

## PRADERAS ARTIFICIALES EN EL VALLE DE TOLUCA, ESTADO DE MEXICO

Lourdes Flores-Delgadillo\*

### RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio de campo en el que se probó el efecto de una fertilización fosfórica combinada con estiércol de bovino y de ave de corral sobre una asociación de pastos y tréboles, con objeto de determinar la productividad óptima de estas plantas forrajeras en las condiciones edáficas y climáticas de la región.

Se probaron 21 tratamientos en los que se incluye fósforo, estiércol, gallinaza y cal; se empleó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones.

La evaluación se hizo en función del forraje obtenido durante un año a través de ocho cortes efectuados, relacionando esto con el contenido de fósforo asimilable en suelos y el porcentaje de fósforo total en plantas, analizando toda la información estadísticamente mediante análisis de varianza y regresión múltiple.

Los resultados del análisis de regresión indicaron que para la variable de rendimiento de forraje, la interacción entre fósforo y gallinaza produjo incrementos significativos con concentraciones altas de fertilizante y abono. La concentración de fósforo en el suelo en forma disponible se incrementó por la interacción entre el fertilizante fosfatado y el estiércol.

Respecto al porcentaje de fósforo absorbido por las plantas, se observó que la gallinaza y el fósforo en forma de fertilizante tuvieron una marcada influencia, especialmente a altas concentraciones. Se sugiere emplear en la zona de estudio la fórmula de fertilización 240-120-0, la cual debe complementarse con abonos naturales, particularmente gallinaza, en una dosis de 30 ton/ha.

### ABSTRACT

A field study was carried out to prove the effect of phosphoric fertilization combined with cattle and fowl manure on an association of grasses and clovers. The object was to determine the optimum productivity of these fodder plants within the regional edaphic and climatic conditions.

Twenty one treatments were tried, including phosphorus, manure, ben-dung and lime; the experimental design used was random blocks with three repetitions.

The evaluation done was based on the fodder obtained in one year through eight cuts, relating this to the contents of assimilated phosphorus in soils and the percentage of total phosphorus in plants, analyzing all the information statistically by calculating the variance and multiple regression.

The results of the regression analysis indicated that for the fodder yield variable, the interaction between phosphorus and ben-dung produced significant increases with high concentrations of fertilizers and manure. The concentration of available phosphorus in soils increases with the interaction between phosphated fertilizers and manure. With relation to the percentage of phosphorus absorbed by plants, it was noticed that ben-dung combined with phosphorus in the form of fertilizers had a marked influence, specially in high concentrations. It is suggested that within the studied area the fertilizing formula should be 240-120-0, complemented with natural manures, particularly ben-dung, on a dosis of 30 ton/ha.

### ANTECEDENTES

Para hacer frente a la demanda de productos pecuarios en nuestro país, en los últimos años se han intensificado las investigaciones orientadas a la producción de forrajes de alta calidad y de bajo costo.

Las praderas artificiales, como tipo de cultivo altamente especializado, requieren de grandes cuidados y atenciones, pues el mejoramiento de la nutrición del ganado implica un conocimiento de todos los factores que afecten el valor nutritivo del forraje producido.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas, particularmente los andosoles, debido a su alta productividad y gran extensión en nuestro país, juegan un papel muy importante en la agricultura y economía, puesto que en ellos se encuentran cultivos industriales tales como café, caña de azúcar, algodón, cítricos, etc. Asimismo, en estos suelos po-

drían introducirse praderas artificiales que se utilizarían para la más avanzada industria lechera.

El suelo utilizado para la realización de este trabajo deriva de rocas ígneas y cenizas volcánicas de basalto y andesita, con predominio de los andosoles (Aguilera, 1969).

El área de estudio se encuentra a una altura de 2,550 m.s.n.m. y pertenece al Municipio de Jocotitlán. La geología de este municipio, según la Carta Geológica de la República Mexicana de 1960, indica la presencia del Cenozoico superior volcánico, formado por rocas volcánicas del Plioceno superior al Reciente, entre las que predominan lavas, brechas, tobas y cenizas basálticas y andesíticas.

En esta clase de suelos del Valle de Toluca, así como en muchas otras áreas del país, el fósforo generalmente es una limitante de la producción, pues su disponibilidad para las plantas muchas veces es pequeña y aunque se apliquen grandes cantidades de este elemento en forma de fertilizante, éste es fijado en el suelo, probablemente como resultado de la interacción con otros componentes como fierro y aluminio libres, alófanos y otros materiales amorfos, formando

\*Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.

compuestos insolubles que no pueden ser aprovechados por las plantas (Peña *et al.*, 1971; Turrent, 1962).

Se han realizado numerosas investigaciones para tratar de explicar los mecanismos por los que se lleva a cabo esta fijación. Rajan y Fox (1975) y Rajan y Watkinson (1976) encontraron que los iones fosfato y la selenita se intercambian con otros iones como sulfatos, silicatos y grupos hidroxilo; siendo adsorbido el fósforo tres veces más que la selenita, y llegando el primero a desplazar al sílice estructural.

Al estudiar Gebhardt y Coleman (1974) suelos de México y Hawaii, encontraron que la adsorción del fósforo se realiza sobre sitios protonados de la fracción arcillosa en ambos suelos alofánicos.

Mizota (1977) estudió la capacidad de fijación de fósforo de cinco suelos de ando y observó que ésta tenía relación con la composición mineral arcillosa, pues los suelos en los que predominaba el alófano y la imogolita mostraron las capacidades de fijación de fósforo más altas, aunque también contribuían el hierro y el aluminio, minerales haloisíticos y materiales semejantes al alófano.

En suelos con estos problemas de fijación de fósforo, se ha observado que el empleo de residuos orgánicos favorece la asimilación del fósforo por las plantas. Appelt y colaboradores (1975) encontraron que los ácidos húmicos y las partículas coloidales alúmino-silicatadas no cristalinas, como el alófano, tienen ciertas características por las que se establecen interacciones, y así los ácidos húmicos bloquean algunos sitios de adsorción del alófano.

Singh y Jones (1976) observaron que los residuos orgánicos disminuyen la cantidad de fósforo adsorbido por el suelo, y sugieren que la descomposición microbiana tiene una marcada influencia en la fijación y liberación del mismo en el suelo.

En México se han hecho estudios en suelos de la Sierra Tarasca, caracterizados por ser deficientes y fijadores de fósforo, con altas concentraciones de hierro y aluminio activos. En estos suelos, se han empleado algunos abonos naturales como la gallinaza, habiéndose encontrado aumentos muy significativos en el rendimiento de cultivos como maíz, frijol y lechuga. Puesto que los andosoles presentan una lenta mineralización de la materia orgánica, el mayor beneficio de la gallinaza se ha logrado mediante aplicaciones de ésta en forma combinada con fertilizantes nitrogenados y fosfatados (Navarro *et al.*, 1962; Alcalde y Mestanza, 1973).

## MÉTODOS

**Análisis de suelos.** Para la caracterización del suelo de la zona de estudio, se tomaron 20 muestras al azar a una profundidad de 0-30 cm, correspondientes al lote experimental, a las cuales les fueron practicados los siguientes análisis: densidad aparente por el método de la probeta, Blake (1965); textura por el método de Bouyoucos (1962); reacción del suelo en agua y  $\text{CaCl}_2$  0.1N pH 7, usando suspensiones de relación 1:2.5; materia orgánica por el método de Walkley (1947); capacidad de intercambio catiónico total por el método de centrifugación, saturando con  $\text{CaCl}_2$  1N pH 7 y eluyendo con  $\text{NaCl}$  1N pH 7, Chapman (1965) modificado; fósforo asimilable por el método de Bray y Kurtz (1945); fósforo total por el método de Tandon y colaboradores (1968); capacidad de fijación de fósforo por el método de Waugh y Fitts (1966); aluminio intercambiable por el método de Coleman y colaboradores (1959); alófano por

el método de Hashimoto y Jackson (1958).

**Diseño experimental.** Se empleó el diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones, con 21 combinaciones de tratamientos del diseño factorial parcial "San Cristóbal", Rojas (1963), en el que se incluyeron cuatro niveles igualmente espaciados de cuatro factores, que fueron: fósforo en un rango de 40 a 160 kg/ha, con incrementos de 40 kg/ha; estiércol y gallinaza de 10 a 40 ton/ha con incrementos de 10 ton/ha, y cal de una a cuatro ton/ha con incrementos de una ton/ha.

En la Tabla 1 se describen las combinaciones de fertilización de los diferentes tratamientos.

Tabla 1.- Diseño de tratamientos.

Tratamiento Núm.	N kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Estiércol ton/ha	Gallinaza	Cal
1	240	40	10	10	1
2	240	40	10	10	3
3	240	40	10	30	1
4	240	40	10	30	3
5	240	40	30	10	1
6	240	40	30	10	3
7	240	40	30	30	1
8	240	40	30	30	3
9	240	120	10	10	1
10	240	120	10	10	3
11	240	120	10	30	1
12	240	120	10	30	3
13	240	120	30	10	1
14	240	120	30	10	3
15	240	120	30	30	1
16	240	120	30	30	3
17	240	80	20	20	2
18	240	160	20	20	2
19	240	80	40	20	2
20	240	80	20	40	2
21	240	80	20	20	4

La fertilización nitrogenada se hizo con una dosis uniforme de 240 kg/ha, aplicando a cada parcela una dosis de 30 kg/ha después de cada uno de los cortes. Las fuentes de nitrógeno y fósforo fueron nitrato de amonio (33.5% de N) y superfosfato de calcio triple (46.0% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), respectivamente.

Las dimensiones de las parcelas fueron de 10 m de longitud por cinco metros de anchura, separadas por calles de dos metros de anchura. Las dimensiones del área experimental fueron de 5,590 m<sup>2</sup>.

**Operaciones de campo.** Se procuró que el sitio seleccionado fuera plano y con cierta pendiente para facilitar el riego rodado.

Las prácticas de cultivo consistieron en la preparación de una cama de siembra, roturando, rastreando y nivelando el terreno y la aplicación de fertilizantes, mejoradores y abonos.

Después de marcar con hilos cada una de las parcelas, se procedió a la aplicación de estiércol, gallinaza y cal, pesando la cantidad correspondiente a cada uno de los tratamientos y distribuyéndola uniformemente en toda la superficie de las parcelas, para después mezclarlos con el suelo. Esta aplicación de abonos y mejoradores se hizo cinco días antes de la siembra, mientras que la aplicación de los fertilizantes al momento de la siembra.

La siembra se hizo al voleo y se utilizó una asociación formada por tres variedades de gramíneas y dos de leguminosas. Las especies utilizadas y sus densidades de siem-

bra fueron las siguientes: *Lolium multiflorum* var. *Westerwolicum*, 8 kg/ha; *L. multiflorum* var. *Italicum*, 8 kg/ha; *Dactylis glomerata*, 4 kg/ha; *Trifolium alexandrinum*, 6 kg/ha; *T. pratense* var. *Kenland*, 3 kg/ha. Tomando la experiencia de otras investigaciones en la misma zona, se seleccionaron especies de lento y rápido desarrollo, para tener forraje en todas las épocas del año.

Durante la época de invierno se aplicaron riegos pesados y frecuentes, para mantener la humedad en condiciones de capacidad de campo y contrarrestar en lo posible el efecto de las heladas.

Se controlaron las malas hierbas erradicándolas manualmente, pues se consideró que el uso de herbicidas influiría en los resultados que se obtuvieran.

**Cortes y muestreos.**- Con el fin de obtener la productividad de forraje en un año, se realizaron ocho cortes, con intervalos de 45-50 días cada uno. En cada corte se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0-30 cm para determinar el contenido de fósforo asimilable.

La valoración de la productividad en verde se hizo pesando la totalidad del forraje obtenido en cada parcela en el momento del corte; de éste se tomó una muestra al azar de alrededor de 500 g, misma que se secó al aire para obtener por extrapolación el peso seco total. Posteriormente esta muestra fue molida y tamizada para determinar fósforo total.

**Análisis estadístico.**- Con los resultados obtenidos se hizo un análisis de varianza para observar el efecto de los tratamientos sobre cada una de las variables estudiadas, que fueron: rendimiento de forraje seco ( $Y_1$ ); fósforo aprovechable en el suelo ( $Y_2$ ) y contenido de fósforo total en las plantas ( $Y_3$ ).

Estos datos se analizaron también como un diseño de bloques al azar con arreglo factorial de parcelas divididas, en el que las parcelas grandes correspondieron a los tratamientos de fertilización y las chicas a los cortes efectuados.

Finalmente, mediante regresiones múltiples se estimaron los valores y la significación estadística de los parámetros estudiados en sus efectos lineales, cuadráticos e interacciones lineales, bajo el modelo de la siguiente ecuación:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_1^2 + b_6 X_2^2 + b_7 X_3^2 + b_8 X_4^2 + b_9 X_1 X_2 + b_{10} X_1 X_3 + b_{11} X_1 X_4 + b_{12} X_2 X_3 + b_{13} X_2 X_4 + b_{14} X_3 X_4$$

donde Y es la respuesta, medida en rendimiento, fósforo, etc.  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  son las dosis de fósforo, estiércol, gallinaza y cal, respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSION

**Características físicas y químicas del suelo.**- La parte superficial del suelo que fue analizada tuvo una textura de tipo migajón arcillo-arenoso, con una densidad aparente que varió de 0.96 a 1.11 g/cc. Los porcentajes de materia orgánica son bajos (1.41-1.87). Los valores de pH, en la suspensión de suelo-agua, de 6.5 a 7.5. La capacidad de intercambio catiónico total fluctuó entre 17 y 19 meq/100 g. Los valores obtenidos de fósforo asimilable indican que el suelo va de deficiente a mediano en este elemento, ya que se obtu-

vieron valores de 10 a 20 kg/ha. La ligera deficiencia de fósforo que presentan estos suelos de ando tiene explicación si consideramos el alto contenido de material amorfo (alófano) que se encontró. Este material fija cantidades considerables de fósforo, limitando la disponibilidad de este elemento para las plantas. Los suelos mostraron una alta capacidad de fijación de fósforo (60 %) y contenidos altos de amorfos, principalmente alófano (44 %). Los valores de aluminio intercambiable fluctuaron de 0.037 a 0.055 meq/100 g.

**Rendimiento de forraje seco ( $Y_1$ ).**- Las Tablas 2 y 3 muestran los resultados de rendimiento fresco y seco, respectivamente. En ellas pueden apreciarse diferencias entre los tratamientos; por ejemplo, en los primeros ocho hay un aumento en el rendimiento cuando se aplicaron altas dosis de estiércol y gallinaza, aunque la dosis de fósforo fuera baja, (tratamientos 7 y 8).

También podemos observar que si aumentamos la dosis de fósforo a 120 kg/ha, no es necesario aplicar la mezcla de estiércol y gallinaza, sino que se logran buenos rendimientos usando esta misma dosis de fósforo; es decir 120 kg/ha, con 30 ton/ha de gallinaza, 3 ton/ha de cal y sólo 10 ton/ha de estiércol, (tratamientos 11 y 12). Según estos datos, podría decirse que si se aplicaran altas dosis de la mezcla de los dos abonos con dosis altas de fósforo, disminuiría el rendimiento de forraje (tratamientos 15 y 16).

Observando los últimos cinco tratamientos, se diría que no es muy conveniente la aplicación de 160 kg/ha de fósforo, pues se obtiene una disminución en el rendimiento de forraje.

El análisis de varianza de los datos de rendimiento de forraje seco indica que en los cortes segundo, cuarto, sexto, séptimo y octavo, el efecto de los tratamientos de fertilización fue altamente significativo.

En los cortes primero, tercero y quinto, el análisis de varianza no detectó la significación estadística de algunos efectos de tratamientos sobre esta variable.

Los coeficientes de variación y la media general caen dentro de los valores encontrados por otros investigadores que han trabajado con poblaciones de pastos asociados con leguminosas.

Mediante un análisis de varianza combinado para los ocho cortes, se observó que hubo efecto de éstos a través del tiempo sobre el rendimiento de forraje, ya que los rendimientos medios para cada uno son diferentes entre sí, y esta diferencia es altamente significativa entre cortes.

Los resultados del análisis de regresión se muestran en la Tabla 4; en ella puede observarse que se encontró un efecto lineal y positivo del fósforo, únicamente en el octavo corte. Este hecho se tradujo en incrementos altamente significativos sobre el rendimiento, aunque por haberse presentado en sólo uno de los ocho cortes efectuados, el resultado no puede generalizarse, de manera que no encontraremos efectos significativos sobre el rendimiento cuando sea aplicado al suelo el fertilizante fosfórico sólo.

De los ocho cortes efectuados, en cinco se observó efecto de fósforo. En el primero, segundo, sexto y octavo, este efecto se presentó en interacción con la gallinaza, cuya reacción sobre el rendimiento fue lineal y positiva en todos los casos. Partiendo de esto, podría asegurarse que se obtendrán incrementos altamente significativos en el rendimiento, cuando se aplique al suelo el fertilizante fosfatado en combinación con gallinaza.

Tabla 2.- Rendimiento de forraje fresco en ton/ha. Promedios de tres observaciones.

Tratamientos	Núm. de cortes								Producción Anual	X
	P E G C	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º		
1.- 40-10-10-1	18.10	15.83	10.19	5.16	8.60	24.46	24.42	14.22	121.51	15.18
2.- 40-10-10-3	17.03	19.96	10.98	5.71	10.36	29.72	24.96	17.06	135.80	16.97
3.- 40-10-30-1	22.96	20.50	12.18	7.83	10.05	24.04	26.50	17.44	141.69	17.71
4.- 40-10-30-3	19.73	21.23	12.98	6.50	8.02	27.36	20.60	16.26	132.71	16.58
5.- 40-30-10-1	19.80	15.13	10.98	6.59	9.42	24.82	22.74	16.00	125.50	15.68
6.- 40-30-10-3	18.36	21.83	9.28	6.60	9.34	27.98	26.38	17.42	135.54	16.94
7.- 40-30-30-1	23.50	25.70	10.64	6.42	10.66	29.96	20.18	18.23	145.48	18.18
8.- 40-30-30-3	23.40	22.33	12.05	7.18	7.69	30.48	25.35	20.09	148.60	18.57
9.-120-10-10-1	18.43	23.93	11.68	5.58	8.40	30.33	23.42	19.88	141.68	17.71
10.-120-10-10-3	17.10	17.16	9.48	5.22	7.96	23.40	25.73	20.08	126.16	15.77
11.-120-10-30-1	26.26	21.13	12.20	7.80	10.58	31.88	30.43	28.76	162.24	20.28
12.-120-10-30-3	22.63	28.70	14.52	7.13	9.52	35.02	32.26	38.04	188.06	23.50
13.-120-30-10-1	21.23	21.83	10.59	5.81	10.40	23.01	27.40	21.44	141.74	17.71
14.-120-30-10-3	18.20	24.80	9.85	6.32	7.22	20.70	23.50	19.27	129.88	16.23
15.-120-30-30-1	21.20	27.76	12.44	6.76	9.54	31.27	25.49	25.72	160.20	20.02
16.-120-30-30-3	26.96	23.20	13.40	7.70	10.73	25.62	27.83	26.14	161.60	20.20
17.- 80-20-20-2	16.63	27.00	10.72	5.74	7.28	22.10	23.46	18.85	131.80	16.47
18.-160-20-20-2	23.00	17.10	11.28	7.08	7.81	28.44	22.52	18.49	135.74	16.96
19.- 80-40-20-2	22.46	26.76	12.46	7.09	9.58	29.00	21.34	19.00	147.72	18.46
20.- 80-20-40-2	23.73	23.90	11.81	6.60	9.47	25.17	26.14	18.02	144.85	18.10
21.- 80-20-20-4	22.66	21.46	11.22	6.78	8.36	28.92	26.47	20.66	146.28	18.28
X	21.11	22.25	11.47	6.55	9.09	27.32	25.10	20.55	143.08	17.88

Tabla 3.- Rendimiento de forraje seco en ton/ha. Promedios de tres observaciones (Y<sub>1</sub>)

Tratamientos	Núm. de cortes								X	
	P E G C	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º		8º
1.- 40-10-10-1	3.00	2.96	2.61	1.53	3.25	9.52	5.73	3.81	32.45	4.05
2.- 40-10-10-3	3.26	3.33	2.75	1.63	3.09	11.74	5.91	4.45	36.18	4.52
3.- 40-10-30-1	4.30	3.60	3.26	2.18	2.86	9.19	5.39	4.54	35.35	4.41
4.- 40-10-30-3	2.56	4.06	3.82	1.85	2.46	11.58	5.11	3.92	34.70	4.33
5.- 40-30-10-1	3.30	3.16	2.90	1.90	1.99	9.24	4.68	3.92	32.11	4.01
6.- 40-30-10-3	3.03	4.26	2.48	1.86	3.09	10.45	6.52	4.53	36.26	4.53
7.- 40-30-30-1	3.53	4.10	2.66	1.91	3.44	10.39	4.42	4.06	34.54	4.31
8.- 40-30-30-3	2.83	4.26	3.70	2.18	2.33	12.54	5.32	4.84	38.36	4.79
9.-120-10-10-1	2.66	4.43	3.25	1.59	2.81	10.96	5.97	4.53	36.23	4.52
10.-120-10-10-3	3.63	3.63	2.88	1.54	2.68	8.82	5.92	4.51	33.64	4.20
11.-120-10-30-1	3.66	3.73	3.07	2.31	3.12	10.50	5.95	6.17	38.54	4.81
12.-120-10-30-3	3.83	5.06	3.61	1.99	3.30	14.67	7.56	6.85	46.91	5.86
13.-120-30-10-1	3.50	4.06	2.60	1.77	3.17	7.43	5.24	5.17	34.29	4.28
14.-120-30-10-3	2.86	4.86	2.87	1.88	2.38	8.42	5.35	4.65	33.30	4.16
15.-120-30-30-1	3.03	5.46	3.14	1.78	2.88	11.49	5.38	5.87	39.29	4.91
16.-120-30-30-3	3.90	4.30	3.45	2.10	3.18	9.41	5.99	7.12	39.46	4.93
17.- 80-20-20-2	2.26	4.66	3.23	1.68	2.29	8.45	4.76	4.22	31.61	3.95
18.-160-20-20-2	5.10	3.30	3.08	1.99	2.57	10.80	4.99	4.13	35.96	4.49
19.- 80-40-20-2	3.50	4.86	3.36	2.04	2.73	10.73	4.55	4.58	36.18	4.52
20.- 80-20-40-2	4.10	4.43	3.32	1.88	3.02	9.32	6.65	4.01	36.75	4.59
21.- 80-20-20-4	4.83	4.10	3.50	1.95	3.42	10.68	5.41	4.65	39.76	4.97
X	3.46	4.12	3.12	1.88	2.90	10.30	5.56	4.78	36.28	4.53

En el segundo corte se presentó la interacción entre fósforo y cal, cuyo efecto fue positivo sobre el rendimiento de forraje seco. En el quinto corte la interacción que se presentó fue entre fósforo y estiércol, y su respuesta fue lineal y negativa sobre la variable en estudio. Estos dos últimos efectos no pueden ser tomados en consideración, ya que además de ser diferentes, cada uno se presenta sólo en uno de los ocho cortes realizados.

La gallinaza presentó efectos lineales, negativo en el primer corte y positivo en el cuarto. Con estos datos no po-

dría asegurarse que con aplicaciones únicamente de gallinaza se obtuviesen incrementos significativos en el rendimiento de forraje.

En seis de los ocho cortes se presentó efecto de gallinaza, y la mayoría de éstos fue en interacción con fósforo, como se mencionó anteriormente.

Otra interacción que debe tomarse en cuenta es la de gallinaza y cal, cuyo efecto sobre el rendimiento fue lineal y positivo en los tres casos, por lo que podrían esperarse incrementos altamente significativos en el rendimiento de

forraje, con aplicaciones de gallinaza al suelo, aunadas a cal y fertilizante fosfórico, como en realidad se obtuvo en el sexto corte, donde los efectos que se presentaron fueron interacciones entre gallinaza y cal, y entre fósforo y gallinaza.

Tabla 4.- Efectos significativos de los tratamientos de fertilización sobre el rendimiento de forraje seco, al 0.01 y 0.05 de probabilidad y en cada uno de los cortes estudiados.

		Cortes					
1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
+PG	+EG	+GC	+G	-C <sup>2</sup>	+GC	-E <sup>2</sup>	+PG
-G	+PC		-E	-PE	+PG		+P
	+PG		-EG				
			+GC				

Otra reacción de la gallinaza que se presentó fue en interacción con el estiércol. Esta interacción se observó en el segundo corte, con efecto positivo, y en el cuarto, donde la respuesta resultó negativa sobre la variable en estudio. Así, aunque esta interacción se presentó en dos cortes, no podría tomarse en cuenta en virtud de que sus efectos fueron diferentes.

Por otra parte, el estiércol presentó un resultado lineal y negativo en el cuarto corte. Se encontró también un efecto cuadrático en el séptimo, el cual también fue negativo sobre el rendimiento de forraje seco. Con estos resultados tal vez podría esperarse que con aplicaciones al suelo en dosis bajas y altas de este abono, se obtuviese un abatimiento en el rendimiento, como se obtuvo en el cuarto corte, en donde además se presentó la reacción negativa de la interacción entre estiércol y gallinaza. No obstante, con estos datos no se puede asegurar dicho abatimiento.

También se observó un efecto cuadrático negativo de la cal sobre el rendimiento, únicamente en el quinto corte.

De las ecuaciones de regresión obtenidas para esta variable, se escogió la del sexto corte, por considerar que es la que mejor representa el fenómeno ocurrido en la mayoría de los cortes estudiados:

$$Y_1 = 9.13 + 0.002 PG + 0.026 GC$$

Mediante esta ecuación se estimaron los rendimientos medios para los tratamientos de fertilización correspondientes a fósforo y gallinaza, que aparecen en la Tabla 5, con los cuales se pudo graficar la superficie de respuesta de la Figura 1.

Tabla 5.- Sexto corte. Rendimiento de forraje seco, en ton/ha. Medias estimadas.

Gallinaza en ton/ha	Fósforo kg/ha				
	0	40	80	120	160
0	9.13	9.39	9.65	9.91	10.17
10	9.13	10.19	11.25	12.31	13.37
20	9.13	10.99	12.85	14.71	16.57
30	9.13	11.79	14.45	17.11	19.77
40	9.13	12.59	16.05	19.51	22.97

Como puede observarse en las ilustraciones mencionadas, se presenta una interacción lineal entre fósforo y gallinaza, cuya reacción sobre el rendimiento es positiva y altamente significativa. La gallinaza y la cal también interactúan entre sí, siendo su reacción positiva sobre la misma variable.

$$Y_1 = 0.11 + 0.002G^2 + 0.00010 PG$$

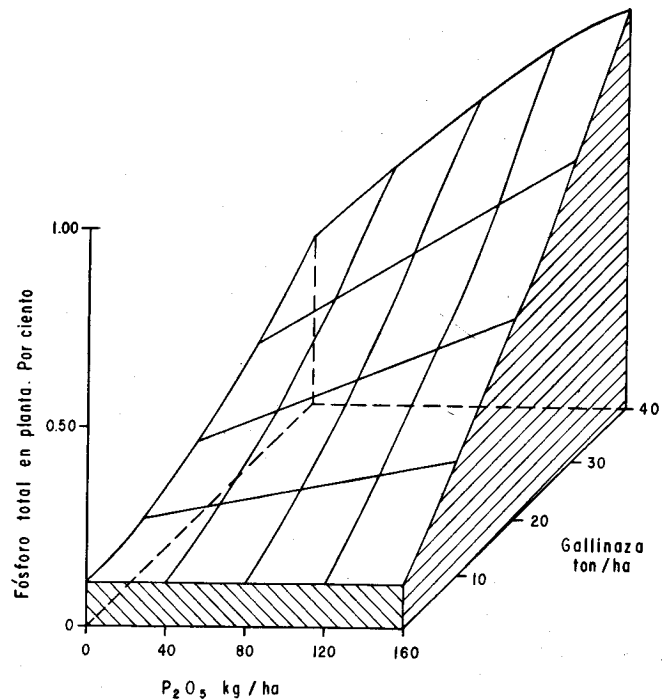


Figura 1.- Superficie de respuesta calculada para aplicaciones de fósforo y gallinaza en la producción de forraje.

Sin adición de fósforo y con aplicaciones de gallinaza en sus niveles de 0 a 40 ton/ha, la producción de forraje no aumenta ni disminuye, permanece en un nivel de 9.13 ton/ha; mientras que con la adición de fósforo al suelo en sus niveles de 0 a 160 kg/ha, y sin la aplicación de gallinaza, la producción se incrementa ligeramente en un 5.7 %.

Sin embargo, la interacción entre fósforo y gallinaza es altamente significativa, indicando que cuando se aplique al suelo fósforo y gallinaza en sus mismos niveles de 0 a 160 kg/ha y 0 a 40 ton/ha respectivamente, la producción de forraje se incrementará en un 101.0 %.

**Fósforo asimilable.**- En la Tabla 6 se muestran los contenidos de fósforo aprovechable en el suelo. Se puede observar, en forma general, que aun con los tratamientos más bajos se logran extraer del suelo altas cantidades de fósforo asimilable. Pero si se observan los tratamientos 12, 13, 15, 16, se verá que con ellos se obtienen los más altos contenidos de fósforo en el suelo, y ello coincide con los más altos rendimientos de forraje obtenidos en este estudio. Esta observación se podría explicar si suponemos que la aplicación de 120 kg/ha de fósforo al suelo, en combinación con abonos orgánicos, favorece la disponibilidad de este elemento para las plantas. Algunos investigadores indican que los aniones orgánicos bloquean una gran parte de los sitios de adsorción de los fosfatos, pues existe una amplia afinidad entre estos aniones orgánicos y las superficies externas de las partículas amorfas como es el alófano (Appelt et al., 1975).

La influencia de los residuos orgánicos sobre la sorción y desadsorción del fósforo en suelos fijadores de este elemento ha sido estudiada ampliamente.

En este estudio también puede apreciarse la influencia tan positiva que tuvieron los abonos orgánicos en el con-

tenido de fósforo disponible para las plantas, sobre todo si se observa que es a partir del tercer corte donde empieza un aumento de este elemento. Este hecho confirma tam-

bién el papel que tienen los estiércoles en la liberación lenta de nutrientes, lo cual es muy adecuado en experimentos de campo con cultivos perennes o semiperennes.

Tabla 6.- Fósforo asimilable en el suelo en kg/ha. Promedios de tres observaciones ( $Y_2$ ).

Tratamientos	Núm. de cortes									
	P E G C	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	X
1.- 40-10-10-1		18.60	21.96	31.59	27.06	39.64	27.17	34.26	41.96	30.28
2.- 40-10-10-3		33.94	30.92	47.16	42.80	42.71	38.16	22.26	31.51	36.18
3.- 40-10-30-1		31.92	37.79	49.08	44.33	43.46	41.51	49.96	40.99	42.38
4.- 40-10-30-3		22.28	30.57	67.72	32.64	40.30	38.90	33.24	42.04	38.46
5.- 40-30-10-1		21.06	30.84	43.99	30.40	20.66	42.92	32.55	48.56	33.87
6.- 40-30-10-1		34.42	26.81	46.89	46.24	61.26	29.30	46.30	50.96	42.77
7.- 40-30-30-1		30.27	60.44	67.52	50.24	60.76	41.93	34.41	52.55	49.76
8.- 40-30-30-3		30.62	41.81	69.97	49.90	47.20	42.94	47.96	44.69	46.88
9.- 120-10-10-1		64.46	30.86	54.36	48.45	77.76	83.04	49.97	64.70	59.20
10.- 120-10-10-3		45.36	55.65	62.73	88.22	42.94	83.73	60.65	68.29	63.44
11.- 120-10-30-1		57.97	70.50	50.62	68.38	80.16	84.73	58.24	76.96	68.44
12.- 120-10-30-3		60.84	37.33	91.98	86.70	84.17	84.82	64.02	82.97	74.10
13.- 120-30-10-1		69.96	61.74	63.76	91.22	90.42	79.98	75.56	76.62	76.15
14.- 120-30-10-3		66.08	47.15	55.66	83.34	31.74	88.64	58.82	60.64	61.50
15.- 120-30-30-1		72.86	78.53	93.67	91.70	50.38	79.32	76.26	50.59	74.16
16.- 120-30-30-3		59.82	64.34	81.55	94.86	68.84	75.82	80.73	69.86	74.47
17.- 80-20-20-2		41.03	28.67	39.49	80.30	71.47	73.17	84.94	47.24	58.28
18.- 160-20-20-2		36.42	78.15	35.67	106.12	31.28	61.96	51.56	39.25	55.05
19.- 80-40-20-2		61.33	71.48	89.31	67.84	87.26	77.95	30.82	76.80	70.34
20.- 80-20-40-2		58.72	44.74	47.95	94.44	66.35	75.30	67.42	44.23	62.39
21.- 80-20-20-4		49.98	62.96	71.57	65.30	55.75	25.40	35.78	53.59	52.54
X		46.09	48.24	60.10	66.21	56.88	60.79	52.17	55.47	55.74

Los resultados del análisis estadístico indicaron que el efecto de los tratamientos de fertilización aplicados fue altamente significativo sobre el contenido de fósforo aprovechable en el suelo, en todos los cortes efectuados. También se observó que hubo efecto de los cortes sobre esta variable.

En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos al desglosar los grados de libertad de los tratamientos, para determinar la significación estadística de los parámetros estudiados, mediante el análisis de regresión y a los niveles de 0.01 y 0.05 de probabilidad.

Tabla 7.- Efectos significativos de los tratamientos de fertilización sobre el contenido de fósforo asimilable en el suelo, al 0.01 y 0.05 de probabilidad y en cada uno de los cortes estudiados.

1º	Cortes							
	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	
+P	+PE	+PC	+PC	+PG	+P	+P	+P	
.P2	+PG	+EG	+EG		.P2	.P2	.P2	
+PE			+P		.C2			
					+C			

En los ocho cortes realizados se presentó efecto de fósforo; en cinco de ellos se presentaron resultados lineales y positivos. Esta respuesta se tradujo en incrementos altamente significativos del fósforo disponible en el suelo; y debido a que la misma se presenta en la mayoría de los cortes normales, es decir, los efectuados en época de lluvias, se podría generalizar este resultado, de tal modo que se esperen resultados significativos sobre el contenido de fósforo disponible cuando sea aplicado al suelo el fertilizante fosfórico sólo.

Se presentaron también efectos cuadráticos y negati-

vos de este elemento, lo cual posiblemente explique la ligera disminución en el contenido de fósforo aprovechable en los cortes primero, séptimo y octavo.

Las interacciones que se presentaron fueron las siguientes: en los cortes segundo y quinto se observó entre fósforo y gallinaza, cuyo efecto sobre la variable en estudio fue positivo y altamente significativo. Otra interacción fue entre fósforo y estiércol, en el primero y segundo cortes; aunque como estos datos sólo se presentan en el 25 % de los casos, no se pueden tomar en consideración. Lo mismo ocurre con otra interacción presentada en el tercero y cuarto cortes, entre fósforo y cal, cuyo efecto sobre la variable también fue positivo y altamente significativo.

Sin embargo, todas estas interacciones contribuyeron para obtener incrementos significativos de la variable en estudio, sobre todo en el cuarto corte.

La aplicación de gallinaza sola no incrementó ni abatió significativamente la concentración de fósforo asimilable en el suelo, pero sí lo incrementó cuando se aplicó junto con fósforo y estiércol.

El caso del estiércol y la gallinaza no presentó efectos lineales ni cuadráticos, únicamente en interacción lineal y positiva entre ambos, en el tercero y cuarto cortes.

La aplicación de cal presentó una respuesta lineal positiva y significativa en el sexto corte, en el cual también las dosis altas de cal tienden a disminuir el contenido de fósforo asimilable, ya que se presentó un efecto cuadrático negativo de este elemento.

De las ecuaciones de regresión obtenidas para esta variable, se considera la que se obtuvo en el primer corte como representativa de la tendencia ocurrida con esta variable:

$$Y_2 = 23.97 + 1.48 P - 0.0072 P^2 + 0.004 PE$$

Con la ecuación anterior se pudieron estimar los contenidos medios de fósforo asimilable presentes en el suelo, para los tratamientos de fertilización correspondientes a fósforo y estiércol. Dichos valores aparecen en la Tabla 8 y se encuentran graficados en la Figura 2.

Tabla 8.- Primer corte. Fósforo asimilable en kg/ha. Medias estimadas.

Estiércol ton/ha	Fósforo en kg/ha				
	0	40	80	120	160
0	23.97	71.65	96.29	97.89	76.45
10	23.97	73.25	99.49	102.69	82.85
20	23.97	74.85	102.69	107.49	89.25
30	23.97	76.45	105.89	112.29	95.65
40	23.97	78.05	109.09	117.09	102.05

$$Y_2 = 23.97 + 1.48 P - 0.0072 P^2 + 0.004 PE$$

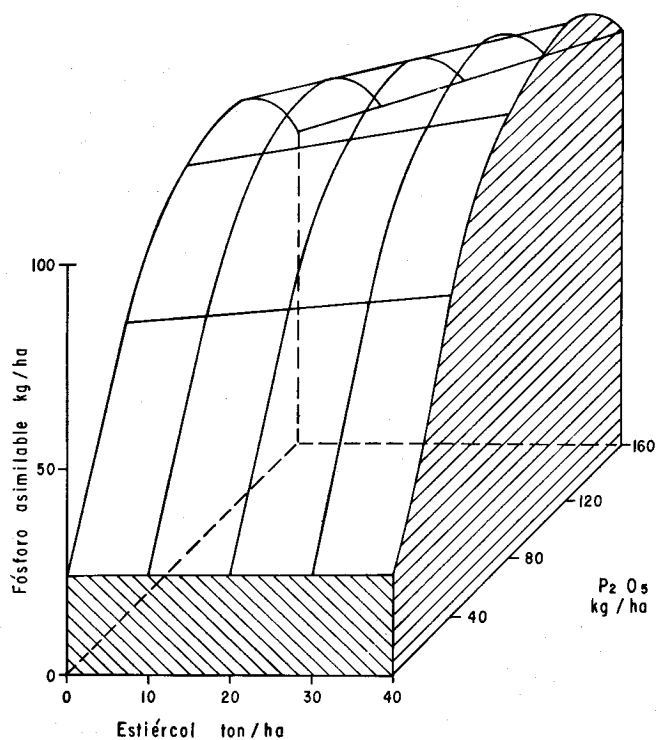


Figura 2.- Superficie de respuesta calculada para aplicaciones de fósforo y estiércol en el contenido de fósforo asimilable.

Como puede observarse en estas ilustraciones, la aplicación del fertilizante fosfórico tuvo una respuesta lineal y positiva sobre el contenido de fósforo aprovechable.

La concentración de este elemento en el suelo aumentó de 23.97 kg/ha a 97.89 kg/ha; es decir, en un 306.3 %, con aplicaciones del fertilizante fosfatado de 0 a 120 kg/ha.

También puede apreciarse que con una dosis superior a 120 kg/ha, se obtiene una disminución estadísticamente significativa en el contenido de fósforo disponible en el suelo. Por otra parte, con la aplicación del fertilizante fosfórico en combinación con el estiércol, se logra obtener un aumento de esta variable.

Por lo tanto, podría esperarse que con aplicaciones de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en dosis de 120 kg/ha, en combinación con 40 ton/ha de estiércol, se logren extraer del suelo alrededor de 117

kg/ha de fósforo en forma asimilable.

**Fósforo total en plantas (Y<sub>3</sub>).**- Los valores de fósforo total presente en el material vegetal van a presentar cierta variabilidad, debida a la composición de especies que se emplearon en este trabajo, pues cuando una mezcla de pastos y tréboles crece como una comunidad vegetal, se presentan problemas de competencia entre las especies por nutrientes, espacio, luz y agua.

En otros experimentos de este tipo, con mezcla de especies vegetales y fertilizadas con nitrógeno y fósforo (Martin *et al.*, 1965 in Martin y Matocha, 1977) se ha encontrado que la concentración de fósforo en los pastos es ligeramente mayor que en los tréboles. En este trabajo se pudo observar, respecto al comportamiento de las especies, que las dos variedades de tréboles no se desarrollaron satisfactoriamente en los primeros cortes; ésta tal vez sea la razón por la cual en estos cortes se encontró una mayor cantidad de fósforo en las plantas (Tabla 9).

En esta misma tabla puede observarse que los valores de fósforo en las plantas, de acuerdo a los tratamientos, también presentan cierta variabilidad por el efecto mismo de los niveles de fertilización, pudiéndose apreciar que la media más alta se obtuvo con el tratamiento Núm. 20. En general, se obtuvieron valores considerados de adecuados a altos.

Mediante el análisis de regresión se estimaron los parámetros significativos a los mismos niveles de probabilidad que en los casos anteriores (Tabla 10).

La aplicación de fósforo al suelo tuvo resultado en cinco cortes. En uno de ellos fue lineal y positivo; en este mismo corte además se presentó un efecto cuadrático negativo, que nos indica que para obtener altos porcentajes de fósforo total en las plantas, sería suficiente aplicar niveles bajos de fertilizante fosfatado. No obstante, este resultado sólo fue observado en el tercer corte y, por lo mismo, no podemos generalizarlo para todos.

El fósforo también presentó efectos positivos en interacción con otros factores, como con el estiércol en el cuarto y quinto cortes.

En el segundo y octavo cortes se presentaron incrementos significativos sobre la variable que se discute, y se justifican por el efecto positivo que tuvo el fósforo que interaccionó con la gallinaza. Este abono presentó resultados en todos los cortes, de tal manera que esta variable tiende a incrementarse con aplicaciones de gallinaza en sus niveles superiores, y se confirma por el efecto cuadrático positivo que se presenta en los cortes segundo, tercero, quinto, sexto y octavo.

De las ecuaciones de predicción que se obtuvieron para esta variable, se discutirá la obtenida en el octavo corte, pues es la que manifiesta la tendencia de efectos encontrada. Dicha ecuación es la siguiente:

$$Y_3 = 0.11 + 0.002 G^2 + 0.00010 PG$$

Con ella pudieron estimarse los porcentajes medios de fósforo total para los tratamientos de fertilización correspondientes a fósforo y gallinaza. Estos datos aparecen en la Tabla 11 y sirvieron para obtener la gráfica que aparece en la Figura 3, que corresponde a la superficie de respuesta para la variable que se discute.

Tabla 9.- Fósforo total en plantas en por ciento. Promedios de tres observaciones ( $Y_3$ ).

Tratamientos	Núm. de cortes									
	P E G C	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	X
1.- 40-10-10-1		0.455	0.541	0.409	0.255	0.251	0.178	0.266	0.377	0.341
2.- 40-10-10-3		0.396	0.440	0.409	0.242	0.245	0.189	0.241	0.355	0.314
3.- 40-10-30-1		0.487	0.510	0.488	0.393	0.323	0.235	0.307	0.462	0.400
4.- 40-10-30-3		0.454	0.558	0.452	0.342	0.332	0.247	0.353	0.453	0.398
5.- 40-30-10-1		0.409	0.453	0.422	0.294	0.296	0.250	0.209	0.347	0.335
6.- 40-30-10-3		0.387	0.451	0.395	0.274	0.276	0.222	0.259	0.333	0.324
7.- 40-30-30-1		0.528	0.521	0.460	0.348	0.354	0.291	0.332	0.457	0.411
8.- 40-30-30-3		0.490	0.539	0.465	0.353	0.332	0.281	0.361	0.443	0.408
9.-120-10-10-1		0.457	0.479	0.420	0.264	0.270	0.231	0.310	0.400	0.353
10.-120-10-10-3		0.445	0.469	0.434	0.253	0.297	0.219	0.232	0.381	0.341
11.-120-10-30-1		0.487	0.603	0.502	0.383	0.351	0.230	0.316	0.426	0.412
12.-120-10-30-3		0.471	0.609	0.484	0.391	0.329	0.254	0.319	0.404	0.407
13.-120-30-10-1		0.369	0.537	0.433	0.296	0.317	0.194	0.213	0.384	0.342
14.-120-30-10-3		0.353	0.526	0.425	0.317	0.322	0.240	0.207	0.359	0.343
15.-120-30-30-1		0.480	0.602	0.487	0.411	0.351	0.274	0.357	0.479	0.430
16.-120-30-30-3		0.464	0.604	0.498	0.394	0.336	0.287	0.357	0.461	0.425
17.- 80-20-20-2		0.490	0.553	0.462	0.382	0.311	0.280	0.347	0.431	0.407
18.-160-20-20-2		0.513	0.606	0.451	0.420	0.315	0.275	0.276	0.465	0.415
19.- 80-40-20-2		0.652	0.556	0.458	0.485	0.316	0.256	0.266	0.425	0.426
20.- 80-20-40-2		0.493	0.670	0.562	0.364	0.455	0.391	0.407	0.583	0.490
21.- 80-20-20-4		0.475	0.487	0.436	0.335	0.294	0.264	0.343	0.414	0.381
X		0.464	0.538	0.454	0.342	0.317	0.251	0.298	0.420	0.386

Tabla 10.- Efectos significativos de los tratamientos de fertilización sobre el porcentaje de fósforo total absorbido por las plantas, al 0.01 y 0.05 de probabilidad y en cada uno de los cortes estudiados.

1º	Cortes						
	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
+EG	+PG	+G <sup>2</sup>	+G	+G <sup>2</sup>	+G <sup>2</sup>	+G	+G <sup>2</sup>
	+G <sup>2</sup>	+P	-G <sup>2</sup>	-G	+E		+PG
		.P <sup>2</sup>	+PE	+PE	-E <sup>2</sup>		
		-C <sup>2</sup>					
		+PC					

Tabla 11.- Octavo corte. Fósforo total absorbido por las plantas, en por ciento. Medias estimadas.

Fósforo kg/ha	Gallinaza en ton/ha				
	0	10	20	30	40
0	0.11	0.13	0.19	0.29	0.43
40	0.11	0.17	0.27	0.41	0.59
80	0.11	0.21	0.35	0.53	0.75
120	0.11	0.25	0.43	0.65	0.91
160	0.11	0.29	0.51	0.77	1.07

Como se puede observar, la aplicación de gallinaza presentó un efecto cuadrático positivo. Así, con dosis de 0 a 40 ton/ha de este abono y sin adición de fósforo, el porcentaje de este nutriente en las plantas se incrementa en un 300 %.

También puede apreciarse que la interacción lineal entre fósforo y gallinaza es positiva, indicando que con adiciones de 0 a 160 kg/ha de  $P_2O_5$ , en presencia de niveles de 0 a 40 ton/ha de gallinaza, se obtiene un incremento de fósforo total de 0.11 a 1.07 % altamente significativo.

#### CONCLUSIONES

Por las propiedades físicas y químicas de estos suelos

se refleja que la mayor limitante sobre el rendimiento de forraje es su alta capacidad de fijación de fósforo (60%), pues se obtuvieron respuestas del cultivo aun con altas concentraciones de fósforo.

$$Y_1 = 9.13 + 0.002 PG + 0.026 GC$$

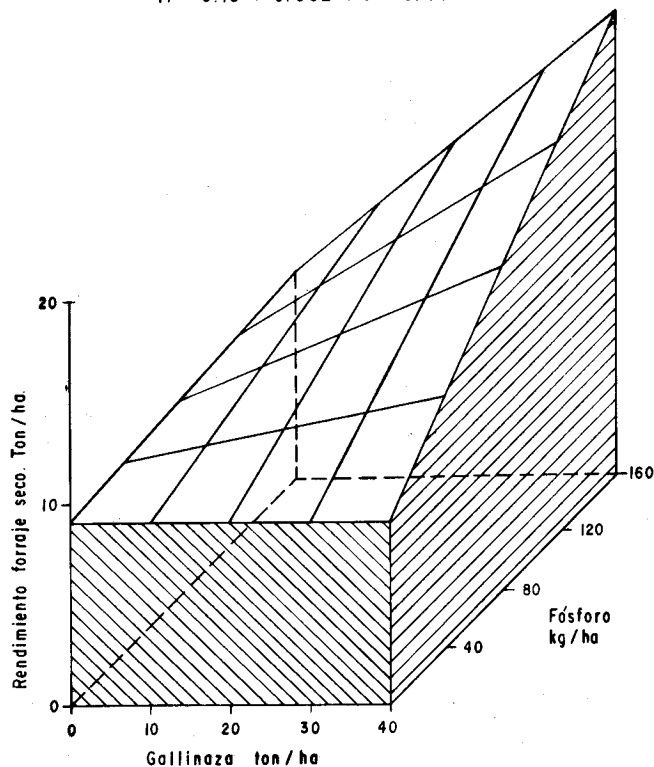


Figura 3.- Superficie de respuesta calculada para aplicaciones de fósforo y gallinaza en la concentración de fósforo absorbido por las plantas.

En las tres variables estudiadas se obtuvo una gran variabilidad de resultados en todos los tratamientos de ferti-



zación y a través de los ocho cortes efectuados.

Los resultados de fósforo asimilable en el suelo así como de rendimiento, indican la necesidad de señalar el valor que tiene la gallinaza como fertilizante a largo plazo.

La producción de la pradera se ve drásticamente dañada por las heladas que son comunes en invierno en esta zona. Sin embargo, podría afirmarse que la asociación de plantas forrajeras empleada proporcionará rendimientos satisfactorios, ya que resultó tener un buen establecimiento en el área de estudio.

Los resultados del análisis de regresión múltiple indican que los factores fósforo y gallinaza tuvieron una marcada influencia sobre las variables estudiadas.

Para lograr buenos rendimientos de forraje en esta zona, y de acuerdo con los resultados obtenidos, se sugiere emplear la fórmula de fertilización 240-120-0. Esta fertilización debe hacerse complementada con abonos naturales, especialmente gallinaza con una dosis de 30 ton/ha.

Aunque los resultados de este estudio se hayan mostrado satisfactorios, se recomendaría continuar con esta línea de investigación, no sólo en esta misma zona, sino en muchas otras regiones agropecuarias del país que presenten problemas semejantes a los aquí descritos, dando mayor énfasis a las reacciones del fósforo en el suelo empleando diferentes residuos orgánicos.

#### AGRADECIMIENTOS

La autora agradece cumplidamente la asesoría del M. en C. Nicolás Aguilera-Herrera de la Facultad de Ciencias, U.N.A.M., de los señores Ing. Rafael Alvarado-Saldaña e Ing. Antonio Velázquez-Hernández de Fertilizantes Mexicanos, así como del M. en C. Rubén Guajardo-Viera del Instituto de Geología, U.N.A.M.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilera-Herrera, Nicolás, 1969, Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de México: *in*: Pánel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, Inst. Interam. Ciencias Agrícolas, O.E.A., p. A.6.1 - A.6.12.
- Alcalde, B.S., y Mestanza, S.S., 1973, Estudio de la acción de la gallinaza sobre la liberación de calcio, magnesio, manganeso y zinc asimilables, bajo condiciones de invernadero: Veracruz (México), Soc. Mex. Ciencias del Suelo, 6, Resúmenes, sin paginación, (resumen).
- Appelt, N.T.H. *et al.*, 1975, Interactions between organic compounds, minerals and ions in volcanic-ash derived soils; II. Effects of organic compounds on the adsorption of phosphate: Soil Sci. Soc. America Proc., v. 39, p. 628-630.
- Blake, C.A., 1965, Bulk density: *in*: Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties. Madison, Wisc., Am. Soc. Agronomy Inc., Agronomy 9, p. 771-1572.
- Bouyoucos, G. J., 1962, Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil: Agron. Jour., v. 54, p. 464-465.
- Bray, H.R., y Kurtz, T.L., 1945, The determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils: Soil Sci., v. 59, p. 439-445.
- Chapman, H.D., 1965, Cation-exchange capacity: *in*: Methods of soil analysis; Part 2, Chemical and microbiological properties. Madison, Wisc., Am. Soc. Agronomy Inc., Agronomy 9, p. 891-901.
- Coleman, N.T. *et al.*, 1959, Cation-exchange capacity and exchangeable cations in Piedmont soils of North Carolina: Soil Sci. Soc. America Proc., v. 23, p. 146-149.
- Gebhardt, H., y Coleman, N.T., 1974, Anion adsorption by allophanic tropical soils; III, Phosphate adsorption: Soil Sci. Soc. America Proc., v. 38, p. 263-266.
- Hashimoto, Isao, and Jackson, M.L., 1958, Rapid dissolution of allophane and kaolinite-halloysite after dehydration: Madison, Wisc., Nat. Conf. Clays and Clay Minerals, 7, Mem., p. 102-112.
- Martin, W.E., y Matocha, F.E., 1977, Plant analysis as an aid in the fertilization of forage crops: *in*: Soil testing and plant analysis. Madison, Wisc., Soil Sci. Soc. America, p. 393-426.
- Mizota, Chitoshi, 1977, Phosphate fixation by ando soils different in their clay mineral composition: Soil Sci. Plant Nutr., v. 23, p. 311-318.
- Navarro, G.I. *et al.*, 1962, Problemas de fertilidad en algunos suelos de la Sierra Tarasca: México, D.F., Secretaría de Agricultura y Ganadería, Agricultura Técnica 12, p. 28-33.
- Peña, O.B. *et al.*, 1971, Dosis y métodos de aplicar fertilizante fosforado a suelos de la Sierra Tarasca: Guadalajara (México), Cong. Nal. Ciencia del Suelo, 5, Mem., v. 2, p. 260-270.
- Rajan, S. S., y Fox, R. L., 1975, Phosphate adsorption by soils; II. Reactions in tropical acid soils: Soil Sci. Soc. America Proc., v. 39, p. 846-851.
- Rajan, S.S., y Watkinson, J.H., 1976, Adsorption of selenite and phosphate on an allophane clay: Soil Sci. Soc. America Jour., v. 40, p. 51-54.
- Rojas, B.A., 1963, El diseño San Cristóbal en experimentos de fertilizantes: México, D.F., Inst. Tec. Azucarero Veracruzano, 19 p.
- Singh, B.B., y Jones, J.P., 1976, Phosphorous sorption and desorption characteristics of soils as affected by organic residues: Soil Sci. Soc. America Jour., v. 40, p. 389-394.
- Tandon, H.L. *et al.*, 1968, An acid-free vanadate-molybdate reagent for the determination of total phosphorus in soils: Soil Sci. Soc. America Proc., v. 32, p. 48-51.
- Turrent, F.A., 1962, Estudio de las formas de eliminar el atraso del crecimiento en lechugas, cuando se transplantan en invernadero, sobre suelos de la Sierra Tarasca: Chapingo (México), Esc. Nal. Agricultura, tesis de maestría, 108 p., (inédita).
- Walkley, A., 1947, A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils-effect of variation in digestion conditions and of inorganic soil constituents: Soil Sci., v. 63, p. 251-264.
- Waugh, D.L., and Fitts, J.W., 1966, Estudios de interpretación de análisis de suelos; laboratorio y macetas: Internal. Soil Testing, Bol. Técnico 3, 36 p.