* 2.4 Fijación del Fósforo

Al aplicar fertilizantes fosfatados al suelo, la planta no aprovecha la totalidad del fósforo disponible en el fertilizante, ya que los fosfatos contenidos en estos reaccionan con partículas orgánicas e inorgánicas del suelo disminuyendo el fósforo asimilable del fertilizante. Este fenómeno se denomina "fijación del fósforo" y es uno de los problemas mas alarmantes, ya que las cantidades de fósforo perdidas son grandes trayendo su consecuente disminución en la productividad agrícola.

Hemwell (52), afirma que solamente entre el 10% y el 30% del fósforo aplicado como fertilizante es absorbido por la planta, el resto es consumido por microorganismos, precipitado o absorbido por el complejo coloidal.

La fijación del fósforo fue reconocida en Europa por primera vez en 1.850 y luego en 1.900 en EE.UU., pero solamente en los últimos años ha sido objeto de grandes estudios, sobretudo en su base química (52).

Fassbender (32), define la fijación del fósforo como resultado de uno de los siguientes fenómenos:

En los suelos ácidos, donde el hierro y el aluminio se encuentran en gran cantidad, ya sean en solución o como iones intercambiables, hay fijación debido a la formación, según se cree, de ortofosfatos con plejos de hierro y aluminio como: Dufrenita, Navelita y Vivianita.

Se ha sugerido que los iones fosfatos pueden combinarse con arcillas del tipo 2:1 y 1:1, bien sea por remplazo de un grupo hidroxilo de un átomo de aluminio o por formación de una cadena arcilla-Ca-fosfato. El intercambio es mayor en arcillas del tipo 2:1 (28,106,108).

Las arcillas saturadas con calcio absorben mayor cantidad de fosfatos que las arcillas saturadas con sodio. Los suelos con abundancia de arcilla coelintica fija mayor cantidad de fósforo que aquellos con dominancia de arcillas del tipo 2:1.

Fassbender (40), trabajando con un grupo de suelos de América Central encontró que no hay asociación en los grupos de suelos o en su totalidad, entre el contenido de aluminio extraíble y la capacidad de fijación como también entre el contenido de la arcilla y la fijación.

El mismo autor (33), dice que los andosoles muestran gran capacidad de retención y la variación entre suelos de este grupo es pequeña, luego le siguen los latosoles y por último los aluviales.

En un experimento que hizo en 8 suelos de la Amazonia del Brasil el mismo autor (32), encontró que el suelo que presenta la mayor capacidad de retención es el latosol húmico concrecionario.

## 2.5 Naturaleza y Composición de los fertilizantes Fosfóricos

El uso de los fertilizantes, comenzó en 1.840 cuando Von Lie

big recomendó el uso del  $H_2SO_4$  para facilitar la descomposición de los abonos orgánicos. En 1.842 comienza la producción industrial cuando Leves patenta el proceso de acidulación de la roca fosfórica en Inglaterra (9,24,49,105).

La mayoría de los fertilizantes fosfóricos provienen de minerales fosfóricos que se encuentran en forma natural, y de compuestos orgánicos.

Por su naturaleza, Gustafson (49), divide los fertilizantes fosfóricos en la siguiente forma: a) Fertilizantes naturales (Roca Fosfórica) b) Fertilizantes naturales procesados (Superfosfatos) c) Fosfatos Químicos (Nitrofoska) d) Subproductos fosfóricos (Calfos).

Los fosfatos naturales de mayor ocurrencia, se los denomina con el nombre genérico de "roca fosfórica" y consisten en variedades fluoradas, aloradas o carbonadas de apatita e hidroxiapatita, cuya fórmula será  $Ca_{10}(PO_4)_6X$  donde X representa Cl, F o  $CO_3^{2-}$ . Ciertos depósitos de hierro, particularmente en Europa, son ricos en fósforo (24, 49,79,105,107).

### 2.5.1 Elaboración.

Esta consiste esencialmente en la transformación de las formas naturales de fósforo inaprovechables por la planta a fertilizantes fosfóricos por medio de uno de los siguientes métodos: a) Procesos Térmicos b) Acidulación de la roca fosfórica c) Tratamiento de la roca con sílice y vapor de agua (10,105). El segundo método es el más usado por razones económicas y agronómicas. En teoría, cualquier ácido fuerte puede ser usado para acidular la roca fosfórica; sin embargo el ácido sulfúrico y el fosfórico han demostrado ser superiores sobre los otros

La industria de los fertilizantes consume mas del 35% de la producción mundial de azufre y sulfuros (11).

El ácido sulfúrico y la roca fosfórica son la materia prima en la elaboración de los fertilizantes fosfóricos. El ácido fosfórico, a su vez, es utilizado en fabricación de los superfosfatos dobles.

### 2.5.1.1 Superfosfato

Proviene directamente de la acción del  $H_2SO_4$  sobre la roca fosfórica.



El superfosfato está constituido esencialmente de: fosfato monoácido 30%, fosfato diácido 10%, sulfato cálcico 45%, además, trazas de hierro y aluminio en diferentes mezclas. El contenido de  $P_2O_5$  es del 16% al 22%.

### 2.5.1.2 Superfosfato Triple

Es un fosfato monoácido impuro que se lo obtiene de la acción del ácido fosfórico sobre la roca fosfórica.



Este superfosfato contiene del: 42% al 50% de  $P_2O_5$ , 19% de  $CaO$ , 0,5% de  $MgO$ , 3,5% de  $SO_2$ . Puede también obtenerse a partir del superfosfato ordinario pero su proceso es mas difícil (10,11).

### 2.5.1.3 Calson

Cuando el hierro usado en la manufactura del acero es rico en fósforo, el subproducto es un fertilizante con alto contenido de fosfato tetraácido y algo de silicofosfato cálcico.



El contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  varía del 14% al 16%; además contiene óxidos de calcio y magnesio en cantidades que varía del 50% al 70% (36).

### 2.5.2 Solubilidad de los Fertilizantes

Los fertilizantes fosfóricos generalmente se los clasifican como solubles en agua o solubles en ácido cítrico, y los insolubles.

Entre los solubles en agua están: El superfosfato normal, Superfosfato triple y fosfatos amónicos. Los solubles en ácido cítrico son: Calson, Fosfato de Renania y Fosfato bicálcico. Los insolubles son: La roca fosfórica y los minerales fosfóricos complejos (49).

### 2.6 Fertilización Fosfatada

Los experimentos que se han efectuado en fertilización fosfatada incluyen gran variedad de fuentes de variación que permiten sacar conclusiones efectivas con respecto a la eficiencia de un fertilizante y las condiciones de fertilización. Boyd y otros citados por Olivares (83), dicen que influye más la época del año y el tipo de manejo que tenga la pradera, que una determinada fertilización.

Fausbender (36), estudiando fuentes de fósforo y niveles de fertilizantes, no encontró efecto diferencial sobre la producción; lo

que confirma las afirmaciones de Blue, citado por este autor, en el sentido de que en experimentos de fertilización fosfatada se necesita un periodo superior a los dos años, para detectar respuestas mas definidas.

Mac Lachlan, citado por Olivares (83), comparó superfosfato triple con roca fosfórica en suelos de Australia; después de 7 años concluyó que el valor final de la producción, y el efecto residual eran iguales. El mismo autor demostró que la Avena, recuperó el 12% del elemento aplicado al suelo.

\* Miller (76), cita el experimento mas antiguo hecho en Pennsylvania, por Jordan en 1.881, sobre el uso de fertilizantes comerciales en maiz y cebada; y concluye que la necesidad del fósforo en el suelo excede a cualquier otro elemento.

El mismo autor, comparó los periodos de crecimiento con la absorción. Encontró que el trigo absorbe mas el fosfato de amonio en los primeros meses de crecimiento que el superfosfato normal. En edad madura toma mas fósforo del superfosfato que del fosfato de amonio.

Calkes, citado por Olivares (83), encontró que la fertilización aumentó la producción del pasto; pero estos incrementos solo son significativos, para los dos cortes posteriores a la aplicación.

El mismo autor, cita a Chandler et al. quienes en pastos guinea, pangola, y napier no encontró respuesta significativa a la fertilización fosfatada.

\* Fassbender y Miller (39), aplicando Calces y Fosfato de Rona, encontraron un ligero aumento en la cosecha, aunque no era signifi-

cativo. Estos autores al igual que Hunter, citado por Olivares (83), encuentran que al aumentar la acidez del suelo se incrementa la adsorción del ácido silícico por los hidróxidos de hierro y aluminio. Suponiendo que se establece un equilibrio silicato-fosfato en el complejo de adsorción del suelo, al aplicarse cantidades pequeñas de silicatos solubles se produce interacción con los fosfatos y estos pasarían a ser disponibles por la planta.

Tisdale y Nelson (106), probaron que la forma líquida es más efectiva que la sólida, al aplicar el ácido fosfórico y superfosfato triple en caña de azúcar.

Los mismos autores sacaron las siguientes conclusiones basadas en publicaciones experimentales:

- a) El grado de solubilidad en el agua es de menor importancia en cultivos perennes.
- b) Tanto los fosfatos solubles en agua como los solubles en citrato pueden ser absorbidos por la planta.
- c) La roca fosfórica no es un fertilizante satisfactorio en suelos con un pH mayor de 7,5.

Thompson (105), al estudiar en maíz, la roca fosfórica y el superfosfato, obtuvo los mejores resultados con el superfosfato en suelos calientes.

Fried y Broeschart, citados por Guerrero (48), dicen que la solubilidad del fosfato diclorito, formado en cantidades apreciables cuando se aplica superfosfato al suelo, se incrementa cuando el superfosfato se aplica mezclado con fertilizante amónico incrementando la eficiencia de la fertilización y la absorción del calcio. El mismo au

ter obtuvo este efecto al aplicar el superfosfato con urea.

Olivares (83), en experimentos en el Valle de Turrialba, probó fuentes y niveles de fósforo sin encontrar efecto diferencial entre las fuentes y el contenido de fósforo foliar.

Jimeno y Ayerbe (60), demostraron que al incrementar la fertilización fosfatada, hay marcada tendencia a enriquecer la savia de la planta, en fósforo.

Guerrero (48), probó dosis de aplicación, formas de aplicación y combinaciones NP en pasto elefante obteniendo los siguientes resultados: a) las formas de aplicación, no tuvieron ninguna influencia sobre las variables de respuesta estudiadas b) los niveles de  $P_{25}O_5$  disminuyeron el contenido de proteína pero incrementaron el de fósforo c) la combinación NP de los niveles más altos, resultó en la mayor producción de la materia seca; pero este efecto se debió más al N que al P. El P aumentó el contenido de fósforo en el suelo.

#### 2.6.1 Trabajos realizados en Colombia

En la "II REUNION DE SUELOS" realizada en el Instituto Tecnológico Agrícola de Pasto (diciembre 1.969) se presentaron trabajos efectuados por personal del I.T.A y del I.C.A. (Instituto Colombiano Agropecuario) y otros organismos nacionales dedicados a la investigación, de los cuales mencionamos algunos relacionados con fertilización fosfatada.

Owen, tratando de encontrar los niveles de fertilización óptimos en suelos de la regional N2 8 (I.C.A.), encontró que con aplicaciones bajas (50 Kg/Ha) el Calfos es buena fuente de fósforo, aplicándolo al voleo después de la primera rastrillada. Cuando las aplicaciones son

mayores, la mejor fuente fue el superfosfato triple aplicado en bandas.

Wieczorek, realizó experimentos en papa en suelos de Caldas, Boyacá y Cundinamarca en los cuales determinó que el rendimiento mayor se obtuvo con la dosis mas alta de fósforo en suelos de La Esperanza (Caldas). El mayor contenido en los peciolos de la papa en ppm., de fósforo los obtuvo con el tratamiento 75-150-50 + cal.

Tobón, en experimentos de pruebas regionales de fertilización, en maiz, en suelos del Valle de Parí, no encontró probabilidades de respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfatados.

Gómez, en cinco regiones azucareras en el Valle del Rio Cauca, probó abonos completos; concluyendo que al aumentar la dosis de super fosfatos simple aumentó la producción de caña.

Sarmiento, en fertilizaciones de maiz y algodón en el Valle del Sinú empleando superfosfato triple, no obtuvo respuesta positiva.

Huñes, en suelos de Narino, determinó que en las regiones aptas para papa el P es el elemento mas limitante en la producción; siendo necesario de 200 a 600 Kg/ha de  $P_2O_5$ . Para suelos aptos para trigo y cebada, la dosis mas adecuada, parece ser de 50 a 100 Kg/ha.

### III MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Planta indicadora

La clasificación de la avena es la siguiente:

Clase - Monocotiledonea

Orden - Graminales

Familia- Gramíneas

Género - Avena

Especie- Avena sativa L.

La variedad que se utilizó en el experimento fue la "ICA Baca té". Las semillas se obtuvieron en la Granja Experimental de Botana de la Facultad de Ciencias Agrícolas, de la Universidad de Nariño.

#### 3.2 Condiciones Generales del lugar

##### 3.2.1 Localización

El experimento se llevó a cabo en el invernadero de la Estación Experimental de Obonuco del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la cual se encuentra situada en el municipio de Pasto, a 1° 10' de latitud norte y a 77° 18' de longitud oeste (77), durante el periodo comprendido entre febrero y mayo de 1.970.

##### 3.2.2 Clima

Según los datos obtenidos en la Estación Meteorológica de la Granja, la temperatura media anual es de 13,6°C., la humedad relativa anual es del 75%, la precipitación promedio es 879,2 mm. anuales. La Estación se encuentra a una altura promedio de 2.690 m.s.n.m. La zona

se la clasifica como "Frio Subhúmedo" (45).

### 3.3 El Suelo Experimental

#### 3.3.1 Condiciones Generales.

El experimento se realizó con suelos de la serie 110, fase III de la Granja Experimental de Obonuco.

Esta serie, según Guerrero (47), quien realizó un reconocimiento de los suelos de la Granja, se presenta insitu en relieves convexos, con pendientes de 7, 12, y 25%, susceptibles a erosión. Generalmente en estos sitios se presentan horizontes endurecidos después del primer horizonte. Estos suelos, en su mayoría jóvenes, se han desarrollado de cenizas volcánicas provenientes de la erupción del volcán Galeras.

El primer horizonte tiene una profundidad de 30 cms. en el sitio donde se tomaron las muestras. En este horizonte se presenta una gran cantidad de raicillas, la estructura es granular y tiene una consistencia de friable a suelta. La textura, como se anota en la Tabla I es franco arenosa y su color marrón oscuro.

A una profundidad de 40 a 45 cms., se encuentra un horizonte de transición de un color menos oscuro que el anterior con manchas negras y amarillentas de consistencia plástica y de estructura en bloques. La textura de este horizonte es franco arcillosa.

El material parental se encuentra de 1m. a 80 cms., de profundidad, es moderadamente meteorizado con abundancia de arenas.

### 3.3.2 Métodos utilizados en el Análisis Físico-Químico del Suelo

Las determinaciones realizadas en el suelo objeto del experimento fueron:

Textura: Se la determinó según el método propuesto por Bouyoucos (16).

Color: Se lo determinó con la Tabla Munsell (82).

pH: Se determinó en una mezcla de suelo-agua: 1:1 en el potenciómetro Beckman.

Carbono Orgánico: Se siguió el método de Walkley y Black, descrito por Saiz del Río y Bernemiza (94).

Capacidad Catiónica de Cambio: Se empleó el método del acetato de amonio normal y neutro de Schollenberger y Simons (98).

### 3.3.3 Fraccionamiento de Fosfatos Inorgánicos

Para este fraccionamiento se utilizó el método de Chang y Jackson (21), con las modificaciones propuestas por Gupta y Cornfield, citados por Pantoja (85), para el fósforo unido al calcio apatítico. Para efectuar las lecturas se empleó el espectrofotómetro Universal Coleman.

### 3.3.4 Determinación del fósforo Orgánico

Se siguió el método propuesto por Saunders y Williams (97).

### 3.3.5 Determinación del fósforo Total

Se utilizó el método de Jackson (59).

### 3.3.6 Fósforo Aprovechable

Se siguió el método Bray II, descrito por Jackson (59).

### 3.3.7 Fósforo Inerte

Se lo determinó por diferencia, restando del fósforo total, la suma de las fracciones inorgánicas y fósforo orgánico.

### 3.4 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con cuatro tratamientos (niveles) y tres subtratamientos (fuentes).

Los niveles (parcelas) fueron: 0, 200, 400 y 600 Kg/Ha. de  $P_2O_5$  y las fuentes (subparcelas) fueron: Superfosfato Triplo del 46% de  $P_2O_5$ , Superfosfato simple del 20% de  $P_2O_5$  y Gelfos del 15% de  $P_2O_5$ .

Se utilizaron tres repeticiones y las parcelas se arreglaron completamente al azar.

### 3.5 Siembra y Aplicación de Fertilizantes

Una vez tomadas las muestras de suelo, se mezclaron y transportaron en bolsas de polietileno para su secamiento. Después de secar el suelo al aire, se pasó por un tamiz de 2 mm. y se pesaron 2 Kg de suelo para cada tratamiento. El suelo destinado a cada tratamiento, se homogenizó bien con la dosis de fertilizantes.

Para balancear los contenidos de N y K se aplicaron a cada tratamiento, 40 Kg/Ha. de N (urea del 46%) y 40 Kg/Ha. de  $K_2O$  (KCl, del 60%). Una muestra de suelo se llevó al laboratorio para las determinaciones físico químicas del suelo.

La siembra se llevó a cabo el día 4 de Febrero, aplicando una cantidad igual de semillas por pote de las cuales se seleccionaron posteriormente 3 plantas por pote.

### 3.6 Cortes

Se efectuaron dos cortes: el primero al mes de efectuarse la siembra y el segundo a los dos meses, las fechas fueron las siguientes:

Primer corte ..... Marzo 4

Segundo corte ..... Abril 4

Los cortes se efectuaron con cuchillo a 2 cms de altura. Se desecó el material verde y se lo llevó al laboratorio para su análisis.

### 3.7 Muestreo del suelo

Después del segundo corte se procedió a efectuar el muestreo de los suelos: de cada pote se tomó una muestra de suelo, a la cual una vez mezclada, se le determinó la humedad previo secado al aire y luego a la estufa. Sobre estas muestra se efectuaron las determinaciones de las diferentes fracciones de fósforo.

### 3.8 Análisis del Material Vegetal

El material verde una vez pesado se lo llevó a la estufa a 75°C

durante 24 horas y luego se lo pesó. Este material se molió, cada tratamiento por separado, y se tomó una muestra para la determinación del fósforo foliar.

El contenido de fósforo en el material verde, se lo determinó por medio del método descrito por Jackson (58) que consiste en lo siguiente:

a) Predigestión. Se pesa un grano de material verde y se le agrega 0,5 ml de  $\text{HNO}_3$  llevándose al baño maría a  $18^\circ\text{C}$  hasta secamiento. Esta predigestión tiene como función evitar accidentes.

b) Digestión. La digestión se realiza a base de una mezcla de una parte de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 4 de  $\text{KClO}_4$  y 10 de  $\text{HNO}_3$  a razón de 10 ml por grano de material analizado. Se lleva a  $280-300^\circ\text{C}$  al baño maría hasta que quede un residuo cristalino, se añaden 10 ml de  $\text{HCl}$  y se centrifuga; posteriormente se lava con  $\text{HCl}$  10N y se lleva a 50 ml con la misma solución. Si es necesario se pasa por un reductor Jones y luego se toma la alícuota para efectuar las lecturas en el espectrofotómetro.

### 3.9 Análisis Estadístico

Para el análisis de variancia se consideraron diez variables de respuestas: materia seca, contenido de fósforo fácilmente reemplazable, fósforo unido al calcio apatítico, fósforo unido al calcio no apatítico, fósforo unido al aluminio, fósforo unido al hierro, fósforo aprovechable y fósforo orgánico.

El modelo matemático utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} + \beta_k + (\alpha\beta)_{ik} + \delta_{ijk}$$



## IV RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se discutirá el efecto de los tratamientos (fuentes y niveles) sobre las diferentes variables de respuesta (materia seca, contenido de fósforo y fracciones de fósforo) y, finalmente, se tratará lo relativo a las relaciones entre las formas de fósforo por la planta.

En la Tabla I se presentan los cuadrados medios obtenidos en el análisis de variancia para las variables de respuesta. En las Tablas II a VI se incluyen los resultados promedios para las mismas variables.

### 4.1 Efecto de los Niveles de $P_{25}$ sobre las Variables de Respuesta

#### 4.1.1 Materia Seca

El efecto de los niveles de fósforo sobre la producción de materia seca, fue negativo y significativo ( $P < 0,01$ ) en el primer corte (Tabla II apéndice); en el segundo corte, no hubo un efecto diferencial detectable ( $P > 0,05$ ).

El efecto negativo en el primer corte, tuvo una tendencia lineal altamente significativa (Tabla II apéndice), y su representación gráfica se puede observar en la Figura 1 y en la Figura 2. Este efecto negativo observado en el primer corte, no tiene antecedentes en la literatura y la posible explicación sería que la fijación de fósforo aumentó conforme aumentaron las dosis de aplicación, en razón de la forma de aplicación del fertilizante fosfatado (homogeneizado con la totalidad del suelo). En el segundo corte, la fijación probablemente disminuyó pero no lo suficiente para que los niveles provocaran un efecto positivo sobre la producción de materia seca. A los mismos resultados llegaron Guerrero (48), con pasto elefante en un suelo aluvial

T A B L A I

CUADROS MEDIOS Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LAS VARIANES DE RESPUESTA

( Fracciones de Fósforo )

Puentes de Variación	G.L.	Méd. Recmpl.	No Apatítico	Unido al Hierro		Aprovechable	Orgánico	
				Apatítico	Aluminio			
Niveles	3	321,67 <sup>ns</sup>	3.200,05 <sup>++</sup>	203,15 <sup>+</sup>	1.028,22 <sup>ns</sup>	970,50 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	5.906,25 <sup>ns</sup>
Pi	1		26,73 <sup>+</sup>	0,0009				
Po	1		13,70	13,56 <sup>+</sup>				
Pq	1		2,31	0,19				
Error (a)	8	122,47	222,63	44,09	1.522,71	1.965,42	0,05 <sup>ns</sup>	2.184,10 <sup>ns</sup>
Fuentes	2	169,46 <sup>ns</sup>	748,91 <sup>ns</sup>	161,14 <sup>ns</sup>	20,10 <sup>ns</sup>	3.760,95 <sup>+</sup>	0,03	121,82 <sup>ns</sup>
Fuentes por Niveles	6	56,19 <sup>ns</sup>	750,52 <sup>ns</sup>	55,87 <sup>ns</sup>	62,10 <sup>ns</sup>	1.448,69 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	779,26 <sup>ns</sup>
Error (b)	16	111,27	1.053,01	65,88	829,22	1.025,50	0,02	604,28

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

ns No Significativo

T A B L A II

RESULTADOS PROMEDIOS DE: MATERIA SECA - CONTENIDO DE FOSFORO - ABSORCION  
DE FOSFORO A DIFERENTES NIVELES DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

( Primer Corte )

Niveles de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CALLOS				SUPERFOSFATO TRIPLE				SUPERFOSFATO SIMPLE			
	Mat. Seca Gr/Pote	Conten-P ppm.	Absorción-P Mgr/Pote	Mat. Seca Gr/Pote	Conten-P ppm.	Absorción-P Mgr/Pote	Mat. Seca Gr/Pote	Conten-P ppm.	Absorción-P Mgr/Pote	Mat. Seca Gr/Pote	Conten-P ppm.	Absorción-P Mgr/Pote
000	1,216	176,767	0,106	1,216	176,767	0,106	1,216	176,767	0,106	1,216	176,767	0,106
200	1,035	176,666	0,171	1,319	155,800	0,182	0,758	161,233	0,097	0,758	161,233	0,097
400	1,165	156,333	0,189	0,908	168,300	0,198	1,287	199,567	0,186	1,287	199,567	0,186
600	0,586	224,166	0,198	0,868	211,633	0,324	0,981	257,900	0,218	0,981	257,900	0,218

T A B L A III

RESULTADOS PROMEDIOS DE: MATERIA SECA - CONTENIDO DE FOSFORO - ABSORCION  
DE FOSFORO A DIFERENTES NIVELES DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

( Segundo Corte )

Niveles de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CALFOS				SUPERFOSFATO TRIPLE				SUPERFOSFATO SIMPLE			
	Mat. Seca Gr/Poto	Conten-P ppm.	Absorción-P MGF/Poto	Mat. Seca Gr/Poto	Conten-P ppm.	Absorción-P MGF/Poto	Mat. Seca Gr/Poto	Conten-P ppm.	Absorción-P MGF/Poto	Mat. Seca Gr/Poto	Conten-P ppm.	Absorción-P MGF/Poto
000	0,429	84,167	0,076	0,439	84,167	0,076	0,429	84,167	0,076	0,429	84,167	0,076
200	0,541	96,400	0,107	0,483	224,500	0,066	0,592	133,333	0,090	0,592	133,333	0,090
400	0,579	160,800	0,103	0,695	199,567	0,109	0,675	157,833	0,133	0,675	157,833	0,133
600	0,779	350,400	0,177	0,472	389,833	0,102	0,862	233,433	0,227	0,862	233,433	0,227

T A B L A I V

FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS DIFERENTES NIVELES DE  $P_2O_5$  PARA SUPERFOSFATO TRIPLE

( ppm )

Niveles de $P_2O_5$ Kg/Ha.	Total	Inerte	Orgánico	No Apatítico	Apatítico	Unido al Aluminio	Unido al Hierro	Fácil. Reempl.	Aprovechab.
000	624,956	92,171	174,213	45,601	18,024	136,322	141,210	16,519	0,434
200	708,243	190,002	127,906	59,641	13,422	154,216	145,179	17,874	0,445
400	562,177	78,825	102,275	97,622	11,249	138,041	118,400	15,763	0,494
600	581,487	67,465	142,036	64,576	27,131	128,169	117,615	34,494	0,705

T A B L A V

FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS DIFERENTES NIVELES DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> PARA CALLOS

( ppm )

Niveles de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha	Total	Inerte	Orgánico	No Apatítico	Unido al		Ficlin.		Aprovechab.
					Apatítico	Aluminio	Hierro	Reempl.	
000	624,956	92,171	174,213	45,601	18,024	136,322	141,210	16,519	0,434
200	603,243	23,964	150,069	105,577	6,967	155,938	149,578	10,149	0,600
400	664,341	143,382	129,623	79,226	5,597	138,553	158,073	10,086	0,470
600	658,520	101,305	99,863	99,129	9,945	123,080	204,155	21,105	0,658

T A B L A VI

FRACCIONES DE FOSFORO EN LOS DIFERENTES NIVELES DE  $P_2O_5$  PARA SUPERFOSFATO SIMPLE

( PPM )

Niveles de $P_2O_5$ Kg/ha	Total	Inerte	Orgánico	No		Unido al		Fácil.		Aprovechab.
				Apatítico	Apatítico	Aluminio	Hierro	Reempl.	Reempl.	
000	624,956	92,171	174,213	45,601	18,024	136,322	141,210	16,519	0,434	
200	636,892	62,891	143,137	82,527	6,734	154,369	180,792	6,401	0,425	
400	625,542	6,501	128,162	74,721	14,175	134,498	151,587	15,897	0,429	
600	555,018	12,477	118,344	87,458	15,895	138,668	161,548	20,627	0,510	

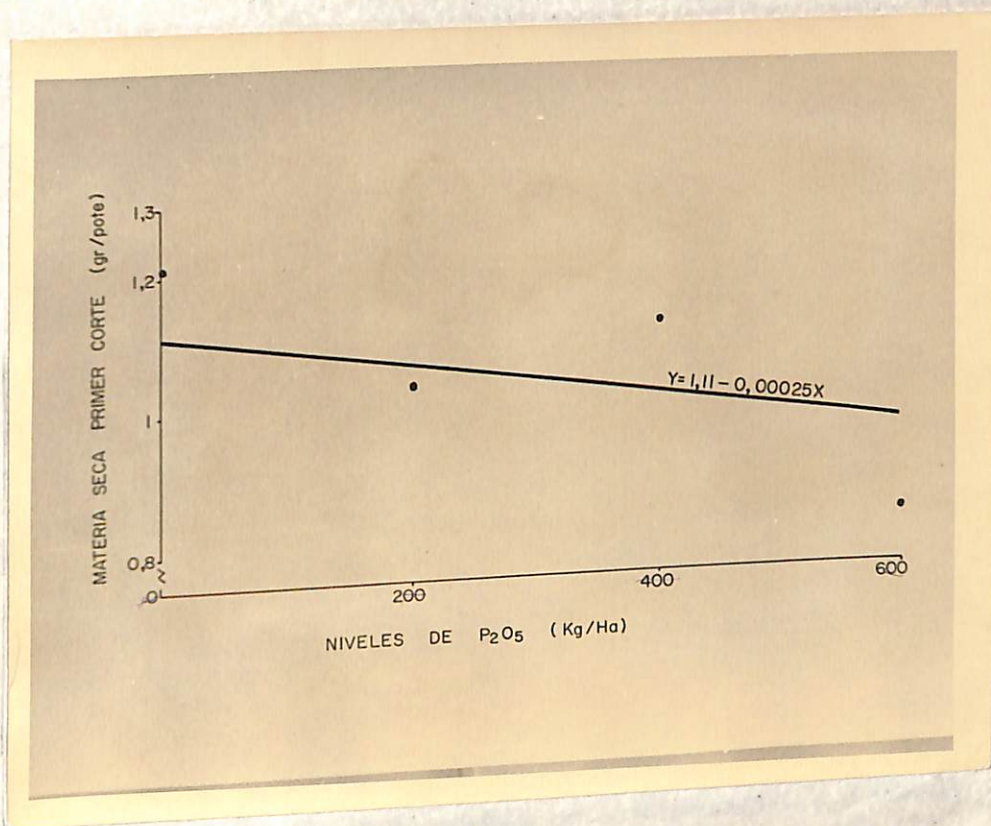
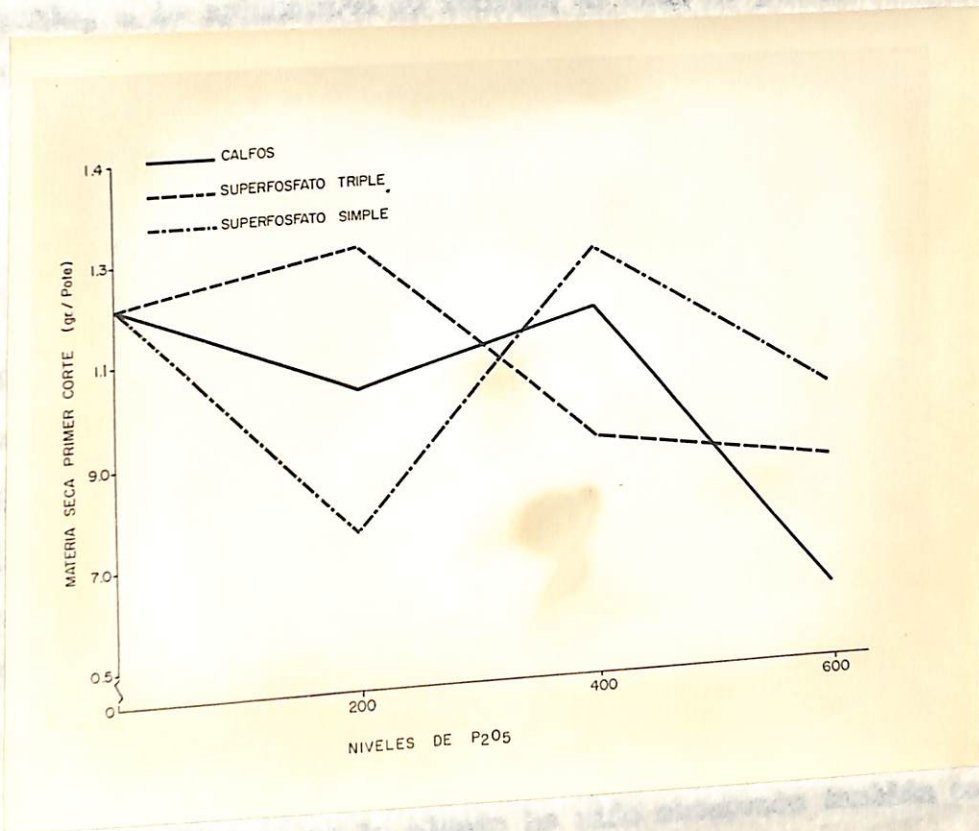


Figura 1  
Efecto de los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre  
la producción de materia seca



**Figura 2**  
**Efecto de los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre**  
**la producción de materia seca para**  
**las tres fuentes utilizadas.**

de Costa Rica y Olivares (83), con pasto pangola en dos suelos de Turrialba (Costa Rica). La ausencia de respuesta de la materia seca a la aplicación de fósforo, también se ha observado en gramíneas por otros autores (33,42). Esto confirmaría, que según el suelo, muchas gramíneas solo responden significativamente, a la aplicación de fósforo al cabo de por lo menos dos años de fertilización continua.

#### 4.1.2 Contenido y Absorción de Fósforo

Tal como se observa en el análisis de variancia (Tabla II apéndice) los niveles solo tuvieron un efecto detectable al nivel del 1% de significación estadística, en el caso del contenido de fósforo en el segundo corte. Este efecto fue positivo y de tendencia lineal altamente significativo. La representación gráfica de esto se puede observar en la Figura 3 y la ecuación de respuesta indica, que por cada 100 Kg de  $P_2O_5$  aplicado, el contenido de fósforo en la planta se incrementa en 0,18 ppm.

El efecto positivo de los niveles de aplicación de fósforo sobre el contenido de fósforo en la planta ha sido observado también por: Olivares (83), Guerrero (48), Fassbender y Molina (41).

En la Figura 4 se observa que el efecto positivo de los niveles sobre el contenido de fósforo en la planta fue un poco mayor en el caso del Superfosfato triple que en el del Calfos y Superfosfato Simple. No obstante, esta diferencia en la intensidad de la respuesta no fue detectable estadísticamente (interacción forma por nivel no significativa  $P > 0,05$ ).

A pesar de que el análisis de variancia no arrojó significancia estadística, para absorción de fósforo (Tabla V apéndice), al efectuar la prueba de Duncan se encontró que el nivel más alto de  $P_2O_5$  produjo una absorción

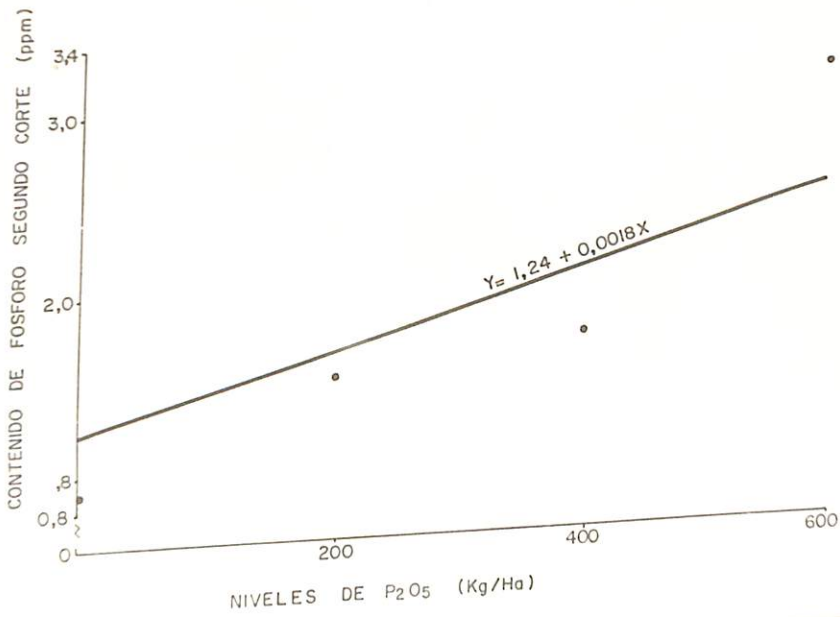


Figura 3

Efecto de los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre el contenido del fósforo en la planta

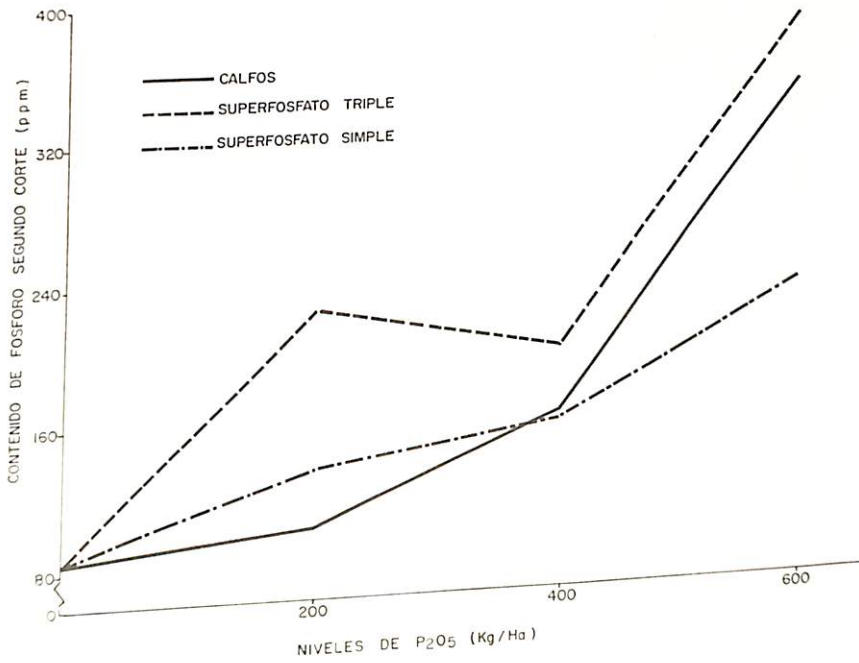


Figura 4

Efecto de los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre el contenido de fósforo en la planta para las tres fuentes utilizadas

significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) que el testigo en el primer corte. Esta situación se presenta en la Figura 5. Los mismos resultados se presentaron para absorción de fósforo en el segundo corte (Tabla VIII apéndice).

#### 4.1.3 Fracciones de Fósforo

Los niveles de fertilización fosfatada solamente tuvieron un efecto estadísticamente detectable sobre las fracciones de fosfato de calcio no apatítico ( $P < 0,01$ ) y fosfato de calcio apatítico ( $P < 0,05$ ); sobre las demás fracciones no hubo un efecto significativo.

La fracción de fósforo unido al calcio no apatítico se incrementó con los niveles de  $P_2O_5$  en relación lineal altamente significativa (Figura 6) lo cual es lógico puesto que, como es sabido, las fuentes utilizadas son básicamente fosfatos de calcio.

En la Figura 7, se observa como esta fracción fue incrementada con mayor intensidad y magnitud en el caso del Calfos al nivel de 200 Kg/Ha. No obstante, esta diferencia en intensidad de respuesta, con respecto a las otras dos fuentes, no fue estadísticamente significativa (forma por nivel, no significativa).

La fracción de fosfato de calcio apatítico se relacionó con los niveles mediante una tendencia cuadrática significativa ( $P < 0,05$ ) representada por la ecuación:  $Y = 0,0001X^2 - 0,06X + 17,8$ .

La Figura 8 indica que esta fracción disminuyó con la fertilización fosfatada desde 0 hasta 300 Kg/Ha., pero que a partir de este nivel de aplicación se incrementó hasta que, a 600Kg/Ha., se restituyó el nivel inicial de esta fracción en el suelo. La probable explicación a esta relación es que la

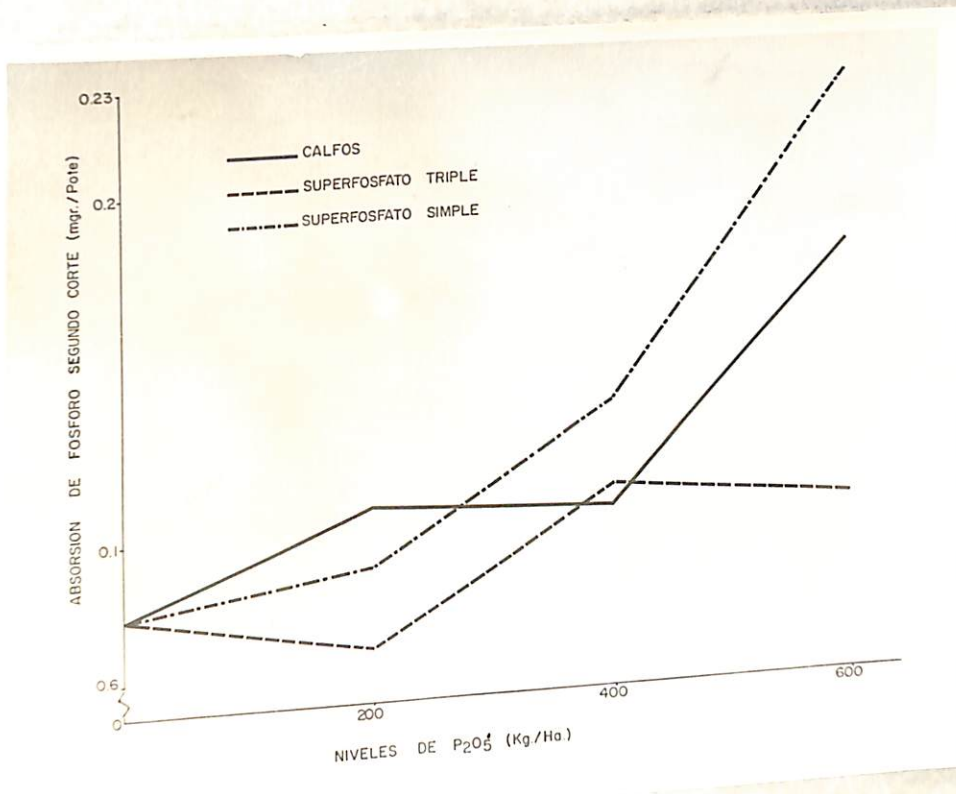


Figura 5  
Efecto de los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre la absorción de fósforo por la planta para las tres fuentes utilizadas

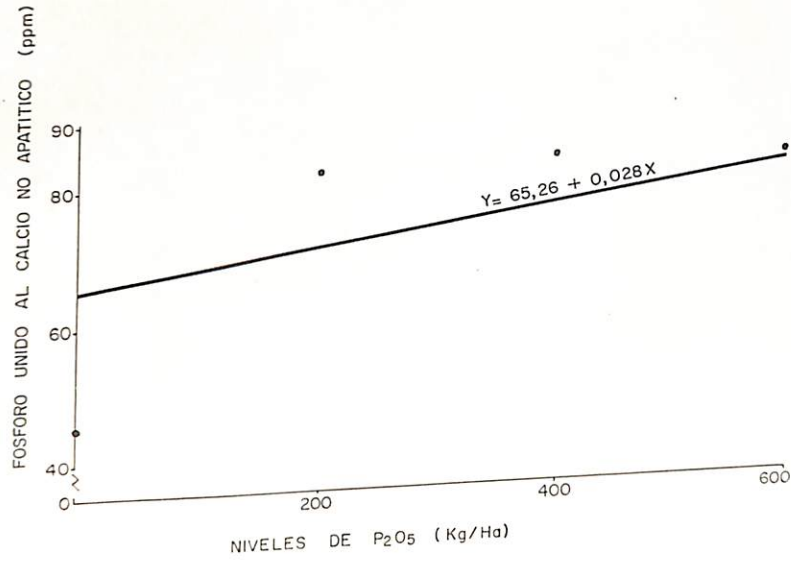
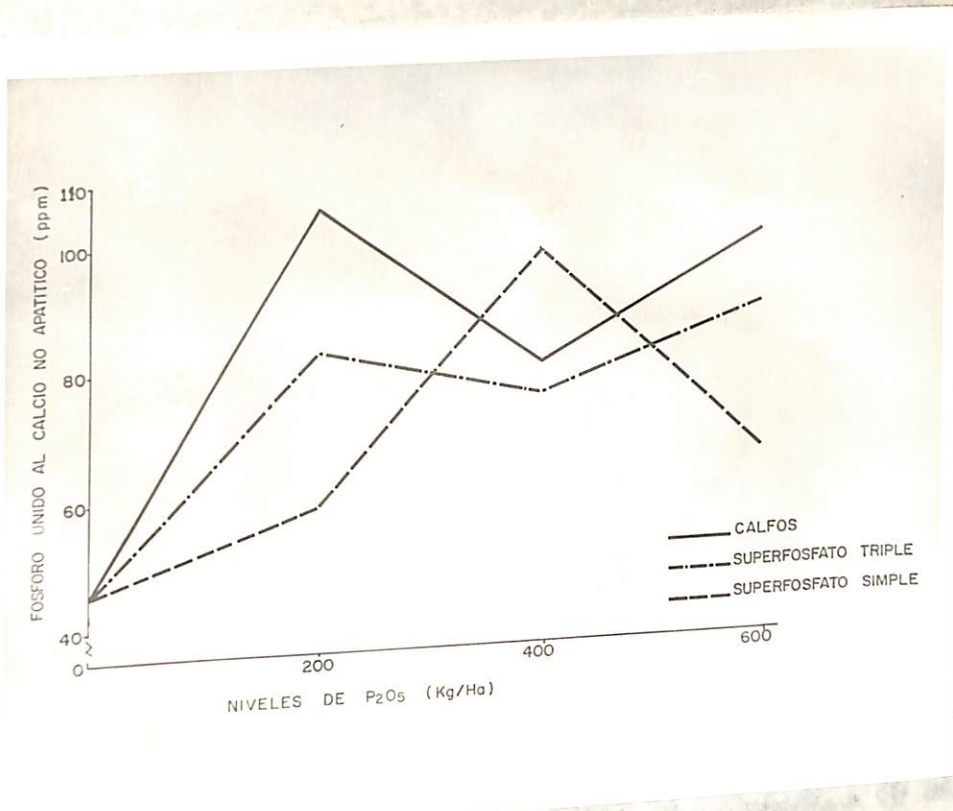


Figura 6  
Efecto de los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre el  
fósforo unido al calcio no apatítico



**Figura 7**  
**Efecto de los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre el**  
**fósforo unido al calcio no apatítico**  
**para las tres fuentes utilizadas**

adición de fósforo activó la disolución de la apatita nativa del suelo hasta el nivel de 300Kg/Ha., pero que al incrementarse el nivel de aplicación el fósforo aplicado fue fijado por precipitación hacia formas insolubles de apatita.

#### 4.2 Efecto de las fuentes de fósforo sobre las variables de respuesta

El efecto de las fuentes de fósforo utilizadas no fue significativa para ninguna de las variables de respuesta estudiadas, a excepción de absorción de fósforo en el segundo corte y de los fosfatos de hierro.

El efecto de las aplicaciones de fósforo fue, sobre materia seca y contenido de fósforo en la planta, independiente de la fuente utilizada. Si milares resultados fueron obtenidos por Olivares (83), para producción de materia seca y contenido de fósforo en pasto pangola. Fassbender y Muller (39), tampoco encontraron efecto significativo de la fuente utilizada (Superfosfato, Calfos, Fosfato de Renania) sobre la producción de materia seca en tomate.

En el segundo corte, el Superfosfato Simple y el Calfos, provocaron una mayor absorción de fósforo que el Superfosfato Triple. Esta diferencia fue significativa tal como lo indica el análisis de variancia (Tabla II apéndice) y la prueba de Duncan (Tabla III apéndice), y se presenta en la Figura 9.

Por otra parte los fosfatos de hierro en el suelo, fueron significativamente mayores cuando se aplicó Calfos y Superfosfato Triple que cuando se aplicó Superfosfato Simple (Tabla V y XII apéndice), esta situación se ilustra en la Figura 10.

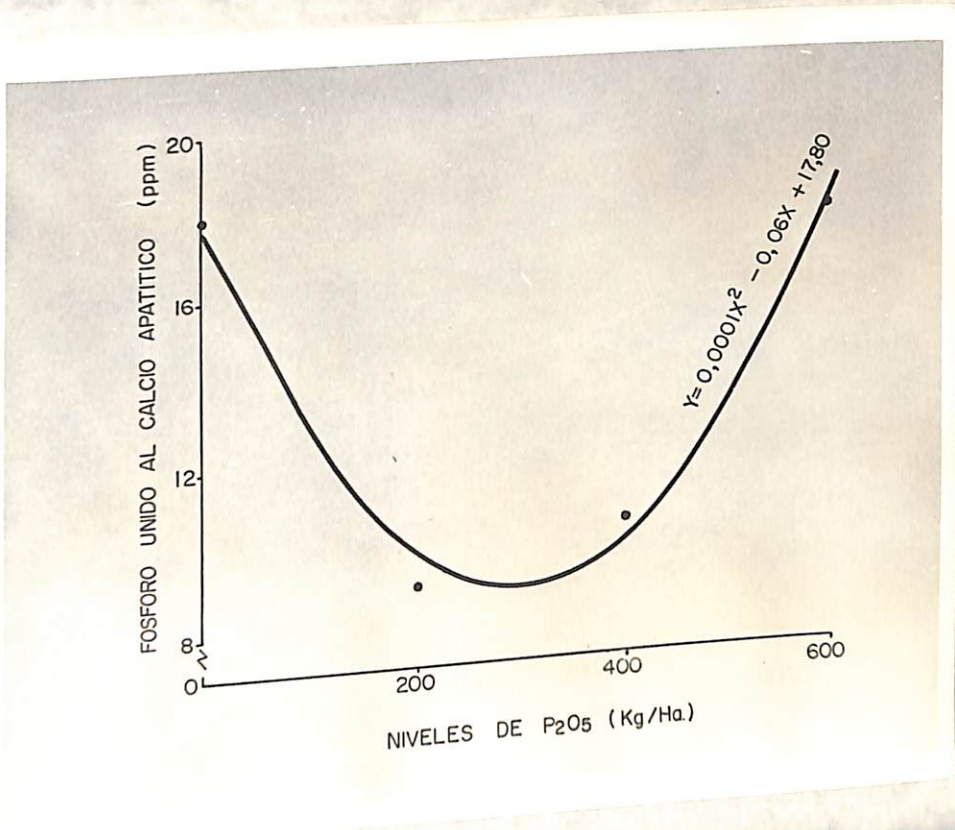


Figura 8  
Efecto de los niveles de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sobre  
el fósforo unido al calcio apatítico

De acuerdo a lo anterior se concluye que se presentó fijación de fósforo por precipitación hacia fosfatos de hierro y que esta fue menor en el caso del Superfosfato Simple, por lo cual esta fuente fue mas eficiente para suministrar fósforo a la planta.

La menor fijación por precipitación hacia fosfatos de hierro, en el caso del Superfosfato Simple, se explica en razón de que esta fuente tiene un menor contenido de fósforo y, por ello la concentración de fósforo provocada en el suelo es mucho menor que en el caso del Superfosfato Triple, disminuyendo así la intensidad de precipitación.

La mayor concentración de fosfatos de hierro en el tratamiento con Escorias Thomas, se debe mas a la naturaleza del fertilizante que a un proceso de fijación. Por ello, el Calfos fue mas eficiente que el Superfosfato Triple para suministrar fósforo a la planta.

#### 4.3 Formas de fósforo y su relación con la planta

Utilizando criterios de regresión y correlación, se trató de estudiar la contribución de las formas de fósforo a la nutrición fosfatada de la planta.

Para las condiciones del experimento, las correlaciones negativas entre el fósforo unido al Aluminio ( $r = -0,972^{++}$ ) y el fósforo unido al calcio no apatítico ( $r = -0,586^+$ ), con el fósforo aprovechable indican que a medida que disminuyeron estas dos fracciones de fósforo en el suelo aumentó su aprovechabilidad Figuras 11 y 12.

Por tanto, se puede concluir que el fósforo unido al aluminio y al calcio no apatítico se solubilizó y aportó fósforo aprovechable a la planta

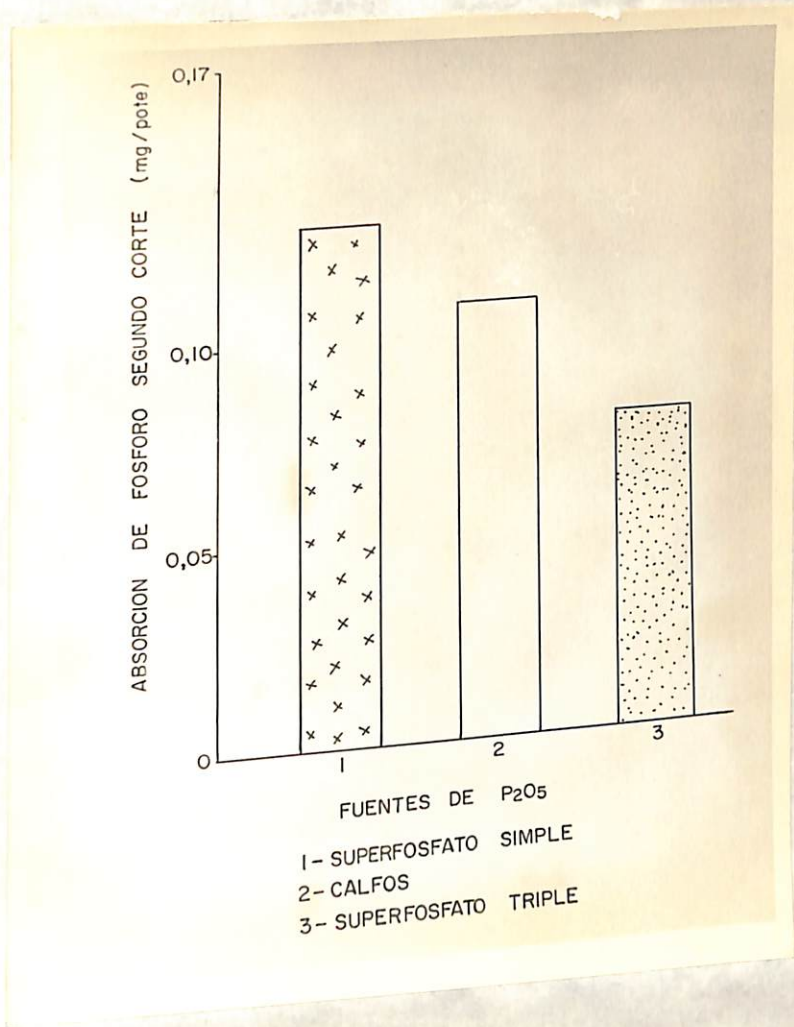


Figura 9  
Efecto de la fuente fosfatada sobre  
la absorción de fósforo por la planta

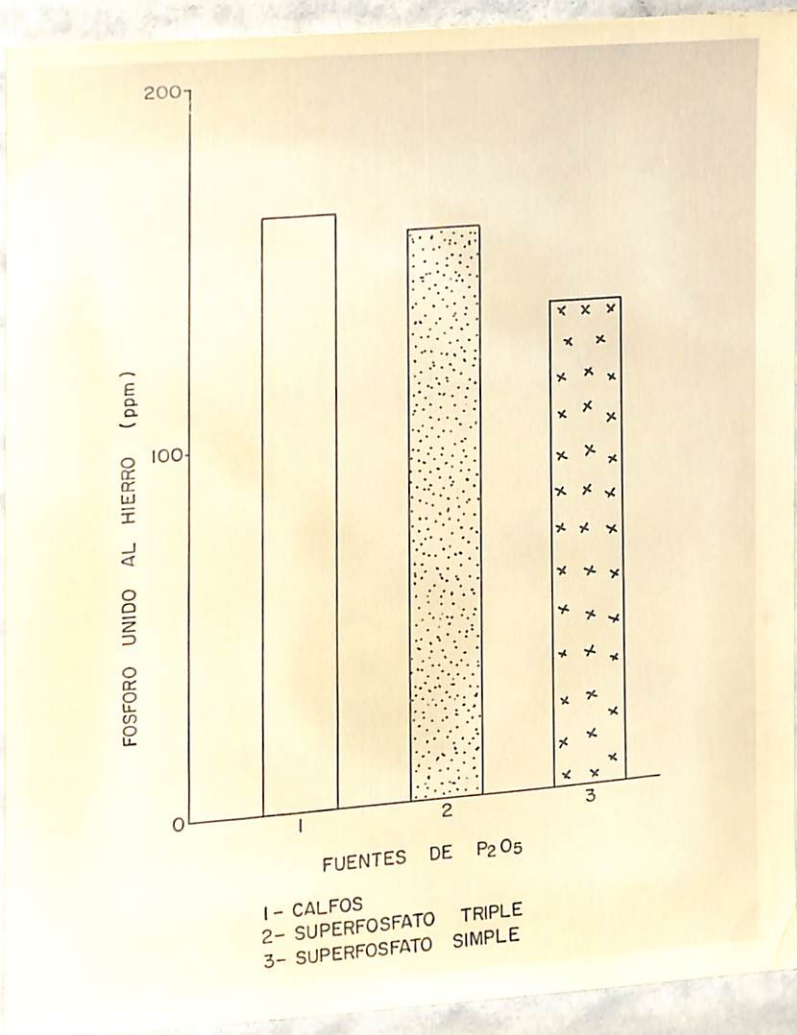


Figura 10  
Efecto de la fuente fosfatada sobre el  
fósforo unido al hierro

con alto grado de intensidad, en especial en el caso del fósforo unido al aluminio; o bien, que el fósforo aplicado se fijó por precipitación hacia fosfatos de aluminio y calcio y que la aprovechabilidad del fósforo relacionó inversamente con esta precipitación.

Por otra parte, la correlación obtenida entre el fósforo aprovechable (Bray II) y el contenido del fósforo en la planta fue positiva y significativa al 5% ( $r = 0,673^+$ ). Esta relación se ilustra en la Figura 13; e indica que el método utilizado para la determinación del fósforo aprovechable no es muy adecuado para el tipo de suelo estudiado ya que la correlación fue relativamente baja y, por tanto, es probable que se necesite utilizar una solución extractora mas fuerte.

Entre el fósforo orgánico y el fósforo aprovechable, la correlación obtenida fue negativa y significativa ( $r = -0,663^+$ ) Figura 14.

Al disminuir el fósforo orgánico en el suelo aumentó el fósforo aprovechable, lo cual quiere decir que la mineralización del fósforo orgánico contribuyó notablemente a la nutrición fosfatada de la planta.

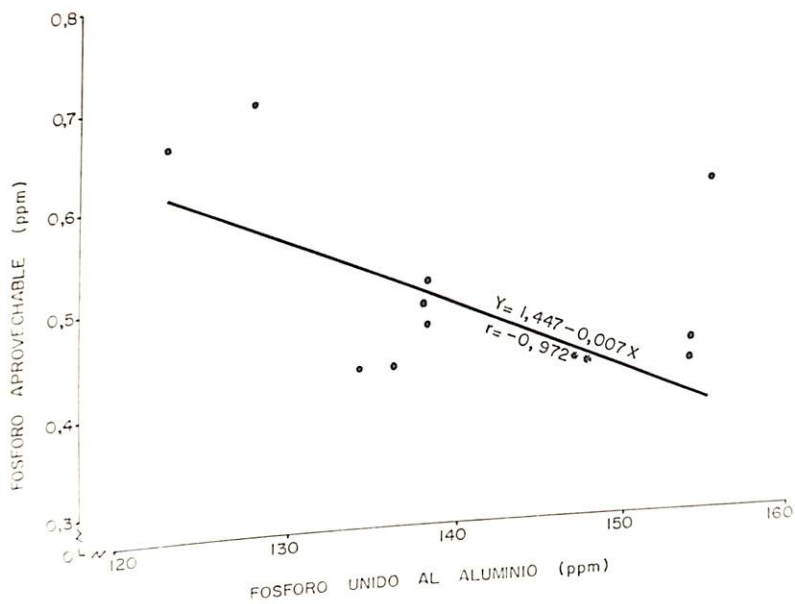


Figura 11  
Relación entre fósforo unido al  
aluminio y fósforo aprovechable

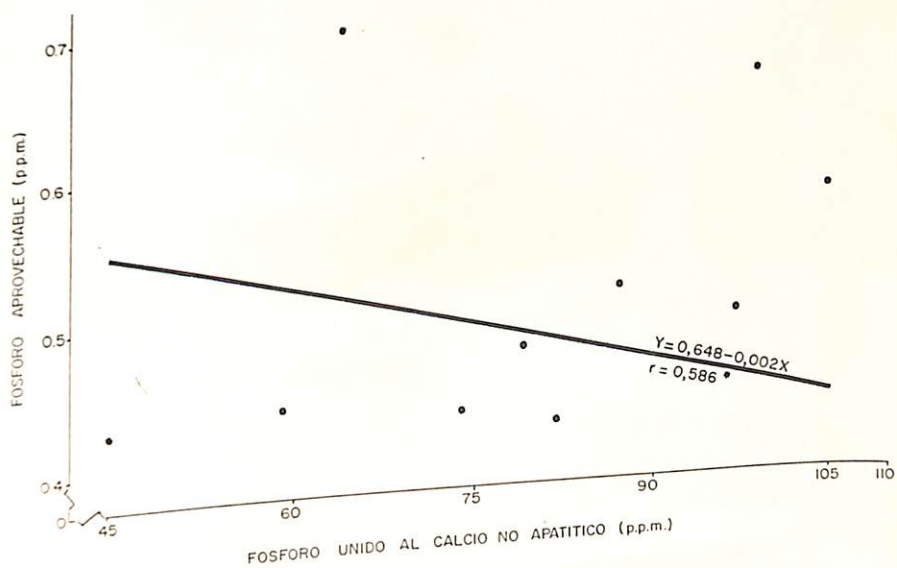


Figura 12  
Relación entre fósforo unido al calcio  
no apatítico y fósforo aprovechable

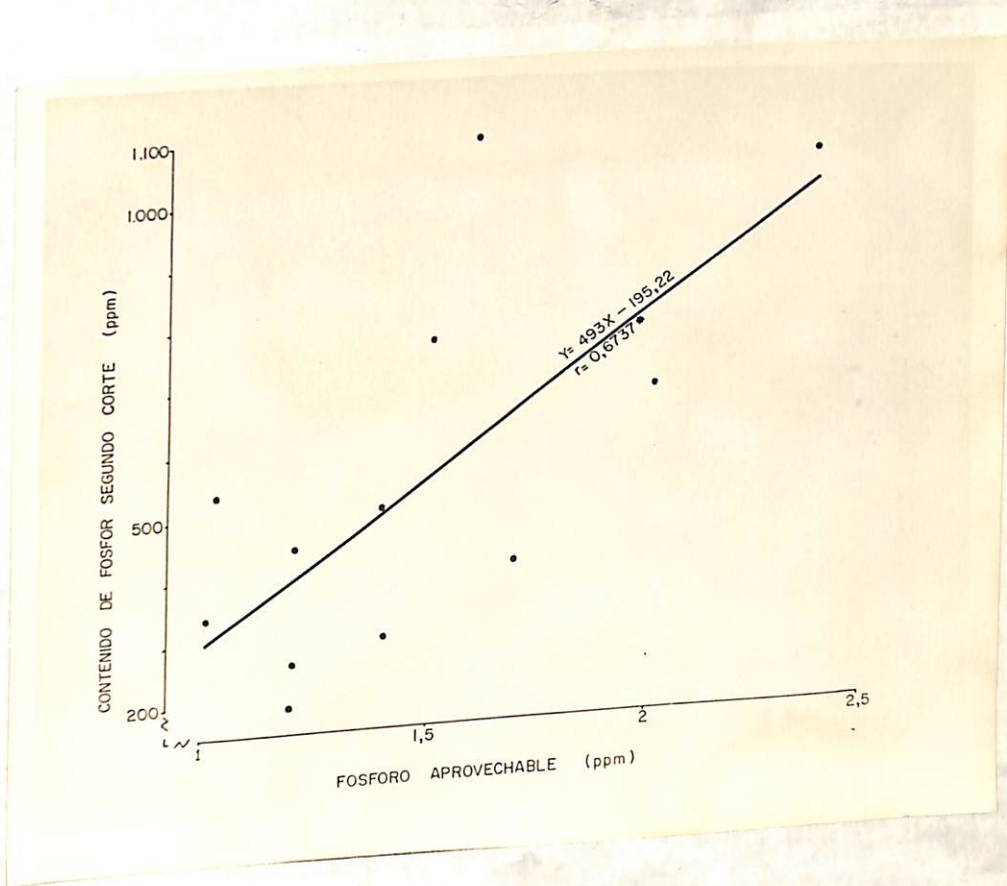


Figura 13  
Relación entre fósforo aprovechable  
y contenido de fósforo

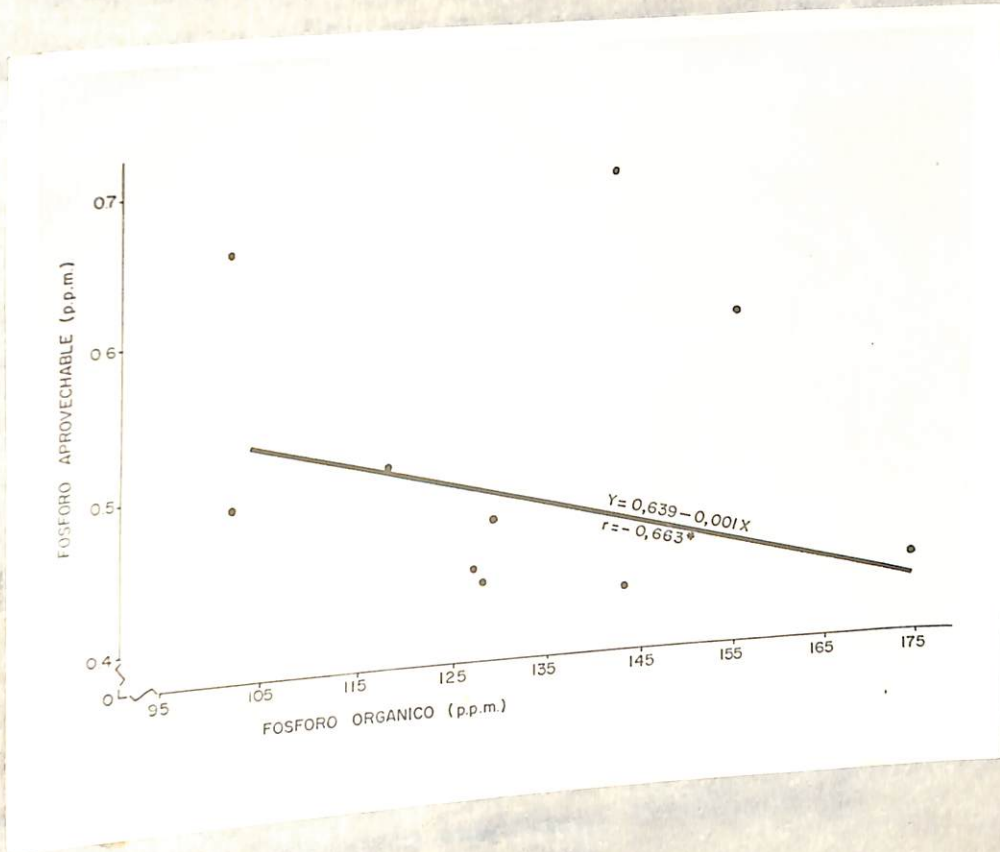


Figura 14  
Relación entre fósforo orgánico y  
fósforo aprovechable

## V CONCLUSIONES

1. El efecto de los niveles de fósforo sobre la producción de materia seca fue negativo ( $P < 0,01$ ) y de tendencia lineal significativa en el primer corte. En el segundo corte no hubo efecto diferencial detectable sobre esta variable.

2. La fertilización fosfatada incrementó significativamente el contenido de fósforo en la planta (segundo corte). La tendencia de la respuesta fue lineal e indicó que por cada 100 Kg de  $P_2O_5$  aplicados, el contenido de fósforo en la planta se incrementó en 0,18 ppm.

3. El nivel más alto de  $P_2O_5$  produjo una absorción de fósforo significativamente mayor que el testigo en el primer corte.

4. Los niveles de aplicación del fósforo solamente tuvieron un efecto estadísticamente detectable sobre los fosfatos de calcio no apatítico (tendencia lineal positiva y significativa) y los fosfatos de calcio apatítico (tendencia cuadrática significativa).

5. La relación de tendencia cuadrática entre niveles de aplicación de  $P_2O_5$  y fósforo unido al calcio apatítico, indica que a partir del nivel 300 Kg/ha,  $\frac{1}{2} P_2O_5$ , se presentó fijación de fósforo por precipitación hacia apatita.

6. El Superfosfato Simple y el Calfos provocaron una mayor absorción de fósforo por la planta ( $P < 0,01$ ) que el Superfosfato Triple. Por otra parte, los fosfatos de hierro en el suelo fueron significativamente menores cuando se aplicó Superfosfato Simple que cuando se aplicó Calfos o Superfosfato Triple.

7. En relación a lo anterior, se concluye que se presentó fijación de fósforo por precipitación hacia fosfatos de hierro y que esta fijación fue menor en el caso del Superfosfato Simple, por lo cual esta fuente fue mas eficiente para suministrar fósforo a la planta.

8. La mayor concentración de fosfatos de hierro en los suelos tratados con Calfos, se debe mas a la naturaleza del fertilizante que a un proceso de fijación. La prueba está en que el Calfos fue mas eficiente que el Superfosfato Triple para suministrar fósforo a la planta.

9. Los fosfatos de aluminio y de calcio no apatítico fueron las fracciones que aportaron mas fósforo a la planta por dilución, con forme lo indican las correlaciones obtenidas.

10. Podría esperarse que la relación inversa entre fósforo unido al aluminio y fósforo aprovechable se deba mas bien, a un proceso de precipitación hacia fosfatos de aluminio.

11. La relación inversa significativa entre fósforo aprovechable y fósforo orgánico, indica que la mineralización del fósforo orgánico contribuyó en alto grado a la nutrición fosfatada de la planta.

12. El método Bray II para la determinación de fósforo aprovechable en el tipo de suelo estudiado, parece no ser muy adecuado.

## VI RESUMEN

El Fósforo es uno de los elementos que mas influyen en el desarrollo de las plantas y por consiguiente en la producción agrícola. En los suelos de Mariño, este elemento ha sido reportado como existente en cantidades deficientes, siendo por lo tanto un elemento limitante de las cosechas.

En el presente trabajo se probaron niveles y fuentes de fertilizantes fosfatados, relacionándolas a fijación y eficiencia. El trabajo se desarrolló en la Estación Experimental de Obonuco del Instituto Colombiano Agropecuario (I C A), bajo condiciones de invernadero, con suelos de la serie 110, provenientes de cenizas volcánicas.

El efecto de los niveles de fósforo sobre la producción de materia seca fue negativo en el primer corte y no se presentó en el segundo. La fertilización fosfatada incrementó significativamente el contenido de fósforo en la planta con una tendencia lineal. El nivel más alto de  $P_2O_5$  produjo una absorción de fósforo significativamente mayor que el testigo.

A partir del nivel 300Kg/Ha. de  $P_2O_5$  se presentó un fenómeno de fijación de fósforo por precipitación hacia fosfatos de calcio apatíticos.

El Superfosfato Simple y el Calfos fueron mas eficientes para suministrar fósforo a la planta. El Superfosfato Triple provocó una fijación mas intensa por precipitación hacia fosfatos de hierro.

Los fosfatos de calcio no apatíticos y de aluminio relacionaron significativamente con el fósforo aprovechable a la planta, indicando que son las formas que mas aportaron fósforo a su nutrición fosfatada.

Cabe esperar sin embargo que la correlación inversa entre fósforo unido al aluminio y fósforo aprovechable se debe más bien a un proceso de precipitación hacia fosfatos de aluminio.

La mineralización del fósforo orgánico contribuyó en alto grado a la nutrición fosfatada de la planta.

The purpose of this experiment was to determine the effect of different rates and sources of phosphorus fertilizer and related to nitrogen and potassium. The present study was carried out in a field plot, the design of which, of the Instituto Colombiano Agrario, in order to compare with various soils.

The phosphorus rate did not vary as shown in the production of dry matter in the first cutting. The phosphorus fertilizer source and the phosphorus source in the plant, the highest rate of  $P_2O_5$  yields and high phosphorus absorption.

The phosphorus fixation was found at 100% of  $P_2O_5$  and 75% of total soluble phosphate.

The phosphorus and the total were more efficient, to give yield of phosphorus to the plant. The triple superphosphate and as shown the fixation also over phosphate.

For a better soluble phosphate and the available phosphate as total phosphorus with the available plant phosphate.

Grande phosphate fertilization was very important to the plant yield.

- 39 -

## SUMMARY

The phosphorus is an important element in the plant growth and in the agricultural production. In Maricao soils, this element has been reported in deficient quantity and limiter of the crops.

The purpose of this experiment was to determine the effect of different rates and sources of phosphoric fertilizer and related to fixation and efficiency. The present work, was carried out in Agricultural Station of Obonuco, of the Instituto Colombiano Agropecuario, under hothouse conditions with volcanic soils.

The phosphorus rate did not show up effect on the production of dry matter in the first cutting. The phosphoric fertilizer increased the phosphorus content in the plant. The highest rate of  $P_2O_5$  produced more phosphorus absorption.

The phosphorus fixation was found at 300 Kg/Ha of  $P_2O_5$  like apatitic calcium phosphate.

The Superphosphate and the Calfos were more efficient, to provide of phosphorus to the plant. The Triple Superphosphate had an intense fixation like iron phosphate.

Non apatitic calcium phosphate and the aluminium phosphate related significant with the available plant phosphate.

Organic phosphorus mineralisation was very important to the plant nutrition.

## VII BIBLIOGRAFIA

1. Ahmad, N. y R.L. Jones. Forms of occurrence of inorganic phosphorus and its chemical availability in Limestone Soils of Barbados. *Soil Sc. Soc. Amer. Proc.* 31:184-188. 1967.
2. Arambarri, P. Clases de fósforo inorgánico isotópicamente en los suelos calizos. IV. El potencial de Ca y fosfatos como índice de la clase de fosfatos presentes en los suelos calizos. *An. Estafel. Agrobiol.* 23:533-546. 1964.
3. ———. Cambio isotópico de fósforo en suelos calizos; justificación y cálculo. *An. Estafel. Fisiol. Veg.* 18:613-628. 1959.
4. Bache, B.V. Aluminium and iron phosphate studies relating to soils. I. Solution and hidrolisis of variscite and strengite. *Jour. Soil. Sci.* 14:113-123. 1963.
5. Baker, D.E. y J.K.Hall. Measurements of phosphorus availability in acid soils of Pennsylvania. *Soil. Sc. Soc. Americ. Proc.* 31:661-667. 1967.
6. Baldovinos, P. and Thomas, W.G. The effect of soil clay content on phosphorus uptake. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 31:680-682. 1967.
7. Bapat, M. V. et al. Forms of Phosphorus in Vidarbha Soils. *Soil. Sci.* 13:13-36. (En abs. *Soils and fertilizer.* 29:1-25. 1966).

8. Bastidas, O., et al. Estudio de los elementos N.P.K. en los suelos del Valle de Sibundoy. Pasto, Inst. Tecn. Agric. U. de Narino. 1970. 173p. (Tesis no publicada).
9. Bear, E.F. Suelos y fertilizantes. Trad. de la 4a. ed. inglesa por J. Bozal. Barcelona, Omega, 1963. 458p.
10. \_\_\_\_\_ Chemistry of the Soil. 2a. ed. New York. Reinhold Publishing. 515p.
11. Bixby, D.W. et al., Phosphatic Fertilizers Properties and Processes. The Sulfur Inst. Tec. Bulletin # 8. February 1964.
12. Blasco, H. and N. Bohórquez. Fractionation of phosphorus in tropical soils of Colombia. Agrochimica. 12:173-178. 1968.
13. \_\_\_\_\_ et al., Transformaciones microbiológicas del fósforo en suelos volcánicos del Puracó. Acta Agron. (Palma) 18: 1-6 1968.
14. Bornomissen, E. and K. Igué. Comparison of three methods for determining organic phosphorus in Costa Rica Soils. Soil Sci. 103:347-353. 1967.
15. \_\_\_\_\_ El fósforo orgánico en suelos tropicales Turrialba. 16:33-39. 1966.
16. Douyoucos, G.H. A comparison between the pipette method and byrometer method for mechanical analysis of soil. Soil Sci. 38:335-343. 1934.

17. Bremner, J.M. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. Jour. Agric. Sci. 55:11-13. 1960.
18. Buckman, H.O. y H.C. Brady. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. S. Barceló. México, UTRHA. 1965. 590p.
19. Caldwell, A.G. and C.A. Black. Inositol hexaphosphate. III. Content in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:296-298. 1958.
20. Cabrera, E. et al. Estudios generales de suelos y socio económico del Valle de Sibundoy. Pasto, Inst. Tecn. Agric. U. de Nariffo. 1966 (Tesis no publicada).
21. Chang, S.C. and H.L. Jackson. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84:133-137. 1957.
22. Chavez, R. Elementos Esenciales Primarios en los suelos y la planta. Agr. Trop. 2:47-52. Bogotá. 1953.
23. Chavez, P. y H. Rosero. El Valle del Patía. Propiedades Químicas en sus suelos y fertilidad. Pasto. Instit. Tecn. Agric. U. de Nariffo. 1969. (Tesis de grado sin publicar).
24. Cook, G.W. Fertilizers and profitable farming. Crosby Lockwood & Sons. London. 137p. 1964.
25. Córdoba, A. et al. Lixiviación del N en algunos suelos del Departamento de Nariffo. Pasto. Inst. Tecn. Agric. U. de Nariffo. 1970. (Tesis de grado sin publicar).

26. Dean, L.A. Fixation of soil phosphorus. *Advances in Agronomy*.  
1:392-411. 1949.
27. De Arambarri, P. y L. Madrid. Relación entre el P total y el P  
lábil de cuatro suelos característicos andaluces. *Anales de  
Edafología y Agrobiología*. 24:663-692. 1965.
28. Ellis, R. y E. Troog. Phosphate Fixation by montmorillonite.  
*Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 19:451-454. 1955.
29. Enwezor, W.O. The biological transformation of phosphorus during  
the incubation of a soil treated with soluble inorganic phospho-  
rus and wit fresh and roted organic materials. *Pl. Soil* 25:  
463-466. 1966. (En abs. *Soil and Fertz* 30:783. 1967).
30. Enwezor, W.O. y A.W. Moore. Phosphorus status of some Nigerian  
Soils. *Soil Sci.* 102:322-328. 1966. (En abs. *Soils and Fertz*  
30:788 1967).
31. Fassbender, H.W. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la  
zona oriental de la Meseta Central y de las Llanuras Atlánti-  
cas de Costa Rica. *Pitoteonia Latinoamericana*. 3:187-202.  
1966.
32. \_\_\_\_\_ Retención y transformaciones de fosfatos en  
ocho latosoles de la Amazonia del Brasil. *Pitoteonia Latino-  
americana*. 6:1-10. 1969.
33. \_\_\_\_\_ Phosphate-retention and its different chemical  
forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica Soils. *Agro-  
chimica* 12:512-521. 1968.

34. \_\_\_\_\_, Descripción físico-química del sistema fertilizante fosfatado-suelo-planta. Turrialba. 16:237-247. 1966.
35. \_\_\_\_\_, Los fosfatos naturales de Sechura (Perú) Turrialba. 17:159-165. 1967.
36. \_\_\_\_\_, Estudio del fósforo en suelos de América Central. IV. Capacidad de fijación del fósforo y su relación con características edáficas. Turrialba. 19:497-505. 1969.
37. \_\_\_\_\_, et al. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relación con las plantas. Turrialba. 18:333-347. 1968.
38. \_\_\_\_\_, y L. Muller. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. I. Efecto de aplicación de metasilicato de sodio. Turrialba. 17:311-375. 1967.
39. \_\_\_\_\_, y M.R. Morillo. Formas y Disponibilidad de fosfatos de los suelos de la cuenca baja del Río Choluteca (Honduras). Turrialba. 18:26-33. 1968.
40. \_\_\_\_\_, et al. Estudio del fósforo en suelos de América Central. III. Comparación de cinco métodos químicos de análisis de fósforo disponible. Turrialba. 18:348-359. 1968.
41. \_\_\_\_\_, y R. Molina. Influencia de enmiendas calizas y silicatadas sobre el efecto de fertilizantes fosfatados en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica. En: Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba. 1969.

42. Figarella, J. et al. Effects of phosphorus fertilization on productivity of intensively managed grasses under humid tropical conditions. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 48:236-247. 1964.
43. Cool, K.N. and R.R. Agarwal. Total and organic phosphorus in different size-fractions in genetically related soils of Kanpur in the India Gangetic Alluvium. *J. Indian Soc. Soil. Sci.* 8:17-22 1960.
44. Greb, B.W. and S.R. Olsen. Organic phosphorus in calcareous Colorado Soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 31:85-89. 1967.
45. Grisales, G.A. Las rocas ígneas en la formación de dos series de suelos de la zona cafetera Colombiana. *CENICAFE.* 15:18-25. 1964.
46. Grunes, D.L., et al. Proportionate uptake of soil and fertilizers phosphorus by plants as effected by nitrogen fertilization. II. Field experiments with sugar beet and potatoes. *Soil. Sci.* 22:49-52. 1958.
47. Guerrero, M.R. Reconocimiento detallado de los suelos de la Granja Experimental de Obonuco (Pasto) y de otros municipios del Departamento de Narino. *ICA.* 1969.
48. Guerrero, R. Estudio del efecto de dosis ascendentes de N dosis ascendentes de  $P_2O_5$  con dos formas de aplicación y de cuatro formas NP sobre la producción y composición del pasto elefante. *IICA. OEA. Centro de enseñanza e investigación. Turrialba. Costa Rica.* 1969. (Tesis de grado sin publicar).

49. Gustafson, A.F. Hand Book of Fertilizers. Their Sources, make up, effects and uses. 4a. Ed. Orange Judd Publishing. Co. Inc. New York. 172p. 1950.
50. Hanotiaux, G. Studies on the dynamics of phosphorus and potassium in soil. V. Fractionation of soil phosphorus and potassium. *Pedologie, Gand.* 14:160-178. 1964.
51. Hanse, R.J. and C. Anderson. Extraction and estimation of soil phospholipids. *Soil Sci.* 96:94-98. 1963.
52. Hemmwell, J.B. The fixation of phosphorus by soils. *Advances in Agronomy.* 9:95-112. 1957.
53. Hoessner, L.R. and G.E. Richards. The effect of phosphorus source on the movement and uptake of band applied manganese. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32:83-85. 1968.
54. Hoyos, A. y R. Garofa. Distribución de las distintas formas de fósforo en las fracciones de algunos suelos naturales. *An. Edafol. Agrobiol.* 22:414-451. 1963.
55. Hoyos, A. y L.J. Pérez. Composición mineralógica y formación de algunos suelos en la Guinea Continental Española. *An. Edafol. Fisiolog. Veg.* 18:97-135.
56. II<sup>o</sup> In, V.B. Forms of phosphorus in the chestnut brown soils of central kulunda. *Inv. Sibir Otd. Akad # 4*: 95-103 (R) C.A. 53:(20648). 1959. (En abs. *Soils. and fertilizers.* 23 4: 245. 1960).

57. Infante, J.S. El nitrógeno es el factor clave en el aprovechamiento de las plantas. Rev. Nal. Agric. (Bogotá) 622-623. 1957.
58. Jackson, M.L. and G.D. Sherman. Chemical weathering of minerals in soils. Advances in Agronomy. 5:296-297. 1953.
59. Jackson, M.L. Análisis químico de suelos. Trad. J.B. Martínez. Barcelona, Omega. 1964. 662p.
60. Jimeno, L. y M. Ayerbe. Efectos de la fertilización fosfatada sobre la planta en cinco tipos de suelos. An. Einafol. Agrobiol. 24:563-574. 1965.
61. Kaila, A. Phosphorus conditions at various depths in some mineral soils. The Jour. Sci. Agric. Soc. Finland. 36:1-13. 1964.
62. Kaila, A. Total content of phosphorus in some Finnish Soils. The Jour. Sci. Agric. Soc. Finland. 35:19-25. 1963.
63. ———. Fractions of inorganic phosphorus in Finnish mineral soils. The Jour. Sci. Agric. Soc. Finland. 36:1-13. 1964.
64. ———. Forms of newly returned phosphorus in mineral soils. The Jour. Sci. Agric. Soc. Finlandia. 36:65-75. 1964.
65. ———. The Fate of water soluble phosphate applied to some mineral soils. The Jour. Sci. Agric. Soc. Finlandia. 27:104-113. 1965.

66. \_\_\_\_\_ Effect of liming on the mobilization of soil phosphorus. The Jour. Sci. Agric. Soc. Finlandia. 37:243-254. 1965.
67. López, A. M. Determinación del fósforo aprovechable en suelos tropicales. *CENICAFE*. 2:109-119. 1958.
68. Lutz, J.F. et al. Effect of phosphorus on some physical properties of soils. II. Water retention. Proc. Soil. Sci. Americ. 30:433-437. 1966. (En abs. Soil. Fert. 30:1-75).
69. Malherbe, I.V. Soil Fertility. 4a. English Edit. Oxford. University Press. (London). 1962. 304p.
70. Malqueri, A. and L. Radaelli. Reactions between soil and condensation phosphates. I. Insolubilization of mono and poly-phosphoric ions by Al, Fe and Ca compounds. *Agrochimica* 10:354-370. 1966.
71. Marin, et al. Respuesta de la vena forrajera a N y P en dos tipos de corte en la Sabana de Bogotá. Ministerio de Agricultura. Departamento de Investigación Agropecuaria. *Agric. Trop.* 15:307-317. 1959.
72. Martin, J.K. and A.J. Wilken. Soil organic phosphorus. IV. Fractionation of organic phosphorus in alkaline soil extracts and identification of inositol phosphate. *Agric. Res.* 2:529-535. (En abstracts. Soils and fertilizer. 30:(1) 15).
73. Martínez, A. y P. Lucana C. Determinación y formas de fósforo en la Provincia de Salamanca. Nota II. Formas de fósforo. *An. Eda. Bot. Agrobiol.* 12:59-68. 1960.

74. \_\_\_\_\_ . Nota II. Estudio de los factores que regulan la presencia de las distintas formas de fósforo. An. Eda fol. Agrobiol. 19:147-154. 1960.
75. \_\_\_\_\_ . Determinación y formación del fósforo en suelos de la Provincia de Salamanca. I. Estudio comparativo de doce soluciones extractores de fósforo asimilable. An. Edafol. Agrobiol. 18:81-95. 1959.
76. Millor, C.E. Soil Fertility. John Wiley. N.Y. 139-146. pp. 1955.
77. Mora, E. y L. Legarda. Estudio de ciertas características de algunos suelos de Maricao relacionados con las formaciones geológicas. Fac. de Agronomía. Panto. 179 p. 1969. (Tesis no publicada).
78. Mortland, H.M. Reactions of ammonia in Soils advances in Agronomy. 10:325-345. 1958.
79. Moyle, S. et al. Los niveles de producción agrícola y el empleo de fertilizantes orgánicos. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Roma 1962. 54p.
80. Mujalid, D., A.M. Posner and J.P. Quirk. The mechanisms of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudobrookite. I. The isotherms and the effect of pH on adsorption. Jour. Soil Sci. 17:212-229. 1966.
81. Muñoz T.M. y R. Fabregas. Fósforo y potasio en suelos de cultivo de Gallegos. An. Edafol. Agrobiol. 21:415-423. 1962.

82. Munsell. Soil Color Chart. Baltimore, Munsell Color. 1954.  
(sin numeración).
83. Olivares, A. Efecto de fustes y niveles de fertilización fosfatada en pasto pangola (Digitaria decumbens, Stent.). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1969. 64p.
84. Ortega, T.E. Correlaciones entre métodos de análisis químicos del fósforo aprovechable por las plantas y los rendimientos relativos del maíz. Agric. Tec. en México. 1948-1951.
85. Pantoja, C. Fraccionamiento de fósforo en algunos suelos de clima medio en el Departamento de Nariño. U. de Nariño. Fac. de Agron. 110p. (Tesis de grado sin publicar). 1969.
86. Peñuela, J. y A. Rosero. Respuesta del maíz a la aplicación de N-P-K y elementos menores en dos suelos de Barruecos Nariño Colombia. Inst. Tec. Agric. U. de Nariño. 85p. (Tesis de grado sin publicar). 1968.
87. Perkins, A. Effect of phosphate on the cation exchange capacity of minerals and soils. Soil. Sci. Soc. Proc. 22:509-511. 1957.
88. Plossis, S. and R. Duoger. The availability of different phosphate fractions. Agric. Sc. 2:331-340. 1966. (En Abstracts 750-1567. Soils Fertilizers. 20:2):110. 1967.
89. Posada, A. Algunas propiedades químicas de nuevos suelos del Valle del Cauca. Acta Agronómica. 6:3). 140p. 1956.

90. II Reunión Nacional de Suelos. ITA - ICA Diciembre 1969. Universidad de Mariño. ITA. Pasto. Publicación No. 25.
91. Revelo, C.F. y M.A.Revelo. Estudio de fertilidad en invierno de algunos suelos del Altiplano de Pasto-Mariño-Colombia. Pasto, Inst. Tecn. Agric. U. de Mariño. 1968. 121p. (Tesis no publicada).
92. Rojas, E. Novedades Cientificas. Agric. Trop. 2:37-40. 1953.
93. Russell, E.W. Soil conditions and plant growth. 9th. ed. London, Longmans. 1961. 688p.
94. Saiz del Rio, J.F. y E. Bernalizaa. Análisis químico de suelos. Métodos de Laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica. IICA. 107p. 1961.
95. Sánchez, T.L.C. Contenido de fósforo orgánico y mineral de algunos suelos del Valle del Cauca, Colombia. Acta Agron. (Palmira) 6:99-115. 1956.
96. Sanguino S., E.L. Influencia del pH sobre la fijación del fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada. Acta Agron. (Palmira). 11.187-209. 1961.
97. Saunders, H.M. and E.G. Williams. Determination of total organic phosphorus in soils. Jour. Soil. Sci. 6:254-260. 1955.
98. Scholtenberg, C.J. and M. Simon. Determination of exchange properties of soil by the ammonium acetate method. Soil Sci. 59:14. 1945

99. Sen Gupta, N.B. and A.H. Cornfield. Phosphorus in calcareous soils. I. The inorganic phosphorus fractions and their relations to the amount of calcium carbonate present. *Jour, Sci. Food Agric.* 13:652-655. 1962.
100. Sheng, C. The response of the yield of napier grass to three essential elements. *J. Agric. Ass. China* 55:56-62. 1966. (Original no consultado; compendiado en *Herbage Abstracts* 37(3):1152. 1966.
101. Shelton, J.E. and N.T. Coleman. Inorganic phosphorus fractions and their relationship to residual value of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: 91-94. 1968.
102. Singh, R. and D. Martins. Plant availability and form of residual phosphorus in Davidson Clay Loam. *Proc. Soil. Soc. Americ.* 30 617-620. 1966. (En *Abstract Soils and Fertilizer.* 30(3):222. 1967).
103. Suarez De Castro, F. *Conservación de suelos.* II ed. Salvat. Barcelona. 319p. 1965.
104. Tandon, H.L. and L.T. Kurta. Isotopic exchange characteristics of aluminum and iron-bound fractions of soils phosphorus. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: 799-802. 1968.
105. Terman, G.L., D.R. Bouldin and J.R. Lehr. Calcium phosphate fertilizers. I. Availability to plants and solubility in soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 22:25-29. 1958.

106. Thompson, L.M., C.A. Black and J.A. Zoelner. Occurrence and mineralization of organic phosphorus in soils with particular reference to association with nitrogen, carbon and pH. *Soil Sci.* 77:185-196. 1954
107. Tisdale, S.L. y E.L. Nelson. *Soil Fertility and fertilizers*. 2a. ed. New York, MacMillan. 1966. 694p.
108. Uendill, H. and A. Jacob. *Fertilización*. Trad. de López Martínez de Alba. Hannover. 2a. Ed. Países Bajos. 509p. 1964.
109. Viera, L. S. y E. Bernaniza. Categorías de fósforo en los principales grandes grupos de suelos en la Amazonia del Brasil. Turrialba. 18:242-248. 1968.
110. Wallace, C.R.H. *The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms*. 3a. ed. London, Curwen Press. 1961. 125p.
111. Weir, C.C. and R.J. Soper. Solubility studies of phosphorus in some calcareous Manitoba soils. *Jour. Soil Sci.* 14:256-261. 1963.
112. Wentin, F.C. and G.J. Buntley. Soil phosphorus in South Dakota. III. Phosphorus fractions of some Borolls and Ustolls. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31:521-528. 1966
113. Wier, D.R. and C.A. Black. Mineralization of organic phosphorus in soils as affected by addition of inorganic phosphorus. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32:51-55. 1968.

APPENDICE

T A B L A I  
ANALISIS FISICO-QUIMICO DEL SUELO

DETERMINACIONES	SUELO	SUB-SUELO
Humedad %	3,1	2,4
Color	10YR-3/2	10YR-4/2
Textura	Fr.Aren.	Fr.Arc.
pH	6,1	5,1
C Organico %	2,26	2,19
N Total %	0,3148	0,2369
C/N	7,11	9,16
M.O. %	7,7	8,5
C.I.C. mg/100 gr	27,2	22,6
Ca Camb. mg/100 gr.	252,50	197,75
Mg Camb. mg/100 gr.	7,40	8,90
K Camb. mg/100 gr.	59,00	56,25
Na Camb. mg/100 gr.	4,90	5,10
P Total ppm. mg/100 gr.	689,98	720,15

T A B L A II

CUADROS MEDIOS Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA

(Materia seca, Contenido de  $P_2O_5$  y Absorción de  $P_2O_5$ )

PRIMER CORTE

Fuentes de Variación	G.L.	PRIMER CORTE		Materia Seca	Contenido de Fósforo	Absorción de Fósforo	Materia Seca	Contenido de Fósforo	Absorción de Fósforo
		Materia Seca	Contenido de Fósforo						
Niveles	3	0,268 <sup>++</sup>	0,802 <sup>ns</sup>	0,134 <sup>ns</sup>	9,260 <sup>++</sup>	0,018 <sup>ns</sup>			
Pl	1	0,574 <sup>++</sup>			24,760 <sup>++</sup>				
Pc	1	0,037			1,580				
Pq	1	0,014			1,430				
Error (e)	8	0,014	0,250	0,117	0,541	0,005			
Fuentes	2	0,019 <sup>ns</sup>	0,120 <sup>ns</sup>	0,043 <sup>ns</sup>	1,658 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>++</sup>			
Fuentes por Niveles	6	0,151 <sup>ns</sup>	0,078 <sup>ns</sup>	0,034 <sup>ns</sup>	0,586 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>			
Error (b)	16	0,177	0,231	0,149	1,053	0,008			

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

ns No significativo

T A B L A III

PRUEBA DE DUNCAN PARA MATERIA SECA PRIMER CORTE  
(Niveles)

	P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>
	3,245	1,728	1,520	0,841
P <sub>0</sub>	2,404 <sup>++</sup>	0,886 <sup>++</sup>	0,679 <sup>++</sup>	-
0,841		0,207 <sup>ns</sup>	-	-
P <sub>1</sub>	1,725 <sup>+</sup>		-	-
1,520			-	-
P <sub>2</sub>	1,518 <sup>ns</sup>	-	-	-
1,727		-	-	-
P <sub>3</sub>	-	-	-	-
3,245				

+ Significativo al 5%  
++ Significativo al 1%  
ns No Significativo

TABLA IV

PRUEBA DE DUNCAN PARA ABSORCION DE FOSFORO PRIMER CORTE  
(Niveles)

	P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>
	0,245	0,191	0,150	0,104
P <sub>0</sub>	0,141 <sup>+</sup>	0,086 <sup>ns</sup>	0,045 <sup>ns</sup>	-
0,104				
P <sub>1</sub>	0,096 <sup>ns</sup>	0,041 <sup>ns</sup>	-	-
0,150				
P <sub>2</sub>	0,055 <sup>ns</sup>	-	-	-
0,191				
P <sub>3</sub>	-	-	-	-
0,245				

+ Significativo  
ns No Significativo

T A B L A V

PRUEBA DE DUNCAN PARA CONTENIDO DE FOSFORO PRIMER CORTE

(Niveles)

	P <sub>3</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>
	2,312	1,767	1,747	1,645
P <sub>1</sub> 1,645	0,667 <sup>++</sup>	0,122 <sup>ns</sup>	0,102	-
P <sub>2</sub> 1,747	0,565 <sup>++</sup>	0,020 <sup>ns</sup>	-	-
P <sub>0</sub> 1,767	0,545 <sup>++</sup>	-	-	-
P <sub>3</sub> 2,312	-	-	-	-

++ Significativo al 1%

ns No Significativo

T A B L A VI

PRUEBA DE DUNCAN PARA CONTENIDO DE FOSFORO SEGUNDO CORTE

(Niveles)

	P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>
	3,245	1,727	1,520	0,841
P <sub>0</sub>	2,404 <sup>++</sup>	0,886 <sup>+</sup>	0,679 <sup>ns</sup>	-
0,841				
P <sub>1</sub>	1,725 <sup>++</sup>	0,207 <sup>ns</sup>	-	-
1,520				
P <sub>2</sub>	1,518 <sup>++</sup>	-	-	-
1,727				
P <sub>3</sub>	-	-	-	-
3,245				

+ Significativo al 5%  
++ Significativo al 1%  
ns No Significativo

T A B L A VII

PRUEBA DE DUNCAN PARA ABSORCION DE FOSFORO SEGUNDO CORTE

(Niveles)

	P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>
	0,167	0,114	0,087	0,077
P <sub>0</sub>	0,090 <sup>+</sup>	0,036 <sup>ns</sup> 0,039	0,009 <sup>ns</sup>	-
P <sub>1</sub>	0,081 <sup>+</sup>	0,027 <sup>ns</sup>	-	-
P <sub>2</sub>	0,039 <sup>ns</sup> 0,053	-	-	-
P <sub>3</sub>	-	-	-	-

+ Significativo al 5%  
ns No Significativo

T A B L A VIII

PRUEBA DE DUNCAN PARA ABSORCION DE FOSFORO SEGUNDO CORTE  
(Fuentes)

	Superf.Simple	Calfos	Superf.Triplo
	0,132	0,115	0,088
Superf-Triplo 0,088	0,043 <sup>++</sup>	0,026 <sup>+</sup>	-
Calfos 0,115	0,16 <sup>ns</sup>	-	-
Superf.Simple 0,132	-	-	-

+ Significativo  
++ Altamente Significativo  
ns No Significativo

T A B L A IX

PRUEBA DE DUNCAN PARA FOSFORO UNIDO AL CALCIO NO APATITICO  
(Niveles)

	P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>
	83,79	83,72	82,35	45,70
P <sub>0</sub>	38,09 <sup>++</sup>	38,02 <sup>++</sup>	36,65 <sup>++</sup>	-
45,70	1,44 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	-	-
P <sub>1</sub>				
82,35				
P <sub>2</sub>	0,07 <sup>ns</sup>	-	-	-
83,72	-	-	-	-
P <sub>3</sub>				
83,79				

++ Altamente Significativo

ns No Significativo

T A B L A X

PRUEBA DE DUNCAN PARA FOSFORO UNIDO AL CALCIO APATITICO  
(Niveles)

	P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>
	18,02	17,65	10,34	9,04
P <sub>0</sub>	8,98 <sup>+</sup>	8,66 <sup>+</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	-
9,04 P <sub>1</sub>	7,68 <sup>+</sup>	7,31 <sup>+</sup>	-	-
10,34 P <sub>2</sub>	0,37 <sup>ns</sup>	-	-	-
17,65 P <sub>3</sub>	-	-	-	-
18,02				

+ Significativo  
ns No Significativo

T A B L A X I

PRUEBA DE DUNCAN PARA FOSFORO UNIDO AL HIERRO

(Fuentes)

	Calfos	Superf. Triple	Superf. Simple
	163,25	158,78	130,60
Superf. Simple 130,60	32,65 <sup>+</sup>	28,18 <sup>+</sup>	-
Superf. Triple 158,78	4,47 <sup>ns</sup>	-	-
Calfos 163,25	-	-	-

+ Significativo  
ns No Significativo

26186 ~~08193~~  
E. 631.8 Huertas h. Gerardo  
H887

Estudée cooperativo de tres fuentes  
y cuatro niveles de P. en ...

	VENGE
NOMBRE <i>Jorge Buellet W. R</i>	
No. del Carnet <i>865</i>	<i>15 Nov / 76</i>
NOMBRE	
No. del Carnet	<i>608</i>
NOMBRE <i>G. Montalvo</i>	<i>1970</i>

f

T  
631.8  
H887

26186  
~~08193~~

X

0

26186