

INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y LA FERTILIZACION FOSFATADA EN
LA PRODUCCION DE AVENA FORRAJERA (Avena byzantina) EN DOS SUELOS DE
LA SABANA DE BOGOTA

TESIS

Presentada al Programa de Estudios para Graduados en
Ciencias Agrarias, Universidad Nacional - Instituto
Colombiano Agropecuario (ICA)

Por

REINALDO PINTO SERRANO

Como requisito parcial para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

Bogotá, Colombia
1976

COMITE CONSEJERO

REINALDO REYES, M.S. ~~Principal~~ Principal

GILDARDO MARIN, M.S. ~~Consejero~~ Consejero

HUMBERTO FIERRO, M.S. ~~Consejero~~ Consejero

" El presidente de tesis y el consejo examinador de grado no serán responsables de las ideas emitidas por el candidato ". (Artículo 217 de los Estatutos de la Universidad Nacional).

AGRADECIMIENTOS

A los miembros del Comité Consejero:

Reinaldo Reyes, M.S. Programa de Cereales Menores del ICA.
Consejero principal de estudios.

Gildardo Marín, M.S. Programa de Suelos del ICA.

Humberto Fierro, M.S. División de Comunicaciones del ICA.
por su colaboración en la planeación, ejecución y evaluación de
la investigación.

A los doctores Rodrigo Lora I.Q., M.S. y Fernando Munévar I.A.,
M.S. por su orientación sobre los análisis y pruebas de suelos
que se llevaron a cabo.

Al doctor Jesús María Morales, I.A. por el estudio de perfiles de
suelos.

Al doctor Jorge Franco, I.A. de la División de Estadística y Bio
metría del ICA quien colaboró en el análisis estadístico y en la
interpretación de resultados.

A los funcionarios del Programa de Suelos del ICA en Tibaitatá que
colaboraron en el trabajo de campo y laboratorio.

C O N T E N I D O

	Página
1. INTRODUCCION.	1
2. REVISION DE LITERATURA.	4
2.1. Experiencia de Fertilización Fosfórica en las Series de suelos Bermeo y Cabrera.	4
2.2. Respuesta de la Avena a la Aplicación de Fertilizantes Fosfóricos.	4
2.3. Aprovechamiento del Fósforo Residual por la Avena, como cultivo de Rotación.	7
2.4. Toma del Fertilizante Fosfórico por la Planta de Avena.	8
2.5. Efecto de la Fertilización sobre el Contenido de Proteína de la Avena	9
2.6. Influencia de la Separación entre Surcos y la Densidad de Siembra en la Producción de Avena Forrajera.	10
3. MATERIALES Y METODOS.	11
3.1. Materiales.	11
3.2. Métodos.	12
4. RESULTADOS Y DISCUSION.	18
4.1. Respuesta a la Aplicación de Fósforo.	18
4.1.1. Suelos de la Serie Bermeo.	18
4.1.2. Suelos de la Serie Cabrera	19
4.2. Respuesta de la Densidad de Siembra en las Dos Series de Suelos.	26

	Página
4.3. Interacción de Dosis de Fósforo con Densidad de Siembra en las dos Series de Suelos.	26
4.4. Macollamiento, Altura de Plantas y Panojamiento en las dos Series de Suelos.	29
4.4.1. Influencia del Fósforo en el Macollamiento, Altura de Plantas y Panojamiento.	29
4.4.2. Influencia de la Densidad de Siembra sobre Macollamiento y Altura de Plantas.	30
4.5. Análisis Bromatológico del Forraje de Avena	32
4.6. Análisis Económico del Empleo del Fósforo en la Serie Cabrera.	35
5. CONCLUSIONES	37
6. RESUMEN.	39
7. SUMMARY.	42
BIBLIOGRAFIA	45
ANEXO A.	50
ANEXO B.	59
ANEXO C.	64

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Resultados del análisis de suelos de la capa arable en los lotes experimentales.	14
2	Dosis de fósforo y producción de forraje verde de avena en suelos de la Serie Bermeo.	21
3	Dosis de fósforo y producción de forraje verde de avena en suelos de la Serie Cabrera	22
4	Producción de forraje, Kg./Ha., obtenido con las dos densidades de siembra.	26
5	Efecto en rendimiento, Kg./Ha. de forraje, como resultado de la interacción de fósforo por densidad de siembra.	29
6	Promedio de altura de plantas, en centímetros, obtenido con las varias dosis de fósforo	30
7	Influencia de la densidad de siembra en macollamiento y altura de plantas.	32
8	Análisis bromatológico en base seca del forraje de avena en suelos de la Serie Bermeo.	33
9	Análisis bromatológico en base seca del forraje de avena en suelos de la Serie Cabrera	34
	ANEXO A	
10	Análisis químico de suelos del perfil estudiado en la Serie Bermeo.	57
11	Análisis químico de suelos del perfil estudiado en la Serie Cabrera.	58

Tabla		Página
	ANEXO B	
12	Análisis de varianza para rendimiento en la Serie Bermeo.	60
13	Análisis de varianza para rendimiento en la Serie Cabrera	61
14	Análisis de varianza para macollamiento en la Serie Bermeo.	62
15	Análisis de varianza para macollamiento en la Serie Cabrera	62
16	Análisis de varianza para altura de plantas en la Serie Bermeo.	63
17	Análisis de varianza para altura de plantas en la Serie Cabrera	63

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Curva de respuesta para rendimiento de forraje de avena a diferentes dosis de fósforo en la Serie de Suelos Bermeo. Finca Argentina, El Rosal, Subachoque. Año de 1975.	23
2	Curva de respuesta para rendimiento a diferentes dosis de fósforo en la Serie de Suelos Cabrera. Granja San Jorge, Soacha. Año de 1975.	24
3	Resultados de la prueba de fijación de fósforo con los suelos de las Series Bermeo y Cabrera . . .	25
4	Curva de interacción de dosis de fósforo con densidades de siembra en la Serie de Suelos Cabrera. .	27
5	Curva de interacción de dosis de fósforo con densidades de siembra en la Serie de Suelos Bermeo . .	28
6	Diferencia en desarrollo de plantas y panojamiento entre el testigo y la dosis mayor de fósforo en suelos de la Serie Bermeo.	31

1. INTRODUCCION

En 1957 se comenzó en el País la investigación para obtener, a través de material importado, variedades de avena adaptadas a nuestro medio, resistentes a enfermedades y de alta producción. En 1963 se obtuvo por hibridación la variedad ICA-Bacatá; dos años después por selección masal de la anterior se produjeron las dos variedades comerciales que hay, ICA-Soracá e ICA-Gualcalá, las cuales poseen buenos rendimientos en forraje y grano, y presentan buena resistencia a la roya del tallo, a la enfermedad virosa llamada hoja roja y al volcamiento.

En la actualidad, contando con material mejorado, se puede establecer que la avena es la especie forrajera que reúne las mejores condiciones para las tierras frías del país, por los motivos siguientes:

- a. Da abundante forraje en corto tiempo: bajo condiciones apropiadas en clima frío moderado, cortando la avena en estado de leche, produce de 30 a 50 toneladas de forraje por hectárea en un tiempo no mayor a tres meses, pudiéndose obtener en el año dos cultivos para ensilar.
- b. La avena tiene amplia adaptación (1800 a 3200 m.s.n.m.); no es un cultivo exigente en suelos; resiste la humedad, la sequía y las heladas. Actualmente en el páramo es el único cultivo de posible rotación con la papa por su adaptación y resistencia al vaneamiento.

- c. Proporciona un forraje de alta calidad por su valor alimenticio, lo cual ha sido comprobado en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Tibaitatá, en suministro a vacas de leche y a novillos de levante. La avena puede llegar a ser el recurso alimenticio indispensable en los hatos lecheros que ocupan gran área de la Sabana de Bogotá, a medida que se requiera hacer explotación intensiva de la tierra, por la demanda que tiene para otros usos.

Las anteriores consideraciones muestran la necesidad de estudiar los factores que pueden limitar la producción de la avena en áreas potenciales para el cultivo. Por este motivo se escogieron las Series de suelos Bermeo y Cabrera, pertenecientes a la Sabana de Bogotá, que ocupan regiones importantes por sus posibilidades agrícolas y pecuarias. Los suelos de la Serie Bermeo están dedicados al pastoreo de ganado y a los cultivos de trigo, cebada y papa, y cubre unas seis mil quinientas hectáreas. Los de la Serie Cabrera se dedican básicamente al cultivo de la papa y al pastoreo de ganado; las tres asociaciones de suelos en las cuales está la Serie ocupan unas noventa y cinco mil hectáreas (ver descripción de las Series y clasificación taxonómica de suelos en el Anexo A).

La escasez de fósforo aprovechable de estas Series de suelos y la demanda de este elemento por la avena llevaron a tomar el fósforo como el principal factor en estudio. El otro factor que se escogió fue la densidad de siembra, debido a que resultados experimentales indican que la cantidad de semilla que se use influye en proporción alta sobre los

rendimientos de la avena.

Los experimentos se llevaron a cabo durante 1975 y tuvieron lugar, uno en el corregimiento El Rosal del municipio de Subachoque y el otro en la Granja San Jorge, municipio de Soacha.

Los objetivos propuestos en esta investigación, fueron:

- a. Conocer las dosis de fósforo más adecuadas para fertilizar la avena bajo las condiciones de los suelos indicados.
- b. Comparar el rendimiento de dos densidades de siembra y su interacción con los tratamientos de P_2O_5 .
- c. Observar el efecto del fósforo, de la densidad de siembra y del suelo sobre dos elementos del rendimiento: macollamiento y altura de plantas.
- d. Saber la influencia del fósforo y del suelo en la precocidad del panojamiento y en el análisis bromatológico, y finalmente
- e. Calcular el uso económico óptimo del fósforo, a partir de la cantidad con la cual se encuentra respuesta y del correspondiente rendimiento de forraje de avena.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Experiencias de Fertilización Fosfórica en las Series de Suelos Bermeo y Cabrera.

En Bermeo, el Programa de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario (14) compara actualmente el efecto de la roca fosfórica de Pesca y el superfosfato triple en el rendimiento de la avena. Este experimento, que requiere varias cosechas, mostró en la primera, respuesta igual con ambas fuentes de fósforo; la mejor producción se obtuvo con 75 Kgs./Ha. de P_2O_5 , con un incremento de 5 toneladas de forraje respecto al testigo.

En cebada, otro cereal menor, se dispone de los resultados de la investigación realizada por Rodríguez y Rico (26): en los suelos Cabrera encontraron alta respuesta en rendimiento con 75 y 150 Kgs./Ha. de P_2O_5 , en los suelos Bermeo hallaron una respuesta baja con todas las dosis ensayadas, que fueron 75, 150, 225 Kgs./Ha. de P_2O_5 .

2.2. Respuesta de la Avena a la Aplicación de Fertilizantes Fosfóricos.

Marín et al (20) en ensayo efectuado con avena para forraje en suelos de la Serie Sabana de Bogotá, observaron que cuando la avena se cortó antes de formar nudos hubo respuesta a 40 Kg./Ha. de P_2O_5 con

un incremento de 65% respecto al testigo. Cuando se cortó la avena antes de formar nudos, se dejó recuperar, y nuevamente se cortó en estado lechoso, la aplicación de 100 Kg./Ha. de P_2O_5 dió incrementos 50% superiores al testigo. Observaron también, que no hubo respuesta significativa a la fuente de fósforo (superfosfato, escorias Thomas, fosfato de amonio y fosfato bicálcico).

Echeverri et al (7), igualmente, en la Serie Sabana de Bogotá experimentaron la fertilización de avena roja mezclada con gramíneas y leguminosas, en siembra simultánea. Efectuando dos cortes a la avena, obtuvieron un aumento significativo de forraje con la aplicación de fósforo.

Crowder et al (5) anotan que en experimentos hechos en varias partes del país se observó una marcada respuesta a fósforo cuando la avena se sembró en terrenos que no habían sido anteriormente cultivados, como céspedes viejos de kikuyo (Pennisetum clandestinum), falsa púa (Holcus lanatus) o pasto aloroso (Anthoxanthum odoratum). Así mismo, los autores dan resultados obtenidos en Popayán, en un lugar a 1.520 m.s.n.m., de avena forrajera que se sembró en un barbecho de seis meses, y en terrenos ocupados anteriormente por pangola (Digitaria decumbens) y puntero (Hyparrhenia rufa); de los resultados se concluye que en los tres casos hubo rendimientos extraordinarios con 112 y 224 kilos de P_2O_5 por hectárea.

Crowder (6) dice que la avena crece bastante bien en las regiones

de páramo de Colombia (más de 3.000 m.s.n.m.) si se le fertiliza con fósforo, nitrógeno o abono de establo.

Lotero et al (18) informan que en catorce años de investigación realizada por el Instituto Colombiano Agropecuario con gramíneas forrajeras, en regiones donde predominan suelos ácidos, la respuesta a cal fue poco significativa. Señalan como una excepción la respuesta de la avena forrajera a fósforo y cal en la meseta de Popayán. En otra parte de este informe agregan que se ha logrado un incremento considerable de forraje en pastos fertilizados con escorias Thomas, lo cual atribuyen que se deba principalmente al fósforo, en una parte significativa al calcio y al poder de neutralización de las escorias.

Lotero et al (19) recomiendan aplicar 200 a 300 Kg./Ha. de una fórmula 10-30-10 o similar, cuando la avena se siembra en terrenos que no habían sido cultivados anteriormente.

Rankin y Stuart, citados por Shands y Chapman (29), en ensayos de fertilización de avena en suelos pobre en fósforo, obtuvieron un rendimiento de 4.371 Kg./Ha. de grano con aplicación de 28 Kg./Ha. de P_2O_5 en comparación con un rendimiento de 537 Kg./Ha. cuando no se aplicó este elemento.

Shands y Chapman (29) citan a Lang et al quienes probaron los rendimientos en grano de avena con diferentes fuentes de fósforo. Comparando con el testigo, obtuvieron ganancias en grano de 322 Kg./Ha.

con 1683 kilos de roca fosfórica, de 430 Kg./Ha. con 1683 kilos de su perfosfato y de 430 Kg./Ha. con 1683 kilos de roca fosfórica más 560 kilos de superfosfato.

2.3. Aprovechamiento del Fósforo Residual por la Avena, como Cultivo de Rotación.

Rodríguez (27) hizo tres experimentos diferentes sobre la rotación papa-avena en suelos de La Selva, Rionegro, Antioquia. En uno de esos experimentos, que tuvo una duración de diez años, en el cual estudió dosis de fósforo y nitrógeno, no encontró efecto residual del nitrógeno pero sí del fósforo (usó dosis de 100, 200 y 300 Kg./Ha.). La producción de la avena le permitió concluir que únicamente cuando se han efectuado dos siembras de papa con 300 Kg./Ha. de P_2O_5 , no se debe aplicar este elemento en la siembra subsiguiente de avena, pues ya posiblemente hay suficiente para producir una buena cosecha.

Herrera et al (13), también en suelos de La Selva, estudiando el comportamiento de la avena Minhafer en esos suelos (caracterizados por ser ácidos, de escaso contenido de nutrientes y una alta capacidad de fijación de fósforo) encontraron buena respuesta del fósforo residual después de un cultivo de papa.

Wieczorec y Bernal (33), en Obonuco, Nariño, comprobaron el efecto residual de diferentes dosis de NPK en la rotación papa-avena. En avena se presentaron diferencias en producción con las dosis altas de nitrógeno y fósforo suministradas a la papa, en mayor grado con las do

sis de nitrógeno que con las de fósforo.

En dos experimentos de fertilización con NPK en avena para pastoreo llevados a cabo por Stanford et al (31) observaron respuesta a los tres elementos. Encontraron que el efecto residual de 90 kilos de P_2O_5 como superfosfato aplicado al momento de la siembra fue inferior al efecto residual de abonar con la mitad de esta cantidad en el primer año de pastoreo.

Bartolomew, citado por Shands y Chapman (29), en experimentos de rotación con avena llevados a cabo durante cuatro años, aplicando especialmente fósforo, obtuvo una producción de más del doble del promedio local.

2.4. Toma del Fertilizante Fosfórico por la Planta de Avena.

En condiciones de invernadero, Ortega y Guerrero (24) con suelos de la Costa del Pacífico, en Nariño, compararon cuatro niveles y tres fuentes de fósforo en avena. Obtuvieron incremento lineal y significativo tanto en la absorción del fósforo como en la producción de materia seca.

McLean y Hoelcher (22) usando superfosfato radioactivo encontraron que la avena recobró un promedio de aproximadamente 12% del fertilizante fosfórico aplicado, en cambio la alfalfa recobró el 4%.

Lewis (17) en experimento que hizo en materas con diferentes variedades de avena, aplicando cantidades variables de cal, fósforo y

zinc, halló que el fósforo existente en las plantas aumentó regularmente en proporción directa a la cantidad aplicada, y el contenido del zinc decreció a una rata casi constante a la aplicación de fósforo o cal.

2.5. Efecto de la Fertilización sobre el Contenido de Proteína de la Avena.

Schricket (28) realizó un ensayo para observar hasta qué punto los niveles de proteína podían ser aumentados en variedades de avena (de alto contenido de proteína) por determinadas cantidades de fertilizantes, obtuvo con la fertilización incrementos importantes de proteína en las variedades, en lo cual influyó especialmente el nitrógeno.

Brawn et al (2) usando diferentes variedades de avena y tres dosis de fertilizantes (baja, 18 Kg./Ha. de nitrógeno a la siembra; media, 338 Kg./Ha. de 6-8-6 y 68 Kg./Ha. de nitrógeno a la siembra; alta, el doble de las cantidades anteriores, el nitrógeno aplicado a la siembra). Obtuvieron aumento en el contenido de proteína por efecto del incremento de la fertilización, aumento que fue mayor o menor según la variedad.

Burton et al, citados por Shands y Chapman (29), aplicando 450 Kg./Ha. de nitrógeno en avena de forraje, previamente fertilizada a la siembra con 560 Kg./Ha. de 0-12-12, notaron un aumento del contenido de proteína, ninguna variación en el contenido de fósforo y decreci -

miento del potasio en el forraje.

2.6. Influencia de la Separación entre Surcos y la Densidad de Siembra en la Producción de Avena Forrajera.

Echeverri et al (8), de acuerdo a los resultados de un ensayo efectuado en Tibaitatá con avena forrajera, recomiendan separaciones de surcos entre 30 y 60 centímetros y densidades de siembra de 40 a 60 Kg./Ha. de semilla. Establecen qué distancia y densidad de siembra apropiadas influyen en incrementar la producción un 50%.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Materiales.

- a. Localización. Se realizaron dos experimentos. Uno en la Serie de suelos Bermeo, finca Argentina, ubicada en el corregimiento El Rosal, municipio de Subachoque, a 2.680 m.s.n.m., con promedios anuales de 13°C de temperatura y 637 mm. de precipitación. El otro experimento se hizo en la Serie de suelos Cabrera, Granja San Jorge, localizada en el municipio de Soacha, a 3.200 m.s.n.m., temperatura y precipitación promedias de 11°C y 740 mm., respectivamente.
- b. Variedad. La variedad de avena ICA-Soracá (Avena byzantina), que se empleó en los experimentos, fue obtenida de selección por línea pura de la variedad ICA-Bacatá. Se adapta a las varias regiones frías del País. Es apta para forraje y grano; en la Sabana de Bogotá se puede cortar para forraje entre los 95 y 110 días, y para grano se beneficia hacia los 160 días (1).
- c. Fertilizantes. Las fuentes de fertilizantes que se utilizaron fueron superfosfato triple (46% de P_2O_5), úrea (45% de nitrógeno) y cloruro de potasio (60% de K_2O).

3.2. Métodos.

- a. Diseño experimental. El diseño experimental que se usó fue el de parcelas divididas: dos parcelas principales, cada una con 24 subparcelas. Cada parcela principal medía 180 metros cuadrados y cada subparcela 7.5 metros cuadrados, éstas tenían cinco surcos de cinco metros de largo, separados entre sí 30 centímetros. Las parcelas principales llevaron una 40 y la otra 60 Kg./Ha. de semilla de avena, las subparcelas recibieron tratamientos de 0, 25, 50, 75, 100 y 125 Kg./Ha. de P_2O_5 .
- b. Siembra. En El Rosal el ensayo se sembró el 12 de Mayo y se cosechó el 9 de Septiembre de 1975. Fue establecido en un terreno con pendientes 5-7-12% que había tenido un cultivo de papa el semestre anterior y que había sido encalado recientemente. En este sector la precipitación fue de 415 mm. de mayo a septiembre, según datos llevados por la CAR en la Unión, lugar próximo. En San Jorge se sembró el 22 de mayo y se cosechó el 13 de octubre de 1975. El ensayo se estableció en un lote con pendientes de 5-7-12% que había estado con pastos naturales los cinco últimos años. Aquí la precipitación de mayo a septiembre fue de 383 mm., de acuerdo al registro pluviométrico llevado en la Granja.
- c. Aplicación de fertilizantes. Estos se colocaron localizados, en banda, a la siembra.

d. Características estudiadas de los suelos.

1. Análisis de caracterización de la capa arable, cuyos resultados se encuentran en la Tabla 1.
2. Descripción de perfil y análisis químico de suelos de los varios horizontes, en los lotes experimentales. Estos resultadados se hallan en el Anexo A.
3. Determinación de la fijación de fósforo del primer horizonte en ambos suelos, para lo cual se utilizó la técnica siguiente: A porciones de 5 gr. de suelo colocadas en frascos de vidrio se les aplicaron concentraciones de 0, 100, 200, 400, 800 y 1.600 ppm. de P, utilizando soluciones de KH_2PO_4 ; éstas se incubaron en el invernadero durante 10 días, al cabo de los cuales se extrajo el fósforo por Bray II y se determinó por el método del ácido cloromolibdico y cloroestannoso, de Jackson (15), luego se leyó en el electrofotómetro. Esta lectura se llevó a una curva calibrada para hallar ppm. de P. Con los datos del fósforo agregado y del extraído se trazó la curva de fijación (Figura 3).
4. Para determinación de presencia de alofana se usó la prueba de fluoruro de sodio de Fieldes y Perrott (9) para lo cual se tomaron 50 ml. de solución de NaF 1 N a pH 7.2 y se agregó 1 gr. de suelo; el valor del pH se midió a los 2 y a los 60 minutos. Un pH inicial mayor de 9.4 indica predominio de alofana en el suelo.

TABLA 1. Resultados del análisis de suelos de la capa arable en los lotes experimentales. *

Análisis	Bermeo	Cabrera
pH	5.3	5.1
% M.O.	28.9	14.5
P (ppm) Bray II	9.5	24.5
Bray I	4.1	8.5
Olsen	19.2	29.4
Trough	7.5	9.5
Al (meq/100 g)	0.4	1.3
Ca (meq/100 g)	8.4	2.8
Mg (meq/100 g)	0.57	0.32
K (meq/100 g)	0.52	0.34
Na (meq/100 g)	0.10	0.05
Textura	Franco	Franco

* Realizado por el Laboratorio de Suelos del ICA en Palmira; los métodos de determinación empleados se encuentran en el Anexo C.

- e. Evaluación de rendimiento, del análisis bromatológico del forraje, de macollamiento, panojamiento y altura de plantas.

El corte de la avena se hizo cuando los granos llegaron al estado de leche. Fueron cortadas y pesadas las plantas de los tres surcos centrales en cada subparcela. Para análisis bromatológico se tomaron muestras de plantas completas, en cada subparcela, las cuales se mezclaron con las tomadas en los tratamientos similares en cada parcela principal. El día del corte, también, se tomó nota por muestreo en cada subparcela, de macollamiento y altura de plantas. Para evaluar panojamiento se observó la diferencia de su aparición entre las parcelas testigo y las tratadas con P_2O_5 .

- f. Análisis de resultados.

1. Análisis de varianza. Este análisis, de acuerdo al método para parcelas divididas (3), se hace en esta forma: primero entre unidades completas, donde se contemplan replicaciones, tratamientos y error (Ea); segundo, dentro de unidades completas en que se analizan dosis, interacción (dosis con densidades) y error (Eb). La significación de F se obtiene en las tablas respectivas.
2. Análisis de regresión. Se efectuó análisis de regresión polinomial, a nivel cuadrático y lineal, cálculo que se hizo en una minicomputadora que emplea el método de cuadrado mínimo para resolver esta clase de problemas.

Modelos cuadrático y lineal empleados (30).

Cuadrático:

$$Y_i = B_0 + B_1 X_i + B_2 X_i^2 + E_i$$

Lineal:

$$Y_i = B_0 + B_1 X_i + E_i$$

En donde:

Y_i = Rendimiento promedio de la i ésima dosis

X_i = i ésima dosis

B_0 = rendimiento que se obtiene cuando no se aplica fertilizante.

B_1 = Coeficiente de regresión para el factor lineal.

B_2 = Coeficiente de regresión para el factor cuadrático.

3. Análisis económico. La producción máxima y óptima se calculó de la ecuación de producción, obtenida en el análisis de regresión, de acuerdo al método indicado por Heady y Dillon (12).

En la obtención de la producción máxima se parte de dos principios:

- 1) Que la primera derivada de la ecuación de producción

$\left(\frac{dy}{dx}\right)$ es igual al producto marginal (PM) del factor.

$$\frac{dy}{dx} = PM$$

- 2) Que cuando el producto marginal es cero la producción total presenta un punto crítico: máximo o mínimo, dependiendo de la forma de la curva y dado el signo de la segunda derivada.

$$PM = \frac{dy}{dx} = 0$$

Para obtener la dosis óptima se parte del hecho que ésta se logra cuando el valor del producto marginal ($PM \times Py$) es igual al precio del insumo (Px).

$$PM \times Py = Px \quad \text{ó también} \quad PM = \frac{Px}{Py}$$

Px = precio unitario del insumo

Py = precio unitario del producto.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

En el presente trabajo se estudió básicamente el efecto del fósforo y la densidad de siembra en el rendimiento del forraje de avena. Además, para lograr una mayor información se investigó la influencia de estos dos factores sobre dos elementos del rendimiento (macollamiento y altura de plantas) y del fósforo en particular sobre precocidad en panojamiento y en el análisis bromatológico del forraje. Por otra parte, se hizo análisis económico del empleo del fertilizante fosfórico con los datos obtenidos en el experimento del suelo de la Serie Cabrera, en el cual hubo respuesta significativa a tal nutrimento.

4.1. Respuesta a la Aplicación de Fósforo.

4.1.1. Suelos de la Serie Bermeo.

La Tabla 2 contiene los resultados obtenidos con las varias dosis de P_2O_5 , en la cual se observa que hubo incrementos, aún cuando escasos, con cada dosis superior de P_2O_5 . En la curva de respuesta para rendimiento, Figura 1, se aprecia que tal incremento es lineal o sea que el forraje se incrementa en una misma cantidad por cada unidad adicional de fósforo. El análisis de varianza (Tabla 12, Anexo B) señala que no hubo respuesta significativa al fósforo. Estos resultados coinciden con los encontrados por Rodríguez y Rico (26) en cebada en esta Serie de suelos. La escasa respuesta que se encontró al fós-

foro, se puede atribuir a la alta capacidad que poseen los suelos Bermeo para fijarlo, ésto indicó la prueba de invernadero y laboratorio que se realizó para reconocer tal característica, cuyo resultado se aprecia en la Figura 3; por ejemplo, cuando se agregaron 1.600 ppm. de fósforo, sólo se extrajeron 61.20 ppm (3.8%).

También, Forero (10) observó que tanto en la capacidad máxima de adsorción como en la constante de energía de adsorción del fósforo, el suelo Bermeo estuvo en primer lugar entre los cuatro suelos de la Sabana de Bogotá que estudió. León (16) y Forero (10) atribuyen la fijación del fósforo en Bermeo, especialmente, al alto contenido de alofana y de materia orgánica. Los suelos del lote experimental tienen estas mismas características, como lo muestran los análisis de suelos: 28.9% de materia orgánica y alta concentración de material alofánico, manifestado en la prueba del fluoruro de sodio de Fieldes y Perrott (9), pues, el pH a los 2 minutos tuvo un valor de 11.1 y a los 60 minutos de 11.4.

La alta fijación de fósforo en estos suelos, que se manifiesta en poca respuesta a su aplicación en los cultivos, no permite que se haga alguna apreciación sobre las cantidades que se pueden aplicar. Por este motivo hay que pensar en aprovechar para la avena el fósforo residual del cultivo de la papa, con base en las experiencias favorables que hay en este sentido en suelos de características similares.

4.1.2. Suelos de la Serie Cabrera.

Los resultados de producción de forraje de avena con las dosis de

P_2O_5 que se utilizaron, se encuentran en la Tabla 3. La forma de respuesta, según se aprecia en la Figura 2, fue de rendimientos decrecientes o sea que a cada dosis adicional de fósforo correspondió un rendimiento menor hasta alcanzar un punto en el cual inclinó el aumento de los rendimientos con los incrementos del P_2O_5 . Aquí hubo respuesta significativa al fósforo en producción (Tabla 13 del Anexo B).

El efecto significativo del fósforo en estos suelos se puede atribuir a que tienen un contenido relativamente bajo de fósforo aprovechable y a su menor capacidad para fijarlo; así, en la prueba de fijación se observa que de 1.600 ppm. agregadas se extraen 350 ppm (22%), ver Figura 3. El motivo por el cual hay menor retención del fósforo, comparando con el otro experimento, debe estar relacionado con inferior contenido de materia orgánica (14.5%) y menor proporción de alofana, ya que el pH en la prueba de Fieldes y Perrott (9) tuvo un valor de 9.15 a los 2 minutos y de 9.65 a los 60 minutos.

TABLA 2. Dosis de fósforo y producción de forraje verde de avena en suelos de la Serie Bermeo.

Dosis de P_2O_5 Kg./Ha.	Forraje de avena Kg./Ha.
0	28.269
25	29.486
50	29.680
75	30.527
100	31.502
125	32.833

DMS (fósforo) 5% = 5.995

1% = 8.082

TABLA 3. Dosis de fósforo y producción de forraje verde de avena en suelos de la Serie Cabrera.

Dosis de P_2O_5 Kg./Ha.	Forraje de Avena Kg./Ha.
0	7.333
25	9.944
50	9.958
75	10.902
100	10.388
125	10.513
<hr/>	
DMS (fósforo)	5% = 3.190
	1% = 4.301

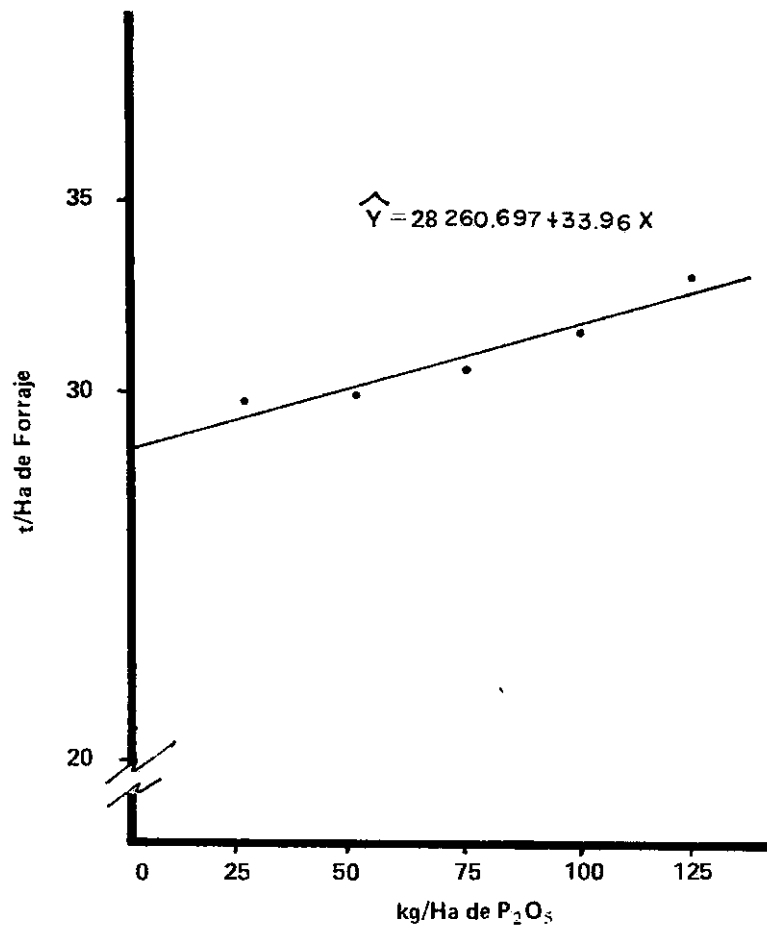


FIGURA 1. Curva de respuesta para rendimiento de forraje de aveia a diferentes dosis de fósforo en la Serie de Suelos Bermeo. Finca Argentina, El Rosal, Subachoque. Año de 1975.

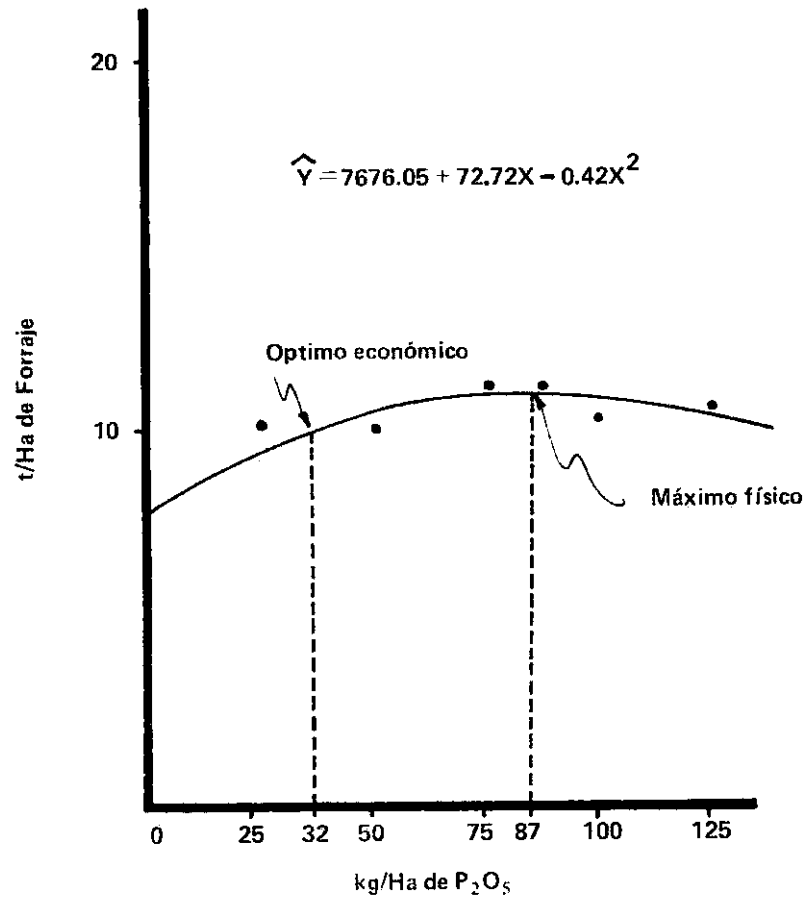


FIGURA 2. Curva de resposta para rendimento a diferentes dosis de fósforo en la Serie de Suelos Cabrera. Granja San Jorge, Soacha. Año de 1975.

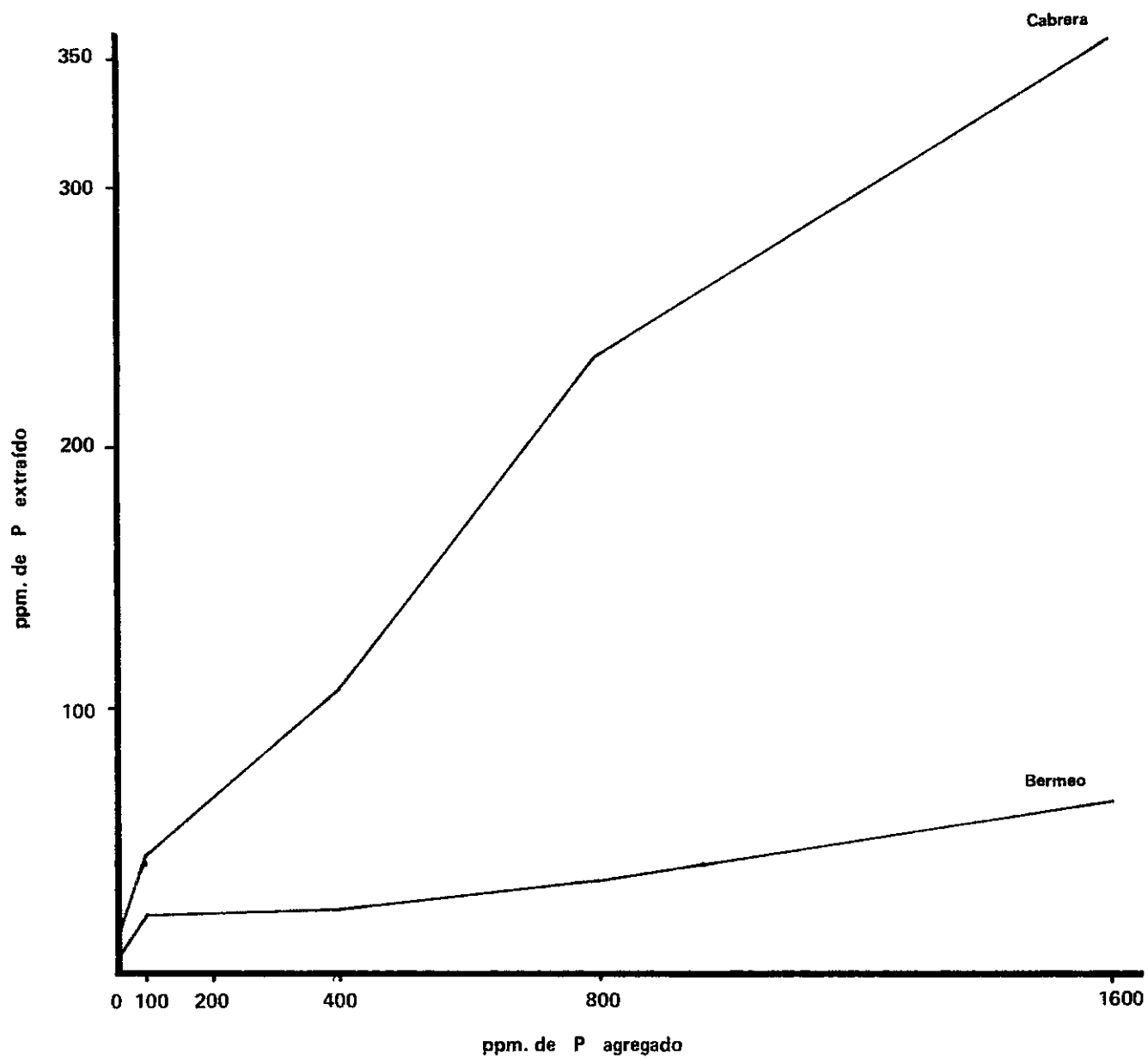


FIGURA 3. Resultados de la prueba de fijación de fósforo con los suelos de las Series Bermeo y Cabrera.

4.2. Respuesta a la Densidad de Siembra en las dos Series de Suelos.

En la Tabla 4 están los datos de producción de forraje que se obtuvieron en ambas Series de suelos con densidades de 40 y 60 Kg./Ha. de semilla. Como se puede apreciar, los rendimientos con la densidad mayor fueron superiores, sin embargo, no hubo diferencia significativa entre una y otra densidad (Tablas 12 y 13, Anexo B). El mayor rendimiento que se obtuvo con 60 Kg./Ha. de semilla, debe tenerse en cuenta ya que posiblemente al utilizarla no van a aumentar apreciablemente los costos de producción del cultivo. No obstante, es conveniente realizar futuros experimentos con mayor número de densidades de siembra para estar seguros sobre este aspecto.

TABLA 4. Producción de forraje, Kg./Ha., obtenido con las dos densidades de siembra.

Suelo	Densidad de 60 Kg./Ha.	Densidad de 40 Kg./Ha.	Diferencia
Bermeo	34.748	26.018	8.730
Cabrera	12.083	7.597	4.486

4.3. Interacción de dosis de Fósforo con Densidad de Siembra en las dos Series de Suelos.

El resultado en rendimiento por efecto de esta interacción se encuentra en la Tabla 5, la forma como se efectúa se observa en las Figuras 4 y 5.

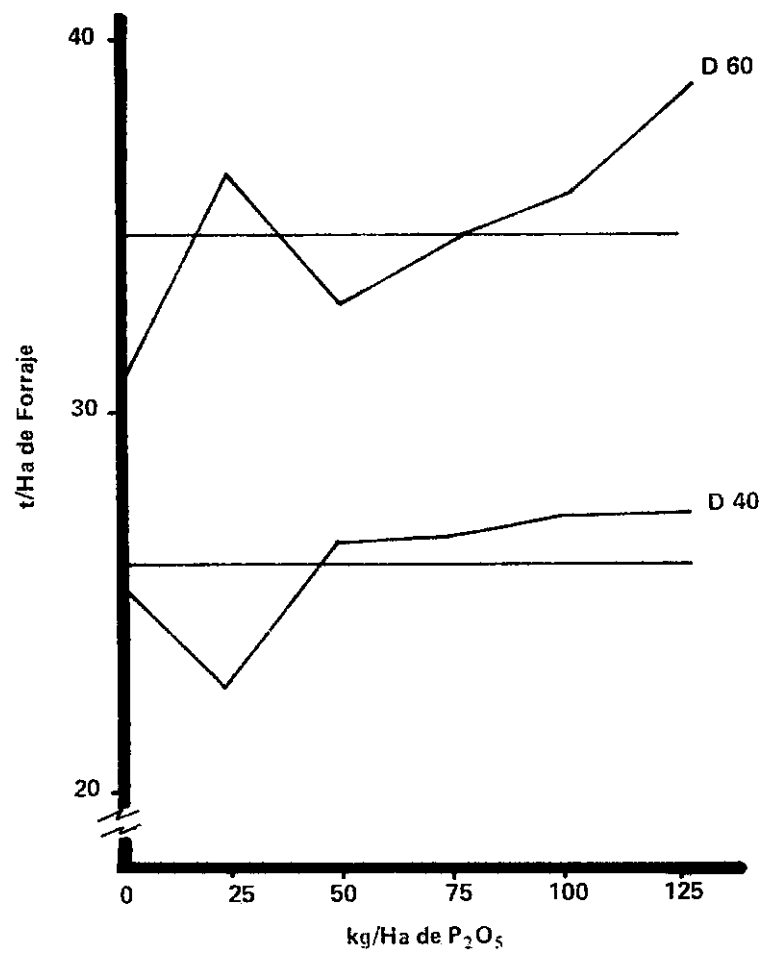


FIGURA 4. Curva de interacción de dosis de fósforo con densidades de siembra en la Serie de Suelos Bermeo.

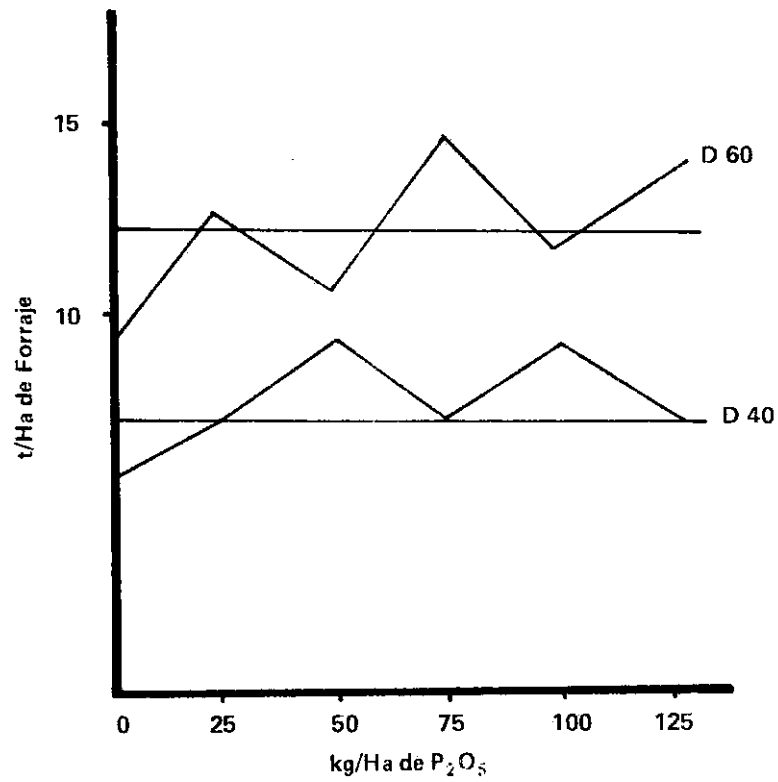


FIGURA 5. Curva de interacción de dosis de fósforo con densidades de siembra en la Serie de Suelos Cabrera.

En los suelos Bermeo no se encontró influencia de la interacción de fósforo con densidad, en cambio en Cabrera este resultado si fue significativo (Tablas 12 y 13, Anexo B) debido, tal vez, a la misma respuesta que hubo allí al fósforo.

TABLA 5. Efecto en rendimiento, Kg./Ha. de forraje, como resultado de la interacción de fósforo por densidad de siembra.

Suelo	Densidad Kg./Ha.	Dosis de P ₂ O ₅ en Kg./Ha.					
		0	25	50	75	100	125
Bermeo	60	30.389	36.278	32.778	34.444	35.728	38.389
	40	25.667	22.694	26.583	26.611	27.278	27.278
Cabrera	60	9.111	12.778	10.583	14.667	11.611	13.750
	40	5.556	7.111	9.333	7.139	9.167	7.278

4.4. Macollamiento, Altura de Plantas y Panojamiento en las dos Series de Suelos.

4.4.1. Influencia del fósforo en el macollamiento, altura de plantas y panojamiento.

En ambos suelos hubo respuesta altamente significativa al fósforo en macollamiento y altura de plantas (Tablas 14, 15, 16 y 17, Anexo B). En la Tabla 6 están anotados los resultados de altura de plantas.

En la precocidad de panojamiento se puede decir que el fósforo tuvo una influencia muy significativa: la diferencia de tiempo en panojamiento, entre el testigo y la dosis mayor de P_2O_5 fue de alrededor de 8 días en el suelo Bermeo y 12 en el de Cabrera resultado que se aprecia en la Figura 6.

TABLA 6. Promedio de altura de plantas, en centímetros, obtenido con las varias dosis de fósforo.

Suelo	Dosis de P_2O_5 en Kg./Ha.					
	0	25	50	75	100	125
Bermeo	124.87	124.87	129.75	127.62	128.12	131.87
Cabrera	92.50	95.38	98.88	97.50	96.75	101.13

4.4.2. Influencia de la densidad de siembra sobre macollamiento y altura de plantas.

Los resultados se encuentran en la Tabla 7. En el suelo de Bermeo hubo respuesta altamente significativa de la densidad menor en provocar macollamiento (Tabla 14, Anexo B), lo cual se puede atribuir al mayor espacio que tuvieron las plantas en un medio propicio a su desarrollo. En el suelo de Cabrera no se presentó influencia de la densidad sobre el macollamiento, debido posiblemente a que no hubo competencia entre plantas, por el poco vigor con que crecieron.