

ESTUDIO COMPARATIVO DE TRES FUENTES DE FOSFORO A DIFERENTES NIVELES DE APLICACION EN RELACION A SU "ABSORCION Y FIJACION" EN UN SUELO ROJO DE NARIÑO

Por

///
JORGE EDMUNDO ORTEGA ENRIQUEZ

Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de INGENIERO AGRONOMO.

Presidente de tesis
UNIVERSIDAD DE NARIÑO
DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS
RICARDO GUERRERO R. e. I. A. M. Sc.
No. _____
Valor _____
Fecha _____
Cofre _____
UNIVERSIDAD DE NARIÑO
INSTITUTO TECNOLÓGICO AGRÍCOLA
Pasto - Colombia
1.970

AN
T
630.24
077

"Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son de responsabilidad exclusiva de su autor".

Artículo 1º del Acuerdo No. 324 de 11 de Octubre de 1.966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Naríño.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS

A mi esposa

A mi hija

A mis padres

A mis familiares

A mis amigos

DEDICO :

JORGE E. ORTEGA E.

RECONOCIMIENTO A :

RICARDO GUERRERO R., I.A., M.Sc.

Mario Blasco L., I.A., Ph.D.

Francisco Cortés de la Espriella

Efrén Coral Quintero, I.A.

Gerardo López Jurado, I.A., M.Sc.

Hernán Burbano Orjuela, I.A.

Antonio Arias Hernández, I.A.

Homero Benavides Guerrero, I.A.

Esperanza Rubio Caycedo

Universidad de Nariño

Granja Experimental de Obonuco - ICA.

Las personas que hicieron posible la realización del presente trabajo.

| CONTENIDO | | Pág. |
|-----------|---|------|
| I. | INTRODUCCION | 1 |
| II. | REVISION DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 | DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA | 3 |
| 2.1.1 | Geología | 3 |
| 2.1.2 | Clima | 3 |
| 2.1.3 | Suelos | 3 |
| 2.1.4 | Ecología | 3 |
| 2.2 | SUELOS LATERITICOS | 4 |
| 2.3 | EL FOSFORO EN EL SUELO | 5 |
| 2.3.1 | Generalidades | 5 |
| 2.3.2 | Fracciones de fósforo | 7 |
| 2.4 | EL FOSFORO EN LA PLANTA | 10 |
| 2.5 | RELACIONES EN EL SISTEMA FOSFORO-SUELO- PLANTA | 11 |
| 2.6 | FIJACION DEL FOSFORO | 14 |
| 2.7 | FERTILIZACION FOSFORICA | 16 |
| III. | MATERIALES Y METODOS | 20 |
| 3.1 | PLANTA INDICADORA | 20 |
| 3.2 | SUELO EXPERIMENTAL | 20 |
| 3.2.1 | Condiciones generales | 20 |
| 3.2.2 | Condiciones físico-químicas | 21 |
| 3.2.3 | Métodos utilizados en su carac- terización | 21 |
| 3.3 | PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL | 23 |
| 3.3.1 | Diseño Experimental | 23 |

| | Pág. |
|--|------|
| 3.3.2 Fertilización | 23 |
| 3.3.3 Cosecha | 25 |
| 3.3.4 Muestreo del suelo en los potes experimentales | 25 |
| 3.3.5 Análisis foliar del fósforo | 25 |
| 3.3.6 Fraccionamiento del fósforo | 26 |
| 3.4 DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE FIJACION DE FOSFORO POR PRECIPITACION | 26 |
| 3.5 ANALISIS ESTADISTICO | 27 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSION | 29 |
| 4.1 EFECTO DE LOS NIVELES SOBRE VARIABLES DE RESPUESTA | 29 |
| 4.1.1 Efecto sobre materia seca | 29 |
| 4.1.2 Efecto sobre contenido y absorción de fósforo en la planta | 29 |
| 4.1.3 Efecto sobre los fosfatos de cal- cio | 36 |
| 4.1.4 Efecto sobre los fosfatos de alu- minio y hierro | 37 |
| 4.1.5 Efecto sobre el fósforo orgánico | 37 |
| 4.1.6 Efecto sobre el fósforo aprovecha ble y sobre el pH | 37 |
| 4.2 EFECTO DE LAS FUENTES FOSFATADAS SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA | 38 |
| 4.2.1 Efecto sobre materia seca | 38 |
| 4.2.2 Efecto sobre absorción y contenido de fósforo en la planta | 49 |

| | Pág. |
|---|------|
| 4.2.3 Efecto sobre las fracciones de fósforo y el pH | 50 |
| 4.3 EFECTO DE LA INTERACCION NIVEL POR FUENTE SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA | 61 |
| 4.3.1 Efecto sobre materia seca | 61 |
| 4.3.2 Efecto sobre absorción y contenido de fósforo en la planta | 61 |
| 4.3.3 Efecto sobre las fracciones de fósforo y el pH | 62 |
| 4.4 FORMAS DE FOSFORO Y SU RELACION CON LA PLANTA | 63 |
| 4.4.1 Relación entre las fracciones de fósforo y la absorción del fósforo por la planta | 81 |
| 4.4.2 Relación entre las fracciones de fósforo y el fósforo aprovechable (Bray II) | 83 |
| 4.4.3 Relación entre el fósforo aprovechable, materia seca, absorción de fósforo y pH | 83 |
| 4.5 LA FIJACION POR PRECIPITACION Y SUS RELACIONES CON LAS FRACCIONES DE FOSFORO FUENTES Y NIVELES DE PRECIPITACION | 98 |
| V. CONCLUSIONES | 102 |
| VI. RESUMEN | 105 |
| SUMMARY | 108 |
| VII. BIBLIOGRAFIA | 110 |
| APENDICE | 122 |

ILUSTRACIONES

Pág.

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1. | Efecto de las aplicaciones de fósforo sobre la materia seca (I Cosecha) | 39 |
| Figura 2. | Efecto de las aplicaciones de fósforo sobre la materia seca (II Cosecha) | 40 |
| Figura 3. | Efecto de las aplicaciones de fósforo sobre la absorción (I Cosecha) | 41 |
| Figura 4. | Efecto de las aplicaciones de fósforo sobre la absorción (II Cosecha) | 42 |
| Figura 5. | Efecto de las aplicaciones de fósforo sobre el P-unido al calcio apatítico | 43 |
| Figura 6. | Efecto de las aplicaciones de fósforo sobre el P-unido al calcio no apatítico | 44 |
| Figura 7. | Efecto de las aplicaciones de fósforo sobre el P-unido al aluminio | 45 |
| Figura 8. | Efecto de las aplicaciones de fósforo sobre el P-orgánico | 46 |
| Figura 9. | Efecto de las aplicaciones de fósforo sobre el P-aprovechable Bray II | 47 |
| Figura 10. | Efecto de las aplicaciones de fósforo sobre el pH | 48 |
| Figura 11. | Efecto de las fuentes de fósforo sobre la producción de materia seca (I-II Cosecha) | 51 |
| Figura 12. | Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes fuentes de fósforo al nivel de 600 Kg/Ha. (I Cosecha) | 52 |
| Figura 13. | Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes fuentes de fósforo al nivel de 400 Kg/Ha. (I Cosecha) | 53 |

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 14. Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes fuentes de fósforo al nivel de 200 Kg/Ha. (I Cosecha) | 54 |
| Figura 15. Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes fuentes de fósforo al nivel de 600 Kg/Ha. (II Cosecha) | 55 |
| Figura 16. Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes fuentes de fósforo al nivel de 400 Kg/Ha. (II Cosecha) | 56 |
| Figura 17. Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes fuentes de fósforo al nivel de 200 Kg/Ha. (II Cosecha) | 57 |
| Figura 18. Efecto de las fuentes de fósforo sobre la absorción (I-II Cosecha) | 58 |
| Figura 19. Efecto de las fuentes de fósforo sobre el contenido de fósforo (I-II Cosecha) | 59 |
| Figura 20. Efecto de las fuentes de fósforo sobre el P-aprovechable Bray II y sobre el pH | 60 |
| Figura 21. Efecto de diferentes fuentes y niveles de fósforo sobre la materia seca (I Cosecha) | 64 |
| Figura 22. Efecto de diferentes fuentes y niveles de fósforo sobre la materia seca (II Cosecha) | 65 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 23. | Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes niveles de fósforo (Escorias Thomas) (I Cosecha) | 66 |
| Figura 24. | Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes niveles de fósforo (Superfosfato Triple) (I Cosecha) | 67 |
| Figura 25. | Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes niveles de fósforo (Roca Fosfórica-22) (I Cosecha) | 68 |
| Figura 26. | Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes niveles de fósforo (Escorias Thomas) (II Cosecha) | 69 |
| Figura 27. | Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes niveles de fósforo (Superfosfato Triple) (II Cosecha) | 70 |
| Figura 28. | Respuesta de la Avena forrajera a la aplicación de diferentes niveles de fósforo (Roca Fosfórica-22) (II Cosecha) | 71 |
| Figura 29. | Efecto de diferentes fuentes y niveles de fósforo sobre la absorción (I Cosecha) | 72 |
| Figura 30. | Efecto de diferentes fuentes y niveles de fósforo sobre la absorción (II Cosecha) | 73 |
| Figura 31. | Efecto de diferentes fuentes y niveles de fósforo sobre el contenido de P. (II Cosecha) | 74 |

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 32. Efecto de diferentes fuentes y niveles de fósforo sobre el P-unido al calcio apatítico. | 75 |
| Figura 33. Efecto de diferentes fuentes y niveles de fósforo sobre el P-unido al calcio no apatítico. | 76 |
| Figura 34. Efecto de diferentes fuentes y niveles de fósforo sobre el P-unido al aluminio. | 77 |
| Figura 35. Efecto de diferentes fuentes y niveles de fósforo sobre el P-orgánico. | 78 |
| Figura 36. Efecto de diferentes fuentes y niveles del fósforo sobre el P-aprovechable Bray II. | 79 |
| Figura 37. Efecto de diferentes fuentes y niveles de fósforo sobre el pH. | 80 |
| Figura 38. Relación entre P-unido al aluminio y absorción de fósforo (I Cosecha). | 85 |
| Figura 39. Relación entre P-unido al hierro y absorción de fósforo (I Cosecha). | 86 |
| Figura 40. Relación entre P-unido al calcio no apatítico y absorción de fósforo (I Cosecha). | 87 |
| Figura 41. Relación entre el P-unido al calcio apatítico y absorción de fósforo (I Cosecha). | 88 |
| Figura 42. Relación entre P-orgánico y absorción de fósforo (I Cosecha). | 89 |
| Figura 43. Relación entre P-unido al hierro y P-aprovechable Bray II. | 90 |

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 44. Relación entre P-unido al aluminio y P-aprovechable Bray II | 91 |
| Figura 45. Relación entre P-unido al calcio no apatítico y P-aprovechable Bray II | 92 |
| Figura 46. Relación entre P-unido al calcio apatítico y P-aprovechable Bray II | 93 |
| Figura 47. Relación entre P-orgánico y P-aprovechable Bray II | 94 |
| Figura 48. Relación entre P-aprovechable Bray II y materia seca (II Cosecha) | 95 |
| Figura 49. Relación entre P-aprovechable Bray II y absorción (I Cosecha) | 96 |
| Figura 50. Relación entre pH y P-aprovechable Bray II | 97 |
| Figura 51. Fijación total relativa del fósforo por precipitación | 100 |

TABLAS

Pág.

| | | | |
|-------|-------|--|----|
| TABLA | I. | Características físico-químicas del suelo en estudio | 22 |
| TABLA | II. | Resultados promedios para las variables de respuesta: materia seca, absorción de fósforo y contenido de fósforo | 30 |
| TABLA | III. | Resultados promedios para las variables de respuesta fracciones de fósforo y pH | 31 |
| TABLA | IV. | Resultados promedios para las variables de respuesta fracciones de fósforo y pH | 32 |
| TABLA | V. | Resultados promedios para las variables de respuesta fracciones de fósforo y pH | 33 |
| TABLA | VI. | Cuadrados medios y significación estadística para las variables de respuesta: materia seca, absorción y contenido de fósforo en la planta. | 34 |
| TABLA | VII. | Cuadrados medios y significación estadística para las variables de respuesta: fracciones de fósforo y pH | 35 |
| TABLA | VIII. | Ecuaciones de regresión y coeficientes de correlación para las distintas variables de respuesta | 84 |
| TABLA | IX. | Fijación relativa del fósforo por precipitación | 99 |

A P E N D I C E

| | | | |
|-------|-------|--|----|
| TABLA | I. | Prueba de Duncan para materia seca (I Cosecha) | 1 |
| TABLA | II. | Prueba de Duncan para materia seca (II Cosecha) | 2 |
| TABLA | III. | Prueba de Duncan para absorción de fósforo (I Cosecha) | 3 |
| TABLA | IV. | Prueba de Duncan para absorción de fósforo (II Cosecha) | 4 |
| TABLA | V. | Prueba de Duncan para contenido de fósforo (I Cosecha) | 5 |
| TABLA | VI. | Prueba de Duncan para contenido de fósforo (II Cosecha) | 6 |
| TABLA | VII. | Prueba de Duncan para P-unido al calcio no apatítico | 7 |
| TABLA | VIII. | Prueba de Duncan para el P-unido al aluminio | 8 |
| TABLA | IX. | Prueba de Duncan para P-aprovechable Bray II | 9 |
| TABLA | X. | Prueba de Duncan para pH | 10 |
| TABLA | XI. | Análisis de tendencia y ecuaciones de respuesta de las distintas variables a diferentes niveles de fósforo | 11 |

ESTUDIO COMPARATIVO DE TRES FUENTES DE FÓSFORO A DIFERENTES NIVELES DE APLICACION EN RELACION A SU "ABSORCION Y FIJACION" EN UN SUELO ROJO DE NARIÑO (+)

Por

JORGE EDMUNDO ORTEGA ENRIQUEZ

I. INTRODUCCION

El fósforo es uno de los elementos que más necesitan las plantas para alcanzar la plenitud de su desarrollo. En la mayoría de los casos, la producción de las cosechas sin aplicaciones altas de fósforo es extremadamente baja y no es posible lograr algún beneficio apreciable del uso de variedades mejoradas.

Factores tales como la clase de material parental, naturaleza de los productos de meteorización, materia orgánica, presencia de sesquióxidos de hierro y aluminio, cantidad y tipo de arcilla, pH del suelo; así como el clima y el continuo y mal laboreo de las tierras, pueden estar envueltos en la intensidad de deficiencia de fósforo en los suelos (70).

El fósforo al reaccionar con el suelo, puede ser convertido de formas asimilables a no asimilables, hecho conocido como "fijación o retrogradación" del fósforo. Este fenómeno

(+) Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Ricardo Guerrero R., I.A., M.Sc.

meno depende de muchos factores, entre otros de las fuentes y niveles fosfatados que se utilicen.

El fenómeno de "fijación" de fósforo ha sido muy estudiado desde el punto de vista de su mecanismo químico, pero no se conocen investigaciones que traten de dilucidar el significado agronómico de la "fijación" de fósforo.

Con base en lo anterior y acogiendo una de las recomendaciones emanadas del "Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de Latinoamérica" celebrado en Costa Rica en 1.969 (76), se diseñó el experimento motivo de este trabajo, cuyo propósito es, entre otros, el de averiguar el significado del fenómeno de "fijación" de fósforo, por precipitación, a partir de diferentes fuentes y niveles de fertilización fosfatada.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA.

2.1.1 Geología. Grosse (40), anota que los terrenos bajos al pie de la cordillera occidental están formados por una cubierta gruesa de pleistoceno volcánico. La mayor parte del perfil está ocupado por tobas aglomeráticas en su mayor parte andesíticas y, en menor importancia, por tobas comunes, areniscas túficas y cascajos bastante consolidados. Entre Ricaurte y Altaquer se observan terrazas túficas que se deben a las erupciones antiguas de los volcanes Galeras, Azufral y Cumbal, y piedras porfiríticas pertenecientes al cretácico. La diorita, del macizo de Piedrancha, es también un elemento principal de las terrazas de cascajo (22).

2.1.2 Clima. La zona estudiada tiene una temperatura que oscila entre 17 y 24°C, la precipitación varía entre 2.622 y 4.000 mm/año, y una altitud de 1.249 m.s.n.m.

2.1.3 Suelos. El suelo en estudio es bastante meteorizado, presenta perfiles del tipo A-B-C, con horizontes bien diferenciados y profundos. Se puede observar el proceso de "laterización". El factor clima, es el que ha dominado los procesos de formación y los suelos del área pueden clasificarse como ferralíticos (clasificación francesa) u "oxisoles" (7a. aproximación) (56).

2.1.4 Ecología. Según el sistema propuesto por Holdridge (50), Espinal y Montenegro (28), la zona estudiada corresponde al bosque muy húmedo sub-tropical (bmh-ST). Es una formación ampliamente distribuida en el país a lo largo de las cordilleras y generalmente ocupa el límite superior de la zona sub-tropical. Los límites climáticos ge-

nerales de esta formación son: una altura entre 1.000 y 2.000 m.s.n.m.; una temperatura media aproximada entre 17 y 24°C y un promedio de lluvias entre 2.600 y 4.000 mm/año. La precipitación se manifiesta durante todo el año pero hay dos períodos de abundantes lluvias: el primero en Abril y Mayo y el segundo en Octubre y Noviembre. Los terrenos que ocupa esta formación son accidentados, en su mayoría muestran una topografía bastante montañosa. En su estado original, el bosque muy húmedo sub-tropical es un bosque alto, siempre verde con algunas epífitas sobre las ramas. En esta formación se pueden explotar maderas de alta calidad, se establecen así mismo muchos potreros siendo comunes los de gramalote (Paspalum dilatatum Poir.), y gramas naturales.

2.2 SUELOS LATERITICOS.

En 1949, Kellog citado por Martini (64), introduce el término Latosol para determinar el sub-orden que comprende los suelos de las regiones tropicales y ecuatoriales cuyas propiedades son: a) baja relación sílice/sesquióxidos para las fracciones de arcilla; b) baja capacidad de intercambio catiónico; c) bajo contenido de materiales primarios; d) bajo contenido de bases cambiables; e) alto contenido de agregados estables; f) matices rojos a veces. Además, los Latosoles son suelos ácidos con porcentaje de saturación bajo, tienen perfiles bien drenados, profundos y carecen de horizontes argílicos con revestimiento de arcillas. Sin embargo, los llamados Latosoles Hidromórficos, presentan variaciones del concepto modal de Latosol Zonal.

Sivarajasingham, Alexander y Cline, citados por Amézquita (6), anotan que el fenómeno de laterización consiste en la meteorización drástica por hidrólisis principalmente del material parental, dando origen a un suelo alta-

mente meteorizado, rico en formas secundarias de aluminio y hierro. Además, indican estos autores, que físicamente las lateritas son suelos porosos, perforados por cavidades más o menos tubulares, que pueden estar vacías o llenas con productos caolíníticos u otros materiales.

Blasco, et al. (13), anotan que los suelos rojos que rodean el Valle del Cauca son altos en caolinita. Según Jenny y Lafaurie citados por Wieczoreck (96), los suelos residuales integrados por sesquióxidos de hierro y aluminio se forman por hidrólisis intensa del caolín, la mica, la horblenda y otros complejos de sílice, hierro y aluminio; bajo condiciones de alta temperatura, fuerte precipitación anual e intensa descomposición de la materia orgánica.

De acuerdo a Mc-Neil y otros, citados por Muñoz (72), los suelos lateríticos se encuentran principalmente en los países de la zona tropical. Guerrero y Janny citados por Muñoz (72), anotan que en Colombia se encuentran "tierras rojas", en las montañas del oeste del Valle del Cauca; suelos amarillo-pardo-humíferos en Caldas y Departamentos circunvecinos; pardo-amarillo-tropicales en Calima cerca del límite entre Chocó y Valle del Cauca, en Urabá y Villavicencio; amarillo-podzólicos en Córdoba, en la Costa del Pacífico y cerca de Buenaventura; rojo-lateríticos en Antioquia, en la costa Atlántica, en los flancos occidentales de la cordillera Occidental, entre Tumaco y Urabá, en los flancos orientales de la misma cordillera; en la región del Quindío, en la cordillera Central, en los flancos occidentales de la Cordillera Central, en las montañas de la Cordillera Oriental, en Cundinamarca, Boyacá, Santander y Magdalena.

2.3 EL FOSFORO EN EL SUELO

2.3.1 Generalidades. Justus Von Liebig citado por Blasco (14). y más tarde Lawes y Gilbert, citados por

Arambarri (7), fueron los primeros en establecer la necesidad de fósforo para las plantas.

Las respuestas al fósforo en Colombia, han estado principalmente localizadas en las regiones altas e intermedias, sin embargo, en los Llanos Orientales, que ocupan un área extremadamente grande, muchos de sus suelos son deficientes en fósforo. En las partes más frías del país, el fósforo es el primer elemento claramente limitante. Al revisar las respuestas a fertilizantes de los cultivos en Colombia, parece que el suministro de fósforo a los cultivos de clima frío produce las respuestas más sobresalientes (70).

En general, los suelos colombianos son muy pobres en fósforo especialmente en las regiones destinadas a la ganadería y al cultivo intensivo de cereales, como la Sabana de Bogotá, el Valle del Cauca, Altiplanicies de Tunja y Tundama y también las regiones húmedas y pantanosas frías del país (4).

Es bastante corriente, encontrar altas deficiencias de fósforo en gran número de suelos de la zona tropical (39, 61, 77, 85, 87). Dichas deficiencias se hacen más notorias en los cultivos de rápido crecimiento (cultivos anuales), pues en ellos el proceso vegetativo y de asimilación de nutrientes del suelo, va en relación directa con la temperatura ambiente. En los cultivos perennes, la deficiencia de fósforo aprovechable no se hace tan notoria, aún cuando sí se presenta en forma muy acentuada en las plantas jóvenes menores de un año (77).

Blasco (14), anota que en regiones húmedas, el porcentaje de fósforo es siempre menor que en regiones secas y que en los trópicos la cantidad es menor que en las zonas templadas.

Si a esta elevada deficiencia de fósforo en los suelos agrícolas de la zona tropical, se suma la escasez de yacimientos fosfóricos y el alto precio de los fertilizantes importados, se comprende en forma más clara la necesidad que existe de dosificar con alguna precisión las cantidades adecuadas de fertilizantes fosfatados para los distintos cultivos del trópico (59).

Dean, citado por Lotero (60), anota que el fósforo se encuentra en el suelo formando parte de compuestos inorgánicos y orgánicos, algunos de los cuales tienen una composición definida y otros son muy complejos. En materiales parentales, como rocas ígneas, el fósforo existe principalmente como apatita y como inclusiones en algunos minerales silicatados. Durante el proceso de formación del suelo, el fósforo entra en solución y posteriormente es fijado por ciertos materiales o absorbido por las plantas, para luego ser depositado en la superficie del suelo como residuos orgánicos. A medida que el suelo madura, el fósforo se acumula en las capas superficiales, localizándose preferentemente en la fracción coloidal.

De acuerdo a Mela (67), el fósforo tiende a acumularse en los horizontes superiores, existiendo cierto paralelismo entre los porcentajes de fósforo y los de materia orgánica contenidos en el suelo.

2.3.2 Fracciones de fósforo. Farps, en 1906, citado por Pantoja (75), y posteriormente Dean en 1938 citado por Blasco (14), fueron quienes realizaron el primer fraccionamiento de fósforo. Mudler, en 1844 citado por Lotero (60), fué quien primero sugirió la presencia del fósforo inorgánico en los suelos.

El fraccionamiento se basa en la solubilidad di-

ferencial de los fosfatos inorgánicos a varios extractantes. Por este procedimiento, se conoce cuál es la forma dominante de los suelos, cuál la que ocasionaría los mayores porcentajes de fijación al adicionar fertilizantes fosfatados, y cuál la que dinámicamente puede incrementar las fracciones asequibles a las plantas (89).

Hasta el presente, se han llevado a cabo muchas investigaciones para determinar las diferentes formas orgánicas e inorgánicas del fósforo, utilizando la metodología de Chang y Jackson (25), (1,2,32,33,44,45,54,63,78,83,84,95), siendo escasas en Colombia (12,15,16,75,90).

Tafur (89), en algunos suelos del valle del Rio Sinú, encontró que las cantidades para las distintas formas de fósforo, expresadas como porcentaje de fósforo total, disminuyeron en el orden siguiente: P-orgánico, P-unido al hierro, P-unido al calcio apatítico, P-unido al aluminio, P-unido al calcio no apatítico, P-inerte y P-fácilmente reemplazable.

En suelos del Amazonas, Blasco (15), encontró en los tres primeros horizontes, que el fósforo orgánico predominaba sobre las demás fracciones, siguiendo en su orden el P-unido al hierro, el P-inerte, el P-unido al calcio no apatítico, el P-unido al calcio apatítico y el P-fácilmente reemplazable. Para los suelos aluviales de la misma región, el orden fué el siguiente: P-inerte, P-orgánico, P-unido al aluminio, P-unido al hierro, P-unido al calcio no apatítico, P-unido al calcio apatítico, encontrándose trazas de P-fácilmente reemplazable.

Blasco y Bohorquez (16), concluyen, que el promedio de las distintas formas de fósforo, expresadas como porcentajes del fósforo total para los suelos del Valle del Cau

ca, disminuyen en el orden: P-inerte, P-orgánico, P-unido al hierro, P-unido al aluminio, P-unido al calcio no apatítico, P-unido al calcio apatítico y P-fácilmente reemplazable. El mismo orden encontraron para los sub-suelos, excepto que la fracción de P-unido al calcio no apatítico fué mayor que el P-unido al aluminio.

López (59), en un estudio sobre los problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas de Chinchiná (Colombia), encontró que un 78% del P-total corresponde al fósforo orgánico de escasa disponibilidad inmediata por los cultivos.

Pantoja (75), concluye que las diferentes formas de fósforo presentes en algunos suelos del Departamento de Nariño correspondientes a áreas de clima medio disminuyen en el orden: P-inerte, P-orgánico, P-unido al hierro, P-unido al aluminio, P-unido al calcio apatítico y no apatítico y P-fácilmente reemplazable.

Morillo y Fassbender (69), estudiaron las formas y disponibilidad de los suelos de la cuenca baja del Río Choluteca (Honduras), y encontraron que los suelos aluviales contienen mayores cantidades totales de fósforo que los suelos de origen volcánico, los fosfatos inorgánicos predominan sobre los orgánicos. Los fosfatos de calcio predominan en el complejo inorgánico de los suelos aluviales, mientras que los ocluidos, predominan en los suelos volcánicos.

Vieira y Bornemisza (93), estudiaron las categorías del fosfato orgánico, de calcio, aluminio, hierro, los fosfatos solubles en agua y totales, en 46 muestras correspondientes a diferentes profundidades de 12 perfiles, que representan los 7 grandes grupos de suelos más importantes de la región amazónica del Brasil. Encontraron que en estos sue

los, altamente meteorizados, la cantidad total de fósforo es en general baja, con un promedio de 359 ppm; la fracción de fósforo orgánico fue también pequeña y representó entre el 20 y 50% del fósforo total.

Fassbender (34), estudió las formas de fosfatos en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centro América y encontró que los fosfatos inorgánicos constituyen en promedio 43,5% del total, y que los fosfatos de calcio tienen mayor importancia que los de hierro y aluminio. El mismo autor (31), investigando la transformación del superfosfato aplicado al voleo durante 9 años a una plantación de cacao, mediante la técnica del fraccionamiento de fosfatos inorgánicos, encontró que el fósforo aplicado fué transformado a formas aluminicas, férricas y cálcicas y acumulado especialmente en el suelo superficial.

2.4 EL FOSFORO EN LA PLANTA.

El fósforo es uno de los constituyentes esenciales de reserva de las semillas, principalmente como fitina. Está presente en los cloroplastos como integrante de la lecitina, es importante como formador de ácidos nucleicos esenciales para el citoplasma y el núcleo; da lugar a la formación de grasas, albúminas y fosfoproteínas; es importante para transformar los almidones en azúcares (14).

Buckman y Brady (21), anotan que el fósforo contribuye favorablemente en la división celular y crecimiento de la planta, floración y fructificación, formación de semillas, maduración de las cosechas, desarrollo de las raíces secundarias, y da resistencia a ciertas enfermedades.

De acuerdo a Alexander, Hossner y Richards, citados por Pantoja (75), los fosfatos actúan como amortiguadores

para mantener satisfactoriamente las condiciones de acidez y alcalinidad de las células de las plantas. Juega un papel fundamental en la utilización del nitrógeno, potasio y otros elementos.

2.5 RELACIONES EN EL SISTEMA FOSFORO-SUELO-PLANTA.

El crecimiento de las plantas exige el paso continuo de iones del suelo a la planta. Los iones de la fase sólida, bien sea de partículas cristalizadas y a partir de los coloides, pasan a la solución del suelo donde están en contacto con la superficie radical, penetran al espacio libre y pueden ser absorbidos por la planta. Desde el punto de vista de la disponibilidad de nutrimentos, interesan dos parámetros: a) la concentración de iones presentes en un momento dado en la solución del suelo, o su actividad iónica (parámetro de intensidad); b) la reserva total del elemento ligada a la fase sólida del suelo, que repone los iones en la solución del suelo cuando éstos son absorbidos por la planta (parámetro de capacidad). En el caso del fósforo, el parámetro de capacidad está ligado, así, a los diferentes fosfatos presentes en la fase sólida del suelo que pueden pasar a la solución del mismo (34).

Fassbender (34), anota, que es evidente que entre los diferentes fosfatos y la solución del suelo, se establece un equilibrio químico de acuerdo a la solubilidad de los mismos. En un estudio sobre deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centro América, el mismo autor anota que los fosfatos solubles, los aluminicos, férricos y cálcicos pueden liberar iones fosfatos que pasan a la solución del suelo. Las plantas son como una bomba, que está continuamente agotando el fósforo de la solución del suelo, y para mantener el equilibrio químico entre la fase sólida y líquida del suelo, se tiene que producir una repo-

sición a partir de los fosfatos de la fase sólida o de los factores de capacidad. Muchas veces, la velocidad de reposición no es lo suficientemente rápida para suministrar una nutrición adecuada a las plantas, y por ello aparecen síntomas de deficiencia en las plantas ávidas de este elemento.

Puri, Asghar y otros citados por Lotero (60), lo mismo que Haley citado por Beauchamp (11), anotan que la más probable conjetura del mecanismo por medio del cual las plantas extraen el fósforo del suelo, es, que el CO_2 desprendido por las raíces ayuda a disolver los fosfatos del suelo, insolubles por otros medios. Una vez que el fósforo se encuentre en solución es absorbido fácilmente por las plantas, cuando las condiciones son favorables.

De acuerdo a Starostka y otros investigadores citados por Sanguino (80), se acepta que la forma de fósforo usado por las plantas es H_2PO_4^- , sin embargo esto no quiere decir que no pueda usar otros compuestos o especies iónicas. Se ha observado en varias ocasiones que las plantas responden al fósforo en función de su solubilidad y que cualquier factor que altere dicha solubilidad, alterará las respuestas de la planta.

Struthers y Sieling citados por Lotero (60), Buckman y Brady (21), anotan que el efecto beneficioso para mantener asequible el fósforo para el uso de las plantas se debe: a) a la acción protectora de los coloides orgánicos al prevenir que el fósforo soluble se ponga en contacto con el hierro y aluminio activos; b) a la formación de fosfatos orgánicos que son fijados con menor fuerza que los fosfatos inorgánicos; c) a la mineralización de la materia orgánica que contiene fósforo con el posterior desprendimiento de éste para el uso de las plantas.

Muchos investigadores parecen estar de acuerdo en que la aprovechabilidad del fósforo depende de varios factores: a) clase y cantidad de fosfatos presentes; b) pH; c) contenido de materia orgánica; d) relación sílice/sesquióxidos; e) capacidad de intercambio catiónica; f) concentración iónica de la solución del suelo (5,8,9,29,42,80).

Suehisa, et al, citados por Fassbender y Muller (30), anotan que la aplicación de silicatos cálcicos produce un aumento de pH en los suelos, una disminución en el aluminio cambiante y un aumento en el fósforo disponible.

Hernando y Lombardía (48), en un ensayo de trigo, de diferente duración sobre absorción del fósforo en varios suelos españoles, encontraron que entre 40 y 60 días de crecimiento el trigo absorbió más del 50% de su fósforo total.

Fassbender (29), en un estudio sobre los efectos del encalado en la mejor utilización de fertilizantes fosfatados, en un andosol de Costa Rica, encontró que el encalado tuvo un efecto positivo sobre la absorción de fósforo y producción de materia seca de plantas de tomate.

Paek y Gómez (74), encontraron correlaciones altamente significativas entre el fósforo absorbido y el fósforo del suelo soluble en agua.

Al-Abbas y Barber (2), verificaron, que las plantas de mijo absorbieron principalmente fracciones de fósforo unido al aluminio y fácilmente disponible. Albán y colaboradores (3), anotan que el contenido de fósforo en las plantas de avena y trébol correlacionó significativamente con los fosfatos de aluminio. Morillo y Fassbender (69), en un ensayo sobre formas y disponibilidad de fosfatos, anotan, que en orden decreciente los fosfatos fácilmente disponibles, los de alu-

minio, y los fosfatos de calcio, fueron los principales responsables de la producción de materia seca y contenido de fósforo en la parte aérea de las plantas.

2.6 FIJACION DEL FOSFORO.

Según Hemmwall (47), la fijación del fósforo fué reconocida por primera vez en Europa en 1850 y en los Estados Unidos alrededor de 1900, cuando se decía que el suelo tenía la capacidad de "retener fósforo", pero solo en los últimos 25 años se han hecho estudios con el fin de averiguar la base química de este fenómeno.

Varios investigadores, se han dedicado al estudio de la fijación del fósforo, interpretándola como "el efecto de las interacciones del ión fosfato y otros componentes del suelo, produciéndose su adsorción en el complejo coloidal, o su precipitación en fosfatos menos solubles" (8,10,11,19,21, 23,24,34,35,43,57,60,62,67,71,88,91).

Según Kelly y Midgley (55), lo mismo que Drake, Steckel y otros citados por Sanguino (80), la fijación del fósforo puede ser debida a: a) precipitación química: ésta ha sido atribuída principalmente al calcio y magnesio en suelos calcáreos y al hierro, aluminio y manganeso en suelos ácidos; b) adsorción: es probable que la adsorción del fósforo por los óxidos hidratados de hierro y aluminio, ya que éstos tienen propiedades coloidales, en el caso de las arcillas la adsorción ocurre por intercambio entre los grupos OH^- y el ión PO_4^{3-} .

Kardos citado por Santaella y González (79), explica la fijación del fósforo mediante el enunciado de varias teorías: a) absorción iónica, física o química ejercida por fuerzas que atraen los iones de fósforo hacia la superficie

de la partícula reduciendo su aprovechabilidad; b) reemplazo isomórfico: que consiste en el reemplazo del silicio u otro elemento dentro de la estructura cristalina por el fósforo, quedando en forma insoluble; c) doble descomposición: que consiste en la ocurrencia de varias reacciones resultando la formación de compuestos insolubles de fósforo; contempla dos posibilidades: una por acción del hierro y aluminio y otra por el calcio.

Bradfield y otros citados por Dean (27), y Valkering citado por Madrid (62), postularon tres mecanismos de fijación de fósforo en los suelos: a pH de 2 a 5, la retención de fósforo es debida principalmente a la gradual disolución de los óxidos de hierro y aluminio que son precipitados como fosfatos; a pH de 4,5 a 7,5, el fósforo es fijado en la superficie de las partículas de arcilla; a pH 6 a 10 el fósforo es precipitado por cationes divalentes como el calcio y magnesio. Swenson citado por Sanguino (80), en experimentos realizados en Massachusetts, encontró la máxima precipitación de fosfatos de hierro entre pH 2,5 a 3,5, mientras que para fosfatos de aluminio fue entre pH 3,5 y 4,0. El fósforo es fijado principalmente por el hierro y el compuesto resultante es generalmente menos soluble que el compuesto correspondiente de aluminio (14,46).

Hemmwall (47), y Dalton (26), opinan que solamente del 10 al 20% del fósforo aplicado es utilizado por los cultivos y el resto lo consumen los microorganismos y/o es fijado en forma rápidamente aprovechable. En los suelos lateríticos de Hawaii, Heck citado por Blasco (14), demostró que se fijaba el 80% del fósforo en compuestos inasequibles de fosfatos ácidos de hierro y aluminio.

Para disminuir la fijación del fósforo por el suelo, se recomienda: a) encalamiento de suelos ácidos; b) apli

cación de los fertilizantes fosfatados en bandas o en corona para disminuir la superficie de contacto con el suelo; c) aplicación de fertilizantes peletizados y de lenta solubilidad y aplicación de materia orgánica (10,60,80).

Datos presentados por León (57), para las condiciones de Colombia, sugiere que la fijación de fósforo puede depender en gran parte de la presencia de caolinita, vermiculita, clorita interestratificada y alófana. El mismo autor, en un estudio con diez suelos colombianos encontró alta capacidad de fijación para unos, baja para otros, encontrándose el resto en término medio.

Fassbender (32), en un estudio sobre retención de fósforos en 14 suelos de Costa Rica, encontró que en promedio el orden de retención fué: andosoles > latosoles > aluviales y que la retención correlaciona significativamente con el contenido de materia orgánica y contenido en sesquióxidos libres. El mismo autor (34), concluye que en los suelos derivados de cenizas volcánicas la retención del fósforo correlaciona significativamente con el porcentaje de arcillas, carbono total, hierro y aluminio extraíbles y que la precipitación de fosforos de hierro y aluminio es más importante que su adsorción.

2.7 FERTILIZACION FOSFORICA.

El uso de los fertilizantes químicos, probablemente se inició en 1665 cuando Kenelm Digby citado por Collings (23), explicó que había aumentado el rendimiento de las cosechas con la aplicación de salitre. En 1804 Theodore observó que las cenizas de las plantas procedían del suelo y que eran esenciales para el crecimiento de las mismas.

Los fertilizantes fosfóricos pueden dividirse en

tres grupos, según sea la forma de combinación y grado de aprovechamiento que presente su ácido fosfórico:

A. Fertilizantes fosfóricos solubles en agua: su perfosfatos (16 - 20% de P_2O_5), superfosfatos dobles y triples (43 - 50% de P_2O_5), fosfato mono-amónico (11% de N, 48% de P_2O_5), fosfato biamónico (21% de N, 53% de P_2O_5). Una gran ventaja de este tipo de fertilizantes solubles en agua radica en el hecho de su rápida absorción. Sin embargo, tienen el inconveniente de ser muy susceptibles a la fijación por el suelo (51).

B. Fertilizantes fosfóricos solubles en ácido cítrico: Escorias básicas, Thomas (14- 18% de P_2O_5), fosfato de Rhenania (26 - 28% de P_2O_5) y fosfato bicálcico 39% de P_2O_5 . Este tipo de fertilizantes son propicios para la fertilización de suelos ácidos ya que en ellos el peligro de una fijación irreversible es esencialmente menor que en los fertilizantes fosfóricos solubles en agua. Además, como consecuencia de su reacción básica y su contenido de cal activa, se producen efectos favorables en suelos ácidos, sobre todo en suelos lateríticos (51).

C. Fosfatos con ácido fosfórico insoluble en los solventes antes citados: Roca Fosfórica. Su contenido de ácido fosfórico puede fluctuar ampliamente. Son menos susceptibles de fijación que los solubles en agua, pero más que los fertilizantes fosfatados solubles en ácido cítrico. Frequentemente el efecto de la Roca Fosfórica molina, no resulta detectable sino después de transcurridos varios años (51).

Muchos investigadores están de acuerdo en afirmar que los rendimientos de las cosechas se incrementan cuando el abono fosfatado se aplica en forma localizada, que cuando se aplica uniformemente en la capa arable sobre todo en sue

los bajos en fósforo aprovechable (10,21,36,43,58,80).

La manera de aplicar el fósforo y la fijación del mismo guardan estrecha relación. Si se esparce sobre la superficie habrá mayor contacto entre el fertilizante y el suelo y por ende mayor fijación (80).

Guerrero (41), en un estudio de fertilización en pasto elefante, encontró que la forma de aplicación del fósforo (voleo, banda), no mostró tener ningún efecto diferencial. Bastisse citado por el mismo autor, anota que el éxito de la localización del fósforo depende tanto de la cantidad aplicada como del tiempo de contacto del fertilizante con el suelo. Igarashi y colaboradores, citados por Guerrero (41), indican haber encontrado una producción significativamente mayor en praderas, en el caso de localización del fertilizante fosfatado; sin embargo Uhlen y Steenberg, citados por el mismo autor, encontraron que las aplicaciones de fósforo a la superficie resultan en mayor absorción de fósforo que las aplicaciones localizadas en banda.

Gómez y colaboradores (37), en el Brasil, observaron el efecto de las aplicaciones de Escorias Thomas calcosilicatadas en suelos ácidos durante 22 meses y encontraron que se producían cambios favorables en el pH.

Fassbender y Muller (30), en un ensayo sobre enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos, encontraron que las Escorias Thomas y el fosfato de Rhenania, llevaron a mejores cosechas de tomate que el Superfosfato Triple en polvo.

McCormick y Galeano (65), en un ensayo de invernadero sobre el valor fertilizante del fosfato Thomas, utilizado cebada como planta indicadora, encontraron que las Escorias

Thomas se comportaron en forma similar al Superfosfato Triple, fosfato de amonio y fosfato bicálcico. Esto es más dicente si se tiene en cuenta que la duración del ensayo fue de 40 días. A pesar de haber aplicado las diferentes fuentes fosfatadas en el momento de la siembra y las Escorias Thomas estar catalogadas como de acción lenta, su fósforo fue utilizado por la planta tan rápidamente como lo fueron las formas de fósforo solubles en agua.

Mas tarde, los mismos investigadores (66), estudiaron la influencia de la época de aplicación de las Escorias Thomas en suelos orgánicos ácidos de la Sabana de Bogotá. En general, encontraron que la aplicación en el momento de la siembra, dió lugar a las más altas producciones de cebada, siguiendo la aplicación con 15 días de anticipación a ella.

La mayoría de los investigadores en el país han encontrado respuestas inmediatas negativas en cuanto a aplicaciones de Roca Fosfórica a cultivos anuales y bianuales; en consecuencia están de acuerdo en no recomendarla a este tipo de cultivos y tan solo ser utilizada para pastos y cultivos de larga duración (68).

Sotomayor (86), en ensayos realizados en los Llanos Orientales y en el Tolima, reporta respuestas positivas de la Roca Fosfórica en arroz, caña de azúcar, café, cacao, plátano, frutales y pastos.

Zapata (97), en un experimento de un año de duración sobre los efectos de la Roca Fosfórica y las Escorias Thomas sobre la represión de la marchitez sorpresiva, el desarrollo y producción de la Palma Africana en la zona del Meta, concluye que el efecto de la Roca Fosfórica fue superior al de las Escorias Thomas.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 PLANTA INDICADORA.

La Avena forrajera (Avena sativa L.), ha sido clasificada como sigue (49):

| | | |
|-----------|---|------------------------|
| Sub-reino | : | Espermatófitas |
| Tipo | : | Fanerógamas |
| Sub-tipo | : | Angiospermas |
| Clase | : | Monocotiledóneas |
| Orden | : | Glumiflorales |
| Familia | : | Graminae |
| Tribu | : | Avena |
| Especie | : | <u>Avena sativa</u> L. |

La variedad que se utilizó en el experimento fue la ICA - Bacatá, mejorada por el ICA y distribuida por la Caja Agraria.

3.2 SUELO EXPERIMENTAL.

3.2.1 Condiciones generales. Para el presente estudio, se escogió un área representativa perteneciente a la región sub-tropical muy húmeda (bmh-ST), del Departamento de Nariño de 1.249m.s.n.m., de acuerdo a Holdridge (50), Espinal y Montenegro (28).

El suelo y sub-suelo estudiado, se encuentra localizado al occidente del Departamento en la Llanura del Pacífico, en el sitio Buesví, perteneciente al corregimiento de Altaquer. Los suelos son "rojos lateríticos", de origen volcánico con su material original bastante meteorizado.

Se tomaron 30 muestras de suelo, se mezclaron y ho

mogeneizaron obteniéndose una gran muestra, y dos de sub-suelo; utilizando una pala, y las profundidades se anotaron con cinta métrica. El suelo se hallaba bajo pradera natural con pasto gramalote (Paspalum dilatatum Poir). La descripción del perfil se realizó el mismo día 8 de Marzo de 1970, aprovechando el talud de la carretera, costado derecho del trayecto Pasto-Altaquer. Las muestras de suelo y sub-suelo se llevaron al invernadero, utilizando bolsas de polietileno; se secaron al aire y se pasaron a través de un tamiz de 2 mm.

3.2.2 Condiciones físico-químicas. El perfil del suelo en estudio se encuentra detallado en la Tabla I; es en su horizonte superior de color marrón oscuro (7,5 YR 3/2), en húmedo, y marrón amarillento (10 YR 5/4), en seco, con presencia de manchas herrumbrosas rojo-marrones, irregulares y abundantes; un espesor de 15 cms; de textura franco-arenosa; consistencia firme en húmedo. Un sub-suelo de color rojo (7,5 YR 4/4), en húmedo y rojo-amarillento (7,5 YR 5/6), en seco; sin presencia de manchas. La estructura al igual que en el horizonte superior es granular; la textura del sub-suelo es también franco-arenosa.

3.2.3 Métodos utilizados en su caracterización. El suelo experimental se analizó en el Laboratorio de Suelos del Instituto Tecnológico Agrícola de la Universidad de Nariño. Los métodos utilizados para su caracterización fueron los siguientes:

3.2.3.1 Determinación de la humedad. Por diferencia de peso después de someter las muestras de suelo a la estufa a 105°C. durante 24 horas (38).

3.2.3.2 Determinación de la densidad. Por el método de la Parafina (38).

TABLA I.

ARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL SUELO EN ESTUDIO

| CIC H. de camb. | me/100 gr. de suelo | Na afect. | CIC H. de camb. | Na afect. | Ca | Mg | K | P-ppm. Bray II | N-to tal | pH | %C | %NO | Hume dad. | Textura | Agua KCl(1N) 1:1 | 1:2,5 |
|-----------------|---------------------|-----------|-----------------|-----------|------|------|------|----------------|----------|------|------|------|-----------|---------|------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 000 | 7,50 | Fro | Aren | 5,45 | 4,25 | 7,30 | 12,6 | 1,3 | 0,55 | 1,6 | 0,35 | 0,26 | 0,20 | 2,41 | 23,6 | 20,8 |
| 7,53 | Fro | Aren | 5,90 | 4,40 | 4,72 | 8,2 | 1,1 | 0,33 | 2,0 | 0,34 | 0,38 | 1,56 | 4,28 | 20,7 | 16,4 | |

3.2.3.3 Determinación del color en seco y en húmedo. Utilizando la Tabla Munsell (73).

3.2.3.4 Determinación de la textura. Método de Bouyoucos (17).

3.2.3.5 Determinación del pH. Por el método del potenciómetro Beckman, aplicando una mezcla 1:1 de suelo y agua; y una mezcla 1:2,5 en presencia de KCl 1N, descrito por Puri y Asghar, citados por Jackson (52).

3.2.3.6 Determinación del carbono orgánico por el método de Walkley-Black (94).

3.2.3.7 Determinación del Nitrógeno total por el método de Kjeldhal modificado (Bremner, 20).

3.2.3.8 Determinación de la capacidad catiónica de cambio y cationes cambiables. Por el método del acetato de amonio normal y neutro de Schollenberger y Simon (82).

3.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

3.3.1 Diseño experimental (+). Se utilizó el diseño de parcelas divididas; las parcelas arregladas completamente al azar con cuatro tratamientos (niveles) y tres sub-tratamientos (fuentes de P_2O_5). Se usaron tres replicaciones.

3.3.2 Fertilización. El cultivo de Avena forrajera se realizó en el invernadero (ICA), de acuerdo a la técnica de Jenny modificada, descrita por Vega y otros (92), utili-

(+) Información personal, Dr. Ricardo Guerrero R., I.A., M.Sc.

zando potes de barro cocido dentro de los cuales se colocó bolsas de polietileno negras previamente perforadas, con capacidad para 1,5 Kg. de suelo.

El experimento se realizó en base de dos siembras. Las fechas fueron :

I siembra : 22 de Abril de 1970
II siembra : 4 de Junio de 1970

En cada caso, se sembraron cinco semillas por pote y diariamente se aplicó riego.

Se utilizaron tres fuentes de P_2O_5 :

Escorias Thomas del 14%;
Superfosfato Triple del 48%;
Roca Fosfórica-22 del 22%

Los niveles utilizados fueron :

000 : P_2O_5 Kg/Ha.
200 : P_2O_5 Kg/Ha.
400 : P_2O_5 Kg/Ha.
600 : P_2O_5 Kg/Ha.

Además, se agregó una fertilización básica que consistió de: 80 Kg/Ha. de Nitrógeno en forma de Urea del 46% y 50 Kg/Ha. de K_2O , en forma de Cloruro de Potasio del 60%.

Las diferentes fuentes y niveles de P_2O_5 se aplicaron en forma localizada a 4 cms. de profundidad. La totalidad de las dosis de P_2O_5 se aplicaron al comenzar el experimento; es decir que la II siembra no recibió ningún tra-

tamiento de P_2O_5 . El Nitrógeno, en ambas siembras se aplicó en corona alrededor de la semilla; el potasio, en la I siembra se aplicó en solución sobre la superficie una vez que se había tapado la semilla, en la II se aplicó al voleo también sobre la superficie.

3.3.3 Cosecha. Se realizaron dos cosechas espaciadas entre sí de 40 a 45 días. Las fechas fueron :

I cosecha : 3 de Junio de 1970
II cosecha : 26 de Julio de 1970.

Se cosecharon en ambos casos 5 plantas por pote, utilizando una navaja para sacar las plantas con sus raíces; se pesó el total de la producción de materia verde de cada pote y se colocó sobre bolsas de papel, previamente perforadas para el análisis foliar en el Laboratorio.

3.3.4 Muestreo de suelo en los potes experimentales. Al finalizar la II cosecha se dejó secar por algunos días el suelo de cada uno de los potes y se procedió luego a obtener muestras de suelos en todos los potes. De cada pote se tomó una sub-muestra a 6 cms. de profundidad, utilizando una cucharilla para obviar pérdidas de suelo; así se obtuvieron 30 muestras incluidos los tres testigos. En dichas muestras, se procedió al fraccionamiento de fosfatos.

3.3.5 Análisis foliar del fósforo :

A. Materia seca: las muestras de material verde se secaron en la estufa a 80°C. durante 24 horas y se determinó su peso seco (gr/pote), en la balanza de precisión (Mondial).

B. Determinación del fósforo foliar: se de

terminó en los extractos foliares obtenidos mediante una digestión con una mezcla ternaria: Nítrico-Sulfúrica-Perclórica, en proporción 10 : 1 : 4, según el método de combustión húmeda de los tejidos vegetales descrita por Jackson y otros (52). El fósforo se determinó utilizando la técnica del color azul o cloruro-stannoso-cloromolibdica descrita por Osmond citado por Jackson y otros (52), empleando un espectrofotómetro Coleman a una longitud de onda de 660 m .

3.3.6 Fraccionamiento de fósforo: se utilizó la metodología de Chang y Jackson (25), con las modificaciones propuestas por Sen Gupta y Cornfield (83,84).

A. Fósforo orgánico. Se determinó por el método de ignición de Saunders y Williams (81).

B. Fósforo total. Se determinó por el método de fusión con carbonato de sodio descrito por Jackson (53).

C. Fósforo aprovechable. Se determinó utilizando el método de Bray II, descrito por Bray y Kurtz (18).

D. Fósforo inerte. Se obtuvo mediante cálculo restando del fósforo total la suma de las fracciones inorgánicas más el fósforo orgánico.

Excepto el fósforo inerte, las demás fracciones se determinaron utilizando la técnica del color azul y un espectrofotómetro Coleman (52).

3.4 DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE FIJACION DE FOSFORO POR PRECIPITACION.

Para tener un índice de la intensidad de "fija-

ción" de fósforo por precipitación, se procedió a calcular el porcentaje de fijación hacia las fracciones: P-unido al aluminio, P-unido al hierro, P-unido al calcio apatítico y no apatítico; utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de fijación} = \frac{P_n - P_o}{P_a} \times 100$$

donde :

P_n = ppm. de fósforo en el suelo al nivel de aplicación n.

P_o = ppm. de fósforo en el suelo (testigo).

P_a = fósforo aplicado.

3.5 ANALISIS ESTADISTICO (+).

Para el análisis estadístico se tomaron en cuenta las siguientes variables de respuesta :

Materia seca (I y II cosecha), absorción de fósforo (I y II cosecha), contenido de fósforo (I y II cosecha), P-unido al aluminio, P-unido al hierro, P-unido al calcio no apatítico, P-unido al calcio apatítico, P-aprovechable, P-orgánico y pH.

Se realizó el análisis de variancia y el análisis de tendencia para niveles mediante el método de partición ortogonal. Además se utilizaron los criterios de la regresión y correlación lineal y los de comparaciones múltiples de Duncan.

(+) Información personal, Dr. Ricardo Guerrero R., I.A., M.Sc.

El modelo matemático utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} + \beta_k + (\alpha\beta)_{ik} + \delta_{ijk}$$

Donde :

Y_{ijk} = variable de respuesta

μ = media general

α_i = efecto diferencial de niveles "i"

ε_{ij} = interacción observación por nivel (error a)

β_k = efecto diferencial de fuentes "k"

$(\alpha\beta)_{ik}$ = interacción nivel por fuente

δ_{ijk} = interacción observación por nivel y fuente "ijk" (error b).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En el presente capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos, con la siguiente secuencia: efecto de niveles, efecto de fuentes, efecto de la interacción nivel por fuente, formas de fósforo y su relación con la planta, fijación de fósforo con relación a niveles, fuentes y planta.

4.1 EFECTO DE LOS NIVELES SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA.

En las Tablas II a V se presentan los resultados promedios para las distintas variables de respuesta; el análisis de variancia para las variables de la planta se encuentra en la Tabla VI y para las variables del suelo en la Tabla VII. Las ecuaciones de tendencia se encuentran en la Tabla XI del apéndice.

4.1.1 Efecto sobre materia seca. El análisis de variancia (Tabla VI), indicó que los niveles de P_2O_5 incrementaron, en forma altamente significativa ($P < 0,01$) la producción de materia seca tanto en la primera como en la segunda cosecha. La tendencia de la respuesta fue lineal ($P < 0,01$) en ambas cosechas, pero la ecuación obtenida indica que el efecto fué más acentuado en la segunda que en la primera. Esta situación se ilustra en las Figuras 1 y 2.

4.1.2 Efecto sobre contenido y absorción de fósforo en la planta. La aplicación de fósforo no produjo un efecto estadísticamente detectable ($P > 0,05$) sobre el contenido de fósforo en la planta (Tabla VI). La razón probable de esta situación radica en el hecho de que la variación en la producción de materia seca "enmascaró" por "dilución",

TABLA II.

VARIABLES DE RESPUESTA: MATERIA SECA, ABSORCION DE FOSFORO Y CONTENIDO DE FOSFORO

| FA | F U E N T E S | | | | | |
|----|---------------------|------------|-----------------|------------|-------------------|------------|
| | SUPERFOSFATO TRIPLE | | ESCORIAS THOMAS | | ROCA FOSFORICA-22 | |
| | I Cosecha | II Cosecha | I Cosecha | II Cosecha | I Cosecha | II Cosecha |
| | 0,252 | 0,365 | 0,252 | 0,635 | 0,252 | 0,635 |
| | 0,048 | 0,069 | 0,048 | 0,069 | 0,048 | 0,069 |
| | 187,533 | 109,367 | 187,533 | 109,367 | 187,533 | 109,367 |
| | 0,863 | 1,193 | 1,526 | 2,059 | 0,306 | 0,858 |
| | 0,204 | 0,131 | 0,239 | 0,293 | 0,037 | 0,084 |
| | 243,567 | 106,767 | 168,733 | 142,200 | 122,933 | 96,167 |
| | 1,152 | 2,221 | 1,638 | 2,280 | 0,286 | 0,647 |
| | 0,290 | 0,435 | 0,258 | 0,338 | 0,033 | 0,067 |
| | 270,700 | 200,300 | 161,233 | 147,200 | 116,067 | 102,767 |
| | 2,134 | 3,278 | 2,166 | 3,153 | 0,313 | 0,854 |
| | 0,420 | 0,558 | 0,327 | 0,355 | 0,041 | 0,111 |
| | 218,867 | 174,533 | 116,100 | 133,333 | 131,233 | 127,633 |

TABLA IV.

OMEDIOS PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA FRACCIONES DE FOSFORO Y PH.

| E S C O R I A S T H O M A S (Calfos) | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|--------------|---|--------------------------|-----------------|------------------|------------|--|--|
| ca fítico ppm. | P-Al ppm. | P-Fe ppm. | P-aprove- chable. Bray II ppm. | P-orgá- nico. ppm. | P-total ppm. | P-inerte ppm. | PH(KCl IN) | | |
| ,235 | 140,233 | 85,023 | 0,988 | 66,215 | 674,537 | 372,514 | 4,117 | | |
| ,705 | 208,075 | 87,349 | 8,984 | 63,587 | 774,503 | 404,658 | 4,440 | | |
| ,988 | 190,646 | 115,809 | 20,135 | 37,124 | 1366,882 | 1006,587 | 4,787 | | |
| ,407 | 336,034 | 150,294 | 28,065 | 56,508 | 950,763 | 282,509 | 5,283 | | |

TABLA V.

RESULTADOS PROMEDIOS PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA FRACCIONES DE FOSFORO Y PH.

| ROCA FOSFORICA - 22 | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------------|----------------------------|--------------|--------------|--|------------------------|-----------------|------------------|------------|---|
| | P-ca no apatítico ppm. | P-ca apg títico ppm. | P-Al ppm. | P-Fe ppm. | P-aprove chable. Eray II ppm. | P-orgá nico ppm. | P-total ppm. | P-inerte ppm. | pH(KCl 1N) | |
| 659 | 0,659 | 9,235 | 140,233 | 85,023 | 0,988 | 66,215 | 674,537 | 372,514 | 4,117 | 1 |
| 662 | 3,537 | 1,102 | 171,750 | 99,906 | 5,926 | 69,894 | 786,713 | 439,862 | 4,217 | 3 |
| 946 | 9,228 | 20,681 | 191,626 | 120,126 | 6,451 | 37,877 | 910,009 | 526,524 | 4,133 | 1 |
| 3,302 | 12,102 | 8,601 | 149,883 | 109,830 | 2,819 | 46,716 | 714,020 | 381,587 | 4,183 | 1 |

TABLA VI.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA: MATERIA SECA, ABSORCIÓN Y CONTENIDO DE FOSFORO EN LA PLANTA.

| | | C.M. | | |
|---------|------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| | seca | Absorción de P. mgr/pote I cosecha | Absorción de P. mgr/pote II cosecha | Contenido de P-ppm. II cosecha |
| 1** | 5,01** | 0,07** | 0,13** | 387,64n.s. |
| 36** | 14,758** | 0,208** | 0,386** | — |
| 11 n.s. | 0,001 n.s. | 0,004 n.s. | 0,003 n.s. | — |
| 17 n.s. | 0,257 n.s. | 0,006 n.s. | 0,002 n.s. | — |
| 1) | 0,13 | 0,001 | 0,01 | 2564,50 |
| 1** | 5,72** | 0,15** | 0,16** | 25.366,35** |
| 1* | 1,20** | 0,02** | 0,05** | 3521,90n.s. |
| 1) | 0,10 | 0,003 | 0,002 | 2376,29 |
| 1) | 1,04 | 0,02 | 0,03 | 3758,96 |
| 1) | | | | 1810,95 |
| 1) | | | | 2342,58 |
| 1** | | | | 4507,08** |
| 1* | | | | 2488,17* |
| 1) | | | | 667,67 |
| 1) | | | | 1810,95 |

1957
1958

TABLA VII.
 CUADROS MEDIOS Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA: FRACCIONES DE FOSFORO Y PH.

| Niveles | F.V. | G.L. | C.M. | | | | | | |
|----------------|-----------|------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------|
| | | | P-fácilmen te reempl. ppm. | P-Ca no apatí co. ppm. | P-Ca apatí tico. ppm. | P-Al ppm. | P-Fe ppm. | P-aprovecha ble Bray II ppm. | P-orgá nico ppm. |
| 3 | 29,42n.s. | 3311,16 ⁺⁺ | 454,23 ⁺ | 33.977,78 ⁺ | 5027,92ns. | 524,31 ⁺⁺ | 1620,09 ⁺ | 0,37 ⁺⁺ | |
| 1 | --- | 7479,072 ⁺⁺ | 562,93ns | 72504,88 ⁺⁺ | --- | 1559,50 ⁺⁺ | 2889,45 ⁺ | 1,056 ⁺⁺ | |
| 1 | --- | 2074,423ns | 774,67 ⁺ | 8878,66ns. | --- | 1,66ns. | 354,32ns. | 0,013ns | |
| 1 | --- | 380,040ns | 25,08ns | 20549,61ns. | --- | 11,79ns. | 1616,52 ⁺ | 0,038ns | |
| Error (a) | 8 | 12,61 | 233,49 | 107,62 | 5731,14 | 4519,05 | 25,68 | 326,88 | 0,01 |
| Fuentes | 2 | 11,04ns. | 1687,65ns. | 37,77ns. | 9884,21ns | 105,39ns. | 330,65 ⁺ | 78,39ns. | 0,90 ⁺⁺ |
| Nivel x Fuente | 6 | 7,85ns. | 1115,00ns. | 232,77ns. | 11923,37ns. | 541,88ns. | 133,05ns. | 67,99ns. | 0,21 ⁺⁺ |
| Error (b) | 16 | 15,97 | 610,41 | 138,55 | 4654,08 | 2107,20 | 64,89 | 99,23 | 0,012 |
| Total | 35 | 14,63 | 901,52 | 168,93 | 8958,75 | 2526,10 | 122,18 | 275,08 | 0,13 |

⁺⁺ Significativo al 1%
⁺ Significativo al 5%
 n.s. No significativo

TABLA VII.

CUADROS MEDIOS Y SIGNIFICACION ESTADISTICA PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA: FRACCIONES DE FOSFORO Y PH.

| F.V. | G.L. | C.M. | | | | | | | |
|-------------|------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------|---------------------|
| | | P-fácilmen te reempl. ppm. | P-Ca no apatí- co.ppm. | P-Ca apatí- tico.ppm. | P-Al ppm. | P-Fe ppm. | P-aprovecha ble Bray II ppm. | P-orgá nico ppm. | PH-KCl-LN |
| Niveles | 3 | 29,42ns. | 3311,18 ⁺⁺ | 454,23 ⁺ | 33.977,78 ⁺ | 5027,92ns. | 524,31 ⁺⁺ | 1620,09 ⁺ | 0,37 ⁺⁺ |
| P L | 1 | --- | 7479,072 ⁺⁺ | 562,93ns | 72504,88 ⁺⁺ | --- | 1559,50 ⁺⁺ | 2889,45 ⁺ | 1,056 ⁺⁺ |
| P C | 1 | --- | 2074,423ns | 774,67 ⁺ | 8878,66ns. | --- | 1,66ns. | 354,32ns. | 0,013ns |
| P Q | 1 | --- | 380,040ns | 25,08ns | 20549,61ns. | --- | 11,79ns. | 1616,52 ⁺ | 0,038ns |
| Error (a) | 8 | 12,61 | 233,49 | 107,62 | 5731,14 | 4519,05 | 25,68 | 326,88 | 0,01 |
| Fuentes | 2 | 11,04ns. | 1687,65ns. | 37,77ns. | 9884,21ns | 105,39ns. | 330,65 ⁺ | 78,39ns. | 0,90 ⁺⁺ |
| NivelFuente | 6 | 7,85ns. | 1115,00ns. | 232,77ns. | 11923,37ns. | 541,88ns. | 133,05ns. | 67,99ns. | 0,21 ⁺⁺ |
| Error (b) | 16 | 15,97 | 610,41 | 138,55 | 4654,08 | 2107,20 | 64,89 | 99,23 | 0,012 |
| Total | 35 | 14,63 | 901,52 | 168,93 | 8958,75 | 2526,10 | 122,18 | 275,08 | 0,13 |

++ Significativo al 1%

+ Significativo al 5%

n.s. No significativo

el efecto de los niveles sobre el contenido de fósforo. Una situación semejante fue encontrada por Guerrero (41), en pasto elefante.

Por el contrario, los niveles de P_2O_5 provocaron una respuesta positiva altamente significativa, de la planta, en cuanto a la absorción de fósforo. Este efecto fue detectable en ambas cosechas y su tendencia fue significativamente lineal ($P < 0,01$). Esto se ilustra en las Figuras 3 y 4.

4.1.3 Efecto sobre los fosfatos de calcio. Los niveles de aplicación de fósforo causaron una respuesta estadísticamente detectable sobre las fracciones de fósforo unido al calcio (Tabla VII). Pero la tendencia del efecto no fue igual en las dos fracciones.

Los fosfatos de calcio apatíticos, se relacionaron con los niveles de P_2O_5 con una tendencia cuadrática significativa ($P < 0,05$). Su ecuación de respuesta, como se ilustra en la Figura 5, indica que el fósforo unido al calcio apatítico disminuyó hasta el nivel de 200 Kg/Ha. de P_2O_5 para luego incrementarse en forma sostenida. Es decir, hasta el nivel de 200 Kg/Ha. se produjo una dilución de los fosfatos de calcio apatíticos y, a partir de este nivel, hubo una fuerte precipitación del fósforo aplicado hacia esa fracción.

Los fosfatos de calcio no apatíticos se incrementaron con una tendencia lineal altamente significativa. Esto significa que a cualquier nivel de fertilización fosfatada, hubo una precipitación del fósforo hacia los fosfatos de calcio no apatíticos. No obstante, es interesante observar (Figura 6) que la precipitación entre 0 y 400 Kg/Ha. no es tan notoria como entre 400 y 600 Kg/Ha.

4.1.4 Efecto sobre los fosfatos de aluminio y hierro. El efecto de las aplicaciones de fósforo sobre los fosfatos de aluminio fue estadísticamente detectable ($P < 0,01$). Es decir, al incrementarse la dosis de fertilización fosfatada se incrementó la precipitación del fósforo aplicado, hacia los fosfatos de aluminio. Esta situación se presenta en la Figura 7 y, de nuevo, se hace evidente que el fenómeno de precipitación es más intenso a partir de los 400 Kg/Ha.

Los fosfatos de hierro no fueron afectados por las aplicaciones de fósforo o, por lo menos, el efecto no fue estadísticamente detectable ($P > 0,05$). Esto significaría que el fósforo aplicado no se precipitó en forma apreciable hacia los fosfatos de hierro.

4.1.5 Efecto sobre el fósforo orgánico. El fósforo orgánico del suelo respondió significativamente ($P < 0,05$) a los niveles de aplicación de P_2O_5 . La tendencia del efecto fue significativamente cúbica ($P < 0,05$) y se presenta en la Figura 8.

Puesto que la determinación del fósforo orgánico se efectuó al final del experimento, es lógico pensar que entre menos fósforo orgánico quedó en el suelo, más intensa fue la mineralización de esta fracción. De acuerdo a esto, y tal como se observa en la Figura 8, el nivel de 400 Kg/Ha. produjo las mejores condiciones para la mineralización de los compuestos orgánicos fosforados.

4.1.6 Efecto sobre el fósforo aprovechable y sobre el pH. Como era de esperar, los niveles de aplicación de fósforo incrementaron el fósforo aprovechable del suelo. Fue un efecto significativo y de tendencia lineal ($P < 0,01$) Figura 9.

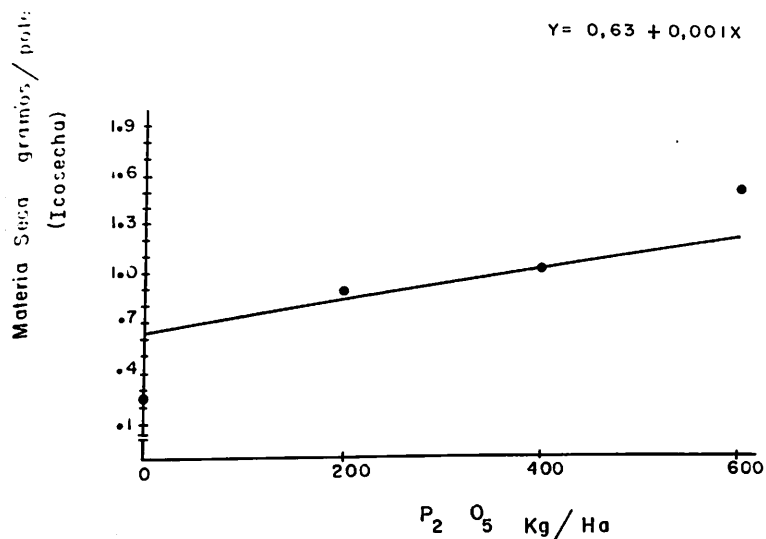


Figura No. 1

Efecto de las aplicaciones de P₂O₅ sobre la materia seca (gr/pote)(I Cosecha).

Foto: I. Santacruz.

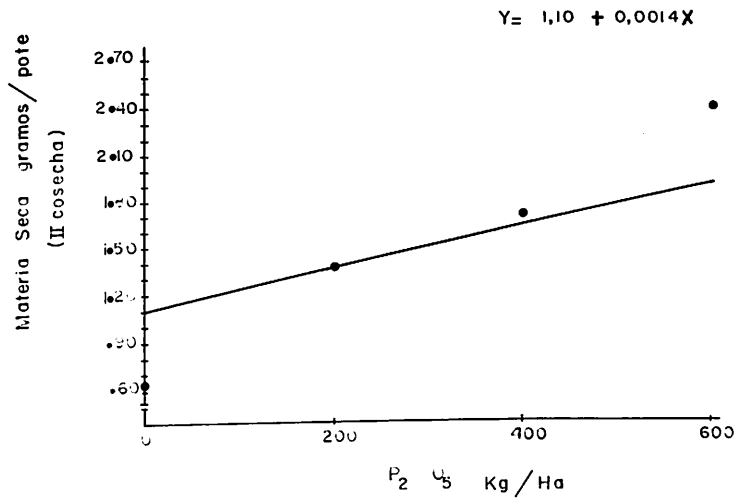


Figura No. 2

Efecto de las aplicaciones de P₂O₅ sobre la materia seca (gr/pote) (II Cosecha).

Foto: I. Santacruz

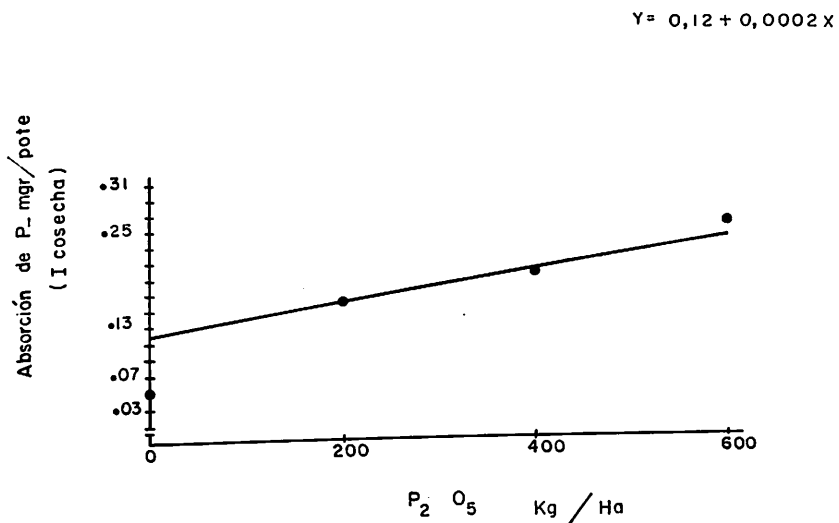


Figura No. 3

Efecto de las aplicaciones de P_2O_5 sobre la ab
sorción de fósforo (mgr/pote) (I Cosecha).

Foto: I. Santaacruz

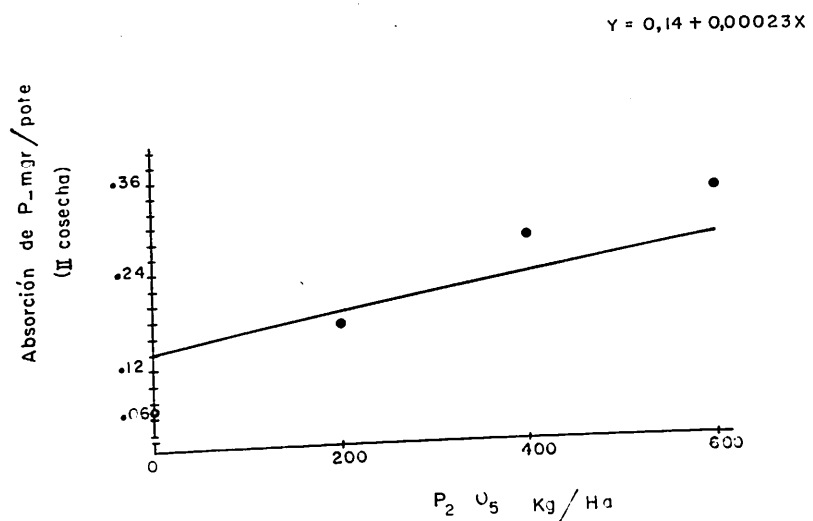


Figura No. 4

Efecto de las aplicaciones de P_2O_5 sobre la absorción de fósforo (mgr/pote) (II Cosecha).

Foto: I. Santaacruz

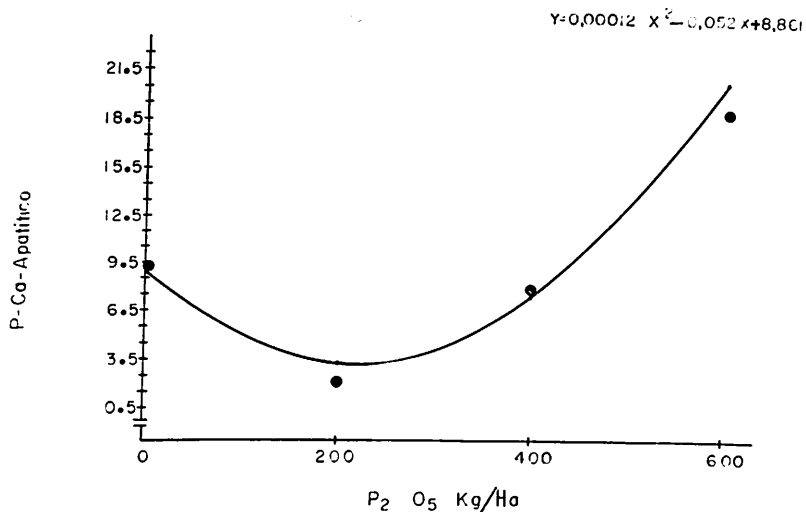


Figura No. 5

Efecto de las aplicaciones de P₂O₅ sobre el fósforo unido al calcio apatítico (ppm.)

Foto: I. Santaacruz

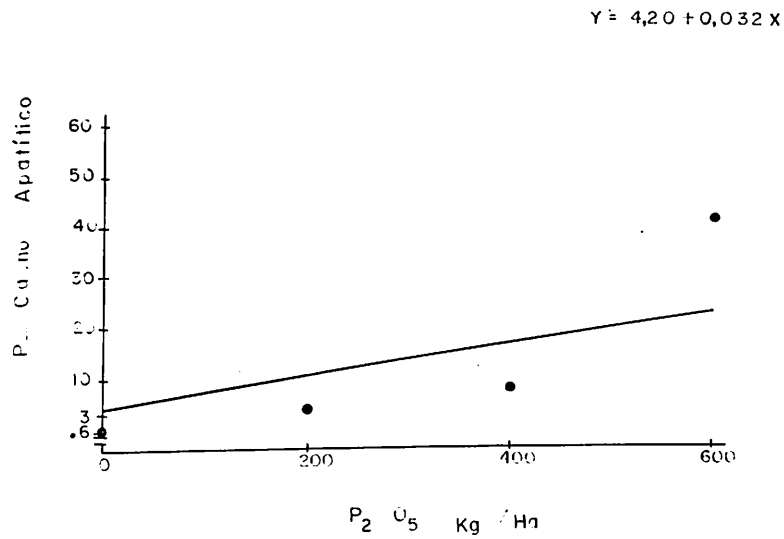


Figura No. 6

Efecto de las aplicaciones de P₂O₅ sobre el fósforo unido al calcio no apatítico (ppm.)

Foto: I. Santacruz

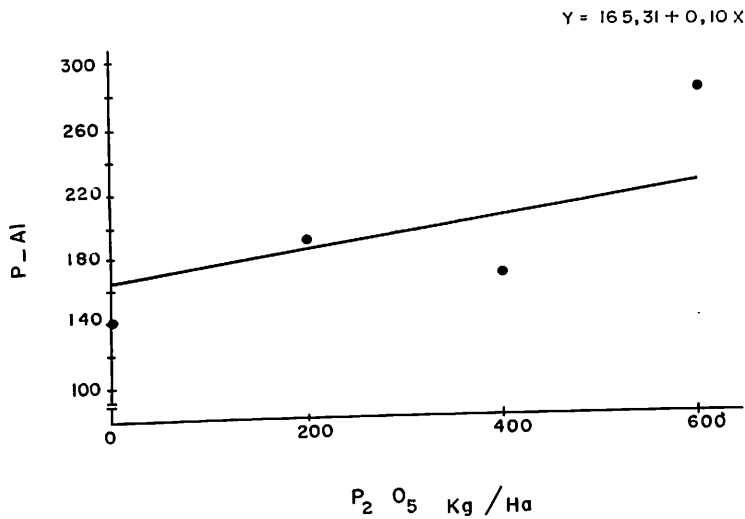


Figura No. 7

Efecto de las aplicaciones de P₂O₅ sobre el fósforo unido al aluminio (ppm.)

Foto: I. Santaacruz

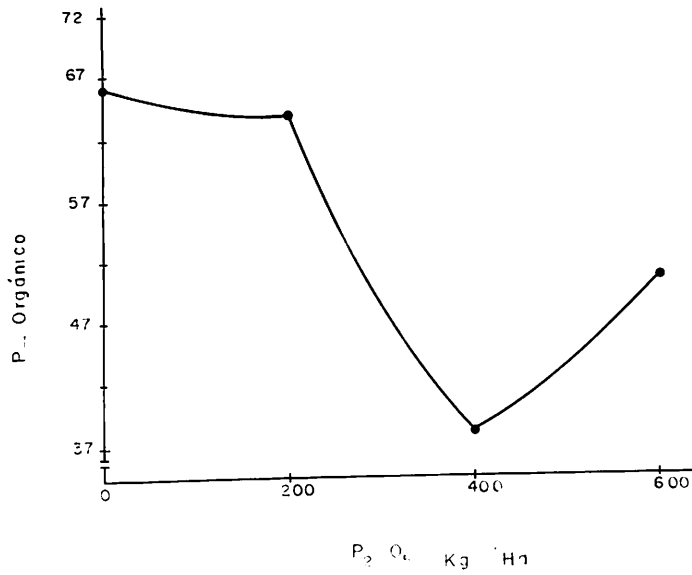


Figura No. 8

Efecto de las aplicaciones de P₂O₅ sobre el fósforo orgánico (ppm.)

Foto: I. Santacruz

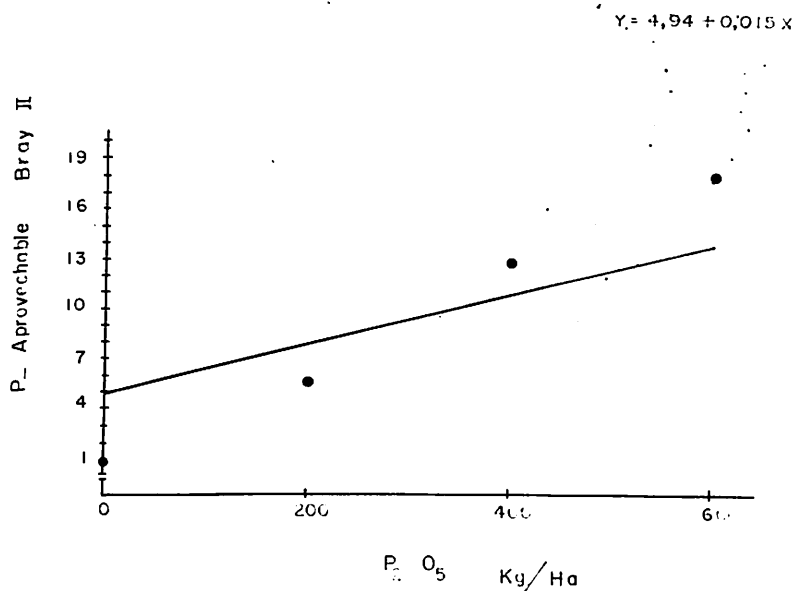


Figura No. 9

Efecto de las aplicaciones de P₂O₅ sobre el fósforo aprovechable Bray II (ppm.)

Foto: I. Santacruz

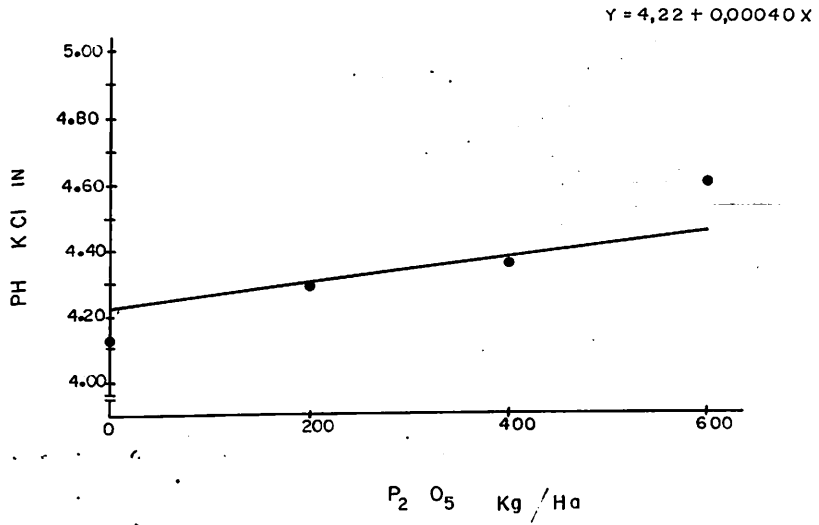


Figura No. 10

Efecto de la aplicación de P₂O₅ sobre el pH (KCl 1N).

Foto: I. Santaacruz

ferencias entre la Roca Fosfórica y las otras dos fuentes fueron espectaculares pues la producción de materia seca conseguida con la Roca Fosfórica, a cualquier nivel, fué prácticamente igual a la obtenida en los testigos (véase Figuras 12 a 17).

Es evidente (Figura 11), que la producción de materia seca fue muy superior en la II cosecha que en la I; probablemente porque el tiempo transcurrido hasta la II cosecha permitió una mayor solubilización del fósforo.

La superioridad del valor fertilizante de las Escorias Thomas frente a otras fuentes especialmente en el caso de suelos ácidos, ya ha sido encontrada por otros investigadores (30,37,65,66).

4.2.2 Efecto sobre absorción y contenido de fósforo en la planta. El análisis de variancia indicó que la fuente utilizada provocó diferencias estadísticamente detectables ($P < 0,01$) sobre la absorción y el contenido de fósforo en la Avena forrajera.

Tanto los menores valores de absorción como los más bajos contenidos de fósforo, se obtuvieron con la Roca Fosfórica (Figuras 18 y 19). Por otra parte, y de acuerdo a la prueba de Duncan (Tablas III a VI - apéndice), no hubo diferencia estadísticamente detectable ($P > 0,05$) entre Superfosfato Triple y Escorias Thomas, para absorción de fósforo; pero sí la hubo ($P < 0,01$) para contenido de fósforo en la I cosecha; siendo superior el obtenido con el Superfosfato Triple (Figura 19).

El menor contenido de fósforo, que se obtuvo con las Escorias Thomas, en relación al Superfosfato Triple, se explica por cuanto con las Escorias Thomas se consiguió ma-

por producción de materia seca provocándose, así, una "dilución" del fósforo en la planta.

A la luz de los resultados obtenidos para absorción de fósforo, se concluye que las Escorias Thomas y el Superfosfato Triple fueron igualmente hábiles para suministrar fósforo a la planta, y superaron ampliamente a la Roca Fosfórica.

4.2.3 Efecto sobre las fracciones de fósforo y el pH. La fuente solamente produjo efecto diferencial detectable sobre el fósforo aprovechable ($P < 0,05$) y sobre el pH ($P < 0,01$). (Tablas VII a X - apéndice).

En la Figura 20 se observa que las Escorias Thomas suministraron más fósforo aprovechable que las otras dos fuentes. En el mismo gráfico se aprecia que con Escorias Thomas se consiguieron los más altos valores de pH. Sin duda, las Escorias mejoraron sustancialmente las condiciones de acidez y esto se reflejó en una mayor extracción de fósforo aprovechable mediante el método de Bray II. El mayor aporte de fósforo aprovechable, por parte de las Escorias Thomas, coincide con la mayor producción de materia seca obtenida con esta fuente. No obstante, las diferencias entre Escorias Thomas y Superfosfato Triple no alcanzaron a detectarse al nivel del 5% de probabilidad.

El hecho de no haberse detectado efectos significativos de las fuentes sobre las otras fracciones de fósforo: (P-unido al aluminio, P-unido al calcio no apatítico, P-unido al calcio apatítico, P-unido al hierro), nos indica que el fenómeno de precipitación del fósforo hacia las diferentes formas o fracciones fue, en gran parte, independiente de la fuente utilizada; o, por lo menos, las diferencias existentes no alcanzaron a ser detectables al nivel estadístico

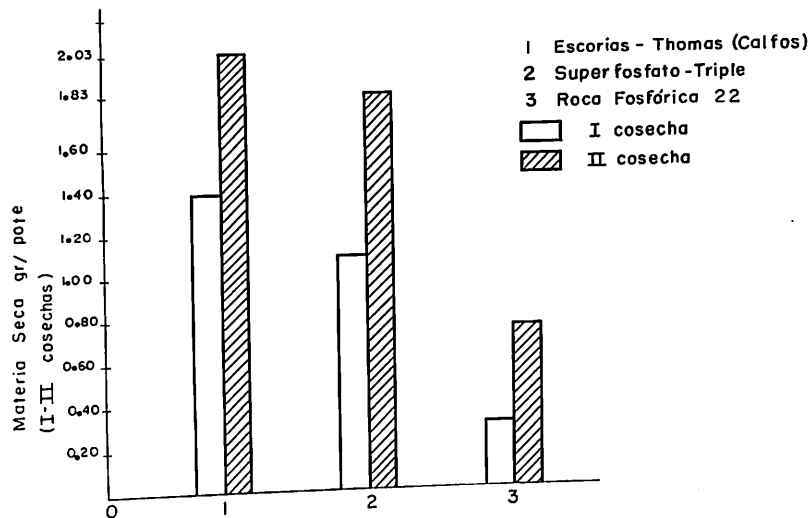


Figura No. 11

Efecto de las fuentes de P_2O_5 sobre la producción de materia seca (gr/pote) (I-II Cosecha).

Foto: I. Santacruz

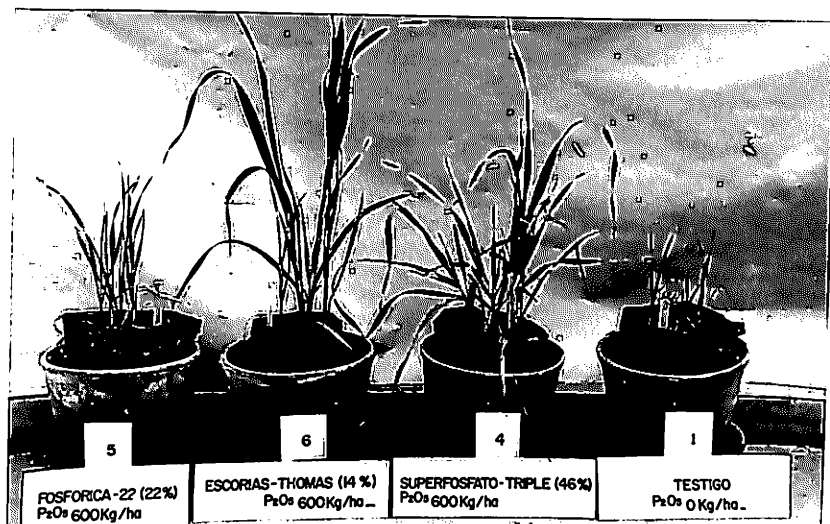


Figura No. 12

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa L.) a la aplicación de diferentes fuentes de P₂O₅ al nivel de 600 Kg/Ha. (I Cosecha).

Foto: I. Santacruz



Figura No. 13

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa
L.) a la aplicación de diferentes fuentes de
P₂O₅ al nivel de 400 Kg/Ha. (I Cosecha).

Foto: I. Santacruz

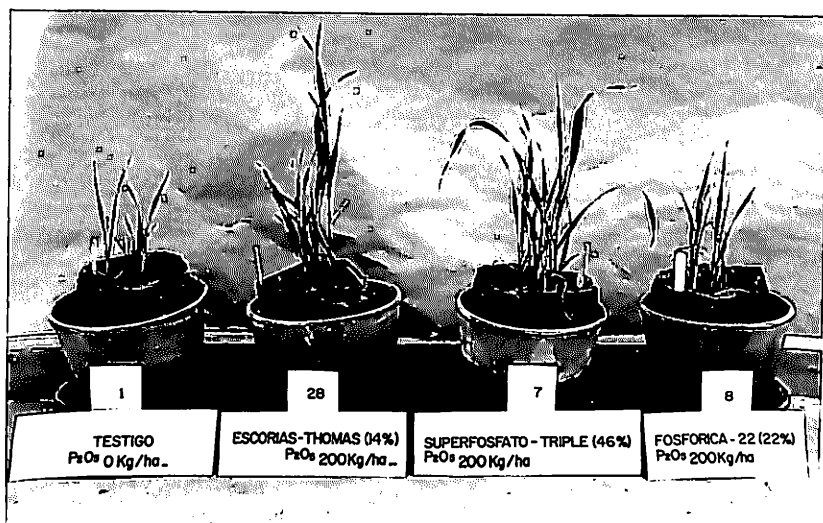


Figura No. 14

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa L.) a la aplicación de diferentes fuentes de P₂O₅ al nivel de 200 Kg/Ha. (I Cosecha).

Foto: I. Santacruz



Figura No. 15

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa L.) a la aplicación de diferentes fuentes de P₂O₅ al nivel de 600 Kg/Ha. (II Cosecha).

Foto: I. Santacruz.

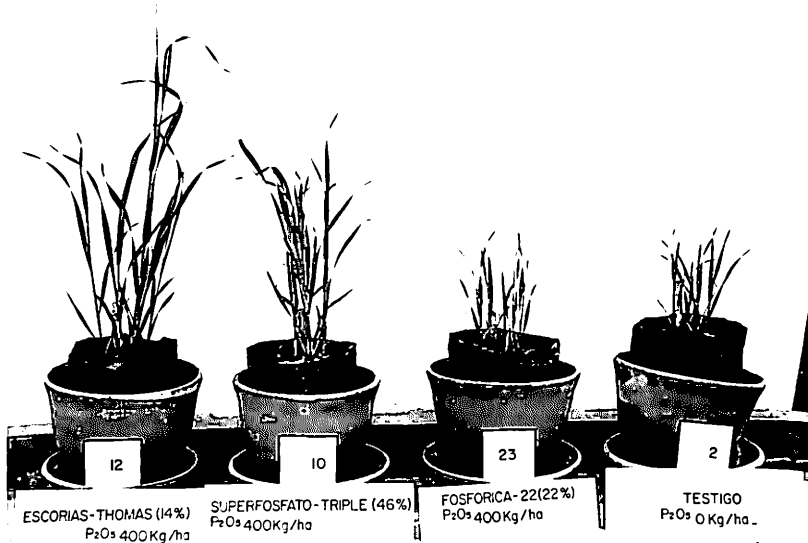


Figura No. 16

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa
L.) a la aplicación de diferentes fuentes de
P₂O₅ al nivel de 400 Kg/ha. (II Cosecha).

Foto: I. Santacruz

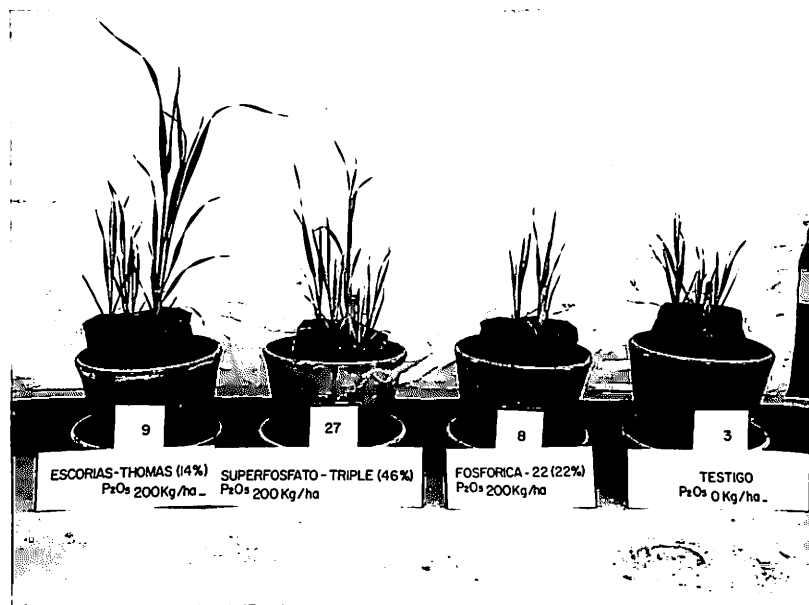


Figura No. 17

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa
L.) a la aplicación de diferentes fuentes de
 P_2O_5 al nivel de 200 Kg/Ha. (II Cosecha).

Foto: I. Santacruz

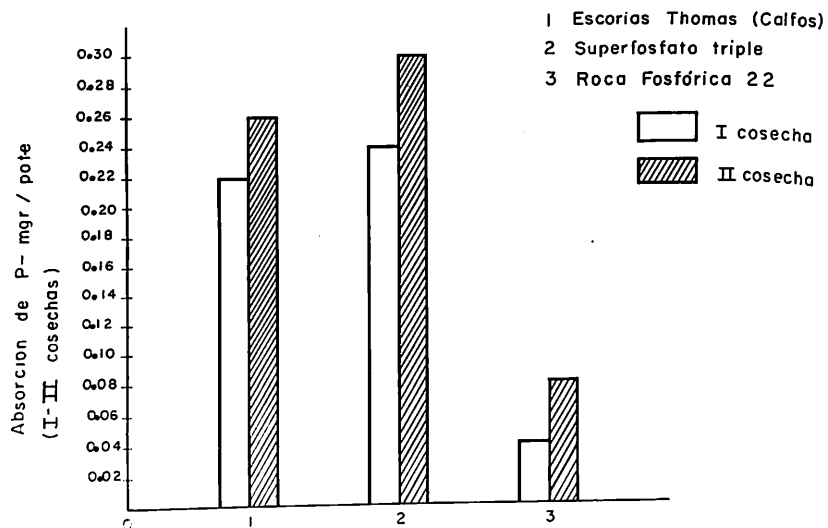


Figura No. 18

Efecto de las fuentes de P_2O_5 sobre la absorción de fósforo (mgr/pote). (I-II Cosecha).

Foto: I. Santacruz

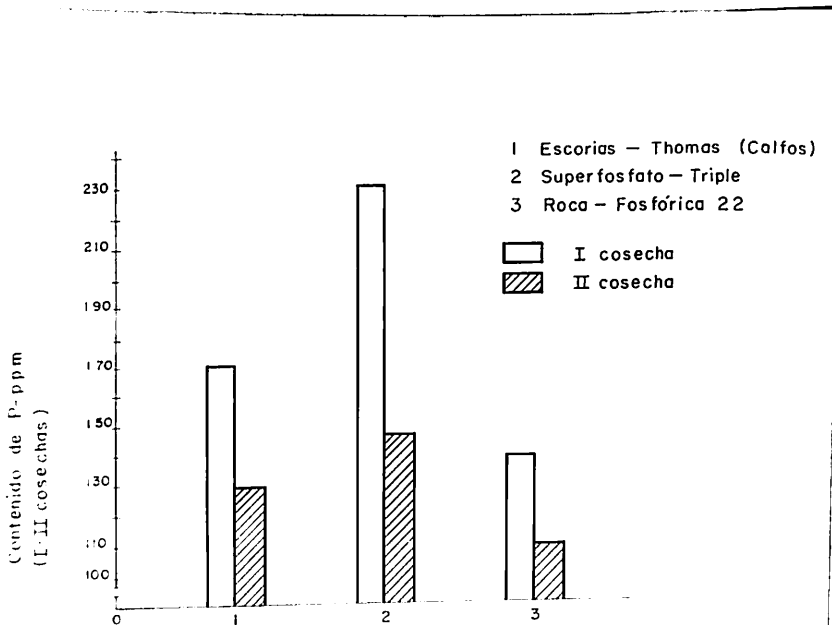


Figura no. 19

Efecto de las fuentes de P_2O_5 sobre el contenido de fósforo (ppm.) (I-II cosecha).

Foto: I. Santacruz

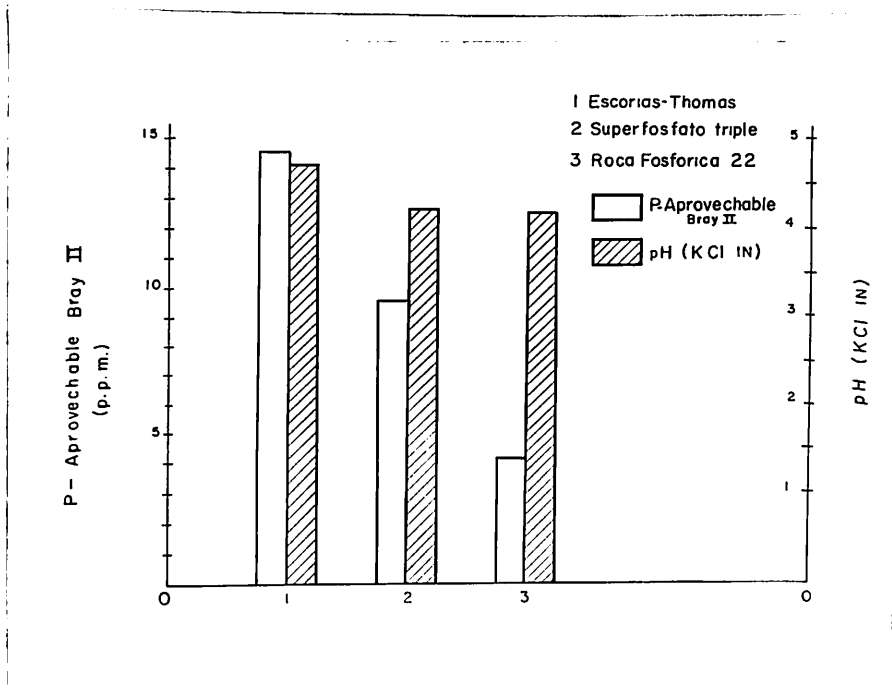


Figura No. 20

Efecto de las fuentes de P_2O_5 sobre el fósforo aprovechable (Bray II) (ppm.) y sobre el pH (KCl 1N).

Foto: I. Santacruz

del 5%.

4.3 EFECTO DE LA INTERACCION NIVEL POR FUENTE SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA.

4.3.1 Efecto sobre materia seca. La interacción nivel por fuente fue significativa ($P < 0,05$) en el caso de producción de materia seca. Este efecto se presentó en ambas cosechas, pero fue más acentuado en la segunda.

Tal como puede observarse en las Figuras 21 y 22, mientras los niveles causaron incrementos sustanciales en la producción de materia seca cuando se utilizó Escorias Thomas y Superfosfato Triple, en el caso de la Roca Fosfórica el efecto de los niveles fue nulo. Esta situación también se ilustra en las Figuras 23 a 28.

En lo concerniente al Superfosfato Triple y las Escorias Thomas, el efecto de la fuente dependió del nivel de aplicación. Así, en la primera cosecha, las Escorias Thomas superaron al Superfosfato Triple en los niveles de 200 y 400 Kg/Ha., pero en el nivel de 600 Kg/Ha. la diferencia entre las dos fuentes fue nula (Figura 22). En la segunda cosecha las Escorias Thomas produjeron mayor cantidad de materia seca al nivel de 200 Kg/Ha, pero no hubo ninguna diferencia en producción a los niveles de 400 y 600 Kg/Ha.

4.3.2 Efecto sobre absorción y contenido de fósforo en la planta. La interacción nivel por fuente causó diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) sobre la absorción de fósforo, tanto en la primera como en la segunda cosecha.

En las Figuras 29 y 30, se observa que la aplicación de Roca Fosfórica a cualquier nivel, tuvo un efecto nulo

sobre la absorción de fósforo. Por el contrario, las Escorias Thomas y el Superfosfato Triple incrementaron sostenidamente esa misma variable.

En las dos cosechas, las Escorias Thomas provocaron mayor absorción de fósforo que el Superfosfato Triple al nivel de 200 Kg/Ha., pero esta última fuente superó a la primera en los niveles de 400 y 600 Kg/Ha. Estas diferencias entre Escorias Thomas y Superfosfato Triple fueron mucho más acentuadas en la segunda cosecha (Figura 30).

El efecto de la interacción sobre el contenido de fósforo, solamente fue significativo en la segunda cosecha, tal como puede observarse en la Figura 31. Las Escorias Thomas condujeron a un mayor contenido de fósforo en el nivel de 200 Kg/Ha., pero el Superfosfato Triple superó a las Escorias Thomas en los niveles de 400 y 600 Kg/Ha. Por otra parte, la Roca Fosfórica no produjo ningún efecto sobre esta variable.

4.3.3 Efecto sobre las fracciones de fósforo y el pH. El efecto de la interacción nivel por fuente sobre las fracciones de fósforo no alcanzó a ser estadísticamente detectable ($P > 0,05$) en ninguna de ellas. Esto nos confirma lo ya planteado en el sentido de que el fenómeno de fijación de fósforo por precipitación, hacia los diferentes fosfatos del suelo, fue independiente de la fuente utilizada.

No obstante lo anterior, es importante observar que los fosfatos de calcio apatíticos, no apatíticos y fosfatos de aluminio no sufren variación apreciable hasta el nivel de 400 Kg/Ha.; pero a partir de este nivel se incrementan en forma espectacular. Esto es particularmente acertado en el caso de las Escorias Thomas y del Superfosfato Triple (Figuras 32, 33 y 34).

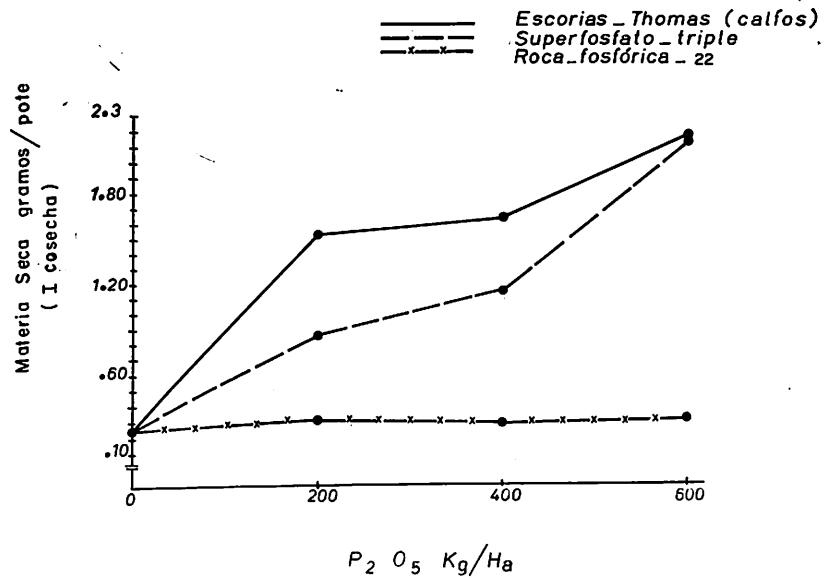


Figura No. 21

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P_2O_5 sobre la materia seca (gr/pote) (I. Cosecha).

Foto: I. Santacruz

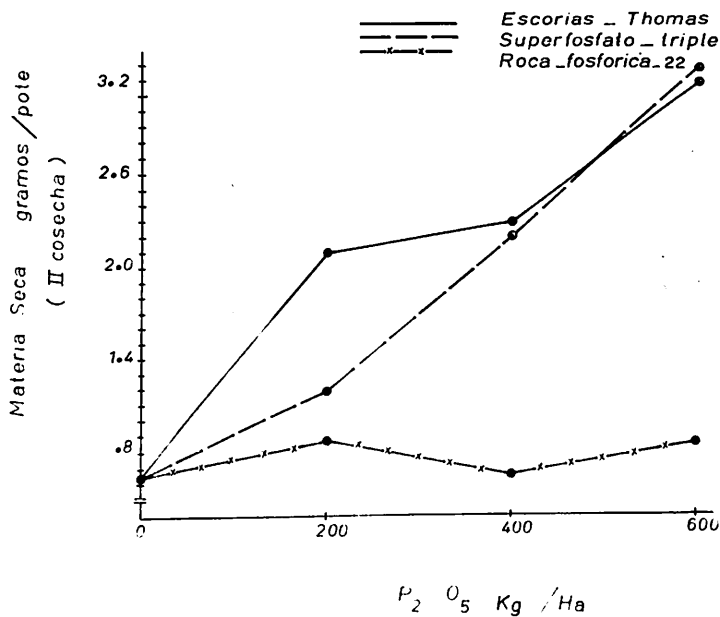


Figura No. 22

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P_2O_5 sobre la materia seca (gr/pote) (II Cosecha).

Foto: I. Santacruz

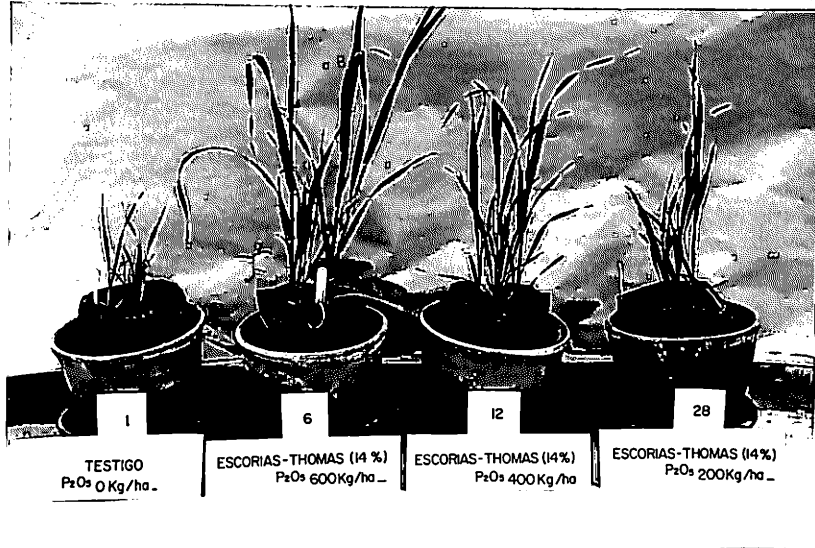


Figura No. 23

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa
L.) a la aplicación de diferentes niveles de
P₂O₅ (Escorias Thomas) (I Cosecha).

Foto: I. Santacruz

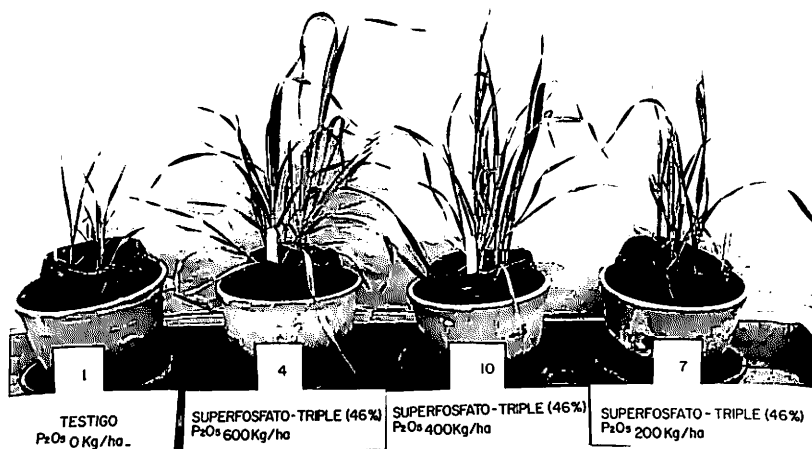


Figura No. 24

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa
L.) a la aplicación de diferentes niveles de
P₂O₅ (Superfosfato Triple) (I Cosecha).

Foto: I. Santaacruz

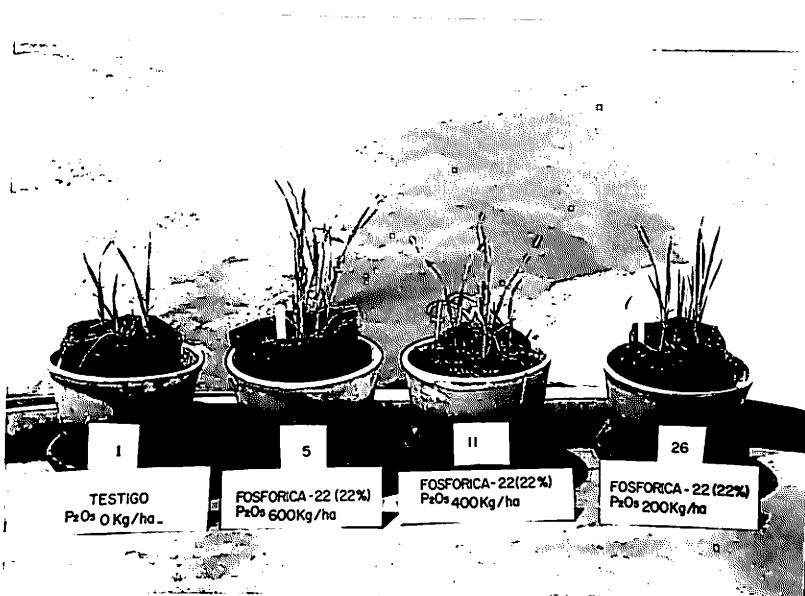


Figura No. 25

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa
L.) a la aplicación de diferentes niveles de
P₂O₅ (Roca Fosfórica - 22) (I Cosecha).

Foto: I. Santacruz

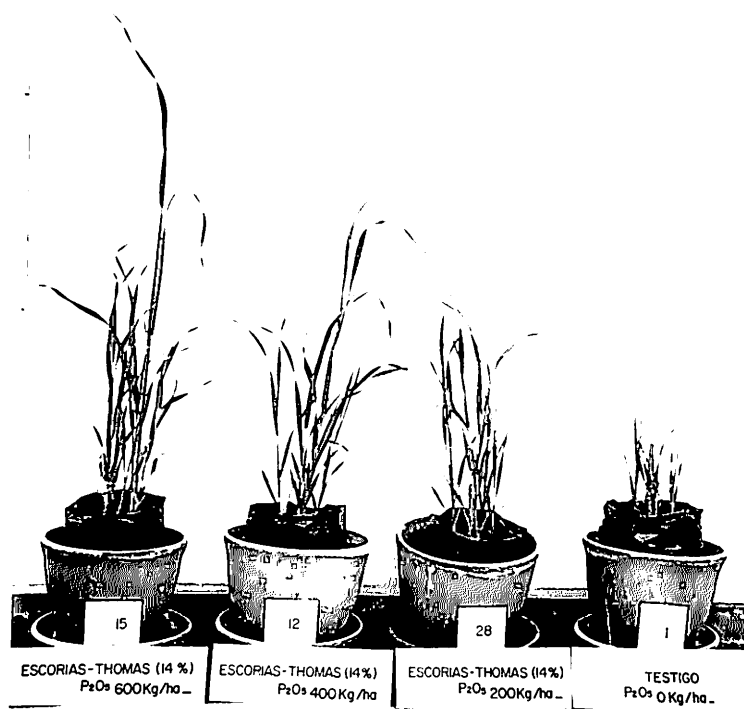


Figura No. 26

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa
L.) a la aplicación de diferentes niveles de
P₂O₅ (Escorias Thomas) (II Cosecha).

Foto: I. Santacruz



Figura No. 27

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa
L.) a la aplicación de diferentes niveles de
P₂O₅ (Superfosfato Triple) (II Cosecha).

Foto: I. Santaacruz

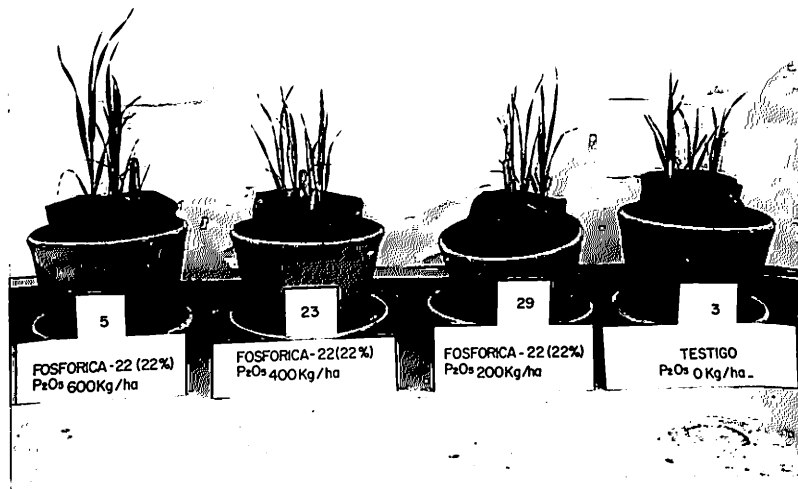


Figura No. 28

Respuesta de la Avena forrajera (Avena sativa L.) a la aplicación de diferentes niveles de P_2O_5 (Roca Fosfórica-22) (II Cosecha).

Foto: I. Santacruz

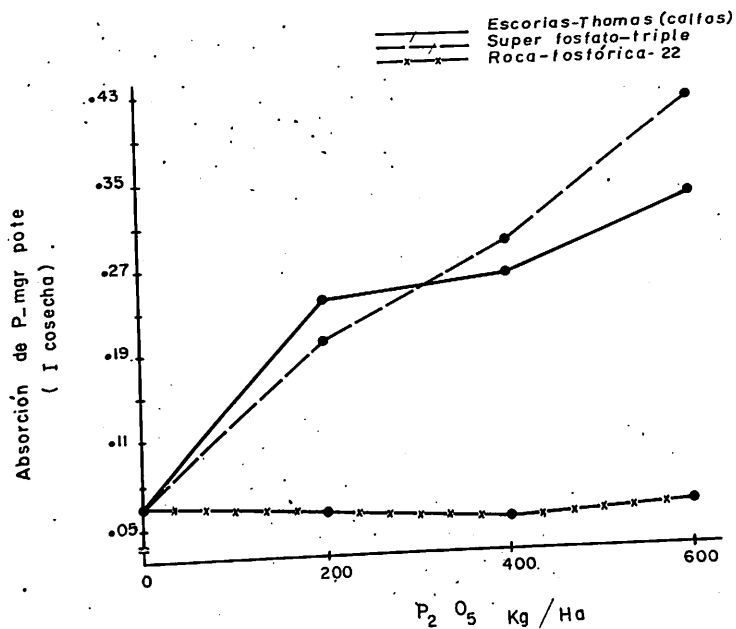


Figura No. 29

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre la absorción de fósforo (mgr/pota) (I Co secha).

Foto: I. Santacruz

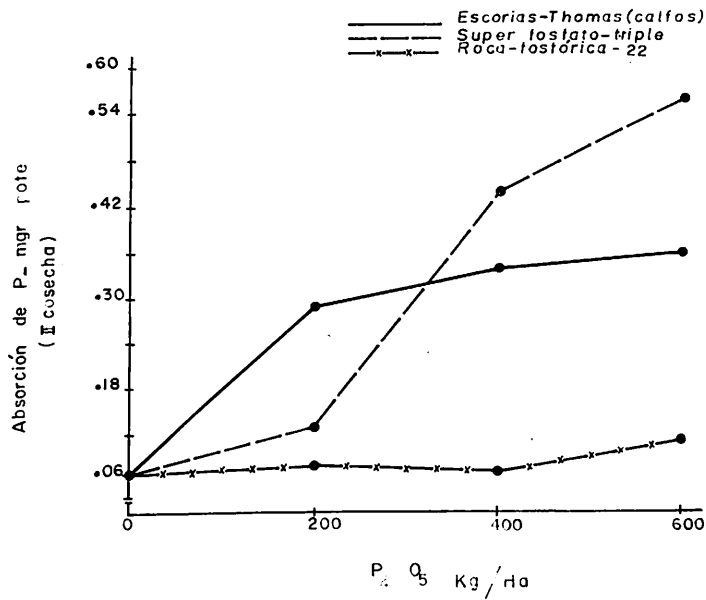


Figura No. 30

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre la absorción de fósforo (mgr/pote) (II Co₂ secha).

Foto: I. Santacruz

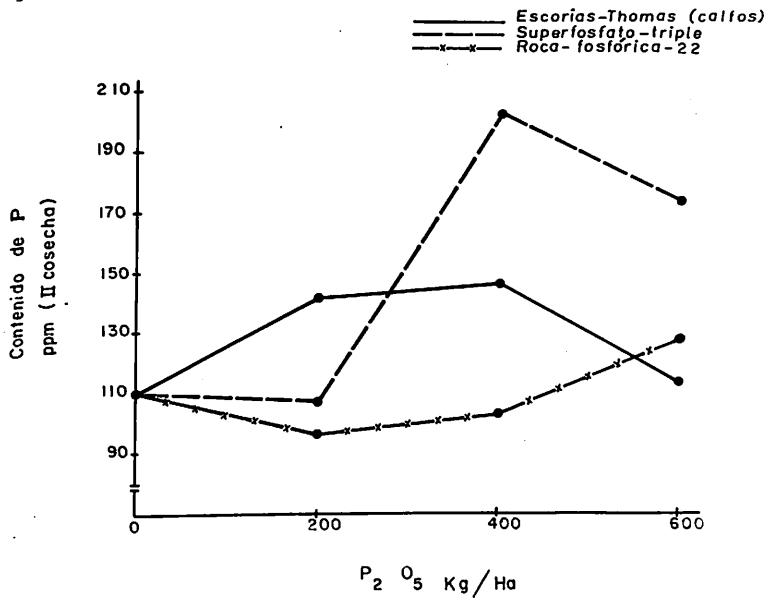


Figura No. 31

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P_2O_5 sobre el contenido de fósforo (ppm.) (II cosecha).

Foto: I. Santa Cruz

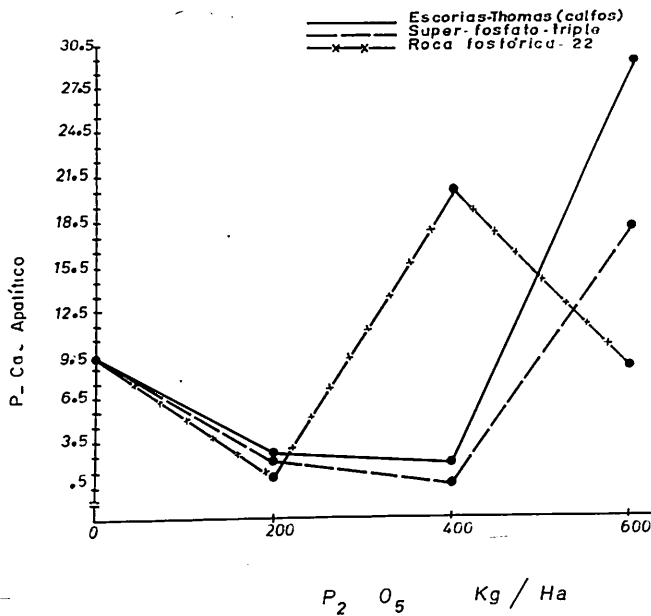


Figura No. 32

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P_2O_5
sobre el fósforo unido al calcio apatítico
(ppm.)

Foto: I. Santacruz

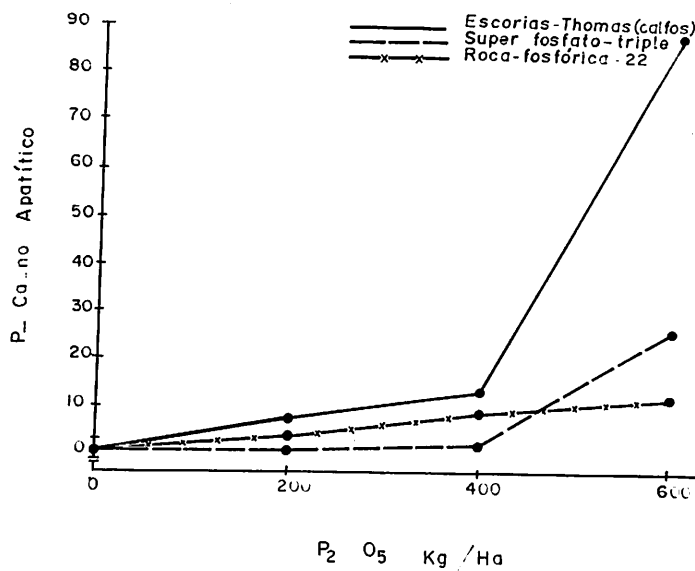


Figura No. 33

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre el P-unido al calcio no apatítico (ppm.)

Foto: I. Santacruz

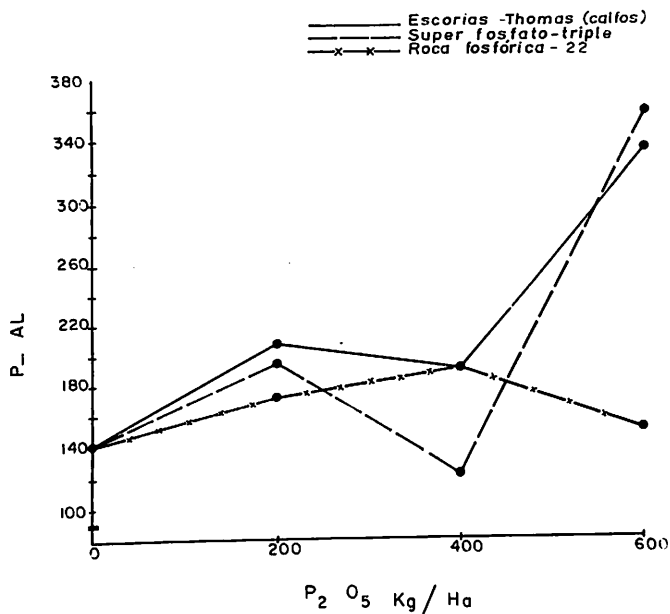


Figura No. 34

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre el fósforo unido al aluminio (ppm.)

Foto: I. Santacruz

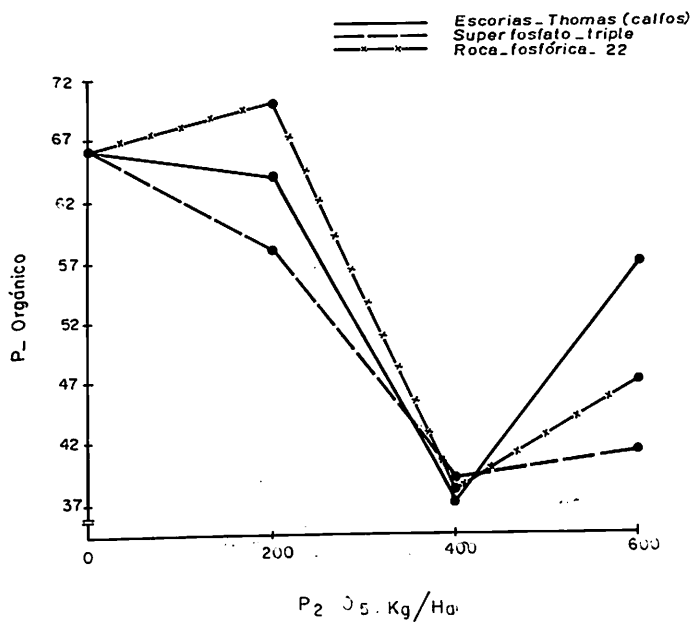


Figura No. 35

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre el fósforo orgánico (ppm.)

Foto: I. Santacruz

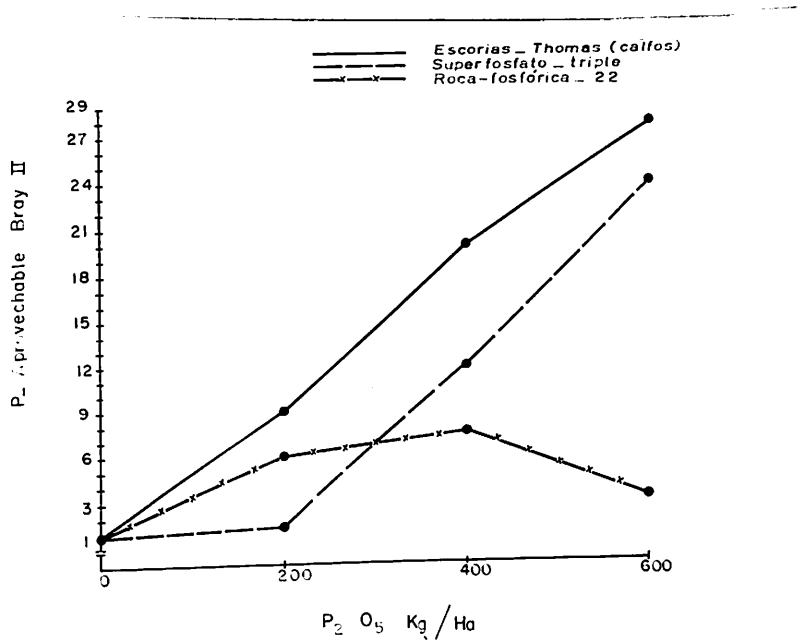


Figura No. 36

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P_2O_5 sobre el fósforo aprovechable Bray II (ppm.)

Foto: I. Santacruz

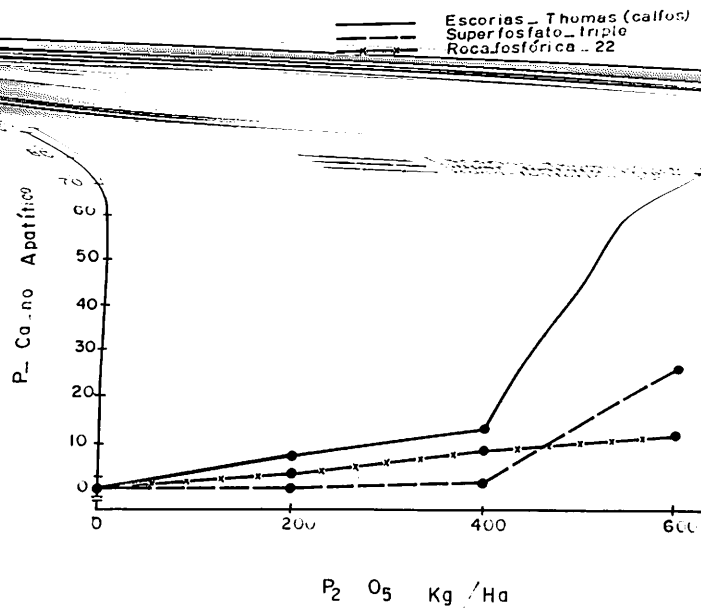


Figura No. 33

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre el P-unido al calcio no apatítico (ppm.)

Foto: I. Santacruz

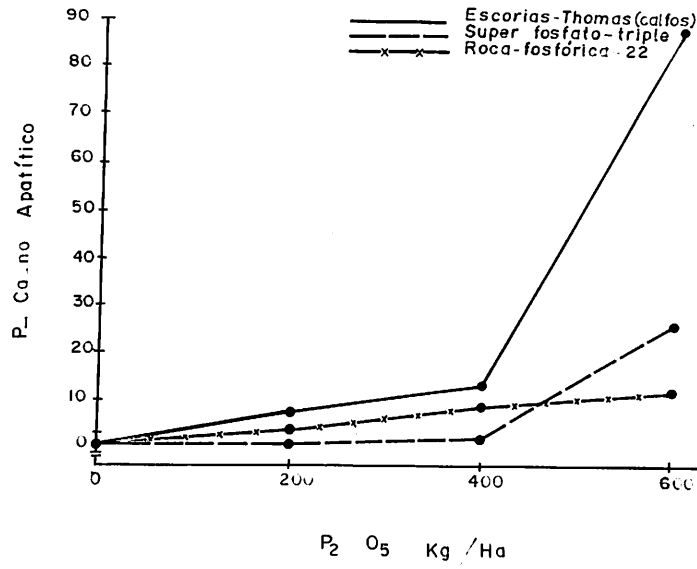


Figura No. 33

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P_2O_5 sobre el P-unido al calcio no apatítico (ppm.)

Foto: I. Santacruz

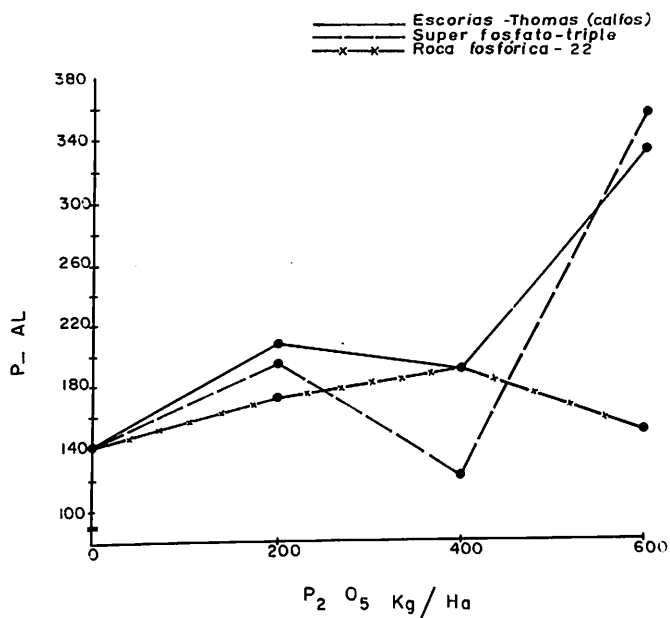


Figura No. 34

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre el fósforo unido al aluminio (ppm.)

Foto: I. Santacruz

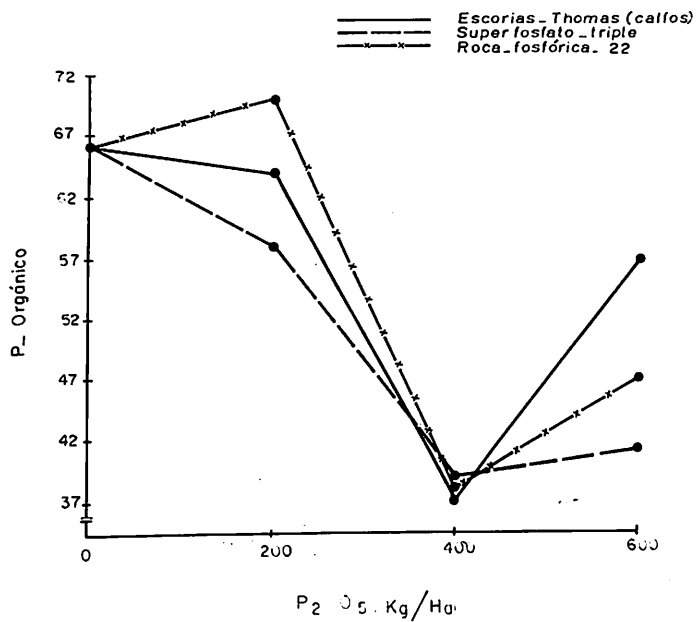


Figura No. 35

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre el fósforo orgánico (ppm.)

Foto: I. Santacruz

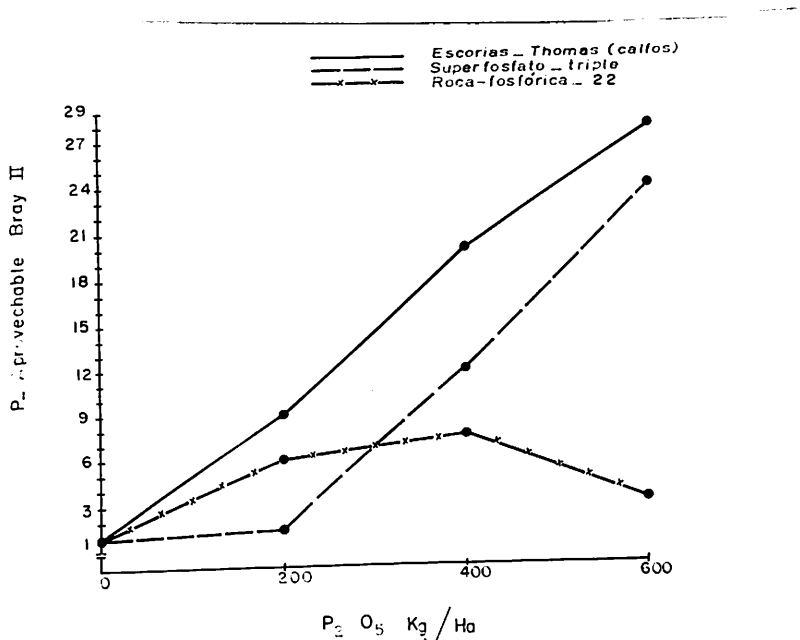


Figura No. 36

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P_2O_5 sobre el fósforo aprovechable Bray II (ppm.)

Foto: I. Santacruz

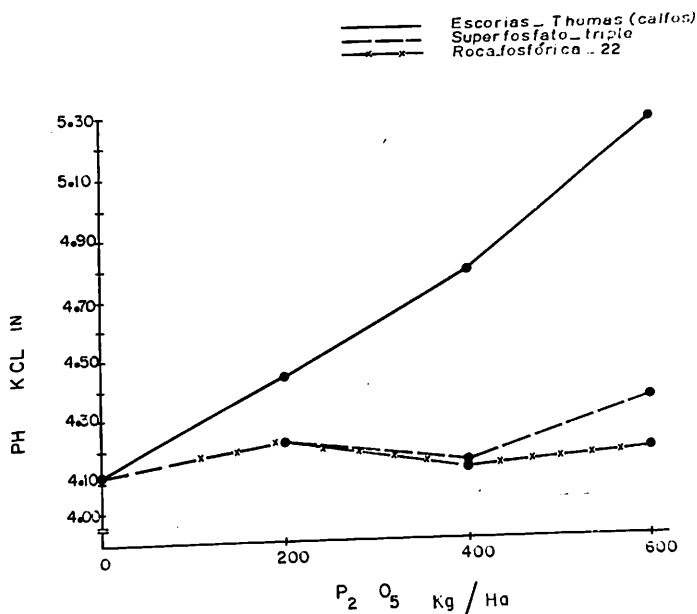


Figura No. 37

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre el pH. (KCl 1N).

Foto: I. Santacruz

cientes de correlación obtenidos se presentan en la Tabla VIII.

4.4.1 Relación entre las fracciones de fósforo y la absorción de fósforo por la planta. El propósito que se persigue al efectuar este tipo de análisis de correlación y de regresión, es el de averiguar cuál o cuáles fosfatos del suelo aportan fósforo a la planta con mayor intensidad.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los fosfatos de aluminio fueron los que más fosforo aportaron a la planta pues se obtuvo el más alto coeficiente de correlación $r = 0,702^{++}$. En otras palabras, los fosfatos de aluminio se solubilizaron con mayor grado de intensidad que los otros fosfatos del suelo (Figura 38).

En orden de importancia siguieron los fosfatos de hierro, para los cuales se obtuvo un coeficiente de correlación $r = 0,590^{+}$ (Figura 39). Los fosfatos de calcio no apatíticos correlacionaron con la absorción de fósforo por la planta en forma muy similar a los fosfatos de hierro (Figura 40).

Esto significa que estas dos fracciones fueron igualmente importantes en la nutrición de la Avena forrajera.

No ocurrió lo mismo con la fracción de fosfatos de calcio apatíticos, cuyo coeficiente de correlación fué muy bajo. Esto es explicable por cuanto la solubilidad de las apatitas es mucho más baja que la correspondiente a los otros fosfatos de calcio (Figura 41). Como consecuencia de lo anterior, esta fracción no aporta fósforo a la planta en la medida que lo hacen las otras fracciones.

Resulta importante tener en cuenta que las dos

fracciones de los fosfatos de calcio difieren así, grandemente en su aporte a la nutrición fosfatada de la planta, y, por tanto la modificación a la metodología de Chang y Jackson (25), en el fraccionamiento de los fosfatos, propuesta por Sen Gupta y Cornfield (83,84), es muy acertada.

La fracción de fósforo orgánico correlacionó en forma negativa, aunque no significativa $r = -0,433$ n.s., con la absorción de fósforo por la planta (Figura 42). Es lógico que al aumentar el fósforo orgánico disminuye la absorción. La razón es que entre mayor cantidad de fósforo orgánico que dó en el suelo, después del desarrollo de la planta, menor fue la mineralización de esta fracción y, por ende, menor el suministro de fósforo aprovechable a la planta. Al observar la Figura 42, se hace evidente el hecho de que el fósforo orgánico aportó, a través de su mineralización, fósforo disponible a la planta.

En resumen, los fosfatos del suelo suministraron fósforo a la planta con el siguiente orden de intensidad e importancia, de mayor a menor :

Fosfatos de aluminio > fosfatos de hierro > fosfatos de calcio no apatíticos > fósforo orgánico > fosfatos de calcio apatíticos.

La importancia de los fosfatos de aluminio y de calcio en la nutrición fosfatada de la planta, ya ha sido in formada por algunos investigadores (2,3,29,30,69).

No se han encontrado en la literatura datos indicativos de la importancia de los fosfatos de hierro que, según los resultados de este trabajo, parecen ser de gran importancia en lo concerniente al suministro de fósforo asimilable en los suelos lateríticos.

4.4.2 Relación entre las fracciones de fósforo y el fósforo aprovechable (Bray II.) El aporte de las fracciones de fósforo al fósforo aprovechable determinado por el método Bray II, tuvo la siguiente secuencia de intensidad:

P-unido al hierro ($r = 0,87^{++}$) > P-unido al aluminio ($r = 0,80^{++}$) > P-unido al calcio no apatítico ($r = 0,78^{++}$) > P-unido al calcio apatítico ($r = 0,493$ n.s.) > P-orgánico ($r = -0,487$ n.s.).

Las relaciones obtenidas para cada caso se presentan en las figuras 43 a 47.

Los resultados obtenidos confirman la importancia de los fosfatos de hierro y aluminio en la nutrición fosfatada de la planta, siendo menor la importancia de los fosfatos de calcio.

4.4.3 Relación entre el fósforo aprovechable, materia seca, absorción de fósforo y pH. La correlación obtenida entre el fósforo aprovechable y la producción de materia seca fue altamente significativa ($r = 0,933^{+++}$). Igual situación se presentó al correlacionar la fracción de fósforo aprovechable y la absorción de fósforo por la planta ($r = 0,81^{++}$).

En las figuras 48 y 49, se presentan las dos relaciones anteriores, las cuales conducen a la conclusión de que el método Bray II utilizado para la determinación del fósforo aprovechable, es muy adecuada para el tipo de suelos latosólicos semejantes al del presente estudio.

En la Figura 50, se presenta la relación entre el pH y los niveles de fósforo aprovechable. Es obvio que conforme mejoraron las condiciones de extrema acidez del suelo

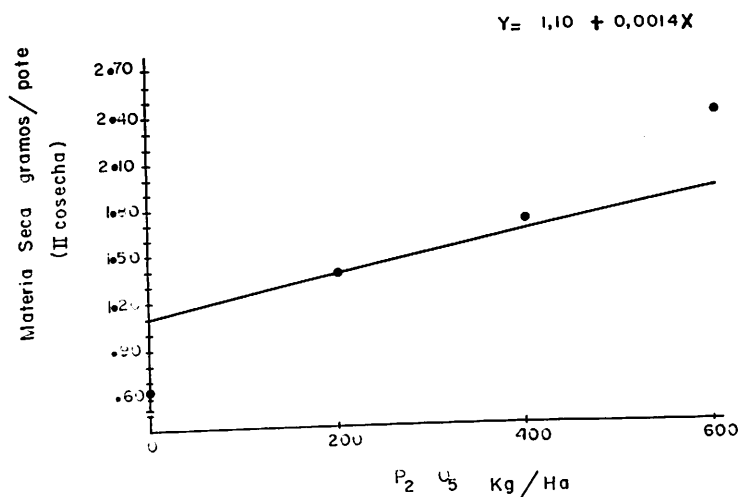


Figura No. 2

Efecto de las aplicaciones de P_2O_5 sobre la materia seca (gr/pote) (II Cosecha).

Foto: I. Santacruz

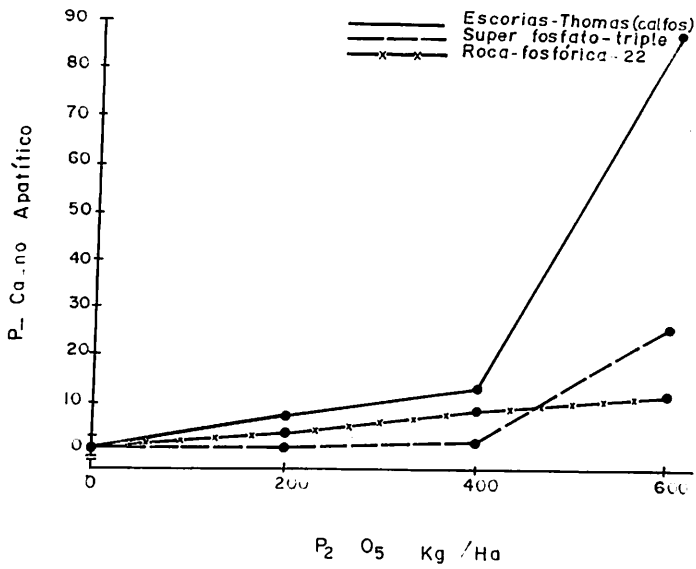


Figura No. 33

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre el P-unido al calcio no apatítico (ppm.)

Foto: I. Santaacruz

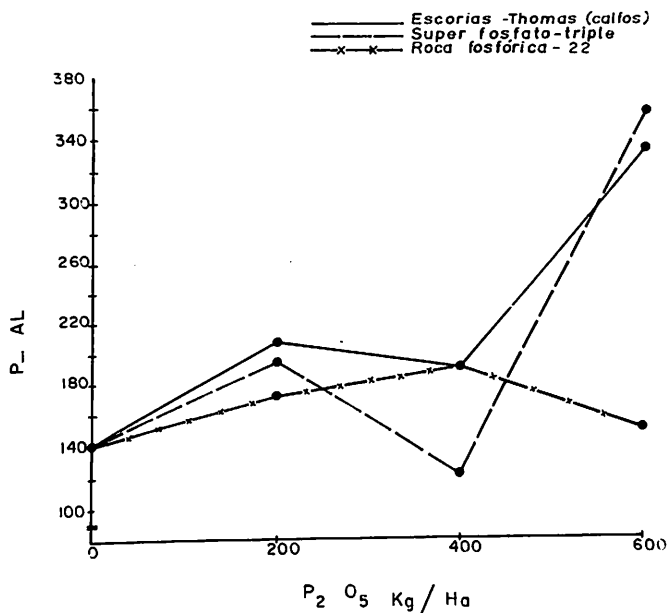


Figura No. 34

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P_2O_5 sobre el fósforo unido al aluminio (ppm.)

Foto: I. Santacruz

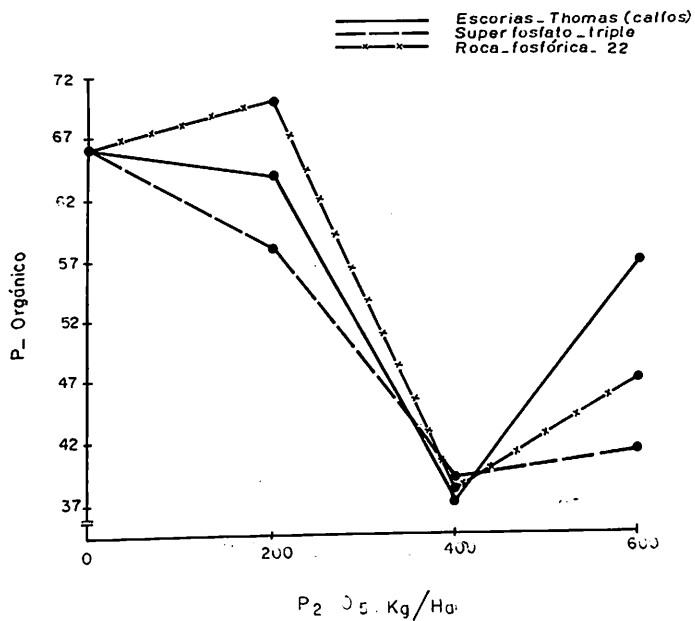


Figura No. 35

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre el fósforo orgánico (ppm.)

Foto: I. Santacruz

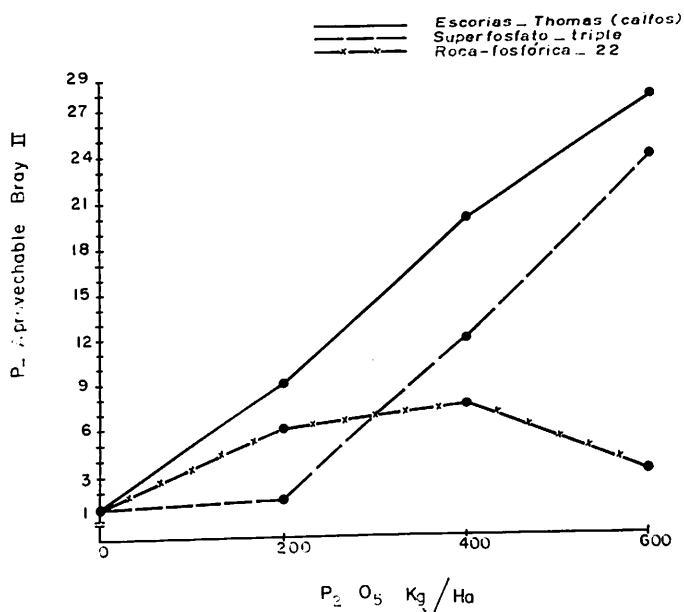


Figura No. 36

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre el fósforo aprovechable Bray II (ppm.)

Foto: I. Santacruz

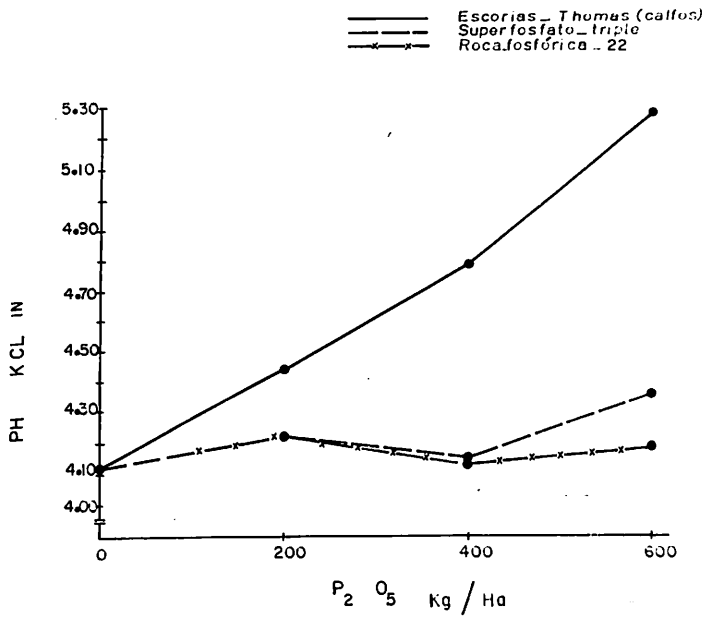


Figura No. 37

Efecto de diferentes fuentes y niveles de P₂O₅ sobre el pH. (KCl 1N).

Foto: I. Santacruz

cientes de correlación obtenidos se presentan en la Tabla VIII.

4.4.1 Relación entre las fracciones de fósforo y la absorción de fósforo por la planta. El propósito que se persigue al efectuar este tipo de análisis de correlación y de regresión, es el de averiguar cuál o cuáles fosfatos del suelo aportan fósforo a la planta con mayor intensidad.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los fosfatos de aluminio fueron los que más fosforo aportaron a la planta pues se obtuvo el más alto coeficiente de correlación $r = 0,702^{++}$. En otras palabras, los fosfatos de aluminio se solubilizaron con mayor grado de intensidad que los otros fosfatos del suelo (Figura 38).

En orden de importancia siguieron los fosfatos de hierro, para los cuales se obtuvo un coeficiente de correlación $r = 0,590^+$ (Figura 39). Los fosfatos de calcio no apatíticos correlacionaron con la absorción de fósforo por la planta en forma muy similar a los fosfatos de hierro (Figura 40).

Esto significa que estas dos fracciones fueron igualmente importantes en la nutrición de la Avena forrajera.

No ocurrió lo mismo con la fracción de fosfatos de calcio apatíticos, cuyo coeficiente de correlación fué muy bajo. Esto es explicable por cuanto la solubilidad de las apatitas es mucho más baja que la correspondiente a los otros fosfatos de calcio (Figura 41). Como consecuencia de lo anterior, esta fracción no aporta fósforo a la planta en la medida que lo hacen las otras fracciones.

Resulta importante tener en cuenta que las dos

fracciones de los fosfatos de calcio difieren así, grandemente en su aporte a la nutrición fosfatada de la planta, y, por tanto la modificación a la metodología de Chang y Jackson (25), en el fraccionamiento de los fosfatos, propuesta por Sen Gupta y Cornfield (83,84), es muy acertada.

La fracción de fósforo orgánico correlacionó en forma negativa, aunque no significativa $r = -0,433$ n.s., con la absorción de fósforo por la planta (Figura 42). Es lógico que al aumentar el fósforo orgánico disminuye la absorción. La razón es que entre mayor cantidad de fósforo orgánico que dó en el suelo, después del desarrollo de la planta, menor fue la mineralización de esta fracción y, por ende, menor el suministro de fósforo aprovechable a la planta. Al observar la Figura 42, se hace evidente el hecho de que el fósforo orgánico aportó, a través de su mineralización, fósforo disponible a la planta.

En resumen, los fosfatos del suelo suministraron fósforo a la planta con el siguiente orden de intensidad o importancia, de mayor a menor :

Fosfatos de aluminio > fosfatos de hierro > fosfatos de calcio no apatíticos > fósforo orgánico > fosfatos de calcio apatíticos.

La importancia de los fosfatos de aluminio y de calcio en la nutrición fosfatada de la planta, ya ha sido in formada por algunos investigadores (2,3,29,30,69).

No se han encontrado en la literatura datos indicativos de la importancia de los fosfatos de hierro que, según los resultados de este trabajo, parecen ser de gran importancia en lo concerniente al suministro de fósforo asimilable en los suelos lateríticos.

4.4.2 Relación entre las fracciones de fósforo y el fósforo aprovechable (Bray II.) El aporte de las fracciones de fósforo al fósforo aprovechable determinado por el método Bray II, tuvo la siguiente secuencia de intensidad:

Solución de

P-unido al hierro ($r = 0,87^{++}$) > P-unido al aluminio ($r = 0,80^{++}$) > P-unido al calcio no apatítico ($r = 0,78^{++}$) > P-unido al calcio apatítico ($r = 0,493$ n.s.) > P-orgánico ($r = -0,487$ n.s.).

Las relaciones obtenidas para cada caso se presentan en las figuras 43 a 47.

Los resultados obtenidos confirman la importancia de los fosfatos de hierro y aluminio en la nutrición fosfatada de la planta, siendo menor la importancia de los fosfatos de calcio.

4.4.3 Relación entre el fósforo aprovechable, materia seca, absorción de fósforo y pH. La correlación obtenida entre el fósforo aprovechable y la producción de materia seca fue altamente significativa ($r = 0,933^{+++}$). Igual situación se presentó al correlacionar la fracción de fósforo aprovechable y la absorción de fósforo por la planta ($r = 0,81^{++}$).

En las figuras 48 y 49, se presentan las dos relaciones anteriores, las cuales conducen a la conclusión de que el método Bray II utilizado para la determinación del fósforo aprovechable, es muy adecuada para el tipo de suelos latosólicos semejantes al del presente estudio.

En la Figura 50, se presenta la relación entre el pH y los niveles de fósforo aprovechable. Es obvio que conforme mejoraron las condiciones de extrema acidez del suelo

TABLA VIII.

ECUACIONES DE REGRESION Y COEFICIENTES DE CORRELACION PARA LAS DISTINTAS VARIABLES DE RESPUESTA

| X | Y | Ecuación de Regresión | r |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| P-aprovechable Bray II ppm. | Absorción de P mgr/pote I Co-secha. | $Y=0,06+0,012X$ | 0,81 ⁺⁺ |
| P-aprovechable Bray II ppm. | Materia seca gr/pote II Co-secha. | $Y=0,60+0,10X$ | 0,933 ⁺⁺ |
| P-Fe ppm. | P-Aprovechable Bray II ppm. | $Y=-27,93+0,35X$ | 0,87 ⁺⁺ |
| P-Ca no apatítico ppm. | P-Aprovechable Bray II ppm. | $Y=5,123+0,305X$ | 0,782 ⁺⁺ |
| P-Ca apatítico ppm. | P-Aprovechable Bray II ppm. | $Y=4,49+0,51X$ | 0,493n.s. |
| P-Al ppm. | P-Aprovechable Bray II ppm. | $Y=-10,19+0,10X$ | 0,804 ⁺⁺ |
| P-Orgánico ppm. | P-Aprovechable Bray II ppm. | $Y=29,02-0,364X$ | -0,487n.s. |
| P-Fe ppm. | Absorción de P mgr/pote I Co-secha. | $Y=-0,26+0,004X$ | 0,590 ⁺ |
| P-Ca no apatítico ppm. | Absorción de P mgr/pote I Co-secha. | $Y=0,128+0,003X$ | 0,506n.s. |
| P-Ca apatítico ppm. | Absorción de P mgr/pote I Co-secha. | $Y=0,140+0,003X$ | 0,195n.s. |
| P-Al ppm. | Absorción de P mgr/pote I Co-secha. | $Y=-0,084+0,0013X$ | 0,702 ⁺⁺ |
| P-Orgánico ppm. | Absorción de P mgr/pote I Co-secha. | $Y=0,440-0,005X$ | -0,433n.s. |
| pH (KCl 1N) | P-aprovechable Bray II ppm. | $Y=-87,95+22,42X$ | 0,825 ⁺⁺ |

++ Significativo al 1%
 + Significativo al 5%
 n.s. No significativo

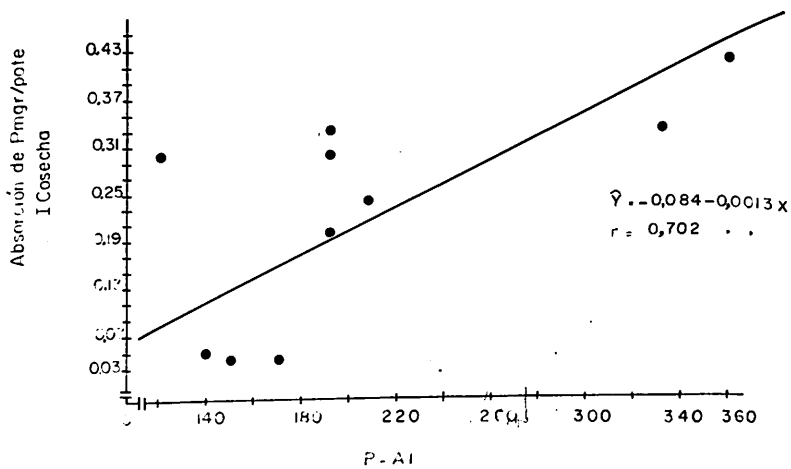


Figura No. 38

Relación entre fósforo unido al aluminio (ppm.)
y absorción de fósforo (mgr/pote) (I Cosecha).

Foto: I. Santaacruz

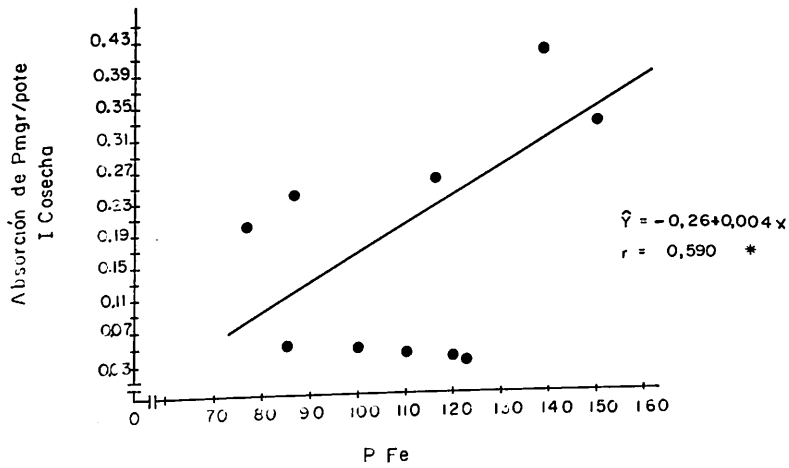


Figura No. 39

Relación entre fósforo unido al hierro (ppm.)
y absorción de fósforo (mgr/pote) (I Cosecha).

Foto; I. Santaacruz

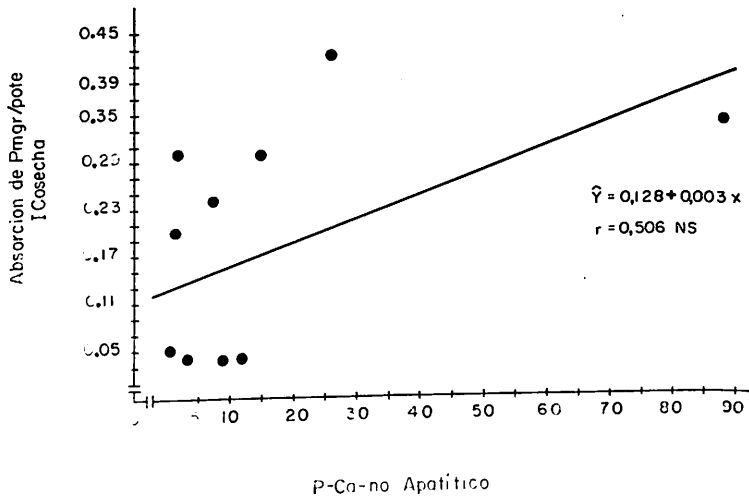


Figura No. 40

Relación entre fósforo unido al calcio no apatítico (ppm.) y absorción de fósforo (mgr/pote) (I Cosecha).

Foto: I. Santa Cruz.

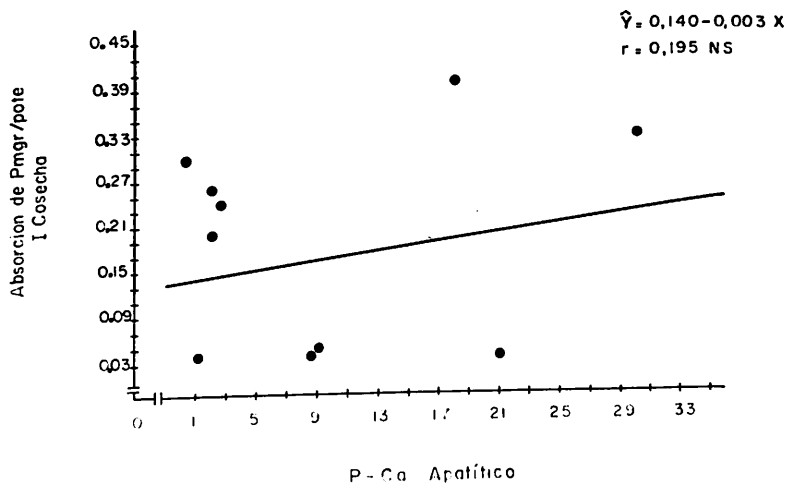


Figura No. 41

Relación entre el fósforo unido al calcio apatítico (ppm.) y absorción de fósforo (mgr/pote) (I Cosecha).

Foto: I. Santacruz

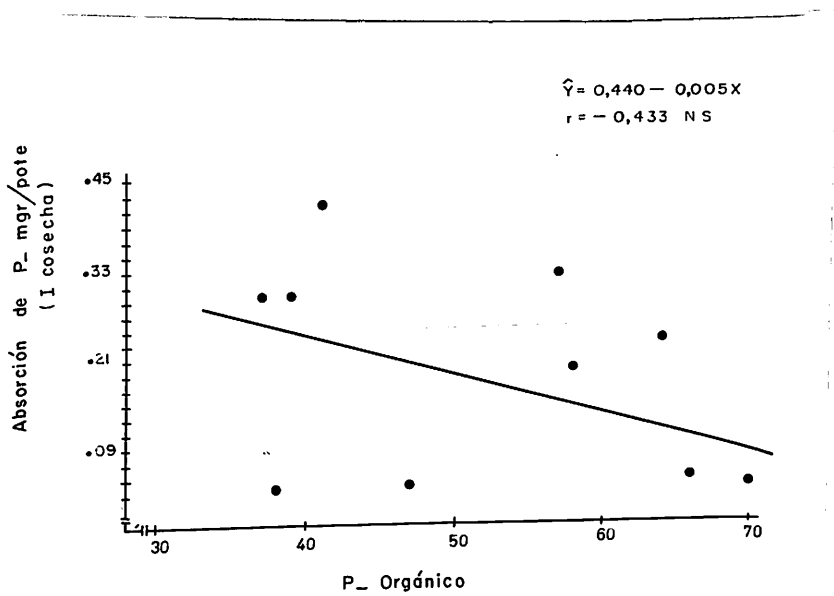


Figura No. 42

Relación entre el fósforo orgánico (ppm.) y absorción de fósforo (mgr/pote)(I Cosecha).

Foto: I. Santacruz

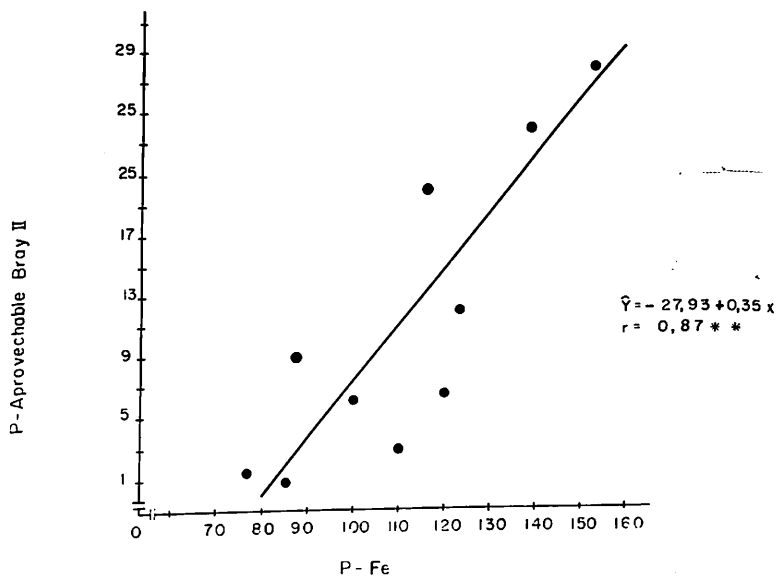


Figura No. 43

Relación entre el fósforo unido al hierro (ppm.)
y fósforo aprovechable Bray II (ppm.).

Foto: I. Santacruz.

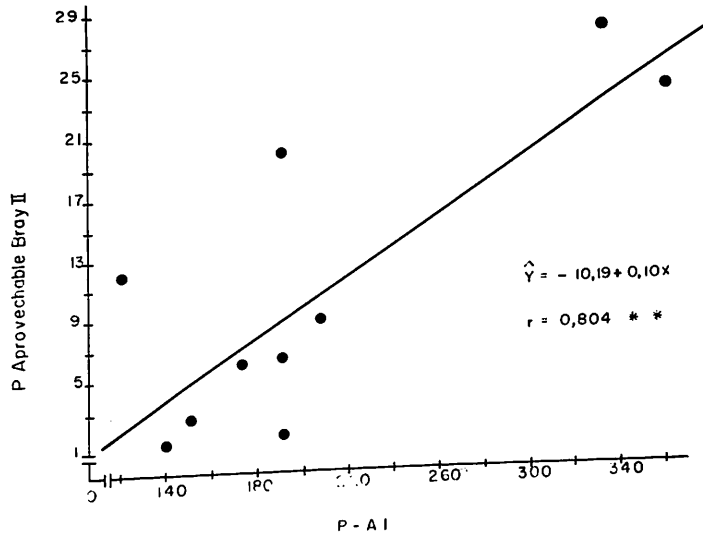


Figura No. 44

Relación entre el fósforo unido al aluminio (ppm.) y fósforo aprovechable Bray II (ppm.)

Foto: I. Santaacruz

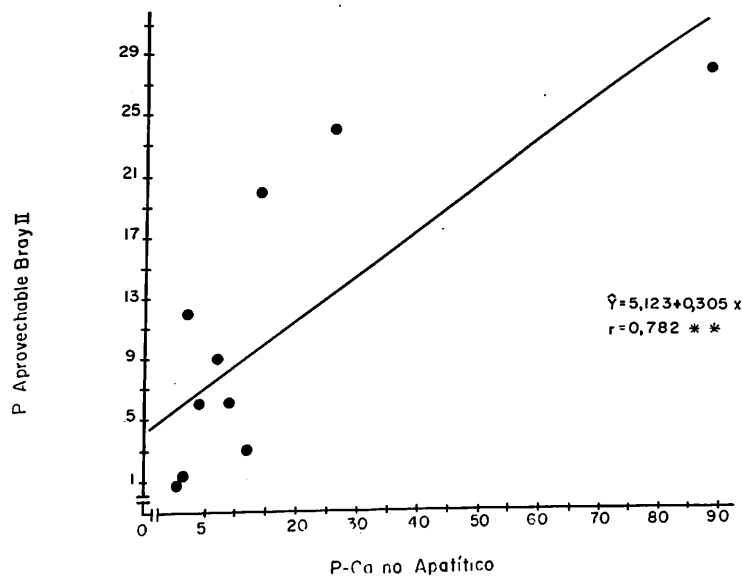


Figura No. 45

Relación entre fósforo unido al calcio no apatítico (ppm.) y fósforo aprovechable Bray II (ppm.)

Foto: I. Santacruz.

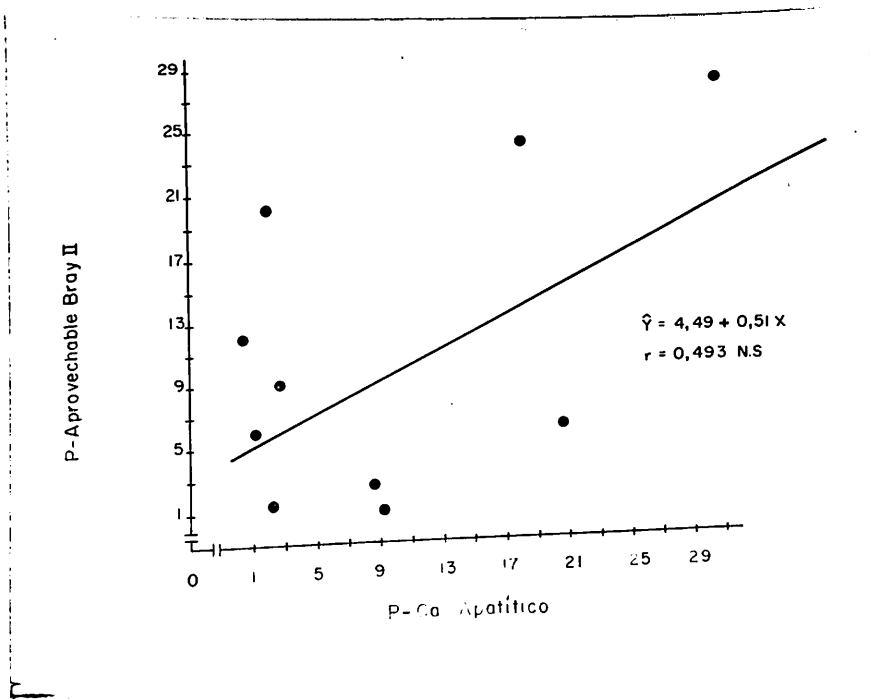


Figura No. 46

Relación entre fósforo unido al calcio apatítico (ppm.) y fósforo aprovechable Bray II (ppm.)

Foto: I. Santacruz

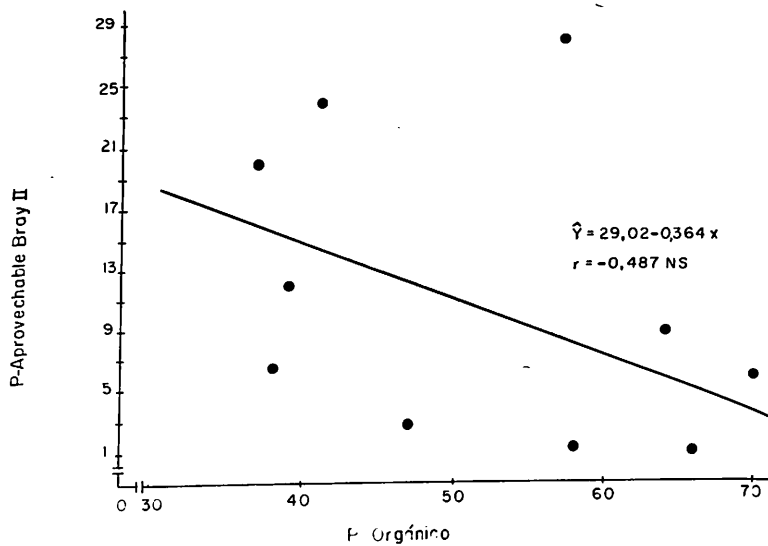


Figura No. 47

Relación entre fósforo orgánico (ppm.) y fósforo aprovechable Bray II (ppm.)

Foto: I. Santaacruz

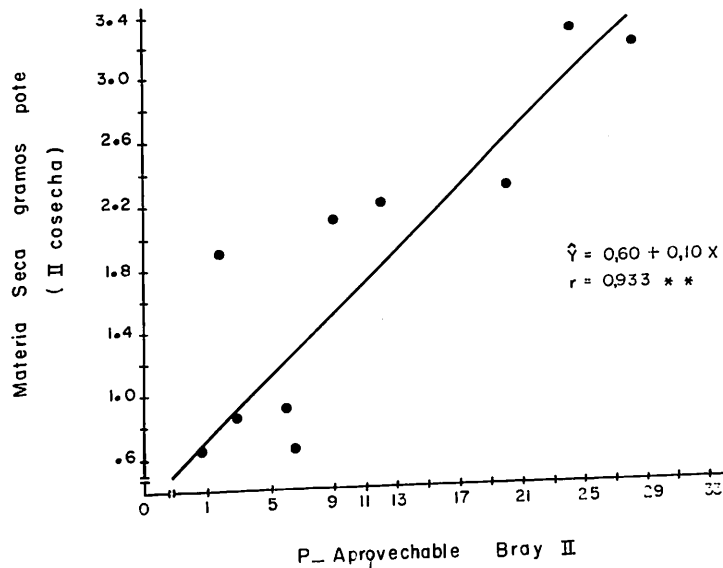


Figura No. 48

Relación entre fósforo aprovechable Bray II (ppm.) y materia seca (gr/pote) (II Cosecha)

Foto: I. Santacruz

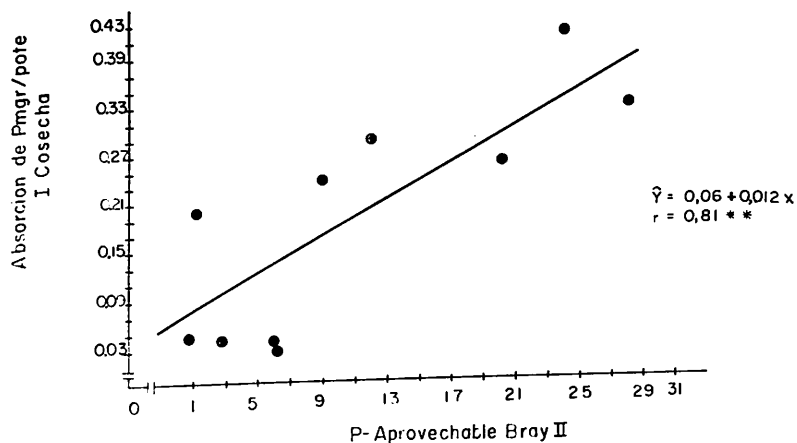


Figura No. 49

Relación entre fósforo aprovechable Bray II (ppm.) y absorción de fósforo (mgr/pote) (I cosecha).

Foto: I. Santacruz

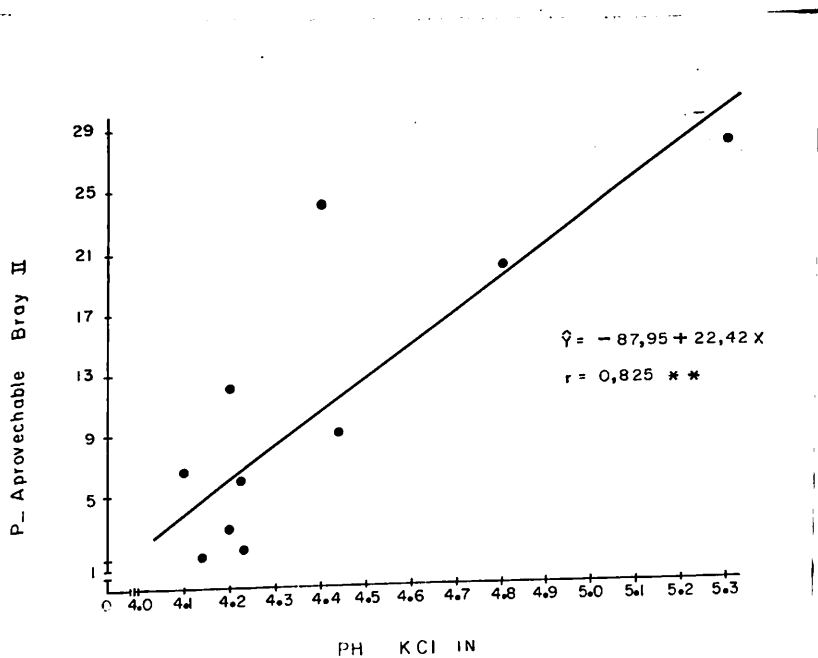


Figura No. 50

Relación entre pH (KCl 1N) y fósforo aprovechable Bray II (ppm.)

Foto: I. Santacruz

en estudio, los niveles de fósforo aprovechable se incrementaron sustancialmente.

Por lo ya discutido, se puede decir que la situación anterior está relacionada exclusivamente con las Escorias Thomas. Sin duda, esta es una de las razones por las cuales las Escorias Thomas fueron superiores al Superfosfato Triple como fuente fosfatada, sobre todo al nivel de 200 Kg/Ha.

4.5 LA FIJACION POR PRECIPITACION Y SUS RELACIONES CON LAS FRACCIONES DE FOSFORO FUENTES Y NIVELES DE FERTILIZACION.

De los resultados obtenidos (Tabla IX), se concluye que la mayor fijación se presentó hacia los fosfatos de aluminio. Este resultado es válido para las tres fuentes utilizadas. En orden de importancia siguió la precipitación hacia los fosfatos de hierro y hacia los fosfatos de calcio no apatíticos y los fosfatos de calcio apatíticos.

De todas formas, el 63% de la precipitación total se produjo por acción del aluminio hacia los fosfatos de aluminio. Esta situación es particularmente interesante por la siguiente razón :

Anteriormente se ha visto como los fosfatos de aluminio se constituyeron en la fracción que más fósforo suministró a la planta. Cabe aquí preguntarse hasta qué punto la fijación por precipitación hacia los fosfatos de aluminio, que tanta atención e importancia ha merecido por parte de los investigadores, resulta interesante o de significado práctico en el campo agronómico.

Por lo que se ha observado en la presente investi

TABLA IX

CON RELATIVA DEL FOSFORO POR PRECIPITACION

| | | ESCORIAS THOMAS | | | ROCA FOSFORICA - 22 | | | | | | | | |
|---------|-------|------------------------|--------|------------|------------------------|--------|------------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| | | P-Ca no apatít. patít. | P-Al | P-Fe Total | P-Ca no apatít. patít. | P-Al | P-Fe Total | | | | | | |
| COLOVIM | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | | | | |
| 100-S | 0,84 | 15,6 | 155,6 | 5,33 | 176,53 | 6,60 | -18,7 | | | | | | |
| 100-L | 5,10 | 15,12 | 57,81 | 35,31 | 108,24 | 9,83 | 13,1 | | | | | | |
| 100-E | 18,00 | 66,9 | 149,7 | 49,90 | 282,70 | 8,75 | -0,49 | | | | | | |
| 100-C | 34,00 | 97,62 | 363,11 | 90,54 | 567,47 | 25,18 | 13,1 | | | | | | |
| | | 41 | 44,93 | 15,12 | -8,31 | 57,81 | 35,31 | 108,24 | 9,83 | 13,1 | 58,9 | 40,3 | 122,13 |
| | | 50 | 236,23 | 66,9 | 16,2 | 149,7 | 49,90 | 282,70 | 8,75 | -0,49 | 7,38 | 19,0 | 35,13 |
| | | 91 | 409,43 | 97,62 | 16,2 | 363,11 | 90,54 | 567,47 | 25,18 | 13,1 | 138,58 | 93,43 | 270,29 |

gación, el aluminio "fija" al fósforo aplicado en cantidades muy grandes, pero posteriormente ese fósforo así inmovilizado, se solubiliza fácilmente y es suministrado a la planta. Otro tanto ocurriría con la precipitación hacia los fosfatos de calcio y hierro.

Así, se piensa que el significado agronómico de la fijación por precipitación hacia los diferentes fosfatos del suelo es de dudosa importancia práctica.

En la Figura 51 se puede apreciar como el patrón de fijación relativa fue muy similar para las Escorias Thomas y el Superfosfato Triple. En ambas fuentes, los menores niveles de fijación se obtuvieron con una aplicación de 400 Kg/Ha. y los mayores cuando se aplicaron 600 Kg/Ha.

La Roca Fosfórica, a la vista de la Figura 51 resultó en la menor fijación, especialmente al nivel de 600 Kg/Ha. Esto se explica por cuanto esta fuente no solubilizó su fósforo de manera apreciable y, obviamente, no hubo lugar a fijación intensa.

V. CONCLUSIONES

1. Los niveles de P_2O_5 incrementaron significativamente la producción de materia seca y la absorción de fósforo por la planta. El efecto de los niveles fue más acentuado en la segunda cosecha.

2. La fertilización fosfatada incrementó linealmente los fosfatos de aluminio y los de calcio no apatíticos. El efecto de los niveles sobre los fosfatos de calcio apatíticos fue cuadrático y significativo. Los fosfatos de hierro no fueron afectados por las aplicaciones de fósforo.

3. La mineralización del fósforo orgánico se incrementó con las aplicaciones de fósforo hasta conseguir un máximo al nivel de 400 Kg/Ha.

4. Las Escorias Thomas llevaron a una mayor producción de materia seca, pero la diferencia con respecto al Superfosfato Triple no fue estadísticamente detectable. Las Escorias Thomas y el Superfosfato Triple fueron igualmente hábiles para suministrar fósforo a la planta.

5. El efecto de las aplicaciones de fósforo, en forma de Roca Fosfórica, sobre materia seca, absorción de fósforo y contenido de fósforo en la planta, fue nulo a cualquier nivel o dosis.

6. Para las Escorias Thomas y el Superfosfato Triple, el efecto de la fuente dependió del nivel de aplicación. Las Escorias Thomas superaron al Superfosfato Triple, en la producción de materia seca, al nivel de 200 Kg/Ha, esta diferencia disminuyó en el nivel de 400 Kg/Ha. y no la había al nivel de 600 Kg/Ha.

7. Mientras las Escorias Thomas incrementaron sustancialmente el pH del suelo desde 4,12 (testigo) hasta 5,30 (600 Kg/Ha.), las otras dos fuentes utilizadas no modificaron el valor del pH original del suelo.

8. Los fosfatos del suelo suministraron fósforo a la planta, con el siguiente orden de intensidad:

Fosfatos de aluminio ($r = 0,702^{++}$) > Fosfatos de hierro ($r = 0,590^{+}$) > Fosfatos de calcio no apatíticos ($r = 0,506$ n.s.) > Fósforo orgánico ($r = -0,433$ n.s.) > Fosfatos de calcio apatíticos ($r = 0,195$ n.s.).

9. Puesto que las dos fracciones de fosfatos de calcio (no apatíticos y apatíticos), difieren grandemente en su aporte a la nutrición fosfatada de la planta, se concluye que la modificación a la metodología de Chang y Jackson, propuesta por Sen Gupta y Cornfield, es muy acertada.

10. El aporte de las fracciones de fósforo al fósforo aprovechable, determinado por la técnica Bray II, tuvo la siguiente secuencia de intensidad:

Fosfatos de hierro ($r = 0,87^{++}$) > Fosfatos de aluminio ($r = 0,804^{++}$) > Fosfatos de calcio no apatíticos ($r = 0,782^{++}$) > Fosfatos de calcio apatíticos ($r = 0,493$ n.s.) > Fósforo orgánico ($r = -0,487$ n.s.).

11. La correlación obtenida entre fósforo aprovechable (Bray II) y producción de materia seca fue altamente significativa ($r = 0,933^{+++}$), e indica que el método utilizado es muy adecuado para el tipo de suelos latosólicos semejantes al del presente estudio.

12. El fenómeno de precipitación hacia las diferentes

formas de fosfatos, permanece relativamente bajo hasta el nivel de 400 Kg/Ha., pero a partir de esa dosis se incrementa en forma intensa para llegar a los máximos valores en el nivel de los 600 Kg/Ha.

13. El fenómeno de precipitación del fósforo aplicado fue, al nivel del 5% de significancia estadística, independiente de la fuente fosfatada utilizada.

14. El 63% de la "fijación" por precipitación, correspondió a la producida por acción del aluminio.

15. El significado agronómico de la "fijación" por precipitación hacia los diferentes fosfatos del suelo parece ser de dudosa importancia práctica.

VI. RESUMEN

Bajo condiciones de invernadero, se llevó a cabo un experimento tendiente a evaluar el efecto de fuentes: Escorias Thomas (14% P_2O_5), Superfosfato Triple (46% P_2O_5), Roca Fosforica-22 (22% P_2O_5) y de niveles: 000, 200, 400, 600 Kg/Ha. de P_2O_5 , sobre la producción de materia seca, absorción y contenido de fósforo de la Avena forrajera (Avena sativa L.) y sobre el fenómeno de "fijación" del fósforo aplicado por precipitación hacia los diferentes fosfatos del suelo.

El suelo estudiado es un Latosol, situado en la Costa del Pacífico en el Departamento de Nariño (Colombia), a una altura de 1.249 m.s.n.m., una temperatura entre 17 y 24°C y una precipitación de 2.622 a 4.000 mm/año.

Los resultados obtenidos indicaron que:

Los niveles de P_2O_5 incrementaron linealmente la producción de materia seca, absorción de fósforo por la planta, fosfatos de aluminio y fosfatos de calcio no apatíticos del suelo.

El efecto de los niveles sobre los fosfatos de calcio apatíticos fue cuadrático, y no hubo efecto significativo ($P > 0,05$) sobre los fosfatos de hierro. La mineralización del fósforo orgánico se incrementó con los niveles de P_2O_5 hasta alcanzar un máximo al nivel de 400 Kg/Ha.

Las Escorias Thomas llevaron a una mayor producción de materia seca, pero la diferencia con respecto al Superfosfato Triple no fue estadísticamente detectable. Las Escorias Thomas y el Superfosfato Triple fueron igualmente hábiles para suministrar fósforo a la planta.

El efecto de las aplicaciones de fósforo, en forma de Roca Fosfórica, sobre producción de materia seca, absorción y contenido de fósforo en la planta, fue nulo a cualquier nivel de aplicación.

En las Escorias Thomas y el Superfosfato Triple, el efecto de la fuente dependió del nivel de aplicación. Las Escorias Thomas superaron al Superfosfato Triple en el nivel de 200 y 400 Kg/Ha., pero no hubo diferencia entre las dos fuentes al nivel de 600 Kg/Ha.

Los fosfatos del suelo suministraron fósforo a la planta con el siguiente orden de intensidad :

P-unido al aluminio ($r = 0,702^{++}$) > P-unido al hierro ($r = 0,590^+$) \approx P-unido al calcio no apatítico ($r = 0,506$ ns) > P-orgánico ($r = - 0,433$ ns) > P-unido al calcio apatítico ($r = 0,195$ ns).

A la luz de los resultados anteriores, se considera que la modificación a la metodología de Chang y Jackson, propuesta por Sen Gupta y Cornfield, es muy acertada.

El método Bray II, utilizado en la determinación del fósforo aprovechable, se considera muy adecuado para emplearse en tipos de suelos semejantes al utilizado en el estudio.

La precipitación del fósforo hacia las diferentes formas de fosfatos es relativamente baja hasta el nivel de 400 Kg/Ha, pero a partir de esta dosis se incrementa en forma intensa para llegar a los máximos valores en el nivel de los 600 Kg/Ha. Al nivel del 5% de significancia estadística, el fenómeno de "fijación" del fósforo aplicado, por precipitación, fue independiente de la fuente utilizada.

SUMMARY

Experiments were carried out under hot-house conditions to evaluate the effect of types: Escorias Thomas (14% P_2O_5), Triple Superphosphate (46% P_2O_5), Phosphoric Rock-22 (22% P_2O_5) and of quantities: 000, 200, 400 and 600 Kg/Ha of P_2O_5 , on the production of dry matter, phosphorus absorption and content in forage cats (Avena sativa L.) and on the "fixation" phenomenon of phosphorus applied by precipitation to the different phosphates in the soil.

The soil studied is lateritic, on the pacific coast of Nariño (Colombia), at 1.249 metres above sea-level, with a temperature of between 17 and 24°C and precipitation of 2.622 to 4.000 mm/year.

The results obtained showed that :

The P_2O_5 quantities increased the production of dry matter lineally, phosphorus absorption by the plant, and non apatitic aluminium and calcium phosphates in the soil.

The effect of the quantities on the apatitic calcium phosphates was quadratic and there was no significant effect ($P > 0,05$) on the non-phosphates. Mineralization of organic phosphorus increased with P_2O_5 quantities up to a maximum at 400 Kg/Ha.

Escorias Thomas encouraged greater production of dry matter but the difference in relation to Triple Superphosphate was not statistically detectable. Escorias Thomas and Triple Superphosphate were equally good for supplying the plant with phosphorus.

The effect of phosphorus application in the form of

phosphoric rock on dry matter production, phosphorus absorption and content of the plant was nil at all degrees of application.

With Escorias Thomas and Triple Superphosphate, the effect of the type depended on the degree of application. The Escorias Thomas surpassed Triple Superphosphate at the 200 and 400 Kg/Ha., levels but there was no difference between the two types at the 600 Kg/Ha. level.

Soil phosphates supplied the plant with phosphorus at the following rate:

$P\text{-al} (r = 0,702^{++}) > P\text{-Fe} (r = 0,590^+) \geq P\text{-Ca non-apatitic} (r = 0,506 \text{ n.s.}) > P\text{-organic} (r = -0,433 \text{ n.s.}) > P\text{-Ca apatitic} (r = 0,195 \text{ n.s.}).$

In the light of the previous result, we consider that the modification to the Chang and Jackson method suggested by Sen Gupta and Cornfield is justified.

The Bray II method, used in determining the P-available is considered quite adequate for use on soil types similar to those examined in the study.

Precipitation of phosphorus to the different forms of phosphates is relatively low up to the 400 Kg/Ha level, but from this dosage upwards it increases intensively to its maximum at the 600 Kg/Ha. level. At the 5% statistical value level the "fixation" phenomenon of the phosphorus applied by precipitation bore no relation to the type used.

63% of precipitation "fixation" corresponded to that produced by the action of aluminium. From the agronomic point of view the precipitation phenomenon is considered of doubtful practical value.

- VII. BIBLIOGRAFIA
1. Ahmad, N. and R.L. Jones. Forms of occurrence of inorganic phosphorus and its chemical availability in Limestone soils of Barbados. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31:184-188. 1967.
 2. Al-abbas, A.H. and S.A. Barber. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. I. Correlations of soil phosphorus with plant available phosphorus. Soil Soc. Amer. Proc. 28(2):218-221. 1964.
 3. Alban, L.A. et al. Phosphorus availability in reddish brown lateric soils: I. Laboratory Studies. Agronomy Journal. 56(6):555-558. 1964.
 4. Anónimo. Conocimientos prácticos sobre suelos. Parte II. Agric. Trop. 2(4):42-51. 1966.
 5. Anónimo. Conocimientos prácticos sobre suelos. Parte I. Agric. Trop. 2(1):49-51. 1966.
 6. Amézquita, E. y C.A. Figueroa. Estudio de sesquióxidos y sus relaciones moleculares en suelos de Naríño. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, U. de Naríño. 1970. 66p.
 7. Arambarri, P. y L. Madrid. Relación entre el fósforo total y el fósforo lábil de cuatro suelos característicos Andaluces. An. Edafol. Agrobiol. 24:683-692. 1965.
 8. Anónimo. Cambio isotópico de fósforo en suelos calizos. Justificación y cálculo. An. Edafol. Agrobiol. 18(9-10):613-628. 1959.

9. Bari, A.A. Efecto de la cal en la disponibilidad del fósforo en los suelos del Zamorano (Honduras). Ceiba, 10(2):62-65. 1964.
10. Bear, E.F. Suelos y fertilizantes. Trad. de la 4a. ed. inglesa por J. Bozal. Barcelona, Omega. 1963. 458p.
11. Beauchamp, O.E. Nutrición y abonado de las plantas económicas. Cuestiones agrícolas, 5º fascículo. Montevideo. 1949. 137p.
12. Benavides, S.T. Distribution of native phosphorus and phosphorus adsorption. Capacity of some tropical soils of Colombia. M.Sc. Thesis. Oklahoma State University. 1963.
13. Blasco, M. et al. Mineralogy of the soils of the Rio Cauca Valley. Turrialba. 19:332-339. 1969.
14. _____. Curso de Suelos II. Palmira, Facultad de Agronomía. Universidad Nacional. 1968. pp.165-191. (en mimeógrafo).
15. _____. Sinopsis edafológica del Amazonas Colombia no. IV Conferencia Internac. de la FAO., Bogotá. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, U. de Nariño. 1968. 21p. (en multilith).
16. _____ and N. Bohórquez. Fractionation of phosphorus in tropical soils of Colombia. Agrochimica. 12: 173-178. 1968.
17. Bouyoucos, G.A. A comparison between the pippete method and hydrometer method for making mechanical analysis of soil. Soil Sc. 38:335-343. 1934.

18. Bray, R.H. and L.T. Kurtz. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59:39-45. 1945.
19. Bradley, D.B. and D.H. Sieling. Effect of organic anions and sugar an phosphate precipitation by iron and aluminium as influenced by pH. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 76:175-179. 1953.
20. Bremner, J.M. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldhal method. Jour. Agric. Sci. 55:11-13. 1960.
21. Buckman, H.O. y N.C. Brady. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. S. Barceló. México, UTEHA. 1965. 590p.
22. Colombia. MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS. Compilación de los estudios geológicos oficiales en Colombia. Ministerio de Industrias. Biblioteca de Minas y Petróleos. Tomo V. Estudios practicados por el Servicio Geológico Nal. Imprenta Nal. Bogotá, 1942. 544p.
23. Collings, G.H. Fertilizantes comerciales sus fuentes y uso. 1a. ed. española. Barcelona, Salvat Edit. 1958. 710p.
24. Chai Moocho, N. and A.C. Caldwell. Forms of phosphorus and fixation in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23:458-460. 1959.
25. Chang, S.C. and M.L. Jackson. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84:133-137. 1957.
26. Dalton, J.D. et al. Effect of organic matter on phos-

- phate availability. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 73:
173-181. 1952.
27. Dean, L.A. Fixation of soil phosphorus. Advances in
Agronomy. 1:391-411. 149p.
28. Espinal, T.L. y E. Montenegro. Formaciones Vegetales
de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa eco
lógico. Bogotá, Inst. Geogr. Agustín Codazzi.
1963. 210p.
29. Fassbender, H.W. Efecto del encalado en la mejor uti-
lización de fertilizantes fosfatados en un andosol
de Costa Rica. Fitotecnia Latinoamericana. 6(1):
115-126. 1969.
30. _____ y L. Müller. Uso de enmiendas silica
tadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. II
Efecto de fertilizantes sílico-fosfatados. Turrial
ba, 19(3):368-374. 1969.
31. _____. Forms of phosphate after nine years
of superphosphate fertilization of cacao. Agrochi-
mica. 13(1-2):40-43. 1969.
32. _____. Phosphate retention and its different
chemical forms under laboratory conditions for 14
Costa Rica soils. Agrochimica. 12(6):512-521. 1968.
33. _____, L. Müller y F. Balerdi. Estudio del
fósforo en suelos de América Central. II. Formas y
su relación con las plantas. Turrialba. 18:333-
347. 1968.
34. _____. Deficiencia y fijación del fósforo en

- suelos derivados de cenizas volcánicas en América Central. Inst. Inter. Cien. Agríc. de la OEA. (p-irr). s.f. y de ...
35. FONDO ESPECIAL DE LAS NACIONES UNIDAS. Estudio de suelos de 8 millones de hectáreas en los Llanos Orientales. Informe Especial. Revista Nacional de Agricultura. Bogotá. 55(691):35-40. 1962.
36. García, J.F. Fertilización Agrícola. Zaragoza, Edit. Agrociencia (s.f.) 163p.
37. Gómez, J. et al. Comportamiento de tipos de Escorias de Siderúrgica como correctivos de acidez del suelo. Bragantia. 24(15):173-179. 1965.
38. González, A. Manual de Laboratorio de Suelos. Palmira, Fac. de Agron. U. Nacional. 1966. 117p. (en mimeógrafo).
39. Green-Wood, M. Mixed farming and fertilizers in Northern Nigeria. Proc. of the first common-wealth. Conf. on. Tropical and Sub-tropical soils: 170-184. 1949.
40. Grosse, E. Compilación de los Estudios Geológicos oficiales en Colombia. Ministerio de Industrias. Biblioteca de Minas y Petróleos. Tomo III. Imprenta Nal. Bogotá. 1935. 454p.
41. Guerrero, R.R. Estudio del efecto de dosis ascendentes de Nitrógeno, dosis ascendentes de P_2O_5 con dos formas de aplicación y de cuatro combinaciones N-P sobre la producción y composición del pasto elefante (Pennisetum purpureum, Schum). Tesis M.Sc. Turrialba, Ins.

- Inter. de Cien. Agric. de la OEA, 1969. 76p.
42. Guitian, F.O. y M. Muñoz. Efecto del encalado de los suelos ácidos. An. Edafol. Agrobiol. 19(5):261-270. 1960.
43. Hall, A.D. Estudio científico del suelo: su introducción al estudio del crecimiento de las cosechas. 5a. Ed. Trad. por José García Vicente. Madrid, Aguilar. 1961. 312p.
44. Hanotiaux, G. Studies on the dynamics of phosphorus and potassium in soil. V. Fractionation of soil phosphorus and potassium. Pedologie, Gand. 14:160-178. 1964.
45. _____ . L'étude de la dynamique du phosphore du sol par la méthode de fractionnement. Intern. Sec. Soil. Sci. Trans. Aberdeen. 1967. pp.161-173.
46. Heck, A.F. et al. Phosphate fixation and penetration in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:343-355. 1934.
47. Hemmwall, J.B. The fixation of phosphorus by soils. Advances in Agronomy. 9:95-112. 1957.
48. Hernando, V. y V. Lombardía. Absorción por el trigo del fósforo de varios suelos españoles. I. Experimentos de diferente duración. An. Edafol. Agrobiol. 25(5-6): 237-356. 1966.
49. Herrera, I.V. Trigo, cebada y avena. Palmira, Fac. de Agron. U. Nacional. 1966. 65p. (conferencias mimeografiadas).

50. Holdridge, L.R. Curso de Ecología Vegetal. Turrialba, Costa Rica. IICA. 1958. 45p. (en mimeógrafo).
51. Jacob, A. y Von, H.U. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y sub-tropicales. Fertilización. 2a. Ed. Trad. por L. López M. 1964. 626p.
52. Jackson, M.L. Análisis químico de suelos. Trad. J.B. Martínez. Barcelona, Omega. 1964. 662p.
53. Jackson, M.L. and G.D. Sherman. Chemical weathering of minerals in soils. Advances in Agronomy. 5:296-297. 1953.
54. Kaila, A. Fractions of organic phosphorus in Finnish mineral soils. Jour. Sci. Agric. Soc. Finland. 36: 1-13. 1964.
55. Kelly, J.P. and A.R. Midgley. Phosphate fixation and exchange of phosphate and hidroxyl ions. Soil Sci. 55:167-170. 1943.
56. Legarda, L. y E. Mora. Estudio de las características de algunos suelos de Nariño relacionadas con las fracciones vegetales. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, U. de Nariño. 179p. 1969.
57. León, A.S. Estudios químicos y mineralógicos de diez suelos colombianos. Agric. Trop. 20(8):442-451. 1964.
58. Letelier, G. Respuesta a la fertilización de los suelos volcánicos Chilenos (Trumaos), según resultados de ensayos de campo. Inst. Inv. Agrop. Santiago, Chile. (p.irr.) s.f.

59. López, M.A. Determinación del fósforo aprovechable en los suelos tropicales. Chinchiná, Colombia. Cenicafé. 9:(5-6):109-120. 1958.
60. Lotero, J. Formas de fósforo en el suelo, fijación y aprovechabilidad. Agric. Trop. 22(6):275-284. 1966.
61. Llano, M. del. Suelos asociados en Sabana Ecuatorial. Llanuras del Arauca, Colombia. Agric. Trop. 11:585-586. 1955.
62. Madrid, S.C. Algunas propiedades físicas y químicas de los suelos de las regiones tropicales. Medellín. Rev. Fac. Nacional de Agron. 8(29-30):1-50. 1948.
63. Martínez, A. y F. Lucena C. Nota II. Formas de fósforo An. Edafol. Agrobiol. 19:59-68. 1960.
64. Martini, J.A. Caracterización del estado nutricional de los principales latosoles de Costa Rica, mediante la técnica del elemento faltante en el invernadero. Turrialba. 19(3):395.
65. McCormick, A.N. y F. Galiano. Estudio del valor fertilizante del fosfato Thomas. Agric. Trop. 15(7):450-459. 1959.
66.

Influencia de la época de aplicación de las Escorias Thomas en suelos orgánicos ácidos. Ensayos de invernadero. Agric. Trop. 7(19):590-593. 1963.
67. Mela, M.P. Tratado de Edafología y sus distintas aplicaciones. Madrid, Edit. Dossat. 1954. 582p.

68. Memorias de la II Reunión Nacional de Suelos. I.T.A.- I.C.A. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, U. de Nariño. Public. No. 25. 73p. 1969.
69. Morillo, M.R. y H.W. Fassbender. Formas y disponibilidad de fosfatos de los suelos de la Cuenca baja del río Choluteca, Honduras. Turrialba. 18:26-33. 1968.
70. Morales, G.M. Recomendaciones tentativas de fertilizantes y cal para diversos cultivos de acuerdo con los resultados de los análisis de suelos. Ia. aprox. Separata de la Revista ICA. 3(2):91-102. 1968.
71. Mosser, F. Phosphorus fixation and the assimilation of fixed phosphates. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 4: 168-176. 1939.
72. Muñoz, R. Fertilidad de algunos suelos rojos de Andes y Betania (Antioquia). Tesis I.A. 34p. 1969.
73. Munsell. Soil Color Chart. Baltimore, Munsell Color. 1954. (sin numeración).
74. Pack, M.R. y Gómez R.S. Correlations between plant analyses and soil tests in New México. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20(4):529-531. 1956.
75. Pantoja, L.O. Fraccionamiento de fósforo en algunos suelos de clima medio en el Departamento de Nariño. Pasto, Instituto Tecnológico Agrícola, U. de Nariño. 111p. 1969.
76. PANEL SOBRE SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS EN LA AMERICA LATINA, TURRIALBA, 1969. (p. irr.)

77. Parra, H.J. Fertilidad de los suelos de la zona cafetera de Caldas. Bol. inform. Centro Nal. de Inv. de café. (Chinchiná-Colombia). 56:22-31. 1954.
78. Rondine, M.A. De y H.G. Cordero De Doral. Análisis fraccionado de los compuestos fosforados en suelos Argentinos. Rev. Investig. Agric. (Buenos Aires) 27:51-78. 1963.
79. Santaella, G. y A. González. Influencia del CaCO_3 en las propiedades químicas de un suelo de la terraza de Villarrica (Cauca). Acta Agron. 15(14):33-53. 1965.
80. Sanguino, E.L. Influencia del pH sobre la fijación del fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada. Acta Agron. 11(3-4). 1961.
81. Saunders, H.M. and E.G. Williams. Determination of total organic phosphorus in soils. Jour. Soil Sci. 6:254-260. 1955.
82. Schollenberger, C.J. and M.Simon. Determination of cation exchange properties of soil by ammonium acetate method. Soil Sci. 59:14. 1945.
83. Sen Gupta, M.B. and A.H. Cornfield. Phosphorus in calcareous soils. I. The inorganic phosphorus fractions and their relations to the amount of calcium carbonate present. Jour. Sci. Food Agric. 13:652-655.
84. Sen Gupta, M.B. and A.H. Cornfield. Phosphorus in calcareous soils. II. Determination of the organic phosphorus contents of calcareous soils and its relation to soil calcium carbonate content. Jour. Sci. Food Agric. 13:655-658. 1962.

85. Silva, N.F. Estudio químico y biológico de los suelos de Santander (Colombia). Bogotá, Lab. Químico Nal. Bol. No. 3. 1957.
86. Sotomayor, E.R. Inst. Inv. Tecnológicas. Colminas. Bogotá, D.E. 8p. (s.f.)
87. Storie, R.E. Preliminary study of Bolivian Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17:128-131. 1953.
88. Swenson, R.M. et al. Fixation of phosphate by iron, and aluminum and replacement by organic and inorganic anions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 67:3-22. 1949.
89. Tafur, N. Fraccionamiento del fósforo en algunos suelos del Valle del Sinú. Córdoba. Separata de la Revista ICA. 4(2):59-71. 1969.
90. _____. Principales características químicas de los suelos de la región algodonera de Valledupar (Cesar). Palmira, Fac. de Agron., U. Nacional. 1968. 135p.
91. Tames, C. y M.T. Peral. Bol. del Inst. Nal. de Invest. Agron. 14(31):343-352. 1954.
92. Vega, V.M. et al. Métodos analíticos de Laboratorio de Suelos. 2a. Ed. Bogotá, Inst. Geográfico Agustín Codazzi. Publ. IT-6. 138p. 1963.
93. Viera, L.S. y E. Bornemisza. Categorías de fósforo en los principales grandes grupos de suelos en la Amazona del Brasil. Turrialba, 18:242-248. 1968.
94. Walkley, A. and I.A. Black. An examination of the

Degtjarev method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38. 1934.

95. Westin, F.C. and G.J. Buntley. Soil phosphorus in south Dakota. III. Phosphorus fractions of some Borolls and Ustolls. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31:521-528. 1966.
96. Wieczorek, P.A. Ensayos de fertilidad en las tierras rojas del Valle de Medellín. Tesis I.A. 1958.
97. Zapata, A. Ll. Efectos comparativos de la Roca Fosfórica y las Escorias Thomas sobre la represión de la marchitez sorpresiva, el desarrollo y producción de la Palma Africana en la zona del Meta. I.F.A. Villavicencio. 6p. s.f. (a máquina).

A P E N D I C E

TABLA I

PRUEBA DE DUNCAN PARA MATERIA SECA gr/pote (I COSECHA)

| | | F U E N T E S | |
|------|--------------------|---------------------|------------------------------------|
| | | SUPERFOSFATO TRIPLE | ROCA FOSFORICA-22 |
| | | \bar{X}_2 | \bar{X}_3 |
| | 1,40 | 1,10 | 0,29 |
| 0,29 | 1,11 ⁺⁺ | 0,81 ⁺⁺ | Roca Fosfórica-22 \bar{X}_3 |
| 1,10 | 0,30 n.s. | --- | Superfosfato Triple \bar{X}_2 |
| 1,40 | --- | --- | Escorias Thomas \bar{X}_1 |

⁺⁺ Significativo al 1%

ns. No significativo

TABLA VI

PRUEBA DE DUNCAN PARA MATERIA SECA gr/pote (II COSECHA)

| | | F U B N T E S | |
|------|--------------------|---------------------|------------------------------------|
| | ESCORIAS THOMAS | SUPERFOSFATO TRIPLE | ROCA FOSFORICA-22 |
| | \bar{X}_1 | \bar{X}_2 | \bar{X}_3 |
| | 2,03 | 1,83 | 0,75 |
| 0,75 | 1,28 ⁺⁺ | 1,08 ⁺⁺ | ROCA Fosfórica-22 \bar{X}_3 |
| 1,83 | 0,20 n.s. | --- | Superfosfato Triple \bar{X}_2 |
| 2,03 | --- | --- | Escorias Thomas \bar{X}_1 |

++ Significativo al 1%
n.s. No significativo

TABLA III

PRUEBA DE DUNCAN PARA ABSORCION DE P. mgr/pote (I COSECHA)

| | | F U E N T E S | | |
|------|--------------------|--------------------|------------------------------------|---|
| | | ESCORIAS THOMAS | ROCA FOSFORICA-22 | |
| | \bar{x}_1 | \bar{x}_2 | \bar{x}_3 | |
| | 0,24 | 0,22 | 0,04 | 1 |
| 0,04 | 0,20 ⁺⁺ | 0,18 ⁺⁺ | Roca Fosfórica-22 \bar{x}_3 | 3 |
| 0,22 | 0,02 n.s. | --- | Escorias Thomas \bar{x}_2 | 1 |
| 0,24 | --- | --- | Superfosfato Triple \bar{x}_1 | |

⁺⁺ Significativo al 1%

n.s. No significativo

TABLA V

PRUEBA DE DUNCAN PARA CONTENIDO DE P. ppm. (I COSECHA)

| | | F U E N T E S | |
|--------|---------------------|-------------------|-----------------------------------|
| | ESCORIAS THOMAS | ROCA FOSFORICA-22 | |
| | $\bar{X}1$ | $\bar{X}2$ | $\bar{X}3$ |
| | 230,17 | 170,90 | 139,44 |
| 139,44 | 90,73 ⁺⁺ | 31,46 n.s. | Roca Fosfórica-22 $\bar{X}3$ |
| 170,90 | 59,27 ⁺⁺ | --- | Escorias Thomas $\bar{X}2$ |
| 230,17 | --- | --- | Superfosfato Triple $\bar{X}1$ |

⁺⁺ Significativo al 1%

n.s. No significativo

TABLA VI

PRUEBA DE DUNCAN PARA CONTENIDO DE P. ppm. (TI COSECHA)

| | | F U E N T E S | |
|--------|---------------------|-----------------|------------------------------------|
| | | ESCORIAS THOMAS | ROCA FOSFORICA-22 |
| | \bar{x}_1 | \bar{x}_2 | \bar{x}_3 |
| | 147,74 | 128,03 | 108,98 |
| 108,98 | 38,76 ^{††} | 19,05 n.s. | Roca Fosfórica-22 \bar{x}_3 |
| 128,03 | 19,71 n.s. | — | Escorias Thomas \bar{x}_2 |
| 147,74 | — | — | Superfosfato Triple \bar{x}_1 |

†† Significativo al 1%
n.s. No significativo

TABLA VII

PRUEBA DE DUNCAN PARA P-Ca NO APATITICO ppm.

| | | F U E N T E S | |
|-----------------|-------------|---------------------|---------------------|
| | \bar{X}_1 | \bar{X}_2 | \bar{X}_3 |
| ESCORIAS THOMAS | | SUPERFOSFATO TRIPLE | ROCA FOSFORICA-22 |
| | 27,53 | 7,66 | 6,38 |
| 6,38 | 21,15 n.s. | 1,28 n.s. | ROCA FOSFORICA-22 |
| | | | \bar{X}_3 |
| 7,66 | 19,87 n.s. | | Superfosfato Triple |
| | | | \bar{X}_2 |
| 27,53 | | | Escorias Thomas |
| | | | \bar{X}_1 |

n.s. No significativo

TABLA VIII

PRUEBA DE DUNCAN PARA P-AI ppm.

| | | F U E N T E S | |
|--------|------------|---------------------|------------------------------------|
| | | SUPERFOSFATO TRIPLE | ROCA FOSFORICA-22 |
| | | \bar{X}_1 | \bar{X}_2 |
| 218,75 | | 204,15 | 163,37 |
| 163,37 | 55,38 n.s. | 40,78 n.s. | ROCA FOSFORICA-22 \bar{X}_3 |
| 204,15 | 14,60 n.s. | | SUPERFOSFATO TRIPLE \bar{X}_2 |
| 218,75 | | | ESCORIAS THOMAS \bar{X}_1 |

n.s. No significativo

TABLA IX

PRUEBA DE DUNCAN PARA P. APROVECHABLE BRAY II ppm.

| | | F U E N T E S | |
|-----------------|---------------------|-------------------|------------------------------------|
| ESCORIAS THOMAS | SUPERFOSFATO TRIPLE | ROCA FOSFORICA-22 | |
| \bar{X}_1 | \bar{X}_2 | \bar{X}_3 | |
| 14,54 | 9,45 | 4,05 | |
| 4,05 | 10,49 ⁺⁺ | 5,40 n.s. | Roca Fosfórica-22 \bar{X}_3 |
| 9,45 | 9,05 n.s. | | Superfosfato Triple \bar{X}_2 |
| 14,54 | | | Escorias Thomas \bar{X}_1 |

++ Significativo al 1%

n.s. No significativo

TABLA IX.

ANÁLISIS DE TENDENCIA Y ECUACIONES DE RESPUESTA DE LAS DISTINTAS VARIABLES A DIFERENTES NIVELES DE P₂O₅

| Variables de Respuesta (Total) | N I V E L E S | | | | Divi sor. | ECUACION DE RESPUESTA | |
|---|---------------|-----------|---------|----------|-----------|-----------------------|---|
| | 0 | 200 | 400 | 600 | | Tendencia lineal | Tendencia cuadrática |
| Materia seca gr/pote I Cosecha | 2,2722 | 8,0858 | 9,2312 | 13,8371 | -- | Y=0,63+0,001X | ----- |
| Materia seca gr/pote II Cosecha | 5,7162 | 12,3306 | 15,4455 | 21,8582 | -- | Y=1,10+0,0014X | ----- |
| Absorción de fósforo mgr/pote I cosecha | 0,4275 | 1,4390 | 1,7388 | 2,3656 | -- | Y=0,12+0,0002X | ----- |
| Absorción de P mgr/pote II Cosecha | 0,6244 | 1,5225 | 2,5175 | 3,073 | -- | Y=0,14+0,00023X | ----- |
| P-Ca no apatítico ppm. | 5,9289 | 37,6282 | 75,1912 | 380,1655 | -- | Y=4,20+0,032X | ----- |
| P-Ca apatítico ppm. | 83,1111 | 18,0078 | 69,9954 | 171,8894 | -- | ----- | Y=0,00012X ² -0,052X +8,861 |
| P-Al ppm. | 1.262,0991 | 1725,3300 | 1509,61 | 2538,21 | -- | Y=165,31+0,10X | ----- |
| P-Aprovechable Bray II ppm. | 8,8926 | 48,7992 | 115,60 | 163,23 | -- | Y=4,94+0,015X | ----- |
| P-Organico ppm | 595,9311 | 575,2261 | 341,28 | 433,519 | -- | ----- | Cúbica |
| pH (MCl LN) | 37,05 | 38,62 | 39,21 | 41,45 | -- | Y=4,22+0,00040X | ----- |
| L I | - 3 | - 1 | + 1 | + 3 | 20 | ----- | ----- |
| C II | + 1 | - 1 | - 1 | + 1 | 4 | ----- | ----- |
| Q III | - 1 | + 3 | - 3 | + 1 | 20 | ----- | ----- |

I Tendencia lineal

II Tendencia cuadrática

!!! Tendencia cúbica

