



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

EFFECTO DEL P Y N SOBRE LA ACTIVIDAD DE LA ENZIMA FOSFATASA ACIDA RADICAL EN TRIGO, TRITICALE Y MAIZ EN DOS SUELOS ACIDOS.

TESIS

Que Para Obtener el Título de:

BIOLOGO

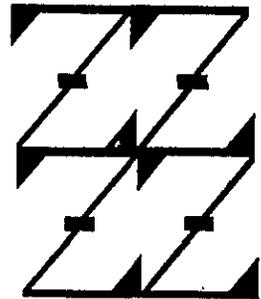
Presenta:

MARIA DE JESUS CORDOBA CANO

Director de Tesis

M. en C. Gerardo Cruz Flores

México, D. F. 1998



LO HUMANO EJE DE NUESTRA REFLEXION



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

262047



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Debe tenerse presente que la tragedia en la vida no reside en no lograr los objetivos, la tragedia consiste en no tener objetivos por lograr; no es ninguna desgracia morir con sueños incumplidos, si lo es en cambio no soñar. No hay desdicha alguna en no llegar hasta las estrellas a las cuales dirigirse, no es el fracaso, sino la pobreza de espíritu lo que constituye el auténtico fracaso.

Benjamín Mays.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios, ya que a él le debo todo lo que soy y lo que he logrado.

A los sinodales del jurado:

M. en C. Miguel Castillo González,

Biól. Rubén Zulbarán Rosales.

Biól. María de Jesús Sánchez Colín.

Biól. Elvia García Santos.

Por sus valiosos comentarios para el enriquecimiento del trabajo.

Al M. en C. Gerardo Cruz Flores por el apoyo que me brindó en la realización del trabajo.

Al Biól. Rafael Alejandro Vivanco Estrada por la amistad y el apoyo incondicional que en todo momento me ha brindado, así como sus atinados comentarios para mejorar el trabajo.

Al Biól. José Manuel Gabriel Cruz por su apoyo brindado en la realización de este trabajo.

A mis amigas: Elvia Rocío, María Isela y María Guadalupe porque con su amistad me enseñaron a comprender muchas cosas y por haber estado conmigo tanto en las buenas como en las malas.

A todos mis compañeros de la preparatoria y la generación por la amistad que me brindaron.

DEDICATORIA.

A mis Padres: Arturo y Audelia por el apoyo, la confianza y el amor que siempre me han brindado.

A mis Hermanas: Audelia, María Guadalupe y Rosa Aurora, por el cariño que siempre me han brindado así como sus atinados consejos en los momentos que los necesite.

A mis Sobrinos: Alma Itzel, Guadalupe Marlen, Ana Belén, Luis Fernando y Daniela Christine porque con sus sonrisas nos demuestran su cariño.

A mis Abuelos: Valente y María de Jesús por sus consejos y el cariño que siempre me han brindado.

A mis Tías: Catalina, Mariana, María Luisa y Rosalía por haberme dado buenos consejos y apoyado en los momentos que lo necesité.

A mis Cuñados, a todos Tíos y Primos por todo el apoyo que siempre me han dado.

INDICE

| | |
|--|----|
| Resumen | 1 |
| Introducción | 2 |
| Marco Teórico y Antecedentes | 4 |
| Los Cereales | 4 |
| Clasificación Taxonómica del Trigo, Triticale y Maíz | 8 |
| Suelos Acidos | 9 |
| Andisoles | 11 |
| Fósforo | 13 |
| Utilización por la Planta | 15 |
| Deficiencias | 15 |
| Efectos de la Buena Disponibilidad del Fósforo | 15 |
| Actividad Fosfatasa | 17 |
| Nitrógeno | 20 |
| Utilización por la Planta | 20 |
| Funciones del Nitrógeno | 21 |
| Escasez e Incremento | 21 |
| Efectos de la Buena Disponibilidad del Nitrógeno | 22 |
| Adaptabilidad | 23 |
| Mecanismos de Respuesta | 23 |
| Reacción de las Plantas al Estrés Nutricional | 24 |
| Eficiencia Nutricional | 25 |
| Objetivos | 29 |
| Hipótesis | 30 |
| Materiales y Métodos | 31 |
| Resultados y Discusión | 37 |
| Trigo | 37 |
| Actividad Fosfatasa | 37 |
| Eficiencia en Uso de Nitrógeno y Fósforo | 40 |
| Eficiencia de Absorción de la Raíz | 43 |
| Relación de Actividad de la Enzima y Partición de la Biomasa | 46 |
| Análisis Estadístico | 48 |
| Triticale | 50 |
| Actividad Fosfatasa | 50 |
| Eficiencia en Uso de Nitrógeno y Fósforo | 53 |
| Eficiencia de Absorción de la Raíz | 56 |
| Relación de Actividad de la Enzima y Partición de la Biomasa | 58 |

| | |
|--|----|
| Análisis Estadístico | 61 |
| Maíz | 63 |
| Actividad Fosfatasa | 63 |
| Eficiencia en Uso de Nitrógeno y Fósforo | 67 |
| Eficiencia de Absorción de la Raíz | 69 |
| Relación de Actividad de la Enzima y Partición de la Biomasa | 71 |
| Análisis Estadístico | 73 |
| Conclusiones | 75 |
| Actividad Fosfatasa | 75 |
| Índice de Eficiencia | 76 |
| Eficiencia de Absorción de la Raíz | 76 |
| Relación de Actividad de la Enzima y Partición de la Biomasa | 77 |
| Sugerencias | 78 |
| Bibliografía | 79 |
| Apéndice | 87 |

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.

| | | |
|------------------|--|---------|
| Cuadro 1 | Clasificación Taxonómica del Trigo, Triticale y Maíz | 8 |
| Figura 1 | Fósforo del Suelo que es Fijado o Menos Disponible, por la Formación de Fosfatos Menos Solubles de Hierro, Aluminio (de las Arcillas y Calcio) | 14 |
| Figura 2 | Ecuación General de la Reacción Catalizada por la Fosfatasa Ácida y Alcalina | 17 |
| Cuadro 2 | Funciones del Nitrógeno | 21 |
| Cuadro 3 | Genotipos de Trigo, Triticale y Maíz con los que se Realizó el Experimento | 30 |
| Cuadro 4 | pH, Materia Orgánica, Fósforo y Nitrógeno de Ambos Tipos de Suelo | 31 |
| Cuadro 5 | Niveles de Fertilización de N y de P | 31 |
| Cuadro 6 y 7 | Niveles de Fertilización de N y P en los genotipos de Trigo, Triticale y Maíz para Ambos Suelos. | 32 |
| Cuadro 8 | Métodos Para Evaluar las Variables Estudiadas. | 34 |
| Cuadro 9 | Actividad de la Enzima Fosfatasa Ácida Radical en Trigo, por Efecto de la Edad, Tratamiento y Tipo de Suelo. | 38 |
| Cuadro 10 | Índice de Eficiencia de Nitrógeno y Fósforo en Trigo, por Efecto del Tratamiento y del Tipo de Suelo. | 41 |
| Cuadro 11 | Eficiencia de Absorción de la Raíz del Trigo, por Efecto del Tratamiento y del Tipo de Suelo. | 44 |
| Cuadro 12 | Relación de Actividad Enzimática del Trigo y Razón Raíz/Vástago por Efecto del Tratamiento y Tipo de Suelo. | 47 |
| Cuadro A | Análisis Estadístico del Trigo | 49 |
| Cuadro 13 | Actividad de la Enzima Fosfatasa Ácida Radical en Triticale, por Efecto de la Edad, Tratamiento y Tipo de Suelo. | 51 |
| Cuadro 14 | Índice de Eficiencia de Nitrógeno y Fósforo en Triticale, por Efecto del Tratamiento y del Tipo de Suelo. | 54 |
| Cuadro 15 | Eficiencia de Absorción de la Raíz del Triticale, por Efecto del Tratamiento y del Tipo de Suelo. | 57 |
| Cuadro 16 | Relación de Actividad Enzimática del Triticale y Razón Raíz/Vástago por Efecto del Tratamiento y Tipo de Suelo. | 59 |
| Cuadro B | Análisis Estadístico del Triticale | 62 |
| Cuadro 17 y 17.1 | Actividad de la Enzima Fosfatasa Ácida Radical en Maíz, por Efecto de la Edad, Tratamiento y Tipo de suelo. | 64 - 65 |
| Cuadro 18 | Índice de Eficiencia de Nitrógeno y Fósforo en Maíz, por Efecto del Tratamiento y del Tipo de Suelo. | 68 |
| Cuadro 19 | Eficiencia de Absorción de la raíz del Maíz, por Efecto del Tratamiento y del Tipo de Suelo. | 70 |
| Cuadro 20 | Relación de Actividad Enzimática del Maíz y Razón | 72 |

| | | |
|-----------|---|----|
| | Raíz/Vástago por Efecto del Tratamiento y Tipo de Suelo. | |
| Cuadro C | Análisis Estadístico del Maíz | 74 |
| Tabla I | Comportamiento del Trigo en los Dos Tipos de Suelo | 90 |
| Tabla II | Comportamiento del Triticale en los Dos Tipos de Suelo | 90 |
| Tabla III | Comportamiento del Maíz en los Dos Tipos de Suelo | 91 |

RESUMEN

Esta investigación se realizó en condiciones de invernadero con el fin de evaluar la influencia de 2 niveles (alto y bajo) de fósforo y nitrógeno sobre 3 genotipos de trigo, 3 de triticale y 3 de maíz en dos suelos que fijan fósforo (Andisoles), provenientes de Pátzcuaro, Michoacán y Villa Victoria, México. La influencia de los factores citados fue evaluada por medio de la estimación de la actividad de la enzima fosfatasa ácida radical (**Ac-Fa**), así como evaluación de los índices de eficiencia de fósforo (**IEP**) y nitrógeno (**IEN**), la eficiencia de absorción de la raíz (**ER**) para ambos nutrimentos, y la razón raíz/vástago o partición de la biomasa en raíz y parte aérea (**RAETA**), con los siguientes resultados: la actividad fosfatásica aumentó con la edad en Trigo y Triticale, mientras que en Maíz no se modificó significativamente. Los Trigos desarrollaron mayor actividad enzimática que los Triticales. Con la dosis 400-0 (+N-P) aumentó la actividad de la enzima fosfatasa en las tres especies. El suelo de Villa Victoria permitió un mejor desarrollo de las plantas probablemente debido a que un año antes se había encalado, favoreciendo de ésta manera la disponibilidad de los nutrimentos.

Sobre eficiencia nutrimental, evaluada por diferentes procedimientos, Los resultados más importantes muestran que los Trigos: son eficientes a nitrógeno ante carencia de este (-N-P y -N+P) y a fósforo ante suficiencia (+N-P y +N+P). En Triticale la dosis no tiene influencia sobre los genotipos ya que se comportan de la misma manera ante carencia y suficiencia de nitrógeno, con aplicación de fósforo. La dosis completa (400-200 ppm) provocó disminución de la eficiencia. En Maíz con el nivel 400-0 ppm de nitrógeno aumentó la eficiencia de ambos nutrimentos.

INTRODUCCION.

Uno de los factores que limita la producción de los cereales básicos en algunas zonas de México, es la carencia o baja disponibilidad de los nutrimentos necesarios para completar su ciclo vital. Uno de los más significativos en este sentido, es la insuficiencia casi general de fósforo y nitrógeno ya que a falta de éstos, la planta ve afectado su crecimiento y desarrollo en el tejido de raíces y tallos que ocasionan un bajo desarrollo del cultivo.

Las plantas adaptadas a suelos ácidos utilizan una gran variedad de mecanismos para contrarrestar factores adversos del suelo. Dentro de estos mecanismos se encuentra la actividad fosfatásica. La habilidad para tomar fósforo en situaciones de baja disponibilidad está asociado con la capacidad de las plantas a acidificar el medio radical, y con la actividad fosfatásica, en la cual se ha encontrado un incremento como respuesta a la deficiencia por fósforo.

Entre los mecanismos de adaptación se encuentra la actividad de la enzima fosfatasa ácida de la raíz para poner a disposición el fósforo no disponible en el suelo. Para disminuir el problema de bajo rendimiento se pueden seleccionar especies y genotipos de cereales que sean eficientes en uso de los nutrimentos presentes en el suelo aún en pequeñas cantidades, ó con resistencia y tolerancia a toxicidad y acidez.

Se sabe que la tasa de absorción de nutrimentos por las plantas depende de la tasa de abastecimiento de éstos y del potencial de absorción que tiene la planta. En muchos ecosistemas, la absorción de nitrógeno está altamente correlacionada con su tasa de mineralización. Existe también una respuesta compensatoria de las plantas para absorber el elemento por el cual se manifiesta el mayor estrés nutrimental, (Lee, 1982 citado en Stuart-Chapin, 1991), aunque esta respuesta es específica, también un estrés por carencia de nitrógeno, reduce el potencial de las raíces para absorber fosfatos y un estrés por carencia de fosfatos reduce la capacidad de las raíces para absorber nitrógeno (Stuart-Chapin, 1991).

La disponibilidad de nutrimentos para las plantas es uno de los principales factores del ambiente edáfico que determinan su productividad, el problema de la disponibilidad se ha contrarrestado con el uso de fertilizantes, los cuales aportan al suelo el material que la planta requiere para su crecimiento, esto que parece una medida adecuada ha traído consecuencias graves por el efecto nocivo que estos producen con el tiempo a los suelos, es por esto que resulta importante evaluar diferentes tratamientos en Andisoles que presentan baja disponibilidad con el fin de observar con qué dosis los genotipos se ven más favorecidos en su desarrollo así como el estudio de mecanismos que de manera natural las plantas desarrollen para la obtención de los elementos necesarios para su desarrollo.

Es deseable explorar diversos genotipos con una alta eficiencia en el uso y absorción de nutrimentos en suelos de baja fertilidad como los Andisoles, a fin de aumentar la productividad y disminuir la escasez de alimentos en el mundo (Gourley *et al.*, 1994).

Por las razones expuestas anteriormente, es necesario probar diferentes genotipos de cereales a nivel invernadero, evaluar su eficiencia ante las condiciones de estrés por fósforo y nitrógeno en suelos ácidos, para el posterior estudio en campo de genotipos que produzcan mayor biomasa por unidad de nutrimento absorbido.

MARCO TEORICO Y ANTECEDENTES.

1. LOS CEREALES.

La alimentación es uno de los principales problemas a los que se enfrenta el mundo actual, agravado por el acelerado crecimiento demográfico, sobre todo en países en vías de desarrollo. Para atenuarlo la investigación agrícola se presenta como una de las principales alternativas de solución, ya que su objetivo primordial es elevar la cantidad y calidad de los cultivos, e incrementar la eficiencia en condiciones climáticas y edáficas adversas.

Los cereales constituyen, la fuente principal de alimentos para el hombre. El origen de su cultivo no se conoce con precisión, se cree que se inició alrededor del curso bajo del Nilo, en donde comenzaron a cultivarse trigo y otros granos hacia los años 8,000 a 6,000 a. C. Por su parte el maíz constituyó el alimento básico en las grandes civilizaciones americanas precolombinas - Azteca, Maya, Inca – y es importante aún hoy en día. El cultivo del arroz surgió simultáneamente en el sudeste de Asia y en Africa (Primo, 1982).

Desde la década de los años setenta, se ha analizado el tema de la alimentación relacionada con el crecimiento poblacional. Los cereales proporcionan el 75% del alimento mundial, el 20% los cultivos de raíz y el azúcar y el 5% las fuentes marinas, de aquí se desprende la importancia de realizar estudios sobre aquellos.

Con el incremento de la población mundial, especialmente en las naciones desarrolladas, se hace urgente incrementar la producción de granos alimenticios, con la premisa de que no es posible, ni desmontar selvas o bosques, ni abrir más área al cultivo, sino aprovechar los suelos cultivados a un potencial mayor y sostener su productividad.

Los cereales son los frutos de algunas plantas pertenecientes a la familia de las Gramíneas, destacan sobre todas las plantas utilizadas como fuente de alimento. El trigo, maíz, arroz, cebada y centeno son cereales cultivados muy conocidos (Cronquist, 1987). Estos han sido

aprovechados por el hombre para su alimentación de distintas maneras: cocidos, molidos para obtener harina con la cual elaboran panes, tortillas, etc.

Los cereales se han mejorado en los últimos años, gracias a un mejor conocimiento de los mecanismos de reproducción y composición genética de las plantas (Primo, 1982), sin embargo, su producción frecuentemente se ve limitada por la baja disponibilidad de nutrimentos en el suelo.

Entre todas las plantas cultivadas sólo siete alcanzan una producción anual de más de 100 millones de toneladas, y entre ellas, el trigo, el arroz y el maíz ocupan los 3 primeros lugares, la papa el cuarto y la cebada el quinto. El trigo y el arroz constituyen actualmente el alimento básico de la población mundial.

El Trigo (*Triticum aestivum* L.) consumido por el hombre principalmente en forma de pan y otros productos horneados, es el cereal más importante en Europa, Oriente próximo, Oceanía y América del Norte.

Es uno de los cereales más importantes a nivel mundial y al cual le han sido explotados sus recursos genéticos por el hombre, casi hasta la capacidad límite, tanto por su producción mundial, como por superficie sembrada. A nivel nacional el trigo tiene un lugar preponderante ya que en volumen de producción se logró 4,321,000 toneladas en el año de 1991; lo cual colocó a México en el tercer lugar de producción mundial. En cuanto a la superficie cosechada, ésta fue de 980,294 ha. para ese mismo año, todo ello hace a este cereal muy importante para la dieta nacional, comparado con otros productos agrícolas no menos importantes como el maíz y el frijol (S.A.R.H, 1992).

El maíz (*Zea mays* L) es un alimento de bajo contenido de proteína total pero alto en carbohidratos, característica que lo coloca como cereal importante, entre las fuentes de excelente energía. El contenido de proteínas varía no solo debido a las diferencias de razas

y variedades del maíz, sino también existen varios informes que demuestran que los factores ambientales tienen una influencia definitiva sobre el nivel de proteína del grano.

El maíz constituye el alimento básico de mayor importancia en México y en casi todos los países de América. En nuestro país, se calcula que esta especie cubre alrededor del 51% del área total que se encuentra bajo cultivo (Robles, 1986). Este cultivo tiene un amplio aprovechamiento en el consumo humano y animal, así como en la industria. Tradicionalmente, su producción se ha realizado por la mayoría de los agricultores para autoconsumo. El maíz raramente se utiliza en forma directa, generalmente se transforma en nixtamal (Dir. Gral. de Culturas Populares, 1987).

En México, se siembran actualmente más de 7 millones de ha. con maíz de los cuales el 85% se cultiva en temporal y solo el 15% cuenta con riego (S.A.R.H., 1987). Este cereal representa cerca de la mitad del volumen total de alimentos que se consumen en el país cada año.

El maíz es un alimento de bajo contenido de proteínas total pero alto en carbohidratos, características que lo colocan como otro cereal, entre las fuentes excelentes de energía. El contenido de proteínas varía no solo debido a las diferencias de razas y variedades del maíz.

El arroz es un alimento esencial para la mitad de la humanidad. El maíz es el cereal básico para América Central y México, siendo también alimento importante en América del Sur y Sudeste de África. El sorgo y el mijo constituyen el alimento primordial en grandes áreas de África (Primo, 1982).

El salvado de arroz y el germen de maíz constituyen una fuente de aceite comestible. Algunos cereales - maíz sobre todo - son materia prima para la obtención industrial de almidón, la cebada juega un papel importante para la industria cervecera.

La búsqueda de cultivos con altos rendimientos y resistentes a plagas y enfermedades ha desembocado en el primer cereal creado por el hombre: el Triticale, el cual ha demostrado prosperar bien en terrenos donde otros cereales tienen problemas por carencia o insuficiencia de macro y micronutrientes, incluso algunas variedades de éste son más resistentes a enfermedades que son comunes a los cereales. Su importancia económica actual es escasa, pero seguramente será importante a corto plazo debido a las amplias posibilidades que ofrece.

El Triticale, cruce de Trigo (*Triticum* sp) y Centeno (*Secale* sp) obtenido como fruto de investigaciones desarrolladas a partir de la década de los cuarenta (Larter, 1994), supera al Trigo en valor nutritivo y al Centeno en calidad para panificación. Su cultivo está extendiéndose a numerosos países. Los problemas económicos derivados de la segunda guerra mundial hicieron que los países Centroeuropeos (Polonia, Hungría, Checoslovaquia, Yugoslavia), cultivaran con éxito con poca infraestructura el Triticale, y así atenuaron los problemas de hambre durante y después de la guerra.

En México, el Triticale prospera bien en las regiones donde se cultiva trigo, cebada y avena en los Altos de Jalisco, en la Sierra Tarasca, y el Estado de México, y en la mayoría de los casos se desarrolla mejor en terrenos donde otros cereales tienen problemas por carencia de microelementos, como por ejemplo la escasez de zinc; además de estas características, posee otras: como resistencia a enfermedades, al acame, buena calidad nutricional y de grano comparable a la de trigo y en lo que se refiere a la precipitación, en áreas donde la cantidad de lluvia es alrededor de 500 a 600 mm, las cosechas de Triticale son buenas.

1.1 CLASIFICACION TAXONOMICA DEL MAIZ, TRIGO Y TRITICALE.

Cuadro 1. Clasificación Taxonómica del Trigo, Triticale y Maíz.

| Especie | MAIZ | TRIGO | TRITICALE |
|-------------|------------------|------------------|--|
| Reino | Vegetal | Vegetal | Vegetal |
| División | Tracheophyta | Tracheophyta | Tracheophyta |
| Subdivisión | Pteropsidae | Pteropsidae | Pteropsidae |
| Clase | Angiospermae | Angiospermae | Angiospermae |
| Subclase | Monocotiledoneae | Monocotiledoneae | Monocotiledoneae |
| Grupo | Glumiflora | Glumiflora | Glumiflora |
| Orden | Graminales | Graminales | Graminales |
| Familia | Gramineae | Gramineae | Gramineae |
| Tribu | Maydeae | Triticeae | Triticeae |
| Género | <i>Zea</i> | <i>Triticum</i> | <i>Triticale</i> |
| Especie | <i>mayz</i> | <i>aestivum</i> | <i>Hexaploide</i> <i>Octaploide</i> |

2. SUELOS ACIDOS.

La acidez del suelo es un factor limitante en el crecimiento para las plantas en muchas partes del mundo. Aproximadamente 1 billón de Has. en los trópicos y subtrópicos son ácidos. Muchas de estas áreas no son buenas para el desarrollo de la agricultura, o son cultivadas, pero con muy baja productividad. Las limitantes del crecimiento han sido asociadas con la acidez del suelo, con la formación de complejos, toxicidad de aluminio y manganeso, deficiencias de fósforo, molibdeno, calcio, magnesio, potasio y azufre. La toxicidad del aluminio es severa a un pH 5 o menores, a este nivel inhibe el crecimiento de la raíz impidiendo la división celular del meristemo apical (Hettel, 1984).

El pobre crecimiento de los cultivos en suelos ácidos no se debe significativamente a la alta concentración de H^+ , a menos que el valor del pH sea inferior a 4. Más bien, los efectos nocivos de la acidez del suelo son de tipo indirecto y se deben principalmente a:

- 1)Alta concentración de aluminio intercambiable o en solución.
- 2)Retención de fósforo.
- 3)Exceso de manganeso en solución.
- 4)Deficiencia de calcio, magnesio o molibdeno.
- 5)Reducida actividad microbiana, y
- 6)Baja capacidad de intercambio catiónico efectiva.

Cada uno de estos factores varía en forma diferente en relación al pH del suelo y a sus componentes y al tipo de cultivo, por lo cual no es posible establecer un criterio general aplicable a todos los suelos, acerca del pH óptimo en relación al desarrollo vegetal.

Los diversos efectos que ejerce la acidez del suelo sobre las plantas pueden ser directos e indirectos. Las influencias directas son:

- a)Efectos tóxicos de los iones H^+ sobre los tejidos de la raíz.

b)Influencia negativa de la acidez del suelo sobre la permeabilidad de las membranas de las plantas para los cationes.

c)Perturbación en el equilibrio entre los constituyentes básicos y ácidos a través de las raíces (Balance cationes/aniones en la rizósfera).

La acidez del suelo ejerce efectos directos perjudiciales sobre las plantas, en especial porque influye sobre los procesos enzimáticos, ya que son proteínas particularmente sensibles a los cambios de pH. Sin embargo, las condiciones del suelo creadas por la acidez son perjudiciales para las plantas. Los suelos muy ácidos no son suelos productivos (Tamhane, 1978).

3. ANDISOLES.

Los Andisoles se caracterizan por tener, como propiedades dominantes, un alto contenido de materia orgánica en los primeros 30 cm de suelo. Los porcentajes de materia orgánica varían entre 5 y 20%. Las concentraciones de Nitrógeno van de 0.2 - 0.7%, el pH de 4 a 6.5, la capacidad de intercambio catiónico varía de 15 a 60 cmolkg^{-1} suelo, de las bases intercambiables dominan el calcio y le sigue el magnesio (Wada, 1985).

Otras características sobresalientes de estos suelos son su alto contenido de Al^{3+} intercambiable y la presencia de óxidos e hidróxidos de aluminio. El material arcilloso predominante de estos suelos es el alofano. Este es un mineral amorfo y con el Al^{3+} son los responsables, en gran parte, de la fijación de cantidades considerables de fósforo, lo cual limita el uso de fertilizantes fosfatados en cultivos de escala comercial.

Las principales propiedades físicas de los Andisoles son: estructura débil o sin estructura, textura franca o migajón arcilloso, baja densidad aparente, alta porosidad, alta capacidad de retención de humedad y una alta crudabilidad.

Estos suelos tienen significativamente menor número de bacterias totales, más bacterias anaeróbicas y actinomicetos que los suelos de otro origen (Gallardo y Turrent, 1984; Turrent, citado por Peña 1984; y Tanaka, 1980). Esta es una razón, entre otras, que condiciona las bajas tasas de mineralización, y con ello la acumulación de materia orgánica de difícil degradación, aunado a la alternancia marcada de una temperatura fría.

De acuerdo con García y Hernández, 1994, los suelos de ando ocupan una superficie de 7.3 millones de ha en el territorio nacional y se distribuyen de la siguiente manera: 1.5 millones de ha en las tierras bajas y 1.3 millones de ha en las tierras altas de la zona de 90 - 150 días de periodo de crecimiento de los cultivos, que se extiende en una franja irregular desde el Pacífico hasta el Golfo de México y áreas aisladas de Yucatán, Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Jalisco. En la zona de 150 - 270 días de periodo de crecimiento de los cultivos

se ubican 3.2 millones de ha en las tierras bajas y 0.7 millones de ha en las tierras altas.
(García y Hernández, 1994).

4. FOSFORO.

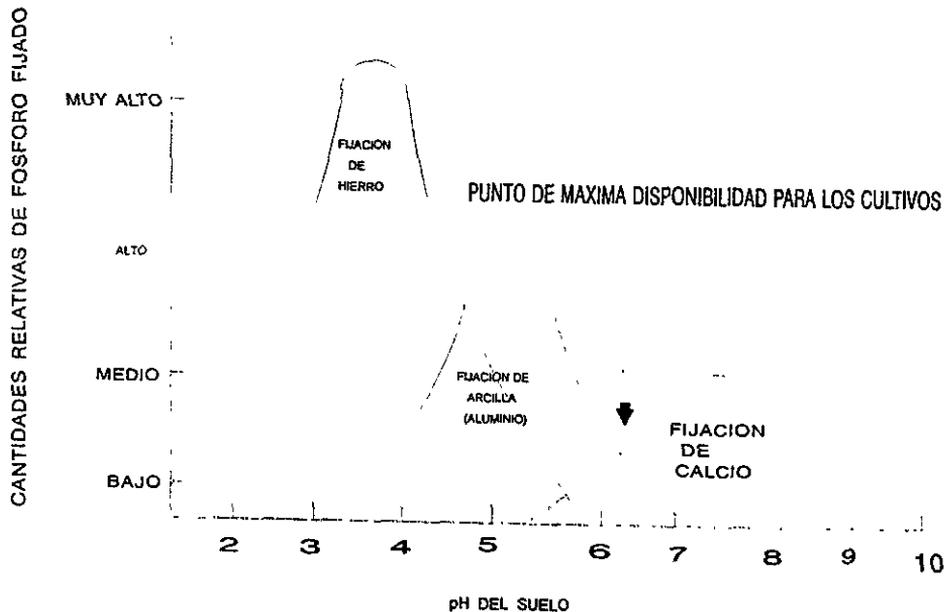
El fósforo, después del nitrógeno, es uno de los elementos importantes para fomentar el vigor, crecimiento y desarrollo de las plantas. Es necesario, ya que actúa como material de la resistencia en la elaboración y formación de materia orgánica y en su ausencia difícilmente puede realizarse el proceso de la fotosíntesis o formación clorofílica, por una falta de movilización de sustancias en la planta. El fósforo es la fuerza motriz que impulsa las corrientes de sabia, que actúa de vehículo para el traslado de reservas que fomentan el crecimiento y desarrollo de la planta.

Las plantas en desarrollo contienen cantidades apreciables de fósforo en los tejidos meristemáticos y al igual que nitrógeno es movido de los tejidos viejos a los nuevos, especialmente en los suelos con baja disponibilidad de este elemento, a medida que se acerca la madurez, pasa al fruto y a las semillas.

La cantidad total de fósforo en la capa arable varía de 0.01 a 0.15% con un promedio de 0.06%, la cantidad depende del contenido de fósforo en el material parental (León, 1991).

El fósforo es absorbido por las plantas preferentemente como iones ortofosfato primarios o secundarios (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) que se encuentran en solución en el suelo. Pueden también ser absorbidas algunas cantidades muy pequeñas de fosfato orgánico soluble. Sin embargo, los compuestos orgánicos acaban siendo descompuestos, por lo cual el fósforo queda libre en forma inorgánica y es fácilmente asimilado por la planta. El pH del suelo interviene en su disponibilidad, ya que de sus valores dependen las formas iónicas del fósforo que se van a encontrar. Así en condiciones de gran acidez predomina la forma monovalente (H_2PO_4^-), mientras la divalente (HPO_4^{2-}) se encuentra en valores de pH intermedios y la forma trivalente (PO_4^{3-}) se encontrará en condiciones alcalinas (figura 1).

Figura 1. Fósforo del suelo que es fijado o menos disponible, por la formación de fosfatos menos solubles de hierro, aluminio (de las arcillas) y calcio.



Tomado de Donahue, 1981.

Debido a que muchos suelos son deficientes en fósforo, los procedimientos de diagnóstico calibrados dan guías reales para el manejo inteligente de éstos. Con ello, las pruebas que se les realizan son auxiliares valiosos para predecir la necesidad de aplicación antes de sembrar. Una vez establecido el cultivo son necesarias las observaciones visuales de las hojas, al igual que el análisis químico o biológico de las plantas, debido a que las deficiencias ligeras de fósforo no pueden identificarse por la simple observación.

Uno de los problemas con pH ácido es la baja disponibilidad de fósforo para las plantas. Sólo del 8 al 10% de la fertilización fosfatada es utilizada y el resto es rápidamente inmovilizado (Etchevers, 1985).

4.1 Utilización por la planta.

El fósforo es un elemento que constituye unidades estructurales, biomoléculas almacenadoras de energía y reguladores osmóticos para el eficiente metabolismo celular. En resumen el fósforo interviene en:

- ✓ Formación de nucleoproteínas y ácidos nucleicos de fosfolípidos.
- ✓ División celular.
- ✓ Respiración y la fotosíntesis.
- ✓ Síntesis de azúcares, grasas y proteínas.
- ✓ Acumulación de energía (en los compuestos de ATP y NADP) en los fenómenos de fosforilación.
- ✓ Regulación del pH de las células (Sus ácidos y sus sales “de metal fuerte” forman soluciones “buffer” que regulan el pH de las soluciones celulares), etc.

Este elemento se acumula principalmente en los tejidos activos, (síntesis y respiración), en los meristemos, en las semillas y en los frutos (Marschner, 1995).

4.2 Deficiencias

Una deficiencia o carencia de fósforo tiene la siguiente sintomatología:

- ✓ Lento crecimiento y desarrollo de la planta.
- ✓ Xilema y floema poco desarrollados.
- ✓ Menor peso y tamaño.
- ✓ Pobre floración y fructificación.
- ✓ Retraso de la maduración.
- ✓ Las hojas toman un color verde oscuro y a veces con matices rojizos (antocianina).

4.3 Efectos de la buena disponibilidad de fósforo.

Los efectos positivos que conlleva una buena disponibilidad de fósforo son:

- ✓ Mayor desarrollo radicular.
- ✓ Mayor crecimiento y desarrollo general de la planta.
- ✓ Aceleración de la floración y fructificación.
- ✓ Mayor resistencia a las condiciones adversas del clima y enfermedades, Rodríguez, 1982.

5. ACTIVIDAD FOSFATASICA (Ac-Fa).

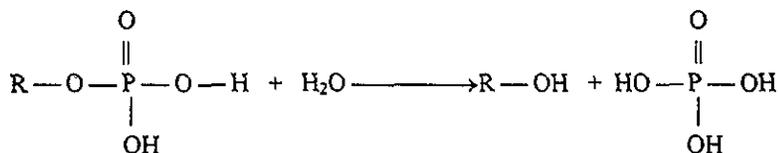
Como se señaló el fósforo es absorbido por las plantas como iones ortofosfatos primarios ($\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$) y secundarios (HPO_4^{-2}) presentes en la solución del suelo.

Las fosfatasas son en general, las enzimas responsables de la hidrólisis del fósforo contenido en la materia orgánica a fosfatos inorgánicos para que la planta los tenga disponibles.

Helal, 1990 citado por Tarafdar y Marschner, 1993, sugieren que la actividad fosfatásica de la raíz es un factor significativo de la eficiencia nutrimental bajo un limitante suplemento de fósforo mineral.

La actividad fosfatásica es una reacción enzimática que lleva a cabo un grupo de enzimas denominadas fosfatasas, las cuales catalizan la hidrólisis de los ésteres y anhídridos del ácido fosfórico. (Schmidt y Laskowki, 1961 citados por Tabatabai 1982). Las fosfatasas son en general, las enzimas responsables de la hidrólisis del fósforo contenido en la materia orgánica a fosfatos inorgánicos para que la planta los tenga disponibles.

La ecuación general de la reacción catalizada por la fosfatasa ácida y alcalina se presenta en la figura 2.



La actividad fosfatásica ácida, como mecanismo de tolerancia al estrés por falta de fósforo, es mucho mas alta sobre la superficie de la raíz, que hacia el interior del suelo y la actividad de esta enzima se incrementa en las raíces de las plantas bajo estrés de fósforo (Marschner, 1995) Besford en 1979; Gakuru y Lefebvre, 1991; y Gutrie *et al.*, 1991, citados por Cruz,

1994 reportan un incremento en la actividad fosfatásica en extractos de tejidos de muchas plantas, bajo condiciones de insuficiencia de fósforo.

O'connell y Grove (1985), mencionan que la evaluación de la actividad fosfatásica puede ser una buena alternativa del método de análisis foliar, para indicar el estado nutricional de fósforo en la planta que sirve como una prueba bioquímica.

Portilla y Molina (1995) determinaron la actividad fosfatásica radicular y la asociación con hongos micorrízicos vesículo-arbusculares en genotipos de Trigo y Triticale como respuesta a diferentes niveles de fósforo y dos condiciones de suelo. Obtuvieron los siguientes resultados: los Triticales responden mejor ante carencia de fósforo que los Trigos; la producción de la enzima fosfatasa fue mayor en los genotipos que crecieron en suelo semiestéril. Llegaron a los siguientes resultados: que la actividad fosfatásica radical y la asociación micorrizicas pueden ser dos herramientas en la selección de genotipos eficientes para la obtención de fósforo en suelos de pH ácido.

Zavala, *et al* (1996) evaluaron la actividad fosfatásica radical en trigo y triticale con estrés nutricional por deficiencia de fósforo en suelos ácidos. Los resultados obtenidos mostraron que la actividad fosfatásica ácida de raíz fue mayor en el Triticale durante las tres etapas fenológicas en que fue evaluada, pero con una ligera disminución de la actividad enzimática en la etapa de llenado de grano y menor en Trigo. Las fosfatasas del suelo mostraron un comportamiento similar pero con valores menores a los de actividad fosfatasa radical debido a que ésta es menor hacia el interior del suelo.

Gabriel, *et al* (1996) evaluaron el efecto de fertilización y abonamiento en la actividad de la fosfatasa ácida radical de Triticale y Avena, en suelos con tepetate. Encontraron que la actividad de la enzima, en los primeros 20 días del establecimiento de los cultivos del Triticale es significativamente superior en todos los tratamientos a la avena. A los 50 días, el Triticale presenta en 14 de los 15 tratamientos una actividad enzimática mayor, y ambos una marcada disminución con respecto a la edad de 20 días. En la tercera determinación (70

días) la diferencia en 10 de los 15 tratamientos no es significativa en ambos cultivos, lo que sugiere una tendencia general de la actividad enzimática a disminuir con la edad.

Córdoba y Cruz (1997) evaluaron el efecto de 2 niveles (alto y bajo) de fósforo y nitrógeno sobre la actividad de la enzima fosfatasa ácida radical en Trigo, Triticale y Maíz en Andisoles de Pátzcuaro, Michoacán y Villa Victoria, México. Encontraron que los valores más altos de actividad fosfatásica se obtuvieron en el suelo de Villa Victoria para el Vivero para Suelos Ácidos y Secano y en el de Pátzcuaro el Negro, con el tratamiento testigo, confirmándose que la actividad fosfatásica es mayor a dosis bajas de fósforo.

Zavala, *et al* (1997). Determinaron la actividad fosfatásica ácida en Trigo y Triticale como una estrategia de adaptabilidad a la deficiencia de fósforo en suelos ácidos de tipo Andisol. Encontraron que el Triticale San Lucas tuvo mayor respuesta al estrés nutrimental por deficiencia de fósforo en suelos de Ando al utilizar como estrategia de adaptación de las plantas a suelos ácidos como los de Ando la actividad de fosfatasas ácidas en raíces y suelo de rizósfera.

6. NITROGENO.

El nitrógeno es considerado uno de los elementos nutritivos esenciales de las plantas, ya que es constituyente de toda célula viva. La falta de la disponibilidad de nitrógeno limita el rendimiento de los cultivos más que la de cualquier elemento. Es a través de los procesos de fijación que se produce la combinación de este elemento con hidrógeno u oxígeno, ya que el nitrógeno es asimilable en forma inorgánica como nitratos (NO_3^-) y amonios (NH_4^+). El nitrógeno asimilable del suelo sufre grandes variaciones, dado que la cantidad de nitrógeno inorgánico del suelo depende de la velocidad de descomposición de la materia orgánica y de la velocidad de absorción por el cultivo, considerando además pérdidas de nitrógeno por volatilización, erosión y lixiviación (Tamhané, 1978).

El nitrógeno en forma de nitrato es el más utilizado por las plantas, siendo un elemento muy móvil. En su forma mineral, (NO_3^- y NH_4^+), en el interior de las células, pasa a constituir las bases nitrogenadas para las distintas funciones fisiológicas; participa en la formación de los aminoácidos, luego éstos entran en la síntesis de prótidos y proteínas vegetales, se encuentra también en hormonas, ácidos nucleicos y clorofila (Oaks, 1994).

6.1 Utilización por la planta

Dependiendo de la especie de plantas, estado de desarrollo y del órgano en cuestión el contenido de nitrógeno para un crecimiento óptimo varía entre 2 y 5% del peso seco de la planta (Marschner, 1995; Rodríguez, 1992).

El nitrógeno se encuentra en grandes cantidades en las partes jóvenes de las plantas, más que en las partes viejas y es especialmente abundante en hojas y semillas, por lo que un buen abastecimiento de nitrógeno promueve un crecimiento rápido con un mayor desarrollo de hojas y de tallos verde oscuro. Aunque una de las funciones más importantes del nitrógeno es el aumento en el desarrollo de las partes aéreas, este crecimiento no puede tener lugar sin la presencia de cantidades adecuadas de fósforo, potasio y otros elementos esenciales en formas aprovechables (Foth, 1975).

Es el constituyente fundamental de los tejidos vegetales, necesario para la formación de los núcleos celulares y para la biosíntesis de las proteínas. Es el elemento que confiere el color verde y el que condiciona el desarrollo foliar; es el factor limitante para el crecimiento y desarrollo vegetal.

6.2 Funciones del Nitrógeno.

Cuadro 2. Funciones del Nitrógeno.

| Funciones del nitrógeno | | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Estructural en compuestos orgánicos | Constituyente o activador de enzimas | Procesos biológicos |
| Aminoácidos y proteínas | Todas | Absorción iónica |
| Bases nitrogenadas y ácidos nucleicos | | Fotosíntesis |
| Enzimas y coenzimas | | Respiración |
| Vitaminas | | Multiplicación y diferenciación celular |
| Lipoproteínas | | Síntesis de compuestos |
| Pigmentos | | |
| Productos secundarios | | |

6.3 Escasez e incremento.

Cuando hay escasez se retarda el crecimiento, el nitrógeno es movilizado de las hojas maduras y translocado a las áreas de nuevo crecimiento (hojas nuevas de la planta).

Con el incremento se estimula el crecimiento y cambios en la morfología de la planta, particularmente si la disponibilidad de nitrógeno es alta durante el principio de crecimiento, se presenta una elongación del vástago y se inhibe el crecimiento de la raíz.

Su exceso produce desequilibrio entre la parte aérea y el sistema radicular, que se traduce en retrasos en la floración, fructificación y maduración, y en general, a una mayor predisposición de la planta a accidentes vegetativos y ataques por plagas y enfermedades.

Las formas amoniacal y nítrica del nitrógeno son solubles y pueden ser asimiladas por las plantas. La forma nítrica es la absorbida por la raíz y la que corre por la savia; la forma amoniacal es la fijada por las células del tejido vegetal.

6.4 Efectos de la buena disponibilidad de nitrógeno.

Una planta con buen suministro de nitrógeno tiene un color verde intenso debido a la abundancia de clorofila. El nitrógeno es un componente esencial de la molécula de clorofila; una deficiencia conduce a la formación de hojas amarillas con bajo contenido de clorofila. (Bellapart, 1988).

7. ADAPTABILIDAD.

Las plantas presentan 2 tipos de estrategias para adaptarse a condiciones edáficas adversas: Tolerancia y Evasión. De estas, la evasión es más común para las plantas que se desarrollan en suelos ácidos e incluye varios mecanismos (modificaciones del pH de la rizósfera, liberación de quelatantes, alta actividad de ectoenzimas e incremento en el volumen radical vía micorrizas). Entre los mecanismos de tolerancia se tienen las diferencias en demanda interna de nutrimentos o bien, aumento de la eficiencia de circulación. La tolerancia a toxicidades por Al^{+3} y Mn^{+2} son más importantes que la demanda interna o eficiencia en uso del nutrimento, en las plantas que crecen en suelos ácidos (Marschner, 1995).

7.1 Mecanismos de respuesta.

Las plantas adaptadas a suelos ácidos utilizan una gran variedad de mecanismos para enfrentar factores edáficos adversos. Estos mecanismos están regulados separadamente (por ejemplo: tolerancia al Al^{+3} y eficiencia a la adquisición de P) o estar interrelacionados. Desde el punto de vista agronómico, el total de los mecanismos individuales son importantes cuando se determinan los requerimientos necesarios para mejorar los suelos ácidos (en particular abonar o fertilizar). En extensas áreas tropicales y subtropicales, la capacidad de fijar fósforo en los suelos ácidos es muy alta, de esta manera la deficiencia de P es un factor nutrimental muy importante en el crecimiento de las plantas (Sánchez y Salinas, 1981).

Las altas concentraciones de aluminio y la deficiencia de fósforo son el factor clave que limita la producción de cosechas en suelos ácidos.

Los factores limitantes del crecimiento han sido asociados con la acidez de suelos complejos incluyendo la toxicidad de aluminio y manganeso y deficiencias de fósforo, molibdeno, calcio, magnesio, potasio y azufre.

La toxicidad del aluminio y manganeso son los 2 más importantes factores limitantes del crecimiento, la toxicidad del aluminio es severa a pH 5, a este nivel inhibe el crecimiento de la raíz impidiendo la división celular del meristemo apical (Hettel, 1984).

En condiciones de baja disponibilidad de nutrimentos, la eficacia de extracción o absorción de éstos que presentan algunas plantas cultivadas es una cualidad importante para producir cosechas.

7.2 Reacción de las plantas al estrés nutrimental.

Las plantas pueden reaccionar al estrés por:

- 1) Baja demanda interna de nutrimentos.
- 2) Alta tolerancia a elementos minerales tóxicos, etc.

La estrategia de evasión al estrés induce cambios en la rizósfera siendo importante clave en suelos ácidos. Estos cambios son realizados por uno u otro mecanismo no específico, y están también relacionados con una alta densidad de microorganismos en la rizósfera comparada con la del demás suelo.

El agotamiento en la rizósfera es una característica típica de una baja movilidad de nutrimentos en el suelo (N, P). En suelos ácidos, el agotamiento de la fertilidad puede ocurrir por muchos nutrimentos, incluyendo el Ca y Mg.

8. EFICIENCIA NUTRIMENTAL.

La “*eficiencia nutrimental*” se ha definido como el rendimiento expresado en biomasa, dividido por el suministro del nutrimento. También se ha planteado a la eficiencia mineral de las plantas como la capacidad de producir mayor cantidad de materia seca ante menor cantidad de mineral aplicado o tomado.

El concepto general para la eficiencia nutrimental es que una planta de algún modo cambia o hace algo mejor que otra planta reflejando su habilidad para producir una cosecha alta cuando existe una cantidad dada de un nutrimento, teniendo un mejor desarrollo, o cuando una planta adquiere más o tiene un mejor proceso con cantidades mínimas de un nutrimento específico (Clark, 1990). Por otro lado se ha citado que las plantas eficientes son aquellas que producen más materia seca o tienen un mayor incremento en la cosecha por unidad de tiempo, área o nutrimento aplicado, o por tener gran incremento y altas concentraciones de nutrimentos minerales que otras plantas creciendo en condiciones similares o comparando con un genotipo estándar (Vose y Breese, 1964; Clark y Brown, 1974; Barber, 1976; Fox, 1978; Graham, 1984; citados por Clark, 1990).

Cruz, *et al* (1995) compararon la eficiencia al fósforo del Trigo y Triticale en dos suelos con distinta capacidad de “fijación” de fosfatos, ante dos fuentes de fósforo mineral con diferente solubilidad (soluble e insoluble en agua). Obtuvieron los siguientes resultados y conclusiones: en el Andisol los Triticales presentan altos índices de eficiencia al uso de fósforo, muy superior al Trigo, cuando no hay aplicación de ninguna fuente de fósforo (testigo), pero con aplicación de superfosfato triple de calcio (SFTC) el Trigo muestra alta eficiencia en este suelo y con roca fosfórica (RFBC) el mayor índice, lo tiene el Triticale Eronga.

Córdoba *et al* (1997) determinaron la eficiencia de N y P en genotipos de Triticale en dos Andisoles sin fertilizar e hidroponia, compararon la eficiencia de uso con factores que intervienen en ésta como la razón raíz/vástago (partición de la biomasa) y componentes de

la variación genética (eficiencia fisiológica y del sistema radicular). Reportan la mejor respuesta en el genotipo San Lucas por sus mejores condiciones genéticas las cuales se reflejaron en los altos valores que presentó para los dos nutrimentos en ambos tipos de suelo e hidroponia.

Así, la eficiencia en utilización (eficiencia en el uso del nutrimento, o eficiencia fisiológica EUN), se establece como la producción de materia seca por unidad de nutrimento en la materia seca (Marschner, 1995). Clark (1990) definió a esta como la producción de grano por unidad de nutrimento aplicado, y postula que la eficiencia en el uso de nutrimento en sentido fisiológico como la cantidad de materia seca o cosecha económica producida por unidad de nutrimento en la planta o el total de nutrimento acumulado (Moll *et al.*, 1982, 1987; Jackson *et al.*, 1986; citados por Clark, 1990).

Sin embargo, desde el punto de vista agronómico y en sentido operacional de las características genéticas entre variedades, la eficiencia nutrimental de las plantas cultivables se define como las diferencias en crecimiento relativo o en la producción, cuando crecen en un suelo deficiente (Marschner, 1995). Para un genotipo dado, la eficiencia nutrimental es reflejada por su habilidad para producir una alta cosecha en un suelo que es limitante en uno o más nutrimentos minerales (Graham, 1984 citado por Marschner, 1995), desarrollando pocos síntomas de deficiencia respecto a otras plantas que en las mismas condiciones de crecimiento (Niveles bajos del elemento mineral), Clark, 1990.

La variación genética entre las plantas en cuanto a sus requerimientos nutricionales y eficiencia en la utilización del nutrimento existe en la mayor parte de las plantas cultivables. Sin embargo, la identificación y reconocimiento de mecanismos fisiológicos específicos asociados a procesos bioquímicos y rasgos anatómicos y morfológicos es limitada. El paso inicial es averiguar si los mecanismos que controlan esta eficiencia se asocian con la adquisición de nutrimentos del medio, con la distribución dentro de la planta o la utilización durante el metabolismo (Gerloff y Gabelman, 1983; Baligar *et al.*, 1990).

Cada nutrimento mineral requerido por la planta puede tener una fisiología y química única, así que los mecanismos de eficiencia pueden ser diferentes para cada uno. Así mismo, ciertos procesos son diferentes para cada nutrimento. Estos procesos se dividen dentro de 4 categorías: (1) adquisición del medio, (2) movimiento a través de las raíces y su entrega en el xilema, (3) translocación y distribución dentro de las partes de la planta, (4) utilización en el metabolismo y crecimiento (Gerloff y Gabelman, 1983). Cada uno de estos procesos puede ser dividido dentro de partes de componentes adicionales y clases específicas de reacciones o factores asociados con cada parte, por ejemplo, la adquisición de nutrimentos concierne no solo a la absorción y transporte sino a factores que afectan estos procesos, tales como la morfología de la raíz de la planta, la razón raíz/vástago, extensión de las raíces (lateral o vertical), grado de división de la raíz (número y diámetro) y factores que afectan la entrada a las raíces.

Producir genotipos con una alta eficiencia durante su crecimiento es recomendable para mantener una producción elevada aunque el análisis químico de planta reporte baja concentración de nutrimentos (efecto de dilución) (Jarrell y Beverly, 1981; citados por Clark, 1990). Evaluar los factores que afectan el transporte de iones de las regiones internas del suelo a las raíces y dentro de estas es recomendable, de aquí que Cregan y Van Berkum (1984), citados por Feil *et al.*, 1990, sugieran utilizar medidas fisiológicas y bioquímicas como criterios de selección.

La eficiencia de absorción y utilización de un nutrimento ha sido evaluada por diferentes parámetros, tales como, concentración en los tejidos, contenido en la planta, rendimiento en materia seca (Cruz, 1994).

Vivanco y Cruz (1997) evaluaron la eficiencia nutrimental en dos experimentos de invernadero con cultivo en solución y aporte nutrimental completo de nutrimentos empleando dos genotipos (eficiente e ineficiente) de Trigo, triticale y maíz. Encontraron que los genotipos eficientes fueron San Cayetano, San Lucas y V-23, que fueron genotipos previamente clasificados como eficientes. Para la selección de genotipos con alta eficiencia

recomendaron la comparación de diferentes métodos con la finalidad de seleccionar realmente al genotipo eficiente.

Córdoba *et al* (1997) determinaron la eficiencia de nitrógeno y fósforo en 3 genotipos de triticale (Secano, Lamb-2 y San Lucas) en dos Andisoles sin aporte de fertilizante y en solución (Hidroponia). Encontraron que el genotipo San Lucas fue el de mejores condiciones genéticas, las cuales se reflejaron en los valores altos que presentó para los dos nutrimentos en ambos tipos de suelo e Hidroponia.

OBJETIVOS.

Para evaluar el efecto de los niveles de N y P en los dos suelos se plantearon los siguientes objetivos:

GENERAL:

- ✓ Evaluar la actividad de la fosfatasa ácida radical en Trigo (*Triticum aestivum* L), Triticale (X *Triticosecale* Wittmack) y Maíz (*Zea mays* L) como mecanismo de adaptación a condiciones de estrés nutrimental en Andisoles.

PARTICULARES:

- ✓ Evaluar, la actividad de la fosfatasa ácida de Trigo, Triticale y Maíz en distintas edades de crecimiento (15 y 27 días en Trigo y Triticale y 21, 36 y 51 días en Maíz).
- ✓ Evaluar el efecto de diferentes niveles de N y P sobre la actividad de la enzima fosfatasa ácida radical.
- ✓ Establecer si la actividad fosfatásica radical es un buen mecanismo de selección ante condiciones de deficiencia de fósforo.
- ✓ Evaluar y comparar entre especies y genotipos, eficiencia en uso de fósforo y nitrógeno así como su relación con la actividad enzimática y productividad .

HIPOTESIS.

La baja disponibilidad de fósforo que prevalece en los suelos ácidos para la nutrición de las plantas de Trigo, Triticale y Maíz, hace que algunos genotipos incrementen su actividad fosfatásica ácida, para liberar fósforo de compuestos en los cuales no está disponible para así poder asimilarlo, por lo tanto se espera que al aplicar diferentes niveles de fertilización a las plantas, éstas respondan incrementando su actividad en los tratamientos donde no hay aplicación de fósforo y disminuya con el aporte del mismo.

El nivel de N y P suministrado tendrá una influencia sobre la actividad fosfatásica de los genotipos de Trigo, Triticale y Maíz provocando un incremento en la actividad enzimática por el desbalance N/P.

MATERIALES Y METODOS.

Para alcanzar los objetivos y confrontar la hipótesis que se plantearon, se realizó un experimento en invernadero en el que se utilizaron 3 genotipos de Trigo (*Triticum aestivum* L.), 3 de Triticale (X *Triticosecale* Wittmack), y 3 de Maíz (*Zea mays* L.) que ya han sido cultivados en suelos ácidos y ligeramente ácidos (cuadro 2); y dos Andisoles (de Pátzcuaro, Michoacán y de Villa Victoria, Méx.).

Cuadro 3. Genotipos de Trigo, Triticale y Maíz con los que se realizó el experimento.

| ESPECIE. | | |
|----------------------------|-----------|--------------------|
| Trigo | Triticale | Maíz |
| Galvez | Lamb 2 | H135 |
| Vivero para Suelo Acido | San Lucas | V105 |
| Criollo (San Cayetano) | Secano | Criollo (Negro) |

La siembra fue realizada en macetas con capacidad para 2 kg, en los que se colocaron 10 semillas por maceta.

A los suelos utilizados se les agregó arena en un 30% aproximadamente para mejorar las condiciones de aereación y facilitar la toma de muestras de raíz necesaria en las determinaciones.

El aporte de agua se hizo periódicamente poniendo el suelo a capacidad de campo.

A los suelos que se utilizaron se les realizaron las siguientes determinaciones (cuadro 3):

- ✓ N total por digestión semi-microkeldahl para incluir nitratos (Bremner, 1965)
- ✓ P disponible (Olsen y Dean, 1985)
- ✓ pH en relación 1:2.5 en agua y en cloruro de calcio 0.01 M (Jackson, 1964)
- ✓ Materia orgánica (Walkey y Black, en la forma descrita por Jackson, 1964)

Cuadro 4. pH, Materia Orgánica, Fósforo y Nitrógeno de Ambos Tipos de Suelos.

| Suelo | pH 1:2.5 | | M. O. ¹ | Fósforo ² | Nitrógeno ³ |
|----------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------|
| | H ₂ O | CaCl ₂ | % | (ppm) | % |
| Pátzcuaro | 6.23 | 5.47 | 5.24 | 1.65 | 0.74 |
| Villa Victoria | 6.46 | 4.8 | 11.31 | 17.40 | 1.23 |

1 Walkey y Black 2 Olsen y Dean 3 N total, microkeldahl ppm = partes por millón

Se aplicó superfosfato triple de calcio (SFCT) y Urea como fuentes de fósforo y nitrógeno respectivamente. Cada uno de ellos en dos niveles (0 y 200 ppm de Fósforo, 0 y 400 ppm de Nitrógeno; cuadro 3). La fertilización de P y de N se aplicó en el momento de la siembra.

Cuadro 5. Niveles de Fertilización de N y de P.

| N/P (ppm) | 0 | 200 |
|-----------|----------|------------|
| 0 | (0, 0) | (0, 200) |
| 400 | (400, 0) | (400, 200) |

ppm = partes por millón

El experimento se realizó con un arreglo factorial 2² en un diseño de bloques al azar.

4 Niv. de Fert, X 2 suelos X 3 sp X 3 Gcn. X 4 Rep. = 288 unidades experimentales.

Las combinaciones de fertilización para todos los genotipos se muestran en los cuadros 6 y 7.

Cuadros 6 y 7. Niveles de Fertilización de N y P en los Genotipos de Trigo, Triticale y Maíz para Ambos Suelos.

| Suelo Pátzcuaro | | | | |
|-------------------------|-------------|---------------|--------------|-----------------|
| Esp.Gen/N P | 0, 0 | 0, 200 | 400,0 | 400, 200 |
| Galvez | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| Vivero Para Suelo Acido | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| San Cayetano | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| Lamb 2 | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| San Lucas | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| Secano | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| H 135 | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| V 105 | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| Negro | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |

| Suelo Villa Victoria | | | | |
|-----------------------------|-------------|---------------|--------------|-----------------|
| Esp.Gen/N P | 0, 0 | 0, 200 | 400,0 | 400, 200 |
| Galvez | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| Vivero Para Suelo Acido | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| San Cayetano | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| Lamb 2 | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| San Lucas | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| Secano | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| H 135 | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| V 105 | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |
| Negro | 0, 0 | 0, 200 | 400, 0 | 400, 200 |

La determinación de la enzima fosfatasa se realizó en 3 edades, para el Maíz; y 2 en Trigo y Triticale mediante el método de p-nitrofenilfosfato que se utiliza para medir Actividad Fosfatásica en Suelos (Tabatabai y Bremner, 1969; modificado y adaptado para raíz por Cruz, 1994). La primera se efectuó a los 21 días a partir de la fecha en que emergieron las plantas, la segunda a los 36 días y la tercera a los 51 días para el Maíz. A los 15 y 27 en Trigo y Triticale.

Las plantas se cosecharon en la última edad (51 días en Maíz y 27 en Trigo y Triticale), debido a que la capacidad de las macetas era insuficiente para llevar éstas hasta su producción. Se evaluaron los siguientes parámetros :

- ✓ Longitud del vástago (cm).
- ✓ Longitud de la raíz (cm).
- ✓ Peso fresco del vástago (g/planta).
- ✓ Peso fresco de la raíz (g/planta).
- ✓ Peso seco del vástago (g/planta).
- ✓ Peso seco de la raíz (g/planta).
- ✓ Índice de Eficiencia IE (cuadro 7)
- ✓ Eficiencia de la raíz ER
- ✓ Razón Raíz/Vástago RAETA
- ✓ Relación actividad de la enzima RAE

La relación de actividad de la enzima se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$RAE = \frac{(\sum Ac-Fa)(AcuP)(Pfr)}{lr}$$

Donde:

$\sum Ac-Fa$ = sumatoria de la actividad fosfatásica en cada edad.

AcuP = acumulación de fósforo.

Pfr = peso fresco de la raíz.

Después de la cosecha las plantas se secaron a 65 °C (hasta peso constante). Posteriormente se molieron y tamizaron en malla del No. 20, para determinar el contenido de nitrógeno y fósforo y con ello los métodos de evaluación de eficiencia que se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Métodos Para Evaluar las Variables Estudiadas.

| Método | Autor | IE | Ecuación |
|------------------------------------|-----------------------|-----|------------------------------------|
| Índice de eficiencia | Furlani y Filho, 1990 | IE | IE= Bio ² /Acu. de Nut. |
| Razón raíz/vástago | Marschner, 1995 | R/V | R/V= Bio ra/Bio vas |
| Eficiencia de la raíz | Jones et al., 1989 | ER | ER= Acu Nut/Bio ra. |
| Relación de Actividad de la enzima | Córdoba y Cruz, 1998 | RAE | RAE= (ΣAF)(Acu P)/(Pfr)/lr |

Bio= biomasa en peso seco; Acu Nut= acumulación de nutrimento; Vas= vástago; Ra= raíz,

Acu tot de Nut= acumulación total de nutrimentos; Af=actividad fosfatásica; Acup P=acumulación de fósforo; Pfr= peso seco de la raíz por planta.

En consecuencia de que la actividad fosfatásica es mucho más alta sobre la superficie de la raíz que hacia el interior del suelo y de que la determinación de la actividad está enzima, se hace en tejido fresco se considera una relación entre peso seco de raíz y longitud para asociarla a la actividad de la enzima en las diferentes edades en que se determinó para las tres especies para calcular el RAE.

Se propuso un modelo de regresión, para estimar el efecto del genotipo, suelo y dosis de fertilización sobre la relación de la actividad de la enzima.

El modelo que describe la respuesta esperada en el tratamiento es:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_{ij} + \tau_{ij} + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = valor de la característica en estudio sobre la unidad experimental ij .

μ = efecto común a las observaciones.

β_{ij} = efecto del bloque.

τ_{ij} = efecto del tratamiento.

e_{ij} = error de observación sobre la unidad experimental ij .

Resultados y Discusión

Con base en los datos del análisis de actividad de la enzima, y el uso de los factores de estudio: nivel de suministro de N y P, procedencia del suelo y edad en los tres cereales se procedió a su discusión.

TRIGO.

Actividad Fosfatásica (Ac-Fa).

Los tratamientos 0-0 y 0-200, describen el efecto de fósforo sobre la actividad fosfatásica en condiciones de carencia de nitrógeno. Al analizar estos resultados, se observa que ante la falta total de nitrógeno, y la aplicación de 200 ppm de P al suelo (0-200), disminuye la actividad de la enzima de 46.6 unidades a 11.1 (promedio general). En la comparación del tipo de suelo se observa que la aplicación de fósforo al suelo Pátzcuaro en el nivel antes mencionado, disminuye la actividad fosfatásica de 29 unidades a 11.5 (promedio por suelo), en suelo Villa Victoria de 64 a 10 (Cuadro 9).

Estos resultados se explican por la cantidad de materia orgánica y respuesta de la fosfatasa a la carencia de nutrimento, es decir, el mayor contenido de materia orgánica en el suelo de Villa Victoria con respecto al de Pátzcuaro, es una fuente potencial de fósforo para la planta, y bajo una carencia del nutrimento la secreción de la fosfatasa como mecanismo de respuesta ante deficiencia de fósforo se expresa en mayor proporción para hidrolizar el fósforo orgánico.

El Vivero para Suelos Ácidos con 0 ppm de fósforo, tiene la mayor Ac-Fa (191), este genotipo se encuentra adaptado a suelos ácidos, (originario de Brasil), esta característica le favorece en una alta actividad de la fosfatasa, este resultado concuerda con lo descrito por Vivanco, (1996) quien reporta que la alta actividad enzimática es el mecanismo de

Cuadro 9. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA FOSFATASA ACIDA RADICAL EN TRIGO, POR EFECTO DE LA EDAD, TRATAMIENTO Y TIPO DE SUELO.

| Actividad Fosfatasa ($\mu\text{mol p-nitrofenol/g de Mat. Fresca/Hr}$) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|-------------------|------|-----------------------|------|-------------------|----------------|------------------------|------|-------------------|------|--------------------------|----------------|-------------------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|--|
| -----0-0 (N-P)----- | | | | -----0-200 (N+P)----- | | | | -----400-0 (+N+P)----- | | | | -----400-200 (+N+P)----- | | | | | | | | | | | | | |
| Suelo | | Suelo | | Suelo | | Suelo | | Suelo | | Suelo | | Suelo | | Suelo | | | | | | | | | | | |
| ----Pátzcuaro--- | | --Villa Victoria- | | ----Pátzcuaro--- | | --Villa Victoria- | | ----Pátzcuaro--- | | --Villa Victoria- | | ----Pátzcuaro--- | | --Villa Victoria- | | | | | | | | | | | |
| Edad | X | Edad | X | Edad | X | Edad | X | Edad | X | Edad | X | Edad | X | Edad | X | | | | | | | | | | |
| 15d | 27d | 15d | 27d | 15d | 27d | 15d | 27d | 15d | 27d | 15d | 27d | 15d | 27d | 15d | 27d | | | | | | | | | | |
| Gal | 9.46 | 15.7 | 12.6 | 15.5 | 137 | 76.3 | 11.7 | 11.3 | 11.5 | 13.7 | 8.89 | 11.3 | 12.4 | 22.3 | 17.3 | 11.5 | 17.9 | 147 | 17.4 | 21.3 | 19.3 | 11.9 | 15.3 | 13.6 | |
| VSA | 191 | 13.1 | 102 | 10.7 | 196 | 103 | 8.66 | 13.4 | 11 | 11.1 | 12.9 | 12 | 8.77 | 18.4 | 13.6 | 13.3 | 166 | 89.5 | 8.32 | 13.9 | 11.1 | 9 | - | 9 | |
| SC | 12.9 | 14.5 | 13.7 | 13.7 | 12.1 | 12.9 | 11.5 | 12.4 | 11.9 | 5.58 | 12.5 | 9.04 | 10.1 | 21.8 | 16 | 7.41 | 10.5 | 8.9 | 9.91 | 13.6 | 11.7 | 8.76 | 17.3 | 13 | |
| X | 44 | 144 | | 133 | 115 | | 106 | 124 | | 10.1 | 11.4 | | 10.4 | 21 | | 107 | 64.7 | | 11.9 | 16.3 | | 9.9 | 164 | | |
|29.2----- | | | |64.1----- | | |11.5----- | | |10.7----- | | |15.7----- | | |37.7----- | | |14.1----- | | |13.1----- | | | |
|16.6----- | | | |11.1----- | | |26.7----- | | |13.6----- | | | | | | | | | | | | | | | |

Gal = Galvez VSA = Vivero para suelo ácido SC = San Cayetano

adaptación, seguido por el genotipo para evadir la deficiencia de fósforo (Marschner, 1995).

Para el Trigo San Cayetano sin aplicación de fósforo (edad 1), se tiene el mayor valor en el suelo de Pátzcuaro, al igual que Galvez, la mayor respuesta a dicha dosis es por la baja disponibilidad de fósforo; debido a que ante esta situación las plantas desarrollan una alta actividad enzimática como mecanismo natural de respuesta. En un Andisol la baja disponibilidad de fósforo es uno de los problemas que se presentan por su alta fijación en el suelo, y la actividad fosfatásica como respuesta a la carencia de este nutrimento, representa una alternativa viable para el desarrollo del cultivo.

Al analizar el efecto de edad se encuentra mayor actividad a los 15 días para el suelo de Pátzcuaro con 0 ppm de P, en los siguientes tratamientos se presentan los mayores valores en el suelo de Villa Victoria a los 27 días.

Con una aplicación de 400 ppm de N (suficiencia de nitrógeno), se presentó una situación similar a la encontrada ante la carencia de N, la aplicación de fósforo (400-200) produce una disminución de la actividad de 26.7 a 13.6 unidades (promedio general). La mayor respuesta para el tipo de suelo se dio cuando la actividad disminuyó de 37.7 a 13.1 (promedio por suelo) al aplicar 200 ppm de fósforo en el suelo de Villa Victoria, mientras que en el de Pátzcuaro solo disminuyó de 15.7 a 14.1

En el suelo de Pátzcuaro, Galvez presenta la mayor Ac-Fa en el promedio de las dos edades con aplicación de fósforo y bajo condiciones de suficiencia de nitrógeno (400-200), los resultados son mayores a los encontrados en Villa Victoria.

Cabe señalar que se presenta una respuesta aceptable ante la suficiencia de nitrógeno y carencia de fósforo (+N-P), como resultado se estimuló la enzima por parte del nitrógeno para compensar la relación N/P (Kieliszewska-Rokicka, 1992 citados por Cruz, 1994).

Eficiencia en uso de nitrógeno y fósforo (Índice de Furlani y Filho, 1990).

Con la biomasa producida en la parte aérea y raíz y la acumulación de nitrógeno y fósforo, en las tres especies se analizó la eficiencia en el uso de los nutrientes (**IEN**, **IEP**) por el método propuesto por Furlani y Filho (1990).

Sin la aplicación de nitrógeno (0 ppm de N), la eficiencia a este nutriente se incrementa de 0.0008 a 0.01 (56 veces), como efecto de la aplicación de 200 ppm de fósforo,. En cuanto al tipo de suelo, la eficiencia en nitrógeno (**IEN**) y en fósforo (**IEP**) es mayor en el de Pátzcuaro, ésta situación se confirma con la aplicación de fósforo (200 ppm). El contenido de materia orgánica en el suelo de Villa Victoria dejó sin efecto la aplicación de fósforo (200 ppm), disminuyendo la eficiencia de nitrógeno y el mismo fósforo.

Al comparar respuesta entre suficiencia y deficiencia de nitrógeno, se presentó la mayor eficiencia a nitrógeno (**IEN**) ante carencia de nutriente lo cual indica que la planta hace un mejor uso del elemento ante estrés nutricional, mientras a un nivel de suficiencia su uso disminuye. Con aplicación de fósforo, la suficiencia del nitrógeno propicia que se incremente la eficiencia, como consecuencia del desbalance entre N/P.

El San Cayetano presentó la mayor eficiencia de fósforo (**IEP**) en el testigo. Galvez tiene el mayor valor cuando se agregó fósforo y nitrógeno (+N+P) (Cuadro 10), mientras el Vivero para Suelos Acidos con nitrógeno (400-0) es el de mayor eficiencia. Al comparar éstos resultados con los de la Actividad Enzimática (Fosfatásica) se encontró una relación estrecha entre la eficiencia y actividad, lo que confirma que la capacidad genética de la planta (respuesta fisiológica ante condiciones adversas del ambiente edáfico) es de vital importancia en su desarrollo. Esta capacidad de las plantas para desarrollarse a diferentes condiciones edáficas ha sido evaluada por distintos autores (Mamo *et al.*, 1996; Isfan *et al.*, 1991), concluyendo que la capacidad de una planta para desarrollarse en condiciones no favorables es el producto de una alta respuesta fisiológica y genética.

Cuadro 10. INDICE DE EFICIENCIA DE NITROGENO Y FOSFORO EN TRIGO, POR EFECTO DEL TRATAMIENTO Y DEL TIPO DE SUELO.

| INDICE DE EFICIENCIA DE NITROGENO (IEN) Y FOSFORO (IEP) DE FURLANI Y FILHO. | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|--------------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| | 0-0 (-N-P) | | | 0-200 (-N+P) | | | 400-0 (+N-P) | | | 400-200 (+N+P) | | |
| | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | |
| | Pátzcuaro | Villa Victoria | Pátzcuaro | Villa Victoria | Pátzcuaro | Villa Victoria | Pátzcuaro | Villa Victoria | Pátzcuaro | Villa Victoria | Pátzcuaro | Villa Victoria |
| Gal | 0.0008 | 0.001 | 0.045 | 0.0006 | 0.0043 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 |
| VSA | 0.0005 | 0.0004 | 0.003 | 0.0001 | 0.018 | 0.005 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0003 | - |
| SC | 0.002 | 0.0003 | 0.0005 | 0.0001 | 0.001 | 0.004 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0002 |
| X | 0.001 | 0.0006 | 0.02 | 0.0003 | 0.008 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.0004 |
| | 0.0008 | | | 0.01 | | | 0.005 | | | 0.0007 | | |
| | 0.005 | | | 0.003 | | | 0.003 | | | 0.007 | | |
| | 0.001 | | | 0.002 | | | 0.0009 | | | 0.0001 | | |
| Gal | 0.0001 | 0.0001 | 0.009 | 0.0002 | 0.014 | 0.0009 | 0.0002 | 0.0009 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0001 |
| VSA | 0.0001 | 0.00008 | 0.004 | 0.00003 | 0.009 | 0.0003 | 0.0007 | 0.0003 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0007 | - |
| SC | 0.004 | 0.00007 | 0.0001 | 0.00004 | 0.0002 | 0.0006 | 0.0022 | 0.0006 | 0.0022 | 0.0022 | 0.0022 | 0.00001 |
| X | 0.001 | 0.00008 | 0.004 | 0.00009 | 0.007 | 0.0003 | 0.001 | 0.0003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.00005 |
| | 0.0005 | | | 0.002 | | | 0.003 | | | 0.0005 | | |
| | 0.001 | | | 0.002 | | | 0.002 | | | 0.0005 | | |

Gal=Galvez VSA=Vivero Para Suelo Acido SC=San Coyetano
41

Los resultados de eficiencia son similares con los de biomasa (ver apéndice), lo que ratifica el punto anterior. Una relación de alta eficiencia con igual biomasa también fue encontrada por Batten, 1992 que destaca la importancia de investigar en genotipos la eficiencia como mecanismo de selección de genotipos para obtener una alta producción. (Jones *et al.*, 1989; Gourley *et al.*, 1994; Wu y Tao, 1995).

San Cayetano es el genotipo más eficiente en cuanto a comportamiento de eficiencia de Nitrógeno (IEN), con el testigo (-N-P); Galvez cuando se adiciona fósforo y nitrógeno (400-200), este último presentó un efecto de dilución (Jarrell y Beverly, 1981; Clark, 1990), es decir, una concentración mayor en poca biomasa.

En el suelo Villa Victoria, Galvez presentó la mayor eficiencia de fósforo con los tratamientos: testigo, con fósforo y ambos nutrimentos, esto probablemente debido a la condición de un efecto de dilución (Jarrell y Beverly, 1981; Clark, 1990). El Vivero para Suelos Acidos con nitrógeno también presenta un efecto de dilución por el cual su eficiencia es alta. En cuanto a nitrógeno sucede algo similar a lo ocurrido en fósforo, solo en el tratamiento que se agregó nitrógeno se obtuvo el valor de eficiencia que corresponde con la acumulación de San Cayetano (ver apéndice).

La mayor eficiencia para N por efecto del tipo de suelo se encontró en el de Pátzcuaro con 200 ppm de P y de éste en el tratamiento en que se agregó nitrógeno.

En suficiencia de nitrógeno se observó que la eficiencia encontrada en ambos nutrimentos es mayor cuando no se aplica fósforo, en este caso el incremento de éste no propició un aumento en la eficiencia. Por otra parte en el nivel 400-0 se presentó mayor eficiencia al nitrógeno en el suelo de Pátzcuaro, la cual fue casi tres veces superior de (0.008 unidades) respecto a la del suelo Villa Victoria (0.003 unidades), en fósforo ocurrió lo contrario, siendo mayor la respuesta en el suelo de Villa Victoria (Cuadro 10), la aplicación de fósforo (200 ppm) incrementó la eficiencia de ambos nutrimentos en el suelo de Pátzcuaro.

Al comparar la respuesta entre la suficiencia y carencia de nitrógeno, se observó la mayor eficiencia a nitrógeno cuando no se aplica este nutriente lo cual indica que la planta hace un mejor uso del elemento a dicha dosis, mientras a un nivel de suficiencia su uso disminuye. Con fósforo la suficiencia del nitrógeno propicia que se incremente la eficiencia, como consecuencia del desbalance entre N/P. Reflejándose en las plantas en una mayor biomasa por nutriente acumulado.

La aplicación de 400 ppm de nitrógeno junto con 200 ppm de fósforo dio como resultado obtener la mayor respuesta a la eficiencia de nitrógeno y fósforo (IEN, IEP) (Cuadro 10), por otra parte en el suelo de Villa Victoria se obtienen los mayores valores para ambos nutrientes.

Eficiencia de la raíz en la absorción de nitrógeno y fósforo. (Índice de Jones et al., 1989).

Otro modelo de evaluar la eficiencia nutricional utilizado es el propuesto por Jones, *et al.*, 1989 y consiste en determinar la acumulación de nutrientes con base en la biomasa de raíz.

El ER refleja la habilidad de la raíz para obtener los nutrientes del medio (Jones *et al.*, 1989), estimando la cantidad absorbida de estos por unidad de peso seco de raíz.

Ante carencia de nitrógeno se propició que la eficiencia de la raíz (ER) fuera mayor con 200 ppm de fósforo en ambos nutrientes, y fue el suelo de Villa Victoria el que presentó la mejor respuesta con ambos nutrientes. (Cuadro 11).

La carencia de nitrógeno produjo una mayor eficiencia en ambos nutrientes, la diferencia encontrada en nitrógeno fue de 467.5 a 347.3 unidades con carencia, la diferencia con suficiencia de fósforo es de 64.2 a 53.3 unidades.

Cuadro II. EFICIENCIA DE ABSORCION DE LA RAIZ DEL TRIGO, POR EFECTO DEL TRATAMIENTO Y DEL TIPO DE SUELO.

EFICIENCIA DE ABSORCION DE LA RAIZ AL NITROGENO (NER) Y AL FOSFORO (PER)

| | 0-0 (-N-P) | | | 0-200 (-N+P) | | | 400-0 (+N-P) | | | 400-200 (+N+P) | | |
|-----|------------|----------------|-----------|--------------|----------------|-----------|--------------|----------------|-----------|----------------|----------------|-----------|
| | Suelo | Villa Victoria | Pátzcuaro | Suelo | Villa Victoria | Pátzcuaro | Suelo | Villa Victoria | Pátzcuaro | Suelo | Villa Victoria | Pátzcuaro |
| Gal | 258.57 | 178.57 | 5.55 | 141.43 | 2.85 | 360 | 264.5 | 958 | | | | |
| VSA | 134.28 | 965 | 3.63 | 1180 | 1.81 | 510 | 21.66 | - | | | | |
| SC | 12.66 | 1223 | 223.75 | 1480 | 97.59 | 60 | 14.38 | 931.25 | | | | |
| X | 135.1 | 789 | 12.31 | 934 | 34.1 | 310 | 100.2 | 945 | | | | |
| | 462 | 473 | 467.5 | 172 | 347.3 | 522.6 | | | | | | |
| | NER | | | | | | | | | | | |
| | PER | | | | | | | | | | | |
| Gal | 41.42 | 27.14 | 1.11 | 50 | 9.28 | 50 | 93.63 | 152 | | | | |
| VSA | 38.57 | 170 | 5 | 270 | 0.9 | 30 | 50 | - | | | | |
| SC | 20 | 266.6 | 41.25 | 440 | 18.96 | 8 | 61.87 | 60 | | | | |
| X | 33.3 | 154.6 | 15.8 | 253.3 | 9.7 | 29.3 | 68.5 | 106 | | | | |
| | 93.9 | 134.5 | 64.2 | 53.3 | 87.2 | 53.3 | | | | | | |

Gal=Gabez VSA=Vivero Para Suelo Acido SC=San Cayetano

En el suelo de Pátzcuaro Galvez es eficiente en su **ER** para nitrógeno y fósforo en el testigo (0-0) y cuando se aporta fósforo y nitrógeno (400-200). Mientras que San Cayetano si se le adiciona fósforo (-N+P) (Cuadro 11); estos resultados difieren a los encontrados con la actividad enzimática y la eficiencia en uso del nutrimento.

La diferente respuesta entre la eficiencia de uso (**IE**) y la eficiencia radicular (**ER**); probablemente se debe a que los genotipos posean la capacidad de absorber el nutrimento que se encuentra en el medio, pero no siempre son capaces de expresar su alta absorción en términos de producción de biomasa o toman poco y éste es bien utilizado, de manera que cubre sus necesidades fisiológicas, con lo que se comprobaría la Teoría de la Eficiencia Nutricional (Marschner, 1991 y 1995).

En el suelo de Villa Victoria San Cayetano es eficiente a fósforo y nitrógeno cuando no hay aporte de nutrimentos (0-0) y si agregan 200 ppm de fósforo. Esta respuesta se debe a sus condiciones genéticas, las cuales han contribuido a su adaptación a las condiciones edáficas, lo que confirma que las plantas responden a la heterogeneidad de los factores que influyen en el proceso de producción de biomasa (Valdez *et al.*, 1997), dentro de esta, la absorción por parte de la raíz es de los más importantes.

La mayor eficiencia de la raíz por el efecto del suelo, se presentó en el suelo de Villa Victoria.

La aplicación de 400 ppm de nitrógeno junto con la dosis de fósforo dio como resultado obtener la mayor respuesta a la eficiencia de nitrógeno y fósforo (Cuadro 11). Finalmente en el suelo de Villa Victoria se obtienen los mayores valores para ambos nutrimentos.

Relación de actividad de la enzima (RAE) y partición de la biomasa (RAETA).

En atención a que la raíz es el órgano que se encuentra relacionado directamente con el suelo (fuente de los nutrimentos) el estudio de ésta se complementó con el método propuesto por Marschner en 1995 $R/V = \text{biomasa de la raíz} / \text{biomasa del vástago}$ (RAETA), el cual contempla la relación del crecimiento de la raíz con respecto al vástago y se calculó el resultado de la determinación de la relación de actividad enzimática (RAE)

Para la relación de actividad de la enzima (relación entre Pfr y Ir con la Ac-Fasa) y la partición de la biomasa (RAETA) se observó que el incremento de fósforo no propició que se tuvieran mejores valores (Cuadro 12). El suelo de Villa Victoria fue de mejor respuesta para ambas variables.

La razón de la actividad enzimática (RAE) mostró a San Cayetano como el de mejor respuesta con los tratamientos (0-0, 0-200 y 400-200) en el suelo de Pátzcuaro y en la totalidad de los tratamientos en el de Villa Victoria, aún cuando este genotipo no es el de mejor respuesta en la actividad enzimática (Cuadro 12).

En el suelo de Pátzcuaro, Galvez tuvo mejor desarrollo en los tratamientos con suficiencia de nitrógeno. Este genotipo, a pesar de tener la mejor RAETA, en esta condición, no presenta en la mayoría de los casos la más alta respuesta para las variables **NER**, **PER**, **IEN**, **IEP**.

Para el suelo de Villa Victoria, el Vivero para Suelos Acidos con los tratamientos (-N+P) y (+N-P) se presentó la partición de biomasa más favorable (RAETA), San Cayetano en el testigo (0-0) y Galvez con aporte de ambos nutrimentos (+N+P) (Cuadro 12). Tanto el Vivero para Suelos Acidos como el San Cayetano presentan una respuesta de acuerdo a lo esperado, ya que estos genotipos desarrollan sus mecanismos de respuesta ante condiciones de deficiencia nutrimental, lo que no ocurre con Galvez.

Cuadro 12. RELACION DE ACTIVIDAD ENZIMATICA DEL TRIGO Y SU RAZON RAIZ/VASTAGO, POR EFECTO DEL TRATAMIENTO Y DEL TIPO DE SUELO.

RELACION DE ACTIVIDAD DE LA ENZIMA(RAE) Y RAZON RAIZ/VASTAGO (RAETA)

| | 0-0 (-N-P) | | 0-200 (-N+P) | | 400-0 (+N+P) | | 400-200 (+N+P) | |
|-----------------|------------|--------------------|--------------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|-----------------|
| | Suelo | --Villa Victoria-- | Suelo | ---Pátzcuaro--- | Suelo | --Villa Victoria-- | Suelo | ---Pátzcuaro--- |
| Gal | 2.20 | 22.67 | 0.04 | 18.32 | 3 | 3.21 | 35.77 | 13.51 |
| VSA | 2.68 | 13.33 | 0.55 | 3.60 | 98.5 | 2.07 | 14.22 | - |
| SC | 5.73 | 60.98 | 22.71 | 39.36 | 23.92 | 3.33 | 39.93 | 24.22 |
| \bar{x} | 3.5 | 32.3 | 7.8 | 20.4 | 41.8 | 2.9 | 30 | 18.9 |
| | 17.9 | | 14.1 | | 22.3 | | 24.4 | |
| | | 16 | | | | 23.3 | | |
| -----RAE----- | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Gal | 0.53 | 0.53 | 0.6 | 0.8 | 0.87 | 0.55 | 0.45 | 0.23 |
| VSA | 0.87 | 0.5 | 1.69 | 0.04 | 1.83 | 0.12 | 1.2 | - |
| SC | 0.6 | 0.33 | 1.14 | 0.37 | 1.11 | 0.75 | 0.84 | 2.28 |
| \bar{x} | 0.7 | 0.4 | 1.1 | 0.4 | 1.3 | 0.5 | 1.8 | 1.2 |
| | 0.5 | | 0.7 | | 0.9 | | 1.5 | |
| | | 0.6 | | | | 1.2 | | |
| -----RAETA----- | | | | | | | | |

Gal=Galvez VSA=Vivero Para Suelo Acido SC=San Cayetano

Al aplicar al suelo 200 ppm de fósforo, provocó que se tuvieran mayores valores de RAE y RAETA (Cuadro 12); se observa una mejor respuesta en el tratamiento el que no se le aplicó fósforo (0-0).

El suelo de Pátzcuaro con todos los tratamientos, presentó valores superiores a los encontrados en Villa Victoria, mientras que éste último con la actividad de la enzima se vio más favorecido con un valor de 0.5 sin fósforo y 1.2 al agregar fósforo.

Análisis Estadístico.

En el tratamiento testigo (0-0) se presenta diferencia significativa con respecto a los demás en la determinación de la actividad fosfatásica en la edad 1 (Cuadro A). Mientras que en la segunda edad las dosis 0-0 y 400-0 se comportan de la misma manera, y son diferentes a la 0-200 y 400-200. En cuanto al índice de eficiencia de fósforo y nitrógeno el tratamiento +N-P presenta respuesta significativa con respecto a las otras. Para la eficiencia de la absorción de la raíz al fósforo

Para el genotipo, el análisis estadístico para cada variable mostró los siguiente resultados: en la actividad de la enzima Galvez es diferente para la primera edad, el Vivero Para Suelos Acidos en las otras; en los índices de eficiencia el VSA presenta una diferencia significativa en ambos nutrimentos, la eficiencia de la raíz solo es diferente para fósforo en el VSA; la relación de la actividad enzimática y la razón raíz/vástago resultaron con una respuesta significativa para el VSA y Galvez respectivamente, finalmente la acumulación solo fue significativa para fósforo (Cuadro A).

En la primera edad únicamente en la actividad no se encontró diferencia entre los tipos de suelo (Cuadro A).

Cuadro A. Análisis Estadístico para el Trigo.

| ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL TRIGO | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|--------|
| | -AF1- | -AF2- | -IEP- | -IEN- | -PER- | -NER- | -RAE- | -RAETA- | -ACUP- | -ACUN- |
| D. FER | | | | | | | | | | |
| 0-0 | a | a | b | b | b | b | a | a | b | a |
| 0-200 | b | b | b | b | a | ab | b | b | a | a |
| 400-0 | b | a | a | a | b | b | b | b | b | b |
| 400-200 | b | b | b | ab | ab | a | ab | b | ab | a |
| GEN | | | | | | | | | | |
| Gal | a | b | ab | b | b | a | b | a | b | a |
| VSA | ab | a | a | a | a | a | a | ab | a | a |
| SC | b | b | b | b | b | a | b | b | b | a |
| SUE | | | | | | | | | | |
| Pátz. | a | b | a | a | b | b | b | a | b | b |
| V.V. | a | a | b | b | a | a | a | b | a | a |

Tukey $\alpha = 0.05$

Gal = Galvez VSA = Vivero Para Suelo Acido SC = San Cayetano Pátz = Pátzcuaro

VV = Villa Victoria D FER = Dosis de Fertilización GEN = Genotipo SUE = Suelo

Letras iguales y combinadas = los genotipos son semejantes

Letras diferentes = los genotipos presentan diferencias significativas

TRITICALE.

Actividad Fosfática (Ac-Fa).

De manera similar a lo realizado para el trigo, se hace primero la discusión de la actividad fosfática como resultado de la variación de fósforo ante carencia y después suficiencia de nitrógeno.

Los resultados de la variación de fósforo entre 0 y 200 ppm en esta especie, muestran solo ligera superioridad por efecto al aumento de fósforo de 13.9, respecto al testigo (13.8), la variación únicamente es de 0.1 unidades en el promedio general. En el tipo de suelo se observó que en el de Pátzcuaro se presentó la disminución de 16.7 a 16.1, en el promedio por tipo de suelo por otra parte en el de Villa Victoria no hay variación de 11 hasta 11.8 con la aplicación de P (promedio por tipo de suelo).

La respuesta de Lamb-2 en el suelo de Pátzcuaro es una disminución de la actividad enzimática de 14.3 a 10.5 y el San Lucas de 16.4 a 12.5 (disminución de 4 unidades en ambos casos), mientras Secano aumenta de 19.5 a 25.3. En el suelo de Villa Victoria los tres genotipos aumentaron ligeramente su actividad con respecto a la aplicación de fósforo (Cuadro 13).

Los Triticales a los 15 días en el suelo de Pátzcuaro registraron el mayor valor de Ac-Fa en Lamb-2 (11.51) sin aporte de nutrimentos (estrés por carencia de N y P) (cuadro 13), esto debido a su necesidad por fósforo, por tanto, este mecanismo reacciona para absorber el nutrimento, en la edad 2 (27 días) se observa el mismo comportamiento que en la primera, que coincide con lo encontrado por Calderón y Gabriel, 1994; Vivanco 1996; Molina y Portilla, 1997.

Cuadro 13. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA FOSFATASA ACIDA RADICAL EN TRITICAL, POR EFECTO DE LA EDAD, TRATAMIENTO Y TIPO DE SUELO.

Actividad Fosfatasa ($\mu\text{mol p-nitrofenol/g de Mat. Fresca/Hr}$)

| | -----0-0 (N-P)----- | | -----0-200 (N+P)----- | | -----400-0 (N-P)----- | | -----400-200 (N+P)----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Edad | Edad | Edad | Edad | Edad | Edad | Edad | Edad | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ---Villa Victoria--- | ---Villa Victoria--- | ---Villa Victoria--- | ---Villa Victoria--- | ---Villa Victoria--- | ---Villa Victoria--- | ---Villa Victoria--- | ---Villa Victoria--- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15d | 27d | 15d | 27d | 15d | 27d | 15d | 27d | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L-2 | 11.5 | 17.1 | 14.3 | 6.95 | 15.7 | 12.3 | 9.8 | 14.0 | 10.9 | 12.5 | 10.6 | 15.2 | 12.9 | 9.46 | 19.3 | 14.4 | 15.3 | 14.1 | 14.8 | 13.7 | 11.1 | 12.5 | 12.8 | 17.1 | 15 | | |
| SL | 19.1 | 13.6 | 16.4 | 8.32 | 11.3 | 9.8 | 10.3 | 5.7 | 44.9 | 23.3 | 8.32 | 13.2 | 10.8 | 15.3 | 13.4 | 14.4 | 17.9 | 15.9 | 17 | 5.58 | 9.21 | 11.5 | 5.58 | 13.8 | 10.8 | 12.3 | |
| Sec | 17.9 | 21.0 | 19.5 | 10.2 | 8.5 | 13.6 | 9.91 | 22.3 | 10.8 | 12.8 | 11.3 | 14.7 | 15.2 | 14.9 | 9.21 | 11.5 | 11.6 | 12.7 | 12.3 | 11.6 | 12.7 | 11.6 | 12.7 | 11.6 | 12.7 | 11.6 | 12.7 |
| X | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 |
| | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 13.8 |

L-2 = Lamb-2 SL = San Lucas Sec = Secano

Para el San Lucas, se observó el mismo comportamiento que en Lamb-2 en la primera edad, y en la segunda la Ac-Fa se incrementa, y concuerda con lo reportado por Vivanco 1996, Rubio, 1990.

Secano presentó la mayor Ac-Fa (17.98) con el tratamiento testigo (-N-P). Al aumentar la cantidad de fósforo la enzima disminuyó su actividad, datos similares han sido encontrados recientemente por Vivanco, 1996; Calderón y Gabriel, 1994; Zavala, 1993, 1996, esto se observó al adicionar fósforo. Por otro lado si se suministra nitrógeno (+N-P) la actividad se vuelve a incrementar como respuesta al aporte del nutrimento. Las plantas desarrollan una mayor actividad enzimática porque el suministro de nitrógeno fue alto y propició que se aumente la actividad para tomar mayor cantidad de fósforo. A pesar de que se le suministró fósforo a las plantas, este probablemente no es suficiente en términos de absorción. En las siguientes dosis el comportamiento está de acuerdo a lo esperado. Mientras que en la segunda edad, la mayor actividad se presentó en el testigo y con adición de nitrógeno.

San Lucas, tiene el mismo comportamiento que Lamb-2 cuando hay estrés por ambos nutrimentos y al aumentar el nitrógeno a la edad 1.

Secano en la edad 1 tiene su valor más alto de Ac-Fa (17.99) en la dosis +N-P, debido a la cantidad de nitrógeno que acentuó la carencia de fósforo. La actividad de la fosfatasa en el testigo (0-0) es alta de acuerdo a lo esperado. En la edad 2 el mismo tratamiento no pudo ser evaluado debido a falta de plantas ya que las semillas no germinaron.

El efecto de la dosis para el suelo de Pátzcuaro fue mayor en el genotipo Secano ante carencia de nutrimentos, con fósforo (-N+P) y nitrógeno (+N-P) (Cuadro 13), en el tratamiento testigo del suelo de Villa Victoria, Lamb-2 tiene mayor valor si se agrega fósforo, San Lucas cuando hay aporte de nitrógeno. Únicamente la dosis completa presentó respuesta similar en ambos suelos, con San Lucas como el de mejor resultado. Respecto a la edad el suelo de Villa Victoria con suficiencia de nitrógeno tiene el mayor valor (edad 1). en los restantes casos se cuenta con la mayor respuesta para la edad 2.

Eficiencia en uso de nitrógeno y fósforo. (Índice de Furlani y Filho, 1990).

Ante carencia de nitrógeno, la eficiencia por este elemento se ve incrementada al aplicar 200 ppm de P (Cuadro 14), para fósforo se encuentra la misma respuesta de los Triticales, con un aumento de 0.003 a 0.02 (en el promedio). En cuanto al tipo de suelo, la mayor eficiencia para ambos nutrimentos se presentó en el suelo de Pátzcuaro con la aplicación de 200 ppm de fósforo.

Entre los Triticales en los tratamientos testigo (0-0) y con nitrógeno (400-0) en el suelo de Pátzcuaro el genotipo más eficiente a fósforo es Lamb-2, y San Lucas ante carencia de nitrógeno (-N+P) y suficiencia de ambos (+N+P); estos genotipos fueron evaluados por diferentes métodos (Vivanco, 1998) y condiciones de desarrollo (Suelo e Hidroponía; Córdoba *et al.*, 1997) los cuales tuvieron respuesta favorable, y catalogados como eficientes, la causa por la cual estos presentan una eficiencia alta se debe a su mejor condición genética (característica de un Triticale avanzado). Aplicando lo propuesto por Isfan *et al.*, (1991) estos genotipos se pueden considerar como ideales por mantener un desarrollo adecuado ante diferentes condiciones de fertilidad, dando producciones altas.

En el Triticale se presenta relación entre la actividad enzimática y eficiencia, lo cual confirma que ambas variables se pueden considerar como métodos para la selección de genotipos capaces de desarrollarse en suelos con baja fertilidad, siendo la actividad fosfatásica de la raíz un factor significativo de la eficiencia nutrimental bajo un limitante suplemento de fósforo mineral (Helal, 1990; Tarafdar y Marschner, 1993).

En la eficiencia de uso de nitrógeno el valor más alto se presentó con carencia de fósforo y suficiencia de nitrógeno en Lamb-2, Secano con carencia de ambos (-N-P), y San Lucas con nitrógeno (+N-P) (Cuadro 14). A pesar de que Secano tiene una alta eficiencia, su acumulación de nutrimento es baja por lo cual no se le puede considerar como genotipo eficiente.

Cuadro 14. INDICE DE EFICIENCIA DE NITROGENO Y FOSFORO EN TRITICALE, POR EFECTO DEL TRATAMIENTO Y DEL TIPO DE SUELO.

| INDICE DE EFICIENCIA DE NITROGENO (IEN) Y FOSFORO (IEP) DE FURLANI Y FILHO. | | | | | | | | | |
|---|----------------|-------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|-----------|----------------|
| -0-0 (-N-P) | | -200 (-N+P) | | -400-0 (+N-P) | | -400-200 (+N+P) | | | |
| Suelo | Villa Victoria | Pátzcuaro | Villa Victoria | Pátzcuaro | Villa Victoria | Pátzcuaro | Villa Victoria | Pátzcuaro | Villa Victoria |
| L-2 | 0.032 | 0.014 | 0.01 | 0.012 | 0.024 | 0.033 | 0.048 | 0.007 | 0.007 |
| S L | 0.017 | 0.0002 | 0.046 | 0.015 | 0.016 | 0.008 | 0.083 | 0.018 | 0.018 |
| Sec | 0.006 | - | - | 0.016 | 0.0002 | 0.055 | - | 0.002 | 0.002 |
| X | 0.02 | 0.007 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.006 | 0.009 | 0.009 |
| -----IEN----- | | | | | | | | | |
| -0.01 | | -0.02 | | -0.02 | | -0.02 | | -0.007 | |
| -0.01 | | -0.01 | | -0.01 | | -0.01 | | -0.01 | |
| -----IEP----- | | | | | | | | | |
| L-2 | 0.004 | 0.003 | 0.066 | 0.002 | 0.0019 | 0.007 | 0.011 | 0.001 | 0.001 |
| S L | 0.0023 | 0.0001 | 0.012 | 0.004 | 0.002 | 0.0015 | 0.007 | 0.004 | 0.004 |
| Sec | 0.009 | - | - | 0.005 | 0.00005 | 0.016 | - | 0.0005 | 0.0005 |
| X | 0.005 | 0.001 | 0.04 | 0.003 | 0.001 | 0.008 | 0.009 | 0.002 | 0.002 |
| -0.003 | | -0.02 | | -0.004 | | -0.003 | | -0.003 | |
| -0.01 | | -0.01 | | -0.01 | | -0.01 | | -0.004 | |

Los genotipos más eficientes al fósforo para el suelo de Villa Victoria fueron, Secano en la dosis $-N+P$ y $+N-P$, estos valores son discordantes ya que este genotipo no puede considerarse como eficiente por tener una baja producción de biomasa (ver apéndice). Lo cual sugiere que la evaluación de la eficiencia con este método en suelo, a diferencia del cultivo hidropónico, no es muy adecuado.

En el efecto del tipo de suelo dio la mayor eficiencia para nitrógeno en la dosis completa ($+N+P$) en el suelo de Pátzcuaro y en fósforo se encontró en el tratamiento con aporte de fósforo ($-N+P$)-

Cuando hay suficiencia de nitrógeno la eficiencia de este se reduce con aplicación de fósforo, mientras en la eficiencia a fósforo se encontró que cuando se aumentó de 0 a 200 ppm hubo un aumento de la eficiencia de fósforo (Cuadro 14). Comparando el tipo de suelo, para nitrógeno la eficiencia en el suelo de Villa Victoria fue mayor sin aplicación de fósforo con valor de 0.03 respecto a la de Pátzcuaro la cual fue de 0.01. En fósforo se presenta una situación similar variando de 0.001 a 0.008.

Un aumento de fósforo incrementó la eficiencia de nitrógeno en el suelo de Villa Victoria, mientras que para el fósforo, el de Pátzcuaro tuvo un valor de 0.09 respecto a la de Villa Victoria que es de 0.002.

En Triticale el nivel de nitrógeno no propicia diferencias en la eficiencia de dicho nutrimento, sin embargo, en fósforo si se presenta y es superior cuando se carece de nitrógeno ($-N-P$ y $-N+P$).

Eficiencia de la raíz en la absorción de nitrógeno y fósforo. (Índice de Jones et al., 1989).

Los valores más altos de eficiencia de la raíz en la absorción de nitrógeno y fósforo se obtuvieron con el tratamiento testigo, siendo éstos de 479.6 y 178.2 para nitrógeno y fósforo respectivamente, a diferencia con los encontrados con 200 ppm de P. En cuanto al suelo, el de Villa Victoria tuvo la mayor eficiencia con ambas dosis de fósforo y nutrimentos.

En general, la mayor eficiencia en absorción de la raíz a nitrógeno y fósforo se presentó cuando no hubo aplicación de nitrógeno (-N-P y -N+P) dando una diferencia de 329.6 a 256.4 unidades, al aumentar la cantidad de nitrógeno (+N+P) disminuyó de 67.1 a 62.6 la eficiencia al fósforo.

En el suelo de Pátzcuaro, el Triticale San Lucas, es eficiente a nitrógeno con el testigo (0-0) y con fósforo (0-200), mientras Secano con nitrógeno (400-0) y Lamb-2 en aporte completo de nutrimentos(400-200); la mejor respuesta al fósforo, la presentó el genotipo Secano con el testigo y con aporte de nitrógeno (-N-P y +N-P), por otro lado, Lamb-2 con fósforo y ambos (-N+P y +N+P) (Cuadro 15).

En el suelo de Villa Victoria, el genotipo San Lucas tiene la mejor eficiencia de absorción de la raíz, para ambos nutrimentos, al comparar estos resultados con los del suelo de Pátzcuaro, observamos que la respuesta de un genotipo puede relacionarse ampliamente con el ambiente en donde se desarrolla (Ocampo *et al.*, 1996). Este genotipo se ha sembrado en distintas ocasiones en la región de Villa Victoria, en todas éstas, su respuesta ha sido favorable, mientras que en las condiciones presentadas por el suelo de Pátzcuaro eran nuevas y posiblemente la respuesta no fue la esperada por la importancia que tienen todos los factores del ambiente edáfico en la absorción del nutrimento.

Al comparar el efecto del suelo se encontró la mayor eficiencia al nitrógeno (NER) con aporte completo de nutrimentos (400-200) en el suelo de Pátzcuaro, en el de Villa Victoria la mejor eficiencia radicular al fósforo se observó con el tratamiento testigo (IEP).

Cuando hubo aplicación de nitrógeno y 200 ppm de fósforo (+N+P) se observaron los valores más altos en los dos nutrientes (Cuadro 15). El suelo de Villa Victoria fue mejor con respecto al de Pátzcuaro.

Relación de actividad de la enzima (RAE) y partición de la biomasa (RAETA).

Al aumentar la cantidad de fósforo sin aporte de nitrógeno (0-200) tuvo como consecuencia que la relación de la actividad enzimática (RAE) se incrementara de 9.5 a 40.3, en la partición de biomasa (RAETA) no se presentó ningún cambio cuando hubo aplicación de 200 ppm de fósforo.

El suelo de Pátzcuaro con 200 ppm de P se tiene una mejor respuesta en el RAE, sin embargo en el tratamiento testigo se incrementó la partición de biomasa (Cuadro 16). En el de Villa Victoria, con aplicación de 200 ppm de fósforo se incrementó el RAE y RAETA.

El genotipo Lamb-2 es el de mejor respuesta en los dos suelos en casi todos los tratamientos, con excepción del que se le agregó 400 ppm de nitrógeno en el suelo de Pátzcuaro y en el que se le aportó tanto fósforo como nitrógeno en el de Villa Victoria que correspondieron a San Lucas (Cuadro 16).

En general la mejor respuesta correspondió a Lamb-2 (en las dosis +N-P y +N+P), seguido por San Lucas en (-N+P) y Secano con (-N-P) mostrados en el cuadro 16. Este último por un efecto de dilución. Los genotipos Lamb-2 y San Lucas, son conocidos como Triticales avanzados y la respuesta favorable ante esta variable se debe principalmente a sus condiciones genéticas.

En el suelo de Villa Victoria, el genotipo Secano, contrario a lo ocurrido en el suelo de Pátzcuaro, presenta valores altos con aplicación de 400 ppm de nitrógeno, mientras el San

Cuadro 16. RELACION DE ACTIVIDAD ENZIMATICA DEL TRITICALE Y SU RAZON RAIZ/VASTAGO, POR EFECTO DEL TRATAMIENTO Y DEL TIPO DE SUELO.

| RELACION DE ACTIVIDAD DE LA ENZIMA (RAE) Y RAZON RAIZ/VASTAGO (RAETA) | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------|--------------------|----------------|---------------------|--------------------|
| | 0-0 (-N-P) | | 0-200 (-N+P) | | 400-0 (+N-P) | | 400-200 (+N+P) | | |
| | Suelo | --Villa Victoria-- | Suelo | -----Pátzcuaro----- | Suelo | --Villa Victoria-- | Suelo | -----Pátzcuaro----- | Suelo |
| | | --Villa Victoria-- | | -----Pátzcuaro----- | | --Villa Victoria-- | | -----Pátzcuaro----- | --Villa Victoria-- |
| | | | | | | | | | |
| | ---RAE--- | | | | | | | | |
| L-2 | 8.66 | 18.98 | 30.98 | 112 | 1.06 | 26.97 | 27.08 | 8.10 | |
| S L | 8.14 | 5.87 | 30.61 | 31.9 | 9.75 | 7.32 | 24.44 | 17.80 | |
| Sec | 3.38 | - | - | 5.4 | 1.47 | 3.83 | - | 1.15 | |
| X | 6.7 | 12.4 | 30.8 | 49.8 | 4.1 | 12.7 | 25.8 | 9 | |
| | 9.5 | | 40.3 | | 8.4 | | | 17.4 | |
| | | | 24.9 | | | | | 12.4 | |
| | ---RAETA--- | | | | | | | | |
| L-2 | 0.63 | 0.82 | 0.40 | 0.2 | 0.35 | 0.27 | 0.13 | 0.1 | |
| S L | 0.23 | 0.25 | 0.21 | 0.11 | 0.41 | 0.19 | 0.25 | 0.1 | |
| Sec | 0.08 | - | 1.66 | 0.09 | 2 | 0.09 | - | 0.27 | |
| X | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 0.1 | 0.9 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | |
| | 0.4 | | 0.4 | | 0.5 | | | 0.1 | |
| | | | 0.4 | | | | | 0.3 | |

Lucas los presenta en los siguientes tratamientos. Esta respuesta de Secano se debe a que no presenta un buen desarrollo, es decir, la producción de Biomasa de vástago es menor a la de los otros genotipos por lo que este no es eficiente pues requiere alto nivel de nitrógeno (400 ppm) para tomarlo eficazmente.

Ante suficiencia de nitrógeno con aumento de fósforo se produce disminución de la actividad de 14 unidades a 11.2, el tipo de suelo en ambos casos propicio una disminución de **RAE**, en el suelo de Pátzcuaro de 13 a 10.3 unidades y para el de Villa Victoria de 15 a 12.1, siendo esta última la mayor.

Los genotipos mostraron una disminución de la actividad de la fosfatasa con respecto al aumento de fósforo a 200 ppm, solo el San Lucas incrementó su respuesta de 14.8 a 15.

Con aplicación de nitrógeno y 200 ppm de fósforo (400-200) se observaron los valores más altos en eficiencia en los dos nutrimentos (Cuadro 16). En el tipo de suelo Villa Victoria fue mejor con respecto al de Pátzcuaro.

Al aplicar fósforo al suelo se incrementó el valor de los dos parámetros (**RAE** y **RAETA**) (Cuadro 16).

En el suelo Villa Victoria con la dosis testigo se obtuvieron los valores más altos que en el de Pátzcuaro y al aumentar la cantidad de fósforo (-N+P) aumentó de 25.8 con respecto a al de Villa Victoria en el cual se encontró un valor de 9 en su **RAE**, el **RAETA** presentó una mejor respuesta en Villa Victoria.

Con suficiente nitrógeno (+N-P y +N+P) el **RAETA** se incrementó mientras que el **RAE** tuvo mejores valores ante carencia (-N-P y -N+P).

Análisis estadístico.

En el índice de eficiencia de fósforo en los tratamientos (400-0 y 400-200) se comportaron de la misma manera y en 0-0 es diferente al igual que con 400-200 (Cuadro B); para el índice de eficiencia de nitrógeno, la dosis con aporte de fósforo resultó ser diferente a las demás, en la eficiencia de la raíz al fósforo al agregar nitrógeno es diferente a las otras. En la razón raíz/vástago el testigo y al agregar fósforo tienen un comportamiento igual, pero diferente con respecto a los casos que se adicionó nitrógeno y ambos (+N+P); para la acumulación de fósforo sin aporte de ambos y con nitrógeno son iguales, lo mismo que con fósforo y en dosis completa, la acumulación de nitrógeno tiene el mismo comportamiento que la razón raíz/vástago.

El genotipo Secano es diferente a Lamb-2 y San Lucas en la AF2 e IEP (Cuadro B); San Lucas es diferente a Lamb-2 y Secano en el índice de eficiencia de nitrógeno. Para la razón raíz/vástago los tres genotipos son diferentes.

Únicamente en la AF1 no se presentaron diferencias para el tipo de suelo (Cuadro B).

Cuadro B. Análisis Estadístico del Triticale.

| ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL TRITICALE | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|--------|
| | -AF1- | -AF2- | -IEP- | -IEN- | -PER- | -NER- | -RAE- | -RAETA- | -ACUP- | -ACUN- |
| D. FER | | | | | | | | | | |
| 0-0 | a | a | c | b | a | a | a | b | b | b |
| 0-200 | a | a | b | a | a | a | a | b | a | b |
| 400-0 | a | a | a | b | b | a | a | a | b | c |
| 400-200 | a | a | a | b | a | a | a | c | a | a |
| GEN | | | | | | | | | | |
| Lamb-2 | a | b | a | a | a | a | a | b | a | a |
| Sn Luc | a | b | a | b | a | a | a | c | a | a |
| Sec | a | a | b | a | a | a | a | a | a | a |
| SUE | | | | | | | | | | |
| Pátz. | a | a | a | a | b | b | b | a | b | b |
| V.V. | a | b | b | b | a | a | a | b | a | a |

Tukey $\alpha = 0.05$

Sn Luc = San Lucas Sec = Secano Pátz = Pátzcuaro V.V = Villa Victoria

D FER = Dosis de Fertilización GEN = Genotipo SUE = Suelo.

Letras iguales y combinadas = los genotipos son semejantes

Letras diferentes = los genotipos presentan diferencias significativas

MAIZ.

Actividad Fosfatásica (Ac-Fa).

En suficiencia de nitrógeno con 0 ppm de P se tiene la mayor actividad fosfatásica la cual fue de 15 unidades, respecto a 200 ppm de P en donde es de 14.7 en el promedio general, respecto a tipo de suelo el incremento del nivel, propicio que la actividad en el suelo de Pátzcuaro aumentara de 12.4 a 13.5 unidades, mientras que el de Villa Victoria disminuyó de 17.7 a 15.9 (Cuadro 17).

Al comparar genotipos, en el suelo de Pátzcuaro, solo el V-105 disminuyó su actividad al aumentar a 200 ppm de P, el decremento en la enzima fue de 12.8 a 12, el H-135 y el Negro incrementaron su respuesta. Para el de Villa Victoria el H-135 mantiene el incremento de su actividad (Cuadro 17.1), los genotipos restantes disminuyen su actividad al aumentar el fósforo.

El maíz H-135 en el suelo Pátzcuaro, presentó la mayor actividad con aumento de nitrógeno (edad 1), y contrario a lo reportado en bibliografía en el testigo se presentó el menor valor, posiblemente la cantidad de fósforo que había en el suelo fue suficiente para completar su desarrollo. Conforme aumenta la edad, se observa que la actividad de la fosfatasa disminuye (edad 2), esto concuerda con lo reportado por Calderón y Gabriel, 1994; Vivanco, 1996; Molina y Portilla, 1997. En la edad 3 la actividad también se ve disminuida, pero el tratamiento (400-0) tiene la mayor actividad que los casos anteriores, debido a la edad de las plantas (51 días), ya que estas requieren de mayor cantidad de nutrimento (P), por lo tanto, al aumentar la cantidad de nitrógeno y la edad, aumenta también la actividad de la fosfatasa.

El V-105 a 21 días presenta la mayor actividad con el nivel 400-200, debido a que las plantas no pueden tomarlos tan rápidamente por lo cual liberan la fosfatasa. En la edad 2 (36 días) se observó que en estrés de fósforo y nitrógeno se registra un valor de 14.02; con

Cuadro 17. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA FOSFATASA ACIDA RADICAL EN MAIZ, POR EFECTO DE LA EDAD, TRATAMIENTO Y TIPO DE SUELO (Efecto del Fósforo ante Carencia de Nitrógeno).

Actividad Fosfatasa ($\mu\text{mol p-nitrofenol/g de Mat. Fresca/Hr}$)

| | | -----0-0 (-N-P)----- | | | -----0-200 (-N+P)----- | | |
|-------|--|--------------------------|----------------|----------------|--------------------------|----------------|----------------|
| | | Suelo | | | Suelo | | |
| | | -----Páizcuaro----- | | | -----Páizcuaro----- | | |
| | | -----Villa Victoria----- | | | -----Villa Victoria----- | | |
| | | Edad | X | Edad | X | Edad | X |
| | | 21d | 36d | 51d | 21d | 36d | 51d |
| H-135 | | 9.57 | 12.42 | 11.62 | 15.3 | 16.3 | 12.54 |
| V-105 | | 13.9 | 14.02 | 10.36 | 12.8 | 18.69 | 22 |
| Neg | | 9.05 | 16.3 | 15.04 | 13.5 | 8.2 | 17.44 |
| X | | 10.8 | 14.2 | 12.3 | 14.1 | 17.3 | 21.7 |
| | | -----12.4----- | -----17.7----- | -----13.5----- | -----15----- | -----14.7----- | -----15.9----- |

Neg = Negro

Cuadro 17.1. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA FOSFATASA ACIDA RADICAL EN MAIZ, POR EFECTO DE LA EDAD, TRATAMIENTO Y TIPO DE SUELO (Efecto del Fósforo ante Suficiencia de Nitrógeno).

| | | Actividad Fosfatasa ($\mu\text{mol p-nitrofenol/g de Mat. Fresca/Hr}$) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--|--|-------|-----------|------|----------------|-------|-----------|------|-----------|-------|-----------|------|----------------|-------|--|--|
| | | 400-0 (+N-P) | | | | 400-200 (+N+P) | | | | | | | | | | | |
| | | Pátzcuaro | | | | Villa Victoria | | | | Pátzcuaro | | | | Villa Victoria | | | |
| | | Suelo | | Suelo | | Suelo | | Suelo | | Suelo | | Suelo | | Suelo | | | |
| | | Edad | | Edad | | Edad | | Edad | | Edad | | Edad | | Edad | | | |
| | | X | | X | | X | | X | | X | | X | | X | | | |
| | | 21d | 36d | 21d | 36d | 21d | 36d | 21d | 36d | 21d | 36d | 21d | 36d | 21d | 36d | | |
| H-135 | | 16.75 | 15.16 | 22.8 | 18.2 | 15.02 | 13.56 | 18.24 | 15.6 | 14.47 | 11.05 | 17.1 | 14.2 | 9.73 | 6.49 | | |
| V-105 | | 14.7 | 19.72 | 23.93 | 19.4 | 14.59 | 17.44 | 19.83 | 17.3 | 19.03 | 18.01 | 18.81 | 18.6 | 18.81 | 14.82 | | |
| Neg | | 19.6 | 20.86 | 22.79 | 21.1 | 14.82 | 16.3 | 19.38 | 16.8 | 7.75 | 10.14 | 18.46 | 13.6 | 12.99 | 16.3 | | |
| X | | 71.12 | 18.6 | 23.2 | | 14.8 | 15.8 | 19.1 | | 13.7 | 13.1 | 18.1 | 13.8 | 12.5 | 21.5 | | |
| | |37.6 | |16.6 | |14.9 | |15.9 | |15.4 | |15.4 | |15.4 | | | |
| | | -----27.1 | | -----15.4 | | -----15.4 | | -----15.4 | | -----15.4 | | -----15.4 | | -----15.4 | | | |

Neg = Negro

0-200 ppm de fósforo baja a 6.95 que ratifica lo propuesto por Calderón y Gabriel, 1994; Cruz, 1994; Vivanco, 1996. Con el tratamiento (400-0) se incrementa la actividad. En la edad 3 (51 días) se tiene el valor más alto de actividad cuando hay adición de nitrógeno.

El Negro, presentó la mayor actividad en las 3 edades con 400 ppm de nitrógeno.

En Villa Victoria se observa que al agregar 200 ppm de fósforo a las plantas incrementan su actividad, esto se debe a que el fósforo que es agregado no puede ser asimilado por ellas, por lo cual aumentan su actividad para obtener el fósforo que demandan en su desarrollo, pues la carencia de nitrógeno se acentúa con aplicación de fósforo. En la segunda edad, sin aporte de fertilizante, se obtuvo una actividad de 12.54, pero al agregar nitrógeno (400 ppm) aumenta la actividad de la fosfatasa porque el nitrógeno promueve la deficiencia de fósforo. En cambio en la tercera edad el mayor valor se obtuvo sin agregar fósforo y nitrógeno, debido a que en esta edad las plantas requieren más cantidad de fósforo, por lo tanto aumentan su actividad enzimática.

El genotipo Negro en el suelo de Villa Victoria, presentó la menor actividad sin agregar fertilizante (0-0) a los 21 días, el fósforo contenido el suelo (17.40 ppm) fue el adecuado para el desarrollo vegetal, y así la actividad de la fosfatasa fue inhibida, pero aumentó con aporte de nitrógeno. A los 36 días se obtuvo el valor más alto en el testigo, lo mismo que a los 51 días.

Al comparar efecto de edad (Cuadros 17 y 17.1), se encontró que la fosfatasa fue mayor a los 51 días en las dosis (400-0, 400-200) en ambos suelos.

El aumento de fósforo (200 ppm), propicio un decremento en la respuesta de la enzima, la cual disminuyó de 27.1 a 15.4 unidades, para el tipo de suelo se presentó una disminución de la enzima con 200 ppm de fósforo. la mayor actividad se mantiene en Pátzcuaro con aporte de nitrógeno (400-0) (de 37.6 a 14.9 unidades).

En general, los genotipos mantienen un decremento en la actividad conforme aumenta el fósforo, únicamente el V-105 para el suelo de Villa Victoria eleva la respuesta de la fosfatasa.

Eficiencia en uso de nitrógeno y fósforo. (Índice de Furlani y Filho, 1990).

Al tener una carencia de nitrógeno, la mayor eficiencia se encuentra con el aumento de fósforo, mientras que para fósforo no se presenta diferencia en la respuesta al aplicar el nutrimento (Cuadro 18).

En el efecto del tipo de suelo se observó que la mayor eficiencia para ambos nutrimentos y dosis de fertilización la tuvo el de Villa Victoria ya que en este suelo la cantidad de P disponible es 9 veces superior a la que se tiene en el de Pátzcuaro.

El Maíz H-135 en el suelo de Pátzcuaro tiene la mayor eficiencia al fósforo en los casos que no se agregan nutrimentos (0-0 ppm) y cuando hay aporte de nitrógeno (400-0), pero presenta ante carencia de este (0-0 y 0-200) una baja acumulación, y con una dosis alta de nitrógeno una biomasa pequeña (ver apéndice), el V-105 con aplicación de fósforo (0-200) y el Negro con dosis completa (+N+P) (Cuadro 18), este presenta una baja producción de biomasa.

Ambos genotipos presentan una relación con la actividad enzimática (fosfatasa), el Negro en especial es el de mayor respuesta por la habilidad de la raíz para secretar la enzima, debido a sus características genéticas (Tadano *et al.*, 1993).

En el suelo Villa Victoria el genotipo V-105 es el más eficiente al fósforo (IEP) en los tratamientos con fósforo y nitrógeno (-N+P y +N-P), en cambio el Maíz Negro con el testigo (-N-P), sin embargo no se considera eficiente debido a que se presenta en él un efecto de dilución. El más eficiente a nitrógeno es el H-135 con la dosis 0-0 ppm, con fósforo y ambos (-N+P, +N+P) (Cuadro 18); al aplicar nitrógeno (+N-P) el V-105.

En el análisis para efecto del tipo de suelo, en Maíz, la mayor eficiencia se presentó con 400 ppm de nitrógeno, en el suelo de Pátzcuaro para los tres genotipos.

Con suficiencia de nitrógeno la mayor eficiencia para ambos nutrimentos corresponde al tratamiento 0 ppm de fósforo, respecto al tipo de suelo, el nitrógeno y el fósforo presentan su mejor eficiencia en el suelo de Pátzcuaro, mientras el incremento de fósforo a 200 ppm en el suelo de Villa Victoria es más eficiente.

Eficiencia de absorción de la raíz al nitrógeno y fósforo. (Índice de Jones et al., 1989).

La aplicación de 200 ppm de fósforo al suelo que carecía de nitrógeno (0-200) aumentó la eficiencia de ambos nutrimentos (**NER**, **PER**), comparada con el tratamiento que no tenía fósforo ((0-0). Las eficiencias más altas se encontraron en el suelo de Villa Victoria (Cuadro 19).

El genotipo V-105 es eficiente a fósforo (**PER**) y nitrógeno (**NER**) en el suelo de Pátzcuaro con las dosis -N-P y -N+P, mientras que el H-135 con +N-P y el Negro con +N-P al nitrógeno; el Negro es más eficiente con +N-P y +N+P al fósforo, (Cuadro 19).

En el suelo de Villa Victoria el H-135 es el más eficiente a nitrógeno con el testigo (0-0), con aporte de nitrógeno (400-0) y ambos nutrimentos (400-200), y al fósforo igual que en los dos últimos casos, mientras que el Negro es eficiente a nitrógeno con la dosis 0-0 ppm y a fósforo en el testigo y con fósforo (0-200); al comparar éstos resultados con los del suelo Pátzcuaro, se confirma que la respuesta del genotipo depende en gran parte del ambiente en que se desarrolle.

La dosis con aporte completo de nutrimentos (400-200) del suelo de Villa Victoria, es la de mejor respuesta.

Cuadro 19. EFICIENCIA DE ABSORCION DE LA RAIZ DEL MAIZ, POR EFECTO DEL TRATAMIENTO Y DEL TIPO DE SUELO.

EFICIENCIA DE ABSORCION DE LA RAIZ AL NITROGENO (NER) Y AL FOSFORO (PER)

| | 0-0 (N-P) | | 0-200 (-N+P) | | 400-0 (+N-P) | | 400-200 (+N+P) | |
|----------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo |
| | ---Pátzcuaro--- | ---Villa Victoria--- |
| H-135 | 24.12 | 19.87 | 45.78 | 83.96 | 76.66 | 174.55 | 102.64 | 158.45 |
| V-105 | 42.02 | 34.54 | 60.97 | 47.86 | 4.24 | 10.14 | 84.5 | 86.05 |
| Neg | 40.14 | 54.87 | 45 | 53.43 | 50.49 | 74.62 | 147.29 | 117.54 |
| X | 35.4 | 36.4 | 50.6 | 61.7 | 43.8 | 86.4 | 111.5 | 120.7 |
| | -----35.9----- | -----46----- | -----56.1----- | -----65.1----- | -----90.6----- | -----116.1----- | | |
| | NER | | | | | | | |
| H-135 | 2.21 | 4.46 | 6.63 | 16.34 | 4.8 | 8.98 | 8.8 | 17.73 |
| V-105 | 4.05 | 5.27 | 13.69 | 9.26 | 2.84 | 7.37 | 9.84 | 13.09 |
| Neg | 2.45 | 7.94 | 8.75 | 16.79 | 10.21 | 6.74 | 17.88 | 12.77 |
| X | 2.9 | 5.9 | 9.7 | 15.1 | 5.9 | 7.8 | 12.2 | 14.5 |
| | -----4.4----- | -----12.4----- | -----6.8----- | -----13.3----- | | | | |
| | -----8.4----- | -----10----- | | | | | | |
| | PER | | | | | | | |

Neg = Negro

El hecho de que las plantas tuvieran el nivel suficiente de nitrógeno (400 ppm) propició que al aplicar fósforo (400-200) se obtuvieran valores más altos comparados con el tratamiento que no se le aplicó fósforo (400-0). El suelo de Villa Victoria presentó la mayor eficiencia con ambas dosis de fósforo (Cuadro 19).

Al comparar el resultado de suficiencia con carencia de nitrógeno se observó que la eficiencia de la raíz en los dos nutrimentos fuera mayor con la aplicación de fósforo (+N+P).

Relación de actividad de la enzima (RAE) y partición de la biomasa (RAETA).

El aumento de fósforo a 200 ppm propició que en ambos parámetros se obtuvieran mejores resultados de RAE y RAETA. El suelo de Pátzcuaro fue el de mejores resultados para ambos tratamientos (Cuadro 20).

En Pátzcuaro, el genotipo V-105 presentó una alta respuesta en los casos que no hubo aporte de nutrimentos (-N-P) y con dosis completa (+N+P) (Cuadro 20), mientras el Negro en los tratamientos restantes; en Villa Victoria solo el Negro ocupa el mayor valor cuando se le agregó fósforo, en general la respuesta del V-105 es la mejor en ambos suelos.

Con la dosis testigo y con nitrógeno (0-0, 400-0) el H-135 es el de mejor respuesta, mientras el V-105 con (0-200) y el Negro con (400-200) (Cuadro 20); el genotipo H-135 mostró ser eficiente en el uso del nutrimento (IE) y estar muy cerca de los valores más altos en la eficiencia de la raíz (ER) por lo cual se le podría calificar como eficiente. En el Villa Victoria presenta nuevamente una respuesta favorable.

La partición de la biomasa (RAETA) no presentó diferencia con el aumento de fósforo, solo en el RAE se encontró tal situación.

Cuadro 20. RELACION DE ACTIVIDAD ENZIMATICA DEL MAIZ Y SU RAZON RAIZ/VASTAGO, POR EFECTO DEL TRATAMIENTO Y DEL TIPO DE SUELO.

RELACION DE ACTIVIDAD DE LA ENZIMA (RAE) Y RAZON RAIZ/VASTAGO (RAETA)

| | 0-0 (-N-P) | | -0-200 (-N+P) | | 400-0 (+N-P) | | 400-200 (+N+P) | |
|--------------|--------------------|---------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo | Suelo |
| | --Villa Victoria-- | --Pátzcuaro-- | --Pátzcuaro-- | --Villa Victoria-- | --Pátzcuaro-- | --Villa Victoria-- | --Pátzcuaro-- | --Villa Victoria-- |
| H-135 | 25.69 | 80.4 | 31.39 | 157.6 | 47.74 | 101.9 | 103.6 | 146.8 |
| V-105 | 52.94 | 233.1 | 104 | 156.9 | 66.8 | 176 | 232.3 | 252.4 |
| Neg | 52.8 | 125.8 | 107.8 | 295.1 | 116.9 | 83.66 | 147.4 | 188 |
| X | 43.8 | 146.4 | 81.1 | 203.2 | 77.1 | 120.5 | 161.1 | 195.7 |
| | 95.1 | | 142.1 | | 98.8 | | 178.4 | |
| | 18.6 | | | | 138.6 | | | |
| RAE | | | | | | | | |
| H-135 | 1.57 | 1.4 | 1.52 | 0.8 | 0.67 | 0.74 | 1.2 | 0.5 |
| V-105 | 1.81 | 1.38 | 0.88 | 0.93 | 1.41 | 0.95 | 1.35 | 0.75 |
| Neg | 1.67 | 0.93 | 1.32 | 0.82 | 0.95 | 0.96 | 0.83 | 0.79 |
| X | 1.7 | 1.2 | 1.2 | 0.8 | 1 | 0.9 | 1.1 | 0.7 |
| | 1.4 | | 1 | | 0.9 | | 0.9 | |
| | 1.2 | | | | 0.9 | | 0.9 | |
| RAETA | | | | | | | | |

Neg = Negro

El suelo en el que se obtuvieron mejores resultados en los dos parámetros fue el de Villa Victoria (Cuadro 20).

Con niveles suficientes de nitrógeno ambos parámetros se ven favorecidos.

Análisis estadístico.

Las dosis -N-P y +N+P son semejantes pero diferentes a -N+P y +N-P en la AF1, pero en AF2 la única que presenta diferencias es 0-200 (Cuadro C), en la AF3 0-0 y 0-200 son iguales, pero diferentes a 400-0 y 400-200. En el índice de eficiencia de fósforo todos los tratamientos son diferentes, y en nitrógeno solo el testigo es diferente. Para la eficiencia de absorción de la raíz en todos los casos se observaron diferencias para ambos nutrientes; la dosis con aporte de fósforo es diferente a los demás pero presenta cierta similitud cuando se le agrega nitrógeno y en la acumulación de nitrógeno los tratamientos -N+P y +N+P son iguales con diferencia entre -N-P y -N+P con +N-P.

El genotipo H-135 es diferente al V-105 y al Negro, este último tiene similitudes con ambos genotipos tanto en la AF1 como en AF3. La eficiencia de la raíz al nitrógeno presenta diferencias entre H-135 y Negro, el V-105 presenta similitudes con ambos; la relación de actividad de la enzima H-135 es diferente a los demás, con respecto a la razón raíz/vástago V-105 es diferente (Cuadro C).

Las únicas variables en las que no se presentan diferencias son: actividad fosfatasa 2, e índice de eficiencia de fósforo y nitrógeno (Cuadro C).

Cuadro C. Análisis Estadístico del Maíz.

| ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL MAÍZ | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|--------|
| | -AF1- | -AF2- | -AF3- | -IEP- | -IEN- | -PER- | -NER- | -RAE- | -RAETA- | -ACUP- | -ACUN- |
| D. FER | | | | | | | | | | | |
| 0-0 | b | ab | b | a | a | c | d | ab | b | a | b |
| 0-200 | ab | b | b | b | b | bc | b | b | a | a | a |
| 400-0 | a | a | a | c | b | a | c | ab | ab | a | b |
| 400-200 | b | ab | a | d | b | ab | a | a | b | a | a |
| GEN | | | | | | | | | | | |
| H-135 | b | a | b | a | a | a | b | b | a | a | a |
| V-105 | a | a | a | a | a | a | ab | a | b | a | a |
| Neg | ab | a | ab | a | a | a | a | a | a | a | a |
| SUE | | | | | | | | | | | |
| Pátz. | b | a | b | b | a | a | b | b | a | b | b |
| V.V. | a | a | a | a | a | a | a | a | b | a | a |

Tukey $\alpha = 0.05$ Neg = Negro Pátz = Pátzcuaro V.V. = Villa Victoria

D. FER = Dosis de Fertilización GEN = Genotipo SUE = Suelo.

Letras iguales y combinadas = los genotipos son semejantes

Letras diferentes = los genotipos presentan diferencias significativas

De acuerdo con los resultados obtenidos, al realizar un análisis de regresión se obtuvo la siguiente ecuación para la relación de actividad de la enzima (RAE).

$$RAE = 0.9338 + 0.60 (\text{Gen}) + 0.32 (\text{Sue}) + 0.5 (\text{Dfe})$$

Conclusiones

Actividad Fosfatasa.

1. La actividad fosfatasa aumentó con la edad en Trigo y Triticale; y en Maíz tendió a disminuir o a ser constante.
2. Los genotipos que desarrollaron mayor actividad enzimática fueron: el Trigo Vivero para Suelos Acidos, el Triticale Secano y el Maíz V-105.
3. La actividad aumentó en el Trigo con la dosis 0-0.
4. En Triticale y Maíz la dosis 400-0 ppm de nitrógeno propició un incremento en la actividad enzimática.
5. Se observó que el contenido de materia orgánica del suelo de Villa Victoria fue mayor que el de Pátzcuaro por lo que se cree que provocó un aumento en la actividad fosfatásica.
6. En Triticale se presenta relación entre la actividad fosfatásica y eficiencia, lo cual confirma que éstas variables se pueden considerar como métodos para la selección de genotipos capaces de desarrollarse en suelos con baja fertilidad, siendo la actividad fosfatásica de la raíz un factor significativo de la eficiencia nutrimental bajo un limitante suplemento de fósforo mineral.

Indice de Eficiencia de Furlani y Filho.

7. El genotipo Galvez es eficiente a ambos nutrimentos, San Lucas y H-135 a nitrógeno y Lamb-2 con V-105 a fósforo en el suelo de Pátzcuaro.
8. Los Trigos son más eficientes a nitrógeno ante carencia de este (-N-P y -N+P) y a fósforo ante suficiencia (+N-P y +N+P). En Triticale las dosis no tienen influencia sobre los genotipos ya que se comportan de la misma manera en nitrógeno, con fósforo la dosis completa (400-200 ppm) provocó que disminuyera la eficiencia. En Maíz con el nivel 400-0 ppm de nitrógeno aumentó la eficiencia de ambos nutrimentos.
9. Los Trigos y Triticales son más eficientes a ambos nutrimentos en el suelo de Pátzcuaro, el Maíz en Villa Victoria incrementa su eficiencia excepto con la dosis 400-0 ppm.

Eficiencia de Absorción de la Raíz (Indice de Jones).

10. Los genotipos San Cayetano y San Lucas son más eficientes a ambos nutrimentos, el Maíz H-135 es eficiente a nitrógeno y el Negro a fósforo.
11. En el suelo de Villa Victoria el genotipo San Lucas es el mejor en todos los tratamientos para ambos nutrimentos.
12. En el suelo de Villa Victoria se registraron los valores más altos de eficiencia en las tres especies.
13. El Trigo y Triticale son eficientes a nitrógeno y fósforo ante carencia de éste (-N-P y -N+P) en Maíz ante suficiencia del mismo (+N-P y +N+P).

Relación de Actividad de la Enzima y Razón Raíz/Vástago.

14. San Cayetano y V-105 son los genotipos que presentaron los valores más altos de relación de actividad de la enzima (**RAE**) y razón raíz/vástago (**RAETA**). Lamb-2 tuvo el valor más elevado de RAE y Secano de **RAETA**.
15. Las 3 especies presentaron valores altos de RAE en el suelo de Villa Victoria y **RAETA** en el de Pátzcuaro.
16. Con los tratamientos de suficiencia de nitrógeno (+N-P y +N+P) el **RAE** se incrementa en Trigo y Maíz, con carencia de éste (-N-P y -N+P) el **RAETA** aumenta en Triticale y Maíz; ésta situación también se presenta en el **RAE** del Triticale.

SUGERENCIAS.

Con el fin de completar el estudio en el futuro se sugiere:

1. Además de evaluar la actividad fosfatásica en la raíz realizarla también en el suelo de la rizósfera para conocer cuánto fósforo aportan los microorganismos del suelo en la absorción del mismo.
2. Medir la longitud radical por métodos como el de Tennant para observar un mayor número de variables y posteriormente correlacionarlas, con el fin de tener una visión amplia del problema que se abordó. Debido a que con este método además de medir longitud radical también se evalúa el volumen, por lo tanto al realizarlo nos permitiría tener un parámetro más para la evaluación.
3. Determinar la eficiencia por diferentes métodos para decidir qué genotipos son más eficientes en campo. Para la selección de genotipos con alta eficiencia es recomendable la comparación de diferentes métodos con la finalidad de seleccionar realmente al genotipo eficiente y evitar caer en errores por el enmascaramiento de algún valor.

BIBLIOGRAFIA.

Baligar V. C., Duncan R. R. y Fageria N. K. 1990. "Soli-plant interaction on nutrient use efficiency in plant: an overview". In Crops as enhancers of nutrient use. Baligar, BC. and Duncan RR Eds., Academic press Inc. 131-209.

Batten G. D. 1992 "A review of phosphorus efficiency in wheat" Plant and Soil 146: 163-168.

Bellapart, C. 1988. "Agricultura biológica en equilibrio con la agricultura química" Ed. AEDOS. S.A. México, D.F.

Bremner, J. M. 1965. "Total nitrogen. In: C. A. Black (ed) Methods of Soil Analysis". Part II, Agronomy 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp 1149-1178.

Besford R. T. 1979. "A Phosphatase as a potential indicator of the glasshouse Cucumber (*Cucumis sativus*)" J. Sci. Food Agric. 29: 87 - 91.

Calderón, L. y Gabriel J. 1994. "Evaluación de la influencia del fósforo sobre la actividad de la enzima fosfatasa ácida en distintos genotipos de trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittmack)". Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM.

Clark, R. B. 1990. "Physiology of cereals for mineral nutrition uptake, use, and efficiency". In Crops as enhancers of nutrient use. Baligar, BC. and Duncan RR Eds., Academic press Inc. 131-209.

Córdoba, M. J., Cruz, G. 1997. "Actividad fosfatásica e índice de eficiencia de fósforo en Trigo, Triticale y Maíz en Andisoles". XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco. México.

Córdoba, M. J. y Cruz, G. 1998. "Seminario de investigación sobre actividad fosfatásica" Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal. FES Zaragoza UNAM.

Córdoba, M. J., Vivanco, R. A. y Cruz, G. 1997. "Eficiencia en nitrógeno y fósforo del Triticale en Andisoles e Hidroponía". XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco. México.

Cronquist, A. 1987. "Introducción a la botánica" De. C.E.C.S.A., México, D.F.

Cruz, G. 1994. "Evaluación de la absorción de fósforo sobre la actividad de la enzima fosfatasa ácida en distintos genotipos de Trigo (*Triticum aestivum*) y Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) en suelos con diferente capacidad de fijación de fósforo". Tesis de Maestría en Ciencias. C. P. Chapingo, México.

Cruz, G., Tirado, J., Alcántar, G., Santizo, J. 1995. "Evaluación de la eficiencia de absorción de fósforo de trigo y triticale". XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. Pág. 64.

Dirección General de Culturas Populares, 1987. "El maíz". 3ª edición, De. García - Valdés. México, D.F.

Donahue, R, Miller R., Shickluna, J., 1981. "Introducción a los suelos y el crecimiento de las plantas". Ed. Prentice / Hall Internacional. Colombia.

Etchevers, J. D. 1985. "Un cuarto de siglo de investigaciones en los suelos volcánicos de México". Serie de cuadernos de Edafología I CEDAF, C.P. Chapingo, México.

Feil, B, Thiraporn, R, Geisler, G and Stamp P., 1990. "Root traits of maize seedlings-indicadores of nitrogen efficiency" *Plant & Soil* 123, 155-159.

Foth, H.D. y L.M. Turck, 1975. "Fundamentos de la ciencia del suelo". C.E.C.S.A. México, D.F.

Gabriel, J. M., Cruz, G., Flores, D., Valera, M. A. 1996. "Efecto de Fertilización y Abonamiento en la actividad de la foafatasa ácida radical de Triticale y Avena, en suelos con tepetate". XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Obregón, Sonora, México. Página 204.

Gahoonia T.S. & Nielsen N.E., 1996. "Variation in acquisition of soil phosphorus among wheat and barley genotypes" *Plant and Soil* 178:223-230.

Gakuru, S. & Lefebvre. 1991. "Acid phosphatase: Screening zairian Zea mays varieties for aluminum tolerance". *Cereal Res. Comm.* 19 (4) 477 -481.

Gallardo, U. M. y Turrent, F. A. 1984. "Variaciones en algunas propiedades físicas y químicas en suelos Ando con aplicación de abonos orgánicos e inorgánicos en Pátzcuaro, Michoacán".

García, A. y Hernández, G. 1994. "Levantamiento nutricional del cultivo del maíz en un andosol del municipio de Villa de Allende, Estado de México" Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM.

Gerloff G. C. y Gabelman H. W. 1983 "Genetic basic of inorganic plant nutrition" In a Läubli y Bielecki (eds). *Inorganic plant nutrition. Encyclopedia of plant physiology, New series, vol 15b.* Springer-verlag New York, 453-480.

Gourley CJP, Allan DL and Russelle MP. 1994 "Plant nutrient efficiency: a comparison of definitions and suggested improvement" *Plant and Soil* 158: 29-37.

Grauer, U. E. and Horst, W. J. 1990. "Effect of pH and nitrogen source on aluminium tolerance of rye (*Secale cereale* L.) and Yellow Lupin (*Lupinus luteus* L.)". *Plant and Soil* 127: 13 - 21.

Guerloff, G. C. 1976. "Plant efficiency in the use of nitrogen phosphorus and potassium. in plant adaptation to mineral stress". In Problem Soils. Proceedings of a Workshop at The National Agricultural Library. Beltsville, Maryland, Nov 1976.

Guthrie, R. E., K. D. McLachlan y D.G. De Marco. 1991. "Acid phosphatase associated with phosphorus deficiency in Wheat: partial purification and properties". Aust. J. Plant Physiol. 18, 615 - 626.

Helal, H.M. 1990. "Varietal differences in root phosphatase activity as related to the utilization of organic phosphates". Plant and Soil 123, 161 - 163.

Hettel, G. 1984. "Wheat Production Advanced in South Americas Colassus" CIMMYT México, D.F.

Isfan D, Cserni I and Tabi M. 1991 "Genetic variation of the physiological efficiency index of nitrogen in triticale" Journal of plant nutrition, 14(12), 1381-1390.

Jackson, M.L. 1964. "Análisis Químico de Suelos". Omega. Barcelona, España.

Jarrell W. M. y Beverly R. B. 1981 "The dilution effect in plant nutrition studies" Adv. Agron. 34:197-224.

Jones, G; Blair, G. & Jessop R. 1989. "Phosphorus efficiency in wheat-an useful selection criterion" Field crops resarch, 21.

Larter, E. N. 1994. "A review on the historical development of Triticale". En: Triticale, first. Man - made cereal. Editado por C. C. Tsen. Publicado por American Association of Cereal Chemist Inc. St. Paul, Minn.

León, A. R. 1991. "Nueva edafología". 2da. edición. Ed. Fontamara, México, D.F.

Mamo T., Richter C. and Hoppenstedt A. 1996. "Phosphorus response studies on some varieties of durum wheat and tef grown in sand culture" Journal of Agronomy and Crop Science-Zeitschrift für Acker und Pflanzenbau 176(3):189-197.

Marschner H. 1991, 1995. "Mineral nutrition of higher plants" Academic Press, London.

Molina-Gayosso E. y Portilla, I. 1997 Efecto del fósforo mineral sobre la actividad fosfatásica radicular y el grado de infección micorrizica de Trigo (*Triticum aestivum*) y Triticale (*X Triticosecale* Wittmac). Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza UNAM.

Medrano, B.A. 1993 "Respuesta del Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) a diferentes dosis de fertilización fosfatada y abonamiento bajo distintos tratamientos de encalado en un andosol". Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza UNAM.

Oaks A. 1994. "Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation". Can. J. Bot. 72: 739-750

Ocampo J, Taboada O y Muñoz A. 1996 "Evaluación de genotipos de Maíz de temporal y fórmulas de productividad en lotes climatológicos en los llanos de Serdan, Puebla". XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Obregón, Sonora.

O'connell, A.M. & T.S. Grove, 1985. "Acid phosphatase activity in Karny (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell) in relation to soilk phosphate and nitrogen supply". Journal of Exp. Botany. 170: 1359 - 1372. 16- 20

Olsen, S. R. and Dean L.A. 1965. "Phosphorus In: C. A. Black (ed) Methods of Soil Analysis". Part II, Agronomy 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp 1149-1178.

Peña, O. B. 1984. "Estudios para determinar el problema nutricional de suelos de la sierra Tarasca. en los suelos de ando y sus implicaciones en el desarrollo agrícola de la sierra Tarasca" (Trinidad, S. y Miranda J. A. eds) 2da Ed. CIAB-INIA C. P. Pátzcuaro Michoacán.

Portilla, I., Molina, E., Cruz, G., Manske, G. 1995. "Efecto del fósforo sobre actividad fosfatásica radicular y grado de infección micorrizica de trigo (*Triticum aestivum*) y triticale (*X Triticosecale* Wittmack). XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. Pág. 63.

Primo, Y. E. 1982. "Química agrícola III alimentos". Ed. Alhambra, España.

Robles, R. 1986. "Producción de granos y forrajes" 4ª edición. De. Limusa, México, D.F.

Rodríguez, A. 1992. "Fertilizantes, nutrición vegetal". A.G.T. editor S.A. México, D.F.

Rubio, R. *et al.*, 1990. "Acid phosphatase activity and vesicular micorrhizal infection associated with roots of four wheat cultivars". Journal of Plant Nutrition 13 (5): 585-598.

Sánchez, P. A. and Salinas, J. G. 1981. "Low input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America" En: Advances in Agronomy. 34: 280 - 406.

S.A.R.H. 1987. "Guía para producir maíz de riego en el Valle del Mezquital". Folleto para productores. U.A.Ch.

S.A.R.H. 1992. "Sistema producto - Trigo (Datos Básicos)" Dirección general de política agrícola. México, D.F.

Tabatabai, M.A. 1982. "Soil enzymes". In methods of soil analysis, part. 2. chemical and microbiological properties. Agronomy monograph No. 9 (2nd Ed.) ASA - SSSA.

Tadano y Sakai, 1991. "Secretion of acid phosphatase by the roots of several crop species under phosphorus-deficient conditions". Soil Science. 37: 129 - 140.

Tadano, K. et al. 1993. "Secretion of acid phosphatase by the roots of crop plants under microbiological properties". Agronomy Monograph No. 9 ASA 2da. Ed.

Tamhane, R. et al. 1978. "Suelos, su química y fertilidad en zonas tropicales". Ed. Diana, México, D.F.

Tanaka, A. 1980. "Problemas nutricionales y el uso de fertilizantes en suelos derivados de cenizas volcánicas del Japón". Ishisuka Y. y Black, C. a. Eds.

Tarafdar, J. & Marschner, 1993. "Phosphatase activity in the rhizosphere and hyphosphere of VA mycorrhizal wheat supplied with inorganic and organic phosphorus" Central and zone research institute. Judhpur-342003. Rajasthan, India.

Valdez R, Olivares E, Zavala F, Luna M y Pissani J. 1997 "Análisis fractal de los factores nutricionales dominantes en la producción de Maíz en el norte de Tamaulipas, México" XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Villahermosa, Tabasco.

Vivanco-E, R. A. 1996. "Mecanismos de adaptación de Trigo y Triticale ante estrés por deficiencia de fósforo" Proyecto 8^{vo} y 9^{no}. Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal, FES-Zaragoza UNAM.

Vivanco, R. A. Y Cruz, G. 1997. "Comparación de diferentes métodos para evaluar la eficiencia nutrimental". XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco. México.

Vivanco-E, R. A. 1998. "Eficiencia de uso de nitrógeno y fósforo y su relación con actividad nitrato reductasa y fosfatasa acida en Trigo, Triticale y Maíz". Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM:

Wada, K. 1985. "The distinctive properties of Andosols". Advances in Soil Science. 2. Springer-Verlag New York, Inc. 174 - 222.

Wu P. y Tao Q. N. 1995. "Genotypic response and selection pressure on nitrogen use efficiency in rice under different nitrogen regimenes" Journal of plant nutrition, 18(3), 487-500.

Zavala, M.B. 1993. "Influencia del P en la actividad fosfatásica de raíz entre variedades de trigo (*Triticum aestivum*) y Triticale (X *Triticosecale* Wittmack)" Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza UNAM.

Zavala, B., Tirado, J. L., Sánchez, P., Echegaray, A., Santizo, J. A. 1996. "Actividad fosfatásica ácida en Trigo y Triticale como adaptación al estrés por deficiencia de fósforo". XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Ciudad Obregón, Sonora. México., Pág. 85.

Zavala, B., Tirado, J. L., Sánchez, P., Echegaray, A., Santizo, J. A. 1997. " Actividad fosfatásica ácida: una estrategia de adaptabilidad a la deficiencia de fósforo en suelos de Ando". XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Villahermosa, Tabasco. México.

MÉTODOS ANALÍTICOS.**Método original del p-nitrofenil fosfato.**

- 1) Pesar 1 g de suelo y colocarlo en un matraz erlenmeyer.
- 2) Agregar 2 ml de Tolueno, 4 ml de Buffer Universal Modificado (MUB) pH 6.5 (para determinación de fosfatasa ácida) o pH 11 (fosfatasa alcalina), 1 ml de P - Nitrofenilfosfato y homogeneizar el contenido mezclando por unos segundos.
- 3) Tapar el matraz y colocarlo a incubación por 1 Hr. A 37° C.
- 4) Concluida la incubación sacar del baño María y agregar rápidamente 1 ml de Cloruro de Calcio (CaCl_2) 0.5 M y 4 ml de Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.5 M.
- 5) Agitar y filtrar la suspensión con papel Whatman No. 2
- 6) Medir la intensidad del color amarillo del filtrado con un colorímetro fotoeléctrico klett - Summerson.
- 7) Calcular el contenido de P - Nitrofenol Fosfato del filtrado con referencia en la gráfica de calibración, obtenida con estándares conteniendo 0, 10, 20, 30, 40 y 50 microgramos de P - Nitrofenol.

Curva de calibración.

- 1) Se toman alícuotas de 0, 1, 2, 3, 4 y 5 ml de solución estándar de P - Nitrofenol 0.007 M y se ajustan los volúmenes de cada una hasta 5 ml, agregando agua destilada.
- 2) Se procede igual que con las muestras desde la incubación.

***METODO DEL P-NITROFENILFOSFATO MODIFICADO POR CRUZ FLORES
(1994).***

- 1) Pesar 0.1 g de raíz previamente lavada. El lavado debe ser rápido y con agua destilada.
- 2) Agregar 2 ml de Buffer Universal Modificado (MUB) pH 6.5 y macerar la raíz utilizando arena de cuarzo.
- 3) Tomar 0.3 ml del homogeneizado de raíz.
- 4) Tapar e incubar agregando 4 ml de MUB pH 6.5 y 1 ml de P - Nitrofenilfosfato 0.003 M. La incubación se hace en baño María a 37 ° C durante 30 min.
- 5) Concluida la incubación sacar del baño María y agregar rápidamente 1 ml de Cloruro de Calcio (CaCl₂) 0.5 M y 4 ml de Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.5 M.
- 6) Agitar y filtrar la suspensión en papel Whatman No. 2
- 7) El filtrado se lee en el espectrofotómetro a 400 nm, la intensidad del color amarillo indica la Actividad Fosfatásica en la muestra.

Curva de calibración.

- 1) Se toman alícuotas de 0, 1, 2, 3, 4 y 5 ml de solución estándar de P - Nitrofenol 0.007 M y se ajustan los volúmenes de cada una hasta 5 ml, agregando agua destilada.
- 2) Se procede igual que con las muestras desde la incubación.

***PARAMETROS MODIFICADOS EN EL METODO DEL P - NITROFENIL FOSFATO
ADAPTADO PARA RAIZ.***

- ✓ Tiempo de incubación de 10 min a 30 min.
- ✓ pH de 6.5 a 5.5

Nitrógeno total.

Pesar 0.1 g de tejido vegetal y se colocan en un matraz kjeldhal.

Agregar 1 g de mezcla de sulfatos, 1.5 ml de Acido Sulfúrico-Salicílico.

Digerir a una temperatura no mayor de 360° C hasta que aparezca un color claro.

Enfriar y agregar 10 ml de agua destilada.

Transferir la solución a equipo de destilación adicionando 14 ml de Hidróxido de Sodio al 50 %.

El destilado se recibe en 20 ml de solución de Acido Bórico al 4 % más 0.2 ml de indicador Verde de Bromocresol-Rojo de Metilo.

Se titula con Acido Sulfúrico hasta que aparezca un tono levemente rosado.

Fósforo (método del vanadato-molibdato).

Pesar 0.2 g de tejido vegetal pasado por una malla del # 20 y colocarlo en un matraz kjeldhal.

Agregar 3 ml de Acido Nítrico y 2 de Acido Perclórico concentrados.

Digerir previamente por 30 min a temperatura menor a 160°C

Concluir la digestión hasta que la muestra se haya aclarado.

Dejar enfriar y aforar a 10 ml, filtrando.

Determinacion.

Tomar 1 ml del extracto filtrado.

Agregar 1.5 ml de solución para fósforo (Vanadato-Molibdato).

Aforar a 10 ml y leer en un Espectrofotómetro a 470 nm.

TABLA I. COMPORTAMIENTO DEL TRIGO EN LOS DOS TIPOS DE SUELO.

| Sue. | Gen/Fer | 0-0 | | 0-200 | | | 400-0 | | 400-200 | | | | |
|------|--------------|------|------|-------|------|------|-------|------|---------|------|------|------|------|
| | | Bio | Acum | Bio | Acum | | Bio | Acum | Bio | Acum | | | |
| | | g | mg | | g | P | N | g | P | N | g | P | N |
| 1 | Galvez | 0.79 | 2.9 | 18.1 | 0.09 | 0.1 | 0.5 | 1.09 | 2.6 | 0.8 | 1.15 | 10.3 | 29.1 |
| | V. S Acido | 0.46 | 2.7 | 9.4 | 0.24 | 1.1 | 0.8 | 0.07 | 0.1 | 0.2 | 0.54 | 6.0 | 2.6 |
| | San Cayetano | 0.8 | 3.0 | 0.1 | 1.25 | 6.6 | 35.8 | 0.91 | 5.5 | 28.3 | 0.95 | 9.9 | 2.3 |
| 2 | Galvez | 0.51 | 1.9 | 12.5 | 1.56 | 14.0 | 39.6 | 0.65 | 2.5 | 18.0 | 1.54 | 7.6 | 47.9 |
| | V. S Acido | 0.55 | 3.4 | 19.3 | 1.31 | 10.8 | 47.2 | 0.13 | 0.3 | 5.1 | 0.56 | 5.0 | 22.9 |
| | San Cayetano | 1.18 | 8.0 | 36.7 | 1.94 | 13.2 | 44.4 | 0.3 | 1.2 | 9.0 | 1.58 | 9.6 | 49.1 |

Sue=suelo Gen=genotipo Fer= dosis de fertilización Bio=biomasa Acum=acumulación 1=Pátzcuaro 2=Villa Victoria

TABLA II. COMPORTAMIENTO DEL TRITICALE EN LOS DOS TIPOS DE SUELO.

| Sue. | Gen/Fer | 0-0 | | 0-200 | | | 400-0 | | 400-200 | | | | |
|------|-----------|------|------|-------|------|------|-------|------|---------|------|------|------|------|
| | | Bio | Acum | Bio | Acum | | Bio | Acum | Bio | Acum | | | |
| | | g | mg | | g | P | N | g | P | N | g | P | N |
| 1 | Lamb-2 | 0.6 | 2.7 | 20.1 | 1.32 | 13.8 | 2.1 | 0.37 | 1.1 | 13.9 | 1.25 | 7.0 | 29.6 |
| | San Lucas | 0.95 | 3.3 | 24.8 | 1.49 | 7.9 | 30.5 | 1.47 | 5.6 | 33.7 | 1.34 | 2.8 | 30.7 |
| | Secano | 0.85 | 5.1 | 3.4 | - | - | - | 0.66 | 3.2 | 17.8 | 0.93 | 7.7 | 23.6 |
| 2 | Lamb-2 | 1.06 | 6.0 | 26.9 | 1.74 | 9.5 | 41.3 | 1.67 | 7.6 | 35.5 | 2.43 | 14.7 | 67.6 |
| | San Lucas | 1.85 | 13.9 | 39.3 | 2.06 | 15.5 | 55.8 | 1.29 | 6.4 | 32.7 | 1.71 | 11.6 | 47.6 |
| | Secano | 0.55 | 4.1 | 2.7 | 0.76 | 6.3 | 21.1 | 0.55 | 3.9 | 13.5 | 0.86 | 7.7 | 27.4 |

Sue=suelo Gen=genotipo Fer= dosis de fertilización Bio=biomasa Acum=acumulación 1=Pátzcuaro 2=Villa Victoria

TABLA III. COMPORTAMIENTO DEL MAIZ EN LOS DOS TIPOS DE SUELO.

| Sue. | Gen/Fer | 0-0 | | 0-200 | | | 400-0 | | 400-200 | | | | |
|------|---------|------|------|-------|------|------|-------|------|---------|-------|------|------|-------|
| | | Bio | | Bio | | Bio | | g | | Acum | | | |
| | | g | mg | g | mg | g | mg | P | N | P | N | | |
| 1 | H-135 | 3.57 | 2.9 | 31.6 | 4.55 | 8.1 | 55.8 | 2.45 | 4.9 | 78.2 | 4.61 | 11.0 | 128.3 |
| | V-105 | 4.27 | 6.4 | 66.4 | 4.57 | 12.6 | 56.1 | 2.87 | 4.7 | 7.0 | 5.41 | 12.9 | 110.7 |
| | Negro | 3.29 | 5.4 | 53.8 | 5.57 | 13.3 | 68.4 | 2.72 | 14.4 | 71.2 | 4.37 | 15.2 | 125.2 |
| 2 | H-135 | 4.55 | 7.1 | 31.6 | 4.31 | 10.3 | 52.9 | 4.32 | 7.1 | 137.9 | 4.78 | 14.9 | 133.1 |
| | V-105 | 4.84 | 11.5 | 75.3 | 5.3 | 12.6 | 65.1 | 5.66 | 10.1 | 13.9 | 5.97 | 18.6 | 122.2 |
| | Negro | 3.92 | 9.3 | 64.2 | 5.7 | 22.0 | 70.0 | 3.76 | 8.9 | 98.5 | 5.17 | 16.1 | 148.1 |

Sue=suelo Gen=genotipo Fer= dosis de fertilización Bio=biomasa Acum=acumulación 1=Pátzcuaro 2=Villa Victoria