



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

U. N. A. M.
Facultad de Estudios Superiores ESTUDIOS
"CUAUTITLAN" SUPERIORES - CUAUTITLAN



Departamento de
EVALUACION DE LA FIJACION Y DISPONIBILIDAD
DEL FOSFORO DE TRES FERTILIZANTES EN
SUELOS DE LA FES - C (FACULTAD DE
ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN)

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A:
JAIME BETANCOURT ROBLES



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	Pag.
I. - RESUMEN.	1
II. - INTRODUCCION.	3
III. - OBJETIVOS.	5
IV. - REVISION DE LITERATURA.	6
Formas de Fósforo del Suelo.	7
Fijación del Fósforo.	10
Factores que influyen la retención - del fósforo en los suelos.	12
Disponibilidad del fósforo por las - plantas.	15
Formas de aplicación.	16
Fertilizantes Fosfatados.	17
Superfosfato Simple.	19
Superfosfato Triple.	20
Fosfato de Amonio.	21
Ensayos de disponibilidad del fósforo - de diferentes materiales fertilizantes.	22
V. - MATERIALES Y METODOS.	25
Características generales de la zona de estudio.	25
Materiales.	30
Métodos.	31

	Pag.
VI.- RESULTADOS Y DISCUSION.	39
Análisis Estadfstico.	39
Análisis de Resultados por Corte.	41
Análisis de Resultados por fuente ferti lizante.	58
VII.- CONCLUSIONES.	75
VIII.- BIBLIOGRAFIA.	77
IX.- APENDICE.	82

I N D I C E D E C U A D R O S

Cuadro N°.		Pag.
1	Rendimiento en materia seca y <u>fósforo</u> extraído por el pasto ballico en el primer corte.	43
2	Rendimiento en materia seca y <u>fósforo</u> extraído por el pasto ballico en el segundo corte.	50
3	Rendimiento en materia seca y <u>fósforo</u> extraído por el pasto ballico en el tercer corte.	55
4	Análisis de varianza.	83
5	Total de peso seco de los 3 cortes (g/maceta) en cuanto a fuentes y dosis.	87
6	Interacción entre dosis con fuentes.	88

I N D I C E D E G R A F I C A S

Gráfica N°.		Pag.
1	Rendimiento de materia seca por fuente y dosis en el primer corte.	44
2	Cantidad de fósforo absorbido por fuente y dosis en el primer corte.	45
3	Rendimiento de materia seca por fuente y dosis en el segundo corte.	51
4	Cantidad de fósforo absorbido por fuente y dosis en el segundo corte.	52
5	Rendimiento de materia seca por fuente y dosis en el tercer corte.	56
6	Cantidad de fósforo absorbido por fuente y dosis en el tercer corte.	57
7	Rendimiento medio de materia seca por corte con diferentes dosis de Super Simple.	59
8	Cantidad de fósforo extraído por corte con diferentes dosis de Super Simple.	61

9	Rendimiento medio de materia seca - por corte con diferentes dosis de - Super Triple.	62
10	Cantidad de fósforo extraído por cor- te con diferentes dosis de Super Tri- ple.	63
11	Rendimiento medio de materia seca - por corte con diferentes dosis de - Fosfato de Amonio.	64
12	Cantidad de fósforo extraído por cor- te con diferentes dosis de Fosfato - de Amonio.	66
13	Rendimiento de materia seca por cor- te para las tres diferentes fuentes.	67
14	Producción media de materia seca por corte para las tres diferentes fuen- tes.	68
15	Absorción de fósforo por dosis para - las tres diferentes fuentes. (Suma - de los promedios de los tres cortes)	69

Gráfica N°.

Pag.

- 16 Absorción de fósforo por dosis para las tres diferentes fuentes. (Suma de los tres cortes). 70
- 17 Ensayo de fijación de fósforo por incubación en laboratorio con la sal de fosfato de calcio. $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. 72
- 18 Ensayo de fijación de fósforo por incubación en laboratorio para las tres fuentes fertilizantes utilizadas en el trabajo. 73

R E S U M E N

Por medio de un trabajo en invernadero, evalúe la disponibilidad del fósforo de tres diferentes fuentes de fertilizantes en suelos de la FES-C (Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán).

Las fuentes de fósforo probadas fueron: superfosfato de calcio simple, material en polvo con 19.5% de P_2O_5 , superfosfato de calcio triple, material granulado con 46% de P_2O_5 y fosfato de amonio diamónico grado 18-46-00, material granulado con 46% de P_2O_5 . Las fuentes de fósforo fueron aplicadas al suelo en 4 dosis cada una: 80, 125, 300 y 600 Kg/Ha y un testigo con tres repeticiones.

Se emplearon bolsas de polietileno negras con capacidad de un poco más de dos kilogramos de suelo.

Como planta indicadora se utilizó ballico italiano Lolium multiflorum anual.

Todos los tratamientos del experimento fueron completados con nitrógeno.

El trabajo fué planificado para tres cortes, con intervalos de 45 días después de la siembra para el primer corte, y 30 días para los dos cortes restantes.

Para cada corte se consideró:

- a) El rendimiento de materia seca por maceta.
- b) La absorción de fósforo por la planta en miligramos por maceta.
- c) El contenido en fósforo en %, en tejido vegetal aéreo.

El análisis de varianza, se realizó con el rendimiento de -
materia seca.

I N T R O D U C C I O N

Generalmente los rendimientos de cualquier especie vegetal se ven disminuidos por la deficiencia de uno o varios elementos químicos en el suelo, siendo la mayoría esenciales para un buen crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Cuando un suelo presenta deficiencia de alguno de los nutrientes esenciales, esto se puede corregir solamente agregando el nutrimento faltante en el grado de la necesidad del cultivo que se trate. Pero esto no sucede en el caso del fósforo por presentar cierta facilidad a ser fijado por algunos suelos, quedando aprovechable en menor proporción por parte de las plantas. Este fenómeno varía en magnitud dependiendo del tipo de suelo que se trate, así como de las fuentes de fertilización.

La fijación del fósforo por el suelo, es uno de los problemas que afectan la producción agrícola. La intensidad con que se presenta, está relacionada con las propiedades físicas y químicas de los suelos; por ejemplo: el alto contenido de hierro, aluminio, carbonato de calcio; el tipo y cantidad de minerales arcillosos, de materiales amorfos del tipo del alofano, etc., y además, de las características físico químicas de los materiales que se aplican como fuente de fósforo.

Los suelos de uso agrícola de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C), son constantemente fertilizados con nitrógeno y fósforo para sustentar los diversos cultivos que se establecen con fines docentes, de investigación o producción.

Para lograr el aprovechamiento óptimo de los fertilizantes, es indispensable conocer, además de los aspectos climáticos de la zona, las interacciones entre el suelo y los diferentes materiales fertilizantes; para lo cual es necesario llevar a cabo una serie de trabajos de investigación a nivel de laboratorio y de campo.

Por lo anterior, se pensó realizar el presente trabajo bajo condiciones de laboratorio e invernadero.

O B J E T I V O

Determinar los grados de fijación y aprovechamiento de cuatro niveles de fósforo de tres materiales fertilizantes en el suelo de la FES-C; mediante el análisis químico del suelo fertilizado, la cuantificación del fósforo absorbido por una planta indicadora y la producción de materia seca de la misma.

REVISION DE LITERATURA

El fósforo se halla presente en los tejidos de las plantas y en los suelos en cantidades más pequeñas que el nitrógeno el potasio. Generalmente las cantidades pequeñas de fósforo en los suelos, tienen tendencia a reaccionar con los componentes del suelo para formar compuestos relativamente insolubles y por lo tanto, no utilizables por las plantas.

El fósforo como el nitrógeno y el potasio, se clasifica como un elemento nutritivo mayor.

Se considera que las plantas absorben la mayoría del fósforo en forma de ión primario ortofosfato (H_2PO_4^-) y pequeñas cantidades del ión secundario ortofosfato (HPO_4^{2-}). De hecho la absorción por las raíces del ión (H_2PO_4^-) es 10 veces más rápida que la del ión HPO_4^{2-} . Las cantidades relativas de estos dos iones absorbidas por las plantas, están afectados por el pH del medio que rodea a las raíces, los valores bajos de pH incrementan la absorción del ión H_2PO_4^- , mientras los valores más altos de pH incrementan la absorción de la forma HPO_4^{2-} .

FORMAS DE FOSFORO DEL SUELO

Paterson (1967) y Ortega (1970), indican que la mayoría de los suelos tienen un contenido que puede variar de 0.03 a 0.22%, aunque se pueden encontrar suelos que presenten contenidos de fósforo más elevado.

El fósforo en el suelo puede clasificarse generalmente de dos formas: Fosfatos Orgánicos y Fosfatos Inorgánicos.

FOSFATOS ORGANICOS.-

Tisdale (1982) y Ortega (1970), consideran que el fósforo orgánico, que ha sido identificado especialmente en los suelos, se hallan en las siguientes formas:

- a) Fosfolípidos.
- b) Acidos Nucléicos.
- c) Fosfatos de Inositol.
- d) Fosfatos Metabólicos.
- e) Fosfoproteínas.

Los fosfatos orgánicos de la capa arable del suelo, están relacionados con el contenido de materia orgánica.

Los análisis de la fracción de fosfatos orgánicos de la capa superficial, indican que su contenido puede variar desde cantidades tan bajas como 0.3 hasta inclusive 95% del fósforo

ro total (Blac 1968).

Ortega (1970), menciona que los fosfatos orgánicos del suelo son la principal fuente de reserva del fosfato inorgánico, ya que no existen evidencias de que las plantas puedan absorber directamente aquellas formas de fósforo.

FOSFATOS INORGANICOS.-

Chang y Jakson (1957), dicen que la mayor parte de los compuestos inorgánicos de fósforo del suelo pertenecen a dos grupos:

- 1) Los que contienen calcio.
- 2) Los que contienen aluminio y fierro.

Grupo 1).- Fosfatos Mono y Dicalcicos:

Son compuestos más sencillos y fácilmente asimilables por las plantas, estos compuestos tienen facilidad de transformarse en materiales más solubles, por ejemplo:

- | | | | |
|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| a) Hidroxiapatita | $(\text{PO}_4)_6$ | $(\text{OH})_2$ | Ca_{10} |
| b) Carbonato Apatito | $(\text{PO}_4)_6$ | CO_3 | Ca_{10} |

Grupo 2).- Fosfatos Hidratados, tales como:

- a) Drogenita.
- b) Wabelita.

- c) Estrengita. $\text{Fe PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- d) Variscita. $\text{Al PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Estos son más estables en suelos ácidos y son extremadamente insolubles.

FIJACION DEL FOSFORO

Paterson (1967), indica que cuando los fertilizantes fosfatos se aplican al suelo, los iones fosfato, se combinan con diversos constituyentes de éste, pudiendo dar lugar a la formación de nuevas sustancias, que son sólo ligeramente asimilables por las plantas.

El proceso mediante el cual el fósforo pasa a formas no aprovechables por las plantas, es conocido con el nombre de "Fijación del Fósforo"; los principales factores que afectan este proceso en los suelos son:

- a) El tipo de arcilla.
- b) El pH.
- c) Contenido de calcio.
- d) Contenido de materia orgánica.
- e) Presencia de coloides amorfos (alofano).
- f) Presencia de óxidos libres de fierro y aluminio.

Bear (1964), define la fijación del fósforo como el proceso mediante el cual las formas más fácilmente solubles son cambiadas a formas menos solubles, por reacciones con compuestos inorgánicos y orgánicos del suelo; con el resultado de que se restringe la movilidad de este nutrimento en el suelo y por lo tanto disminuye su disponibilidad para las

plantas.

Paterson (1967), dice que cuando los fertilizantes fosfatos se aplican al suelo, los iones se combinan con diversos constituyentes de éste, pudiendo dar lugar a la formación de nuevas "sustancias", que sean sólo ligeramente asimilables por las plantas. También dice que el proceso mediante el cual el fósforo pasa a formas no aprovechables, es conocido con el nombre de "fijación del fósforo".

Dice además que el aprovechamiento del fósforo inorgánico - está determinado por los siguientes factores: El pH, hierro aluminio, manganeso, calcio asimilable, contenido de materia orgánica descompuesta y por la actividad de los microorganismos; además, menciona el tipo de arcilla y la presencia de coloides amorfos (alofano).

FACTORES QUE AFECTAN LA RETENCION DEL FOSFORO EN LOS SUELOS

Tisdale (1982), menciona que los principales factores son:

1).- Tipo de Arcilla. Señala que las arcillas del grupo de caoliníta como las que se hallan en áreas de fuertes lluvias y elevadas temperaturas, pueden fijar o retener, mayores cantidades de fósforo; añade además, que en suelos que contienen, el tipo de arcilla 2:1 la presencia de hidróxidos de fierro y aluminio contribuyen también en gran cantidad a la retención del fósforo añadido. Así el mismo autor indica, que estos compuestos también se pueden hallar en suelos que contienen grandes cantidades de arcilla del tipo 1:1.

2).- Tiempo de Reacción:

Tisdale (1982), dice que cuanto mayor sea el tiempo en que el suelo y el fósforo añadido están en contacto, mayor será la cantidad de fijación. El mismo autor menciona que en algunos suelos con una elevada capacidad de fijación el período puede ser corto, mientras que en otros suelos, el período de fijación puede durar meses ó incluso años. Así también Ortega (1970), dice que el tiempo de reacción del ión fosfato con el suelo y las arcillas nunca pueden considerarse que haya llegado a su término, mientras encuentren cantidades apreciables del ión fosfato en la solución, debi

do a que la reorientación de los iones absorbidos, de los iones formados y la fosfotólisis de las arcillas, tienen lugar indefinidamente.

3).- Temperatura:

Ortega (1970), dice que la velocidad de absorción se aumenta a medida que la temperatura también aumenta. Tisdale (1982), concuerda con lo anterior, y además señala sin embargo, que los suelos de los climas cálidos son generalmente mucho más fijadores de fósforo, que los suelos de las regiones más templadas.

4).- pH del Suelo:

El aprovechamiento del fósforo por las plantas está determinado en alto grado por la concentración de este elemento, - el mismo autor dice, que la concentración a su vez está determinada por el pH de la solución en la que dicho elemento se halla. En soluciones muy ácidas, se encuentra solamente el $H_2PO_4^-$ y que si el pH aumenta, se encuentra primero el ión HPO_4^{2-} y finalmente el PO_4^{3-} , y que en los niveles intermedios de pH los dos iones pueden estar presentes simultáneamente, ésto es, en soluciones cuyo pH sea de 6.0.

Tisdale (1982), menciona que el pH del suelo es uno de los factores que afectan la utilización del fósforo, asimismo, dice que en la mayoría de los suelos, la disponibilidad del

fósforo es máxima en un orden de pH que oscila de 5.5. a 7.0, disminuyendo también cuando este valor sube por encima de 7.0.

Velasco Molina (1969), estudiando la influencia del pH y del CaCO_3 en la fijación de fosfatos, encontró que tanto la fijación como la liberación de fosfato, muestran un mínimo de pH de 7.9 a 8.1, y que la mayor liberación de fosfatos fue encontrada en el intervalo de pH de 5.2 - 5.5. El intervalo entre estos dos rangos de pH coincide con la región de máxima solubilidad de los iones, incrementándose hacia el intervalo de mayor acidez.

Arrollave (1977), indica que el proceso de fijación de fósforo puede efectuarse por precipitación o absorción, dependiendo de diversos factores como son: el pH del medio, presencia de materiales amorfos, contenido de materia orgánica, textura del suelo, naturaleza del suelo, naturaleza de las arcillas y capacidad de intercambio iónico, actividad del ión, calcio y tamaño de las partículas de carbonato de calcio.

Cajuste y Navarrete (1967), reportan que la fijación inicial del fósforo agregado al suelo ocurre bajo la forma de P-Al, o P-Fe en suelos ácidos.

En algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central, se han encontrado que la causa principal de la fijación es la precipitación del fósforo aplicado, en formas de fosfatos de aluminio (83%) y fierro (14%).

Miramontes (1972), evaluando los efectos del carbonato y silicatos de calcio sobre el rendimiento de sorgo y algunas propiedades químicas en tres suelos de México; reportó que el carbonato de calcio fué más efectivo a cualquier dosis para abatir la capacidad de fijación de fósforo.

DISPONIBILIDAD DEL FOSFORO POR LAS PLANTAS

De acuerdo con Tisdale y Nelson (1982), la mayoría de las plantas, generalmente absorben el fósforo en forma de ión primario ortofosfato $H_2PO_4^-$ y algunas cantidades del ión secundario ortofosfato HPO_4^{2-} .

Black (1968) dice que la mayor parte, sino es que todo el fósforo absorbido por las plantas proviene de la fracción mineral en la solución del suelo, ya que hasta la fecha no existen evidencias de que las plantas absorben el fósforo directamente de la fase sólida, ó de que éstas puedan absorber el fósforo directamente de la fase sólida ó de que puedan absorber fosfatos orgánicos de la solución del suelo.

El mismo autor indica también que la concentración del fósforo en la solución del suelo es muy baja, usualmente menor de 0.1 ppm. y raramente mayor de 1.0 ppm. La cantidad de fósforo absorbido por un cultivo, es mayor que la que puede ser encontrada en la solución del suelo en un tiempo determinado, en la zona radicular; por esto que la liberación de fosfatos de la fase sólida de la solución del suelo, es de gran importancia.

Neller (1935), encontró que las plantas con una savia relativamente rica en fósforo, cuando se cultivan en suelos que no han sido tratados con un portador de fosfatos, responden desfavorablemente.

FORMAS DE APLICACION

Tisdale y Nelson (1982), mencionan que la colocación en bandas reduce la superficie de contacto entre el suelo y el fertilizante, con una reducción consecuente en la cantidad de fijación. Los mismos autores mencionan que la colocación en bandas, aumenta generalmente la utilización de los fosfatos solubles en agua por las plantas, tales como: El superfosfato, indican que ha sido señalado que la finura de la textura del suelo aumenta la retención del fertilizante añadido.

Muñozledo (1969), probando el efecto de diferentes niveles y formas de aplicación de fertilizantes fosfóricos en tres diferentes suelos, encontró que la forma de aplicación en banda, era más efectiva cuando se agregaban pequeñas dosis de fertilizante fosfórico y que sin embargo, a medida que se incrementaba la dosis aplicada, disminuía la eficiencia de esta forma de aplicación.

Gile (1933), encontró que la eficiencia del superfosfato varía con el método de aplicación, así también menciona que las aplicaciones confinadas a una capa de una pulgada abajo de la semilla produjeron mayor rendimiento, que aplicaciones mezcladas íntimamente con el suelo.

FERTILIZANTES FOSFATADOS

Los primeros fertilizantes fosfatados que se emplearon, fueron materiales naturales como hueso y roca fosfórica molidos. Actualmente la mayoría de los fertilizantes minerales fosfatados, se obtienen mediante el tratamiento de las rocas fosfóricas con ácidos fuertes como el sulfúrico y el fosfórico.

Algunos de los fertilizantes fosfatados más comunes, de acuerdo a su fórmula, contenido de fósforo total y su grado de solubilidad, según De la Teja (1985), son los siguientes:

NOMBRE Y FORMULA	% P	% P ₂ O ₅	SOLUBILIDAD
Superfosfato de Calcio Simple Ca (H ₂ PO ₄) ₂ CaSO ₄ 2H ₂ O	7-9.5	16-20-22	90% en agua
Superfosfato de Calcio Triple Ca (H ₂ PO ₄) ₂ H ₃ PO ₄	19-22	44-46-52	95-98% "
Superfosfatos Enriquecidos Ca (H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ PO ₄ CaSO ₄	11-13	25-30	90-95% "
Fosfato de Amonio Monoamónico			
NH ₄ H ₂ PO ₄			
Grado 12-61-00	26	61	
Grado 11-48-00	21	48	
Fosfato de Amonio Diamónico			
(NH ₄) ₂ HPO ₄			
Grado 21-53-00	23	53	
Grado 16-48-00	21	48	
Grado 18-46-00	20	46	
Fosfato Sulfato de Amonio			
NH ₄ H ₂ PO ₄ (NH ₄) ₂ 2SO ₄	8.6	20	
Grado 16-20-00			
Metafosfato de Calcio Ca (PO ₃) ₂	27.09	63	

Se puede agregar a la lista anterior los siguientes:

Nitrofosfatos, Fosfatos de Potasio, Fosfatos de Amónicos Metálicos como el "Magam", y los Polifosfatos de Amonio.

Según Núñez (1970) y De la Teja (1985), los fertilizantes más importantes, usados en México son:

- 1.- Superfosfato de Calcio Simple ó Super Simple.
- 2.- Superfosfato de Calcio Triple ó Super Triple.
- 3.- Fosfato de Amonio.

SUPERFOSFATO SIMPLE

En 1843 Sir Jhon Lawes, en Rothamsted, descubrió que el fósforo de la roca fosfórica es más aprovechable cuando se trata con ácido sulfúrico, así Lawes desarrolló el proceso para la producción de lo que hoy conocemos como Superfosfato Simple, llamado también Superfosfato Ordinario ó Superfosfato Normal.

El producto se obtiene, mezclando partes iguales en peso de la roca fosfórica finamente molida y ácido sulfúrico de 52 a 56 grados baume.

El primer superfosfato hecho en los Estados Unidos de Norteamérica, se produjo en Baltimore en 1850, usando huesos

para la obtención, pero desde 1930 casi toda la producción se hace con roca fosfórica de Florida, Tennessee y Montana.

El producto hecho en México por Guanos y Fertilizantes de México, S.A., (ahora FERTIMEX), tiene los siguientes constituyentes principales:

Fosfato Total	20.46 %
Calcio (CaO)	28.60 %
Oxidos de Hierro y Aluminio	0.97 %
Azufre (SO ₃)	29.74 %
Fluor	1.56 %
Del Fósforo total el 79% es hidrosoluble .	

SUPERFOSFATO TRIPLE

Conocido también como Superfosfato Doble ó Concentrado, es un producto obtenido mediante el tratamiento de la roca fosfórica con ácido fosfórico. El H₃PO₄ se obtiene mediante el tratamiento de la roca fosfórica con ácido sulfúrico, que resulta de la formación de yeso que se separa para la filtración y se desecha.

El Superfosfato Triple, se fabricó por primera vez en Europa en 1872, y se ha fabricado en México continuamente por -

Guanos y Fertilizantes de México, S.A., (ahora FERTIMEX), -
presentando los siguientes constituyentes principales:

Nitrógeno (N)	0.20 %
Fosfato Total (P_2O_5)	46.89 %
Calcio (CaCO)	19.99 %
Oxidos de Hierro y Aluminio (R_2O_3)	3.29 %
Azufre (SO_3)	3.40 %
Fluor (F)	1.56 %

Del Fosfato total el 84% es hidrosoluble.

FOSFATO DE AMONIO

Tisdale (1982) menciona que los Fosfatos de Amonio, se pro
ducen haciendo reaccionar amoniaco con ácido fosfórico ó -
una mezcla de ácidos fosfórico y sulfúrico. Algunos de los
fertilizantes a base de fosfato de amonio más ampliamente -
utilizados son:

Fosfato de amonio monoamónico, grados 12-61-00 y 11-48-00 .
Fosfato de amonio diamónico, grados 21-53-00, 16-48-00 y -
18-46-00 .

Los fosfatos de amonio son completamente hidrosolubles, -
también presentan un efecto ácido sobre los suelos a causa
del amoniaco que contienen.

ENSAYOS DE DISPONIBILIDAD DEL FOSFORO DE DIFERENTES MATERIALES FERTILIZANTES

Rone-Puello (1980), estudiando la evaluación de la fertilidad fosfatada en suelos calcáreos, menciona que no observó una relación directa entre la cantidad de CaCO_3 y el % de fósforo fijado por los mismos, pudiendo estar este fenómeno más vinculado a otros factores y no al CaCO_3 únicamente.

También indica que la disponibilidad del fósforo para las plantas en los suelos estudiados está limitada por la magnitud de la fijación del fósforo agregado.

Peralta (1973), estudiando la disponibilidad de cinco fertilizantes fosfatados en cuatro suelos diferentes con ballico en macetas, encontró que a partir del segundo corte, el rendimiento dependió únicamente de los niveles de P_2O_5 aplicado y no de las fuentes fosfatadas, también encontró que cualquiera de los fertilizantes fosfatados fueron mejores que el testigo, y que el comportamiento de los nuevos fertilizantes no fué diferente al de los fertilizantes tradicionales, también encontró que la respuesta de las plantas al superfosfato simple, fué significativamente mayor que al superfosfato triple y que el super simple tuvo menor liberación de fósforo que el triple en el primer corte, estando de acuerdo en ésto con Novoa (1972). Encontró también que los suelos de alfisol con fosfato cálcico fueron los que

presentaron las mayores fijaciones de fósforo, y que el andosol y el mollisol fueron los menores fijadores de este elemento.

Peña O. (1963), realizando estudios para determinar el problema nutricional de los suelos de la Sierra Tarasca, menciona que el superfosfato dicálcico fué significativamente más eficiente que el fosfato diamónico en los lotes de San Gregorio, Mich.

Pérez (1956), realizando estudios en invernadero y laboratorio sobre la respuesta al fósforo con suelos de Michoacán, indica que se obtuvo respuesta a todos los niveles de fósforo aplicado, considerando como eficiente una aplicación de 80/Kg/Ha de P_2O_5 .

Duch Gary (1972), realizando un trabajo sobre la eficiencia de tres fuentes de fósforo, magam, super simple, y super triple en tres diferentes suelos de México, encontró que el (Magam) resultó ser siempre superior en eficiencia como fertilizante fosfórico en comparación con los superfosfatos de calcio simple y triple. Menciona que el triple resultó en algunos casos superior al simple, también dice que hubo un abatimiento en cada corte, y presume que la reducción del nivel de fertilidad propia de los suelos y el efecto progresivo de la capacidad de fijación de fósforo fueron los dos

factores responsables de dichos abatimientos. También en -
contró que la dosis de 500 Kg de P_2O_5 , produjo mayor canti-
dad de materia seca y mayor absorción de fósforo por las -
plantas.

Vega Rojas (1979), realizando un trabajo sobre la evaluación
de cuatro fuentes de fertilizantes fosfóricos, superfosfato
simple, superfosfato triple, magam y fosfato de amonio, gra-
do 18-46-00, con tres diferentes dosis 50, 100, y 150 ppm.,
en suelos con diferentes capacidades de fijación de fósforo
encontró que el rendimiento de materia seca considerando -
los tres cortes que se realizaron, se vió incrementado en -
tres suelos de los cuatro estudiados, siendo uno el que no
presentó problemas con la fertilización fosfatada. También
dice que las fuentes empleadas tuvieron en general el mismo
efecto, sin que se notara una marcada diferencia entre las
fuentes de liberación lenta y las de uso tradicional.

Respecto a las dosis utilizadas, el mismo autor concluye -
que la dosis de 150 ppm., fue mejor que la de 100 ppm., -
sólo con el superfosfato triple. La dosis de 100 ppm., fue
mayor que la de 150 ppm., para el 18-46-00. La dosis de -
150 ppm., fue igual que la de 50 ppm., con el superfosfato
triple y 18-46-00. Las dosis de 50 y 100 ppm., no fueron -
diferentes con el superfosfato triple. La dosis 1 (testigo)
presentó un rendimiento significativamente menor que las -
otras dosis.

MATERIALES Y METODOS

5.1. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

5.1.1. Localización:

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, se encuentra ubicada en la cuenca del Valle de México, al oeste de la cabecera del municipio de Cuautitlán, Estado de México.

El municipio de Cuautitlán, se extiende aproximadamente - entre los 19° 37' y los 19° 45' de latitud norte y entre - los 99° 07' y los 99° 14' de longitud oeste y limita, al - sur, con el municipio de Tultitlán, al sureste, con el de - Tultepec, al este con el de Melchor Ocampo, al norte con el de Teoloyucan, al noreste con el de Zumpango y al oeste con el de Tepotzotlán.

La altitud media que se reporta para la cabecera municipal, Cuautitlán de Romero Rubio y para el área de estudio es de 2250 metros sobre el nivel del mar.

5.1.2. Clima:

De acuerdo con el sistema Koppen modificado por García, el clima para la región de Cuautitlán, corresponde al C(W_o) - (W) b (i') templado, el más seco de los subhúmedos, con ré

gimen de lluvias de verano, e invierno seco (menos de 5% de la precipitación anual), con verano largo y fresco, con temperatura extremosa con respecto a su oscilación.

La temperatura media anual es de 26.5°C durante el mes de abril, con una oscilación media mensual de 6.5°C; siendo enero el mes más caliente, con 18.3°C en promedio.

La zona de estudio presenta un régimen de lluvias de verano concentrándose entre los meses de mayo a octubre, con invierno seco.

La precipitación media anual es de 605 mm., siendo julio el mes más lluvioso, con 128.9 mm., y febrero el mes más seco, con 3.8 mm.

Las probabilidades de lluvia en esta zona son menores de 50%, por lo que es indispensable contar con riego.

5.1.3. Suelo:

Origen y Formación de los Suelos.-

Los suelos relativamente jóvenes, en proceso de desarrollo, presentan un perfil de apariencia homogénea en el que no se aprecian fenómenos de iluviación ó eluviación muy marcados, por lo que es difícil diferenciar horizontes de diagnóstico a simple vista. Son suelos profundos, con más de un metro

de profundidad.

Clasificación del Suelo.-

De acuerdo con el sistema de clasificación FAO-DETENAL (S.P.P. 1981), estos suelos han sido clasificados como vertisoles pélicos (VP). Son suelos que presentan una textura fina, arcillosos, son suelos pesados, difíciles de manejar por ser plásticos y adhesivos cuando están húmedos y duros cuando se secan; forman grietas profundas cuando se secan, y pueden ser impermeables al agua de riego o de lluvia (FAO. 1968).

De acuerdo con el sistema de clasificación de la 7^a aproximación, estos suelos han sido clasificados (Flores, R.D., 1981), dentro del orden inceptisol, suborden andept, gran grupo umbrandept, como umbrandepts mollico vérticos.

Presentan un horizonte superficial oscuro relativamente grueso, con estructura bien desarrollada, pH mayor de 6 y una relación C:N entre 10 y 12 en suelos cultivados; con un alto contenido de material amorfo como el alofano en su fracción arcillosa.

Características Físicas del Suelo.-

De manera general se pueden mencionar las siguientes características:

- Profundidad efectiva más de un metro.
- Color en húmedo: Negro a gris oscuro, con cromos 10 YR .
- Textura: Fina, arcillosa a migajón arcilloso (franca arcillosa).
- Estructura: Bien desarrollada, en bloques angulares y bloques subangulares de tamaño fino.
- Consistencia: Dura a ligeramente dura en seco, consistencia friable en húmedo.
- Adhesividad y Plasticidad: Fuertemente adhesivos y plásticos a moderadamente adhesivos y plásticos.
- Densidad aparente: Densidad aparente baja, de 0.89 a 1.24 g/cc.
- Densidad real: Densidad real baja, entre 1.91 y 2.50 g/cc
- Porosidad: Poros pequeños y abundantes, 50% en promedio.
- Drenaje interno: Suelos drenados - drenaje bueno a lento.

Características Químicas del Suelo.-

De manera general se pueden mencionar las siguientes características:

- Conductividad eléctrica en el extracto de saturación: - Menos de 1 milimho/cm a 25°C.
- Presencia de carbonatos: Reacción negativa al HCl diluido
- Reacción del suelo o pH: El pH de estos suelos varía entre ligeramente ácido a neutro, de 6 a 7, con agua en

relación 1:2.5 (Colegio de Posgraduados 1977).

- % de materia orgánica: Varía de alto a medio, de 2.11 a 4.32%
- C.I.C.T., Alta, de 30 a 35 meq/100 gr.
- Nitrógeno total: 14 Kg/Ha.
- Fósforo disponible: 180 Kg/Ha.
- Potasio asimilable: 2500 Kg/Ha.

5.2. MATERIALES.

5.2.1. Fuentes de Fósforo:

Las fuentes de fósforo utilizadas en este estudio fueron: Superfosfato de Calcio Simple (S.S.), material en polvo que contiene 20.0% de P_2O_5 . Superfosfato de Calcio Triple (S.T.), material granulado con un contenido de 46% de P_2O_5 , con gránulos de 0.5 a 1 mm., de diámetro. Fosfato de Amonio Monoamónico (F.A.), con grado 18-46-00, material granulado con un contenido de 45% de P_2O_5 .

5.2.2. Recipientes:

Se emplearon 39 bolsas de polietileno de color negro con una capacidad para dos kilos de suelo. Las bolsas no fueron perforadas para evitar la pérdida de material fertilizante con el agua de riego.

5.2.3. Planta Indicadora:

Se utilizó el pasto ballico italiano o común (*Lolium multiflorum*). Esto obedeció a que dicha planta consume elevadas cantidades de fósforo para llevar a cabo su metabolismo; además presenta un rápido crecimiento, ésto hizo posible efectuar tres cortes en el tiempo designado para el experimento; por otra parte, su condición de planta anual permitió observar a través de los cortes la evolución del fertilizante en el suelo por un tiempo prolongado.

Características generales de la planta:

El ballico es un zacate de crecimiento amacollado anual, alcanza una altura de 30 a 60 cm. Las hojas suelen ser cortas y rígidas, plegadas en la yema.

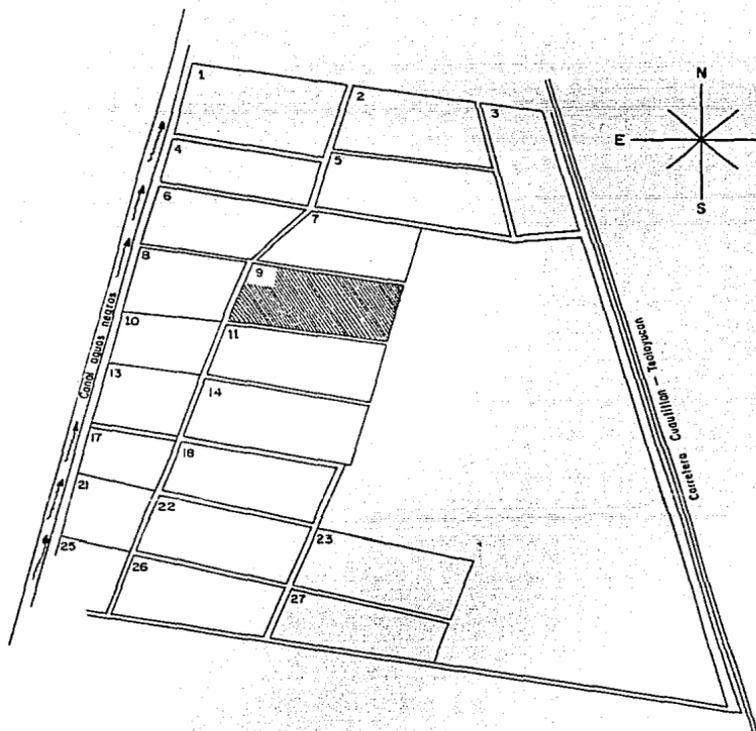
Las espigas son delgadas y relativamente rígidas, las diversas semillas nacen en grupos a lados opuestos del tallo.

La semilla carece de barbas.

5.3. METODOS.

5.3.1. Muestreo y Preparación del Suelo.-

El suelo que se empleó en este trabajo se tomó de una de las parcelas por presentar homogeneidad en el terreno de la FES-C, que se indica en la figura 1.



PLANO DE LA FES- CUATITLAN
UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las muestras de la parcela fueron tomadas al azar, a una profundidad de 20 cm. (capa arable).

El suelo se dejó secar a temperatura ambiente y posteriormente se disgregaron los terrones con un mazo de madera, para ser tamizado más tarde con una malla de 2.0 mm., de abertura.

Todo el suelo se mezcló perfectamente para obtener una muestra homogénea representativa, para llevar a cabo los ensayos de laboratorio y de invernadero.

5.3.2. Ensayo de fijación de fósforo en laboratorio.-

Un método rápido para la determinación de la capacidad de fijación de fósforo por los suelos, fue hecho por los Ing. Roberto Caudillo A. y Humberto Quiñones G. y consiste en :

- a) Pesar 8 muestras de 20 g. de suelo cada una y colocar las en vasos de precipitados.
- b) Agregar lo siguiente:

Vaso N°	H ₂ O Dest.	Sol Ca(H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O 100 PPM "P"	Sol KH ₂ PO ₄ 100 PPM "P"
No. 1	6 ml.	0 ml.	
No. 2	5 ml.	1 ml.	
No. 3	4 ml.	2 ml.	
No. 4	2 ml.	4 ml.	
No. 5	6 ml.		0 ml.
No. 6	5 ml.		1 ml.
No. 7	4 ml.		2 ml.
No. 8	2 ml.		4 ml.

Cuadro de Concentraciones de soluciones del método empleado.

- c) Cubrir los vasos y someterlos a baño maria a 50°C durante 1 hora.
- d) Después del tratamiento se dejan secar al aire las muestras de suelo, se mezclan perfectamente y se pesan por duplicado para hacer la determinación del fósforo aprovechable por el método de Bray P.

5.3.3. Ensayo de invernadero.-

a) Preparación de las bolsas.

En cada bolsa previamente lavada y secada, se colocaron 2 kg. de suelo; tal como se indica en otros trabajos con ballico.

Con este volumen se tuvieron que doblar los bordes de las bolsas hasta dejar un borde de 5 cm. de altura, el cual resultó suficiente para aplicar sin problemas las cantidades necesarias de agua en cada riego.

Una vez colocado el suelo en las bolsas se procedió a agregar en cada una la cantidad de fertilizante calculado para cada dosis y fuente y posteriormente se mezcló.

b) Determinación del volumen de agua a capacidad de campo y riegos.

Una vez colocado el suelo y las cantidades de fertilizante correspondientes en las bolsas, se agregó agua a capacidad de campo (750 ml), y se pesaron procurando mantener un peso de (2750 g. en promedio), para así controlar la humedad del suelo por diferencia de peso durante el desarrollo del experimento.

c) Niveles de fertilización y diseño experimental.

Se probaron 4 niveles de fósforo (80, 125, 300 y 600 Kg/Ha de P_2O_5) y un testigo para cada uno de los 3 materiales fertilizantes, con 3 repeticiones, dando como resultado los siguientes tratamientos:

Fuentes	=	A,B,C	A	=	Super Simple.
			B	=	Super Triple.
Dosis	=	a,b,c,d	C	=	Fosfato de Amonio
Repeticiones	=	1,2,3	a	=	80 Kg/Ha.
			b	=	125 Kg/Ha.
			c	=	300 Kg/Ha.
			d	=	600 Kg/Ha.

A	a	1	B	a	1	C	a	1
A	a	2	B	a	2	C	a	2
A	a	3	B	a	3	C	a	3
A	b	1	B	b	1	C	b	1
A	b	2	B	b	2	C	b	2
A	b	3	B	b	3	C	b	3
A	c	1	B	c	1	C	c	1
A	c	2	B	c	2	C	c	2
A	c	3	B	c	3	C	c	3
A	d	1	B	d	1	C	d	1
A	d	2	B	d	2	C	d	2
A	d	3	B	d	3	C	d	3

* Un testigo con 3 repeticiones T1, T2, y T3.

Se calcularon las cantidades de fertilizante correspondientes para 2 Kg. de suelo.

A todos los tratamientos se les aplicó la misma cantidad de nitrógeno en relación con el contenido del fosfato de amonio (18 unidades de N), usando sulfato de amonio 20.5%.

Después de aplicar y mezclar los fertilizantes con el suelo y de regar a capacidad de campo se dejó reposar por una semana, con el objeto de que se estableciera un equilibrio entre suelo y fertilizante, como lo indican otros autores.

Las bolsas se colocaron sobre una mesa dentro del invernadero, quedando distribuidas completamente al azar.

d) Siembra.

En cada bolsa se sembraron 30 semillas del pasto, regando posteriormente a capacidad de campo; a los 10 días, se realizó el acláreo a 20 plantas por bolsa.

e) Cosecha.

En el transcurso del experimento se realizaron tres cortes el primero a 45 días después de la siembra, el segundo y el tercero con una diferencia de 30 días. El último corte coincidió con el período en que las plantas empezaron a florear.

f) Parámetros a medir.

Para cuantificar y evaluar los resultados se tomaron los siguientes parámetros: Producción de materia seca y la cantidad de fósforo absorbido por la parte aérea de la planta expresado en % de m.s. por corte, fuentes fertilizantes y dosis y en mg/bolsa o unidad experimental.

El follaje cortado fue secado en horno con aire forzado, a 60-65°C, hasta obtener el peso constante, lo cual representan

ta el rendimiento de materia seca en gramos/bolsa.

El follaje una vez seco, fue molido en un molino con cuchillas de acero inoxidable y tamizado con una malla del número 40, para hacer las determinaciones del contenido de fósforo absorbido por las plantas.

Para este análisis se empleó el método de digestión húmeda con una mezcla triácida (ácidos perclórico, sulfúrico y nítrico) y cuantificación colorimétrica, desarrollando el color amarillo con vanadato-molibdato. Las lecturas se realizaron con un espectro fotómetro Beckman B.

Los datos de rendimiento de materia seca fueron analizados estadísticamente, mediante el análisis de varianza (ANDEVA) y la separación de medias de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

En los cuadros 1, 2 y 3, se muestran los datos del rendimiento de materia seca por cortes, fuentes y dosis, así como los datos del fósforo extraído por las plantas (promedio de tres repeticiones). Así también se muestran datos del porcentaje de fósforo contenido en el tejido de la parte aérea de las plantas.

En las gráficas 1, 3 y 5, se muestra de manera más objetiva la determinación de los datos de rendimiento de materia seca por corte, fuente y dosis; y en las gráficas 2, 4 y 6, las cantidades de fósforo extraído por las plantas por cortes, fuentes y dosis; así como los contenidos de fósforo en el tejido vegetal aéreo expresado en por ciento en relación a materia seca.

6.1. Análisis Estadístico:

En los cuadros 4, 5 y 6, se indican los resultados de los análisis estadísticos de los datos de producción de materia seca.

El análisis de varianza efectuado con los datos de la producción de materia seca, nos indica lo siguiente:

En cuanto al comportamiento de las fuentes fertilizantes, -

el mejor rendimiento se obtuvo para el fosfato de amonio y el super simple, que fueron estadísticamente iguales. En segundo lugar el super simple (S.S.) y el super triple (S.T.), que estadísticamente son iguales, por lo tanto, sólo hubo diferencia entre el fosfato de amonio y super triple:

FA SS ST

a

ab

b

Todo ésto nos indica que no hubo efecto significativo entre las tres fuentes, por lo tanto, las fuentes son iguales.

En cuanto a la dosis, la de 600 Kg/Ha fue estadísticamente mayor a las demás, la de 300 Kg/Ha mayor que la de 125 y 80 Kg/Ha, la de 125 y 80 Kg/Ha fueron estadísticamente iguales y menores que las anteriores 600, 300, 125, 80

a

b

c c

Indicando ésto que el suelo libera el fósforo después de una dosis de 125 Kg/Ha.

6.2. Análisis de Resultados por Corte:

Corte 1. Como se puede apreciar en el cuadro 1 y gráfica 1, las fuentes fertilizantes presentaron elevados incrementos en la producción de materia seca comparados con el testigo, así como también los hubo en cuanto a la absorción de fósforo por bolsa, gráfica 2 y el porcentaje de fósforo asimilable en el tejido vegetal.

Para la dosis de 80 Kg/Ha. La fuente que presentó mayor incremento en contenido de materia seca, fue la del fosfato de amonio con 141%, siguiéndole el super triple con un 113% y por último el super simple con 60%, en comparación con el testigo.

Para la misma dosis, la mayor absorción de fósforo correspondió al fosfato de amonio con 177%, siguiéndole el super triple con 145% y por último el super simple con 104% en comparación con el testigo, manteniéndose en todos los casos una clara relación con los incrementos de materia seca.

En la dosis de 125 Kg/Ha, en la producción de materia seca, el fosfato de amonio presentó mayor incremento, siendo éste de 145%, enseguida el super simple con 126% y por último el super triple con 122%. En cuanto a la absorción de fósforo el mayor incremento correspondió al super simple con 218%, en segundo término el fosfato de amonio con 204% y por úl-

timo el super triple con 172% en comparación al testigo. En esta dosis no se presentó relación de la absorción de fósforo con el contenido de materia seca por cada fuente. En cambio se encontró relación entre la absorción de fósforo y el contenido de fósforo en por ciento en tejido vegetal aéreo.

Para la dosis de 300 Kg/Ha en producción de materia seca, el super simple y el fosfato de amonio presentaron el mismo incremento, siendo de 343%, correspondiendo con la absorción de fósforo y con el contenido de fósforo en % en tejido vegetal, y por último el super triple con 315%, siendo poca la diferencia con los anteriores y por consiguiente no habiendo efecto entre las fuentes. Se presentó relación entre el incremento de materia seca, fósforo absorbido y el % de fósforo en tejido vegetal.

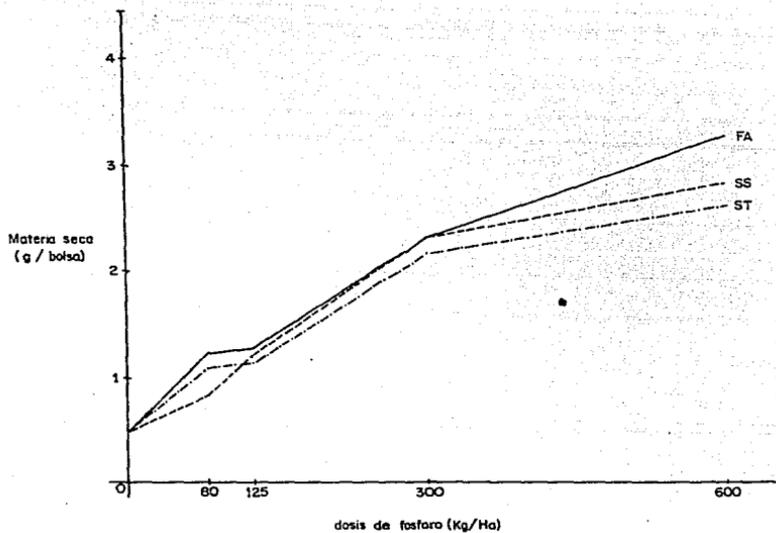
Para la dosis de 600 Kg/Ha, en la producción de materia seca, el fosfato de amonio presentó mayor incremento siendo de 532% comparado con el testigo, siguiéndole el super simple con 433% y por último el super triple con 400%, siendo poca la diferencia entre los dos últimos. La absorción de fósforo presentó el mismo orden de incremento, estando en relación con el contenido de materia seca y asimismo, con el % de fósforo en tejido vegetal aéreo.

Cuadro 1 Rendimiento en materia seca y fósforo extraído por el pasto Ballico en el primer corte

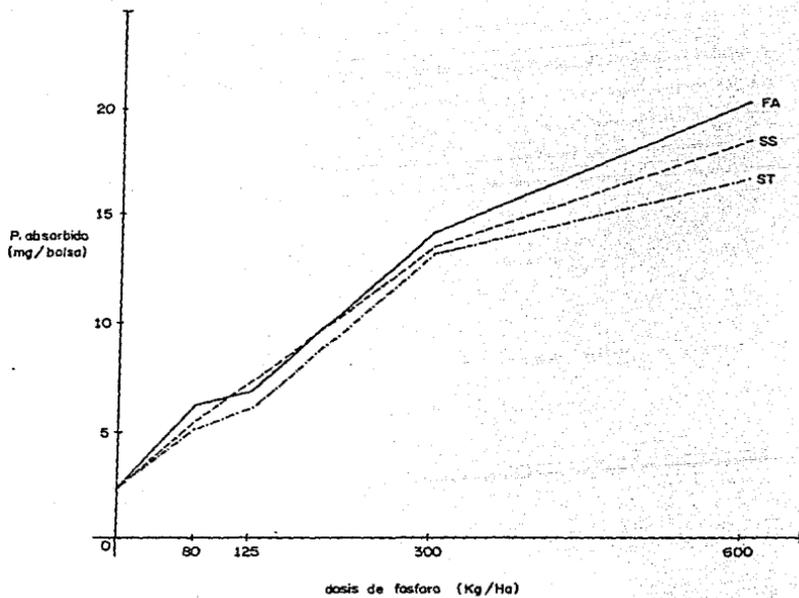
43

FUENTE / DOSIS	PRODUCCION DE MATERIA SECA (gr / bolsa) % incremento	FOSFORO EXTRAIDO POR LA PARTE AEREA DE LA PLANTA (mg / bolsa)	CONTENIDO DE FOSFORO EN TEJIDO (%)
TESTIGO	0.53	2.2	0.47
SS-80	0.85	4.5	0.53
SS-125	1.20	7.0	0.58
SS-300	2.35	13.2	0.56
SS-600	2.88	18.4	0.64
ST-80	1.13	5.4	0.48
ST-125	1.18	6.0	0.31
ST-300	2.20	13.4	0.61
ST-600	2.65	16.1	0.63
FA-80	1.28	6.1	0.48
FA-125	1.30	6.7	0.52
FA-300	2.35	14.1	0.60
FA-600	3.35	20.1	0.60

Los datos representan el promedio de 3 repeticiones



Gráfica 1. Rendimiento de materia seca por fuente y dosis en el primer corte.



Gráfica 2. Cantidad de fósforo absorbido por fuente y dosis en el primer corte.

En general en el 1er. corte, el fosfato de amonio es la fuente que mejores resultados obtuvo para todas las dosis, tanto en rendimiento de materia seca como en la absorción de fósforo por la planta. En cuanto al contenido en % de fósforo en tejido, el super simple fué la fuente con mayores resultados seguido en segundo término por el super triple y por último el fosfato de amonio, siendo éste superior al testigo; lo que quiere decir que el % de fósforo en tejido no se encuentra en estrecha relación con la producción de materia seca y la absorción de fósforo por las plantas.

En el segundo corte, cuadro 2 y gráfica 3, el rendimiento de materia seca disminuyó para todas las fuentes, dosis y testigo con relación al primer corte. Por otro lado aumentó el contenido de fósforo en el tejido vegetal con relación al primer corte, gráfica 4.

Par la dosis de 80 Kg/Ha las tres fuentes mostraron el mismo rendimiento, con un 44% en relación al testigo, variando en cambio la cantidad de fósforo absorbido, siendo la más alta para el fosfato de amonio, con 9% en relación al testigo, en segundo lugar se presentó el super triple con un 16% menor que el testigo. En cuanto al contenido de fósforo en el tejido, fué más alto para el fosfato de amonio, siguiéndole el super triple y por último el super simple, siendo estos dos últimos menores que el testigo.

Para la dosis de 125 Kg/Ha, el fostado de amonio se mostró superior con 74% en relación al testigo, siguiéndole el super triple con 48% y por último el super simple con 44%, observándose poca diferencia entre las dos últimas. En cuanto a la absorción de fósforo, se observó que el fosfato de amonio fué el mejor, con un 20%, seguido por el super simple y super triple con el mismo incremento de 13%; mostrando poca diferencia con el fosfato de amonio.

En la dosis de 300 Kg/Ha no se observó gran diferencia entre fuentes, siendo el super simple el de mayor rendimiento con 67% en relación al testigo, después el fosfato de amonio con 60%, y por último el super triple; lo cual quiere decir que las tres fuentes presentaron el mismo comportamiento en esta dosis. En la absorción de fósforo, se presentó el mismo incremento que en la producción de materia seca, teniendo también la misma relación de incremento para el contenido de fósforo en tejido vegetal.

Para la dosis de 600 Kg/Ha el fosfato de amonio mostró un incremento en materia seca de 369% en relación al testigo, en seguida el super simple con 313%, habiendo poca diferencia con el super triple que presentó un incremento de 304%.

La absorción de fósforo estuvo relacionada con el incremento de materia seca, obteniendo el fosfato de amonio un

143% en relación al testigo, siguiendo el super simple con 86% y teniendo un aumento para el super triple con un 125%.

En general el fosfato de amonio es la fuente que presentó una mayor eficiencia en las dosis (125, 300 y 600 Kg/Ha), en cuanto a producción de materia seca y buena relación con la absorción de fósforo, así como también en el contenido de fósforo en tejido vegetal, excepto en la dosis de 80 Kg/Ha en donde el super simple fué el que presentó mayor producción de materia seca, siendo de 46% en relación al testigo, seguido en segundo término por el fosfato de amonio y el super triple con 44%, no existiendo gran diferencia entre las tres fuentes. La mayor absorción de fósforo fué para el super triple con 31%, siguiendo con poca diferencia el fosfato de amonio y el super simple con 15 y 6% respectivamente, en relación al testigo. El contenido de fósforo en tejido fué de 14% para las tres fuentes en relación al testigo.

En la dosis de 125 Kg/Ha, el fosfato de amonio fué el que presentó mayor producción de materia seca, siguiendo el super simple y por último el super triple, no habiendo mucha diferencia entre las dos primeras, siendo de 38, 36 y 10% en relación al testigo. La absorción de fósforo fué mayor para el fosfato de amonio con 22% y con poca diferen

cia entre el super simple y super triple de 6 y 5% respectivamente en relación al testigo. El contenido de fósforo en tejido fué mayor para el fosfato de amonio, siendo un poco menor que la dosis anterior. El segundo lugar fué para el super triple, siendo mayor que la dosis anterior y no concordando con el contenido de materia seca y la absorción de fósforo. Por último el super simple con un porcentaje mayor que la dosis anterior y guardando buena relación con el contenido de materia seca y la absorción de fósforo.

En la dosis de 300 Kg/Ha se observa poca diferencia entre las tres fuentes; con un porcentaje de incremento en materia seca en relación al testigo de 65, 53 y 50% para fosfato de amonio, super triple y super simple respectivamente.

La absorción de fósforo presentó una estrecha relación con el rendimiento de materia seca, siendo mayor para el fosfato de amonio con 48, 41% para el super triple y 34% para el super simple. El contenido de fósforo por bolsa resultó superior para el super triple y con poca diferencia entre el fosfato de amonio y el super simple.

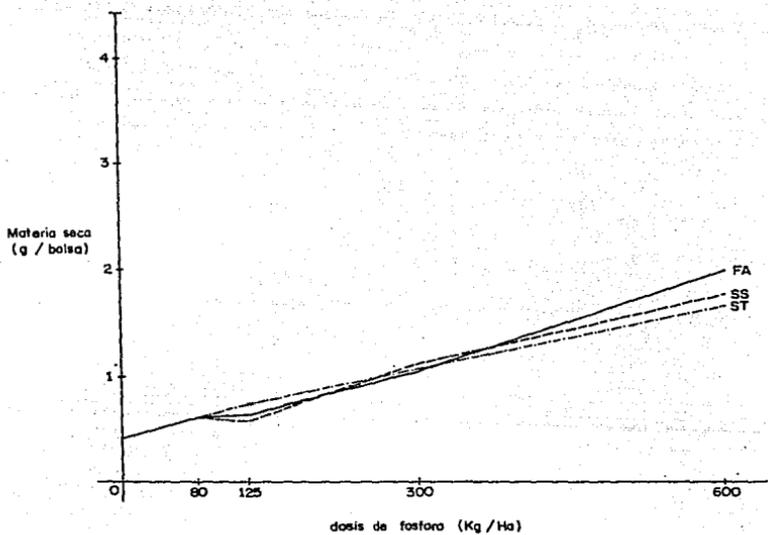
En la dosis de 600 Kg/Ha se observa para materia seca, que el fosfato de amonio fué superior, con 98% en relación al testigo, siguiéndole el super simple con 93%, y por último el super triple con 81%; no existiendo gran diferencia -

Cuadro 2 Rendimiento en materia seca y fosforo extraido por el pasto Ballico en el segundo corte

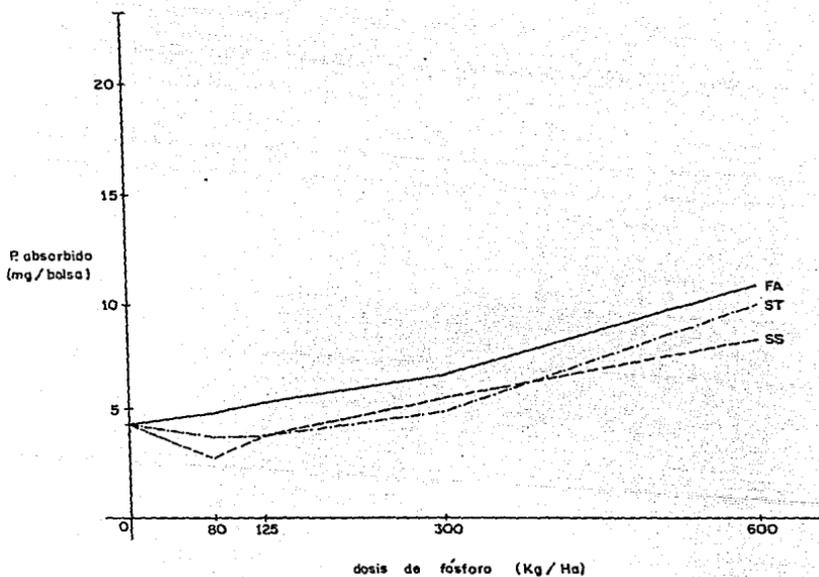
50

FUENTE / DOSIS	PRODUCCION DE MATERIA SECA (gr. / bolsa) % incremento	FOSFORO EXTRAIDO (mg / bolsa)	CONTENIDO DE FOSFORO EN TEJIDO (%)
TESTIGO	0.43	4.4	0.76
SS 80	0.63	2.8	0.53
SS 125	0.62	3.8	0.62
SS 300	1.15	5.5	0.48
SS 600	1.78	8.2	0.46
ST 80	0.62	3.7	0.60
ST 125	0.64	3.8	0.60
ST 300	1.09	4.9	0.45
ST 600	1.74	9.9	0.57
FA 80	0.62	4.8	0.77
FA 125	0.75	5.3	0.70
FA 300	1.12	6.6	0.59
FA 600	2.02	10.7	0.53

Los datos representan el promedio de 3 repeticiones



Gráfica 3. Rendimiento de materia seca por fuente y dosis en el segundo corte.



Gráfica 4. Cantidad de fósforo absorbido por fuente y dosis en el segundo corte.

entre las fuentes para esta dosis. En la absorción de fósforo, se presentó un incremento de acuerdo con el incremento de materia seca, siendo mayor para el super simple con 51, 50% para el fosfato de amonio y por último el super triple con sólo 3% en relación al testigo. El contenido de fósforo en tejido vegetal se comportó de acuerdo al incremento de materia seca y a la absorción de fósforo para las tres fuentes. En esta dosis el fosfato de amonio resultó ser el más eficiente seguido por el super simple.

En el 3er. corte, como se puede apreciar en el cuadro 3, gráfica 5 y 6, para la dosis de 80 Kg/Ha, el super simple fué el que presentó mayor rendimiento de materia seca, siendo de 46% en relación al testigo, siguiéndole el fosfato de amonio y el super triple con 44%; no existiendo gran diferencia entre las tres fuentes fertilizantes. La mayor absorción de fósforo fué para el super triple con 31%, siguiéndole con poca diferencia el fosfato de amonio y el super simple con 15 y 6% con relación al testigo. El contenido de fósforo en tejido fué de 14% para las tres fuentes con relación al testigo.

En la dosis de 125 Kg/Ha, el fosfato de amonio presentó mayor rendimiento en materia seca, siguiéndole el super simple y por último el super triple, no habiendo gran diferencia entre los dos primeros siendo de 38, 36 y 10% con

relación al testigo. La absorción de fósforo, gráfica 6, -
fué mayor para el fosfato de amonio con 22%, y con poca di-
ferencia entre el super simple y el super triple, siendo -
de 6 y 5% respectivamente en relación al testigo. El con-
tenido de fósforo en tejido vegetal fué mayor para el fos-
fato de amonio, siguiéndole el super triple y por último -
el super simple.

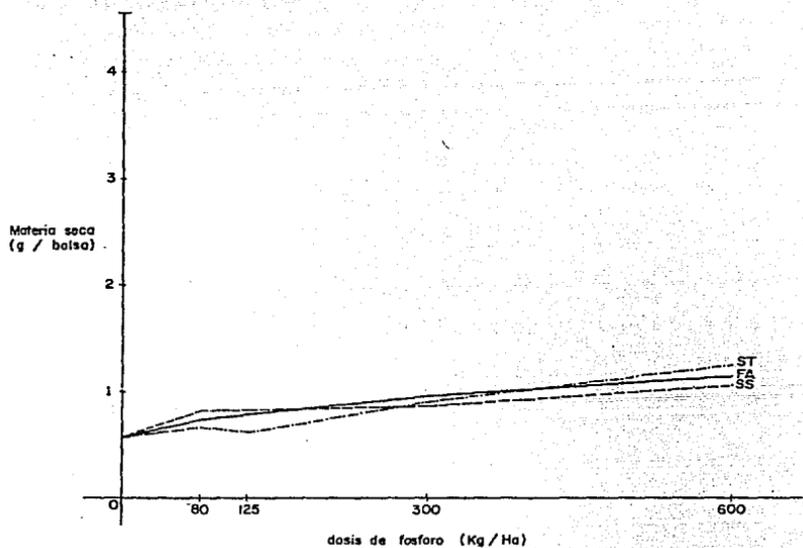
En la dosis de 300 Kg/Ha, para esta dosis se observa en el
rendimiento de materia seca poca diferencia entre las tres
fuentes fertilizantes, teniendo un porcentaje de incremen-
to con relación al testigo de 65, 53 y 50% para fosfato de
amonio, super triple y por último el super simple respecti-
vamente. La absorción de fósforo presentó una estrecha re-
lación con el rendimiento de materia seca, siendo mayor -
para el fosfato de amonio con 48 y 41% para el super triple
y 34% para el super simple. En cuanto al contenido de fós-
foro en el tejido vegetal, éste se presentó superior para
el super triple y con poca diferencia entre el super simple
y fosfato de amonio.

En la dosis de 600 Kg/Ha, se observa, para materia seca -
que el fosfato de amonio fué superior con 98%, siguiéndole
el super simple con 93% y por último el super triple con -
81% en relación al testigo; no habiendo gran diferencia -
entre las fuentes fertilizantes para esta dosis. En la -

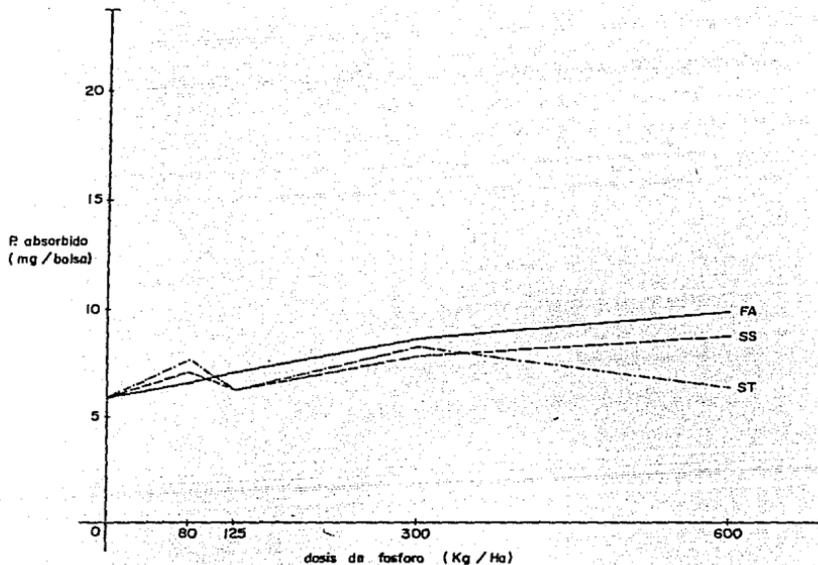
Cuadro 3 Rendimiento en materia seca y fosforo extraido por el pasto Ballico en el tercer corte

FUENTE / DOSIS	PRODUCCION DE MATERIA SECA (gr / bolsa) % incremento	FOSFORO EXTRAIDO (mg / bolsa)	CONTENIDO DE FOSFORO TEJIDO (%)
TESTIGO	0.60	5.8	0.76
SS-80	0.85	7.0	0.83
SS-125	0.82	6.2	0.76
SS-300	0.90	7.8	0.84
SS-600	1.16	8.8	0.76
ST-80	0.74	7.6	0.90
ST-125	0.66	6.1	0.93
ST-300	0.92	8.2	0.90
ST-600	1.09	6.0	0.55
FA-80	0.77	6.7	0.87
FA-125	0.83	7.1	0.86
FA-300	0.99	8.6	0.87
FA-600	1.19	8.7	0.73

Los datos representan el promedio de 3 repeticiones



Gráfica 5. Rendimiento de materia seca por fuente y dosis en el tercer corte.



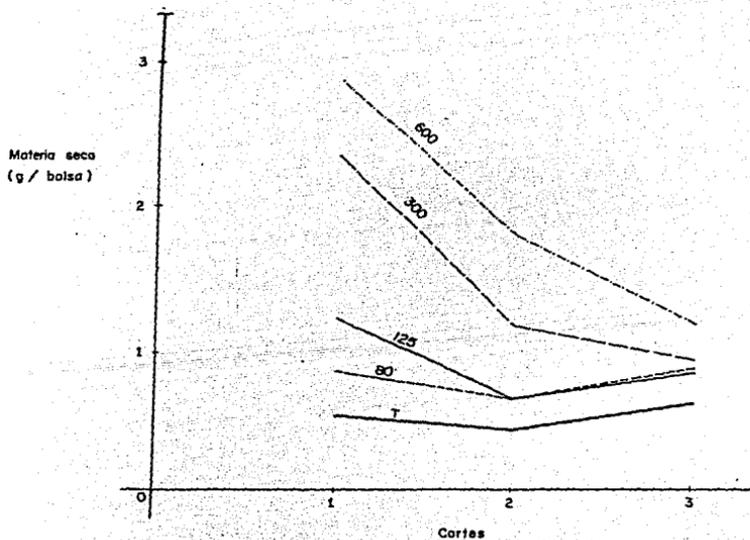
Gráfica 6. Cantidad de fósforo absorbido por fuente y dosis en el tercer corte.

absorción de fósforo, se presenta un incremento de acuerdo al incremento de materia seca, siendo mayor para el super simple con un 50%, 51% para fosfato de amonio y por último el super triple con un 3% en relación al testigo. El contenido de fósforo en tejido vegetal se comportó de acuerdo al incremento de materia seca y a la absorción de fósforo para las tres fuentes.

6.3. Análisis de Resultados por Fuente Fertilizante:

Para la fuente super simple (S.S.), en la gráfica 7, se observa la secuencia que presentó el rendimiento de materia seca a través de tres cortes con las 4 dosis y el testigo; podemos observar que las 4 dosis presentaron una producción de materia seca mayor que el testigo, también se observa, sobre todo en las dosis de 600 y 300 Kg/Ha (que obtuvieron los más altos incrementos), una disminución en la producción de materia seca a través de los tres cortes, siendo más alta en el primer corte. Las dosis de 80 y 125 Kg/Ha, presentaron cierta similitud, siendo mayor la de 125 Kg/Ha sólo en el primer corte. El rendimiento del testigo permaneció casi constante sólo con un ligero incremento en el tercer corte.

La reducción del rendimiento en las 4 dosis, al segundo y tercer corte seguramente se debe a que las plantas absor-

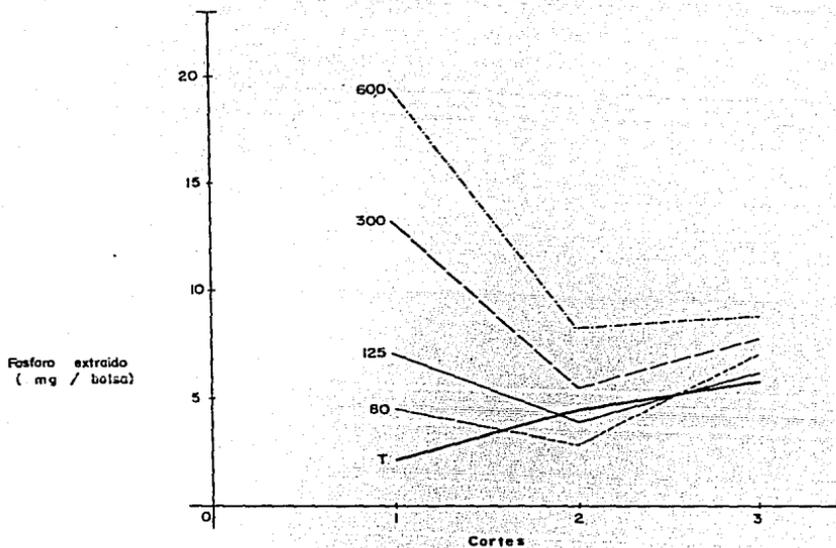


Gráfica 7. Rendimiento medio de materia seca -
por corte con diferentes dosis de -
Super Simple.

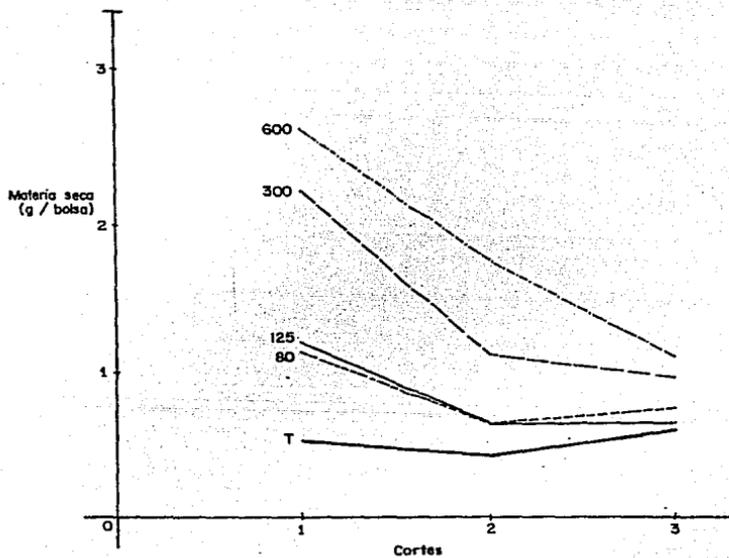
bieron la mayor parte del fósforo aplicado, durante el primer corte, gráfica 8, quedando solamente el fósforo nativo del suelo, ya que los rendimientos tienden a ser semejantes al testigo.

Para la fuente super triple, se observa en la gráfica 9, que los rendimientos de materia seca siguen el mismo comportamiento que en el super simple, es decir, las dosis de 600 y 300 Kg/Ha, fueron las que presentaron los más altos rendimientos, siendo mayor la de 600 Kg/Ha con marcada diferencia en relación a la de 300 Kg/Ha, ésta a su vez presentó diferencia comparada con la de 125 Kg/Ha. Las dosis de 125 y 80 Kg/Ha, no mostraron diferencia, teniendo por lo tanto el mismo efecto. En cuanto al testigo, éste mostró un rendimiento más ó menos constante, con un ligero incremento en el tercer corte. Al igual que la fuente anterior también se observa en el tercer corte la reducción del rendimiento en las 4 dosis con tendencia a igualar al testigo, debido a que las plantas absorbieron en el primer corte la mayor parte del fósforo aplicado (gráfica 10), quedando solamente el fósforo nativo del suelo.

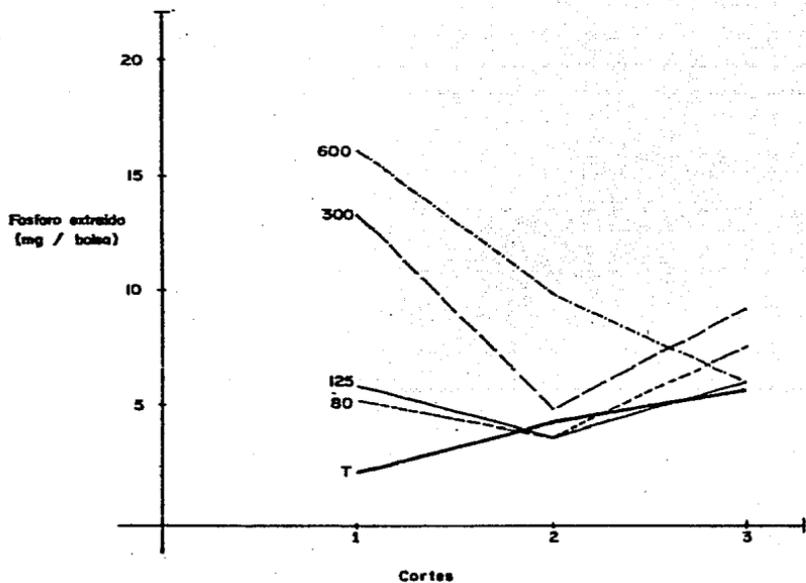
Para la fuente fosfato de amonio, se observa en la gráfica 11, como en las fuentes anteriores, que las 4 dosis presentaron rendimientos mayores al testigo en producción de materia seca. La dosis de 600 Kg/Ha presentó mayor incre -



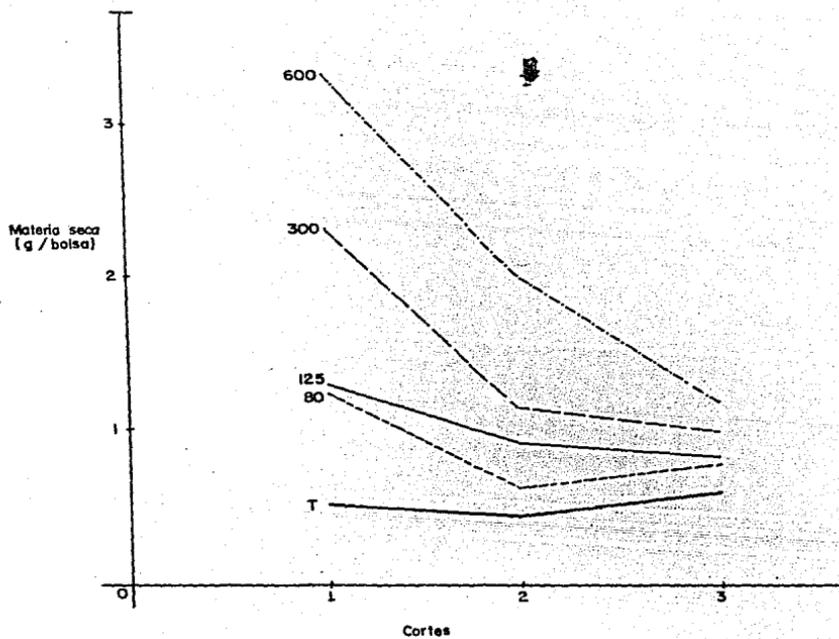
Gráfica 8. Cantidad de fósforo extraído por corte con diferentes dosis de Super Simple.



Gráfica 9. Rendimiento medio de materia seca por corte con diferentes dosis de Super Triple.



Gráfica 10. Cantidad de fósforo extraído por corte con diferentes dosis de Su per Triple.



Gráfica 11. Rendimiento medio de materia seca por corte con diferentes dosis de Fosfato de Amonio.

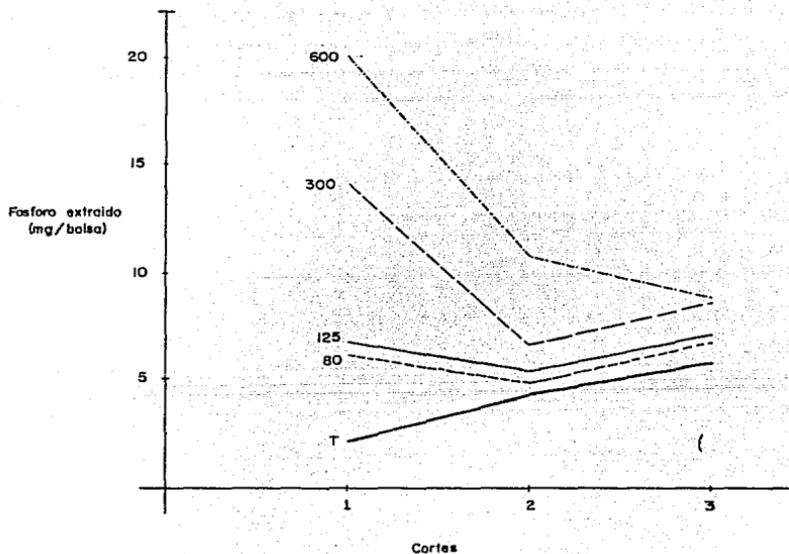
mento, siguiendo la de 300 Kg/Ha con marcada diferencia en relación a las de 125 y 80 Kg/Ha, que a su vez mostraron el mismo efecto.

De igual manera que las fuentes anteriores, en el tercer corte se presentó poca diferencia entre las 4 dosis y el testigo, debido a que el fósforo del fosfato de amonio aplicado también se absorbió en gran medida en el primer corte (gráfica 12).

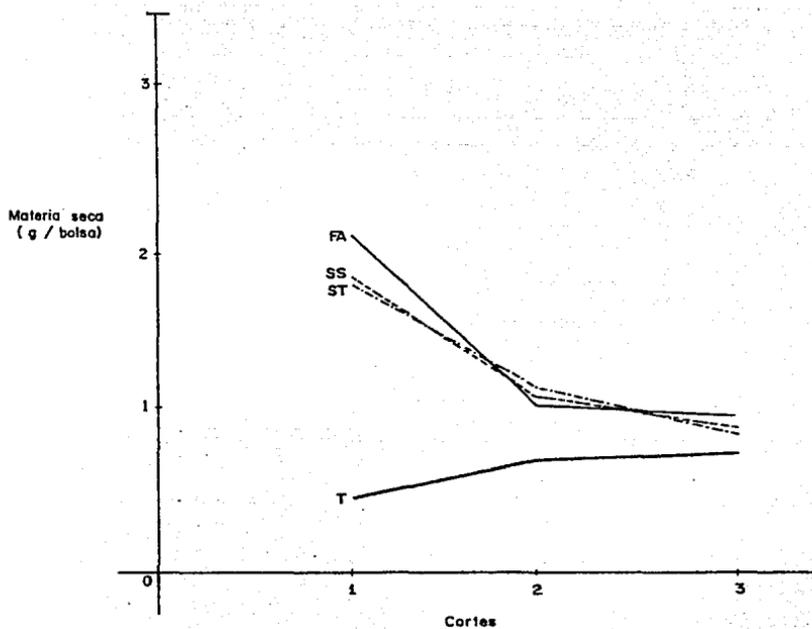
En general para las tres fuentes de fósforo se observa un decremento en la producción de materia seca con relación al tiempo, es decir, del primer al tercer corte (gráfica 13).

El fosfato de amonio fué la fuente que presentó mayores rendimientos considerando los tres cortes, en producción de materia seca (gráfica 14), concordando con el porcentaje de fósforo absorbido por las plantas (gráfica 15), seguido por el super simple y después el super triple, aunque en las dosis más bajas 80 y 125 Kg/Ha, los rendimientos del super triple, fueron ligeramente superiores que las del super simple.

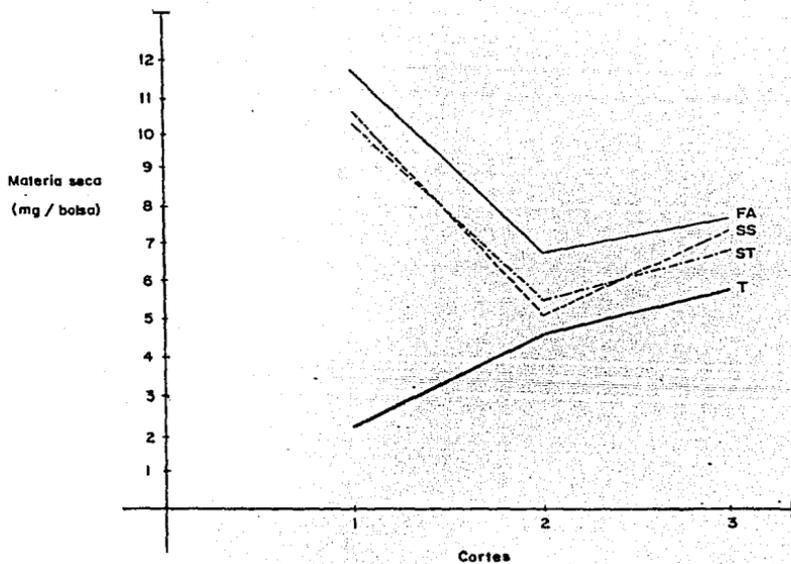
Los datos de producción de materia seca se muestran perfectamente relacionados con la cantidad de fósforo absorbido por la planta, considerando los tres cortes (gráfica 16):



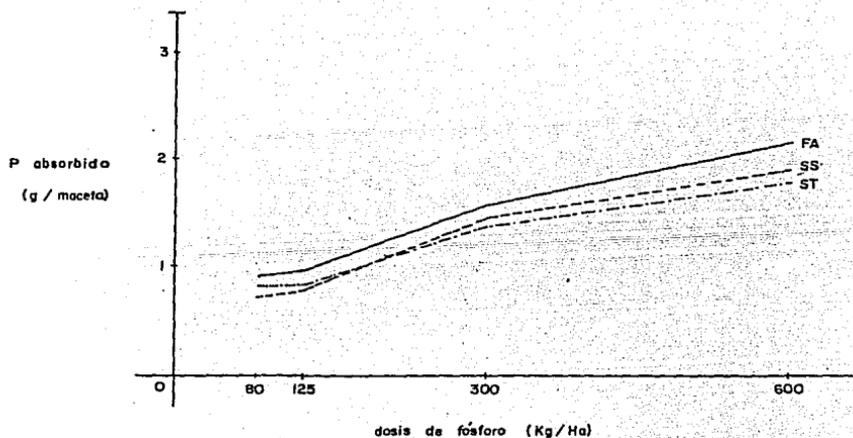
Gráfica 12. Cantidad de fósforo extraído por corte con diferentes dosis de Fosfato de Amonio.



Gráfica 13. Rendimiento de materia seca por corte para las tres diferentes fuentes.

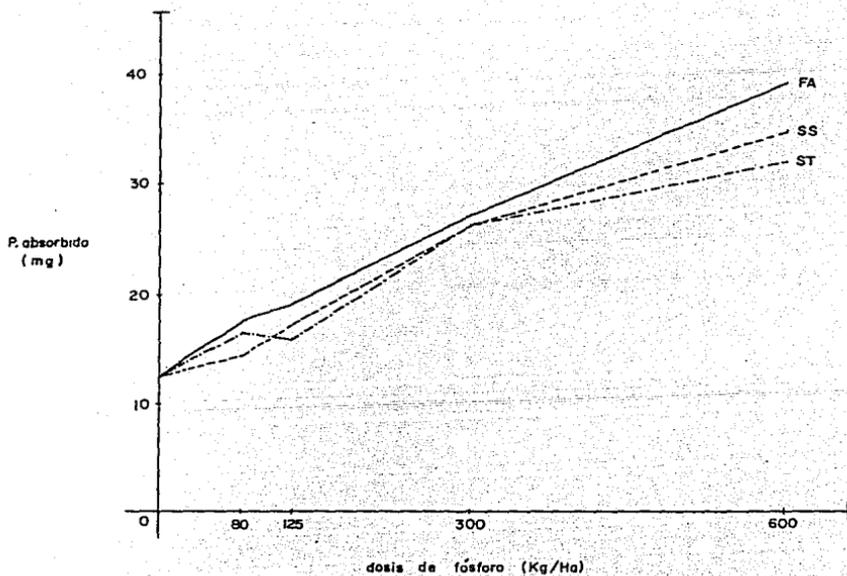


Gráfica 14. Producción media de materia seca -
por corte para las tres diferentes
fuentes.



Gráfica 15. Absorción de fósforo por dosis para las tres diferentes fuentes.

(Suma de los promedios de los tres cortes).



Gráfica 16. Absorción de fósforo por dosis para las tres diferentes fuentes.

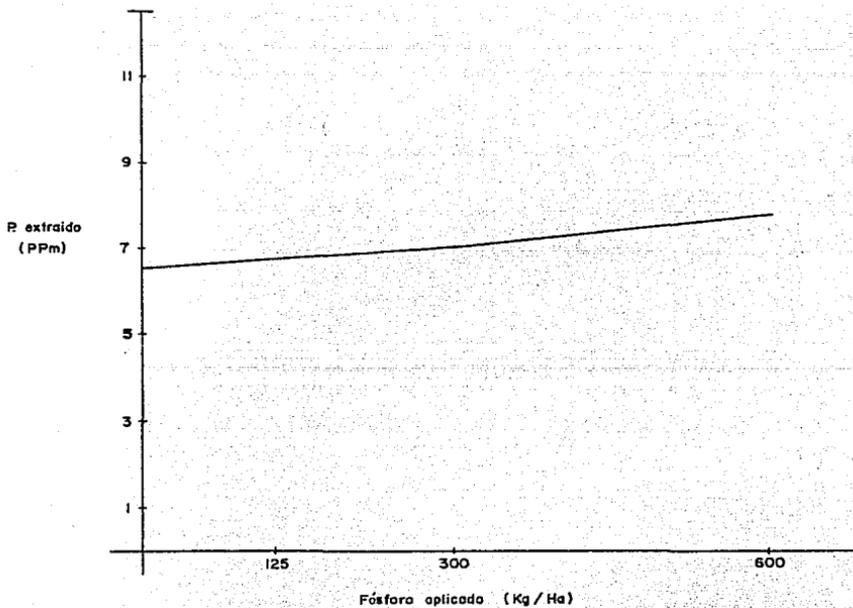
(Suma de los tres cortes).

el fosfato de amonio es el que se absorbió en mayor cantidad en todas las dosis, seguido por el super simple y después por el super triple y aquí también se aprecia que en las dosis bajas 80 y 125 Kg/Ha el super triple se absorbe en mayor cantidad que el super simple.

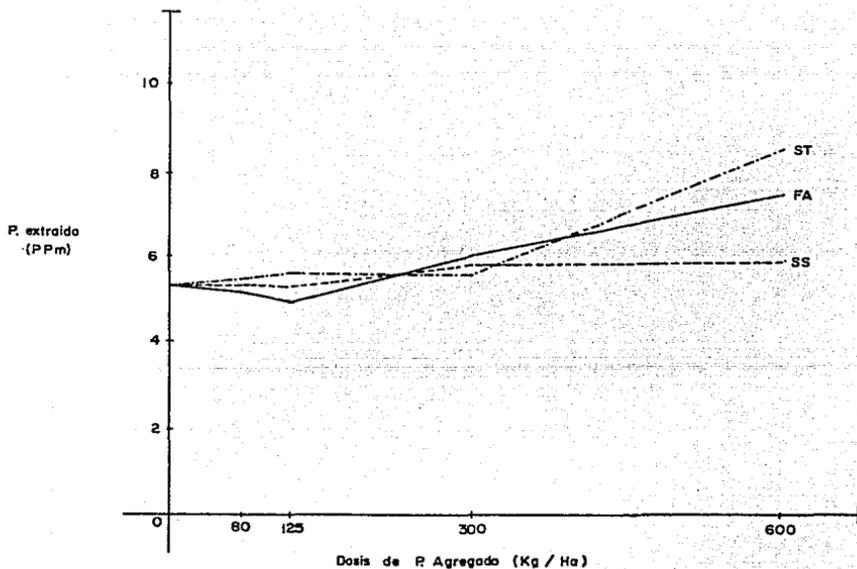
En el ensayo de la fijación de fósforo en laboratorio por el método de incubación con la sal de fosfato de potasio (gráfica 7), se puede observar un alto grado de fijación a través de las dosis agregadas, encontrándose una mínima liberación después de la dosis de 125 Kg/Ha. Con este mismo método, usando materiales fertilizantes, utilizados en el trabajo (gráfica 13), se encontró casi la misma relación entre la sal fosfato de potasio y la fuente super simple para todas las dosis. Para la fuente super triple, siendo ésta la que presentó mejores resultados en la dosis de 600 Kg/Ha, muestra una liberación después de los 300 Kg/Ha; siendo lo mismo para la fuente fosfato de amonio.

Los resultados obtenidos en laboratorio con materiales fertilizantes, no presentan diferencias en la liberación de fósforo con los de la parte biológica (pasto ballico), para la dosis de 80, 125 y 300 Kg/Ha.

En cuanto a la dosis de 600 Kg/Ha el super triple fué la fuente que mayor disponibilidad presentó, siguiéndole el



Gráfica 17. Ensayo de fijación de fósforo por incubación en laboratorio con la sal de Fosfato de Calcio. $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.



Gráfica 18. Ensayo de fijación de fósforo por incubación en laboratorio para las tres fuentes fertilizantes utilizadas en el trabajo.

fosfato de amonio y por último y sin ninguna diferencia -
con la dosis de 300 Kg/Ha el super simple.

Asimismo también se encontraron diferencias en la dosis de
600 Kg/Ha con la parte biológica, ya que el fosfato de amo
nio fué el más eficiente y en seguida el super simple y en
último lugar el super triple, debido ésto a que el método -
rápido de incubación utilizado en laboratorio para determi
nar la fijación de fósforo no está debidamente calibrado -
para todos los materiales fertilizantes.

CONCLUSIONES

Todas las fuentes en las 4 dosis, presentaron en producción de materia seca, absorción de fósforo por las plantas y el contenido de fósforo en tejido vegetal, mayores incrementos que el testigo.

De las fuentes probadas, el fosfato de amonio mostró ser la más eficiente, siguiendo el super simple y por último el super triple.

Estadísticamente las tres fuentes no presentaron diferencias significativas.

Las fuentes presentaron elevados incrementos en el primer corte, decreciendo para el segundo y tercero en materia seca, por lo tanto, se concluye que las tres fuentes presentaron una rápida liberación de fósforo, estando de acuerdo en esto con Peralta, que menciona a Novoa, quién concluyó que las fuentes fertilizantes de rápida liberación son las que presentaron más altos rendimientos en las primeras etapas de crecimiento.

Respecto a la dosis, la de 600 Kg/Ha fué mejor que la de 300 Kg/Ha y a su vez ésta fué mejor que la de 125 Kg/Ha, sólo siendo igual la de 125 y 80 Kg/Ha. Concluyendo que todas las fuentes liberaron el fósforo después de 125 Kg/Ha

En relación al fósforo absorbido podemos decir que presentó estrecha relación con la producción de materia seca, para todas las fuentes y dosis.

A través del experimento y bajo condiciones de invernadero, el ballico italiano respondió favorablemente a la aplicación de las tres fuentes fosfatadas.

El suelo de la FES-C, no presenta problemas marcados de fijación de fósforo, ya que se observa respuesta de la planta a dosis bajas de fósforo.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Arnon, L.M. 1960. Diccionario de fertilizantes, guanos y fertilizantes de México, S.A., boletín 25-28.
- 2.- Arroyave, J.J. 1977. Eficiencia de distintas técnicas de aplicación de roca fosfórica.
- 3.- Baldovinos, F. 1969. Memorias del IV Congreso de la S.M.C.S., II Tomo.
- 4.- Bear, E.F. 1964. Chemistry of soil cap. IX. soil fixation of plant nutrients.
- 5.- Blak, A.C. 1975. Relaciones suelo planta, tomo II, editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina.
- 6.- Bucman, H. y Bray. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos, editorial UTEA, 450-56.
- 7.- Cetenal. 1979. Carta geológica Cuautitlán E 14-A-29, segunda impresión, Secretaría de Programación y Presupuesto, México 1979.
- 8.- Coleman, R. 1942. Utilización of absorsed phosphates by coton and oats soil Sci 54: 237-246.

- 9.- M. C. De la Teja A. O. 1985. Notas del curso de fertilidad de los suelos. FES-C, México.
- 10.- Duch G.J. 1972. Eficiencia de tres fuentes de fósforo en tres suelos de Chapingo, México. Tesis de licenciatura, ENA-Chapingo, Méx.
- 11.- Hughes, H.D. 1976. Forrajes, la ciencia de la Agricultura basada en la producción de pastos Ed. Continental S.A., México.
- 12.- Fassbender, H.W. 1969. Relación y transformación de fosfatos en ocho latosoles de la Amazonas del Brasil. Fitotécnica Latinoamericana G: 1-9.
- 13.- Gaucher, G. El suelo y sus características agronómicas, 2a. edición, ed. OMEGA, España.
- 14.- Chang, S.C. and Jackson M.L. 1968. Fosforus fractionation in some representative soil, Journal Sci. vol 9: 109-19.
- 15.- Gile, L.P. 1933. The effect of deferent colloidal Soil matereales on the efficiency of superphosphates. U.S.D.A. Tech Bull 371.
- 16.- González. S.J. 1970. Evaluación de la fijación y

disponibilidad del fósforo en 14 suelos -
en Guatemala, tesis de licenciatura.

- 17.- Jackson, M.L. 1964. Análisis químicos de suelos, ed. Omega, S.A. Barcelona, España.
- 18.- Núñez, E.R. 1970. Notas del curso de fertilidad de -
de los suelos, ENA-Chapingo, México.
- 19.- Novoa, H.F. 1972. Eficiencia de cinco fuentes de fer-
tilización fosfatada en suelos de diferen-
tes capacidades de fijación de fósforo, -
tesis de licenciatura. ENA-Chapingo, Méx.
- 20.- Miramontes, F.B. 1972. Efectos del carbonato y silica
to de calcio sobre el rendimiento de sorgo
y algunas propiedades químicas en tres sue-
los de México. Tesis M.C. Colegio de Pos-
graduados-Chapingo, México.
- 21.- Muñozledo, J.E. 1969. Efecto de diferentes niveles y
formas de aplicación del fertilizante fos-
fórico en tres suelos sobre el rendimiento
de pasto ballico. Congreso Nacional de la
Ciencia del Suelo. Agosto 1969, tomo II, -
pag. 206-20.

- 22.- Ortega, E. 1969. Notas del curso de química de suelos ENA-Chapingo, México.
- 23.- Paterson, J. 1967. Fertilizantes agrícolas parte I: 22, ed. Acribia, Zaragoza, España.
- 24.- Peralta, H.L. 1973. Disponibilidad de cinco fertilizantes fosfatados en cuatro suelos. Tesis de M.C. ENA-Chapingo, México.
- 25.- Pérez, M.J. 1956. Estudio de invernadero y laboratorio sobre respuestas a fósforo en suelos de Michoacán. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, N.L.
- 26.- Rogers, H.P. and Ensminger J. 1953. Comparative efficiency of various phosphate fertilizer, chap. VII of monographs of the A.M. Soc. of agron 4: 189-90.
- 27.- Rone, P.J. 1980. Evaluación de la fertilidad fosfatada en suelos calcareos.
- 28.- Sánchez, D.M. y Pérez, M. 1959. Respuesta del maíz a fertilizantes y encalado en la sierra Tarasca de Michoacán, Agro-tec en México 9: 13-14.

- 29.- Tisdale S. y Nelson W. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes, ed. Montaner y Simon, SA.
- 30.- Vega, R.E., Dr. 1979. Evaluación de fuentes de fertilizantes fosfóricos en suelos con diferentes capacidades de fijación de fósforo. - Tesis de M.C. U.N.A.M.
- 31.- Velasco, M.H. 1969. Influencia de Ph y el CaCO_3 en la fijación de fosfatos en algunos suelos del norte de México. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Agosto 1969, tomo I, - pag. 347-51.

A P E N D I C E

TRATAMIENTO		R E P E T I C I O N E S			
Fuente	Dosis	I	II	III	
A	a	2.24	2.53	2.24	7.01
A	b	2.14	2.64	3.01	7.79
A	c	4.02	4.33	4.87	13.22
A	d	5.20	6.07	6.22	17.49
B	a	2.08	3.03	2.39	7.50
B	b	2.60	2.83	2.03	7.46
B	c	4.00	4.29	4.37	12.66
B	d	5.00	5.73	5.74	16.47
C	a	2.83	2.21	3.01	8.05
C	b	2.90	3.12	2.56	8.58
C	c	4.25	4.43	4.70	13.38
C	d	6.04	6.47	7.19	19.70
		43.30	47.68	48.33	139.31

$$F.C. = \frac{x^2}{abn} = \frac{19407.276}{36} = 539.09$$

A = S.S.

B = S.T.

C = F.A.

F V	SC	GL	CM	F. Cal	F de 0.05	Tabas 0.01
Tratamiento	74.0647	11	6.7331	33.41	2.61	4.02
Error	4.83	24	0.2015			
Dosis D	71.7506	03	23.9168	118.69	3.01	4.72
Fuente F	1.4243	02	0.7121	3.53	3.40	5.61
D x F	14.4249	06	0.6010	2.98	1.98	2.58
Total	78.0127	35	2.2289			

Cuadro 4 análisis de varianza

$$\begin{aligned} \text{S C Total} &= 2.14^2 + 2.53^2 + \dots + 6.47^2 + 7.19^2 - \text{F C} \\ &= 78.0127 \end{aligned}$$

S C Tratamientos:

$$\begin{aligned} \text{Fuentes} &= \frac{45.51^2 + 44.09^2 + 49.71^2}{12} - \text{F C} \\ &= 1.42435833 \end{aligned}$$

S C Tratamientos:

$$\begin{aligned} \text{Dosis} &= \frac{22.56^2 + 23.83^2 + 39.26 + 53.66}{9} - \text{F C} \\ &= 71.7506 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S C Fuente x Dosis} &= \frac{7.01^2 + 7.79 + \dots + 19.70}{12} - \text{F C} \\ &= - 385.801325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S C Tratamientos} &= \frac{7.01^2 + 7.79^2 + \dots + 13.38^2 + 19.70^2}{3} - \text{F C} \\ &= 74.0647 \end{aligned}$$

(Interacción)

$$\begin{aligned} \text{S C A x B} &= (626.60 - 539.09) - (1.4243 + 71.7506) \\ &= 87.5998 - 73.1749 \\ &= 14.4249 \end{aligned}$$

Prueba de Duncan. Fuente:

$$x_{a1} = \frac{45.51}{12} = 3.79$$

$$S_x = \frac{0.20}{12} = 0.129$$

$$x_{a2} = \frac{44.09}{12} = 3.67$$

$$x_{a3} = \frac{49.71}{12} = 4.14$$

$$G = 2 \quad 3$$

Tablas: ASS 2.92 3.07

$$x_3 \text{FA} \quad x_1 \text{SS} \quad x_2 \text{ST}$$

$$4.44 \quad 3.79 \quad 3.67 \quad = 0.05$$

Duncan 0.376 0.396

FA SS

g = 2

$$x_3 - x_1 = 0.35 \quad 0.376 \quad \text{NS}$$

SS ST

$$x_1 - x_2 = 0.12 \quad 0.376 \quad \text{NS}$$

FA ST

g = 3

$$x_3 - x_2 = 0.47 \quad 0.396 \quad **$$

FA SS ST

a a a

b b c

c c

Prueba de Duncan. Dosis:

$$x \text{ b } 1 = \frac{22.56}{9} = 2.506$$

$$S \text{ x } = 0.20 = 0.149$$

$$x \text{ b } 2 = \frac{23.83}{9} = 2.647$$

$$G = 2 \quad 3 \quad 4$$

$$x \text{ b } 3 = \frac{39.26}{9} = 4.362$$

Tablas ASS 3.96 4.14 4.24

$$x \text{ b } 4 = \frac{53.66}{9} = 5.962$$

0.01

Duncan 0.590 0.616 0.631

x_4	x_3	x_2	x_1
5.96	4.36	2.64	2.50

	$x_4 - x_3 = 1.60$	0.590	*				
$g = 2$	$x_3 - x_2 = 1.72$	0.590	*	4	3	2	1
	$x_2 - x_1 = 0.14$	0.590	NS	600,	300,	125,	80
				a			
	$x_4 - x_2 = 3.32$	0.616	*		b		
	$x_3 - x_1 = 1.86$	0.616	*			c	c
	$x_4 - x_1 = 3.46$	0.631	*				

Fuente Dosis	80	125	300	600	Ex i
SS	7.01	7.09	13.22	17.49	45.51
ST	7.50	7.46	12.66	16.47	44.09
FA	8.05	8.58	13.38	19.70	49.71
EX i	22.56	23.83	39.26	53.66	13.31

Cuadro 5 Total de peso seco de los 3 cortes (g/maceta) en cuanto a
fuente y dosis

Interacción Fuente-Dosis.

Diferencias entre dosis	SS	ST	FA
600 - 80	10.48	8.97	11.65
600 - 125	9.70	9.01	11.12
600 - 300	4.27	3.81	6.32
300 - 80	6.21	5.16	5.33
300 - 125	5.43	5.20	4.88
125 - 80	0.78 NS	-0.04 NS	0.53 NS

Cuadro 6 Interacción entre dosis con fuentes

$$\text{Duncan} = t \quad (\text{GL de error}) \quad \frac{s^2_{\text{error}}}{n} = 0.25$$

$$t = 36, \quad 0.01 = 0.68$$

$$t = 36, \quad 0.05 = 0.50$$