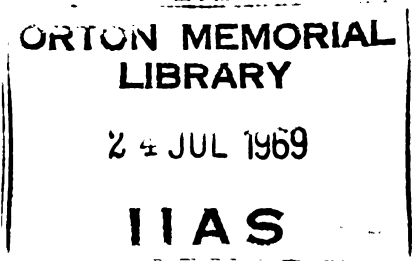


EFECTO DE FUENTES Y NIVELES DE FERTILIZACION FOSFATADA

EN PASTO PANGOLA (Digitaria decumbens, Stent)



Por

✓
Alfredo Gerardo Olivares Espinoza

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

Centro de Enseñanza e Investigación

Turrialba, Costa Rica

Julio, 1969

EFFECTO DE FUENTES Y NIVELES DE FERTILIZACION FOSFATADA
EN PASTO PANGOLA (Digitaria decumbens, Stent)

Tesis

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

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



Consejero

Hans W. Fassbender, Ph.D



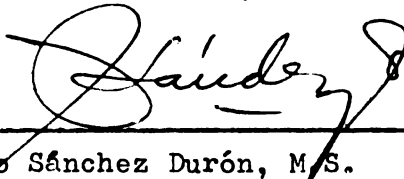
Comité

Adalberto Gorbitz, Ing.Agr.



Comité

Roberto Díaz Romeu, M.S.



Comité

Arturo Sánchez Durón, M.S.

Julio, 1969

A mi esposa

A mi hijo

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento a las siguientes instituciones y personas:

Al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile.

A los señores profesores Dr. Hans Fassbender, consejero principal, Ingenieros Adalberto Gorbitz, Roberto Díaz Romeu y Arturo Sánchez Durón, miembros del comité consejero, por el asesoramiento que hizo posible este trabajo.

Al Dr. Gilberto Páez, por su colaboración en el análisis estadístico.

Finalmente desea hacer extensivo su agradecimiento a los señores profesores, compañeros, personal auxiliar y todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron a la realización de la presente tesis.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Santiago, Chile en noviembre de 1939. Realizó sus estudios universitarios en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile, graduándose de Ingeniero Agrónomo en julio de 1963.

Desde entonces desempeña el cargo de profesor auxiliar del Departamento de Fitotecnia de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile.

En enero de 1968 ingresó a la Escuela para graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica, finalizando sus estudios de post-grado, en julio de 1969.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Características generales del pasto pangola	3
2.2. Fertilizantes experimentales	5
2.2.1. Fosfato de Renania	6
2.2.2. Superfosfato triple	8
2.3. Fertilización	9
2.3.1. Fertilización fosfatada	10
2.3.2. Efecto de la variación climática en la produc- ción del forraje y su fertilización	15
3. MATERIALES Y METODOS	18
3.1. Características principales del lugar	18
3.2. Características del suelo	19
3.2.1. Serie Colorado	22
3.2.2. Serie Instituto	23
3.3. Diseño experimental	27
3.4. Procedimiento experimental	28
3.4.1. Fertilización	28
3.4.2. Cortes	28
3.4.3. Toma de muestras	29
3.5. Análisis del forraje	29
3.6. Análisis estadístico	30
4. RESULTADOS Y DISCUSION	32
4.1. Serie Colorado	32
4.1.1. Efecto de fuentes y niveles de fósforo sobre el contenido foliar de fósforo, proteí <u>na</u> cal cio y materia seca	34

	<u>Página</u>
4.1.1.1. Fósforo	34
4.1.1.2. Proteína	38
4.1.1.3. Calcio	40
4.1.1.4. Materia seca	41
4.2. Serie Instituto	43
4.2.1. Efecto de fuentes y niveles de fósforo sobre el contenido foliar de fósforo, proteína, calcio y materia seca	46
4.2.1.1. Fósforo	46
4.2.1.2. Proteína	49
4.2.1.3. Calcio	50
4.2.1.4. Materia seca	52
4.3. Efectos comparativos en las dos series de suelo.	
5. CONCLUSIONES	55
6. RESUMEN	56
7. SUMMARY	58
8. LITERATURA CITADA	60

1. INTRODUCCION

La producción animal es el resultado de una serie de factores entre los cuales se destacan la alimentación, la sanidad y el manejo de los animales. En la alimentación del ganado se deben considerar composición química, consumo y utilización de los alimentos; este último factor depende del grado de aceptación que tenga por parte del animal, de su digestibilidad y estado físico (4).

La composición química de los pastos puede tener grandes variaciones ocasionadas por diferentes niveles de fertilización y características del suelo y también por las fluctuaciones del clima. Las variaciones de estos factores pueden dar lugar a notables cambios en el forraje tales como variaciones en el contenido de proteínas, calorías, fibra, minerales y en el aporte de micro y macro nutrimentos.

Desde el punto de vista de la relación entre las praderas y los animales que viven de ellas, los minerales de mayor importancia son aquellos cuya deficiencia en el forraje natural, causa trastornos nutricionales y fisiológicos al animal (16).

Se ha establecido que entre los elementos nutritivos, el fósforo es de gran importancia, junto con calcio y magnesio (16).

En América Latina, las áreas deficientes en fósforo son muy extensas, sobre todo en regiones con praderas naturales como es el caso de la totalidad del territorio de Uruguay y Paraguay, gran parte de Brasil, los llanos de Venezuela y Colombia, norte de México, etc. (14).

Entre los principales medios utilizados para mejorar la producción de las praderas y con ello la alimentación de animales en

pastoreo, el uso de fertilizantes y enmiendas son dos de los que con mayor énfasis se han desarrollado, debido a que no sólo incrementan el volumen y calidad de los pastos, sino que influyen en el mejoramiento general de toda la explotación agrícola.

En la actualidad se está desarrollando en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA un estudio de retención y transformación de fósforo en los suelos tropicales, en el cual se ha llegado a determinar la capacidad de retención de fósforo en los suelos de Centro América y el efecto de enmiendas silicatadas en el control de dicha fijación.

El presente trabajo, considerado dentro de este proyecto de investigación, tiene como objetivo comparar en condiciones de campo y en suelos con diferente capacidad de retención de fósforo, el uso de dos fuentes y cuatro dosis de fertilización fosfatada en el pasto pangola (Digitaria decumbens Stent.).

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Características generales del pasto pangola

El pasto pangola (Digitaria decumbens, Stent) fue introducido por primera vez a los Estados Unidos en 1935 desde Sudáfrica y debido a sus buenas características de producción y su valor nutritivo, se extendió rápidamente por el área tropical y subtropical latinoamericana, en especial en la Zona del Caribe (38).

Botánicamente fue clasificado dentro de la familia Graminae sub familia Panicoidea, tribu Paniceae (26).

Hitchcock (26) y Hodge et al. (27) lo describen como un pasto de hábito perenne, abundante en tallos decumbentes, intensamente estolonífero con gran cantidad de hojas, vainas glabras y algo sedoso en los entrenudos. Las flores masculinas y femeninas son altamente estériles por lo que sólo ocasionalmente se ha obtenido una planta producida por semillas (45).

Según Blaser et al. (6) y Oakes et al. (38), se adapta a un amplio rango de suelos y climas, pero se establece mejor en suelos fértiles, húmedos y con un pH entre 5,5 y 8,5. No crece bien en áreas inundadas, sino en suelos con buen drenaje, es muy tolerante a la sequía y requiere moderada humedad para establecerse y permanecer verde a través de la estación seca. Su agresividad es superior a muchas especies del trópico; esto le da ventaja para competir con las malezas, pero en cambio lo pone en desventajas para una posible asociación con leguminosas.

La composición química del pasto puede variar con la fertilización y la época del año en que se corte (13, 48), como lo indican los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Influencia de la fertilización en la composición química de pasto pangola*.
(Los valores están dados en por ciento de materia seca)

Tratamientos	Proteína	Ceniza	Ca	Mg	P	Grasa	Fibra	Extracto libre de N
Testigo	8,40	10,55	0,43	0,06	0,36	2,16	29,50	49,39
N	11,44	10,98	0,38	0,24	0,29	1,94	30,27	45,37
P	7,99	10,90	0,52	0,13	0,44	2,06	28,81	50,24
K	7,18	8,88	0,34	0,10	0,28	1,62	31,63	50,69

* Según de Alba (13).

Cuadro 2. Influencia de la época del año en la composición química del pasto pangola*.
(Los valores están dados en por ciento de materia seca)

FEBRERO				JUNIO				DICIEMBRE			
MS (%)	Ca	P	Proteína	MS (%)	Ca	P	Proteína	MS (%)	Ca	P	Proteína
27,5	0,36	0,23	14,25	20,2	0,45	0,19	10,05	25,4	0,14	0,28	8,58

* Según Velasco (48).

2.2. Fertilizantes experimentales

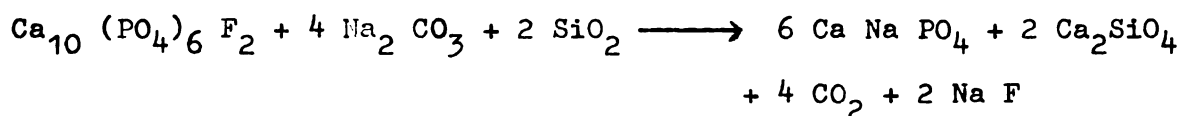
Los yacimientos de fosfatos minerales constituyen una de las reservas principales de fertilizantes fosfatados. Están formados, en su mayor parte por apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$), compuesto difícilmente soluble y en general no aprovechable por la planta (29). Por esta razón a comienzos del siglo pasado se inició el estudio para mejorar el grado de asimilabilidad de estos fosfatos (51, 52).

Existen tres tipos principales de procedimientos para convertir los fosfatos minerales en fertilizantes que contengan compuestos que sean más fácilmente aprovechables por las plantas (29, 52):

- a. Tratamiento del fosfato de la roca natural mediante ácidos.
- b. Tratamiento de la roca natural fosfatada con álcalis o sales alcalino térreas a elevadas temperaturas.
- c. Tratamiento de la materia prima con sílice y vapor de agua con altas temperaturas con el fin de remover el fluor de la materia prima por volatilización.

El tratamiento de la roca fosfatada con ácido sulfúrico fue técnicamente más fácil de realizar, por lo que se desarrolló en primer lugar la industria de los fertilizantes del tipo superfosfato. En cambio, la producción de fertilizantes térmicos se vino a desarrollar sólo durante la primera guerra mundial, cuando las materias primas, tales como roca fosfatada y ácido sulfúrico, no pudieron ser importadas por Alemania (país donde se inició la producción de fosfatos Renania), trayendo como consecuencia una baja considerable en la producción de superfosfatos (51, 52).

2.2.1. Fosfato de Renania: se produce calentando la roca fosfatada (fosfato natural) en hornos rotatorios a temperaturas que fluctúan entre 1000°C y 1200°C en presencia de soda y cuarzo. La soda adicionada reacciona con el ácido fluorhídrico dando como resultado la separación del fluor de la roca fosfatada y la destrucción de la estructura química de la apatita de acuerdo a la ecuación siguiente (51):



En la actualidad se ha llegado a obtener un fertilizante que contiene entre el 28% y 30% de P_2O_5 . Pero, tan importante como el contenido de P_2O_5 , es la solubilidad de los fosfatos, ya que de esta característica dependerá la cantidad de fósforo y el lapso de tiempo en el cual queda disponible para la planta (31, 32, 40).

Según Jacob y Uexküll (30), la solubilidad del fosfato de Renania en ácido cítrico fluctúa entre el 27% y 28% y Scheffer et al. (citado por Werner (51), al determinar isotermas de solubilidad a diferentes valores de pH, concluyó que esta propiedad del fertilizante dependía de la actividad del hidrógeno del medio.

La composición química del fosfato de Renania se puede apreciar en el Cuadro 3 (51).

En el Cuadro 3 se puede observar el elevado porcentaje de CaO del fosfato de Renania que puede influir positivamente, no sólo en la solubilidad del P_2O_5 , sino también en la fijación de fosfatos por el suelo. Al respecto existen gran cantidad de trabajos (2, 34, 43),

Cuadro 3. Análisis de tres muestras de fosfatos de Renania con diferentes contenidos de P_2O_5 *.

	Renania 23-25% P_2O_5	Renania 26-28% P_2O_5	Renania 28-30% P_2O_5
P_2O_5 total	25,2	28,0	29,7
Solubilidad en citrato de amonio	24,6	27,2	29,0
CaO	41,5	40,2	39,6
Na ₂ O	15,6	16,8	17,5
SiO ₂	11,6	9,6	8,4
MgO	0,8	0,6	0,5
Al ₂ O ₃	1,6	1,1	1,0
Fe O ₃	0,8	0,6	0,5
SO ₃	0,3	0,4	0,3
F	2,4	2,5	2,3

* Según Werner (52).

que indican la importancia de aplicaciones de enmiendas calcáreas que ayudan a disminuir la fijación del P_2O_5 especialmente por un aumento del pH del suelo y la disminución de la actividad de hierro y aluminio. También es importante el contenido de silicatos del fósforo de Renania. Según Hunter (28) tiene los siguientes efectos:

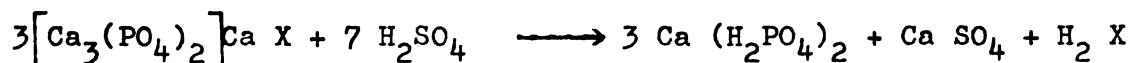
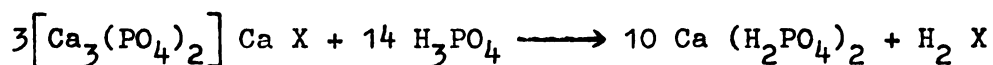
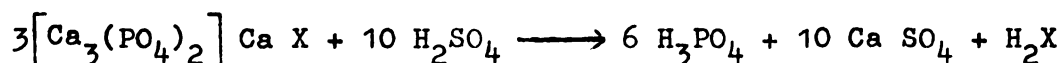
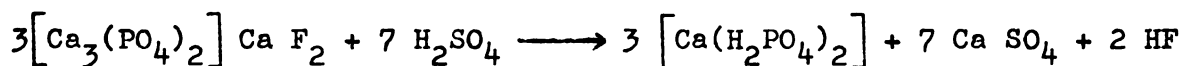
- a. Influye directa o indirectamente en que el fósforo del suelo sea más disponible.

- b. El silicio tiene funciones similares a las del fósforo en la planta y por lo tanto podría sustituirlo parcialmente.
- c. Los silicatos mejoran la estructura del suelo e indirectamente incrementan la producción.

Finalmente debe considerarse el contenido de Na_2O el que llega al 17,5% en el fosfato de Renania (ver cuadro 3) y si se piensa en aplicaciones elevadas y sucesivas podría causar problemas provocando un desbalance catiónico y elevando en forma excesiva la presión osmótica de la solución del suelo, especialmente en aquellos suelos pobres en bases cambiables.

2.2.2. Superfosfato triple: según Waggaman (50), aunque el P_2O_5 está combinado como fluorapatita $[\text{3 Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{ Ca F}_2]$, en casi toda la roca fosfatada, el contenido de fluoruro de la molécula de apatita puede considerarse como una impureza. Por lo tanto lo más importante en el intercambio químico en la elaboración del superfosfato triple es la conversión de fosfato tricálcico en fosfato monocálcico soluble en agua.

Sauchelli (42) representa la fase de acidulación de la siguiente manera:



El superfosfato triple así obtenido presenta un alto contenido de P_2O_5 (43 - 49%), es soluble en agua y por esta razón queda disponible y puede ser utilizado rápidamente por las plantas, no obstante que en el suelo se produce una rápida transformación de formas solubles a insolubles. En suelos con alto contenido de hierro y aluminio la transformación puede ocurrir tan violentamente que la fertilización puede no reportar gran beneficio a la planta (30).

En el Cuadro 4 se encuentra la composición aproximada del superfosfato triple. Comparando los datos de los Cuadros 3 y 4 es fácil apreciar que el superfosfato triple es más rico en P_2O_5 que el fosfato de Renania pero su contenido de CaO es inferior y también carece de silicatos.

Cuadro 4. Composición química aproximada del superfosfato triple*.

	P_2O_5 total	P_2O_5 asimilable	Ca O	Mg O	SO ₂
Superfosfato triple	42-50%	40-49%	17-23%	0,5%	3,5%

* Según Ignatieff (29).

2.3. Fertilización

Desde 1949, el consumo anual de fertilizantes en el mundo (expresado en nutrientes: N, P_2O_5 y K_2O), se incrementó de 11,5 a 20,2 millones de toneladas. El mayor aumento se registró en Europa Occidental, América del Norte y Oceanía; en cambio en otras regiones como

América Latina aún es pequeña su utilización (29).

Según Vicente-Chandler et al. (49) la fertilidad de los suelos y su fertilización son algunos de los factores más importantes que se deben considerar en el cultivo de forrajes tropicales por dos razones: la gran cantidad de nutrimentos extraída en los elevados rendimientos obtenidos con sistemas de explotación intensivo y las significativas pérdidas por fijación y lixiviación. Ahora bien, los hechos que en mayor proporción influyen en estos factores son: la cantidad de nutrimentos disponibles en el suelo, la cantidad de nutrimentos que extrae la planta, la rapidez con que estos pasan a formas menos accesibles para la planta, y la pérdida de ellos especialmente por lixiviación y erosión.

Andeniyi y Wilson (1) y De Alba (13) trabajando con pasto pangola ponen en evidencia los principios enunciados al establecer que este pasto pueda producir buenos rendimientos en suelos más o menos fértiles sin abonar, pero el descenso de la productividad es muy rápido después del primer año de establecimiento. Oakes et al. (38) afirman que la producción del pasto se incrementa con la fertilización, pero estos incrementos sólo son significativos para los dos cortes posteriores a la aplicación.

2.3.1. Fertilización fosfatada: el ácido fosfórico ocupa una posición central en el metabolismo vegetal. Los procesos anabólicos y catabólicos de los hidratos de carbono sólo pueden efectuarse normalmente si los compuestos orgánicos han sufrido una previa esterifica-

ción con ácido fosfórico. Este ácido desempeña además un importante papel en los procesos de transformación de energía, participando en forma decisiva en el metabolismo graso y formando parte de compuestos vitales como fitina, lecitina, nucleótidos y de la mayoría de las enzimas (30).

La deficiencia de fósforo en el pasto es uno de los problemas comunes en todo el mundo y en forma especial en el Continente Americano. Según De Alba (14) las áreas con deficiencia de este elemento son muy extensas, especialmente en aquellas regiones que poseen praderas naturales. En estas áreas frecuentemente los pastos poseen tenores bajos de fósforo (menos de 0,15 por ciento de la materia seca), lo que produce en los animales deficiencias muy difíciles de corregir (15, 16).

Los antecedentes expuestos hacen que la fertilización fosfatada adquiera suma importancia en especial en las áreas ganaderas de América Latina.

Trabajos de fertilización realizados en Costa Rica con pasto pangola (7), indican que en un principio no hubo respuesta significativa al fósforo, pero después del tercer corte, se apreciaron diferencias determinadas por la reducción de los rendimientos en aquellas praderas que no recibieron abono fosfatado.

Vicente-Chandler et al. (49) trabajando con los pastos guinea (Panicum maximum), napier (Pennisetum purpureum) y pangola (Digitaria decumbens) no obtuvieron una respuesta significativa a la fertilización cuando aplicaron este elemento a suelos que se habían abonado

moderadamente con anterioridad durante varios años y en cambio si obtuvieron respuesta en este mismo suelo cuando no había recibido fertilización previa. Este fenómeno estaría explicando que el fósforo fijado, especialmente en suelos ácidos, se va haciendo asimilable con el tiempo y por consiguiente se eleva la cantidad de fósforo disponible.

La relativa disponibilidad del fósforo aplicado en el suelo estará dada por el tipo de compuesto fosfatado que se agrega, así por ejemplo Mac Lachlan (31) comparando aplicaciones de superfosfato triple con el empleo de roca fosfatada en suelos ácidos (pH 5,6) de Australia, llegó a la conclusión, después de siete años de experimentación, que el valor final de la producción y el efecto residual se podían considerar iguales. Sin embargo, la menor extracción del elemento por las plantas desde la roca fosfatada durante los primeros años, dio como resultado una menor producción y menor porcentaje del nutrimento en las plantas durante los tres primeros años. En cambio en los tres últimos años de la experiencia (quinto, sexto y séptimo), se midió una mayor producción anual en las parcelas tratadas con la fuente de fósforo menos soluble. En trabajos posteriores (32, 33), este mismo autor afirma que el valor residual de los fertilizantes está limitado por el tiempo, sugiriendo que la mayor declinación ocurre en el primer año en aquellos fosfatos más solubles; resultados similares encontró Mac Lean (34). También se ha afirmado que el fósforo utilizable del suelo en determinado momento está más relacionado con el tiempo transcurrido desde la última aplicación que a la

cantidad total aplicada anteriormente (33).

Otro factor importante es la cantidad de fósforo tomada por la planta. Este factor varía según sea la especie estudiada; es así como existen especies que poseen mejor disposición que otras para absorber el nutrimento de las fuentes menos solubles (36, 37, 40).

MacLean (34) trabajando con especies gramíneas y leguminosas determinó que trigo y avena toman porciones similares de su fósforo constitutivo desde la fuente fosfatada; en cambio leguminosas como la alfalfa toman una cantidad reducida del fertilizante y una mayor cantidad del fosfato del suelo. En total, el trigo recuperó un 40% del elemento aplicado al suelo, la avena un 12% y la alfalfa sólo un 4%.

Hasta el momento, la mayor parte de las experiencias se han hecho utilizando superfosfato, pero en la actualidad existen trabajos que permiten pensar que las enmiendas silicatadas previenen la adsorción de fósforo y favorecen al mismo tiempo la desorción del elemento fijado al competir con el nutrimento por las posiciones de adsorción en el complejo coloidal del suelo (5).

Toth (46) estudió el desplazamiento del fósforo adsorbido en el suelo por medio de iones silicatados bajo varios valores de pH y encontró que el reemplazo de iones adsorbidos resulta especialmente en aniones de alto valor de pH como los silicatos. Este reemplazo parece ser independiente de la concentración del ion silicato y significativamente dependiente del pH.

Fassbender y Müller (21) aplicando fosfato de Renania en maíz

(Zea mays) indican que el silicato de calcio del fertilizante llevó a un ligero aumento en la cosecha de la planta indicadora y que cuando aumentó la acidez del suelo, también se incrementó la adsorción de ácido silícico y de manera especial sobre los hidróxidos de hierro y aluminio. Además afirman estos autores que al existir acidez manifiesta, se establece un equilibrio silicatos-fosfatos en el complejo de adsorción del suelo y que al aplicarse pequeñas cantidades de silicatos solubles, se produce un intercambio con los fosfatos del complejo coloidal y estos pasan a ser disponibles para la planta; bajo condiciones menos ácidas, la disolución de silicatos nativos disminuye, así como también la tendencia a la adsorción de silicatos aplicados al suelo como enmienda y de esta manera las dosis pequeñas de silicatos no tiene efecto sobre la desorción de fósforo. Los mismos autores trabajando con Lycopersicum esculentum y Lolium sp. llegan a conclusiones similares (22). Hunter (28) también estudió el efecto de los silicatos de calcio en la producción de algunas especies comprobando resultados favorables que tienen su explicación en el intercambio entre silicio y fósforo.

Cuando se ha trabajado con suelos calcáreos (9), no se ha obtenido grandes diferencias entre los fosfatos silicatados y el superfosfato. Schmehl y Brenes (44) llegan a concluir que el fosfato de Renania y el superfosfato tienen igual valor como fertilizante para cultivos que se desarrollan en suelos deficientes en fosfatos. La determinación del fósforo disponible del suelo muestra que los dos fertilizantes son igualmente efectivos en incrementar el fósforo disponible.

Pero a pesar de todos los trabajos realizados, aun los conocimientos actuales, según concluye Fassbender (19), no son suficientes para hacer una descripción exacta del mecanismo de fijación de fosfato y sobre todo para la separación matemática de las reacciones de adsorción y precipitación que participan en ella.

2.3.2. Efecto de la variación climática en la producción del forraje y su fertilización: trabajos efectuados por varios autores (8, 11, 39), indican que hay un notable efecto de la estación del año sobre la productividad de los pastos.

Caro-Costa y otros (11), trabajando en la región montañosa de Puerto Rico con diferentes niveles y épocas de aplicación de nitrógeno llegaron a verificar que la época del año afectaba el crecimiento de los pastos. Encontraron que los rendimientos de los pastos eran más bajos en los meses de diciembre a marzo coincidiendo con la estación seca y que las aplicaciones de fertilizantes acentuaban las diferencias en el crecimiento durante las distintas épocas del año.

Romme (39) encontró en Honduras una estrecha relación entre la producción de pasto pangola, la temperatura y la precipitación. A resultados análogos llegó Boyd (8) quien trabajando con pangola y otros pastos en Florida, Estados Unidos, determinó que en los meses de verano la producción era menor cuando la precipitación era dos o tres veces superior a la del invierno (precipitaciones superiores a 205 mm). En los meses con temperaturas bajo de 21°C también se vio afectado el crecimiento. Además determinó que la fertilización

aplicada en los meses de abril y julio producían una respuesta signi
ficativamente más elevada que la fertilización aplicada en los meses
de enero y agosto. En resumen concluye que el efecto de la fertili-
zación se vio afectada por el clima en todas las especies, por la
sequía y la baja temperatura en invierno y por el exceso de precipi-
tación en verano (ver figura 1).

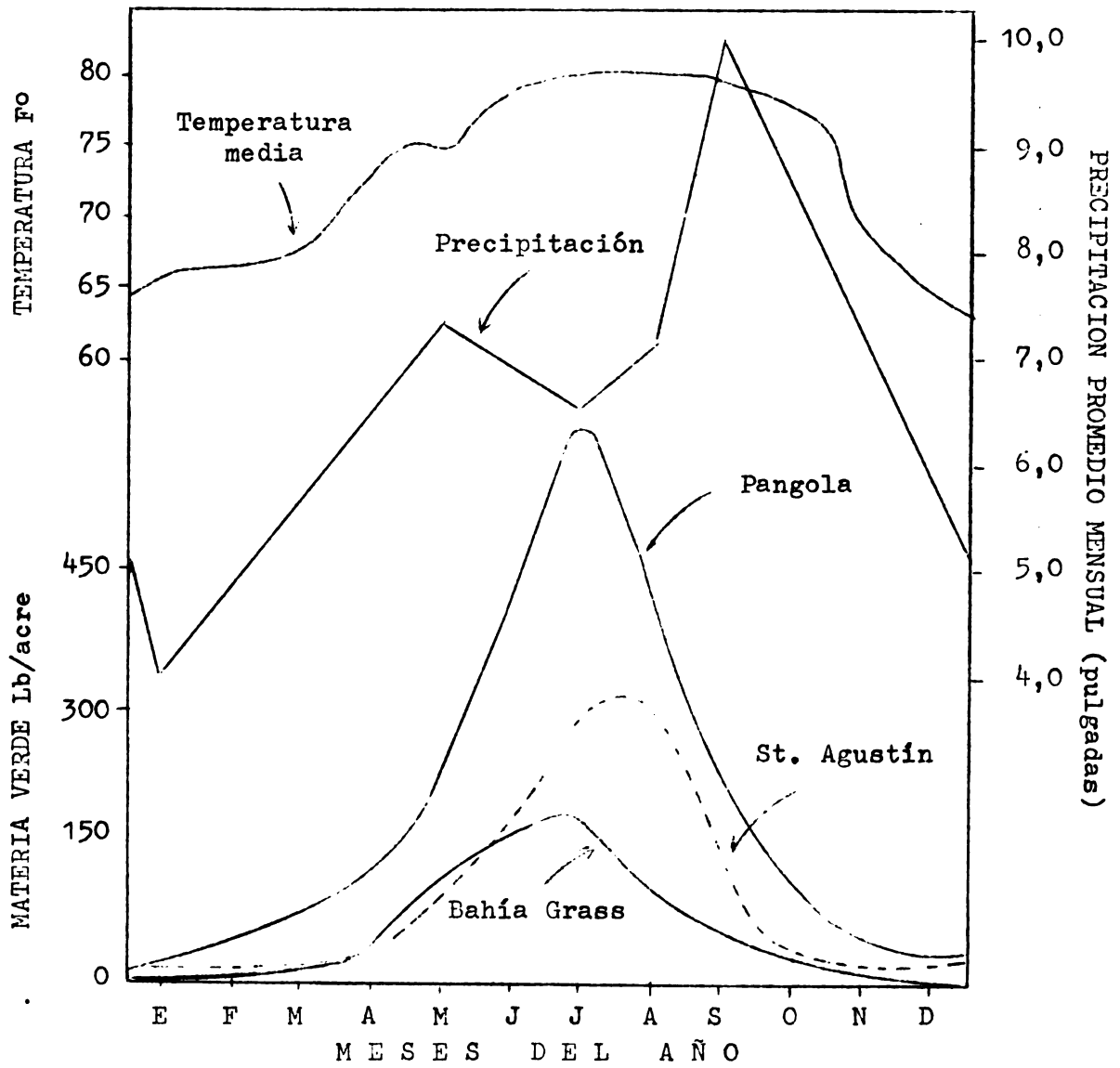


Fig. 1. Influencia de la precipitación y temperatura media en la respuesta a fertilización de tres gramíneas. Tomado de Boyd (8)

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Características principales del lugar

El presente trabajo se llevó a efecto en los terrenos y laboratorio de suelos del Centro de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica durante el período comprendido entre mayo de 1968 y junio de 1969.

Los terrenos del Centro están ubicados en el Valle de Turrialba a 602 m sobre el nivel del mar y su situación geográfica es de 9° 53' N de latitud y 83° 39' W de longitud.

El clima dominante del lugar según Budowski y Schreuder (10) es el siguiente:*

- a. Precipitación: en general, descontando los extremos, se puede decir que la lluvia en Turrialba es relativamente uniforme a través de todo el año, con un promedio anual de 2.581 mm, teniendo máximos y mínimos mensuales que fluctúan entre 342 mm y 65 mm durante los meses de diciembre y marzo respectivamente.
- b. Temperatura: el promedio anual de temperatura es de 22,5°C y la oscilación diaria presenta un máximo y mínimo promedio de 28°C y 17°C respectivamente.

* Solo se consideran aquí aquellas características que afectan directamente el crecimiento de los pastos.

- c. Humedad relativa. Se registra un promedio mensual de 87%, con un máximo en el mes de julio de 90% y un mínimo de 83% en el mes de marzo.

En el Cuadro 5 se presentan las principales condiciones climáticas del lugar durante el período experimental. Se puede apreciar que las temperaturas medias a través de todo el período experimental no tuvieron cambios considerables con excepción de las temperaturas mínimas absolutas que entre los meses de diciembre de 1968 y marzo de 1969 bajaron considerablemente.

La precipitación tuvo una distribución normal en los meses de mayo y junio para llegar a un máximo de 489,5 mm en el mes de julio y luego en los meses de agosto y setiembre la precipitación total mensual bajó a niveles normales pero tuvo mala distribución; en el resto del período experimental bajó considerablemente la precipitación mensual, manteniéndose la mala distribución (los controles diarios indican que la precipitación se concentra en unos pocos días).

La humedad relativa mostró características similares a la temperatura mínima absoluta teniendo su máximo en julio y luego una acentuada declinación entre diciembre de 1968 y marzo de 1969.

3.2. Características del suelo

La investigación se realizó en dos praderas de pasto pangola (Digitaria decumbens Stent) ubicadas en dos series de suelo diferente:

Cuadro 5. Datos meteorológicos tomados en la estación situada en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica.

Temperatura	Mayo 1968	Junio 1968	Julio 1968	Agosto 1968	Setiembre 1968	Octubre 1968
Media	21,7°C	21,7°C	21,4°C	21,5°C	22,0°C	21,9°C
Promedio de la máxima	27,4	27,4	26,5	26,7	27,6	27,6
Promedio de la mínima	18,3	18,1	18,4	18,1	18,3	18,5
Máxima absoluta	28,6	30,2	28,2	29,6	29,3	29,7
Mínima absoluta	16,6	17,0	15,2	16,6	16,6	16,3
<u>Precipitación</u>						
Total mensual	228,6 mm	291,2 mm	489,5 mm	214,2 mm	322,2 mm	198,4 mm
Días con 0,1 o más	28 días	23 días	30 días	25 días	25 días	24 días
Máximo por día	36,4 mm	54,8 mm	113,4 mm	26,4 mm	69,2 mm	43,9 mm
<u>Humedad relativa</u>						
Promedio diario	87,5 %	87,8 %	89,2 %	88,9 %	86,8	86,6 %
Promedio de las mínimas	57,2	56,8	61,1	61,0	56,2	56,4
Mínima absoluta	44,0	43,0	47,0	50,0	47,0	44,0

Continuación Cuadro 5.

Temperatura	Noviembre 1968	Diciembre 1968	Enero 1969	Febrero 1969	Marzo 1969
Media	21,4°C	20,7°C	20,8°C	20,7°C	22,1°C
Promedio de la máxima	26,4	25,9	26,6	26,1	27,5
Promedio de la mínima	18,5	17,2	16,5	16,6	18,0
Máxima absoluta	28,0	28,5	27,8	29,7	30,2
Mínima absoluta	16,5	13,8	13,5	12,9	14,9
<u>Precipitación</u>					
Total mensual	216,4 mm	266,0 mm	94,8 mm	46,7 mm	63,4 mm
Días con 0,1 o más	21 días	14 días	16 días	10 días	13 días
Máximo por día	67,4 mm	131,1 mm	21,7 mm	30,1 mm	17,3 mm
<u>Humedad relativa</u>					
Promedio diario	86,9 %	85,2 %	84,0 %	81,4 %	82,5 %
Promedio de las mínimas	61,3	57,7	53,4	51,8	54,0
Mínima absoluta	50,0	45,0	37,0	33,0	34,0

3.2.1. Serie Colorado: según Hardy (25), es un suelo latosólico formado por lava volcánica durante el primer período eruptivo del volcán Irazú, su material parental es andesítico y posee una topografía ondulada.

En la descripción de perfil, que se hizo siguiendo las normas del manual de levantamiento de suelos del U.S.D.A. (47), se observaron las siguientes características:

Horizonte A_1 0 m - 0,15 m: presenta una textura arcillosa, estructura granular con abundante materia orgánica y presencia de raíces así como también de pedregosidad; el color en seco es pardo oscuro (10 Y R 4/3) y pardo muy oscuro (10 Y R 2/2) en húmedo.

Horizonte A_2 0,15 - 0,40 m: posee textura arcillosa con estructura de bloque, aun hay presencia de raíces y sin pedregosidad, el color en seco es pardo oscuro (5,7 YR 3/2) y en húmedo pardo rojizo oscuro (5 YR 2/2).

Horizonte B_2 0,40 - 0,52 m: textura arcillosa con estructura de bloque, presenta un color pardo oscuro (7,5 YR 4/4) en seco y pardo rojizo oscuro (5 YR 3/3) en húmedo.

Horizonte B_3 > 0,52 m: presenta textura franco arcillosa con estructura de bloque, su color en seco es pardo oscuro (7,5 YR 4/4) y en húmedo pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4).

En general el perfil presenta características de muy buen drenaje.

3.2.2. Serie Instituto: Hardy (25) la clasificó como de origen fluvio-lacustre-aluvial con material subyacente andesítico, se encuentra sobre topografía plana; durante la estación lluviosa es inundable, lo que muestra un drenaje deficiente.

Las características observadas del perfil del suelo son las siguientes:

Horizonte A₁ 0 m - 0,16 m: presente una textura franco arcillosa y estructura granular con abundante materia orgánica y presencia de raíces así como también de pedregosidad, el color en seco es pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) y pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo.

Horizonte A₃ 0,16 m - 0,30 m: es un horizonte de transición, posee una textura franco arcillosa con estructura de bloque su color en seco es pardo oscuro (10 YR 4/3) y pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo.

Horizonte B > 0,30 m: presenta textura franco arcillosa con estructura de bloque, además presenta moteado de óxidos de hierro, el color en seco es pardo amarillento claro (10 YR 6/4), y pardo oscuro (7,5 YR 4/4) en húmedo.

Los métodos utilizados para determinar las diferentes características químicas de las muestras de suelo tomadas de los sitios experimentales fueron los siguientes:

pH: Se determinó en agua (1:1) y en Ca Cl₂ 0,01 M (1:2,5) de acuerdo a las técnicas descritas por Greweling y Peech

(24), utilizando un potenciómetro Bechman Zeromatic con electrodo de vidrio.

Carbono: Se usó el método de Walkley-Black, modificado por Saiz del Río y Bornemiza (41), para este objeto se trabajó con dicromato de potasio y ácido sulfúrico y se valoró con sulfato de amonio y hierro.

Nitrógeno total: se usó el método micro Kjeldahl modificado por R. Díaz Romeu* en el cual a un gramo de suelo se agrega 1,8 gr de la mezcla catalizadora (100 gr de K_2SO_4 , 10 gr de $Cu SO_4$ y 1 gr de selenio), en un balón de 100 ml de capacidad con 5 ml de ácido sulfúrico concentrado, se deja en reposo durante 24 horas, luego se pone en digestión por dos horas, se deja enfriar, se agrega 30 ml de agua destilada y 12 a 15 ml de Na OH 1:1, se destila durante 10 minutos recogiendo el destilado en 20 ml de H_3BO_3 al 2% y finalmente se titula con H_2SO_4 0,02 N.

Fraccionamiento de fosfatos inorgánicos del suelo: Se realizó por el método descrito por Chang y Jackson (12).

Capacidad de intercambio catiónico: Se usó el método de Bower, C. A. et al. modificado por Díaz Romeu y Balerdi (17).

Determinación de K, Ca y Mg: Se hizo por espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 303.

* Comunicación personal.

Las principales características químicas de las dos series de suelo en las cuales se realizó el estudio están presentadas en el Cuadro 6. En este cuadro se observa que, con excepción del horizonte superficial, el pH del suelo en la serie Colorado es más ácido que en la serie Instituto tanto en Ca Cl_2 como en agua, al mismo tiempo en la serie Colorado se nota un descenso considerable del pH en los horizontes inferiores, en cambio en la serie Instituto la variación es mucho menor.

El porcentaje de carbono se presenta bastante alto en la serie Colorado en el primer horizonte debido al tipo de vegetación que lo cubre (pradera), pero luego baja rápidamente con la profundidad, algo similar ocurre en la serie Instituto, pero en este último caso el primer horizonte sólo tiene valores medio; este fenómeno se repite para los valores de porcentaje de nitrógeno. Los valores de la relación C/N se consideran bajos para ambas series de suelo.

La capacidad de intercambio catiónico se considera elevada en ambos suelos posiblemente debido al contenido de materia orgánica del horizonte superior y al contenido de arcilla en el resto del perfil.

Las bases cambiables, con excepción de K, se presentan bajas en todos los horizontes en las dos series de suelos, al mismo tiempo se puede deducir que el Mg y el Ca no se encuentran en una relación deseable y algo similar ocurre con la relación $\text{Ca} + \text{Mg}/\text{K}$.

Como consecuencia de los bajos niveles de Ca y Mg y de la alta capacidad de intercambio catiónico, el por ciento de saturación de

Cuadro 6. Principales características químicas de los suelos en estudio.

	p H	C %	N %	C/N	CIC* meq p 100 g	Bases cambiales meq/100 g			% Satura ción	Fosfatos inorgánicos (ppm P)			% Reten- ción P
						Ca	K	Mg		Al	Fe	Ca	
	Ca Cl ₂ 0,01 M	Agua											
Serie Colorado													
A ₁ 0 - 0,15 m	5,5	5,8	0,59	9,4	30,78	6,40	3,28	0,33	32,5	55	175	28	86,0
A ₃ 0,15-0,40 m	4,5	4,9	0,23	6,2	29,27	0,24	8,46	1,90	36,2	20	90	15	87,2
B ₂ 0,40-0,52 m	4,6	5,0	Trazas	-	26,55	0,10	4,10	1,53	21,6	20	185	15	88,0
B ₃ > 0,52 m	4,6	5,0	Trazas	-	26,25	0,15	1,02	1,10	8,6	30	225	15	89,0
Serie Instituto													
A ₁ 0 - 0,16 m	5,0	5,6	0,41	7,0	29,27	6,00	1,25	2,73	34,0	73	200	40	77,5
A ₃ 0,16-0,30 m	5,1	5,8	0,31	5,6	28,80	5,60	1,43	0,83	27,2	50	140	35	78,1
B > 0,30 m	5,3	5,9	Trazas	-	28,80	2,40	0,38	0,40	11,0	100	290	30	80,3

* Capacidad de intercambio catiónico.

bases resulta con valores medios lo que a la postre da suelos con una moderada capacidad receptora de nutrimentos.

Ambas series de suelo presentan una predominancia de fosfatos de hierro y aluminio, en especial de los primeros, los cuales presentan un incremento con la profundidad. Estos valores en general son superiores en la serie Instituto posiblemente a causa de su mal drenaje. Los fosfatos de calcio son inferiores y disminuyen con la profundidad.

La retención de fosfatos resultó muy elevada, en especial en la serie colorado, debido a la predominancia de hierro y aluminio.

Finalmente es conveniente hacer notar que la retención de fosfatos está inversamente relacionada con los valores de pH.

3.3. Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue el de parcelas divididas con dos tratamientos (fuente de fertilización fosfatada), distribuidas al azar en unidades experimentales de 16 m de largo por 12 m de ancho; cuatro subtratamientos (niveles de fertilización) distribuidos al azar en sub unidades de 12 m de largo por 4 m de ancho. En el diseño se usó cinco repeticiones.

Los tratamientos considerados fueron las siguientes fuentes fosfatadas:

- a. Fosfato de Renania con un 30% de P_2O_5 *
- b. Superfosfato triple con un 46% de P_2O_5

* El producto fue facilitado por la firma Kali Chemic Hannover, Alemania, a quienes se agradece su cooperación.

Los niveles de las dos fuentes fosfatadas usadas, que constituyen los subtramientos fueron los siguientes:

0	Kg de P_2O_5 /Ha		
50	"	"	"
100	"	"	"
200	"	"	"

3.4. Procedimiento experimental

3.4.1. Fertilización: las dos fuentes fosfatadas se aplicaron en surcos de una profundidad de 0,20 m a 0,30 m aproximadamente y separados a 1,00 m; estos surcos se hicieron empleando un arado subsolador con levante hidráulico, lo que permitió regular la profundidad.

Las dosis de fertilización fosfatada correspondientes a los tratamientos se aplicaron en su totalidad en la primera quincena de mayo. Además se agregó una fertilización básica que constó de 50 Kg/Ha de K_2O en forma de muriato de potasio (60% K_2O) en una sola dosis al comenzar el experimento y de 185 Kg/Ha de nitrógeno en forma de úrea (46% N) aplicando la mitad al iniciar el experimento, una cuarta parte después del segundo corte y el resto antes del período correspondiente al cuarto corte.

3.4.2. Cortes: estos se planearon de manera de realizarlos cada ocho semanas, pero debido a las diferentes curvas de crecimiento que experimentó el pasto en las dos series de suelo, se hizo cada ocho semanas en la pradera situada en la serie Colorado y cada 16 semanas en la pradera situada en la serie Instituto. En cada cosecha se pesó

la producción de materia verde de cada parcela correspondiente a 48 m².

3.4.3. Toma de muestra: una vez cortado y pesado el pasto, se tomó una muestra al azar de aproximadamente 0,5 Kg de materia verde, se guardó en bolsas plásticas y se llevó al laboratorio con el objeto de determinar materia seca y prepararlo para los análisis posteriores.

3.5. Análisis del forraje

Previo a los análisis respectivos la muestra de pasto se secó en una estufa de ventilación forzada a 100°C durante ocho horas y luego se molió en un molino standard no. 3 Willey mill con criba de 1 mm de diámetro. Posteriormente se guardó en estufa a 70°C permanentemente con el objeto de mantenerlo libre de humedad hasta el momento de proceder a efectuar los análisis. Los métodos utilizados fueron los siguientes:

3.5.1. Materia seca: se utilizó el método publicado por la Association of Official Agricultural Chemists (A.O.A.C.) (3).

3.5.2. Proteína: se determinó multiplicando por el factor 6,25 el contenido de nitrógeno obtenido mediante el método micro Kjeldahl (35).

3.5.3. Calcio y fósforo: para la determinación de calcio y fósforo se obtuvo previamente los extractos foliares mediante una mezcla de ácidos nítrico y perclórico según el método describi

to por Wilson (53). Para tal objeto se pesó 0,1 g de muestra foliar seca finamente molida, se le agregó 10 ml de la mezcla de los ácidos nítrico y perclórico en una proporción de cinco partes de ácido nítrico y una parte de ácido perclórico, se digirió lentamente hasta que se volatilizaran todos los vapores de la mezcla de manera que quedara sólo un extracto cristalino de aproximadamente 2 ml; este se lavó con agua destilada caliente y se llevó a volumen de 50 ml. De este extracto se tomaron las alícuotas para hacer las determinaciones de los elementos. El calcio se determinó por espectrofotometría de absorción atómica mediante el espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 303 y el fósforo por el método del ácido sulfomolibdico (12), empleando un fotolorímetro Colleman con una longitud de onda de 660 mμ.

3.6. Análisis estadístico

Para este análisis se consideraron cuatro variables de respuesta: materia seca, proteína, calcio y fósforo y se calculó en primer lugar la matriz de correlación entre dichas variables. Si las correlaciones fueran altas, un análisis de variancia multidimensional sería el indicado, ya que tiene la ventaja sobre el análisis individual de cada variable de una mayor fuerza discriminatoria en los efectos de tratamientos y por consiguiente tiene mayor potencia en la prueba de hipótesis.

El modelo matemático usado para el experimento fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \delta_{ijk} + \lambda_l + (\alpha\lambda)_{il} \\ + (\gamma\lambda)_{kl} + (\alpha\gamma\lambda)_{ijk} + \int_{ijkl}$$

donde:

- Y_{ijkl} = variable de respuesta (Ca, P, proteína y materia seca)
 μ = media general
 α_i = efecto diferencial del tratamiento "i" (fuentes)
 β_j = efecto diferencial de repeticiones "j"
 ϵ_{ij} = interacción repeticiones tratamientos "ij" (Error a)
 γ_k = efecto diferencial de subtratamiento "k" (niveles)
 $(\alpha\gamma)_{ik}$ = interacción fuente por nivel "ik"
 δ_{ijk} = interacción fuente nivel y repetición "ijk" (Error b)
 λ_l = efecto diferencial del corte "l"
 $(\alpha\lambda)_{il}$ = interacción fuente por corte "il"
 $(\gamma\lambda)_{kl}$ = interacción nivel por corte "kl"
 $(\alpha\gamma\lambda)_{ikl}$ = interacción fuente, nivel y corte "ikl"
 \int_{ijkl} = interacción fuente, nivel, corte y repetición "ijkl"
(Error c)

4. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan y discuten los resultados del análisis estadístico de acuerdo al modelo descrito en detalle en el capítulo de Materiales y Métodos.

Los resultados para las dos series de suelo en la que se llevó a cabo el estudio se encuentran en la secuencia de relación estructural entre las cuatro variables de respuestas (fósforo, proteína, calcio y materia seca) y análisis de variancia de los diferentes efectos de tratamientos y subtratamientos.

4.1. Serie Colorado

En el Cuadro 7 se presentan los valores promedio obtenidos para fósforo, proteína, calcio y materia seca durante el período experimental.

Con los resultados de los análisis obtenidos para cada una de las variables se calculó la matriz de correlación que se presenta en el Cuadro 8; ésta demuestra una asociación muy baja entre las variables en estudio.

Cuadro 8. Matriz de correlación entre fósforo, calcio, proteína y materia seca para el suelo Colorado.

$$R = \begin{pmatrix} P & Ca & Pr. & MS \\ 1. & .151 & .040 & .011 \\ & 1. & .318 & .100 \\ & & 1. & .615 \\ & & & 1. \end{pmatrix} \begin{matrix} P \\ Ca \\ Pr \\ \end{matrix}$$

Cuadro 7. Contenido promedio de fósforo, protefina, calcio y materia seca para fuentes y niveles de fertilización y cortes. Serie Colorado.

Fuentes	N I V E L E S											
	0 Kg P ₂ O ₅ /Ha			50 Kg P ₂ O ₅ /Ha			100 Kg P ₂ O ₅ /Ha			200 Kg P ₂ O ₅ /Ha		
	Cortes			Cortes			Cortes			Cortes		
	1 α	2 α	3 α	1 α	2 α	3 α	1 α	2 α	3 α	1 α	2 α	3 α
Fósforo %												
Renania	0,09	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,11	0,11	0,10	0,12	0,11
Superfosfato	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,11	0,11	0,09	0,11	0,11
Protefina %												
Renania	9,49	10,47	11,17	9,72	10,09	10,59	9,16	9,34	10,87	10,57	9,61	11,22
Superfosfato	10,22	10,21	10,41	10,19	10,31	10,85	9,50	9,87	10,62	10,19	10,86	10,67
Calcio %												
Renania	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08	0,09
Superfosfato	0,08	0,07	0,10	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08	0,10
Materia seca Kg/Ha												
Renania	7.637	3.348	3.044	7.672	3.722	3.198	6.802	3.896	3.348	7.887	3.279	3.348
Superfosfato	7.630	2.764	3.392	7.056	3.726	3.040	7.425	3.465	3.465	8.641	3.045	3.473

Esta correlación tan baja entre las variables de respuesta indica que se justifica un análisis de variancia individual sobre cada una de ellas.

4.1.1. Efecto de fuentes y niveles de fósforo sobre el contenido foliar de fósforo, proteína, calcio y materia seca.

En el Cuadro 9 se presentan los resultados del análisis de variancia para cada una de las variables de respuesta.

4.1.1.1. Fósforo: considerando en primer lugar la variable de respuesta fósforo, se puede apreciar que las fuentes de este elemento aplicadas, no mostraron ningún efecto diferencial sobre el contenido de fósforo foliar del pasto pangola. Estos resultados están de acuerdo con otros trabajos en los cuales se ha llegado a establecer que el fosfato de Renania comparado con el superfosfato tuvo igual valor como fertilizante para plantas que crecen en suelos deficientes en fosfatos disponibles como los suelos en estudio, o simplemente que si hay diferencias, estas no son significativas (21, 44).

Es posible que por el corto período de observación de este experimento (10 meses) aun no sea posible detectar respuestas más concluyentes; esta última afirmación se basa en las experiencias de Blue (7), Vicente-Chandler et al. (49) y Mac Lachlan (31) quienes indican que en los experimentos de campo, en las primeras etapas no es posible obtener respuestas discriminatorias.

En cuanto a los diferentes niveles empleados, éstos incrementaron linealmente el contenido de fósforo foliar entre 0,09% y 0,11% (ver

Cuadro 9. Análisis de variancia para fósforo, protefina, calcio y materia seca. Serie Colorado.

F V	G L	CM Fósforo	CM Protefina	CM Calcio	CM Materia seca
Repeticiones	4	6,119 NS	5,23 NS	139.242 *	78,024 NS
Fuentes	1	3,763 NS	0,54 NS	2.901 NS	0,014 NS
Error a	4	4,567	6,95	14.697	41,142
Niveles	3	8,584 **	2,07 NS	7.050 NS	11,782 NS
Respuesta lineal	1	22,917 **	0,42 NS	20.904 NS	32,999 NS
Respuesta cuadrática	1	2,825 NS	4,10 NS	218 NS	0,603 NS
Respuesta cúbica	1	0,010 NS	1,68 NS	29 NS	1,746 NS
Fuente x nivel	3	1,157 NS	0,23 NS	21.680 NS	7,439 NS
Error b	24	1,271	1,29	9.349	12,960
Corte	2	21,313 **	9,25 **	202,346 **	5543,450 **
Respuesta lineal	1	26,738 **	16,91 **	197.011 **	8540,850 **
Respuesta cuadrática	1	15,888 **	1,59 NS	207.682 **	2546,060 **
Fuente x corte	2	0,744 NS	1,65 NS	41.229 NS	16,577 NS
Nivel x corte	6	2,909 NS	0,49 NS	13.819 NS	38,452 NS
Fuente x nivel x corte	6	4,457 **	2,07 NS	16.500 NS	58,553 **
Error c	64	1,206	1,22	19.826	63,980
Total	119				

* Nivel de significación al 5% de probabilidades

** Nivel de significación al 1% de probabilidades

NS No significativo

Figura 2), esta diferencia resultó ser significativa a un nivel de 1% de probabilidad (ver Cuadro 9).

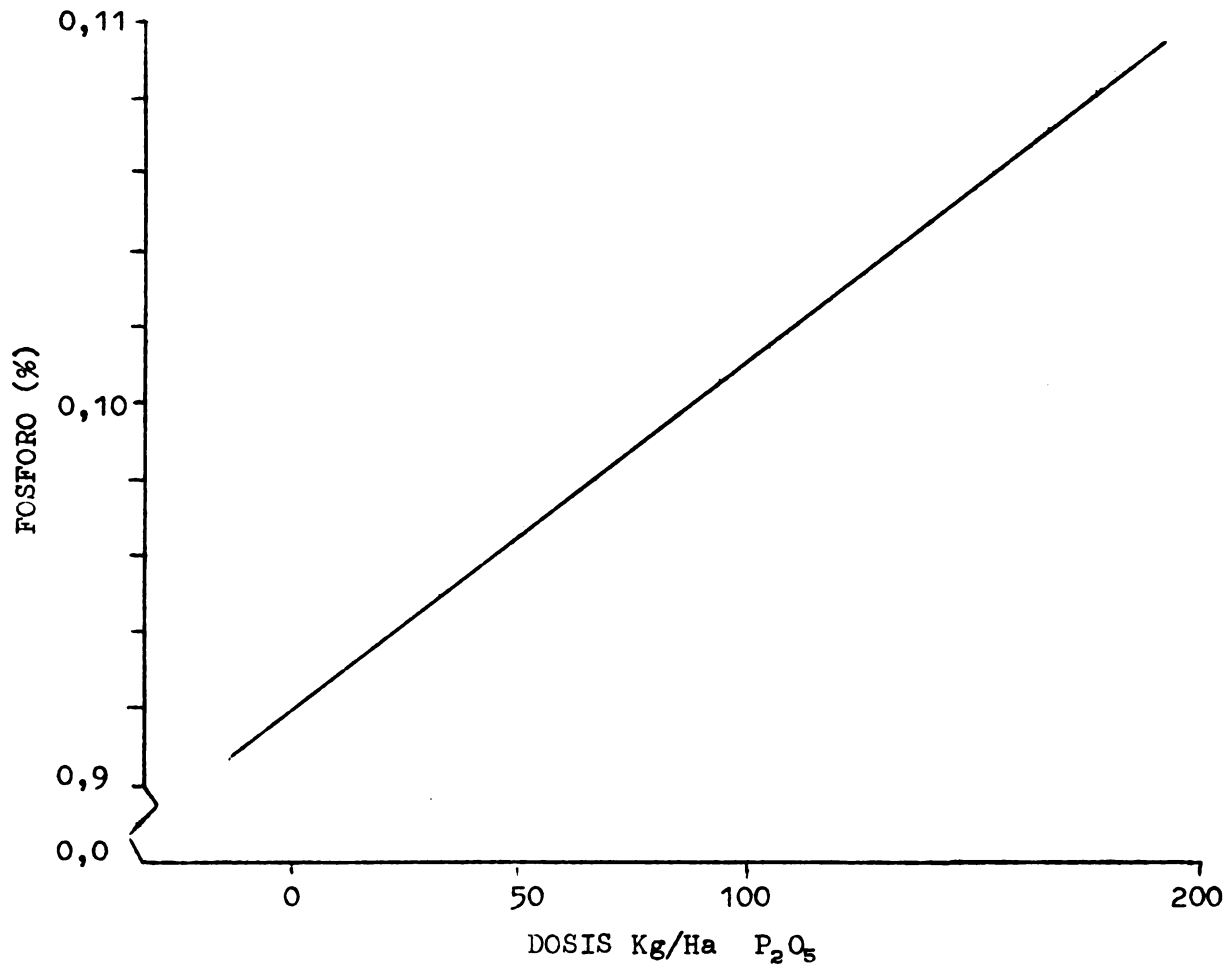


Fig. 2. Efecto de niveles de fertilización sobre el porcentaje de fósforo foliar del pasto pangola.

Estos resultados confirman las experiencias de invernadero que indican la utilidad de los fosfatos silicatados para hacer más disponible el fósforo del suelo y prevenir al mismo tiempo la fijación del fósforo agregado (5, 46).

Es posible que esta respuesta positiva a los niveles ascendentes de fósforo tenga una explicación en el bajo pH del suelo (4,5) y en el elevado porcentaje de fijación del mismo (87%) que permitiría detectar diferencias significativas entre los niveles bajos (0 y 50 Kg/Ha de P_2O_5) y el nivel más alto (200 Kg/Ha de P_2O_5).

El contenido de fósforo foliar varió considerablemente con los cortes de modo que la tendencia general del contenido aumentó desde el primer corte (0,09%) hasta el segundo corte (0,12%), para luego declinar en el tercero (Figura 3), este hecho se comprueba al observar en el Cuadro 9 que la tendencia cuadrática fue estadísticamente significativa al nivel del 1% de probabilidad.

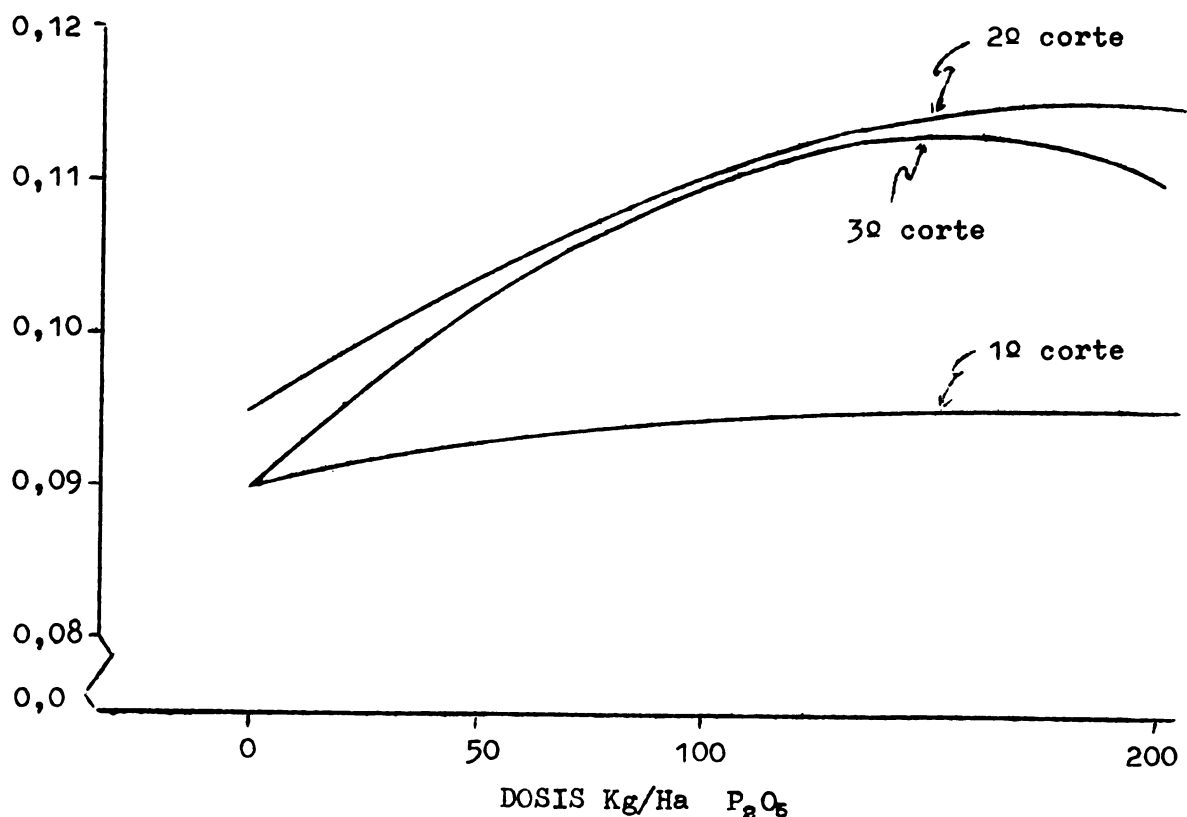


Fig. 3. Efecto de niveles de fertilización sobre el porcentaje de fósforo en los diferentes cortes de pasto pangola.

Estos resultados comprueban una vez más las conclusiones de varios autores tales como Blue (7), trabajando en Costa Rica, Vicente-Chandler et al. en Puerto Rico (49) y Mac Lachlan en Australia (31, 32, 33) en el sentido que la respuesta a la fertilización fosfatada se ve estrechamente influida por los diferentes cortes en un período vegetativo determinado. Esta variación del contenido de fósforo foliar en el pasto pangola fue estudiada por Velasco (48) quien determinó que en Turrialba, Costa Rica, este pasto sin ninguna fertilización previa, variaba su contenido de fósforo foliar entre los meses de febrero, junio y diciembre de 0,23 a 0,19 y 0,28% respectivamente.

En el análisis estadístico de esta variable de respuesta, las interacciones de primer orden no fueron detectables ($P > .05$). Sin embargo el efecto de la interacción de segundo orden se hizo evidente ($P < .01$); a pesar de ello se dio mayor importancia a los efectos principales y por lo tanto la interpretación se basó esencialmente en estos últimos.

La homogeneidad de las parcelas de un determinado tratamiento está dada por los coeficientes de variación siguientes:

$$CVa = 9,3\%$$

$$CV = 4,3\%$$

$$CVc = 4,8\%$$

Estos coeficientes pueden considerarse muy adecuados para las condiciones experimentales en que se llevó a cabo el estudio.

4.1.1.2. Proteína. Si se observan los valores presentados en los Cuadros 7 y 8, se puede ver que el contenido proteico del pasto

pangola que se desarrolló en la serie de suelos Colorado, no varió significativamente con las fuentes ni con los diferentes niveles de fertilización empleados. Este contenido varió en cambio notoriamente con los cortes de tal manera que los porcentajes promedios para cada uno de los cortes fueron 9,88%, 10,09% y 10,80% para el primero, segundo y tercer corte respectivamente. Estos aumentos fueron estadísticamente significativos al nivel del 1%.

Es posible que la explicación de este fenómeno está en que, tanto la influencia de la época del año como el momento en que se hace el corte, superan ampliamente cualquier otro efecto de fertilización.

Estos resultados están de acuerdo con lo establecido por Vicente-Chandler et al. (49) según lo cual, a medida que se extienden o disminuyen los intervalos entre corte y corte, se requiere mayor o menor cantidad de fertilizantes para obtener un adecuado contenido proteico del pasto. Por otro lado Boyd (8), Caro-Costa et al. (11), y Romney (39), determinaron que hay efecto notable de la estación del año sobre la productividad y contenido nutritivo de los diferentes pastos.

En el análisis estadístico, el efecto de las interacciones fueron detectables sólo en el caso de las de primer orden ($P > 0,05$).

Los coeficientes de variación para las parcelas experimentales en el caso de proteína fueron:

$$CVa = 25,7\%$$

$$CVb = 11,1\%$$

$$CVc = 11,6\%$$

Aparentemente estos coeficientes son elevados pero dada la variabilidad del contenido de proteína del pasto especialmente determinada por las condiciones ambientales de manejo, se pueden considerar adecuados.

4.1.1.3. Calcio. Si se observan los datos correspondientes a la variable calcio (Cuadros 7 y 9), se puede deducir que ninguna de las fuentes de fertilizantes fosfatados empleados produjo un efecto diferencial sobre el contenido foliar de este elemento en el pasto. Los cuatro niveles de fertilizantes empleados mantuvieron casi inalterable este contenido en un promedio de 0,085% y sólo los cortes lo hicieron variar apreciablemente de modo que la tendencia cuadrática resultó significativa al nivel del 1% de probabilidad (ver Figura 4).

A pesar del elevado contenido de CaO que poseen el fosfato de Renania y el superfosfato triple (39,6 y 20% y CaO, respectivamente), es posible que debido al corto plazo de observación y a las condiciones del medio ambiente, especialmente clima, fue imposible obtener resultados más definitivos; resultados similares en experiencias de campo han obtenido autores como Caro Costa et al (11), Rommey (39) Vicente-Chandler et al. (49) y otros.

Los efectos de las interacciones tanto de primero como de segundo orden no fueron detectables ($P > .05$), y los coeficientes de variación demuestran la homogeneidad del tamaño de parcelas para la variable, calcio.

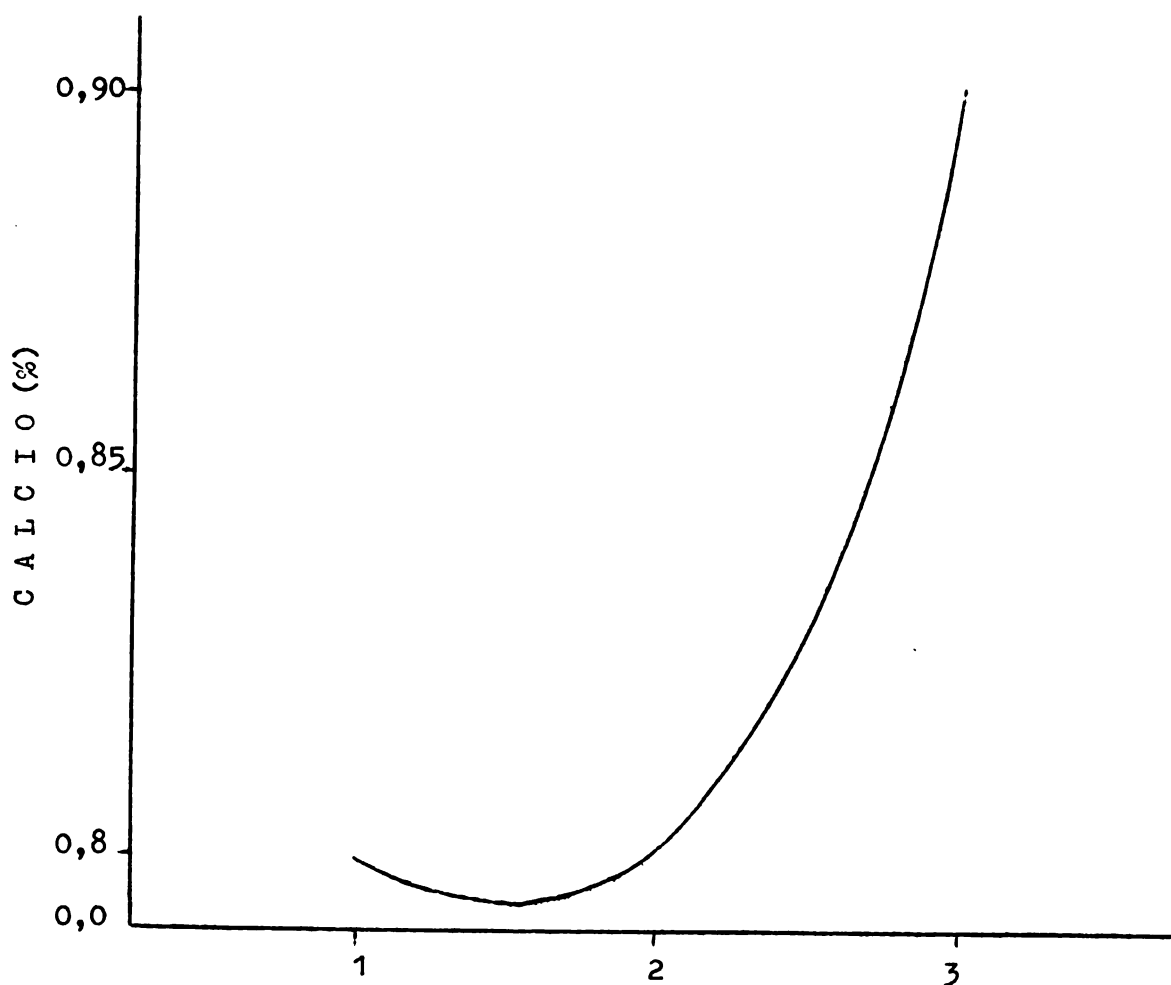


Fig. 4. Variación del contenido de calcio en pasto pangola.

CVa = 14 %

CVb = 11,2%

CVc = 14,1%

4.1.1.4. Materia seca: Finalmente al considerar la variable materia seca, se ve que, tanto las fuentes de fertilización como los niveles aplicados, no mostraron ningún efecto diferencial sobre la produc-

ción de la pradera. Sin embargo, igual que lo ocurrido en el caso de proteína y calcio, el efecto del corte hizo variar en forma notable la producción. Es así como el contenido de materia seca disminuyó del promedio de 7,600 Kg/Ha en el primer corte a sólo 3,400 y 3,300 Kg/Ha en el segundo y tercer corte respectivamente. Se observa una tendencia cuadrática significativa al nivel del 1% de probabilidad (Figura 5).

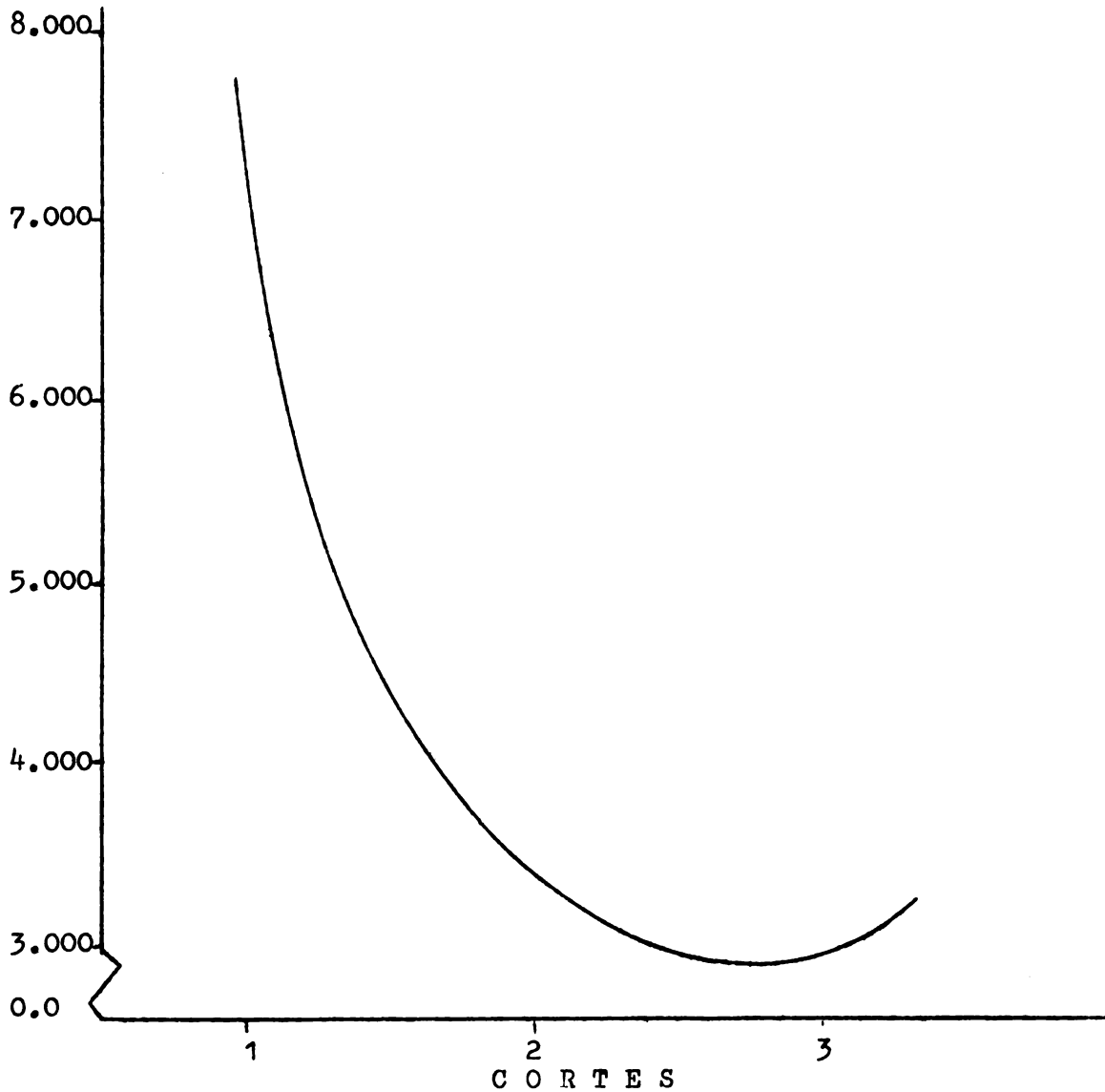


Fig. 5. Producción promedio de materia seca en pasto pangola.

En la Figura 6 se puede ver la estrecha relación que existe entre el ciclo pluviométrico del año y la producción del pasto pangola. Estos resultados estarían completamente de acuerdo con los obtenidos por Boyd (8) Romney (39), Caro-Costa et al. (11), Vicente-Chandler et al. (49) quienes coinciden en que, en determinadas condiciones, influye más la época del año y el tipo de manejo que tenga la pradera que una determinada fertilización, ya que los efectos del manejo, tales como el período vegetativo en que se corte la planta especialmente y la variación del clima durante el período experimental, pueden encubrir cualquier otro efecto medible.

Para los cálculos de materia seca, solo la interacción de tercer orden fue estadísticamente significativa y el tamaño de las parcelas utilizadas fue bastante acertado ya que los coeficientes de variación fueron bajos:

$$CVa = 16,7\%$$

$$CVb = 11,3\%$$

$$CVc = 18,4\%$$

4.2. Serie Instituto

Los valores promedios de los análisis foliares para fósforo, proteína y calcio y para la producción de materia seca por hectáreas obtenida del pasto pangola establecido en la serie de suelo Instituto, se encuentran en el Cuadro 10. Con estos valores de cada una de las variables de respuesta se calculó la matriz de correlación que se presenta en el Cuadro 11.

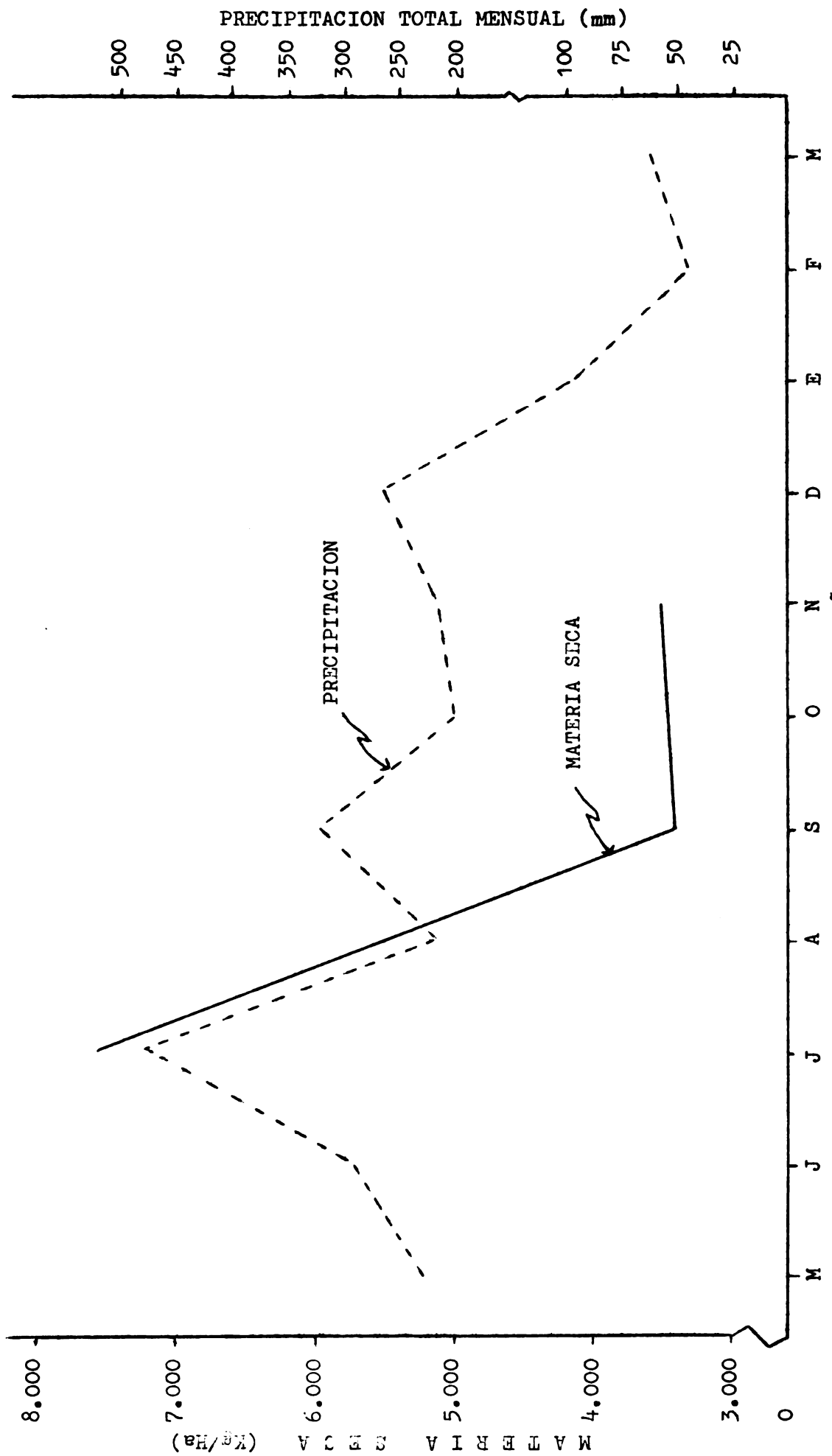


Fig. 6. Relación entre producción de materia seca y caída aluviométrica

Cuadro 10. Contenido promedio de fósforo, protefina, calcio y materia seca para fuentes y niveles de fertilización y cortes. Serie Instituto.

Fuentes	N I V E L E S											
	0 Kg P ₂ O ₅ /Ha			50 Kg P ₂ O ₅ /Ha			100 Kg P ₂ O ₅ /Ha			200 Kg P ₂ O ₅ /Ha		
	Cortes			Cortes			Cortes			Cortes		
	1a	2a	3a	1a	2a	3a	1a	2a	3a	1a	2a	3a
Fósforo %	0,12	0,15	0,16	0,13	0,15	0,16	0,12	0,16	0,15	0,12	0,15	0,16
Superfosfato	0,11	0,13	0,16	0,11	0,13	0,15	0,12	0,16	0,15	0,12	0,15	0,15
Protefina %	9,41	9,61	7,28	10,56	9,76	7,20	9,12	9,71	6,86	9,62	9,14	7,20
Superfosfato	10,25	8,89	7,10	9,85	8,24	6,91	9,43	9,13	7,20	8,95	9,61	7,05
Calcio %	0,06	0,15	0,15	0,05	0,14	0,15	0,05	0,12	0,14	0,06	0,13	0,13
Superfosfato	0,06	0,14	0,13	0,07	0,14	0,17	0,07	0,13	0,14	0,06	0,12	0,15
Materia seca Kg/Ha	6.331	5.067	4.505	5.339	4.878	4.995	5.767	5.595	4.662	5.725	4.983	4.939
Superfosfato	4.963	4.868	4.158	6.086	4.490	4.312	6.999	4.553	4.512	5.545	4.515	4.090

Cuadro 11. Matriz de correlación para fósforo, proteína, calcio y materia seca.

	P	Ca	Pr.	MS	
	1.	.329	.469	.062	P
		1.	.155	.042	Ca
			1.	.064	Pr
				1.	MS

En la misma forma que el caso anterior, estos valores sólo justifican un análisis de variancia individual sobre cada una de las variables de respuesta en estudio.

4.2.1. Efecto de fuentes y niveles de fósforo sobre el contenido foliar de fósforo, proteína, calcio y materia seca.

En el Cuadro 12 se presentan los resultados del análisis de variancia para cada una de las variables de respuestas las que se discutirán en forma separada.

4.2.1.1. Fósforo: si se observa en primer lugar la variable de respuesta fósforo, se aprecia que tanto las fuentes como los niveles de fertilización fosfatada, no mostraron ningún efecto diferencial sobre el contenido del elemento en el tejido foliar ($P > .05$). Estos resultados igual que los obtenidos en la serie Colorado, confirman las afirmaciones de Blue (7), Vicente-Chandler et al. (49) y Mac Lachlan (31) en el sentido que para la experimentación de campo de fertilización fosfatada, en especial en suelos ácidos como es el

Cuadro 12. Análisis de variancia para fósforo, protefna, calcio y materia seca. Serie Instituto.

F. V.	G L	CM Fósforo	CM Protefna	CM Calcio	CM Materia seca
Repeticiones	4	13,42 NS	1,42 NS	583.476 **	60,77 NS
Fuentes	1	12,35 NS	1,69 NS	1.702 NS	65,50 NS
Error a	4	9,04	0,69	33.791	118,71
Niveles	3	3,06 NS	0,29 NS	104.187 NS	22,68 NS
Respuesta lineal	1	2,90 NS	0,57 NS	2.954	0,07 NS
Respuesta cuadrática	1	0,30 NS	0,08 NS	2.995 NS	44,65 NS
Respuesta cúbica	1	5,98 NS	0,22 NS	81.613 NS	23,30 NS
Fuentes x niveles	3	4,22 NS	2,11 NS	86.845 NS	16,61 NS
Error b	24	2,14	0,31	47.902	22,20
Corte	2	152,88 **	75,56 **	7.755.746 **	433,58 **
Respuesta lineal	1	275,65 **	130,05 **	12.934.753 **	806,51 **
Respuesta cuadrática	1	30,10 **	21,01 NS	2.576.739 **	60,65 NS
Fuentes x corte	2	1,02 NS	0,92 NS	11.435 NS	20,89 NS
Niveles x corte	6	2,13 NS	1,02 NS	66.046 NS	9,69 NS
Fuentes x niveles x corte	6	0,96 NS	3,06 NS	34.865 NS	36,21 NS
Error c	64	3,86	0,92	35.099	23,10
Total	119				

** Nivel de significación al 1%

NS No significativo

caso en estudio, se necesita un período generalmente superior a los dos años para detectar respuestas más definidas.

Confirmando trabajos de estos mismos autores, el efecto de los cortes fue muy significativo, haciendo variar el contenido de fósforo foliar de 0,12% en el primer corte hasta 0,15% en el tercer corte. Como puede apreciarse en la Figura 7 y en el Cuadro 12, la tendencia cuadrática resultó altamente significativa.

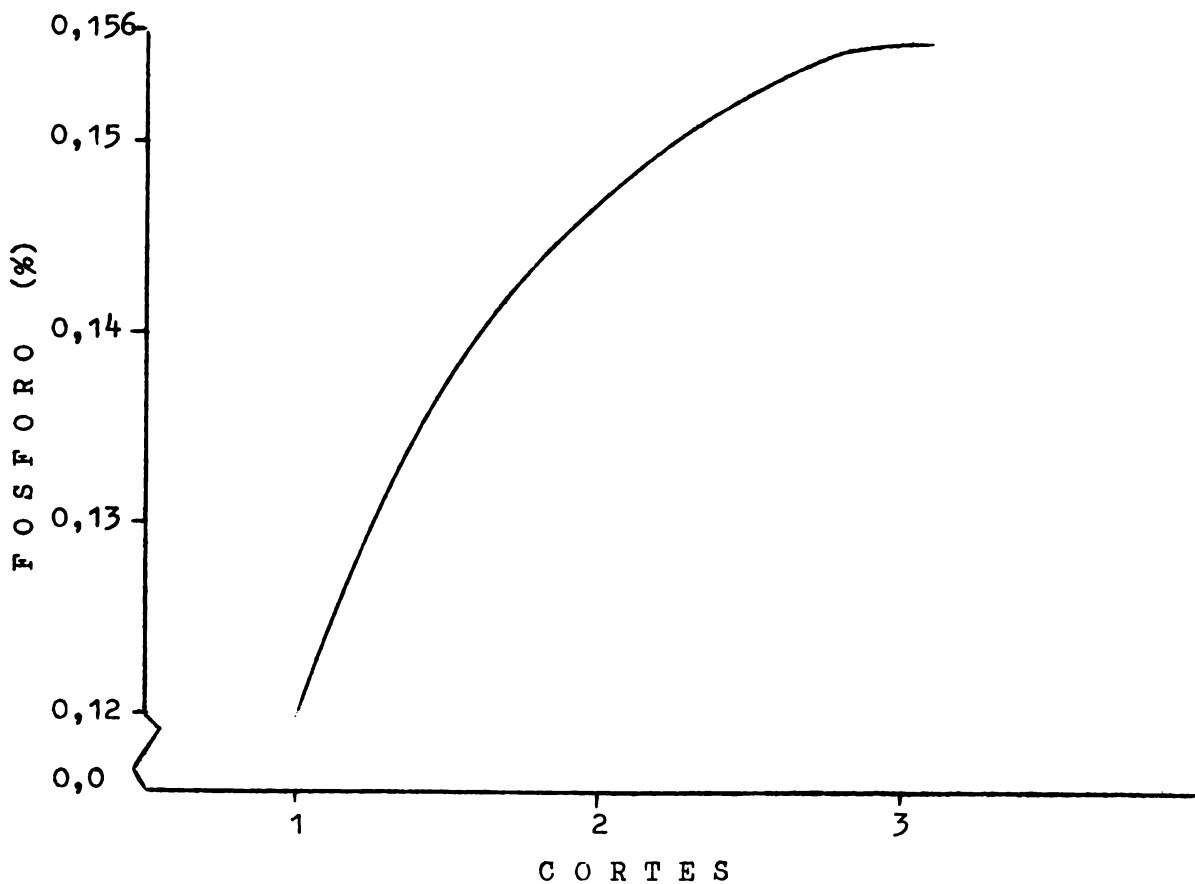


Fig. 7. Efecto de los cortes en el porcentaje de fósforo foliar.

Los coeficientes de variación respectivos se pueden considerar aceptables.

$$CVa = 21,5\%$$

$$CVb = 10,5\%$$

$$CVc = 14,0\%$$

4.2.1.2. Proteína: en el análisis de los datos de proteína se puede apreciar que el contenido proteico del pasto pangola no sufrió ningún efecto diferencial tanto con las fuentes de fertilización como con los diferentes niveles empleados. No sucedió lo mismo con los cortes ya que el contenido de proteína de la pastura fue disminuyendo desde 9,85% en el primer corte hasta 9,25 y 7,10 en el segundo y tercer corte respectivamente; de manera que la tendencia lineal resultó significativa al nivel del 5% de probabilidad (ver Figura 8).

Estos resultados están de acuerdo a lo establecido por Vicente-Chandler et al. (49), según lo cual, a medida que se aumenta el período de tiempo entre corte y corte, se requiere una mayor cantidad de nutrimentos para obtener un adecuado porcentaje de proteína en el forraje. Por otra parte, si consideramos los resultados obtenidos por Boyd (8) y Romney (39), aceptando que existe un notable efecto de la estación del año sobre la productividad y el contenido nutritivo de los pastos y se toma en cuenta que los cortes se hicieron cada 16 semanas, se puede justificar que los contenidos proteicos del pasto sean inferiores a los obtenidos en la serie Colorado y que hayan ido disminuyendo a través del año.

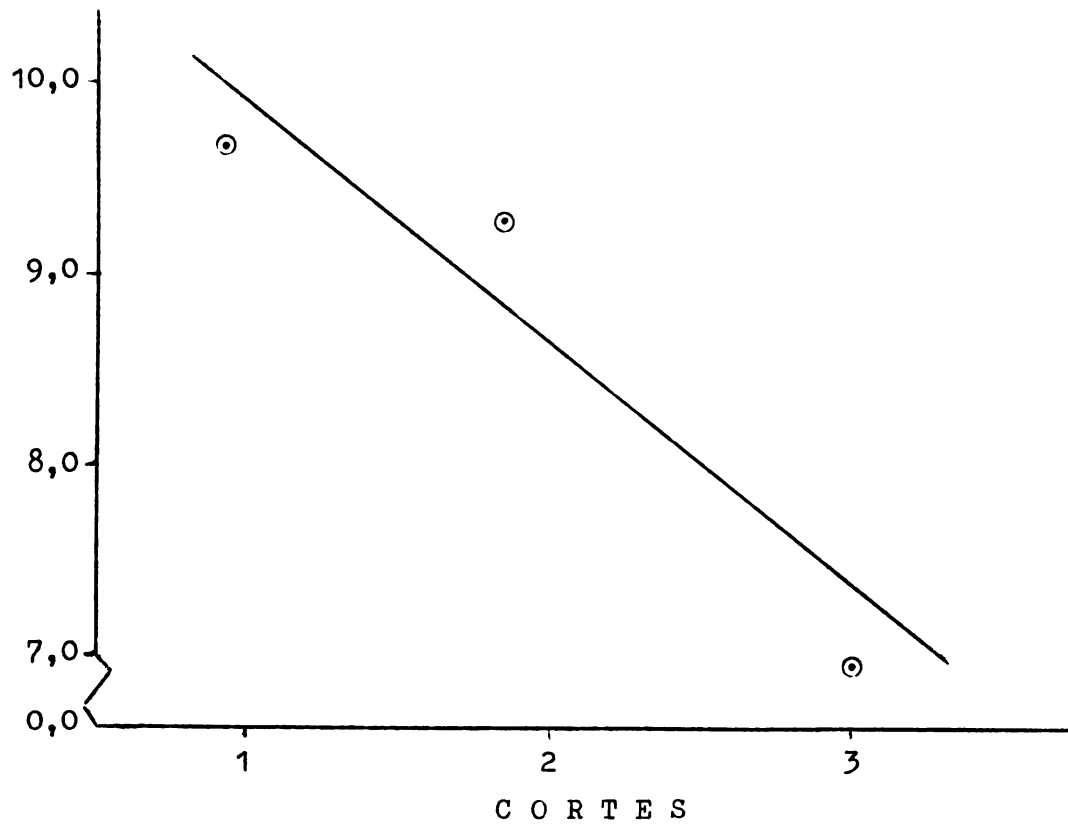


Fig. 8. Efecto de los cortes en el contenido proteico del pasto pangola.

El efecto de las interacciones no fue significativo ($P > .05$) y sólo el coeficiente de variación correspondiente a las fuentes fosfatadas resultó elevado.

$$CVa = 53,1\%$$

$$CVb = 7,0\%$$

$$CVc = 7,1\%$$

4.2.1.3. Calcio: los valores correspondientes a la variable calcio indican que ninguno de los fertilizantes fosfatados empleados para suministrar nutrimentos produjo un efecto diferencial significativo

sobre el contenido de este elemento en el tejido foliar y los niveles aplicados sólo hicieron variar el porcentaje de calcio en la planta de 0,12% a 0,108%. En la misma forma que en los casos anteriores, este contenido foliar sólo se vio afectado significativamente por los diferentes cortes de tal manera que la tendencia cuadrática resultó ser significativa al nivel del 1% de probabilidad (Figura 9), por lo tanto la explicación del fenómeno tiene las mismas bases que en los casos anteriores.

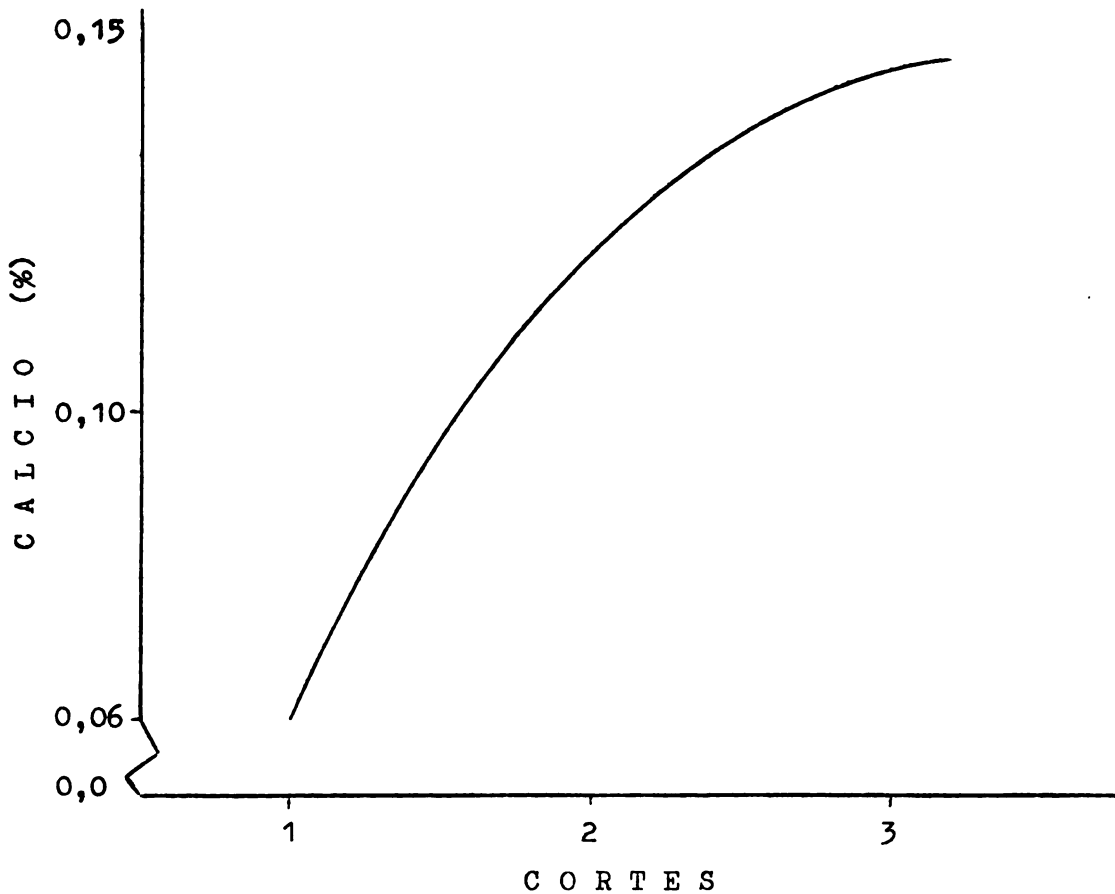
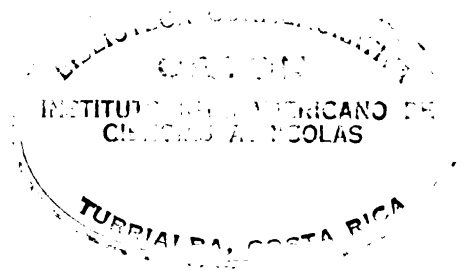


Fig. 9. Efecto de los cortes en el contenido de calcio foliar del pasto pangola.



Los efectos de las interacciones tanto de primero como de segundo orden no fueron apreciables ($P > .05$) y los coeficientes de variación demuestran que a pesar de las condiciones de campo en que se trabajó no fueron muy elevadas:

$$CVa = 16,1\%$$

$$CVb = 19,2\%$$

$$CVc = 20,6\%$$

4.2.1.2. Materia seca: al analizar los datos correspondientes de los Cuadros 10 y 12, se ve claramente que en la misma forma que lo ocurrido en proteína y calcio, el contenido de materia seca de la pradera sólo se vio afectada significativamente con los diferentes cortes a través del ciclo anual. Si se observa la Figura 10, es fácil deducir que la disminución en la producción de materia seca de 5.800 Kg/Ha en promedio a 3.400 entre el primero y segundo corte está estrechamente influida por el ciclo pluviométrico del lugar y es posible que este efecto sea de tal magnitud que pueda encubrir cualquier otra influencia significativa correspondiente a otro factor.

4.3. Efectos comparativos en las dos series de suelo

A pesar que no fue posible comparar estadísticamente los resultados obtenidos en las dos series de suelo, es conveniente hacer notar que, aunque se trabajó en condiciones ambientales similares, hubo diferencias entre los valores de cada una de las variables de respuesta obtenidas en uno u otro lugar. Es así como el menor valor de

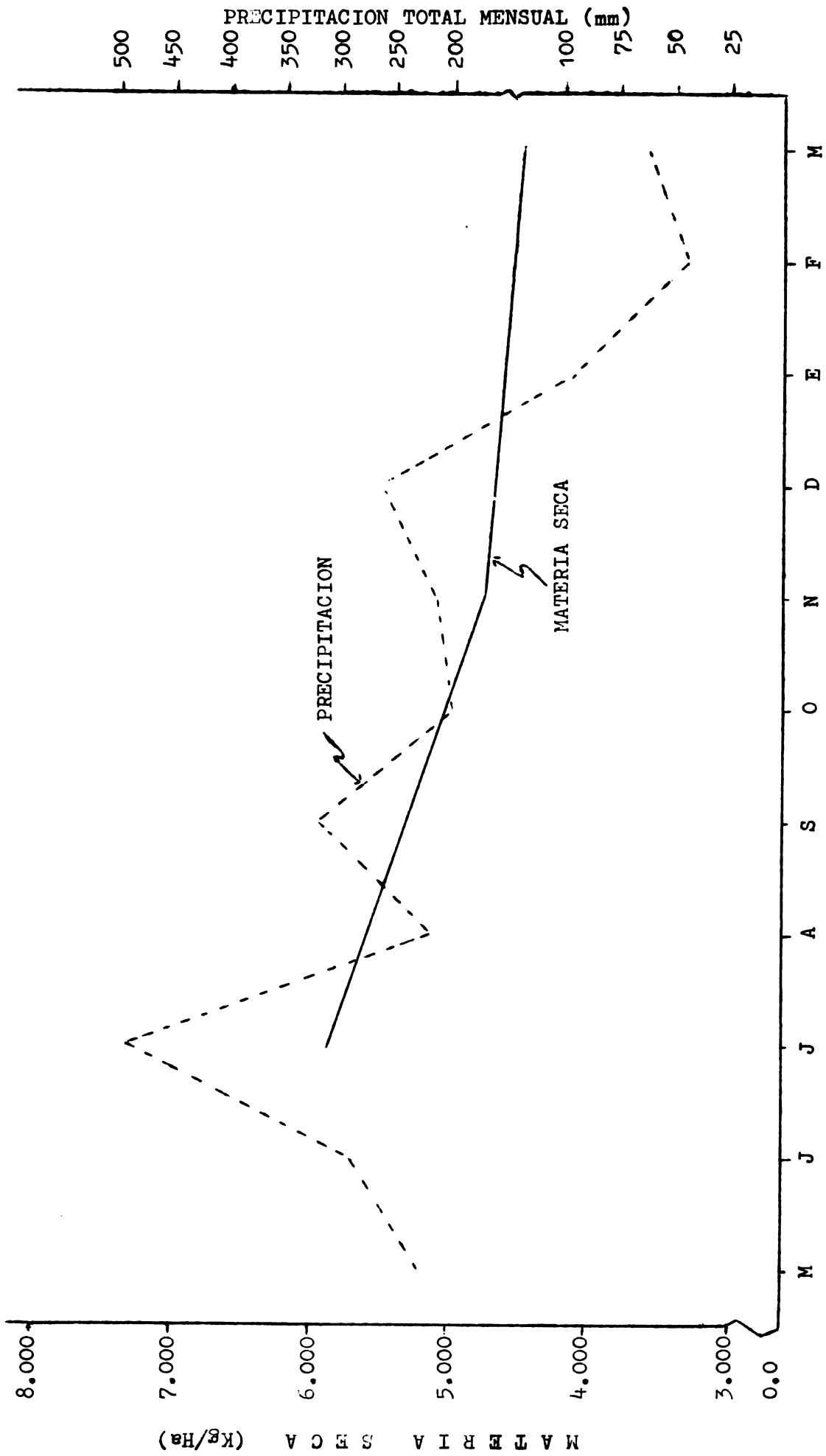


Fig. 10. Relación entre producción de materia seca y caída aluviométrica.

pH, el mayor poder de fijación de fósforo y el bajo poder de reposición del elemento que presenta el suelo de la serie Colorado, pueden ser los responsables de que los niveles de fosfatos empleados den resultados significativos y en cambio en la serie Instituto, por su menor poder de fijación, mayor disponibilidad de los fosfatos presentes y valor de pH superior; estos efectos aun no son detectables. Estas apreciaciones estarían de acuerdo con los trabajos realizados por Fassbender y otros (23).

En el caso de la producción de materia seca, variable que está estrechamente ligada a las condiciones climáticas ambientales, se pudo comprobar que en aquellos períodos de mayor precipitación la producción en el suelo Colorado fue superior a la obtenida en la serie Instituto (7.600 y 5.800 Kg/Ha respectivamente) debido posiblemente a que este último se vio continuamente inundado por estar en una zona baja y poseer mal drenaje lo que perjudicó el crecimiento normal del pasto. Pero esta misma característica de lento drenaje lo favoreció en el período de sequía y de esta manera la reducción de la cosecha en los cortes posteriores fue mucho menos drástica que en el caso del suelo Colorado. Los valores correspondientes a la reducción de la cosecha en la serie Instituto fue de 5.600 a 4.500 Kg/Ha entre el primero y tercer corte y en cambio en la serie Colorado de 7.600 a 4.800 Kg/Ha.

Finalmente el contenido de proteína y calcio foliar en general se vio superior en todos los cortes en la serie Colorado, lo que se justifica debido a que el período entre los cortes fue mucho menor.

5. CONCLUSIONES

De los resultados de la presente investigación se pueden deducir las siguientes conclusiones:

1. En las condiciones ambientales y de período de investigación en que se trabajó, no se establecieron diferencias entre las fuentes fosfatadas probadas.
2. Los niveles de fertilización empleados sólo dieron respuestas positivas en cuanto al contenido de fósforo foliar en el suelo de mayor poder de fijación de fosfatos.
3. La producción de materia seca de la pradera fue más influida por las condiciones de clima y drenaje del suelo que por la fertilización empleada.
4. El contenido foliar de proteína y calcio estuvo más relacionada con la precipitación y espaciamiento de los cortes que por las fuentes y niveles de fósforo aplicadas.
5. El suelo correspondiente a la serie Instituto está mejor dotado en fósforo que el suelo correspondiente a la serie Colorado, por lo tanto sólo en este último hubo una respuesta positiva a la fertilización.

6. RESUMEN

Dada la importancia que tiene el ácido fosfórico en el metabolismo vegetal, la permanente deficiencia en este elemento que tienen la mayoría de las praderas especialmente en el Continente Americano y el complejo que presenta la dinámica del fósforo en el sistema suelo-planta, se ha venido realizando una serie de investigaciones tendientes a resolver este problema.

El presente trabajo se llevó a cabo en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica. Se probaron dos fuentes fosfatadas, superfosfato triple y fosfato de Renania en praderas de pasto pangola (Digitaria decumbens Stent), establecidas en dos series de suelo con diferente capacidad de retención de fosfatos.

Los fertilizantes se probaron en cuatro niveles diferentes: 0, 50, 100 y 200 Kg/Ha de P_2O_5 aplicados en forma localizada en surcos de 0,30 m de profundidad y 1,00 m de distancia uno de otro.

Los resultados de la investigación indican que:

- en las condiciones ambientales, y durante el período de investigación en que se trabajó, no se establecieron diferencias entre las fuentes fosfatadas probadas;
- los niveles de fertilización sólo dieron respuesta significativa en cuanto al contenido de fósforo foliar en aquellos suelos de mayor poder de fijación de fosfatos.

- la producción de materia seca de la pradera tuvo más variación debido a las condiciones de clima y drenaje del suelo que debido a la fertilización;
- el contenido foliar de proteína y calcio estuvo más relacionado con la precipitación y con el espaciamiento de los cortes que por las fuentes y niveles de fósforo aplicados.

7. SUMMARY

Due to the importance that phosphoric acid has in the vegetable metabolism, to the permanent deficiency of this element in the majority of the prairies, especially in the American continent, and to the complex presented by the dynamics of phosphorus in the soil-plant system, a series of investigations are being carried out to try to solve this problem.

The present work was carried out at the Inter-American Institute of Agricultural Sciences of the OEA in Turrialba, Costa Rica. Two phosphate sources were tested, triple superphosphate and Renania phosphate on prairies of pangola pasture (Digitaria decumbens stent), established in two series of soil with different phosphate retention capacities.

The fertilizers were tested at four different levels: 0, 50, 100 and 200 Kg/Ha of P_2O_5 applied in a localized manner in rows 0.30m deep and 1.00 m apart.

The investigations allow following conclusions:

- at the environmental conditions and the investigation period in which the work was done, no differences were established between the tested phosphate sources;
- the fertilization levels only gave a significative response as to the content of foliar phosphate in those soils with greater phosphate fixation powers;

- the dry matter production of the prairie was more influenced by climatic and drainage conditions than by fertilization;
- the protein and calcium foliar content was more related to the precipitation and by the spacing of the cross sections than by the applied sources and levels of phosphorus.

LITERATURA CITADA

1. ANDENIYI, S. A. y WILSON, P. N. Studies on pangola grass at I.C.T.A. Trinidad I Effects of fertilizer application at time of stablishment and cutting interval on the yield of ungrazed pangola grass. Tropical Agriculture 37(5):271-282. 1960.
2. ABRUÑA, F. et al. Effects of liming on yields and composition of heavily fertilized grasses and on soil properties under humid tropical conditions. Soil Science Society of America Proceedings 28(5):657-661. 1964.
3. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Methods of analysis. 9th ed. Washington, D. C. 1960. 832 p.
4. BACIGALUPO, A. Avances de la alimentación animal en Latino América. In Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Las Ciencias Agrícolas en América Latina, progreso y futuro. San José, Costa Rica, 1967. pp. 419-452.
5. BECKWITH, R. S. y REEVER, R. Studies on soluble silica in soil. I. The sorption of silice by soils and minerals. Australian Journal of Soil Research no. 1:157-168. 1963.
6. BLASER, R. E. et al. Pastures for Florida. Florida Agriculture Experiment Station Bulletin no. 409. 1945. 78 p.
7. BLUE, W. G. Experimentos de fertilización en zacates en Costa Rica. s.n.t. 1960. 106 p.
8. BOYD, F. Fertility responses of St. Augustine, pangola and pensacola bahia grasses on South Florida sandy soils. Soil Crop Science Society Florida Proceedings no. 21(1):74-80. 1961.
9. BRENES, E. J., MILLER, R. y SCHEMENL, W. R. Fertilizer value of Rhenania type phosphates in green house experiments. Agronomy Journal 47(2):77-81. 1955.
10. BUDOWSKI, G. y SCHREUDER, G. F. The climate at Turrialba, Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Comunicaciones de Turrialba N° 68. 1962. 36 p.

11. CARO COSTA, R., VICENTE-CHANDLER, J. y FIGARELLA, J. The yields and composition of five grasses growing in the humid mountains of Puerto Rico as affected by nitrogen fertilization, season and harvest procedure. *Journal Agronomy University Puerto Rico* 44(3):107-120. 1960.
12. CHANG, S. C. y JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science* 84(2):133-144. 1957.
13. DE ALBA, J. y TAPIA, C. Estudio comparativo de dos gramíneas forrajeras: Axonopus compressus, Swts. y Digitaria decumbens, Stent. *Turrialba (Costa Rica)* 5(3):66-77. 1955.
14. _____ y DAVIS, K. G. Minerales en la nutrición animal en la América Latina. *Turrialba (Costa Rica)* 7(1-2):16-33. 1957.
15. _____. Alimentación del ganado en América Latina. México, D. F., Prensa Médica Mexicana, 1958. 336 p.
16. _____. Carencias minerales en el animal que vive del pastoreo. *Turrialba (Costa Rica)* 9(3):91-97. 1959.
17. DIAZ ROMEU, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. *Turrialba, IICA*, 1967. 3 p. (Mimeografiado)
18. FASSBENDER, H. W. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la Zona Oriental de la Meseta Central y de las Llanuras Atlánticas de Costa Rica. *Fitotecnia Latinoamericana (Costa Rica)* 3(1-2):187-202. 1966.
19. _____. La adsorción de fosfato en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana (Costa Rica)* 3(1-2):203-216. 1966.
20. _____. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica* 12(6):512-521. 1968.
21. _____ y MULLER, L. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfato. I. Efecto de aplicación de metasilicato de sodio. *Turrialba (Costa Rica)* 17(4): 371-375. 1967.
22. _____ y MULLER, L. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. II. Efecto de fertilizantes silico fosfatados. *Turrialba (Costa Rica)* 19(3) (en prensa), 1969.

23. FASSBENDER, H. W., MULLER, L. y BALERDI, F. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relación con las plantas. Turrialba 18(4):333-347. 1968.
24. GREWELING, T. y PEECH, M. Chemical soil tests. Ithaca, New York, Cornell University Experiment Station, 1965. 58 p.
25. HARDY, F. Soil of the I.A.I.A.S. area. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 76 p.
26. HITCHCOCK, A. S. Manual of grasses of the United States. 2a. ed. Washington, D. C., U.S. Department of Agriculture. 1950. pp. 573-584.
27. HODGE, E. M. et al. Pangola grass. Agricultural Experiment Station, Florida Bulletin 718. 31 p.
28. HUNTER, A. Effects of silicates on uptake of phosphorus from soil by four crops. Soil Science 100(6):391-396. 1965.
29. IGNATIEFF, V. comp. El uso eficaz de los fertilizantes. FAO Estudios Agropecuarios 43. 1960. 379 p.
30. JACOB, A. y UEXKULL, H. von. Fertilización. Trad. L. López Martínez de Alba. 3a ed. Hannover, Alemania, Ed. Verlagsgesellschaft für Ackerban.
31. MAC LACHLAN, K. D. Rock phosphate and superphosphate compared as pasture fertilizers on acid soils. Australian Journal Agriculture Research 2(4):513-523. 1960.
32. _____. Effects of previous superphosphate applications on the pasture environment and the response by pasture to a current dressing. Australian Journal Agriculture Research 13(5):836-852. 1962.
33. _____. Soil phosphorus and the pasture response to current application of superphosphate. Australian Journal of Experiment Agriculture and Animal Husbandry 3(10):184-189. 1963.
34. Mc LEAN, E. O. Factors affecting yields and uptake of phosphorus by different crops. II. Rock phosphate and superphosphate, separate and in combination, under extended cropping. Soil Science 82(3):181-192. 1956.
35. MULLER, L. Un aparato micro Kjeldahl simple para análisis rutinario rápido de materiales vegetales. Turrialba (Costa Rica) 11(1):17-25. 1961.

36. MUNNS, D. M. Soil acidity and growth of legume. I. Interactions of lime with nitrogen and phosphate on growth of Medicago sativa and Trifolium subterraneum. Australian Journal of Agricultural Research 16(5):733-741. 1965.
37. _____. Soil acidity and growth of legume. II. Reaction of aluminium and phosphate in solution and effects of aluminium phosphate, calcium and pH on Medicago sativa and Trifolium subterraneum in solution culture. Australian Journal of Agriculture Research 16(5):743-755. 1965.
38. OAKES, A. J., BOND, R. M. y SKOV, O. Pangola grass (Digitaria decumbens Stent) in the United States Virgin Islands. Tropical Agriculture 36(2):130-137. 1959.
39. ROMNEY, D. H. Productivity of pasture in British Honduras. II. Pangola pasture (as influenced by climate, soil type and phosphate fertilizer). Tropical Agriculture 38(1):39-47. 1961.
40. ROSSITER, R. C. y OZANNE, P. G. The short-term effects of rock phosphate and superphosphate on a subterranean clover pasture. Australian Journal of Agriculture Research 6(4):553-564. 1955.
41. SAIZ DEL RIO Y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos. Método de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, 1961. 95 p.
42. SAUCHELLI, V. ed. Chemistry and technology of fertilizers. New York, Reinhold Pub. Corp., 1963. 692 p.
43. SCARSETH, G. D. The mechanism of phosphate retention by natural alumino-silicate colloids. Journal of the American Society of Agronomy 27(8):596-616. 1935.
44. SCHMEAL, W. R. y BRENES, E. J. The availability of high temperature process alkali (Rhenania type) phosphates to crops when applied to calcareous soils. Soil Science Society of American Proceedings 17(4):375-378. 1953.
45. SHETH, A. A., YU, L. y EDWARDSON, J. Sterility in pangola grass (Digitaria decumbens Stent). Agronomy Journal 4(11):505-507. 1956.
46. TOTH, S. J. The stimulating effects of silicates on plant yields in relation to anion displacement. Soil Science 47(1):123-141. 1939.

47. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Manual de levantamiento de suelo. Trad. Juan B. Castillo. Caracas, Ministerio de Agricultura y Cría, 1965. 646 p.
48. VELASCO, M. J. H. Determinación de P, Ca y Proteína de distintos pastos aprovechados por bovinos de algunas zonas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1966. 47 p. (Mimeografiada)
49. VICENTE-CHANDLER, J. et al. El manejo intensivo de forrajes tropicales en Puerto Rico. Puerto Rico, Estación Experimental Agrícola, Boletín 202. 1967. 169 p.
50. WAGGAMAN, W. H. Concentrated of triple superphosphate. In Waggaman W. H. ed. Phosphoric acid, phosphates and phosphatic fertilizer. 2a. ed. New York, Reinhold, 1952. pp. 290-307.
51. WERNER, W. Die Rhenania-düngen. Hannover, Alemania, Verlag M. y Schaper, H., 1967. 120 p.
52. WHITNEY, W. T. y HOLLINGSWORTH, C. A. Calcined, fused and defluorinated phosphate. In Waggaman, W. H. ed. Phosphoric acid, phosphates and phosphatic fertilizers. 2a. ed. New York, Reinhold, 1952. pp. 376-406.
53. WILSON, A. E. Analysis of citrus tissue. Lake Alfred, Florida, Agricultural Experiment Station University of Florida Progress Report no. 340. 1950.