UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
AGRONOMÍA

DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS DE FOSFORO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays L.) PARA 15 LOCALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA

TESIS

POR

ERBIN JOEL SOLÓRZANO ESPINO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CHIQUIMULA, MARZO DE 1998

ÍNDICE

Contenido

1. INTRODUCCIÓN
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA
3. JUSTIFICACIÓN
4. OBJETIVOS
   4.1 Genera
   4.2 Específicos
5. MARCO TEÓRICO
   5.1 Marco Conceptual
   5.1.1 Correlación y Requisitos de Calibraje
      a) recopilación de Información
      b) Experimentos de Calibración
   5.1.2 El Fósforo
      a) Influencia del Fósforo sobre las Plantas
      b) Síntomas de deficiencia de Fósforo
      c) Contenido de Fósforo en los Terrenos
      d) Formas de Fósforo en el Suelo
      e) Fósforo e Solución en el Terreno
      f) El Fósforo Inorgánico del Suelo
      g) Aprovechamiento del Fósforo Orgánico
      h) Factores que Influencian la Retención de Fósforo en los suelos
         - Tipos de Arcilla
         -Tiempo de Reacción
         - Reacción del Suelo
         - Temperatura
         - Materia Orgánica
      i) Medidas Agronómicas para controlar la Fijación de Fósforo y aumentar el aprovechamiento de Fertilizante
   5.2 MARCO REFERENCIAL
      5.2.1 Nivel Crítico
      5.2.2 Estudios Realizados sobre el Nivel Crítico de Fósforo en Guatemala

6. METODOLOGÍA
   6.1 Descripción de las Condiciones Ecológicas de la Zona
   6.2 Características del Material Experimental
      6.2.1 Planta Indicadora
      6.2.2 Fertilizantes

6.3 Niveles de Fósforo
6.4 Metodología Experimental
6.4.1 Tratamientos
6.4.2 Tamaño de la unidad Experimental
6.4.3 Manejo de los Experimentos
a) Preparación del Terreno
b) Siembra
c) Control de Maleza
d) Fertilización
e) Control Fitosanitario
f) Cosecha
6.6.4 Variables a Medir
6.6.5 Análisis de Resultados
6.6.6 Determinación de las Curvas de Adsorción
a) Solución Extractora
b) Soluciones Patrones
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
7.1 Análisis Químico de las Muestras de Suelo
7.2 Análisis de Disponibilidad de Nutrientes
7.3 Determinación del Nivel Crítico de Fósforo a través del Método Gráfico de CATE-NELSON.
7.4 Estudio de Adsorción, para Determinar la Capacidad de Retención de Fósforo de los Diferentes Suelos Estudiados
8. CONCLUSIONES
9. RECOMENDACIONES
10. BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1. Precipitación pluvial en mm registrada durante 10 años en el municipio de Chiquimula

2. Fuentes de los elementos utilizados

3. Niveles de fósforo evaluados

4. Dosis de los elementos en cada uno de los tratamientos evaluados

5. Tratamientos de Adsorción

6. Disponibilidad de nutrientes extraídos en la metodología del ácido doble diluido en las 15 localidades de estudio

7. Análisis de rendimientos (%) de las diferentes localidades

8. Cantidad de fósforo extraída a diferentes niveles del elemento aplicado.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1. Ciclo del fósforo en el suelo

2. Correlación entre los niveles de suelo y requerimientos relativos del cultivo del maíz utilizando el método de extracción (ppm) del ácido doble diluido en experimentos de campo

3. Curvas de adsorción de fósforo para 5 localidades en estudio utilizando la metodología de extracción del ácido doble diluido

4. Curvas de adsorción de fósforo para 5 localidades en estudio utilizando la metodología de extracción del ácido doble diluido

5. Curvas de adsorción de fósforo para 5 localidades en estudio utilizando la metodología de extracción del ácido doble diluido

6. Tendencia de adsorción de fósforo para 15 localidades en estudio utilizando la metodología de extracción del ácido doble diluido.

DETERMINACIÓN DE NIVELES CRÍTICOS DE FOSFORO EN EL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays L.) PARA 15 LOCALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA

RESUMEN

Con el objetivo de establecer el nivel crítico de fosforo en el cultivo de maíz (Zea mays L.) en el departamento de Chiquimula, se llevo a cabo el calibración del método de extracción del Acido Doble Diluido (HCI 0.o5 + H2so4 0.025N) mediante experimentos de campo que correlacionen la cantidad de fósforo extraída por el método y el rendimiento relativo obtenido en cada uno de los ensayos.

El estudio se realizó en 15 localidades del departamento de Chiquimula, en época lluviosa que comprende los meses de (junio – octubre) cubriendo una amplia gama de fertilidad de suelo.

Los niveles de fósforo evaluados consistieron en la aplicación al suelo de las concentraciones recomendadas por el laboratorio de suelos del Centro Universitario de Oriente CUNORI.

La metodología que se utilizó fue la propuesta por CATE-NELSON (Cate y Nelson, 1965). El método grafico simple consiste en marcar con puntos los rendimientos relativos (porcentaje del máximo) en función del análisis de suelos.

El nivel crítico de fósforo que se estableció para esta región luego de tabular los datos obtenidos en cada uno de los experimentos de campo, y en cada una de las localidades y relacionarlos con la cantidad de fósforo extraído que fue de 12 pm lo que significa que debajo de éste nivel, se espera una respuesta del cultivo a la aplicación del fertilizante y arriba de este, la respuesta va disminuyendo conforme se incremente la cantidad de fósforo disponible en el suelo.

1. INTRODUCCIÓN

Si se desea que los cultivos produzcan, el suelo debería tener además de buenas condiciones físicas, un abastecimiento adecuado de todos los nutrientes esenciales para la planta, así como un buen balance entre ellos, siguiendo lo establecido por la ley de Living, la cual nos indica que si un elemento falta o es deficiente, puede ocasionar que el crecimiento de la planta sea anormal y por lo consiguiente produzca un bajo rendimiento (22).

El fósforo merece una significativa importancia en cuanto a la fertilización, ya que es el responsable del desarrollo normal des sistema radicular, pronta madurez de los cultivos, formación de semillas, incrementa la resistencia de las plantas a las enfermedades. Una deficiencia de dicho elemento provoca una marcada reducción del crecimiento de la planta y por consiguiente, un bajo rendimiento (25).

Actualmente el laboratorio de suelos del CUNORI, utiliza para la determinación de la disponibilidad de fósforo soluble, la solución del ácido doble diluido para generar recomendaciones de fertilización para dicho elemento. Para que las recomendaciones sean válidas para determinada región, las muestras de suelo deben ser calibradas (comparadas) con respuestas obtenidas en experimentos de campo para poder ajustar los niveles establecidos por la metodología a las condiciones edáficas de la región.

La presente investigación se efectuó en 15 localidades del departamento de Chiquimula, con el propósito de ajustar los niveles de fósforo establecidos por el método de Mehlich o del ácido doble diluido y utilizado por el laboratorio de suelos del CUNORI; para brindar a los agricultores de la región, la información básica necesaria que le permita manejar en mejor forma sus cultivos, mediante la adición de nutrientes minerales, tomando en cuenta los requerimientos de la planta y la concentración de los mismo en el suelo.

Para la realización de la presente investigación, se tomó como cultivo indicador al maíz (Zea mays L.), por ser uno de los granos básico más importantes que se cultiva en la región.

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Uno de los componentes más importantes del paquete tecnológico, es la nutrición mineral de los cultivos, que incluye la evaluación de la fertilidad del suelo, la cual nos sirve para diagnosticar los problemas de nutrición de las plantas, los niveles de disponibilidad y equilibrio de los nutrientes en el suelo. La parte de información existente al respecto, esta recopilada bajo condiciones edáficas y climáticas diferentes a la nuestra; por lo tanto es necesario realizar investigaciones en nuestra región que brinden información ajustada a nuestras condiciones edáficas y proporcionar a los agricultores resultados confiables de los análisis de suelos.

El valor del análisis de suelo se toma útil solamente cuando se correlaciona con la respuesta del cultivo, ya que el objeto de las correlaciones a nivel de campo es establecer los niveles críticos para un método de extracción seleccionado, una determinada región (19); por lo tanto, es recomendable que cada laboratorio establezca sus propios niveles críticos para los suelos y cultivos de mayor importancia.

En el área que abarca el presente estudio, no se han realizado experimentos de campo que permitan determinar si los niveles críticos de fósforo establecidos por la metodología de extracción, se ajustan a nuestras condiciones de suelo; es por ello que se realizaron pruebas de correlación con rendimiento obtenidos en el cultivo del maíz.

3. JUSTIFICACIÓN

Las diversas investigaciones realizadas en el campo de la agronomía y su posible integración, permitirán en el futuro manejar adecuadamente los factores que inciden en agricultores para incrementar la productividad.

Dentro de algunos factores que inciden en la productividad, se encuentra el suelo y dentro del suelo, la fertilidad expresada en términos de cantidad y disponibilidad de nutrimentos, cuantificados mediante análisis químicos de muestras del suelo.

De los elementos que nutren la planta, el fósforo merece una significativa importancia en cuanto a la fertilización, debido a que forma compuestos relativamente insolubles, por lo tanto no aprovechables por las plantas. Existen estudios sobre el nivel crítico en fósforo realizados en diferentes regiones del país, y en los cuales podemos observar variaciones sustanciales producto de la heterogeneidad de los suelos.

El laboratorio de suelos del CUNORI, desde su inicio ha utilizado para la determinación de la disponibilidad de fósforo soluble, la solución de ácido doble diluido (HCI 0.05 + H2 SO4 0.025N) generada por Nelson et. al. (5) en la Universidad de Carolina del Norte. Este método se adecua a las condiciones prevalecientes de la región, ya que los pH existentes en los suelos van de ligeramente ácidos a neutros.

De acuerdo a Bingham (1) como regla general, los niveles de fósforo extraídos por el método de doble ácido, se clasifican en:

ELEMENTO	NIVELES	CLASIFICACIÓN
Fósforo	menor de 10 ppm	→ bajo
	10-30 ppm	→ medio
	30-56 ppm	→ alto
	> 56 ppm	→ muy alto

Sin embargo, para poder ajustar niveles en una región, es necesario realizar pruebas de correlación con rendimiento de los cultivos para los cuales se desean obtener niveles críticos.

En la presente investigación, se realizaron pruebas de calibración del método de extracción del ácido doble diluido utilizado por el laboratorio de suelos del CUNORI para establecer niveles críticos de fósforo. La metodología que se utilizó fue la propuesta por Cate-Nelson (4), que relaciona el rendimiento relativo del cultivo y la cantidad de fósforo extraído por el método. Con ello se obtendrá una mejor interpretación de los resultados de las muestras que se envían al laboratorio de suelos.

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

- Generar información básica en el área de fertilidad de suelos como apoyo al laboratorio del Centro Universitario de Oriente, que permita ofrecer recomendaciones ajustadas a las condiciones locales.

4.2 ESPECÍFICOS

- Establecer el nivel crítico de fósforo para el cultivo de maíz (Zea mays L.), mediante la calibración del método de extracción del ácido doble diluido (HCI 0.05 + H2 SO4 0.025N) utilizado en el laboratorio de suelos del CUNORI.

- Evaluar la respuesta del maíz (Zea mays L.) a diferentes niveles de fósforo extraído por el método del ácido doble diluido.

- Determinar la capacidad de retención de fósforo por los suelos evaluados mediante un estudio de adsorción.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 CORRELACIÓN Y REQUISITOS DE CALIBRAJE

La fertilidad original de los suelos vírgenes es determinada por la cantidad y forma de los elementos nutritivos contenidos en el material de origen y cambios subsecuentes por factores formadores de suelo; como erosión y crecimiento de la vegetación original del lugar. El grado de fertilidad de estos suelos vírgenes puede ser determinado por experimentos son inadecuados. Cuando los suelos han sido clasificados en clases basadas en material de origen, textura, características del lugar, etc., las recomendaciones de las fertilizadores pueden ser basadas en la clase de suelo y siembras a cultivar utilizándose la información de experimentos de calibración (11).

Después de que los suelos han sido puestos a producir, el grado de fertilidad es probable que sea cambiado por la fertilización, la tapisca de la cosecha, la erosión, la limpieza después de la cosecha y otras prácticas. Con buena administración y buenos programas de fertilizantes, los suelos generalmente mejoran en fertilidad, mientras que aquellos con una mala administración y con fertilización inadecuada probablemente serán desgastados. Siendo que el manejo podría causar que suelos similares difieran grandemente en el grado de fertilidad, las recomendaciones generales de los fertilizantes basados en las clases de suelos ya no podrían ser suficientes para obtener las máximas entradas económicas al usar los fertilizantes. El desgaste y/o la acumulación de ciertos nutrientes específicos han aumentado la práctica de examinar los suelos para determinar la necesidad de fertilización de campos individuales (19).

a) RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

Para poder ser útiles al hacer recomendaciones en el uso de fertilizantes, las pruebas de los duelos deben ser calibradas (comprobadas) con las respuestas obtenidas en experimentos de campo. Esta calibración requiere un número

grande de experimentos, para desarrollar así, información confiable acerca de los numerosos tipos de suelos y siembras.

Experimentos simples pueden ser utilizados con la finalidad de determinar los niveles de pruebas del suelo arriba de los cuales no se espera una respuesta. Tales experimentos pueden ser utilizados para determinar si es necesario un fertilizante, pero no proporciona mucha información acerca de las cantidades que deberán ser recomendadas. Experimentos de un grado más detallado sobre áreas conocidas por ser deficientes son necesarios para determinar el grado óptimo. La exactitud de la información de los experimentos de evaluación es mejorada mantenimiento pequeños terrenos en el mismo lugar por muchos años de cosecha, para permitir que los efectos de la acumulación y el desgaste sean expresados con exactitud (1).

Experimentos para pruebas de calibración del suelo, deberán ser diseñados para determinar el “nivel adecuado” de un nutriente en el suelo. Esta es la prueba de nivel del suelo de un nutriente que es adecuado para ≥ 95% d la capacidad e máxima de producción si adición del elemento. Esto significa que las siembras cosechadas en suelos teniendo esta prueba de nivel del suelo de un nutriente, generalmente no se esperaría que respondiesen a las aplicaciones de los nutrientes. A esta prueba de nivel del suelo, algunos laboratorios recomiendan cantidades pequeñas como aplicaciones de mantenimiento; muchos laboratorios has desistido de hacer recomendaciones de mantenimiento ya que como su información les demuestra que las entradas económicas debido a las aplicaciones en suelos con niveles altos, es inusual (11).

Producción porcentual o producción relativa es usada normalmente en investigaciones de pruebas de calibración de suelos para esquematizar la información de numerosos experimentos conducidos en diferentes suelos, supliendo por efectos individuales del lugar. Los suelos varían ampliamente en las pruebas del nivel suelo requeridos por su utilidad, y deberán ser agrupados en categorías que demuestren similar. Tales agrupaciones podrían ser basadas en capacidad de intercambio catiónico (CIC) o asociaciones de suelos. Las siembras también varían en los requisitos de fertilidad; así que experimentos deberán ser conducidos con tantas siembras como sea posible, para poder agrupar éstas de acuerdo a las características de respuesta (8).

b) EXPERIMENTOS DE CALIBRACIÓN

La calibración inicial puede ser mejor desarrollada utilizando grandes números de experimentos simples, cubriendo una gama de niveles de fertilidad. Solamente dos grados de un nutriente son necesarios para determinar si un suelo responderá, pero cuatro o más grados son generalmente necesarios para determinar la cantidad óptima necesaria en suelos afines. Los experimentos deberán incluir los grados de todos los nutrientes que se sospechan son deficientes. Esto puede ser determinado por pruebas de suelo anteriores a la selección del lugar.

Con anticipación al establecimiento de experimentos, muestras del suelo deberán ser tomadas de por lo menos cada copia para determinar la variación dentro del lugar (25).

La selección de los tratamientos deberá empezar con un tratamiento estándar incluyendo lo que se llama como las cantidades adecuadas de todos los nutrientes aplicados. La producción de este tratamiento se le asigna un valor de 100% y las producciones de otros tratamientos son expresados como porcentaje de este tratamiento. La respuesta a otros nutrientes es determinada al sustituir uno a la vez, mientras se aplican cantidades adecuadas de otros nutrientes que podrían ser deficientes (23).

Varios grados de nutriente pueden ser utilizados, pero otras prácticas, incluyendo el uso del lime1 o pequeños nutrientes deberán ser constantes y adecuadas. Tales experimentos no requieren de una revisión sin fertilizante, porque la ley del mínimo hace imposible determinar exactamente la necesidad de un nutriente cuando otro esta restringiendo la cosecha (19).

Los experimentos de campo de este sitio son rara vez lo suficiente precisos para determinar exactamente las interacciones entre los nutrientes donde más de uno está restringiendo. Cuando las cosechas son seriamente limitadas a causa de la sequía, u otros factores incontrolables, la información no deberá ser utilizada en calibración (11).

Evaluaciones detalladas para hacer recomendaciones para lugares individuales no son generalmente justificadas porque el procedimiento completo de hacer recomendaciones de fertilizadores de pruebas de suelo, envuelve una serie de aproximaciones.

Esta incluyen muestras variadas en el campo; variación analítica en el laboratorio, la cual generalmente mucho menos; variación en el nivel de producción y respuesta dentro de los experimentos en diferentes suelos agrupados juntos; variación dentro de las siembras en cuando a requisitos de fertilidad; y los factores de seguridad asociados con el uso sugerido de altos grados de fertilizante necesario que aquellos demostrados por la información investigada. Los agricultores frecuentemente aumentan las aplicaciones por encima de los grados recomendados, debido a la falta de exactitud en los grados de aplicación y/o para compensar de nuevo por los factores arriba mencionados (11).

Los aspectos más difíciles del proceso de evaluación de la fertilidad del suelo son la correlación, interpretación y las recomendaciones de fertilizantes debido a la complejidad del fenómeno involucrado. Un análisis de suelos por sí no tiene valor; es una cifra empírica que puede reflejar o no la disponibilidad de un nutrimento en forma directa. El valor del análisis de suelo se toma útil solamente cuando se correlaciona con la respuesta del cultivo. Tales correlaciones son generalmente a dos niveles: uno exploratorio en el invernadero con un número grande de suelos ampliamente divergentes; y uno más definitivo en el campo, un número menor de suelos (19).

El propósito principal del la correlación a nivel de invernadero es comprar diferentes métodos de extracción y determinar los niveles críticos tentativos. El objeto de las correlaciones a nivel de ampo es establecer los niveles críticos definitivos para el método de extracción seleccionado (25).

5.1.2 EL FOSFORO

El fósforo ha sido llamado con frecuencia la “llave maestra de la agricultura”, ya que la producción de los cultivos se debe con más frecuencia a una falta de fósforo que a la diferencia de cualquier otro elemento, a excepción quizá del nitrógeno (2).

El fósforo es relativamente estable en los suelos. No presenta compuestos inorgánicos como los nitrogenados que pueden ser volatilizados y lixiviados. Esta alta estabilidad resulta de una baja solubilidad que a veces causa deficiencias de disponibilidad de fósforo para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos del suelo (24).

Las cantidades generalmente pequeñas de fósforo en los terrenos y su tendencia a reaccionar con los componentes del suelo para formar compuestos relativamente insolubles, por lo tanto no utilizables por las plantas, hacen de él un asunto de mayor importancia en el reino de la fertilidad del suelo (22).

Se considera generalmente que las plantas absorben la mayoría de fósforo en forma del ion primario orto fosfato $H_2PO_4^2$. Pequeñas cantidades del ion secundario por las raíces de las plantas de H_2PO_4. Es diez veces más rápido que la del $H_2PO_4^{2.}$ (16).

Abonar los terrenos con cal y/o material calcáreo.

a) INFLUENCIA DEL FOSFORO SOBRE LAS PLANTAS

Es difícil establecer en detalles las funciones del fósforo en la economía de las plantas. Aquí solo consideraremos las funciones más importantes:

1) División celular y crecimiento, así como formación de albúminas.
2) Floración y fructificación, así como la formación de semillas.
3) Maduración de las cosechas, atemperando así los efectos de aplicaciones excesivas de nitrógeno.
4) Desarrollo de las raíces, particularmente de las raíces laterales y fibrosas.
5) Robustecimiento de la paja en los cultivos de cereales, ayudando así a prevenir al acame.
6) Sobre la calidad de las cosechas, sobre todo de forrajes y hortalizas.
7) Resistencia de la planta a ciertas enfermedades (2).

El fósforo es rápidamente movilizado en las plantas, y cuando se presenta una deficiencia, el elemento contenido en los tejidos más viejos es transferido a las regiones activas meristemáticas. Sin embargo, a causa del señalado efecto que una deficiencia de este elemento tiene sobre los retrasos del crecimiento, los síntomas de deficiencias que se presentan llamativamente en las hojas, en los casos del nitrógeno y potasio, son raramente observados (20).

Una carencia de este elemento es doblemente seria, puesto que evita que las plantas aprovechen otros nutrientes. Por ejemplo, antes que el uso de fertilizantes comerciales, la mayor parte del nitrógeno del suelo depende indirectamente de la reserva de fósforo. Esto se debe a la influencia vital del último elemento sobre el crecimiento de las leguminosas (2).

b) SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA DE FOSFORO

Los síntomas de deficiencia 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 coloramiento rojizo y les falta brillo o lustre y tienden a curvarse hacia arriba. Usualmente las raíces no están bien desarrolladas (9).

Según Tamhane (1,979), la diferencia 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 migre de las partes viejas hacia las partes jóvenes.

c) CONTENIDO DE FOSFORO EN LOS TERRENOS

El contenido total de fósforo vería de suelos, pero es en general más alto en los suelos jóvenes vírgenes, en áreas en que la lluvia no es excesiva. A causa de que poco de este elemento se pierde en el agua de percolación de la mayor parte de los suelos, y de que las eliminaciones de cosecha son generalmente pequeñas. Tiende a acumularse en las capas superficiales de los suelos cultivados (20).

Las cantidades totales de fósforo disponible, pero este último es de gran importancia para el crecimiento de las plantas (2).

d) FORMAS DE FOSFORO EN EL SUELO

El fósforo en el suelo puede clasificarse en general como orgánico e inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos en que se halla. La fracción orgánica se halla en el humus y otros materiales orgánicos, que pueden o no estar asociados con él.

La fracción inorgánica se halla en numerosas combinaciones con hierro, aluminio, calcio, flúor, y otros elementos. Estos compuestos usualmente son tan sólo muy ligeramente solubles en agua (11).

De manera general, se ha encontrado que algunos factores como la temperatura, la precipitación pluvial, acidez del suelo, la actividad biológica, el grado de desarrollo de los suelos; determinan la participación de las fracciones orgánicas e inorgánicas en el P total (10).

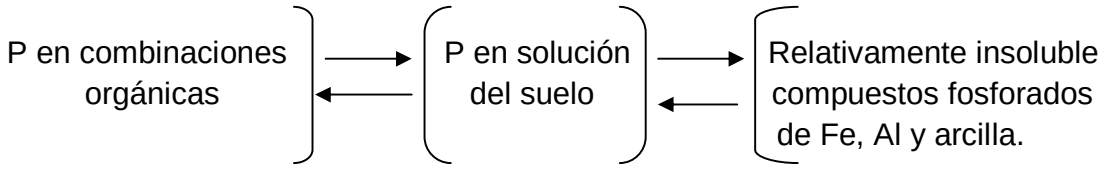
El contenido de fósforo inorgánico en los suelos, es casi siempre mayor que el fósforo orgánico. Una excepción a esta regla sería, como es lógico, el contenido de fósforo en los suelos predominantes orgánicos. Además el contenido de fósforo orgánico en los suelos minerales es relativamente mayor en las capas superficiales que en el subsuelo, a causa de la acumulación de materia orgánica que se alanza en las capas superficiales del perfil del suelo (16).

e) FOSFORO EN SOLUCIONES EN EL TERRENO

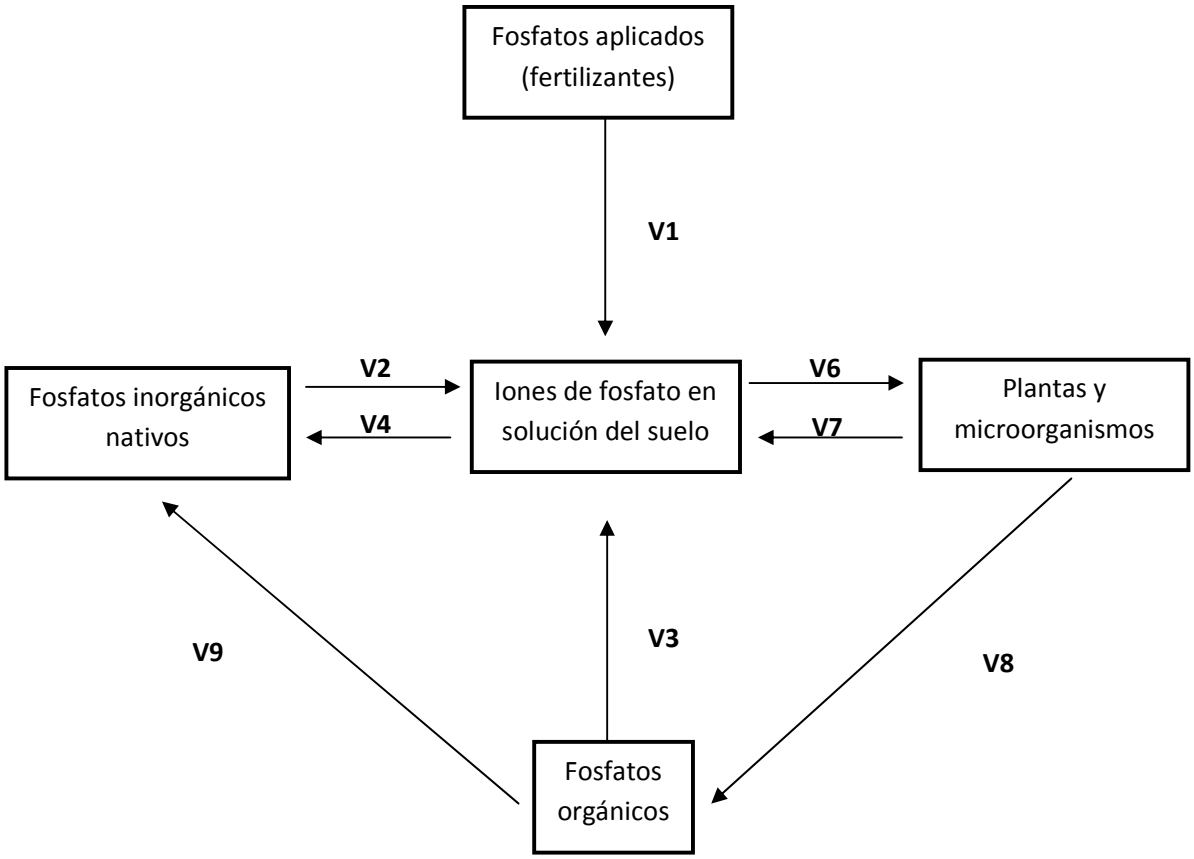
Como se indico anteriormente, el fósforo es absorbido o la planta como iones orto fosfato primario y secundario, se hallan en solución en el suelo. Algunas cantidades muy pequeñas de fosfato orgánico soluble pueden también ser absorbidas, pero se considera que ellas son generalmente tan solo menores (24).

Las plantas absorben el fósforo d las soluciones proporcionalmente a la concentración de iones fosfatos que se hallen en la solución, si otros factores no están limitando, el crecimiento será proporcional a las cantidades de fósforo absorbido por la planta (25).

El mantenimiento de una adecuada concentración de fósforo en la solución del suelo depende, entre otras cosas, de la proporción relativa de formación y descomposición de la materia orgánica del suelo para reaccionar con, o fijar, el orto fosfatos solubles en una forma insoluble, o ligeramente soluble. Este equilibrio puede ser esquemáticamente ilustrado como sigue:



Ellos pueden ser también alterados temporalmente por la adición de fertilizantes a base de fosfato soluble, por movilización del fósforo soluble por los microorganismos, que por una rápida mineralización de la materia orgánica como ocurriría al arar y el cultivar (22).



v1 Disolución de fertilizantes

v2 Disolución de fosfatos inorgánicos

v3 Mineralización de fosfatos orgánicos

v4 Adsorción de H_2PO_4.

v5 Precipitación de fosfatos de Ca, Al y Fe

v6 Absorción de P por las plantas

v7 Excreción de P por las plantas

v8 Deposición de restos vegetales

v9 Interacciones entre fosfato orgánico e inorgánico

f) EL FOSFORO INORGÁNICO DEL SUELO

La concentración de iones orto fosfato en la solución del suelo, en un tiempo dado, es pequeña, generalmente nunca mayor que algunas partes por millón, y frecuentemente menor una parte por millón. Como el fósforo que se elimina al retirar la cosecha está usualmente entre 4 y 20 Kg/Ha, es obvio que si el fósforo en la solución del suelo no fuera continuamente reemplazado, el cultivo no tendría suficiente fósforo para crecer hasta la madurez (25).

Las formas de fósforo inorgánico presentes en un suelo dependen de su etapa de meteorización química. Los fosfatos de calcio son más solubles que los fosfatos de aluminio, estos a su vez más solubles que los fosfatos de aluminio, y estos a su vez, más solubles que los de hierro (19).

La transformación de una forma de fosfato a otra está controlada principalmente por el pH del suelo. Conforme los suelos se tornan más ácidos aumenta la actividad del hierro y el aluminio, y los fosfatos de calcio relativamente solubles se convierten en fosfatos menos solubles de aluminio y hierro. Estos procesos son lo suficientemente lentos para permitir que en suelos ácidos con valores de pH menores de 5.5 existen considerables cantidades de fosfatos de calcio (17).

Como regla general, la máxima disponibilidad del fósforo para la mayor parte de los cultivos ocurre con un pH de suelo que fluctúe de 5.5 a 7.0 (16).

g) APROVECHAMIENTO DEL FOSFORO ORGÁNICO

El fósforo orgánico generalmente corresponde del 20 al 50% del fósforo total en la etapa arable, por lo tanto, su conversación es de gran significado práctico en sistemas agrícolas tradicionales (19).

La importancia de conservar la materia orgánica es también función del mantenimiento del fósforo orgánico, particularmente en suelos que la mayor parte del fósforo esta en esa forma. En los lugares donde los fertilizantes están disponibles en forma económica, el fósforo orgánico merece menos consideración (25).

h) FACTORES QUE INFLUENCIAN LA RETENCIÓN DE FOSFORO DE LOS SUELOS

A causa de la importancia de la retención y de la fijación como factores modificantes de la eficiencia de los fertilizantes fosforados aplicados, estos factores, y la extensión en que ellos influencian la fijación, se considera brevemente.

- **TIPO DE ARCILLA**

  El fosforo es retenido en una mayor extensión por las arcillas 1-1 que por las arcillas 2-1. Los suelos ricos en arcillas caoliníticos, tales como aquellos que se encuentran en áreas de fuertes lluvias y temperaturas elevadas, pueden fijar o retener cantidades mayores de fósforo añadido que aquellos suelos que contienen al tipo 2-1. La presencia de hidróxidos de hierro y aluminio contribuyen también a la retención del fósforo añadido (22).

- **TIEMPO DE REACCIÓN**

  Cuanto mayor sea el tiempo en que el suelo y el fósforo añadido estén en contacto, mayor será la cantidad de fijación. Una importante consecuencia práctica es el tiempo tras la aplicación durante el que la planta es capaz de utilizar el fósforo fertilizante añadido. En algunos suelos con una elevada capacidad de fijación este período puede ser corto, mientras que en otros suelos el período de utilización puede durar meses o incluso años. Este período de tiempo, determinará si el fertilizante fosforado es aplicado una sola vez en la rotación o bien en aplicaciones pequeñas y más frecuentes. Es también importante la colocación del fósforo en el suelo (25).

- **REACCIÓN DEL SUELO**

  El pH del suelo es uno de los factores que afectan la utilización del fósforo que el granjero puede alterar fácilmente.

En la mayoría de los suelos la disponibilidad del fósforo es máxima en un orden de pH que oscila de 5.5 a 7.0, disminuyendo cuando el pH cae por debajo de 5.5 y disminuyendo también cuando este valor sube por encima de 7.0. A valores bajos de pH, la retención resuelta sobre todo por la reacción por el hierro, el aluminio y sus hidróxidos. Cuando aumenta el pH, la actividad de estos reaccionantes va disminuyendo hasta que, en los niveles de pH citados ahora mismo la actividad del fósforo alanza un máximo. Por encima de pH 7.0 los iones de calcio y magnesio, así como presencia de los carbonatos de estos metales en el suelo, causan la precipitación del fósforo añadido, y su disponibilidad disminuye (25).

- **TEMPERATURA**

  Los suelos de los limas cálidos son generalmente mucho más fijadores de fósforo que los suelos de las regiones más templadas. Los climas cálidos dan origen a terrenos con alto contenido de hidróxido de hierro y aluminio (11).

- **MATERIA ORGÁNICA**

  Ha sido considerado generalmente que al abonar periódicamente con abonos de establo o verdes, daría como resultado una mejor utilización del fósforo por los cultivos subsiguientes:

  La descomposición de los residuos orgánicos se acompaña por la evolución de apreciables cantidades de bióxido de carbono. Este gas, cuando se disuelve en agua, forma ácido carbónico, que es capaz de descomponer ciertos minerales primarios del suelo. Se ha mostrado que en los suelos calcáreos la producción de bióxido de carbono juega un papel importante al aumentar la disponibilidad de fósforo. Esto ha sido mostrado también en suelos neutros (24).

i) MEDIDAS AGRONOMÍAS PARA CONTROLAR LA FIJACIÓN DE FOSFORO Y AUMENTAR EL APROVECHAMIENTO DE FERTILIZANTES.

Los problemas del fósforo en suelos ácidos tropicales, radian en que los fertilizantes fosfatados pasan rápidamente a formas férricas y alumínicas que no son tan aprovechables por las plantas. Los problemas en los suelos calcáreos y alcalinos son de otra índole, pues las altas concentraciones de de Ca y el alto pH induce a la precipitación de fosfatos cálcicos poco solubles (apatitas) y por la adsorción de H_2po_4, en el complejo calcáreo disminuye también la disponibilidad del fósforo (9).

Las medidas de control de la fijación de fósforo se basa en una disminución de la velocidad de disolución, para tener una liberación continua y persistente de fosforo del fertilizante y una alta concentración a largo plazo en la zona del fertilizante, para que la planta aproveche el fosforo aplicado en forma óptima; así resulta de gran importancia la elección del fertilizante a usarse, la dosis, el tamaño de las partículas, la forma y su aplicación (22).

El fertilizante óptimo, y su dosis, deben estudiarse para las condiciones específicas de un determinado suelo (pH, contenido y disponibilidad del P nativo, contenido de materia orgánica, carbonatos), su cultivo (sistema radicular, duración de cultivo) y el sistema de explotación (rotaciones de cultivos, laboreo del suelo) (11).

El sistema de aplicación dependerá del sistema radicular de la plana y del cultivo. Muchos investigadores han encontrado que una aplicación en bandas en las cercanías de las raíces en cultivos anuales es muy favorable; mientras que en praderas, la aplicación al voleo es casi la única posibilidad. La época de aplicación debe coordinarse en lo posible con el ritmo fisiológico del cultivo (16).

El tamaño de las partículas es un factor muy importante. Como regla general, se obtienen mejores resultados con fosfatos no solubles o ligeramente solubles en agua sobre suelos ácidos y calcáreos cuando se aplican en forma pulverulenta o en granos muy finos (25).

El contenido de humedad de los suelos tiene un efecto decisivo sobre la eficiencia y el grado de disponibilidad del P aplicado en varias formas. Trabajo experimental ha mostrado que cuando el contenido de agua en el suelo está al límite de la capacidad de campo, del 50 al 80% de fósforo hidrosoluble puede esperarse que se mueva hacia afuera del gránulo fertilizante en un periodo de 24 horas. Igualmente en suelos con tan solo del 2 al 4% de humedad, del 20 al 50% del fósforo hidrosoluble puede moverse fuera del gránulo en un tiempo parecido (23).

Bajo condiciones de humedad, la respuesta de los fosfatos granulares de alta hidrosolubilidad es superior a la de los materiales pulverulentos. Bajo condiciones secas, los materiales pulverulentos son los que dan mejores resultados (11).

5.2 MARCO REFERENCIAL

5.2.1 NIVEL CRITICO

Díaz y Hunter (8), indican que el uso del análisis de suelos como un medio para determinar el estado de fertilidad, en términos de disponibilidad adecuada o excesiva de los elementos presentes en el suelo para las plantas, está basada en la teoría de que existen ciertos niveles críticos en relación al método analítico utilizado. Cuando el nivel de un elemento medido en el suelo está por debajo de este nivel crítico, el crecimiento de la planta estará restringido por el grado en que ese elemento se encuentra debajo de dicho nivel (8).

Cate y Nelson (4), denominan al nivel crítico del análisis de suelos como el punto debajo del cual la probabilidad de una respuesta económica a la adición a fertilizantes, es alta y por encima del valor crítico el elemento deja de ser un factor limitante (4).

5.2.2 ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE EL NIVEL CRITICO DE FOSFORO EN GUATEMALA

Son varios los estudios que se tienen sobre el nivel crítico de fósforo, y en los mismos podemos observar variaciones sustanciales debido a la heterogeneidad de los suelos.

González (12), al trabajar con 18 suelos de la república de Guatemala, con la solución extractora del ácido doble diluido, determinó que debajo condiciones de invernadero, el nivel crítico de fósforo es de 19 ppm.

Hurtarte (15), determinó que para la serie de suelos Chicaj, el nivel crítico de fósforo con la metodología del ácido doble diluido, es de 13.5 ppm, Palencia (17), bajo condiciones de campo, con carios suelos de Guatemala, determinó en 7 ppm el nivel crítico de fósforo para granos básicos, utilizando la metodología del ácido doble diluido. Años más tarde, para graos básicos, Cifuentes (6), determinó que para el Sur Oriente de Guatemala, el nivel crítico de fósforo es de 7.0 ppm.

Estrada (9), determinó en 12 ppm el nivel crítico para papa utilizando la solución del ácido doble diluido.

6. METODOLOGÍA

6.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES ECOLÓGICAS DE LA ZONA

La presente investigación se realizó en 15 localidades del departamento de Chiquimula (ver Apéndice 1), durante la época lluviosa que comprende los meses de mayo y octubre.

De acuerdo a la clasificación de Holdridge (14), el área de influencia de este estudio comprende las zonas ecológicas de Bosque húmedo Subtropical (templado) y Bosque seco Subtropical, de las cuales, la primera cubre las mayor parte del área. Según el promedio de tres estaciones meteorológicas de la zona de influencia nos indica que la temperatura promedio anual es de 25.75 ℃ con mínima de 14.32 ℃ y máxima de 36.96 ° C. Su altura sobre el nivel del mar varía de 360 a 1,680 mts., los datos de precipitación media para 10 años son de 58.81 mm (26). (Ver Climadiagrama, Apéndice 2).

Los suelos según Simmons, et al (20), donde se llevaron a cabo los experimentos, en su mayoría son suelos sobre material volcánico. Pertenecen a las series Jigua, Altombrán, Jalapa y Zacapa; de las cuales la primera cubre la mayor parte del área. Esta está seccionada y se caracteriza por pendientes escarpadas, son suelos poco profundos y los afloramientos rocosos son muy comunes. Están mejor adaptados a los pastos y a los bosques ya que solo algunas partes anchas y planas son adaptables a ciertos cultivos limpios.

6.2 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL EXPERIMENTAL

6.2.1 PLANTA INDICADORA

Para poder determinar los niveles críticos de fósforo en cada una de las localidades, fue necesario el uso de una planta indicadora que manifestara el desarrollo alcanzado con los diferentes niveles que se aplicaron.

De acuerdo a Bingham (1), como regla general, los cultivos anuales responden muy bien a la fertilización fosfatadas; por lo tanto, hay gran variedad de plantas que son buenas indicadoras de deficiencia de fosforo. Sin embargo, entre las más sensibles a la carencia de este elemento se encuentra la lechuga, el maíz, la cebada, el tomate y la avena.

Por tal razón se utilizó al maíz variedad ICTA B-1 como planta indicadora; tal variedad es de grano blanco, con una altura promedio de 2.12 mts. Su altura y buen desarrollo radicular la hacen resistentes al acame; las mazorcas son bien formadas, con buena cobertura, son de tipo cilíndrico y de granos grandes y dentados.

Su potencial de rendimiento es de 4.5 toneladas métricas/ha (69 qq/7Mz), su ciclo vegetativo es de 110 días (3).

Cuadro 1 Precipitación pluvial en mm registrada durante 10 años en el municipio de Chiquimula. [2]

MES/ AÑO	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	x/10 AÑOS
ENE	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	14.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.96
FEB	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	1.6	0.0	0.0	0.0	1.0	0.96
MAR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
ABR	0.0	0.0	0.0	135.9	70.9	29.7	22.9	22.7	32.7	0.0	31.48
MAY	0.0	155.3	3.3	35.1	108.7	158.8	155.5	18.5	86.4	17.0	69.88
JUN	29.4	32.5	218.8	341.5	171.5	150.2	190.0	309.5	217.4	205.0	186.62
JUL	256.4	35.5	151.6	151.1	7.8	193.6	71.0	140.8	128.2	30.0	119.39
AGOS	223.5	99.1	127.8	248.8	250.1	123.3	197.1	144.2	166.1	147.0	163.70
SEP	126.7	200.3	124.5	290.0	171.0	103.2	131.6	201.4	214.2	200.0	187.15
OCT	144.4	26.3	0.0	37.2	58.7	1.7	70.0	145.4	78.5	34.0	59.57
NOV	109.4	0.0	0.0	0.6	1.0	16.1	0.0	11.1	22.3	18.0	17.85
DIC	20.9	2.2	0.0	8.0	0.0	0.0	49.6	2.3	18.4	11.0	10.14
TOTAL	**910.7**	**609.2**	**626.0**	**1247.2**	**929.8**	**792.3**	**475.1**	**1000.2**	**964.3**	**665.0**	**850.26**

Fuente: Estación meteorológica 416, CUNORI, Chiquimula

6.2.2 FERTILIZANTES

Las fuentes que se utilizaron para suplir los requerimientos nutricionales del cultivo se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 2 Fuentes de los elementos utilizados.

ELEMENTO	FUENTE	% DEL ELEMENTO
NITROGENO	UREA	46
FOSFORO	TRIPLE SUPERFOSFATO	46
POTASIO	MURIATO DE POTASIO	60

6.3 NIVELES DE FOSFORO

Los niveles de fósforo evaluados consistieron en la aplicación al suelo de las concentraciones recomendadas por el laboratorio de suelos del CUNORI, las cuales se describen a continuación.

Cuadro 3 Niveles de fósforo evaluados.

ELEMENTO	NIVEL EVALUADO (en ppm)	DOSIS (Kg ha^{-1})
FOSFORO	< 10	60
	10 – 30	30
	> 30	0

6.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

6.4.1 TRATAMIENTOS

Se estableció un bloque en cada una de las comunidades, el cual estuvo compuesto por tres tratamientos (niveles de fósforo evaluados), que incluyeron las dosis de nitrógeno y potasio que el laboratorio de suelos del CUNORI recomienda como adecuadas, tal como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4 Dosis de los elementos en cada uno de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Dosis (Kg ha^{-1})		
	N	P	K
1	70	0	30
2	70	30	30
3	70	60	30

TOMANDO UNA DENSIDAD DE 71,42 PLANTAS POR Ha.
A CADA PLANTAS SE APLICO

0 Kg ha^{-1} de P . . . . . 0 g/planta

30 Kg ha^{-1} de P . . . . . 0.42 g/planta

60 Kg ha^{-1} de P . . . . . 0.84 g/planta

6.4.2 TAMAÑO DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental estuvo constituida por una parcela bruta de 14.56 m^2 de la cual tomó parcela neta 6.16 m^2, dejando 0.70 m. de efecto de borde y 0.40 m. de cabecera respectivamente, estando separada cada unidad experimental por 0.5m., para tener un área total por bloque de 125.64 m^2 (Ver Apéndice 5).

En cada unidad experimental se sembraron 4 surcos de 5m. Con 25 posturas de 1 grano cada una, con un distanciamiento de 0.20m. entre plantas y 0.70m. entre surcos, de los cuales se tomaron 2 surcos centrales y 21 plantas por surco, para realizar los análisis respectivos según lo indica el Apéndice 6.

6.4.3 MANEJO DE LOS EXPERIMENTOS

a) PREPARACIÓN DEL TERRENO

Se realizó un muestreo de suelos en la parcela experimental para determinar la concentración de los principales nutrientes previo a montar el ensayo de campo.

Por las características topográficas de los lugares donde se llevaron a cabo los experimentos, la preparación del terreno se realizó de acuerdo a lo acostumbrado por los agricultores; efectuando únicamente una limpieza de rastrojos del lugar antes de la siembra.

b) SIEMBRA

La siembra se efectuó en la segunda quincena del mes de junio, para lo cual se utilizó la variedad de maíz ICTA B-1 como planta indicadora.

c) CONTROL DE MALEZAS

El control de malezas en los diferentes ensayos de campo se llevó a cabo en forma manual, realizando deshierbo con azadón. Efectuando dos limpias durante todo el ciclo del cultivo; la primera limpia se realizó a los 15 días después de la siembra y la segunda a los 25 días después de la anterior.

d) FERTILIZANTE

La aplicación de fertilizante se realizó de acuerdo a las dosis y épocas de aplicación recomendados por el laboratorio de suelos del CUNORI.

De fósforo y potasio se aplicó el 100% de lo recomendado (ver cuadro 4) de 8 a 10 días después de la siembra.

En cuanto al Nitrógeno, se utilizó un 30% de la primera aplicación (8-10 días). La segunda aplicación (70%) se llevó a cabo a los 30 días después de la primera.

e) CONTROL FITOSANITARIO

El control fitosanitario se realizó de acuerdo a la incidencia de las principales plagas y enfermedades que afectan al cultivo, aplicando únicamente Phoxim al 1.5% para el control del gusano cogollero (Spodoptera frujiperda) en algunas localidades donde hubo incidencia de esta plaga.

f) COSECHA

En cuanto a la cosecha, la tapisca se llevó a cabo en forma manual, como también el destusado y desgrane; seguidamente se procedió a pesar el producto de todas las parcelas netas, determinando el peso de ada tratamiento e Kg ha^{-1}, para su posterior análisis.

6.4.4 VARIABLES A MEDIR

a) Rendimiento Relativo

b) Cantidad de Fósforo Extraído con la Metodología

c) Capacidad de Retención de Fósforo por el Suelo

6.4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en cada uno de los experimentos se analizaron de la siguiente manera:

Para establecer los niveles críticos de fósforo en el cultivo de maíz, se utilizó el método gráfico simple de Cate-Nelson (Cate y Nelson) (5), el cual consiste en relacionar los rendimientos relativos, (porcentaje del máximo), luego se uso una hoja transparente dividida e cuadrantes por líneas horizontales y verticales.

Esta hoja se colocó sobre los datos, de manera tal que el mayor número de puntos coincidieran en los cuadrantes inferior izquierdo y superior derecho, y el número menor de puntos se dejó en los cuadrantes superior izquierdo e inferior derecho. El punto en que la línea vertical cortara el eje equis se considero que fue el nivel crítico encontrado para el cultivo en estudio, utilizando la metodología del ácido doble diluido.

Para correlacionar el fósforo extraído de cada una de las muestras de suelo y el rendimiento relativo (%Y) de las plantas, se utilizo la fórmula propuesta por Díaz-Hunter (8) en donde:

$$\% Y = \frac{\text{Rendimiento sin el fertilizante fosfatado}}{\text{Rendimiento con el fertilizante fosfatado}} \times 100$$

Por medio del estudio y selección de datos de rendimiento relativos (%Y) obtenidos con los diferentes tratamientos, se pudo separar los suelos con una respuesta positiva a la aplicación del fertilizante, de aquellos en los cuales no hubo una respuesta al fertilizante.

6.4.6 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE ADSORCIÓN

a) SOLUCIÓN EXTRACTORA:

Acido doble diluido:

Esta solución está compuesta de HCI 0.05N + H_2SO_4 0.025N. Para la extracción con esta metodología se usa la relación solución extractora suelo, 5:1, con 5 minutos de agitación y filtrar con papel Whatman número 2.

b) SOLUCIONES PATRONES:

Para preparación de las soluciones patrones de adsorción se siguieron las indicaciones dadas por Díaz y Hunter (1,978). El procedimiento fue el siguiente:

Solución A:

- Se disolvieron 7.2g de $MnCl_2 . 4H_2O$ en aproximadamente 200 ml de agua destilada.
- Se disolvieron 2.14g de $CuCl_2 . 2H_2O$ en aproximadamente 200 ml de agua destilada.
- Se disolvieron 3.34g de $ZnCl_2 . 4H_2O$ en aproximadamente 200 ml de agua destilada.
- Se mezclaron las tres soluciones anteriores y se completaron a un litro. Esto dio una solución conteniendo las siguientes concentraciones:

Mn = 2000 ug/ml
Cu = 800 ug/ml
Zn = 1600 ug/ml

Solución B:

- Se disolvieron 6.15g de KH_2PO_4 en aproximadamente 1,500 ml de agua destilada en un matraz aforado de 2 litros.
- Se agregaron 100ml de la solución A al matraz aforado conteniendo la solución 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/100ml

Soluciones para los Tratamientos de Adsorción:

A partir de la solución B, se prepararon por dilución a 100ml las concentraciones indicadas, con las que se efectuó una serie de 5 tratamientos de adsorción; como se indica en el cuadro 5.

Cuadro 5 Tratamientos de adsorción

Tratamiento de Sorción Número	ml de solución B diluidos a 100 ml	Concentración de elementos en las soluciones de tratamientos de adsorción				
		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	288	16	40	32	0.90
5	80	560	32	80	64	1.80

Metodología del Estudio de Adsorción:

Para el estudio de adsorción se usaron 11 recipientes de vidrio de donde se hicieron 5 tratamientos con dos repeticiones y un testigo, tal como se indica en el Cuadro 5.

Los análisis de adsorción se hicieron para cada una delas muestras, siguiendo la metodología del ácido doble diluido, utilizando 5 ml de suelo a cada uno de los frascos enumerados.

El frasco No. 1 como testigo se le agregó 5 ml de agua destilada.

Se agregaron 5 ml de la solución adsorción 1 a los frascos 2 y 7
Se agregaron 5 ml de la solución adsorción 2 a los frascos 3 y 8
Se agregaron 5 ml de la solución adsorción 3 a los frascos 4 y 9
Se agregaron 5 ml de la solución adsorción 4 a los frascos 5 y 10
Se agregaron 5 ml de la solución adsorción 5 a los frascos 6 y 11.

Después de que las soluciones fueron agregadas al suelo, se agitan suavemente los recipientes, para que todas las soluciones se mezclaran 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 3 a 4 días.

Luego de que las muestras fueron secadas al aire, se agregaron 25 ml de la solución extractora usada y se filtraron. Por último se realizó el análisis de rutina para determinar la cantidad de fósforo contenida en cada muestra.

Curvas de Adsorción

Con los datos de adsorción de los elementos, se construyeron gráficas, colocado el eje de las “X” las cantidades del elemento agregado y el eje de las “Y” la cantidad del elemento extraído.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las diferentes localidades donde se ubicaron cada uno de los experimentos, con el propósito de determinar el nivel crítico de fósforo para la región en estudio; los cuales son discutidos en el orden siguiente:

- Análisis químico de las muestras de suelo
- Análisis de disponibilidad de nutrientes
- Determinación del nivel crítico de fósforo a través del método gráfico de CATE-NELSON.
- Estudio de adsorción, para determinar la capacidad de retención de fósforo de los diferentes suelos estudiados.
-

7.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE SUELO

El cuadro 6 muestra los resultados obtenidos del análisis químico de las muestras de suelo, las cuales se determinaron en el Laboratorio de Suelos del CUNORI, utilizando para ello, el método de extracción de Mehlich o del ácido doble diluido.

Las muestras de s8elo fueron colectadas quince días de la siembra. En cada experimento se tomó una muestra compuesta, para la cual se tomaron quince submuestras por cada muestra compuesta (tal como lo indica Sáchez, 1,981), para poder reducir el error de muestreo.

Cuadro 6 Disponibilidad de nutrientes extraídos con la metodología del ácido doble diluido, en las 15 comunidades en estudio.

Localidad	P. P. M.			Meq/100 ml suelo	
	pH	P	K	Ca	Mg
Vega CUNORI	7.4	56.00	200.0	13.07	2.00
El Palmar	6.6	10.99	175.0	1.65	1.42
El Pinalito	6.3	6.58	125.0	8.90	2.16
El Guayabo	6.4	4.68	100.0	6.48	1.92
El Mojón	6.2	22.50	150.0	1.55	1.08
Salitrón	6.2	10.29	150.0	11.60	2.00
Las Tablas	5.4	10.50	180.5	0.65	1.50
El Limón	6.0	5.29	65.5	13.90	2.00
El Molino	6.8	25.39	112.5	15.80	1.75
Chancó	6.0	2.28	150.0	5.78	1.66
El Conacaste	6.2	0.10	75.0	11.72	2.30
El Barreal	5.9	1.33	187.0	3.09	1.33
Plan del Guineo	6.0	36.51	150.0	7.50	1.83
El Durazno	6.2	9.07	225.0	5.34	1.42
Corral de Piedra	6.1	15.45	212.0	7.58	2.00

7.2 ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

En el cuadro 6 se presentan los resultados de la disponibilidad de nutrientes, cuantificados en el laboratorio de suelos del CUNORI.

Los valores de pH varían de 5.4 a 7.4; estos clasifican de ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos.

El fósforo, presenta una variación de 0.1 a 56 ppm, valores considerados de deficientes a muy altos, con algunos valores intermedios.

El potasio presenta una variación de 62.5 a 225 ppm, que los sitúa de deficiente a alto.

El calcio y magnesio, aunque presentan rangos de cantidades bajas a altas, se consideran que su relación es adecuada para el propósito de este estudio.

7.3 DETERMINACIÓN DEL NIVEL CRITICO DE FOSFORO A TRAVÉS DEL MÉTODO GRAFICO DE CATE-NELSON

En la figura 1 se observan los resultados dela correlación entre el rendimiento relativo y el fósforo extraído mediante la metodología del ácido doble diluido, el cual nos brinda un valor aproximado de 12 ppm.

El unto en que la línea vertical corta el eje “X” es el nivel crítico encontrado para el método de análisis de suelo bajo consideración.

El punto en que la línea horizontal corta el eje “Y” separa los suelos de respuesta alta a la aplicación de fertilizante, de los suelos con una respuesta baja. Por lo tanto, el nivel crítico divide los suelos con poca probabilidad de que se obtenga respuesta.

Una ventaja que ofrece el método gráfico de Cate-Nelson es que identifica los suelos en que la solución extractora no trabaja bien (los puntos que quedan en los cuadrantes superior izquierdo e inferior derecho).

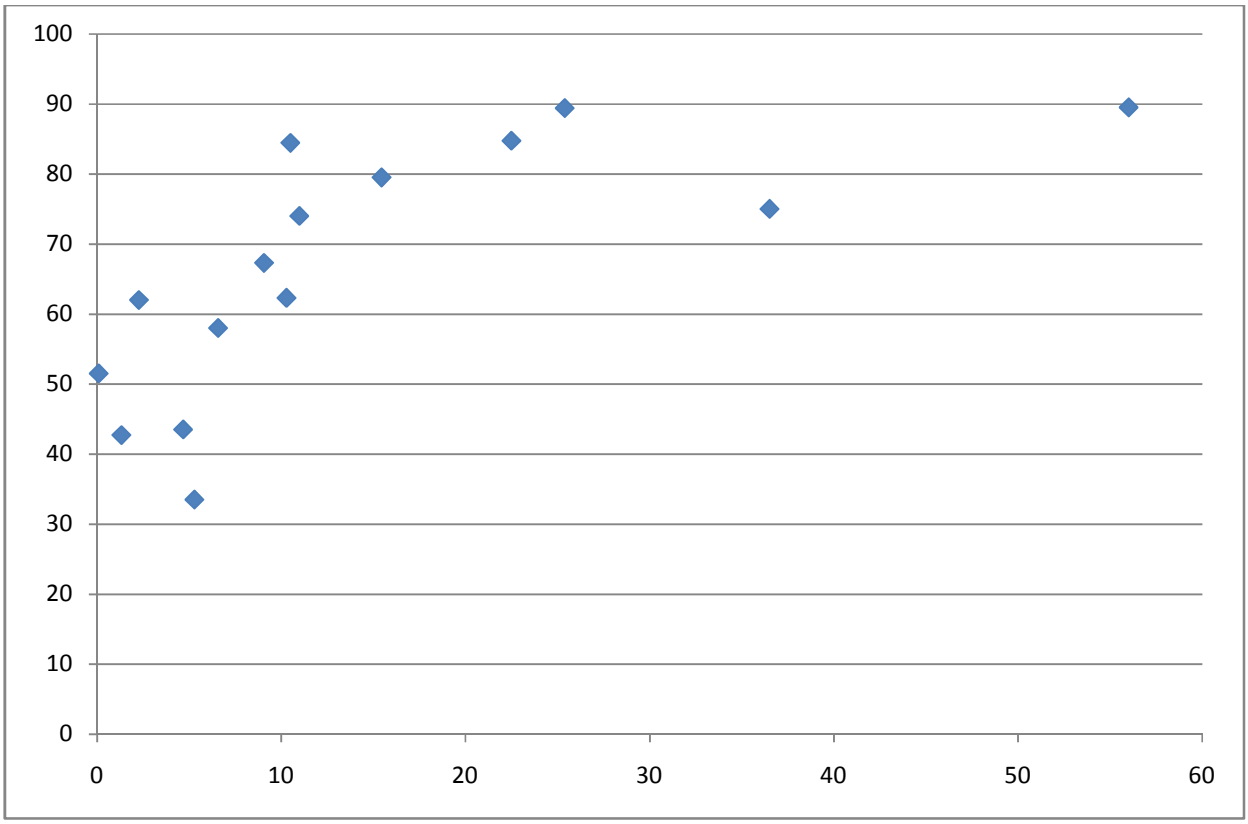
El nivel critico encontrado nos indica que valores menores a este, se espera una alta probabilidad de respuesta por parte de la planta a la aplicación del fertilizante fosfatado y, conforme e valor se va incrementando la probabilidad de respuesta disminuye.

Cuadro 7 Análisis de rendimiento relativos (%) de las diferentes localidades.

Localidad	P extraído	Rendimiento Relativo (%Y)
Vega CUNORI	56.00	89.50
El Palmar	10.99	74.00
El Pinalito	6.58	58.00
El Guayabo	4.68	43.50
El Mojón	22.50	84.73
Salitrón	10.29	62.30
Las Tablas	10.50	84.43
El Limón	5.29	33.50
El Molino	25.39	89.40
Chancó	2.28	62.00
El Conacaste	0.10	51.50
El Barreal	1.33	42.70
Plan del Guineo	36.51	75.00
El Durazno	9.07	67.30
Corral de Piedra	15.45	79.50

En el cuadro anterior se puede observar que el cultivo de maíz (Zea mays L.) respondió a la mayoría de las comunidades donde se llevaron a cabo los experimentos de calibración, ya que existieron diferencias en cuanto al rendimiento en cada uno de los niveles evaluados.

Rendimiento Relativo (%Y)



Figara 2. Correlación entre niveles de pruebas de suelo y rendimientos relativos del cultivo del maíz utilizando el método de extracción (ppm) del ácido doble diluido en experimentos de campo.

Cantidad de fósforo extraída en ppm.

El laboratorio de suelos del Centro Universitario de Oriente a utilizado desde su inicio los niveles siguientes:

ALTO	>	30 ppm
MEDIO		10 – 30 ppm
BAJO	<	10 ppm

Tomando como referencia únicamente el reconocimiento de algunos campos de cultivo, las recomendaciones realizadas por algunos especialistas en

suelos y consultas bibliográficas existentes de regiones que poseen condiciones edáficas diferentes a la nuestra.

Las dosis de fertilizantes que han venido recomendado para cada uno de los niveles citados son los siguientes:

- Menor de 10 ppm: Se recomienda la dosis completa requerida por el cultivo.
- 10-30 ppm: Se recomienda dos terceras partes de la dosis requerida por el cultivo.
- Mayor de 30 ppm: No se recomienda la aplicación de fertilizante fosfotado.

Algunos laboratorios de suelos recomiendan cantidades pequeñas como aplicaciones de mantenimiento, cuando el valor del análisis de suelo supera al nivel crítico establecido; otros laboratorios han desistido de hacer recomendaciones de mantenimiento, ya que su información les demuestra que las entradas económicas debido a las aplicaciones en suelos con niveles altos no son rentables para el agricultor.

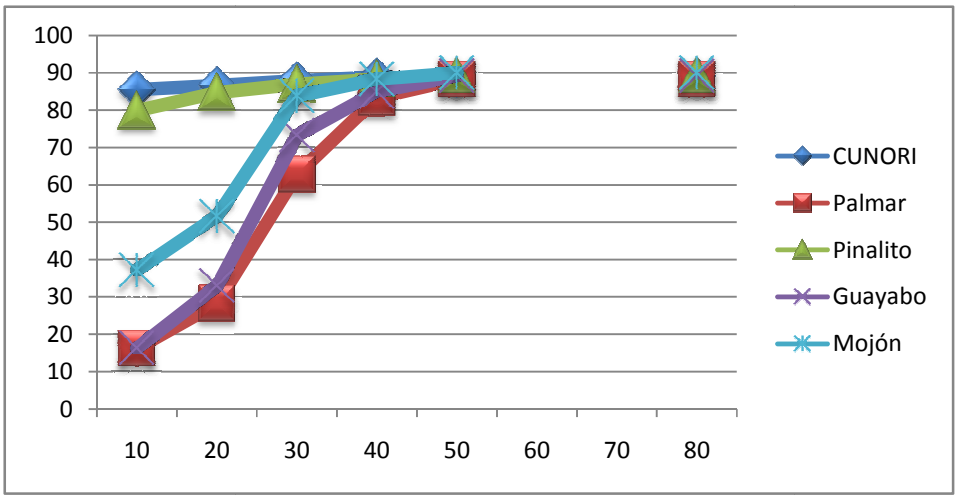
7.4 ESTUDIO DE ADSORCIÓN, PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE FOSFORO DE LOS DIFERENTES SUELOS ESTUDIADOS.

Según el estudio de adsorción realizados para cada uno de los suelos evaluados, y tomando como base las curvas elaboradas, podemos observar el comportamiento del fosforo en relación a los niveles aplicados. Los suelos respondieron a las aplicaciones de fósforo, lo cual no india que son suelos con baja capacidad de fijación del elemento. Únicamente se observa que las curvas de dos localidades se mantienen constantes, aparentando ser fijadoras del elemento, pero si se hubiesen aplicado cantidades mayores del elemento, pero si se hubiesen aplicado cantidades mayores del elemento, el suelo hubiera respondido al fósforo aplicado.

Cuadro 8 Cantidad de fósforo extraído en ppm a diferentes niveles del elemento aplicado en Kg/Ha.

P Aplicado	5 Kg/ha	10 Kg/ha	20 Kg/ha	40 Kg/ha	80 Kg/ha	Testigo
Localidad	P Extraído ppm	P Extraído ppm	P Extraído ppm	P Extraído ppm	P Extraído ppm	P Extraído ppm
Vega CUNORI	85.47	86.55	87.87	88.82	89.05	93.71
El Palmar	16.18	28.23	62.75	83.20	88.22	6.37
El Pinalito	79.83	84.71	86.96	88.22	89.18	23.75
El Guayabo	16.23	32.90	73.17	84.85	89.05	13.10
El Mojón	37.10	51.52	83.73	88.22	89.89	23.24
Salitrón	14.62	15.75	26.90	64.67	84.63	10.01
Las Tablas	21.12	38.97	74.51	83.55	89.89	8.14
El Limón	8.60	12.84	31.86	70.59	86.38	5.09
El Molino	18.26	25.75	33.90	54.76	86.63	23.42
Chancó	68.99	74.10	84.03	85.70	89.05	28.65
El Conacaste	27.12	32.09	52.31	82.36	88.22	14.62
El Barreal	26.68	29.30	46.17	78.86	87.83	23.24
Plan del Guineo	47.73	64.14	74.89	85.55	89.89	34.53
El Durazno	19.30	37.95	73.46	84.58	89.89	10.14
Corral de Piedra	62.81	74.84	83.20	87.38	89.05	34.53

Fósforo extraído (ppm)

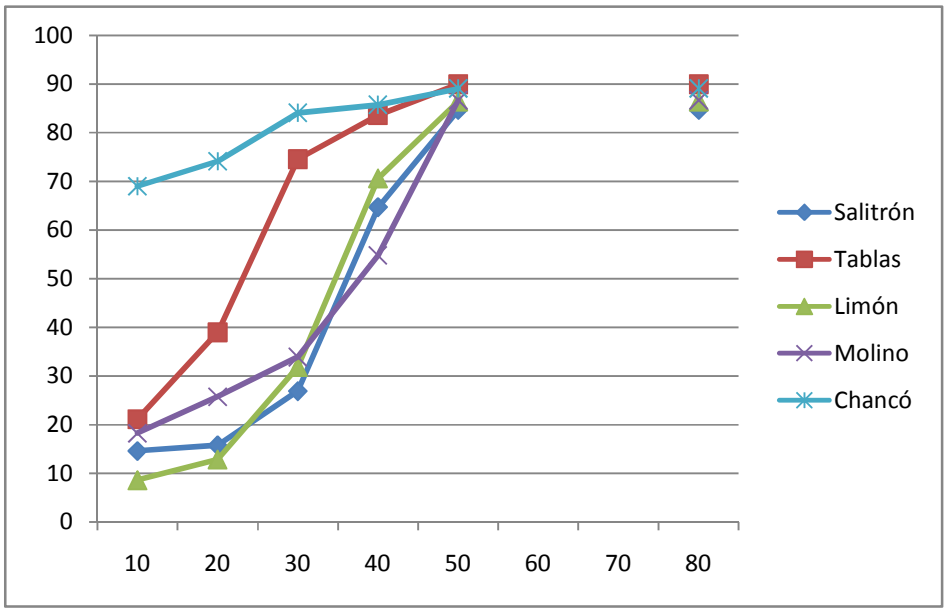


Fosforo agregado (Kg/ha)

FIGURA 3 Curvas de adsorción de fósforo para 5 localidades en estudio utilizando la metodología de extracción del ácido doble diluido

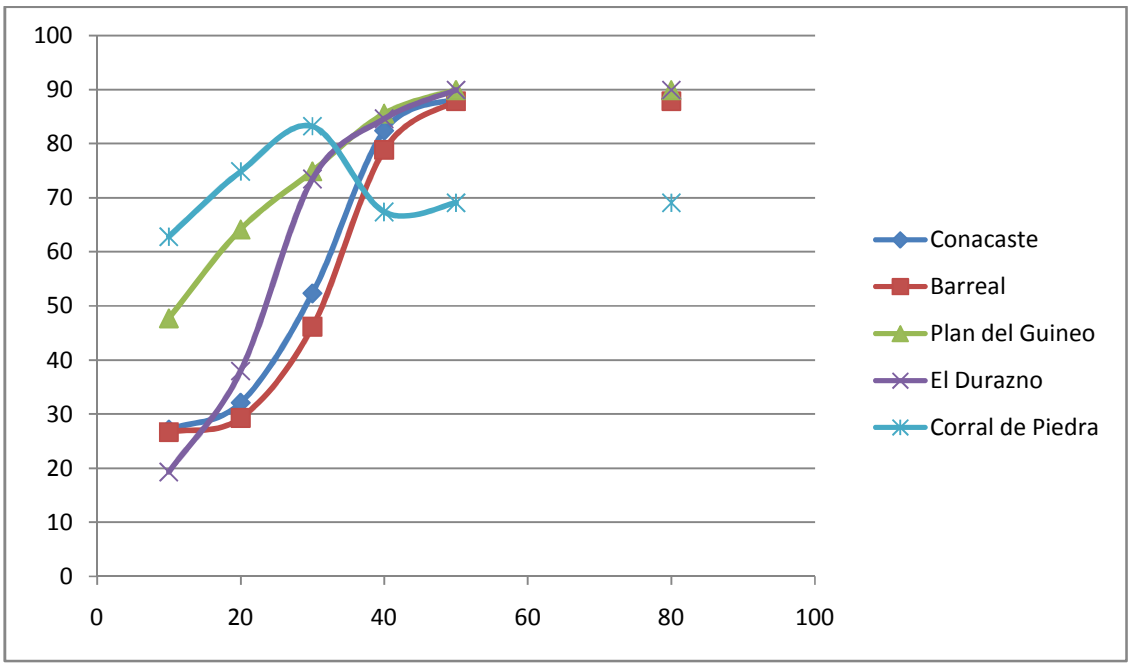
Fósforo extraído (ppm)

.



Fosforo agregado (Kg/ha)

FIGURA 4 Curvas de adsorción de fósforo para 5 localidades en estudio utilizando la metodología de extracción del ácido doble diluido



Los resultados de la cantidad de fósforo extraído en ppm en los diferentes niveles del elemento aplicado en Kg/ha, se obtuvieron con base a las dos repeticiones de las muestras de suelo que se analizaron en el laboratorio, pero en el cuadro anterior aparecen los promedios de dichas repeticiones.

Las cantidades de fósforo en solución que se extrajo en cada una de las muestras como se puede observar, no sobrepasó los 90 ppm ya que los suelos de la región no superan dicho nivel por lo que aparato Spectronic 20 esta calibrado a reportar niveles de fósforo menores de 90 ppm, es por ello que en dos localidades en estudio, las curvas de adsorción aparentan que los suelos son fijadores del elemento.

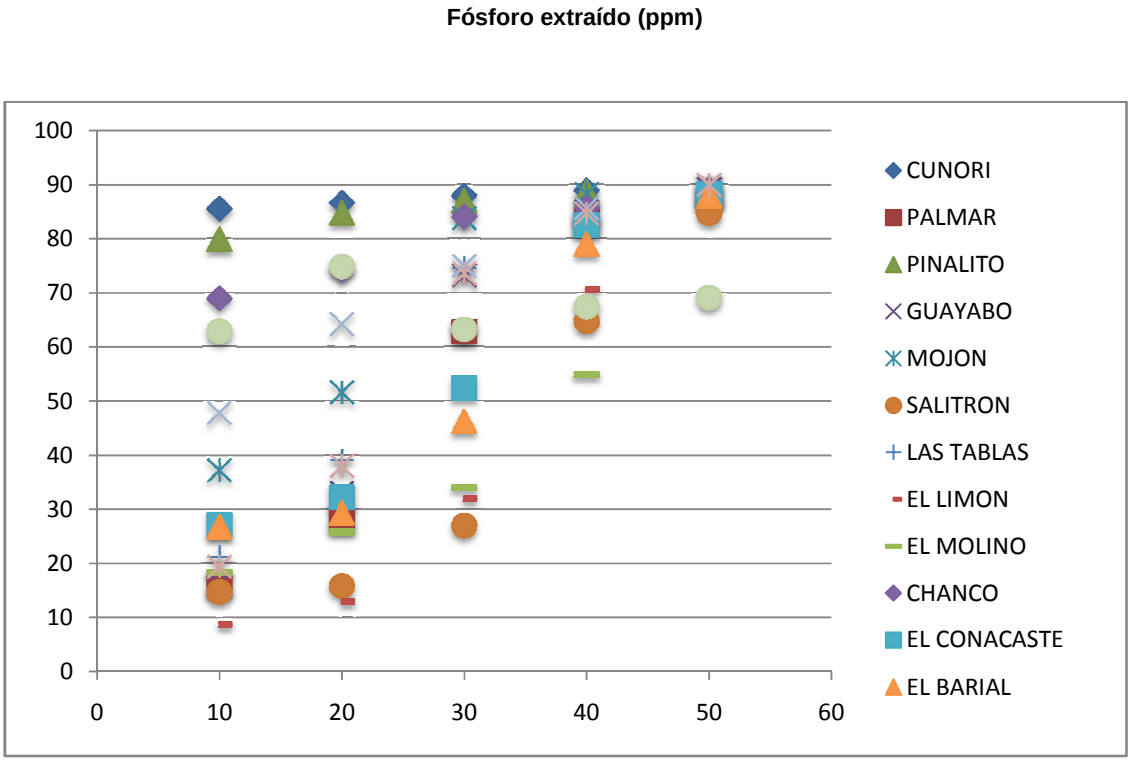


FIGURA 6 Curvas de adsorción de fósforo para 15 localidades en estudio utilizando la metodología de extracción del ácido doble diluido

8. CONCLUSIONES

1. El nivel crítico de fósforo para el cultivo del maíz (Zea mays L.) con la metodología del ácido doble diluido (HCI 0.o5 + H2so4 0.025N) para esta zona es de 12 ppm; lo cual nos indica que con niveles inferiores a este, se espera una respuesta del cultivo a la aplicación del fertilizante y, cantidades por encima de este nivel, la probabilidad de respuesta del cultivo al fertilizante va disminuyendo conforme se incrementa la cantidad de fósforo extraído.

2. El cultivo del maíz (Zea mays L.), respondió a los diferentes niveles de fósforo aplicados en cada uno de los experimentos establecidos, ya que se observaron diferencias en cuanto al rendimiento (en Kg Ha -1) en cada uno de ellos.

3. De acuerdo a las gráficas de adsorción de fósforo, la tendencia general del elemento es de aumentar al incrementar las cantidades de fósforo aplicado; lo que significa que los suelos de esta región no poseen la capacidad de fijación para dicho elemento, haciéndolo disponible a la planta.

9. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda establecer un determinado número de ensayos de ampo cuidadosamente seleccionados, evaluando diferentes dosis de aplicación, y así determinar la dosis óptima económica, tomando como base el nivel crítico establecido.

2. Se recomienda realizar investigaciones sobre la evaluación de la fertilidad del suelo en donde deben incluir no sólo las dosis recomendadas para cultivos y suelos específicos, sino también las mejores fuentes de los fertilizantes, métodos de colocación y fechas de aplicación.

3. Cualquiera que sea la forma en que se determinen las recomendaciones sobre fertilizantes, estas carecen de valor si el agricultor no las pone en práctica. Es por ello que se recomienda realizar programas educativos para atraer la atención del agricultor, los cuales pueden incluir, días de campo, parcelas demostrativas, programas radiales y ayudas audiovisuales para que los agricultores estén familiarizados con el programa, aceptando o rechazando las recomendaciones.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. BINGHAM, T. 1966. Phosphorus. In Diagnostic criteria for plants and soils. Ed. by D.H. Chaopman. Riverside, University of Carolina. p. 36

2. BUKMAN, H.O.; BRADY, N.C. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. Por R. Solard Barceló. Barcelona, Esp. Montaner y Simon, S.A 590 p. g

3. CASTILLO, L.; LEON VILLAGRAN, R. 1977. El cultivo de maíz en el parcelamiento La Máquina. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. Folleto técnico no. 3. 4p.

4. 1984. Reajuste del nivel crítico de fósforo, potasio y determinante de niveles de fertilización para granos básicos, en el sur-oriente del país, 1975-1983. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Disciplina de Manejo de Suelos. s.p

5. DIAZ ROMEU, R.; HUNTER A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 68p.

6. ESTRADA LIGORRIA, L. 1983. Fósforo y potasio. In Curso de fertilidad y fertilización. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Disciplina de Manejo de Suelos. p. 45-64.

7. FESSBENDER, H.W 1975. Química de suelos; con énfasis en los suelos de América Latina. Turrialba, C.R., Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 398 p.

8. PALENCIA, J.A 1974. Correlación para análisis de fósforo y potasio; informe anual 1973. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, programa de Nutrición Vegetal. P. 5-14

9. MILLAR, C.E TURK, M.L; FOTH, H.D. 1981. Fundamentos de la ciencia del suelo. 5 ed. Trad. por Juan Nava Díaz. México, Continental. 527 p.

10. HOLDRIDGE, L. 1956. Zonificación Ecológica de América Central. Turrialba, C.R., Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 216 p.