

D. L.
01
T(518)
C. 3

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

"COMPORTAMIENTO DEL FOSFORO, EXTRAIDO POR
CAROLINA DEL NORTE Y OLSEN MODIFICADO EN
TRES SERIES DE SUELO"

TESTIS
PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA
POR

MARIO ROBERTO DIAZ MOSCOSO

EN EL ACTO DE SU INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Febrero de 1984.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. Eduardo Meyer Maldonado

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO: Ing. Agr. César A. Castañeda S.
VOCAL 1o. Ing. Agr. Oscar René Leiva Ruano
VOCAL 2o. Ing. Agr. Gustavo A. Méndez G.
VOCAL 3o. Ing. Agr. Rolando Lara Alecio.
VOCAL 4o. Prof. Heber Arana.
VOCAL 5o. Prof. Leonel Gómez
SECRETARIO: Ing. Agr. Rodolfo Albizúrez Palma

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: Dr. Antonio A. Sandoval S.
EXAMINADOR: Ing. Agr. Salvador Castillo
EXAMINADOR: Ing. Agr. Carlos Figueroa Ruiz
EXAMINADOR: Ing. Agr. Rolando Aguilera M.
SECRETARIO: Ing. Agr. Carlos René Fernández P.



| |
|------------------|
| Referencia |
| Asunto |
| |

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

30 de enero de 1984.

Ing. César Castañeda.
Decano de la
Facultad de Agronomía.
Universidad de San Carlos
de Guatemala.

Apreciable señor Decano:

Atendiendo la designación que nos hiciera el decanato bajo el cargo del Dr. Antonio Sandoval, de manera atenta hacemos de su conocimiento que hemos asesorado al Profesor MARIO ROBERTO DIAZ MOSCOSO en su trabajo de tesis titulado: "COMPORTAMIENTO DEL FOSFORO EXTRAIDO POR CAROLINA DEL NORTE Y OLSEN MODIFICADO EN TRES SERIES DE SUELOS".

Se presenta esta investigación basada en el método científico y como un trabajo proyectado a despejar las dudas del comportamiento y extracción de fósforo en suelo con alta sorción de este elemento. Consideramos que los resultados son halagadores puesto que no solo ayudan a una mejor interpretación de los resultados analíticos en el manejo de fertilizaciones fosforadas, sino que dejan una buena base para poder proyectar otras investigaciones que coadyuven al manejo de suelos con problemas de fijación de fósforo.

Al concluir nuestro asesoramiento, dicho trabajo ha llenado todos los requisitos para su aprobación, debiendo el autor hacer su defensa en el Examen General Público previo a optar su título profesional.

Es nuestro deseo dejar constancia del entusiasmo y dedicación que el profesor Díaz Moscoso mostró durante la programación y ejecución de este estudio.

Sin otro particular, nos es grato suscribirnos del Sr. De-



| |
|------------------|
| Referencia |
| Asunto |
| |

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

-2-

cano con muestras de consideración y respeto.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Químico Mario Erick Braeuner R.
ASESOR.

Ing. Agr. José Jesús Chonay P.
ASESOR.

Ing. Agr. Salvador Castillo O.
ASESOR.

SCO/jjs.

Guatemala,
Enero de 1984.

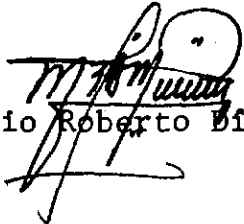
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con lo establecido en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis - titulado:

"COMPORTAMIENTO DEL FOSFORO, EXTRAIDO POR CAROLINA DEL NORTE Y OLSEN MODIFICADO EN TRES SERIES DE SUELO".

Como requisito previo para optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Esperando contar con la aprobación del mismo, me suscribo de ustedes atentamente.


Prof. Mario Roberto Díaz Moscoso

ACTO QUE DEDICO

A DIOS:

A MIS PADRES: Emilio Díaz Lemus
María Elida Moscoso de Díaz

A MIS HERMANOS: Heidi Lisbeth, Erick Estuardo,
Luis Fernando, Henry Leonardo,
Lucrecia Margarita y Walter Emilio.

A MIS ABUELITOS:

A MIS TIOS Y PRIMOS:

A: Julio César García y
Etelvina Díaz de García

A MI NOVIA: Lesbia Lissette Sánchez A.

A MIS AMIGOS
Y COMPANEROS: Especialmente a: Orlando Guevara

TESIS QUE DEDICO

A: Guatemala.

A: Facultad de Agronomía.

A: Camotán, Chiquimula.

RECONOCIMIENTOS

- A: Mis Padres, por su inquebrantable apoyo para obtener este triunfo, que sea para ellos el mejor reconocimiento a sus esfuerzos.
- A: Ing. Agr. Salvador Castillo, por su valiosa ayuda en mi formación profesional.
- A: Ing. Químico Mario E. Brauner, Jefe del Laboratorio de la Disciplina de Suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, por su cooperación y asesoramiento del presente trabajo.
- A: Ing. Agr. José J. Chonay, por la dirección técnica y asesoramiento del presente trabajo.
- A: Todo el personal técnico que labora en el Laboratorio de Suelos del ICTA, por su desinteresada colaboración. Especialmente a: Ing. Agr. Rosa María de Barrios, Lic. Inf. Rudy Sierra, Lic. Inf. Eugenia Dominguez y P.A. Anibal Sabcaja.
- A: Oscar Esquivel, por ayuda en el trabajo mecanográfico de la presente tesis.

CONTENIDO

| | Página |
|---------------------|--------|
| INDICE DE CONTENIDO | i |
| INDICE DE CUADROS | v |
| INDICE DE GRAFICAS | ix |
| RESUMEN | x |

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| I. INTRODUCCION | 1 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| III. HIPOTESIS | 4 |
| IV. REVISION DE LITERATURA | 5 |
| 1. Fósforo en el suelo | 5 |
| 2. Formas de fósforo disponible a las plantas . . . | 6 |
| 3. Cantidad de fósforo en el suelo | 7 |
| 4. Absorción del fósforo por las plantas | 8 |
| 4.1 Influencia de pH y cationes | 8 |
| 4.2 Textura del suelo | 10 |
| 4.3 Temperatura del suelo | 11 |
| 4.4 Humedad del suelo | 11 |
| 5. Funciones del fósforo en la planta | 11 |
| 6. Síntomas de deficiencia de fósforo | 13 |
| 7. Abonamiento con fósforo | 13 |
| 8. Extracción de fósforo | 14 |
| 9. Estudios de correlación de métodos de ex- tracción de fósforo | 16 |
| V. MATERIALES Y METODOS | 21 |
| 1. Características del sitio experimental . . . | 21 |
| 2. Características del material experimental . . | 21 |

| | |
|--|----|
| 2.1 Suelos | 21 |
| 2.2 Descripción de las series de suelo . . . | 21 |
| 2.2.1 Serie de suelo Ixtán | 22 |
| 2.2.2 Serie de suelo Culma | 22 |
| 2.2.3 Serie de suelo Chicaj | 23 |
| 3. Muestreo, preparación y análisis de las muestras | 23 |
| 3.1 Muestreo y preparación | 23 |
| 3.2 Características físicas y químicas . . . | 24 |
| 3.2.1 Serie de suelo Ixtán | 25 |
| 3.2.2 Serie de suelo Culma | 26 |
| 3.2.3 Serie de suelo Chicaj | 26 |
| 4. Determinación de las curvas de sorción . . . | 29 |
| 4.1 Soluciones extractoras | 29 |
| 4.2 Soluciones patrones | 29 |
| 4.2.1 Solución A | 29 |
| 4.2.2 Solución B | 30 |
| 4.2.3 Soluciones para los tratamientos de sorción | 31 |
| 4.3 Metodología del estudio de sorción . . . | 32 |
| 4.4 Curvas de sorción | 33 |
| 4.4.1 Serie de suelo Ixtán | 34 |
| 4.4.2 Serie de suelo Culma | 34 |
| 4.4.3 Serie de suelo Chicaj | 35 |
| 5. Factores a evaluar | 35 |
| 6. Características a medir | 35 |
| 7. Metodología experimental | 38 |
| 7.1 Diseño experimental y de tratamientos . . | 38 |
| 7.2 Tamaño de la unidad experimental | 38 |
| 7.3 Análisis de datos | 38 |
| 8. Manejo del experimento | 39 |

| | Página |
|---|-----------|
| 8.1 Fertilización | 39 |
| 8.2 Siembra | 42 |
| 8.3 Riego | 43 |
| 8.4 Raleo | 43 |
| 8.5 Control fitosanitario | 43 |
| 8.6 Cosecha | 43 |
| VI. RESULTADOS Y DISCUSION | 45 |
| 1. Materia seca | 45 |
| 1.1 Serie de suelo Ixtán | 45 |
| 1.1.1 Cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte | 45 |
| 1.1.2 Cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado | 47 |
| 1.2 Serie de suelo Culma | 49 |
| 1.2.1 Cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte | 49 |
| 1.2.2 Cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado | 51 |
| 1.3 Serie de suelo Chicaj | 53 |
| 1.3.1 Cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte | 53 |
| 1.3.2 Cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado | 55 |
| 2. Altura de las plantas al momento del corte . | 57 |
| 2.1 Serie de suelo Ixtán | 58 |
| 2.1.1 Cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte | 58 |
| 2.1.2 Cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado | 60 |
| 2.2 Serie de suelo Culma | 61 |

| | Página |
|---|--------|
| 2.2.1 Cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte | 61 |
| 2.2.2 Cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado | 63 |
| 2.3 Serie de suelo Chicaj | 65 |
| 2.3.1 Cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte | 65 |
| 2.3.2 Cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado | 67 |
| 3. Fósforo en el suelo | 69 |
| 3.1 Serie de suelo Ixtán | 70 |
| 3.2 Serie de suelo Culma | 70 |
| 3.3 Serie de suelo Chicaj | 71 |
| 4. Correlación entre fósforo extraído y ren- dimiento relativo | 72 |
| 4.1 Serie de suelo Ixtán | 73 |
| 4.2 Serie de suelo Culma | 75 |
| 4.3 Serie de suelo Chicaj | 76 |
| 5. Nitrógeno, Fósforo y Potasio foliares . . . | 77 |
| 5.1 Nitrógeno | 77 |
| 5.2 Fósforo | 78 |
| 5.3 Potasio | 79 |
| VII. CONCLUSIONES | 83 |
| VIII. REVISION BIBLIOGRAFICA | 84 |

INDICE DE CUADROS

| | Página |
|---|--------|
| CUADRO | |
| 1. Elementos disponibles en el suelo, extraídos por las metodologías de Carolina del Norte y Olsen Modificado | 27 |
| 2. Características químicas y físicas de las series de suelo estudiadas | 28 |
| 3. Tratamientos de sorción | 31 |
| 4. Compuestos químicos usados como fertilizantes . | 40 |
| 5. Cantidad de la solución a aplicarse, por maceta, para obtener la concentración deseada . . . | 42 |
| 6. Peso de materia seca, cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Ixtán) | 46 |
| 7. Análisis de varianza de materia seca cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Ixtán) | 47 |
| 8. Peso de materia seca, cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado (Ixtán) | 48 |
| 9. Análisis de varianza de materia seca, cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado (Ixtán) | 49 |
| 10. Peso de materia seca, cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Culma) | 50 |
| 11. Análisis de varianza de materia seca, cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Culma) | 51 |

| CUADRO | Página |
|--|--------|
| 12. Peso de materia seca cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado (Culma) | 52 |
| 13. Análisis de varianza de materia seca cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado (Culma) | 53 |
| 14. Peso de materia seca cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Chicaj) | 54 |
| 15. Análisis de varianza de materia seca cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Chicaj) | 55 |
| 16. Peso de materia seca cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado | 56 |
| 17. Análisis de varianza de materia seca cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado (Chicaj) | 57 |
| 18. Altura de plantas al momento del corte cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Ixtán) | 58 |
| 19. Análisis de varianza para altura de plantas cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Ixtán) | 59 |
| 20. Altura de plantas al momento del corte cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado (Ixtán) | 60 |
| 21. Análisis de varianza para altura de planta cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado (Ixtán) | 61 |

| CUADRO | Página |
|---|--------|
| 22. Altura de plantas al momento del corte cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Culma) | 62 |
| 23. Análisis de varianza para altura de plantas cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Culma) | 63 |
| 24. Altura de plantas al momento del corte cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado (Culma) | 64 |
| 25. Análisis de varianza para altura de plantas cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado (Culma) | 65 |
| 26. Altura de plantas al momento del corte cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Chicaj) | 66 |
| 27. Análisis de varianza para altura de plantas cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte (Chicaj) | 67 |
| 28. Altura de plantas al momento del corte cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado (Chicaj) | 68 |
| 29. Análisis de varianza para altura de plantas cuando el fósforo se extrae con Olsen Modificado (Chicaj) | 69 |
| 30. Cantidad de fósforo extraído después de la cosecha (Ixtán) | 70 |

| CUADRO | Página |
|--|--------|
| 31. Cantidad de fósforo extraído después del corte (Culma) | 71 |
| 32. Cantidad de fósforo extraído por las dos metodologías después del corte (Chicaj) | 72 |
| 33. Rendimiento relativo y coeficientes de correlación para la serie Ixtán | 74 |
| 34. Rendimiento relativo y coeficientes de correlación para la serie Culma | 75 |
| 35. Rendimiento relativo y coeficientes de correlación para la serie Chicaj | 76 |

INDICE DE GRAFICAS

| GRAFICA | Página |
|---|--------|
| 1. Curva de sorción de fósforo cuando se extrae por Carolina del Norte en las series Ixtán, Culma y Chicaj | 36 |
| 2. Curva de sorción de fósforo, cuando se extrae por Olsen Modificado en las series Ixtán, Culma y Chicaj | 37 |
| 3. Concentración de N, P, K, en plántulas de Sorgo en la serie Ixtán (cuando el fósforo del suelo se extrae con Carolina del Norte). . | 80 |
| 4. Concentración de N, P, K, en plántulas de Sorgo en la serie Ixtán (cuando el fósforo del suelo se extrae con Olsen Modificado). . . | 80 |
| 5. Concentración de N, P, K, en plántulas de Sorgo en la serie Culma (cuando el fósforo del suelo se extrae con Carolina del Norte). . | 81 |
| 6. Concentración de N, P, K, en plántulas de Sorgo en la serie Culma (cuando el fósforo del suelo se extrae con Olsen Modificado). . . | 81 |
| 7. Concentración de N, P, K, en plántulas de Sorgo en la serie Chicaj (cuando el fósforo del suelo se extrae con Carolina del Norte). . | 82 |
| 8. Concentración de N, P, K, en plántulas de Sorgo en la serie Chicaj (cuando el fósforo del suelo se extrae con Olsen Modificado). . . | 82 |

RESUMEN:

En la actualidad existen varios métodos para la determinación de fósforo, los cuales se utilizan de acuerdo a las características físicas y químicas del suelo. En nuestro país, desde hace varias décadas se ha utilizado el método de Carolina del Norte.

El objetivo de este estudio es la comparación de dos métodos químicos de análisis de fósforo: Carolina del Norte y Olsen Modificado.

Su realización se llevó a cabo en el laboratorio e inver-
nadero de la disciplina de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola.

Para dar respuesta a los objetivos e hipótesis planteadas, se utilizó un diseño completamente al azar, evaluan-
dose dos metodologías de extracción de fósforo con cinco tratamientos. La unidad experimental consistió en una maceta plástica de un litro de capacidad. Las series de suelos estudiadas son: Ixtán, Culma y Chicaj.

Los resultados relevantes indican que de las series de suelo estudiadas, las series Ixtán y Culma fijan más fósforo que la serie Chicaj. Estos resultados son similares cuando el fósforo se extrae con Carolina del Norte y Olsen Modificado.

El análisis de concentración de nutrimentos en la planta (%), en las tres series de suelo, tienen un comportamien-
to similar: el nitrógeno tiende a disminuir con las apli-
caciones crecientes de fósforo, el potasio y el fósforo

foliar aumentan, a medida que incrementan las concentraciones de fósforo aplicadas.

La biomasa y altura de las plantas en las tres series de suelo tiende a incrementarse con aplicaciones de 0 a 300 ppm de fósforo y decrece cuando se aplican cantidades mayores.

Los coeficientes de correlación entre fósforo extraído por cada metodología y el % de rendimiento relativo, para cada serie de suelo son los siguientes: para la serie Ixtán es: -0.4654 para Carolina del Norte y -0.565 para Olsen Modificado. Para la serie de suelo Culma es: -- -0.497 para Carolina del Norte y -0.766 para Olsen Modificado. Para la serie Chicaj es: -0.3303 para Carolina del Norte y -0.817 para Olsen Modificado.

Los coeficientes de correlación nos indican que la metodología de Olsen Modificado es la que correlaciona mejor con los rendimientos relativos.

I. INTRODUCCION:

El fósforo es un elemento que se encuentra tanto en forma orgánica como inorgánica en el suelo. La presencia de cualquiera de estas formas, depende de los factores físicos, químicos y biológicos presentes en el suelo. Debido a ello, es que los fosfatos en el suelo han constituido motivo de especial atención para pedólogos, químicos y agrónomos. Cada uno de ellos estudiándolos bajo diferentes puntos de vista. Los pedólogos, observando el papel que este elemento desempeña en la evolución genética de los suelos. Los químicos, caracterizando las diferentes formas de fósforo y estudiando las transformaciones a que están sujetas en el suelo, y los agrónomos por su parte, realizando determinaciones de fósforo disponible y la respuesta de la planta a la aplicación de fertilizante fosforado.

Dado que en Guatemala existen suelos con poco fósforo disponible para las plantas, es necesario dar énfasis a estudios que conlleven el propósito de despejar dudas sobre el comportamiento del fósforo, para poder establecer niveles críticos que garanticen un buen rendimiento mediante la fertilización fosforada.

Es así, como la Facultad de Agronomía en colaboración con la disciplina de Suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, ha unificado esfuerzos para realizar este estudio relacionado con la determinación analítica de fósforo en tres series de suelos,

localizados en diferentes regiones del país, y considerados como suelos altamente fijadores de fósforo. Por lo que el trabajo contempla investigar la cantidad de fósforo que estos suelos fijan.

Las series de suelos que se han seleccionado para este estudio son las siguientes: la serie Ixtán, localizada en el parcelamiento la Máquina, municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez. La serie Culma en Jutiapa y la serie Chicaj en Zacapa. Es de hacer constar, que estos suelos representan áreas bastante extensas y cultivadas en sus respectivas regiones, derivandose de ello la importancia de éste estudio.

Las metodologías de extracción de fósforo escogidas para dicho estudio son: La de Carolina del Norte (Mehlich), método que actualmente usa el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola y el método de Olsen Modificado.

Lo que se pretende en este trabajo, es evaluar las metodologías de extracción antes mencionadas en base al fósforo extraído por cada una y a los rendimientos obtenidos con sorgo forrajero a nivel de invierno, a través de un análisis de correlación. Lógicamente, la metodología que presente el coeficiente de correlación más alto, es la que proporciona datos más reales y por ende la más confiable para cada suelo.

Además, se pretende observar el comportamiento de elementos mayores como: Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la planta, cuando se le ha adicionado dosis crecientes de fósforo al suelo.

II. OBJETIVOS:

1. Estudiar la sorción de fósforo de tres series de suelos y su extracción con dos metodologías.
2. Comparar el rendimiento relativo con el fósforo extraído por las dos metodologías, bajo condiciones de invernadero.
3. Determinar y relacionar el contenido de macronutrientes en la planta con los niveles de fósforo aplicado.

III. HIPOTESIS:

1. La capacidad de sorción de fósforo es diferente para cada serie y su extracción difiere con cada metodología.
2. La relación entre rendimiento relativo y fósforo extraído, varía de acuerdo con la metodología de extracción en cada serie de suelo.
3. El fósforo afecta el contenido de nutrimentos mayores en el suelo para cada serie.

IV. REVISION DE LITERATURA:

1. Fósforo en el suelo.

El fósforo se encuentra en los suelos formando compuestos orgánicos e inorgánicos de las más diversas naturalezas (11). La importancia de los fosfatos orgánicos reside en la alta proporción que ocurre en los suelos (25-75%) y en que a través de la mineralización se convierten en una fuente significativa de fósforo disponible para las plantas (6,12, 31).

De acuerdo a la estructura química existen cinco tipos principales de compuestos fosfatados en la materia orgánica: fosfolípidos, ácidos nucleicos, fosfatos metabólicos, fosfoproteínas y los inositoles, que las sales de estos son los fitatos que pueden ser de Ca, Al y Fe (31).

Dentro de los compuestos inorgánicos podemos mencionar como importantes: la apatita, la vivianita y los fosfatos aluminicos (33).

La presencia de una u otra fracción (orgánica e inorgánica) dentro del sistema suelo, está determinado por una serie de factores. Algunos de estos son: el horizonte de que se trate, el grado de desarrollo de los suelos, el tipo de material parental, factores climáticos (temperatura, precipitación pluvial), la vegetación, la acidez del suelo, las características de solubilidad de cada compuesto, la ganulación del suelo y la capacidad de fijación del suelo (31).

2. Formas de fósforo disponible a las plantas.

El origen de fósforo en nuestro planeta lo constituyen las rocas ígneas y dentro de las rocas ígneas, el fósforo se encuentra en la apatita microcristalina (18). Pero el inmediato origen de fósforo para las plantas es el que es disuelto en la solución del suelo. Las plantas absorben fósforo como ión fosfato, que se presenta en tres formas a saber: H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} y PO_4^{3-} . El ión H_2PO_4^- es más prontamente absorbido que el ión HPO_4^{2-} por la mayor parte de las plantas (32).

En cuanto a la solubilidad del fósforo, Thompson (36), escribe que ésta disminuye a un pH inferior a 6.5 y según Scharrer (33), a un pH de 5.3, razón por la cual el hierro y el aluminio se encuentran en solución y a este valor de pH, la solubilidad del fósforo se ha reducido tanto que puede ser precipitado por cualquiera de estos elementos (36). Thompson (36), hace referencia que entre valores de 6.5 y 7.5 la solubilidad del fósforo es máxima y por encima de 7.5 la solubilidad de éste es muy baja, debido a que el calcio puede provocar su precipitación. O sea, que la solubilidad de cualquiera de los fosfatos de Ca, Fe y Al va a depender del pH (6).

Según Fassbender (12), las formas ocluidas de Fe y Al no son asimilables por las plantas, ya que tendría que removerse la capa de óxido.

El contenido de fósforo total no es un buen índice para evaluar la cantidad de fósforo en un suelo, pues posiblemente la fracción más pequeña será de fósforo disponible para la planta. Malavolta (26), expresa que la fracción más pequeña será encontrada en forma de H_2PO_4 , que es la que rápidamente será absorbida por las raíces.

La fijación de los iones fosfatos ocurre rápidamente, por lo que la cantidad de estos iones solubles en la solución del suelo disminuye con el tiempo, y es por ello que el fósforo aplicado todo aquel que no es absorbido por las plantas queda fijado en los suelos, siendo muy poco lo que se pierde por lavado (41).

3. Cantidad de fósforo en el suelo.

La solución del suelo contiene siempre varias partes por millón de fósforo, el cual es absorbido por las plantas, estos iones pueden ser de materia orgánica o por aplicación de fertilizantes (32). Según datos disponibles en suelos minerales de regiones templadas, este contenido de fósforo total oscila entre 0.029 y 0.169% (10, 22, 37). Malavolta (26), cita que esta cantidad de fósforo total debería de superar las necesidades de cualquier cosecha, pero el fósforo es limitante para la producción de muchos cultivos, a causa de que no es fósforo disponible para la planta.

La concentración de fósforo disponible en la solución del suelo, depende del ritmo de la descomposición de la materia orgánica y de la capacidad de la fracción inorgánica del suelo para reaccionar con los orthofosfatos solubles o ligeramente solubles, Tisdale y Nelson (38).

4. Absorción del fósforo por las plantas.

Los factores de mayor importancia que influyen a las plantas en la toma de fósforo son:

- a) La concentración de los iones fosfatos en la solución del suelo.
- b) Las tasas de difusión de los iones fosfatos
- c) La capacidad de las fases sólidas para renovar el contenido de los iones fosfatos en la solución del suelo (18).

Estos tres factores son controlados por diferentes características del suelo como:

4.1. La influencia del pH y cationes.

El fósforo inorgánico en su fase, puede estar en dos categorías:

- a) Sales escasamente solubles o minerales.
- b) Fosfatos adsorbidos a la superficie de las partículas del suelo.

Con relación a las sales escasamente solubles, los cationes responsables más importantes de la disponibilidad de fósforo en

el suelo son: el aluminio (Al^{+++}), el hierro (Fe^{+++}) y el calcio (Ca^{++}). Otros cationes parecen ser de menor importancia a este respecto (21).

La forma en que los fosfatos inorgánicos están presentes en los suelos son:

| <u>Fase sólida</u> | <u>Solución</u> |
|--|---|
| $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | $\text{Al}^{+++} + \text{H}_2\text{PO}_4^- + 2\text{OH}^-$ |
| $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | $\text{Fe}^{+++} + \text{H}_2\text{PO}_4^- + 2\text{OH}^-$ |
| CaHPO_4 | $\text{Ca}^{++} + \text{HPO}_2^-$ |
| $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ | $4\text{Ca}^{++} + \text{H}^- + 3\text{PO}_4^- + 3\text{H}_2\text{O}$ |
| $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ | $10\text{Ca} + 6\text{PO}_4^{---} + 2\text{OH}^-$ |
| $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$ | $10\text{Ca}^{++} + 6\text{PO}_4^{---} + 2\text{F}^-$ |

De las ecuaciones, es obvio, que las concentraciones de los iones fosfatos en solución depende de la solubilidad de las sales indicadas, de la concentración de Al^{+++} , Fe^{+++} , Ca^{++} y del pH de la solución del suelo. Los fosfatos de Fe y Al tienen baja solubilidad, así como las dos últimas apatitas, mientras que las sales más solubles de las indicadas son los CaHPO_4 . Las concentraciones de Al^{+++} y Fe^{+++} pueden considerarse simplemente como controladas por $\text{Al}(\text{OH})_3$ y $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Cuando el pH es bajo (bajas concentraciones de OH^-) en el suelo, puede dar alta concentración de Al^{+++} y Fe^{+++} y consecuentemente bajas concentraciones de iones fosfatos en solución. En muchos suelos los iones fosfatos en solución alcanza su máxima concentración entre pH de 6 a 7 (18). Según Pfannstiel (32), el fósforo es considerado más aprovechable entre pH de 6.5 a 7.5.

Al aumentar el pH se incrementan los medios de precipitación de apatitas, $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ y $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$, ambos tienen bajas solubilidades y consecuentemente contienen bajas concentraciones de iones fosfatos en la solución del suelo (18).

4.2. Textura del suelo.

La intensidad de absorción de fósforo de la solución por parte de las plantas, varía con la textura del suelo, aunque depende también de los minerales que predominan. Así, a mayor contenido de arcilla en los suelos, más fósforo es requerido en el suelo, lo contrario sucede en suelos con bajo contenido de arcilla (18).

4.3. Temperatura del suelo.

La temperatura puede incrementar o disminuir el aprovechamiento de fósforo. En muchos suelos al incrementar la temperatura incrementa la tasa de descomposición de la materia orgánica. Temperaturas excesivas arriba del óptimo interfiere en el crecimiento de plantas. La utilización de fósforo dentro de la planta es muy reducida a bajas temperaturas. Cada planta tiene su punto de partida de valores de temperatura debajo del cual el fósforo no es absorbido (32).

4.4. Humedad del suelo.

Pfannstield (32), señala que al incrementar la humedad en los suelos a un nivel óptimo, se incrementa el aprovechamiento del fósforo por las plantas y el aprovechamiento del fertilizante fosforado. La excesiva humedad, como quiera que sea, reduce la aireación, extensión de raíces y absorción de nutrientes.

5. Funciones del fósforo en la planta.

El principal papel fisiológico del fósforo consiste en la fosforilación de las sustancias orgánicas: el fosfato se combina temporalmente a

un grupo carbonilo, enólico o nítrico para formar un compuesto rico en energía el Adenosin-trifosfato (ATP), que descomponiéndose en ADP, libera esta energía que se utiliza en los procesos metabólicos. Esto viene a darle al fósforo una función esencial en la planta como estar - presentes en los procesos de transmisión de - energía (3, 8, 25).

Debido a su papel predominante en el metabolismo, participa en todos los procesos importantes de la planta, tales como, la fotosíntesis, la respiración y el crecimiento (21).

El fósforo es responsable de aquellas características de plantas en crecimiento con utilización de almidón y azúcar, formación de núcleos, división y multiplicación de células, crecimiento y formación de albumen y organización de la transferencia de la heredabilidad de las células (32).

El fósforo también influencia el hábito de floración y fructificación de las plantas, acelera la maduración (importante cuando las condiciones climáticas son adversas), incrementa la producción del grano, incrementa el desarrollo de raíces, aumenta la resistencia a enfermedades, aumenta la resistencia a sequía y temperaturas frías, fortalece el tallo, incrementa el vigor en plantas de semillero, incrementa la calidad del forraje, aumenta la palatabilidad de forrajes y vegetales y el balance de nutrientes de las plantas (32).

6. Síntomas de deficiencia de fósforo.

Los síntomas de deficiencia en general se caracterizan por una disminución general del crecimiento, los pecíolos se alargan, las hojas son delgadas y erectas, en un estado más agudo las hojas amarillean y se necrosan, con un pardeamiento rojizo y les falta brillo o lustre y -
tienden a curvarse hacia arriba. Usualmente las raíces no están bien desarrolladas (3, 25, 32).

Según Pfannstield (32), la deficiencia de fósforo puede manifestarse primero en las hojas más bajas (viejas). El fósforo es un elemento extremadamente móvil en la planta, así cuando la nutrición de fósforo parece insuficiente, es notorio que el fósforo migra de las partes viejas hacia las partes jóvenes.

7. Abonamiento con fósforo.

La mayor parte de las cosechas muestran un pobre aprovechamiento de fósforo aplicado en fertilizantes. El porcentaje de aprovechamiento -
puede variar mucho dependiendo, en la forma de fósforo, clase de suelo, crecimiento de cosecha y métodos de aplicación, generalmente de 10 a 30% de fósforo aplicado en fertilización es utilizado por los cultivos. Mucho del fósforo residual puede ser aprovechado en la siguiente -
cosecha (32).

Yufera y Carrasco (41), en cuanto a aplicaciones de fertilizante fosforado, llegaron a determinar que la cantidad de fósforo que es aprovechado por los cultivos, no excede del 25% de la cantidad aplicada, y el suelo acumula una gran cantidad del fósforo total, el cual se solubiliza lentamente, siendo utilizado paulatinamente por los cultivos en años sucesivos, a tal grado que permite disminuir y a veces suprimir el aporte de fósforo en el abonado.

8. Extracción de fósforo.

En cuanto a la determinación de fósforo, muchos tipos de soluciones extractoras han sido sugeridas y usadas, tales como: ácidos fuertes y débiles, en diversas concentraciones, soluciones de sales y de bases, soluciones amortiguadas, soluciones frías y calientes. Estas soluciones extraen diferentes cantidades de fósforo, algunas solamente las formas fácilmente solubles en ácidos diluidos o el fósforo adsorbido. La química de métodos analíticos para determinar la fertilidad de suelos es sumamente difícil de expresar en términos de la química pura debido a las interacciones entre los reactivos empleados y los sistemas complejos del suelo. De donde, de acuerdo a las correlaciones establecidas por varios investigadores, se ha demostrado ampliamente la conveniencia del uso de cierta solución extractora en un caso determinado (7).

En las últimas décadas en América Latina, se ha puesto mucho énfasis en programa de análisis químico de suelos, especialmente el fósforo, elemento que se ha encontrado como limitante en muchas áreas agrícolas (30), especialmente se ha encontrado deficiencia de fósforo en determinados suelos del Brasil (4, 16), Colombia (23), Chile (20), Costa Rica (24) y Honduras (29), como en otros países (15).

Algunos organismos internacionales, tales como, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), y el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA (IICA) se han interesado por la coordinación de programas de análisis de suelos y la evaluación de los adelantos realizados en este campo en los países latinoamericanos (14, 15, 21).

Es así, como en nuestro país durante la década de los 40, se ensayaron diferentes técnicas de análisis de suelos, sencillas y de bajo costo. En el año de 1965, por convenio entre la Universidad de Carolina del Norte y el Ministerio de Agricultura, se introdujo la metodología actualmente en uso y que utiliza la solución Mehlich (HCl 0.05 N y H₂SO₄ 0.025 N).

Díaz y Hunter (9), a través de sus experiencias han observado que la solución doble de ácido débil de Carolina del Norte (Mehlich), es ampliamente usada para suelos con pH debajo de

6.5 y la solución NaHCO_3 (Olsen) para suelos con un amplio rango de pH, desde ácido hasta al calino.

Los análisis químicos de suelos como métodos para averiguar el estado de fertilidad de los suelos son muy utilizados, especialmente por ser estos análisis relativamente fáciles de hacer y por requerir poco tiempo se obtiene una respuesta en forma rápida y económica. Pero la mayoría de los métodos químicos se basan en lo siguiente: cuando un suelo es agitado con una solución extractora por un tiempo determinado se extrae cierta cantidad de nutrimentos minerales en forma análoga como lo harían las raíces de una planta. La cantidad del elemento extraída por consiguiente se denomina también cantidad aprovechable del nutrimento (7).

Encontrar una solución extractora satisfactoria es tarea difícil por los muchos factores relacionados con las reacciones del elemento en el suelo y por la variabilidad de las condiciones en el campo que controlan la absorción de dicho elemento mineral por las raíces de las plantas. Esto se torna especialmente difícil en el caso del fósforo (7).

9. Estudios de correlación de métodos de extracción de fósforo.

Se han realizado varias investigaciones en cuan-

to a correlación de métodos de extracción de - fósforo. En estudios de fósforo realizados por Luna y Müller, ambos citados por Waugh (40), estudiando la respuesta del fósforo en macetas y usando dos metodologías de extracción, llegaron a determinar que el método de extracción - ácido (0.05 N de HCl + 0.025 N de H₂SO₄), extrajo mucho más fósforo de los suelos que la planta, especialmente en suelos calcareos. Por - otro lado, la solución alcalina de Olsen (0.5 N de NaHCO₃, pH 8.5) dio una correlación con fósforo disponible a la planta sumamente aceptable en todos los suelos estudiados del Perú. Ambos, recomiendan, que de acuerdo a sus estudios, no usar métodos de extracción ácida. El método de Olsen parece lo mejor para el rango amplio de suelos de la zona Andina (desde ácidos hasta - alcalinos), tanto desde el punto de vista teórico como en la manera en que se correlacionó con el fósforo disponible a plantas en estos estudios.

De acuerdo a estos investigadores, los datos por ellos obtenidos indican que hay suficiente información para adoptar el método de Olsen para la evaluación de fósforo en todo el Perú.

El extractante de Carolina del Norte, se había usado en Costa Rica y Nicaragua por muchos años, pero Balerdi et al (1), realizaron estudios en los que concluyen que el extractante de Olsen a base de bicarbonato de sodio fue mejor que el

de Carolina del Norte, método el cual, no lo recomiendan para análisis de suelos en los países centroamericanos.

Mascarreño et al (27), correlacionando métodos de extracción de fósforo (Bray P-1, Peech y Olsen), en suelos de reacción alcalina, con rendimientos de algodón, encontraron coeficientes de 0.117, 0.137 y 0.831 respectivamente.

Mascarreño et al (28), probaron tres metodologías de extracción de fósforo (Olsen, Bray P-1 y Peech), en donde encontraron coeficientes de correlación de 0.732, 0.700 y 0.288 respectivamente. Ellos concluyeron que el método de Olsen ofrece muy buena posibilidad de calibración para fines de análisis de fósforo asimilable en suelos y recomendaciones de fertilización fosfata.

Morrillo y Fassbender (29), evaluando las formas y disponibilidad de fosfatos en los suelos de la cuenca bajo el río Choluteca, Honduras, encontraron que el método de Olsen dio mejores resultados que las soluciones de Mehlich y Bray P-1, en evaluaciones rápidas de las necesidades de fertilización.

Galeano et al (17), en la determinación de varios métodos químicos para determinar el fósforo asimilable en suelos arroceros de Colombia, llegaron a la conclusión que de cuatro métodos empleados (Bray P-1, Olsen, Bray-2 y Troug modi

ficado), el método de Olsen en suelos sin inundar e inundados, da lugar a una muy estrecha correlación entre el fósforo extraído y el porcentaje de la capacidad del suelo para suministrar fósforo, o en otras palabras, que es el método que mide con bastante precisión la cantidad de fósforo aprovechable que existe en el suelo.

Balerdi et al (1), en un estudio de fósforo en 104 suelos de América Central, compararon cinco métodos químicos de análisis de fósforo disponible, siendo estos métodos Egner-Riehm, Olsen, Bray P-1, Mehlich y Saunder, llegaron a la conclusión que el método más adecuado para evaluar el fósforo aprovechable en suelos de América Central es el de Egner-Riehm ($r = 0.947$). El método de Olsen ($r = 0.870$), es el que sigue en orden de significancia y no es de extrañar que éste ha sido propuesto ya como el más adecuado para la determinación de fósforo en otros estudios realizados en América Latina, anotando que correlaciona muy bien en suelos neutros y predominancia de fosfatos de calcio (2, 18, 41).

El método de Olsen también ha tenido uso muy generalizado en los laboratorios de otros muchos países (5). Entre los países que usan específicamente la metodología de Olsen están: Irán, Israel, Pakistan, Reino Unido, Tunez. Por otro lado, hay países como Estados Unidos, que usan el método de Carolina del Norte específicamente

para suelos ácidos y para suelos alcalinos el método de Olsen. Además, países como España, Grecia, India usan Bray P-1 para suelos ácidos y Olsen para suelos alcalinos (18).

V. MATERIALES Y METODOS.

1. Características del sitio experimental.

El presente trabajo se realizó en el laboratorio e invernadero de la disciplina de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA).

2. Características del material experimental.

2.1. Suelos.

Para seleccionar las muestras de suelos que se trabajaron en este estudio, se procedió a revisar los archivos del laboratorio de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, habiendo elegido las series de suelos que presentaban mayor problema de fijación de fósforo.

Las series de suelos son:

- a. Ixtán, del parcelamiento la Máquina, municipio de cuyotenango, Suchitepéquez.
- b. Culma, del Departamento de Jutiapa.
- c. Chicaj, de la Fragua, Departamento de Zacapa.

2.2. Descripción de las series de suelo.

De acuerdo a Simmons et al (34), las principales características de las series de

suelo estudiadas son las siguientes:

2.2.1. Serie de suelo Ixtán:

El área total de esta serie de suelo es de 55,556 ha. El material de origen, es ceniza volcánica cementada de color claro (aluvión), relieve casi plano, declive dominante del 1 al 3%. La suceptibilidad a la erosión es ligera, el color del suelo superficial es café oscuro, y la textura y consistencia de suelo superficial es arcillosa plástica. El espesor de suelo superficial es de 10 cms, la capacidad de retención de humedad es alta y una fertilidad natural alta. El problema especial en el manejo es por su textura pesada.

2.2.2. Serie de suelo Culma:

El área total es de 53,608 ha. El material de origen es lahar con contenido alto de material máfico, relieve ondulado a fuertemente ondulado y declive dominante de 5 a 12%. La suceptibilidad a la erosión es alta, el color del suelo superficial es café oscuro, y la textura y consistencia de suelo -

superficial, franco arcillosa, pedregosa, friable. Espesor de suelo superficial, 25 a 30 cm, capacidad de retención de humedad alta y una fertilidad natural moderada. El problema especial en el manejo del suelo es la pedregosidad y el combate de la erosión.

2.2.3. Serie de suelo Chicaj:

El área total es de 5,830 ha. El material de origen es ceniza volcánica cementada de color claro, relieve casi plano, declive dominante de 0 a 12%. La susceptibilidad a la erosión es baja, el color del suelo superficial es gris oscuro, y la textura y consistencia de suelo superficial, arcilla plástica. Espesor de suelo superficial es de 25 a 50 cm, con una capacidad de retención de humedad baja y una fertilidad natural media. El problema especial en el manejo del suelo es el mejoramiento de la estructura.

3. Muestreo, preparación y análisis de las muestras.

3.1. Muestreo y preparación:

Para el muestreo y preparación de las muestras, se hicieron de acuerdo a los criterios de Waugh y Fitts (39).

Las muestras fueron tomadas con la mayor representatividad en varios puntos de las áreas seleccionadas, habiéndose recolectado aproximadamente 50 Kg de cada una.

Las muestras fueron identificadas, secadas, homogenizadas y tamizadas.

3.2. Características físicas y químicas:

De cada una de las muestras de suelo se tomó una sub-muestra para hacer el análisis de caracterización.

Los análisis físicos que se efectuaron fueron: La textura, determinada por el método del hidrómetro de Boyoucos, y la densidad aparente por el método de la probeta.

Los análisis químicos fueron: La materia orgánica, determinada por el método de combustión húmeda de Walkley-Black. Las bases intercambiables, lixiviadas con acetato de amonio 1 N, pH 7.0 y leídos por medio del espectrofotómetro Perkin Elmer, modelo 103. Los elementos menores extraídos con HCl 0.1 N y leídos en el espectrofotómetro Perkin Elmer, modelo 372. Para la determinación de pH, se usó el potenciómetro Seromatic SS-3 con electrodos de -

vidrio, usando relación suelo:agua, 1 a 2.5

El procedimiento utilizado para la determinación de fósforo es el que recomienda Diaz y Hunter (9), utilizando para su lectura el colorímetro Perkin Elmer, modelo 295E. Además se determinaron los elementos disponibles, potasio, calcio y magnesio, los - cuales fueron extraídos por las metodolo-gías de Carolina del Norte y Olsen Modifi-cado.

Las características físicas y químicas de las series de suelo estudiadas, antes de iniciar el experimento se presentan en los cuadros Nos. 1 y 2.

3.2.1. Serie de suelo Ixtán:

Para esta serie de suelo se midió un pH de 6.5 lo que corresponde a un pH debilmente ácido, el contenido de materia orgánica fue de 3.35%, el que se considera ligeramente bajo, el calcio y el magnesio están aceptables, así como la CIC. Es - decir, que este suelo presenta un grado de fertilidad bueno para la producción de cosechas. El problema que presenta este suelo es que su contenido de fósforo es bajo, el cual se debe a su contenido de arcilla, que es de 56%.

3.2.2. Serie de suelo Culma:

Tiene un pH de 5.4, el que corresponde a un pH ácido. La materia orgánica es de 2.48 la que se considera baja. La CIC está baja y los elementos disponibles P y K - están aceptables, pero el calcio se considera bajo. En general el grado de fertilidad se considera bajo.

La textura de este suelo es franco arcillo arenoso, con un contenido de arcilla de un 27% y se considera como un suelo altamente fijador de fósforo, pero esta característica se debe al contenido de hierro que es de 46.4 ppm.

3.2.3. Serie de suelo Chicaj:

Esta serie de suelo tiene un pH de 6.8, el cual se considera como muy debilmente ácido. En cuanto a - aportación de nutrimentos, esta - serie de suelo es muy buena, pues tiene su CIC muy alta al igual que su porcentaje de saturación de bases. Los elementos disponibles como K, Ca y Mg son aceptables, a excepción del fósforo que está -

ligeramente bajo. La clase textural es arcillosa con un contenido de arcilla de 41%. La materia orgánica está baja.

Cuadro No. 1.

Elementos disponibles en el suelo, extraídos por las metodologías de Carolina del Norte y Olsen Modificado.

| Serie de Suelo | Metodología de extracción. | ppm "P" | ppm "K" | meq/100 "Ca" | meq/100 "Mg" |
|----------------|----------------------------|---------|---------|--------------|--------------|
| Ixtán. | Carolina del Norte. | 3.35 | 210 | 12.96 | 2.96 |
| | Olsen Modificado. | 3.34 | 180 | 7.48 | 1.72 |
| Culma. | Carolina del Norte. | 13.75 | 145 | 5.22 | 1.59 |
| | Olsen Modificado. | 18.35 | 145,2 | 2.99 | 0.89 |
| Chicaj. | Carolina del Norte. | 7.92 | 275 | 14.97 | 2.46 |
| | Olsen Modificado. | 6.68 | 225 | 9.21 | 1.83 |

Cuadro No. 2.

Características químicas y físicas de las series de suelos estudiados.

| Características | Serie de suelos | | |
|------------------------------|-----------------|------------------------|---------|
| | Ixtán | Culma | Chicaj |
| pH en agua. | 6.5 | 5.4 | 6.8 |
| Ca meq/100 g. | 13.65 | 5.15 | 27.57 |
| Mg meq/100 g. | 3.13 | 1.35 | 4.30 |
| Na meq/100 g. | 0.23 | 0.25 | 2.45 |
| K meq/100 g. | 0.79 | 0.46 | 1.26 |
| H meq/100 g. | 8.79 | 3.94 | ---- |
| Ca/Mg. | 4.36 | 3.81 | 6.41 |
| Mg/K. | 3.96 | 2.93 | 3.41 |
| <u>Ca + Mg</u> | 21.24 | 14.13 | 25.29 |
| K | | | |
| Acidez extraíble meq/100 ml. | 0.5 | 0.4 | 0.22 |
| CTI. | 26.59 | 11.15 | 32.21 |
| % SB. | 66.94 | 64.66 | 100.00 |
| Fe ppm. | 19.4 | 46.4 | 9.4 |
| Cu ppm. | 6.5 | 3.1 | 1.7 |
| Mn ppm. | 97.2 | 98.0 | 94.0 |
| Zn ppm. | 2.7 | 3.6 | 1.1 |
| % Materia Orgánica. | 3.35 | 2.48 | 2.11 |
| Densidad aparente g/cc. | 0.78 | 0.70 | 0.77 |
| % Arcilla. | 55.94 | 27.23 | 40.68 |
| % Limo | 19.23 | 14.44 | 20.13 |
| % Arena | 24.83 | 58.33 | 39.19 |
| Clase Textural. | Arcilla | Franco Arcillo Arenoso | Arcilla |

4. Determinación de las Curvas de Sorción.

4.1. Soluciones extractoras.

a. Carolina del Norte:

Esta compuesta de 0.05 N HCl + 0.025 N de H_2SO_4 . Para la extracción con esta metodología se usa la relación solución extractora: suelo, 5 a 1, con cinco minutos de agitación y filtrar con papel Whatman No. 2 (9).

b. Olsen Modificado:

Está compuesta de 0.5 N de $NaHCO_3$ pH 8.5, 0.01 M de EDTA y Superfloc 127. Para la extracción con este método se usa una relación solución extractora: suelo, 10 a 1, con 10 minutos de agitación y filtrar con papel Whatman No. 2 (9).

4.2. Soluciones Patrones:

Para la preparación de las soluciones de sorción se siguieron las indicaciones dadas por Díaz y Hunter (9). El procedimiento fue el siguiente:

4.2.1. Solución A:

- a. Se disolvieron 7.2 g de $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ en aproximadamente 200 ml de agua destilada.

- b. Se disolvieron 2.14 g de $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en aproximadamente 200 ml de agua destilada.
- c. Se disolvieron 3.34 g de ZnCl_2 en aproximadamente 200 ml de agua destilada.
- d. Se mezclaron las tres soluciones anteriores y se completaron a 1 litro. Esto dió una solución conteniendo las siguientes concentraciones:

$\text{Cu} = 800 \text{ ug/ml.}$

$\text{Mn} = 2000 \text{ ug/ml.}$

$\text{Zn} = 1600 \text{ ug/ml.}$

4.2.2. Solución B:

- a. Se disolvieron 6.15 g de KH_2PO_4 en aproximadamente 1500 ml de agua en un matraz aforado de 2 litros.
- b. Se agregaron 100 ml de la solución A al matraz aforado conteniendo la solución de KH_2PO_4 y se completó el volumen hasta 2 litros con agua destilada. La solución B contiene las siguientes concentraciones:

P = 700 ug/ml.
Cu = 40 ug/ml.
Mn = 100 ug/ml.
Zn = 80 ug/ml.
K = 2.27 meq/100 ml.

4.2.3. Soluciones para los tratamientos de sorción:

A partir de la solución B, se prepararon por dilución a 100 ml las cantidades indicadas, con las que se efectuó una serie de cinco tratamientos de sorción, como se indica en el cuadro No. 3.

Cuadro No. 3.

Tratamientos de sorción.

| Tratamiento de "Sorción" Número | ml de solución B diluidos a 100 ml. | Concentración de elementos en las soluciones de tratamientos de sorción. | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|--|----|----|------------|------|
| | | P | Cu | Mn | Zn | K |
| | | ug/ml | | | meq/100 ml | |
| 1 | 5 | 35 | 2 | 5 | 4 | 0.11 |
| 2 | 10 | 70 | 4 | 10 | 8 | 0.22 |
| 3 | 20 | 140 | 8 | 20 | 16 | 0.45 |
| 4 | 40 | 280 | 16 | 40 | 32 | 0.90 |
| 5 | 80 | 560 | 36 | 80 | 64 | 1.80 |

4.3. Metodología del estudio de sorción:

Para el estudio de sorción se usaron 11 recipientes plásticos de 50 ml de capacidad, de donde se hicieron tratamientos con dos repeticiones y un testigo.

Los análisis de "sorción" se hicieron para cada serie de suelo y siguiendo las dos metodologías de extracción. Cuando se usó la solución de Carolina del Norte, se utilizaron 5 ml de suelo y cuando se usó la solución de Olsen Modificado 2.5 ml de suelo. La relación suelo: solución fue de 1 a 1. Al recipiente No. 1, se le adicionó agua destilada. A los recipientes Nos. 2 y 7 se les agregó la solución de sorción 1, a los recipientes Nos. 3 y 8, se les agregó la solución de sorción 2, a los recipientes Nos. 4 y 9 se les agregó la solución de sorción 3, a los recipientes Nos. 5 y 10, se les agregó la solución de sorción 4 y a los recipientes Nos. 6 y 11, se les agregó la solución de sorción 5.

Después de que todas las soluciones fueron agregadas al suelo, se agitaron suavemente los recipientes, para que toda la solución se mezclara con el suelo, luego se dejaron los recipientes destapados en lugar libre de polvo hasta que su contenido estuvo seco, lo que generalmente toma de tres a cuatro días.

Luego de que las muestras fueron secadas al aire, se agregaron 25 ml de cada una de las soluciones extractoras, se agitaron y se filtraron. Por último se analizaron los varios elementos en el filtrado, utilizando el procedimiento rutinario para cada uno de ellos.

Por recomendación del Laboratorio de Suelos del ICTA, basado en experiencias con los suelos de la serie "Ixtán", se hizo también un estudio de sorción para azufre, ya que este elemento se ha considerado como factor limitante en la producción de cosechas. Para la sorción de azufre se usaron 5.44 g de K_2SO_4 y 0.88 g de $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ por litro de agua. Se hicieron diluciones, para obtener concentraciones de soluciones de 10, 20, 50, 100 y 200 ug/ml de azufre.

4.4. Curvas de "Sorción":

Con los datos de sorción de los elementos, se construyeron gráficas, colocando en el eje de las "x" la cantidad del elemento agregado y en el eje de las "y" la cantidad del elemento extraído.

En este trabajo únicamente se han tomado en cuenta las curvas de sorción de fósforo, ya que estas curvas se han usado para determinar la cantidad de fósforo a agregar en el estudio de invernadero.

Los resultados de los estudios de sorción de fósforo se presentan en las gráficas - Nos. 1 y 2, para las tres series de suelos, estudiados por las dos metodologías de extracción.

4.4.1. Serie de suelo Ixtán:

De las tres series de suelos en estudio, es la que presenta la mayor fijación de fósforo, pues, con las metodologías de Carolina del Norte y Olsen Modificado, se extrajo muy poco fósforo del aplicado, fijando gran parte del mismo. En cuanto a comparación de las metodologías de extracción, Olsen Modificado tiende a extraer más fósforo que Carolina del Norte.

4.4.2. Serie de suelo Culma:

Después de la serie Ixtán, la serie Culma es la segunda en fijar más fósforo. En esta serie de suelo, la metodología de Carolina del Norte extrae más fósforo que Olsen Modificado. Esto se debe a que el pH de la serie Culma es de 5.4, y a este pH, Díaz y Hunter (9), confirman que la metodología de Carolina del Norte extrae más fósforo que Olsen Modificado.

4.4.3. Serie de suelo Chicaj:

En cuanto a fijación de fósforo, esta serie se considera baja en este aspecto, pues, con cada nivel de aplicación de fósforo, se extrajeron cantidades considerables con ambas metodologías. Comparando las metodologías de extracción en esta serie de suelo, Carolina del Norte extrae un poco más que Olsen Modificado.

Tomando como base las curvas de sorción al observar el comportamiento del fósforo en relación a niveles aplicados, se establecieron los tratamientos de fósforo a aplicarse al suelo en el estudio de invernadero.

5. Factores a evaluar.

Los factores que se evaluaron en el presente trabajo son: Los niveles de fósforo agregados a cada serie de suelo y cantidades de fósforo extraídas por las metodologías de Carolina del Norte y Olsen Modificado.

6. Características a medir.

Las características a medir fueron: La altura de las plantas al momento del corte, el peso de

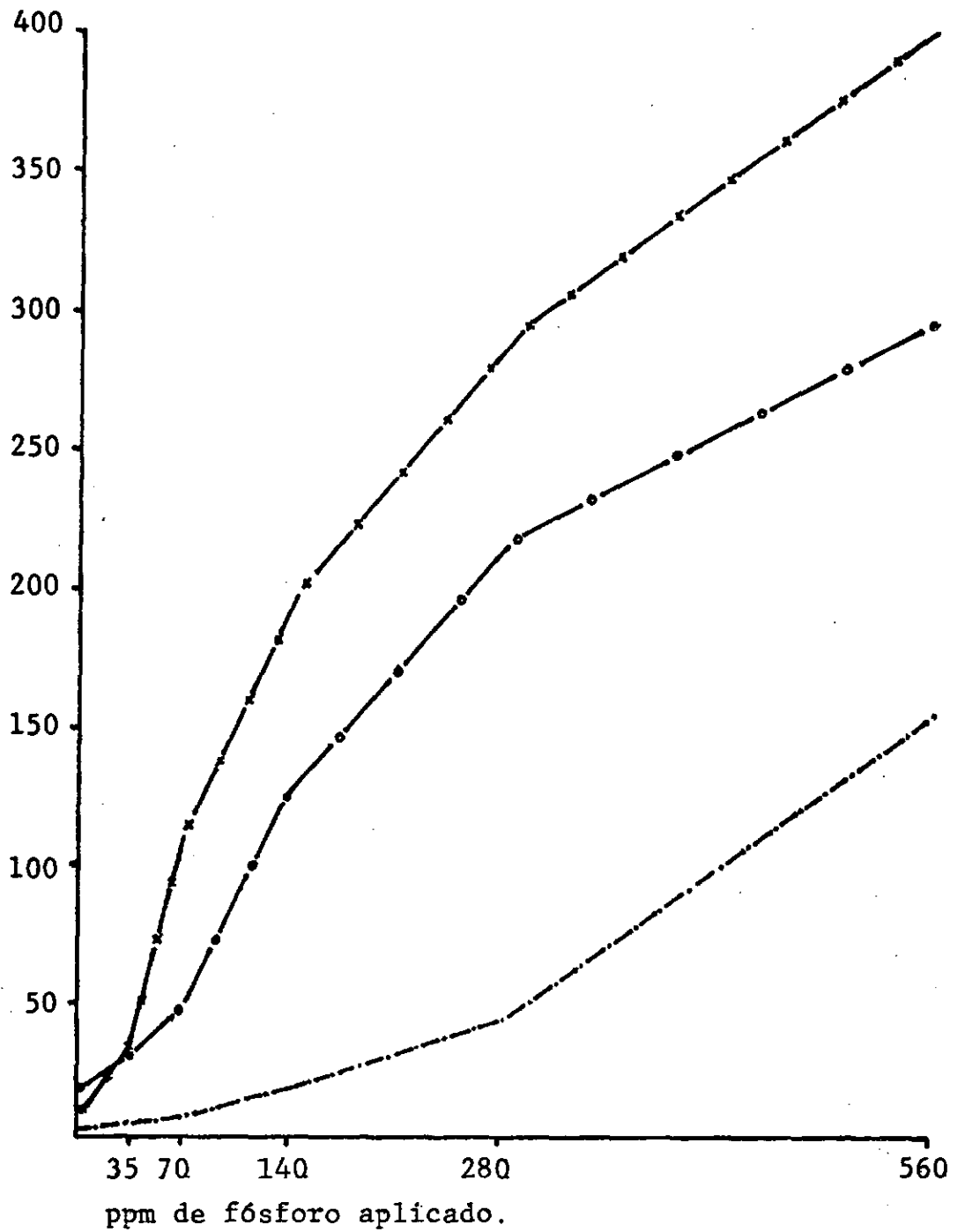
Referencia:

Serie Ixtán: - · - · - · - · - · - · - · - ·

Serie Culma: - ○ - ○ - ○ - ○ - ○

Serie Chicaj: - × - × - × - × - ×

ppm de
fósforo
extraído



Gráfica No. 1.

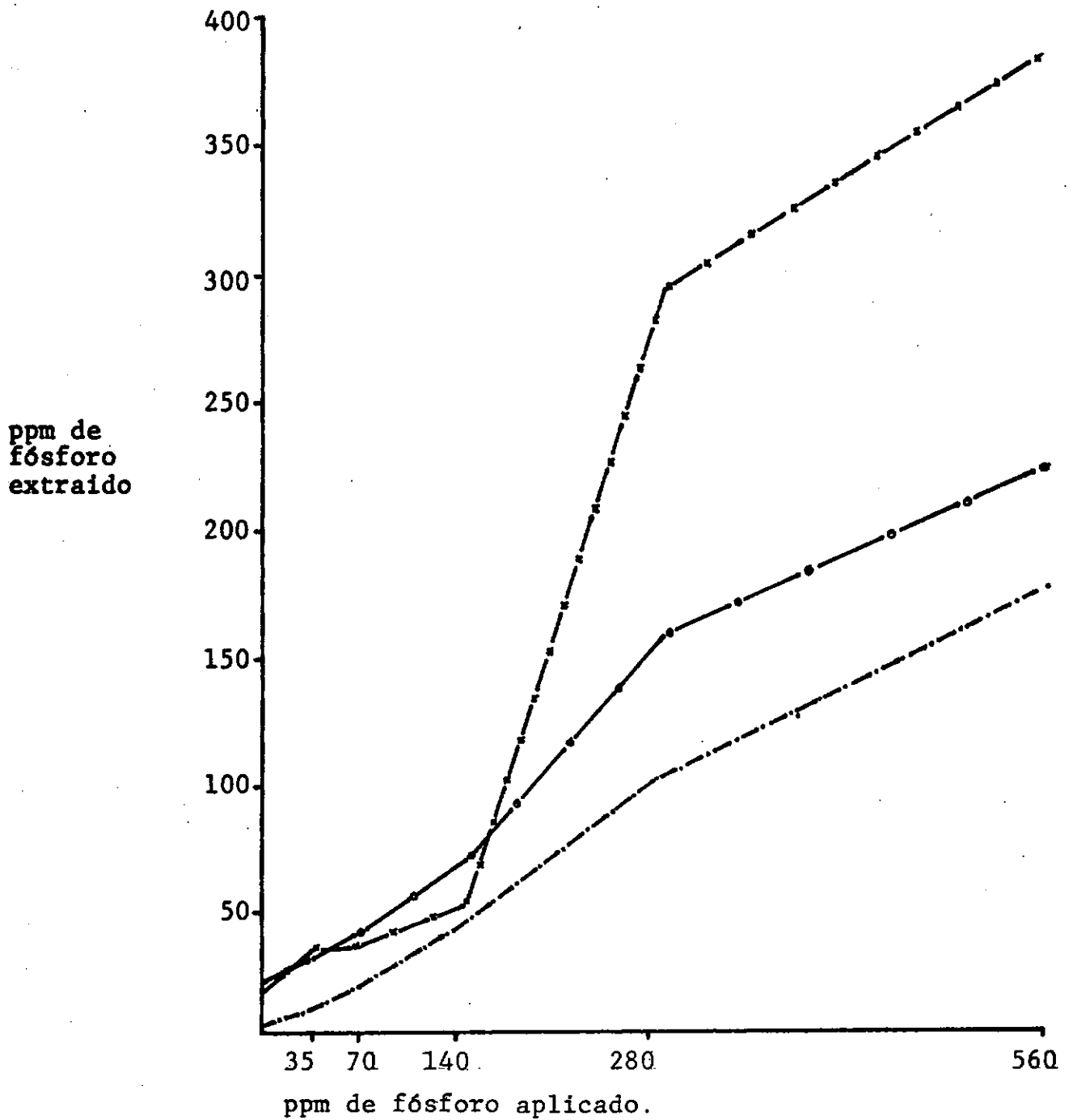
Curva de sorción de fósforo, cuando se extrae por Carolina del Norte en las series Ixtán, Culma y Chicaj.

Referencia:

Serie Ixtán: -.-.-.-.-

Serie Culma: —●—●—●—

Serie Chicaj: —x—x—x—x—



Gráfica No. 2.

Curva de sorción de fósforo, cuando se extrae por Olsen Modificado en las series Ixtán, Culma y Chicaj.

la materia seca, cantidades de fósforo extraído por las dos metodologías y contenido de nitrógeno, fósforo y potasio foliares expresados en porcentaje.

7. Metodología experimental.

7.1. Diseño experimental y de tratamientos:

El diseño experimental que se utilizó es el Completamente al Azar, con tres repeticiones y seis tratamientos, para cada una de las metodologías de extracción de fósforo.

7.2. Tamaño de la unidad experimental:

Las unidades experimentales consistieron en macetas de polietileno de un litro de capacidad, con 500 ml de suelo.

7.3. Análisis de datos:

Dentro de los análisis realizados están: Análisis de varianza para materia seca y altura de las plantas, análisis de correlación entre rendimiento relativo y fósforo extraído por cada metodología y comparaciones múltiples de medias con el uso estadístico de Tuckey al 5% de probabilidad.

8. Manejo del experimento.

8.1. Fertilización.

Los tres elementos aplicados a cada suelo fueron: Fósforo, potasio y nitrógeno, esto se hizo con el fin de que los resultados obtenidos no fueran interferidos por otros elementos. En la serie de suelo "Ixtán", se aplicó azufre por ser éste elemento faltante en dicho suelo e indispensable en la producción de cosechas.

Los tratamientos de fósforo que se aplicaron a cada serie de suelo se obtuvieron de acuerdo a las curvas de sorción. En base a éstas curvas, los tratamientos de fósforo para cada serie de suelo son diferentes, así, para la serie de suelo Ixtán, los tratamientos de fósforo fueron: 25, 75, 150, 300 y 500 ppm. Para la serie de suelo Culma los tratamientos de fósforo fueron de: 25, 50, 100, 150 y 200 ppm. Y para la serie de suelo Chicaj, los tratamientos de fósforo fueron de: 25, 50, 100, 200 y 400 ppm.

La cantidad de nitrógeno y potasio fue constante para cada tratamiento de fósforo y para cada serie de suelo. La concentración de las soluciones de Nitrógeno y Potasio a aplicar a cada una de las macetas fue de 100 ppm de Nitrógeno y 130 ppm de Potasio.

Los reactivos que se utilizaron como fuente de fertilizante, fueron los siguientes: para nitrógeno, nitrato de amonio. Para fósforo, ácido fosfórico. Para potasio, cloruro de potasio y para azufre, ácido sulfúrico.

En el cuadro No. 4, se presenta la cantidad de elementos y compuestos utilizados en la solución madre a ser usada en los tratamientos de suelo.

Cuadro No. 4.

Compuestos químicos usados como fertilizantes.

| Características | N | P | K | S |
|--|--------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Compuesto químico. | NH_4NO_3 | H_3PO_4 85% | KCl | H_2SO_4 96.5% |
| Peso molecular. | 80.05 | 98.0 | 74.56 | 98.08 |
| Elemento por litro de solución madre en g. | 5 | 10 | 7.8 | 3 |
| Compuesto por litro de solución madre en g. | 14.29 | 37.22 | 14.90 | 9.50 |
| Cantidad del elemento agregado al suelo cuando un ml de la solución madre es agregado a 100 ml de suelo. | 50 ug/ml de suelo | 83.3 ug/ml de suelo | 0.2 meq/100 ml de suelo | 30 ug/ml de suelo |

En el cuadro No. 5, aparecen las cantidades en ml que se toman de la solución madre, para tener las concentraciones establecidas

de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre, para 100 ml de suelo y para 500 ml de suelo, que es el volumen de cada maceta.

Para aplicar los tratamientos al suelo, se colocó en bolsas plásticas los 500 ml de suelo y en cada una de las bolsas se le aplicó la cantidad de cada elemento para obtener la concentración deseada. Se dejó secar el suelo y se homogenizó, para que los elementos no se concentren en poco volumen de suelo. Las aplicaciones de nitrógeno se realizaron dos veces, la primera junto con los demás elementos y la segunda a los 12 días de haber germinado las plantas.

Cuadro No. 5.

Cantidad de la solución a aplicarse por maceta, para obtener la concentración deseada.

| Solución madre del elemento | ml aplicados en 100 ml de suelo | ml aplicados en 500 ml de suelo |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ml de NH_4NO_3 para: | | |
| 100 ppm de N | 2.0 | 10.0 |
| ml de KCl para: | | |
| 130 ppm de K | 1.67 | 8.35 |
| ml de H_2SO_4 para: | | |
| 25 ppm de P | 0.3 | 1.5 |
| 50 ppm de P | 0.6 | 3.0 |
| 75 ppm de P | 0.9 | 4.5 |
| 100 ppm de P | 1.2 | 6.0 |
| 150 ppm de P | 1.8 | 9.0 |
| 200 ppm de P | 2.4 | 12.0 |
| 300 ppm de P | 3.6 | 18.0 |
| 400 ppm de P | 4.8 | 24.0 |
| 500 ppm de P | 6.0 | 30.0 |

8.2. Siembra:

La planta indicadora que se usó fue sorgo forrajero y en cada maceta se sembraron 10 semillas totalmente esparcidas. Cada maceta se tapó hasta que las plantitas germinaran.

8.3. Riego:

Para mantener constante la humedad, a cada maceta se le perforaron tres agujeros en donde se colocaron filtros de cigarrillos de 15 cm de largo. En una palangana plástica, que en su parte superior tenía malla y un pedazo de polyetileno negro, se colocaron tres macetas. En cada palangana se colocó agua destilada, que por capilaridad llegaba a las macetas.

8.4. Raleo:

A los siete días de germinadas las plantitas, se procedió al raleo, dejando de las 10 plantas las 5 mejores.

8.5. Control Fitosanitario:

Únicamente se aplicó Dithane para el control del hongo Rizopus, que apareció al rededor del tronco de las plantas de sorgo.

8.6. Cosecha:

A los 28 días se consideró que las diferencias entre los tratamientos ya eran muy notorias y que la deficiencia de fósforo ya se había manifestado en los testigos y en los tratamientos bajos, por lo tanto, se procedió al corte de las plantas. Se pesó la materia verde y luego se colocaron

en el horno a 70°C para obtener el peso de materia seca. Posteriormente se molió la materia seca para proceder a los análisis físicos, los cuales fueron realizados en el laboratorio de Suelos del ICTA.