

RESPUESTA DE LA ALFALFA (*Medicago sativa* L.) A LAS
APLICACIONES DE CAL, FOSFORO Y MOLIBDENO
EN SUELOS ACTIVOS (*)

Por Jaime Daza Baquen

I.— INTRODUCCION

Los suelos ácidos son muy poco aptos para el establecimiento de cultivos. Sin embargo con la práctica de ciertos manejos se alcanzan rendimientos aceptables. Las prácticas generales seguidas en estos suelos son tratamientos con cal, fósforo y elementos menores, pudiéndose obtener en algunos casos un establecimiento económico de leguminosas.

En los últimos años en otras partes del mundo se ha logrado establecer alfalfares en suelos ácidos, en los que aún con aplicaciones altas de cal el crecimiento era deficiente. Con aplicaciones de molibdeno se obtuvo buen rendimiento, disminuyendo considerablemente los encalamientos.

El presente trabajo tiene por objeto el estudio del efecto de las aplicaciones de cal, fósforo y molibdeno sobre la producción y contenido de proteínas en la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en un suelo ácido de la terraza plana en la parte sur del valle fisiográfico del Río Cauca (en la región de Santander de Quilichao). Además se estudió el efecto de las diferentes dosis de cal sobre la reacción del suelo y el contenido de fósforo.

El suelo estudiado es representativo de una grande extensión con pasto común (*Paspalum notatum*, Flugge) dedicada a la ganadería extensiva, pero que con la adopción de mejores sistemas de manejo puede constituir una zona agropecuaria de gran importancia.

El ensayo se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero en la Granja Agrícola Experimental de Palmira, durante el primero y segundo semestres de 1958.

(*) Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de INGENIERO AGRONOMO bajo la presencia del doctor Adel González M., a quien el autor expresa su gratitud.

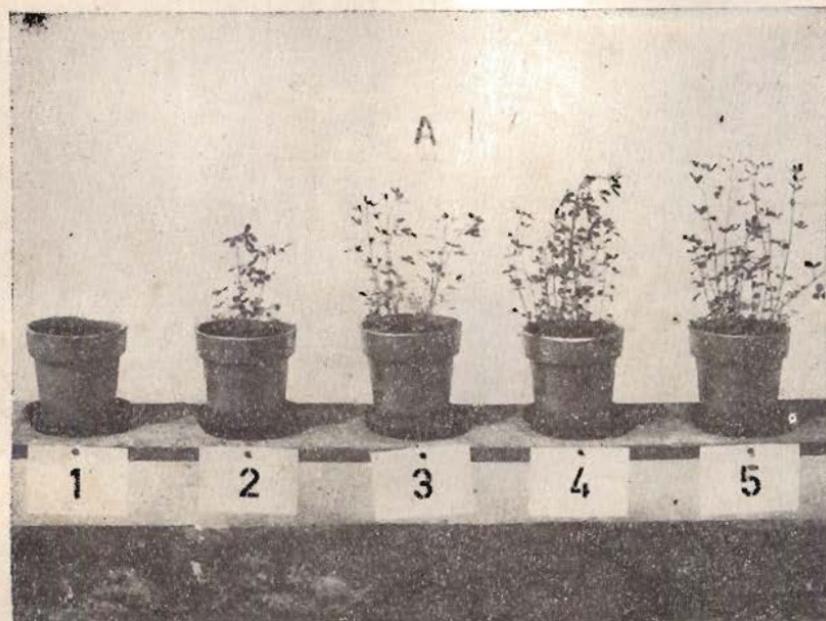


FIGURA 1.— Efecto de la cal en el crecimiento de la alfalfa. (Tercer corte).
 1) Sin cal - 2) Dos y media toneladas de cal por Ha. - 3) Cinco toneladas de cal por Ha. - 4) Siete y media toneladas de cal por Ha. - 5) Diez toneladas de cal por Ha.

Foto: E. Arévalo.

II.— REVISION DE LITERATURA

Los suelos ácidos presentan una serie de problemas relacionados con la aprovechabilidad de los nutrientes para las plantas. Hespeler (17), para explicar el poco desarrollo de las plantas en estos suelos, anota la escasa cantidad de calcio, la toxicidad del manganeso y aluminio soluble y la toxicidad de los iones hidrógenos.

Otro aspecto importante es la relación de la reacción del suelo con la solubilidad de los fosfatos. A pH bajo los fosfatos se insolubilizan formando compuestos de hierro y aluminio, $(\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4)$, $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ y manganeso. Los límites de la reacción del suelo entre 6,5 a 7,5 son los más favorables para la aprovechabilidad de los fosfatos (Swenson, Cole y Sieling, 27).

Uno de los principales efectos de la acidez en el suelo es la insolubilización y solubilización de los elementos oligodinámicos. Tanto la una como la otra pueden ser altamente perjudiciales causando serios disturbios fisiológicos en las plantas.

Tanto la acidez fuerte como la alcalinidad fuerte presentan condiciones desfavorables para la fijación del nitrógeno por las leguminosas y para la transformación del nitrógeno orgánico a formas aprovechables. (Trough, 25).

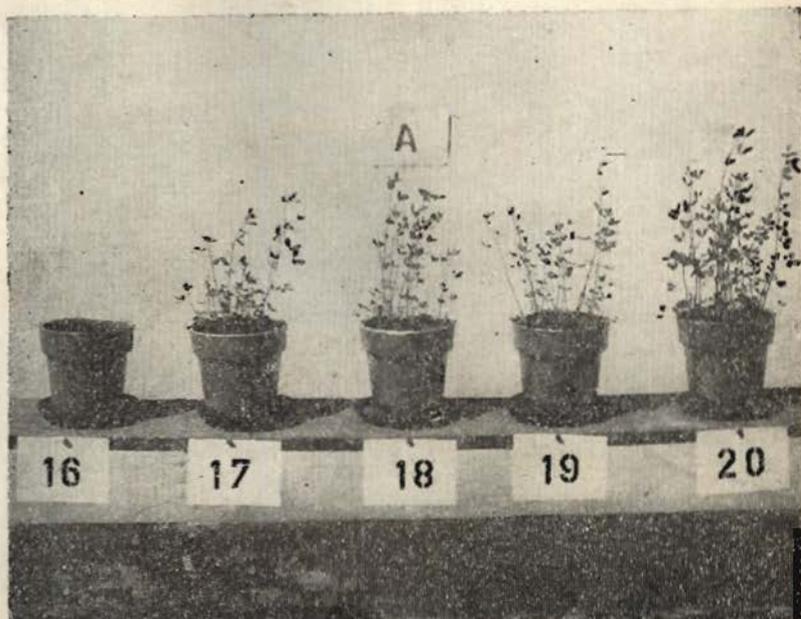


FIGURA 2.— Crecimiento de la alfalfa sin aplicación de fósforo y con 240 gramos de molibdato de sodio por Ha. y diferentes dosis de cal, (Tercer corte).

16) Sin cal.— 17) Dos y media toneladas de cal por Ha.—
18) Cinco toneladas de cal por Ha.—19) Siete y media toneladas de cal por Ha.— 20) Diez toneladas de cal por Ha.

Foto: E. Arévalo.

No todas las especies de plantas son igualmente afectadas por la reacción del suelo y sus consiguientes limitaciones, pero se sabe que las plantas que mayores problemas presentan, para su establecimiento, son las leguminosas.

Para un suelo ideal, Bear (8) anota que el 65% del complejo intercambiable debe estar ocupado por calcio; 10% por magnesio; 5% por potasio y 20% por hidrógeno. Además, presenta las relaciones de calcio con otros elementos: calcio-magnesio, 65: 1; calcio-potasio, 13:1; calcio-hidrógeno, 3,25:1.

La relativa cantidad de calcio intercambiable es uno de los factores que controlan la fertilidad de un suelo. La cantidad de calcio tiene influencia en la aprovechabilidad y absorción de otros iones por plantas; los iones de calcio pueden eliminar a otros iones por precipitación y formación de ciertas sales de calcio insolubles. (Cooper et al. 10).

Lyon y Buckman (20) y Spencer (23) afirman que la aplicación de cal, además de los cambios químicos, tiene efectos de orden físico y biológico sobre el suelo.

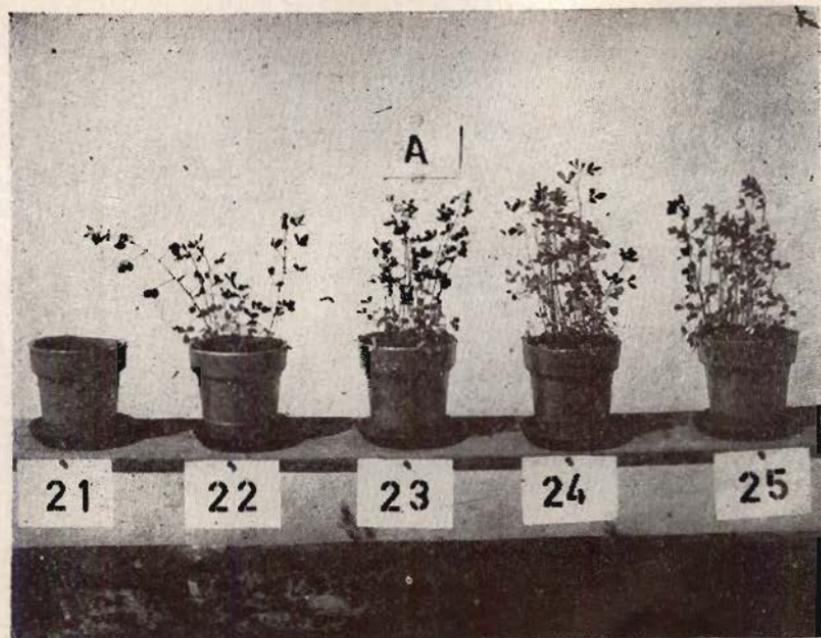


FIGURA 3.— Crecimiento de la alfalfa sin aplicaciones de fósforo, con 300 gramos de molibdato de sodio por Ha. y diferentes dosis de cal (Tercer corte).

21) Sin cal.— 22) Dos y media toneladas de cal por Ha.— 23) Cinco toneladas de cal por Ha. 24) Siete y media toneladas de cal por Ha.— 25) Diez toneladas de cal por Ha.

Foto: E. Arévalo.

En el establecimiento de leguminosas en suelos ácidos junto con los tratamientos de cal y fósforo, el molibdeno ha demostrado ser muy efectivo (Anderson y Moye, 3; Kline, 18; Turner y MacCall, 26; Walker, Adams y Orchiston, 28).

A continuación se presenta una breve revisión sobre este elemento:

Molibdeno

Su importancia ha sido determinada desde hace unas pocas décadas, cuando Bortels en 1936 demostró que era altamente benéfico para la fijación del nitrógeno gaseoso por el *Azotobacter chroococcum*. Así mismo observó que desempeñaba un papel importante en la fijación del nitrógeno por las leguminosas (Evans, 15).

Arnon y Stout (5) fueron los primeros en establecer que era necesario para la fisiología de las plantas superiores.

Funciones del molibdeno

Sus funciones más importantes son:

a) Fijación. Ayuda a la fijación del nitrógeno del aire por las bac-

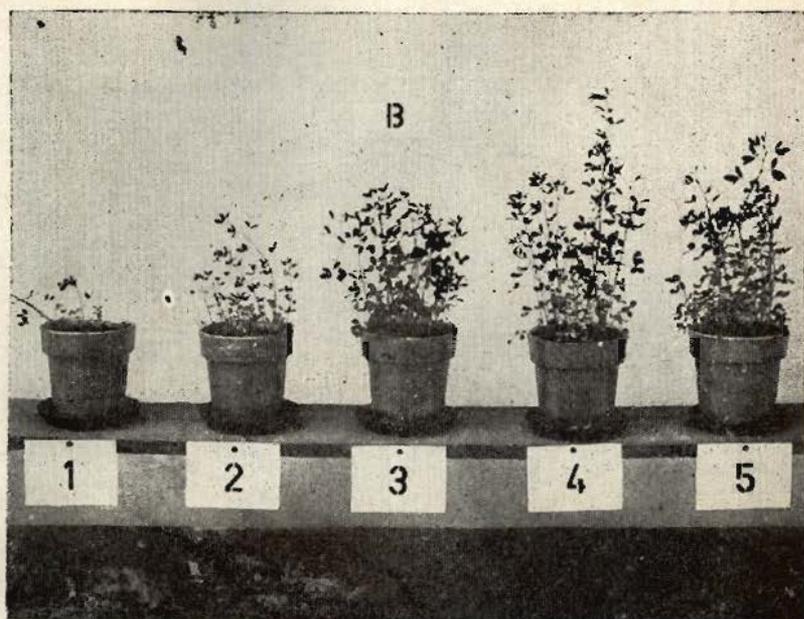


FIGURA 4.— Crecimiento de la alfalfa con 200 kilos de P_2O_5 /Ha. sin molibdeno y a diferentes dosis de cal. (Tercer corte).

- 1) Sin cal.— 2) Dos y media toneladas de cal por Ha.— 3) Cinco toneladas de cal por Ha.— 4) Siete y media toneladas de cal por Ha.— 5) Diez toneladas de cal por Ha.

Foto: E. Arévalo.

terias nitrificantes en simbiosis con las leguminosas (Evans, 15; Anderson y Spencer, 4).

b) Reducción de los nitratos. En las plantas en que se presenta una deficiencia de molibdeno los nitratos tomados por ellas se acumulan, no reduciéndose, como sucede en un proceso normal para la formación de proteínas, disminuyéndose por lo tanto el contenido de éstas (Anderson, 2; Evans, 15).

Contenido en las rocas y en los suelos:

“Los promedios para litosfera, según Rankama y Sahama son de 2,5 a 15,0 ppm.; Goldschmidt considera 2,3 ppm. y Kuroda y Sandell 1,0 ppm. (Davies, 12).

Robinson et al. (22) anotan que “de 400 muestras de suelos analizados en los Estados Unidos, el 95% de las muestras varió entre 0,6 y 3,5 ppm. Vanagradova y Drobknow en Rusia encontraron un promedio de 2,6 ppm. Trelles y Amato en Argentina 2 ppm.”

Molibdeno total en plantas:

La variación del contenido de las plantas depende del molibde-

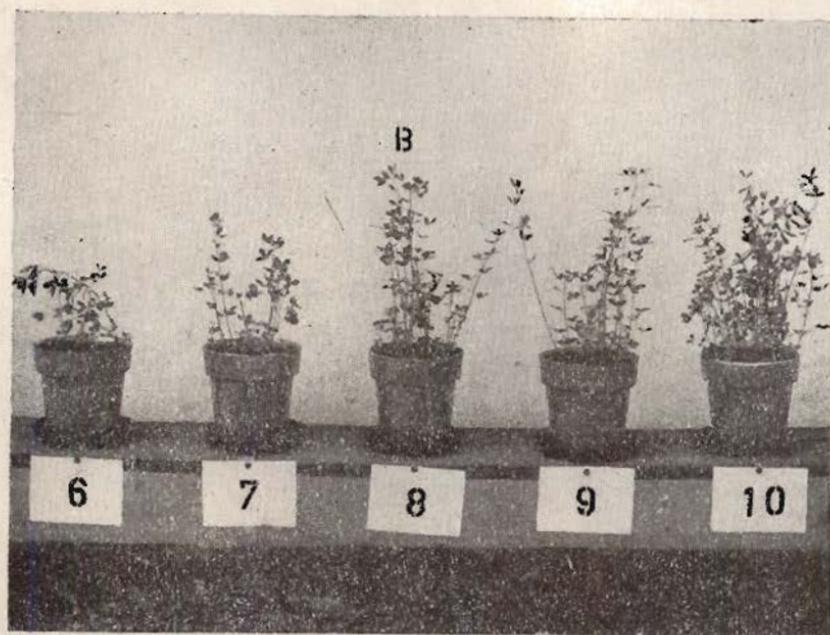


FIGURA 5.— Crecimiento de la alfalfa con 200 kilos de P_2O_5 /Ha. con 120 gramos de molibdato de sodio por Ha. y diferentes dosis de cal. (Tercer corte).

6) Sin cal.— 7) Dos y media toneladas de cal por Ha.— 8) Cinco toneladas de cal por Ha.— 9) Siete y media toneladas de cal por Ha.— 10) Diez toneladas de cal por Ha.

Foto: E. Arévalo.

no soluble en agua presente en el suelo, la estación del año y la especie y edad de la planta (Barshad, 6).

Aunque un contenido de 18 a 19 ppm. parece ser alto, en el Departamento de Boyacá, Colombia, se han encontrado semillas de arvejas con un contenido de 75 ppm. de molibdeno (Robinson et al., 22).

El exceso de molibdeno en el follaje está asociado con la alcalinidad ya que su aprovechabilidad aumenta con el pH y se hace menos soluble a pH bajos (Evans, 16).

Deficiencias en el suelo:

Kline (18) y Purvis (21) revisaron las relaciones entre la aprovechabilidad del molibdeno y la reacción del suelo, aireación, cantidad de manganeso, fosfatos y sulfatos.

En suelos ácidos ricos en hierro y aluminio se considera que los óxidos hidratados amorfos de hierro y aluminio son los responsables de la retención del molibdeno (MoO_4) los suelos rojizos ricos en hie-

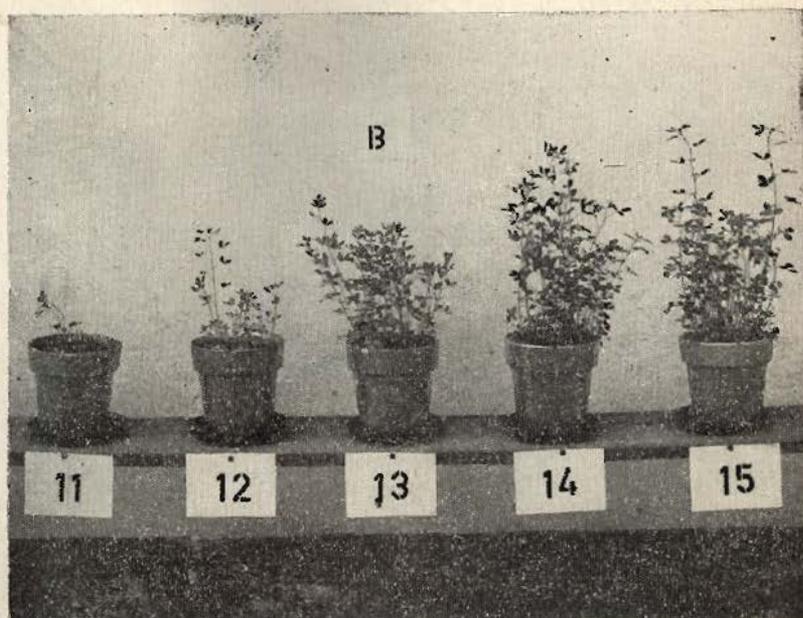


FIGURA 6.— Crecimiento de la alfalfa con 200 kilos de P_2O_5 /Ha. con 180 gramos de molibdato de sodio y diferentes dosis de cal. (Tercer corte).

- 11) Sin cal.— 12) Dos y media toneladas de cal por Ha.—
 13) Cinco toneladas de cal por Ha.— 14) Siete y media toneladas de cal por Ha.— 15) Diez toneladas de cal por Ha.

Foto: E. Arévalo.

rrero, pueden ser deficientes en molibdeno (Davies, 12).

Según Walker (27) y Kline (18) en suelos derivados de serpentina pueden presentarse deficiencias de molibdeno.

En suelos encalados o neutros se pueden presentar deficiencias de molibdeno, por sufrir éste una fuerte lixiviación o ser agotado por excesivos cultivos (Evans, 16; Kline, 18).

Deficiencias en las plantas:

Han sido observadas deficiencias de molibdeno en más de 40 especies de plantas, tanto leguminosas como no leguminosas.

Síntomas de deficiencia

En las leguminosas el color del follaje es verde pálido, crecimiento raquítico, un pronunciado amarillamiento entre las nervaduras, las que retienen el color verde (Anderson, 2).

Exceso de molibdeno en los forrajes.

Un exceso de molibdeno en los tejidos de las plantas es perjudicial para el ganado que lo consume. Los síntomas de una intoxicación en el ganado se manifiestan por diarrea aguda, cambio de color de la piel, debilidad general y poco crecimiento de los terneros (Dykstra, 14).

Hay un antagonismo entre el cobre y el molibdeno en el metabolismo de los rumiantes, en especial cuando hay gran cantidad de sulfatos presentes. La retención del cobre por el animal es baja presentándose la enfermedad denominada molibdenosis (Dick, 13).

Las leguminosas tienen capacidad de absorber grandes cantidades de molibdeno; cantidades mayores de 10 ppm. son peligrosas (Barshad, 6).

Investigaciones con molibdeno.

Las investigaciones con molibdeno y cal para el establecimiento y mantenimiento de leguminosas en suelos ácidos han sido adelantadas principalmente en Australia, Nueva Zelandia y los Estados Unidos.

Lobb (19) informa del incremento en la producción de varios cultivos por tratamientos con molibdeno. La alfalfa mostró un aumento en peso verde desde 3.672 kilogramos por hectárea hasta 13.544, lo que significó un incremento de 355%.

Turner y MacCall (25) estudiaron en invernadero y campo el efecto de aplicaciones de cal y molibdeno sobre la reacción del suelo y sobre la producción de avena, alfalfa, maíz, frijol, trigo y trébol rojo, en diferentes suelos de Michigan.

Anderson (1) en suelos de condiciones aparentemente ideales para el establecimiento de pastos y leguminosas pero en los que se presentaba un crecimiento no satisfactorio obtuvo muy buenos rendimientos con aplicaciones de bórax y molibdeno.

Barshad (6) estudió el efecto de los fosfatos solubles (ácido fosfórico) fertilizantes nitrogenados y de los sulfatos solubles sobre el contenido de molibdeno en los forrajes.

III— MATERIALES Y METODOS

El suelo usado en el experimento corresponde a la región de Santander de Quilichao y pertenece a la terraza plana en la parte sur del valle fisiográfico del Río Cauca. Esta serie descrita por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (11) ocupa una extensión considerable con un uso restringido a pasto común (*Paspalum notatum*, Fluegge).

La descripción del perfil y los análisis químicos y físicos de este suelo se dan a continuación:

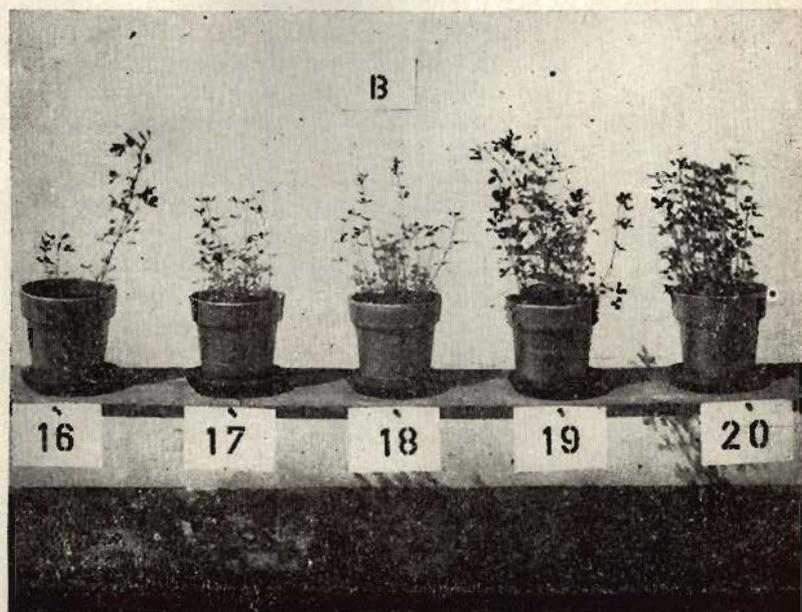


FIGURA 7.— Crecimiento de la alfalfa con 200 kilos de P_2O_5 /Ha. con 240 gramos de molibdato de sodio por Ha. y diferentes dosis de cal. (Tercer corte).

16) Sin cal.— 17) Dos y media toneladas de cal por Ha.—
 18) Cinco toneladas de cal por Ha.— 19) Siete y media toneladas de cal por Ha.— 20) Diez toneladas de cal por Ha.

Foto: E. Arévalo.

SERIE SAN RAFAEL, ARCILLOSA

Un suelo imperfectamente drenado derivado de una antigua terraza, que en algunas zonas se presenta de ligero a moderadamente disectado. Tiene una baja rata de escorrentía excepto cuando está disectada; drenaje interno algo pobre y reacción de fuerte a extremadamente ácida.

Descripción del perfil:

- 0— 22 cms. Franco arcilloso negro (10 YR 2/1); de estructura de bloques sub-angular de finamente débil a media; bordes difusos e irregulares; firme cuando húmeda; presencia abundante de raíces, reacción extremadamente ácida.
- 22— 35 cms. Franco arcilloso pardo grisoso muy oscuro (10 YR 2/2) con moteaduras negras (10 YR 2/1); estructura de bloques sub-angular de moderadamente fina a medio; bordes difusos e irregulares; firme cuando húmeda; presencia abundante de raíces; reacción muy fuertemente ácida.

35— 49 cms. Franco arcillo arenoso pardo oscuro (7,5 YR 4/4) con moteaduras pardo amarillentas (10 YR 5/6); estructura de bloques angular de moderadamente media a gruesa; bordes difusos e irregulares; firmes cuando húmedos; presencia abundante de raíces; reacción muy fuertemente ácida.

49— 70 cms. Franco arcillo arenoso rojo amarillento (5 YR 4/6) con salpicaduras pardo oscuras (7,5 YR 4/4); estructura de bloques angular de moderadamente media a gruesa; bordes claros y lisos; firmes cuando húmedo; no hay raíces; reacción muy fuertemente ácida.

70—120 cms. Franco arcillo arenoso pardo oscuro (2,5 YR 3/4 con muchas moteaduras pardo amarillentas oscuras (10 YR 4/4); estructura masiva, plástico cuando húmedo; no hay raíces; reacción extremadamente ácida.

Relieve: Ondulado. En algunas zonas ligeramente disectado (4-8% de pendiente).

Drenaje natural: Imperfecto.

Uso presente: Pastos.

Análisis químico del suelo de la Serie San Rafael

pH	4,7	
Ca	500	kgs./Ha.
N ₂	0,338%	
Fósforo (Bray)	12	kgs./Ha
Potasio	150	kgs./Ha.

Análisis mecánico

Arcilla	46%
Limo	19%
Arena	35%
Textura:	Arcillosa.

Potes

Se usaron potes de arcilla cocida, barnizados con pintura asfáltica por dentro y con pintura de aluminio por fuera, con capacidad para 1.400 gramos de suelo.

Se sembró alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad peruana con semilla previamente inoculada.

Métodos

Se usaron 1.400 gramos de suelo desinfectado por pote y se sembró suficiente semilla para luego ralea, hasta dejar sólo 15 plantas por vasija.

La cal se aplicó en forma de hidróxido de calcio, mezclándose con el suelo. Quince días después se hizo la siembra. El fósforo se aplicó en forma de superfosfato triple del 46% de P_2O_5 , mezclado con el suelo. El molibdeno se aplicó en forma de solución de molibdato de sodio y el boro en solución de bórax a razón de 50 kilos por hectárea, al mes de sembrada la alfalfa.

La siembra se hizo el primero de abril, el primer corte el 12 de junio, el segundo el 17 de julio y el tercero el 19 de agosto.

A cada corte se le hizo sus determinaciones de nitrógeno y de proteínas multiplicando por el factor 6,25.

Después del tercer corte se tomaron muestras de suelo para la determinación de pH y de fósforo. Lo primero se hizo con potenciómetro en suelo saturado y el fósforo se determinó por el método de Bray (9) para fósforo absorbido.

Diseño.

El diseño experimental seguido fué el de parcelas divididas, con cuatro replicaciones.

DOSIS

Fósforo

- P_0 Sin fósforo
 P_1 300 kgs. de P_2O_5 por Ha.

Calcio

- Ca_0 Sin cal
 Ca_1 2,5 ton. de cal por Ha.
 Ca_2 5,0 ton. de cal por Ha.
 Ca_3 7,5 ton. de cal por Ha.
 Ca_4 10,0 ton. de cal por Ha.

Molibdeno

- Mo_0 Sin molibdeno
 Mo_1 120 gramos de molibdato de sodio/Ha.
 Mo_2 180 gramos de molibdato de sodio/Ha.
 Mo_3 240 gramos de molibdato de sodio/Ha.
 Mo_4 300 gramos de molibdato de sodio/Ha.

IV.— RESULTADOS

La germinación de la semilla de la alfalfa fué normal, pero al mes de sembradas las plántulas presentaron múltiples ramificaciones, una coloración anormal y un estancamiento en el crecimiento, síntomas estos muy similares a los que caracterizan una deficiencia de boro; por esta razón se hizo una aplicación de 50 kilos de bórax por hectárea con respuesta favorable.

Cuando se hizo el primer corte no hubo crecimiento de los tratamientos sin cal. Por ello estas dosis no se consideraron en los análisis estadísticos.

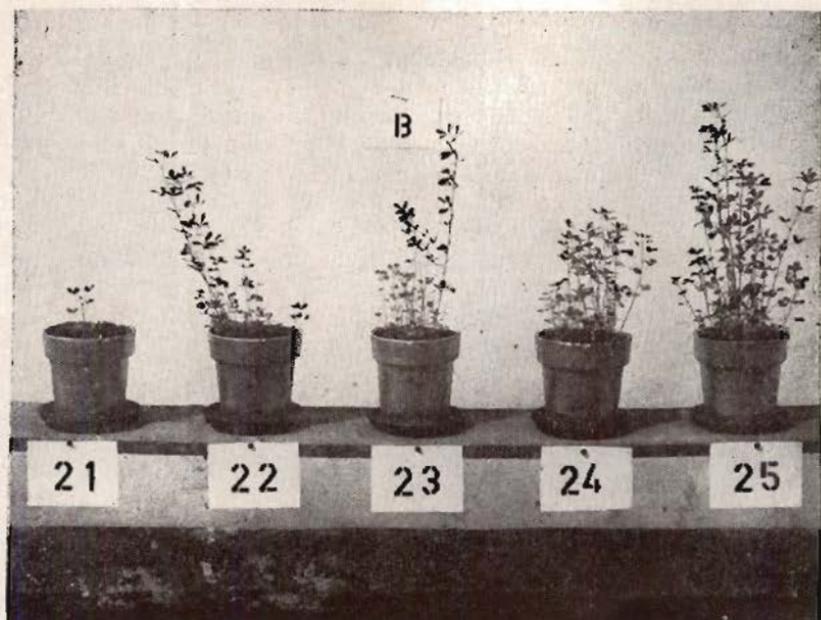


FIGURA 8.— Crecimiento de la alfalfa con 200 kilos de P_2O_5 /Ha. con 300 gramos de molibdato de sodio y diferentes dosis de cal. (Tercer corte).

21) Sin cal.— 22) Dos y media toneladas de cal por Ha.—
23) Cinco toneladas de cal por Ha.— 24) Siete y media toneladas de cal por Ha.— 25) Diez toneladas de cal por Ha.

Foto: E. Arévalo.

Producción en peso seco y contenido de proteínas de la alfalfa.

En la Tabla I se muestran los rendimientos de alfalfa en peso seco y el contenido de proteína a diferentes dosis de fósforo. Se puede observar que la aplicación de 200 kilos de P_2O_5 , produjo en el peso seco un aumento altamente significativo en el primero y tercer cortes y significativo en el segundo. El aumento en el contenido de proteína fue significativo en el segundo y tercer cortes.

Los rendimientos en peso seco con relación a las diferentes dosis de cal presentaron diferencias significativas en los tres cortes como lo muestra la Tabla II. Se observa en la misma Tabla que no hubo diferencia significativa en el contenido de proteína del primer corte, pero fueron altamente significativas en el segundo y tercero.

En la Tabla III se presentan los rendimientos de alfalfa en peso seco y los contenidos de proteína como resultado de la interacción fósforo por cal. Para los rendimientos en peso seco hubo diferencia significativa en el primer corte, altamente significativa en el tercero y no hubo diferencia en el primer corte. Considerando el contenido de proteína sólo hubo diferencia significativa en el segundo y tercer cortes.

La aplicación de molibdeno no tuvo efecto en el primer corte,

— T A B L A I —

Efecto de la aplicación de fósforo sobre la producción en peso seco y el contenido de proteínas de la alfalfa

Fósforo kgs. de P ₂ O ₅ /Ha.	1er. Corte		2º Corte		3er. Corte	
	A	B	A	B	A	B
0	1,242	0,330	1,210	0,199	0,857	0,163
200	2,176	0,384	1,850	0,304	1,407	0,291
D. M. S.						
A	0,05	0,244	0,375		0,199	
B	0,05	N. S.	0,076		0,071	
A	0,01	0,448	N. S.		0,366	
B	0,01	N. S.	N. S.		N. S.	

A Rendimiento de alfalfa en peso seco (gramos)

B Contenido de proteínas (gramos)

— T A B L A II —

Efecto de diferentes dosis de cal sobre la producción en peso seco y el contenido de proteínas en la alfalfa.

Cal Ton. por Ha.	1er. Corte		2º Corte		3er. Corte	
	A	B	A	B	A	B
2,5	1,060	....	0,869	0,147	0,452	0,090
5,0	1,769	0,335	1,325	0,206	0,855	0,164
7,5	1,885	0,341	1,802	0,303	1,472	0,207
10,0	2,147	0,395	2,125	0,350	1,750	0,355
D. M. S.						
A	0,05	0,166		0,294		0,134
B	0,05	N. S.		0,052		0,044
A	0,01	0,227		0,404		0,183
B	0,01	N. S.		0,072		0,060

A Rendimiento de alfalfa en peso seco (gramos)

B Contenido de proteínas (gramos)

pero produjo un aumento significativo en el rendimiento de peso seco en el segundo y altamente significativo en el tercero. El efecto sobre el contenido de proteína produjo diferencias altamente significativas en el primer corte y significativas en el segundo y tercero, como se observa en la Tabla IV.

En la Tabla V se presentan los rendimientos de alfalfa en peso seco y el contenido de proteína a la interacción fósforo por molibdeno que produjo diferencia significativa sólo en el segundo corte.

En la Tabla VI se muestran los rendimientos de alfalfa en peso seco y el contenido de proteína a la interacción cal por molibdeno, que en ambos casos, fue significativo sólo en el primer corte.

La interacción fósforo -cal- molibdeno produjo diferencias altamente significativas en el contenido de proteínas y peso seco en los tres cortes, como lo muestra la Tabla VII.

V.— DISCUSION

Con la aplicación de 200 kilogramos de P_2O_5 por hectárea, la producción de materia seca tuvo un aumento de 75% en el primer corte, en el segundo del 52% y en el tercero de 64%. La disminución para el segundo corte probablemente se debió a la fijación de parte

— T A B L A III —

Efecto de la interacción fósforo por cal sobre la producción en peso seco y el contenido de proteínas de la alfalfa

Fósforo*	Cal**	1er. Corte		2º Corte		3er. Corte	
		A	B	A	B	A	B
0	2,5	0,400	....	0,759	0,152	0,455	0,077
	5,0	1,325	0,312	1,070	0,155	0,695	0,132
	7,5	1,540	0,325	1,360	0,230	1,045	0,203
	10,0	1,705	0,354	1,650	0,258	1,235	0,240
200	2,5	1,720	....	0,975	0,143	0,450	0,104
	5,0	2,214	0,358	1,580	0,257	1,015	0,197
	7,5	2,230	0,358	2,245	0,376	1,900	0,392
	10,0	2,450	0,435	2,600	0,442	2,265	0,471

D.M.S.

para dos promedios de cal a igual dosis de fósforo

A	0,05	0,233	N.S.	0,165
B	0,05	N.S.	0,072	0,063
A	0,01	N.S.	N.S.	N.S.
B	0,01	N.S.	0,099	0,086

Para dos promedios de fósforo a igual dosis de cal

A	0,05	0,259	N.S.	0,297
B	0,05	N.S.	0,081	0,069
A	0,01	N.S.	N.S.	N.S.
B	0,01	N.S.	0,111	0,095

* Kilos por Ha. de P_2O_5

A Rendimiento de alfalfa en peso seco (gramos).

** Toneladas de cal por Ha.

B Contenido de proteínas (gramos).

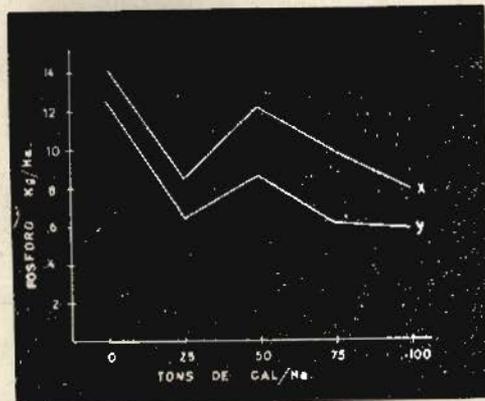


FIGURA 9.— Contenido de fósforo del suelo a la aplicación de diferentes dosis de cal, después de los tres cortes.

X — con aplicación de 200 kilos de P_2O_5 por Ha.
 — sin aplicación de fósforo.

del superfosfato por el suelo mientras que para el tercer corte hubo un mejor equilibrio en los nutrientes del suelo, por acción de la cal que solubilizó parte de superfosfato fijado con lo cual se aumentó el rendimiento.

La acción del fósforo sobre contenido de proteína no fué significativa en el primer corte pero sí lo fué en el segundo y tercero, presentando un aumento del 52% y 83% respectivamente.

— T A B L A IV —

Efecto de diferentes dosis de molibdeno sobre la producción en peso seco y el contenido de proteínas de la alfalfa

Molibdeno*	1er. Corte		2º Corte		3er. Corte	
	A	B	A	B	A	B
0	1,634	0,312	1,374	0,246	1,118	0,231
120	1,775	0,379	1,409	0,227	1,084	0,209
180	1,722	0,358	1,700	0,288	1,242	0,252
240	1,743	0,380	1,493	0,236	1,018	0,202
300	1,608	0,354	1,590	0,261	1,237	0,240
D.M.S.						
A	0,05	N.S.		0,187		0,118
B	0,05	0,035		0,035		0,034
A	0,01	N.S.		N.S.		0,156
B	0,01	0,048		N.S.		N.S.

* Gramos de molibdato de sodio por Ha.

A Rendimiento de alfalfa en peso seco (gramos)

B Contenido de proteínas (gramos)

La cal tuvo un efecto altamente significativo en los tres cortes sobre la producción de materia seca, los mejores resultados se obtuvieron con la dosis de 10 toneladas por hectárea. En el primer corte hubo un aumento del 100% en comparación con las dosis de 2,5 toneladas de cal por hectárea. En el segundo corte el aumento fue de 145% y en el tercero de 285% con relación a la misma dosis.

Con las diferentes dosis de cal no hubo efecto sobre el contenido de proteínas en el primer corte, pero sí hubo diferencias significativa en el segundo y en el tercero. La mejor dosis fue la de 10 toneladas de cal por hectárea obteniéndose aumentos de 135% y 294% respectivamente comparándola con 2,5 toneladas de cal.

Con relación al rendimiento de materia seca la interacción cal

— T A B L A V —

Efecto de la interacción fósforo por molibdeno en la producción en peso seco y el contenido de proteínas de la alfalfa

Fósforo*	Molib.**	1er. Corte		2º Corte		3er. Corte	
		A	B	A	B	A	B
0	0	1,087	0,249	0,786	0,162	0,806	0,152
	120	1,425	0,356	1,156	0,191	0,806	0,148
	180	1,181	0,354	1,344	0,215	0,956	0,179
	240	1,255	0,360	1,244	0,197	0,712	0,130
	300	1,137	0,331	1,369	0,228	1,006	0,204
200	0		0,375	1,962	0,329	1,431	0,310
	120	2,125	0,403	1,662	0,263	1,362	0,270
	180	2,262	0,362	2,056	0,360	1,486	0,324
	240	2,156	0,401	1,743	0,275	1,325	0,874
	300	2,082	0,377	1,812	0,295	1,431	0,277

D. M. S.

Entre dos promedios de Molib. a igual dosis de fósforo

A	0,05	N. S.	0,265	0,164
B	0,05	N. S.	0,051	N. S.
A	0,01	N. S.	N. S.	0,226
B	0,01	N. S.	N. S.	N. S.

Entre dos promedios de fósforo a igual dosis de Molib.

A	0,05	N. S.	0,328	0,297
B	0,05	N. S.	0,056	N. S.
A	0,01	N. S.	N. S.	0,408
B	0,01	N. S.	N. S.	N. S.

* Kilos de P_2O_5 por Ha.

** Gramos de Molib. de sodio por Ha.

A Rendimiento de alfalfa en peso seco (gramos)

B Contenido de proteínas (gramos)

— T A B L A VI —

Efecto de la interacción cal molibdeno sobre la producción en peso seco y el contenido de proteínas de la alfalfa

Cal*	Molib.**	1er. Corte		2º Corte		3er. Corte	
		A	B	A	B	A	B
2,5	0	1,050	....	0,925	0,154	0,450	0,148
	120	1,037	....	0,850	0,142	0,462	0,067
	180	1,112	....	0,750	0,121	0,475	0,084
	240	1,137	....	0,925	0,161	0,462	0,083
	300	0,962	....	0,950	0,157	0,412	0,063
5,0	0	1,887	0,311	1,437	0,219	0,712	0,133
	120	1,775	0,356	1,162	0,190	0,800	0,167
	180	1,775	0,350	1,512	0,256	0,950	0,202
	240	1,712	0,344	1,212	0,231	0,712	0,130
	300	1,697	0,311	1,300	0,256	1,100	0,189
	0	1,637	0,287	1,625	0,284	1,475	0,308
7,5	120	1,937	0,379	1,587	0,224	1,250	0,244
	180	1,962	0,343	2,150	0,382	1,737	0,350
	240	2,012	0,396	1,687	0,291	0,287	0,268
	300	1,525	0,298	1,962	0,332	1,512	0,317
10,0	0	1,862	0,348	1,900	0,324	1,837	0,336
	120	2,350	0,402	2,037	0,349	1,725	0,356
	180	2,037	0,381	2,387	0,391	1,725	0,365
	240	2,112	0,358	2,150	0,315	1,612	0,327
	300	2,250	0,453	2,150	0,369	1,850	0,391

D. M. S.

Entre dos promedios de molibdeno a igual dosis de cal

A	0,05	0,307	N. S.	N. S.
B	0,05	0,062	N. S.	N. S.
A	0,01	N. S.	N. S.	N. S.
B	0,01	N. S.	N. S.	N. S.

Entre dos promedios de cal a igual dosis de molibdeno

A	0,05	0,220	N. S.	N. S.
B	0,05	0,075	N. S.	N. S.
A	0,01	N. S.	N. S.	N. S.
B	0,01	N. S.	N. S.	N. S.

* Toneladas de cal por Ha.

** Gramos de molibdato de sodio por Ha.

A Rendimiento de alfalfa en peso seco (gramos)

B Contenido de proteínas (gramos)

por fósforo fue significativa tanto en el primer corte como en el tercero los mayores rendimientos se obtuvieron con 10 toneladas de cal y 200 kilos de P_2O_5 por hectárea; los aumentos fueron de 575% y 203% en comparación con el tratamiento de 2,5% toneladas de cal y sin fósforo. Sobre el contenido de proteína esta interacción no tuvo efecto en el primer corte, pero fué altamente significativa para el segundo y tercero.

En el primer corte no hubo efecto de las diferentes dosis de molibdeno sobre el rendimiento de materia seca pero produjeron diferencias altamente significativas sobre el contenido de proteínas. En el segundo corte la dosis de 180 gramos de molibdato de sodio fué significativa sobre la producción de peso seco y sobre el contenido

— T A B L A VII —

Efecto de la interacción fósforo, cal y molibdeno sobre la producción en peso seco y el contenido de proteínas de la alfalfa

	Cal*	Molib.**	1er. Corte		2º Corte		3er. Corte	
			A	B	A	B	A	A
2,5		0	0,450	....	0,525	0,105	0,375	0,065
		120	0,350	....	0,700	0,137	0,400	0,055
		180	0,300	....	0,825	0,142	0,575	0,119
		240	0,450	....	0,900	0,189	0,450	0,071
		300	0,450	....	1,025	0,187	0,475	0,074
			0,400***			0,795	0,152	0,455	0,077
5,00		0	1,400	0,273	1,150	0,153	0,675	0,135
		120	1,650	0,392	1,175	0,165	0,725	0,146
		180	1,200	0,310	1,125	0,179	0,825	0,150
		240	1,200	0,302	0,875	0,125	0,450	0,063
		300	1,175	0,281	1,025	0,153	0,800	0,164
			1,325	0,312	1,070	0,155	0,695	0,132
7,5		0	1,250	0,233	1,000	0,175	1,000	0,207
		120	1,700	0,357	1,300	0,193	0,800	0,133
		180	1,425	0,341	1,475	0,254	1,325	0,227
		240	1,700	0,412	1,325	0,235	0,900	0,196
		300	1,125	0,281	1,650	0,292	1,200	0,250
			1,440	0,325	1,360	0,230	1,045	0,203
10,0		0	1,250	0,242	1,250	0,216	1,175	0,202
		120	2,000	0,319	1,450	0,268	1,300	0,257
		180	1,800	0,402	1,950	0,287	1,100	0,219
		240	1,675	0,365	1,825	0,239	1,050	0,192
		300	1,800	0,433	1,775	0,280	1,550	0,327
			1,705	0,357	1,650	0,257	1,235	0,239
		1,217****	0,330	1,219	0,199	0,857	0,163	

T A B L A VII — (continuación)

200 KILOS DE P_2O_5 /Ha.	Cal*	Molib.**	1er. Corte		2º Corte		3er. Corte	
			A	B	A	B	A	A
		0	1,650	....	1,235	0,204	0,525	0,232
		120	1,725	....	1,000	0,148	0,525	0,080
	2,5	180	1,925	....	0,675	0,100	0,375	0,059
		240	1,825	....	0,950	0,133	0,475	0,095
		300	1,475	....	0,875	0,128	0,350	0,052
			1,720***		0,947	0,143	0,450	0,104
		0	2,375	0,350	1,725	0,286	0,750	0,131
		120	1,900	0,321	1,150	0,215	0,875	0,188
	5,0	180	2,350	0,391	1,900	0,333	1,075	0,254
		240	2,225	0,386	1,550	0,228	0,975	0,198
		300	2,220	0,341	1,575	0,220	1,400	0,215
			2,214	0,358	1,580	0,256	1,015	0,197
		0	2,225	0,341	2,250	0,393	1,950	0,409
		120	2,175	0,402	1,875	0,256	1,900	0,355
	7,5	180	2,500	0,346	2,825	0,511	2,150	0,473
		240	2,325	0,386	2,000	0,347	1,675	0,340
		300	1,925	0,316	2,275	0,373	1,825	0,385
			2,230	0,358	2,245	0,376	1,900	0,392
		0	2,475	0,435	2,550	0,433	2,500	0,470
		120	2,700	0,486	2,625	0,431	2,150	0,456
	10,0	180	2,275	0,350	2,825	0,450	2,350	0,512
		240	2,550	0,432	2,475	0,392	2,175	0,462
		300	2,700	0,474	2,525	0,458	2,550	0,455
			2,540	0,435	2,600	0,442	2,265	0,471
			2,176****	0,384	1,843	0,304	1,407	0,291

de proteína, los aumentos fueron del 23% y del 17% respectivamente. En el tercer corte esa misma dosis fue significativa sobre el contenido de proteína y altamente significativa en la producción de materia seca.

La interacción fósforo por molibdeno no fue significativa en el primer corte sobre el contenido de proteína ni sobre la producción de materia seca. Fue significativa sobre la producción de materia seca y sobre el contenido de proteína en el segundo corte, siendo el mejor tratamiento el de 180 gramos de molibdato de sodio por hectárea y 200 kilos de P_2O_5 . En el tercer corte el mismo tratamiento fue altamente significativo sobre la producción de materia seca y significativo sobre el contenido de proteína.

— T A B L A VII — (continuación)

D.M.S.

Entre dos promedios de molibdeno a igual dosis de fósforo y cal

A	0,05	0,041	0,574	0,330
B	0,05	0,089	0,101	0,103
A	0,01	0,054	0,684	0,433
B	0,01	0,117	0,133	0,136

Entre dos promedios de cal a igual dosis de fósforo y molibdeno.

A	0,05	0,532	0,615	0,385
B	0,05	0,107	0,120	0,111
A	0,01	0,574	0,795	0,507
B	0,01	0,140	0,158	0,146

Entre dos promedios de fósforo a igual dosis de cal y molibdeno.

A	0,05	0,538	0,624	0,127
B	0,05	0,105	0,119	0,103
A	0,01	0,589	0,821	0,167
B	0,01	0,138	0,156	0,136

** Gramos de molibdato de sodio por Ha.

*** Promedios para dosis de cal.

**** Promedios para dosis de fósforo.

A Rendimiento de alfalfa en peso seco (gramos)

B Contenido de proteínas (gramos)

B Contenido de proteínas (gramos)

La interacción cal por molibdeno fue significativa en el primer corte sobre el rendimiento en materia seca y sobre el contenido de proteínas. Para el segundo y tercer cortes la interacción no fué significativa para el rendimiento en materia seca ni para el contenido de proteína.

La interacción fósforo-cal-molibdeno fué altamente significativa en los tres cortes, tanto sobre el contenido de proteínas como para los rendimientos en peso seco. Los mayores rendimientos se obtuvieron con los siguientes tratamientos: 200 kilos de P_2O_5 , 10 toneladas de cal y 120 gramos de molibdato de sodio en el primero y segundo cortes, en el tercer corte con 300 gramos de molibdato de sodio para el rendimiento en peso seco y con 180 gramos de molibdato de sodio por hectárea para el contenido de proteínas.

Modificación de la reacción del suelo

La aplicación de 10 toneladas de cal sólo modificó el pH del suelo de 4,7 a 5,7. Esto se debió posiblemente a la capacidad "Buffer" del suelo dada en parte por el alto contenido de materia orgánica, por las condiciones químicas del suelo, principalmente contenidos de hierro, aluminio y textura.

El suelo dadas sus condiciones químicas (Ver Apéndice) tiene capacidad de fijar gran cantidad de fósforo. En la figura 9 se presenta el contenido de fósforo cuando se aplicó 200 kilos de P_2O_5 por hectárea y cuando no hubo aplicación. Se observó que en ambos casos las tendencias son similares.

La acción de la cal fue benéfica en la solubilización del fósforo presente, dando como resultado mayores rendimientos en la alfalfa.

El descenso de la curva de contenido de fósforo del suelo, a la dosis más altas de cal se explica porque, aunque hubo mayor contenido de fósforo aprovechable, éste fue tomado por las plantas disminuyendo el contenido de fósforo del suelo al final de las cosechas.

VI.— CONCLUSIONES

1) Los resultados de este trabajo permiten concluir que es posible el establecimiento y mantenimiento de alfalfa en el suelo estudiado, representativo de una extensa región, mediante la aplicación d fósforo, cal, boro y molibdeno.

2) Los nutrientes más limitantes parecen ser el boro y la cal, ya que para obtener un crecimiento normal de la alfalfa fue necesario la aplicación de estos elementos.

3) Dado el bajo contenido de fósforo y la gran capacidad de fijación de este suelo se hace necesaria la aplicación de fuertes dosis de fertilizantes fosfatados.

4) La aplicación de la cal hizo variar poco el pH del suelo; su principal efecto fue un aumento en la cantidad del calcio disponible, que era bajo en este suelo.

5) Aunque no se conoce la cantidad de molibdeno presente en el suelo, la aplicación de este elemento tuvo una tendencia a aumentar los rendimientos de materia seca y el contenido de proteína de acuerdo con los datos obtenidos.

6) Con la aplicación de los nutrientes usados, solos y en combinación, el aumento de la producción de alfalfa en peso seco y del contenido de proteínas fue significativo.

7) Se obtuvieron los mejores resultados con la aplicación de 200 kilogramos de P_2O_5 , 10 toneladas de cal y 180 gramos de molibdato de sodio por hectárea.

8) En general, la aplicación de fósforo, cal, boro y molibdeno fue en el suelo estudiado, haciéndose necesario investigaciones posteriores —especialmente en el campo— que permitan establecer las dosis benéfica para el establecimiento y crecimiento normal de la alfalfa más recomendables.

VII.— RESUMEN

Se estudió la posibilidad de establecer el cultivo de la alfalfa en un suelo ácido de la terraza plana en la zona sur del Valle fisiográfico del Río Cauca.

El autor presenta en la Revisión de Literatura consideraciones generales sobre las limitaciones que para el crecimiento de las plantas, principalmente leguminosas, ofrecen los suelos ácidos.

Se estudió el efecto de la aplicación de diferentes dosis de fósforo, cal y molibdeno sobre el rendimiento y el contenido de proteínas de la alfalfa, en condiciones de invernadero. Se usaron dos dosis de fósforo, cinco de cal y cinco de molibdeno.

El crecimiento anormal de las plántulas hizo necesaria la aplicación del boro.

Se obtuvo un rendimiento significativo en el rendimiento de alfalfa y en el contenido de proteína con la aplicación de fósforo, cal y molibdeno.

Con la aplicación de 10 toneladas de cal por hectárea, el pH del suelo subió de 4,7 a 5,7.

Hubo fijación del fósforo aplicado.

SUMMARY

The possibilities to establish alfalfa crops in acid soil on the terrace of the south zone of the physiographic valley of the Cauca River were studied.

The author presents in the review of the literature, general considerations on the limitations which acid soils offer for the growing of plants, mainly legumes.

The effects of application of different doses of phosphorus, lime and molybdenum on the yield and content of proteins on the alfalfa were studied, under greenhouse conditions. Two doses of phosphorus, five of lime and five of molybdenum were used.

The abnormal growth of young plants made necessary the application of boro.

A significant increase in yield of the alfalfa and also in the contents of protein, with the application of phosphorus, lime and molybdenum was obtained.

The pH of the soil increased from 4,7 to 5,7 with the application of 10 tons of lime per hectare.

There was a fixation from the phosphorus applied.

BIBLIOGRAFIA

1. ANDERSON A. J.— Molybdenum and other fertilizers in pasture development on the Southern Tablelands of New South Wales. Jour. Australian Inst. Agron. Sci. **14**: 28-33. 1948.
- X 2. —————.— Molybdenum deficiencies in legumes in Australia. Soil Science **81**: 173-182. 1956.
3. ANDERSON, A. J. and D. V. MOYE.— Lime and molybdenum in clover development on acid soil. Australian Jour. Agr. Res. **3**: 95-110. 1952.
4. ANDERSON, A. J. and SPENCER.— Molybdenum and sulfur in symbiotic fixation. Nature **164**: 274-275. 1949.
5. ARNON, D. I. and P. R. STOUT.— Molybdenum as an essential element for higher plants. Plant Physiol. **14**: 599-602. 1939.
6. BARSHAD, I.— Factors affecting the Mo. content of pasture plant; 1 Nature of soil Mo. growth of plants, and soil pH. Soil Science **71**: 297-313. 1951.
8. BEAR, F. E.— Influence of calcium on availability of other soil cations. Soil Science **65**: 69-74. 1948.
9. BRAY, R. H. and L. T. KORTS.— Determination of total, and available forms of phosphorus in soils. Soil Science **59**: 39-45. 1945.
10. COOPER, H. P. et al.— Properties that influence availability of calcium in the soil to plant. Soil Science **65** 75-96. 1948.
11. CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA.— Descripción de las series de algunos suelos del Valle. Manuscrito no publicado.
- X 12. DAVIES, E.B.— Factors affecting molybdenum availability in soil. Soil Science **81**: 209-211. 1956.
13. DICK, A. T.— Molybdenum in animal nutrition. Soil Science **81**: 229-236. 1956.
14. DYKSTRA, R. R.— Animal sanitation and disease control. Danville, Ill., The Interstate Printers, 1949. 808 p.
- X 15. EVANS, H. J.— Role of molybdenum in plant nutrition. Soil Science **81**: 199-208. 1956.
16. EVANS, H. J., E. R.— Purvis and F. E. Bear. Effect of soil reaction on availability of molybdenum. Soil Science **71**: 117-124. 1951.
17. HESLEP, J. M.— A study of the infertility of two acid soil. Soil Science **72**: 67-80. 1951.

18. KLINE, CH. H.— Molybdenum and lime in the treatment of acid soil. Jour. of soil and Water Conservation 10: 63-69. 1955.
19. LOBB, W. R.— Potential improvement in Waitaki Country by the use of molybdenum. Molybdenum Symposium. New Zealand. Soil News. 3: 9-16. 1953.
20. LYON, T. L. and H. O. BUCKMAN.— Edafología. 4a. ed. Buenos Aires, Acme, 1953, 479 p.
21. PURVIS, E. R.— Review of the role of molybdenum in soil and plants. Agr. and Food Chem. 3: 66-669. 1955.
22. ROBINSON, W. O. et al.— Availability of molybdenum as influenced by liming. Soil Science 72: 267-274. 1951.
23. SPENCER, D.— The effect of calcium and soil pH on nodulation of *T. subterraneum* L. Clover on a yellow podsol. Australian Jour. Agr. Res. 1: 774-781. 1950.
24. SWENSON, R. M., C.— Vernon Cole and D. H. Sieling. Fixation of phosphate by iron and aluminum and replacement by organic and inorganic ions. Soil Science 67: 3-20. 1949.
25. TROUG, E.— Lime in relation to availability of plant nutrients. Soil Science 65: 1-7. 1948.
26. TURNER, F. and W. W. MacCALL.— Studies on crop response to molybdenum and lime in Michigan. Michigan, Agr. Exp. Sta. Quart. Bul. 40: 268-281. 1957.
27. WALKER, R. B.— Molybdenum deficiency in serpentine barren soil. Science 108: 473-475. 1948.
28. WALKER, T. W., A. F. R. ADAMS and H. D. Orchiston.— The effects and interaction of molybdenum, lime and phosphate treatments on the field and composition of white clover, grown on acid molybdenum responsive soils. Plant and Soil 6: 201-912. 1955.