



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**DOS ALTERNATIVAS DE SOLUCION PARA EL
CULTIVO DEL FRIJOL
EN SUELOS ACIDOS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA AGRICOLA**

P R E S E N T A :

MA. GUADALUPE FLORES VALDEZ

**ASESOR: DR. BERNARDO SANCHEZ DEL VILLAR
COASESOR: ING. MINERVA CHAVEZ GERMAN**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

EN A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:
"Dos alternativas de solución para el cultivo del frijol en suelos ácidos"

que presenta la pasante: María Guadalupe Flores Valdéz
con número de cuenta: 7508871-2 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniera Agrícola

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Mex., a 2 de febrero de 1996

PRESIDENTE	<u>Ing. Raúl Espinoza Sánchez</u>
VOCAL	<u>Biol. Elva Martínez Holquín</u>
SECRETARIO	<u>Ing. Minerva Chavéz Germán</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. César Maycotte Morales</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Javier Carrillo Salazar</u>

[Handwritten signatures and initials over the list of names]

RECONOCIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en especial al Campo Experimental Centro de Chiapas, por la autorización y apoyo brindado para utilizar la información generada de este trabajo.

Al Dr. Bernardo Villar Sánchez por aceptar ser mi asesor. Gracias por compartir sus conocimientos y su tiempo en la realización de este trabajo. Gracias por ser mi amigo.

AGRADECIMIENTOS

A mis Padres
por darme la vida, brindarme su amor, paciencia, confianza apoyo
para mi formación profesional.
Doy gracias a Dios por darme unos padres así. Y aunque la muerte
nos separe, siempre estaré con ellos, pues la muerte no existe
cuando se llevan en el corazón, por lo que hablar del que se fue
no tiene sentido, pues para mí siempre está vivo y cerca de mí,
quitando aún mis penas.

A mis hermanas y hermanos
Luis, Pato, Hela, Tere, Pedro, Juan Manuel y Celso, por su
carino y apoyo que siempre han tenido para conmigo.

A mis cuñados y cuñadas
Manuel, Marcela, Héctor, Patricia, Adriana, Patricia.

A mi tío
Salvador, por darme el cariño y apoyo que se le da a una hija.

A mis hijos
Narcos y Pedro, por ser la fuente de inspiración en mi vida. Por
ser lo más hermoso que Dios me ha dado.

A mis compañeros de escuela, por los gratos momentos que pasamos
juntos, y por aquel que se adelantó con la muerte y que siempre
vivirá en mi corazón.

A mi amiga antes que a mi tía
Ing. Hilarva Chávez, General, por su amistad y ayuda en la
presentación de este trabajo.

A mi escuela por albergarme entre sus aulas, a mis profesores,
que con tanto cariño impartieron sus conocimientos y tiempo en
mí.

A mis compañeros de trabajo y en especial a Alberto y al Ing.
Pedro Neyra Madal, por el apoyo que me brindaron.

5.5. Variables evaluadas	29
5.5.1. Del desarrollo del cultivo	29
5.5.2. De la cosecha	31
5.6. Metodología para el análisis y selección de genotipos	32
5.6.1. Análisis estadístico	32
5.6.2. Selección de genotipos de frijol por su tolerancia a las condiciones de acidez del suelo.	33
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
6.1. Características químicas del suelo	35
6.2. Análisis estadístico	36
6.2.1. Tratamientos de parcelas grandes (Niveles de estrés al suelo)	37
6.2.2. Tratamientos de parcelas chicas (Genotipos de frijol)	42
6.2.3. Interacción (TPG*TPCHI). (Niveles de estrés*Genotipos)	44
6.3. Análisis del tamizado de genotipos de frijol por su tolerancia a suelos ácidos	47
6.3.1. Selección de genotipos de frijol por su eficiencia y respuesta al fósforo en la Fraylesca	49
6.3.2. Selección de genotipos de frijol por su tolerancia al alto aluminio y su respuesta a la aplicación de cal en la Fraylesca	56
6.3.3. Selección conjunta para obtener genotipos de frijol tolerantes a suelos ácidos	63
6.4. Discusión de resultados	69
VII. CONCLUSIONES	72
VIII. BIBLIOGRAFÍA	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pag
1. Genotipos de frijol incluidos en el estudio	26
2. Características químicas del suelo del área de estudio	35
3. Análisis de varianza para producción de peso seco de follaje y peso seco de raíz en frijol de temporal en Chiapas	36
4. Algunos componentes del rendimiento del cultivo de frijol, de acuerdo a tres tratamientos al suelo	38
5. Rendimiento de follaje y algunos componentes del rendimiento de 12 genotipos de frijol	43
6. Peso seco se follaje (g/maceta)de los 10 mejores genotipos de frijol, comparados con uno intermedio y el mas malo bajo tres tratamientos al suelo	45
7. Cálculo de los parámetros α y β con base al rendimiento de biomasa total (kg/ha) para los 50 genotipos de frijol	48
8. Categorías de frijol por su eficiencia y respuesta al fósforo en suelos ácidos de la Fraylesca	51
9. Características principales de los genotipos de frijol tolerantes a bajos niveles de fósforo en suelos ácidos	56
10. Categorías de frijol por su tolerancia al aluminio y su respuesta a la cal en suelos ácidos de la Fraylesca	59
11. Características principales de los genotipos de frijol tolerantes a altos niveles de aluminio y con respuesta a la cal en suelos ácidos	64
12. Categorías de frijol por su tolerancia a suelos ácidos de la Fraylesca	67

13. Rendimiento (kg/ha) de los genotipos de frijol tolerantes a suelos ácidos y algunas características agronómicas de los mismos 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pag.
1. Causas de tipo físico-natural y químico de manejo del problemas de suelos ácidos en la Fraylesca	5
2. Localización del área de estudio	22
3. Croquis de distribución de los tratamientos en el invernadero	30
4. Respuesta del frijol (follaje y raíz) a tres tratamientos al suelo	39
5. Altura de planta de frijol (cm) bajo diferentes condiciones del suelo	41
6. Evaluación del frijol por su eficiencia y respuesta al fósforo en suelos ácidos	50
7. Categorías de frijol por su eficiencia y respuesta al fósforo en suelos ácidos	53
8. Evaluación del frijol por su eficiencia y respuesta a la cal en suelos ácidos	58
9. Categorías de frijol por su eficiencia y respuesta a la cal en suelos ácidos	60
10. Evaluación de frijol por su eficiencia a suelos ácidos de la Fraylesca	65

I. INTRODUCCIÓN

Es del conocimiento general que para incrementar la productividad agrícola y promover el desarrollo rural integral se requiere de un cambio tecnológico como elemento básico. Este proceso deberá estar sustentado en la participación activa y organizada de la comunidad y en la decisión política del estado para cumplir con su función rectora de desarrollo.

Dentro del marco de las necesidades actuales del país, el sector agropecuario afronta el reto de producir más alimentos y de buena calidad para poder competir a nivel internacional, y al mismo tiempo conservar sus recursos naturales.

Una estrategia promisorio la constituye el apoyo a zonas agrícolas con alto potencial de producción, en las cuales por efecto de problemas técnicos o de otra índole no se están obteniendo los rendimientos potenciales. En dichas zonas, mediante la aplicación de tecnología moderna, la eficientización de la extensión e investigación agrícolas y la planeación adecuada de programas de producción, se pueden alcanzar los niveles potenciales de productividad. Este modelo de desarrollo, deberá considerar implícitamente la conservación de los recursos naturales a fin de lograr una producción sostenible.

A nivel nacional, existen áreas ecológicas donde el rezago tecnológico se pone de manifiesto. Tal es el caso de la región tropical del país la cual se caracteriza por el alto potencial de sus recursos naturales para la producción agropecuaria pero al mismo tiempo por su marcado atraso tecnológico que se refleja en rendimientos muy por abajo de los potenciales. Esta situación marca la necesidad de lograr avances sustanciales en cuanto a cambios tecnológicos se refiere.

Uno de los cultivos de tradicional importancia en México es el frijol, el cual, junto con

el maíz, forma parte de la dieta de la mayoría de sus habitantes aportando proteínas de bajo costo y generando fuentes de empleo a los trabajadores del campo.

Chiapas es un estado que contribuye con un buen porcentaje a la producción nacional de este grano. Según los reportes de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), en 1991 se sembraron 99,714 ha de frijol, que produjeron 55,390 ton, con un rendimiento promedio de 500 kg/ha.

Sin embargo, a pesar de que en esta entidad se cuenta con las condiciones ecológicas favorables para la producción de este grano, los rendimientos promedio han fluctuado alrededor de los 500 kg/ha, y lo más grave es que la rentabilidad de dicho cultivo es negativa en algunos casos por efecto de altos costos de producción. Esto ha ocasionado que en las áreas de cultivo, incluyendo aquellas con alto potencial pero con algún limitante técnico, la superficie de siembra haya disminuido.

Bajo las limitantes actuales del frijol sembrado en el ciclo de temporal (Junio-Septiembre) y dados los precios relativos frijol-insumos vigentes actualmente, se estima que para que este cultivo sea rentable, deberá rendir como mínimo 600 kg/ha. Este cálculo indica que en promedio la rentabilidad del cultivo es negativa bajo las condiciones de manejo de los productores, por el uso reducido de insumos y por las limitaciones de crédito, estímulos y asistencia técnica.

Por lo anterior, es necesario generar recomendaciones técnicas por medio de la investigación para hacer rentable el cultivo vía incremento de su productividad. Para ello habrán de superarse los principales problemas que limitan el rendimiento de dicho cultivo.

Entre los problemas más importantes que limitan la producción del cultivo de frijol de temporal en la región Central del estado de Chiapas están:

Enfermedades**Plagas****Suelos degradados y de baja fertilidad****Bajas densidades de población de plantas a cosecha****Irregular distribución de la lluvia****y otros de tipo socioeconómico.**

El problema de suelos degradados y de baja fertilidad incluye a aspectos de diversa naturaleza como erosión, pérdida física de la capa productiva del suelo, bajo contenido de nutrimentos esenciales a las plantas, presencia de una capa compactada, acidez, y otros.

La acidez del suelo es uno de los limitantes más importantes del frijol sembrado en el ciclo de temporal en el la zona centro del estado y se presenta en suelos ubicados en terrazas con topografía de regular a ondulada.

El presente trabajo se enfocó a investigar el efecto combinado de las siguientes alternativas de solución al problema de suelos ácidos:

- a). La aplicación de cal como corrector de la acidez y de fertilizante fosfórico al suelo
- b). La utilización de genotipos de frijol tolerantes a las condiciones adversas de dicho tipo de suelos.

II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Con fundamento en información básica acumulada de diversas fuentes y en la evidencia de algunos estudios específicos de investigación, realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), se determinó que la acidez del suelo es uno de los problemas técnicos que limitan el rendimiento del cultivo de frijol de temporal en el Centro de Chiapas.

Al abordar este problema para buscar alternativas de solución, en primer lugar se plantearon a manera de hipótesis las causas que originan dicho problema de suelos ácidos en la región central de Chiapas. Las causas del problema fueron clasificadas en: Causas de tipo físico-natural y causas de tipo químico-de manejo (figura 1).

2.1. Las causas del problema.

Las causas de tipo físico-natural tienen su origen por un lado en el material parental de naturaleza ácida (granito, gneiss, rocas volcánicas) y por otro en una erosión laminar ocasionada por una circulación hídrica no controlada a lo largo de la pendiente. Esta última causa obedece a una mala preparación del suelo y a un exceso de agua (Precipitación - Evaporación $>$ 0) en una época del año. Esta también causa lixiviación de nutrientes (bases) y acidez del suelo.

Las causas de tipo químico-de manejo tienen su origen en un uso intensivo y continuado del fertilizante sulfato de amonio (SA) a dosis crecientes por más de 15 años (alcanzando en 1983, 700 kg/ha de SA aplicado al maíz). Aunque las dosis altas de SA son aplicadas al maíz, éstas afectan indirectamente al frijol por constituir ambos una rotación que poco a poco se ha interrumpido por la acidez del suelo.

Independientemente de que todas estas pudieran ser causas reales del problema, el

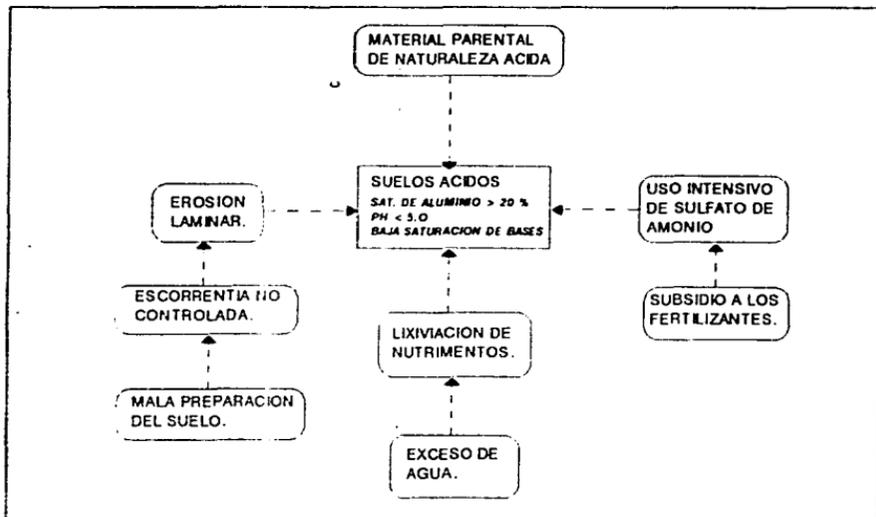


FIGURA 1. PRINCIPALES CAUSAS DEL PROBLEMA SUELOS ACIDOS EN LA REGION DE LA FRAYLESCA, CHIAPAS.

proceso acidificante del suelo vía aplicación intensiva de sulfato de amonio fue considerada como la causa más importante desde el punto de vista de su posible solución en el corto plazo.

2.2. Las alternativas de solución.

Después de considerar todas las alternativas de solución para la causa del problema de suelos ácidos referida a la aplicación prolongada de SA, éstas fueron sometidas a un filtrado (selección). Dicho filtrado se realizó con base a ciertos criterios que incluyeron la adaptabilidad de las alternativas al sistema de producción existente y a su posible adopción por los productores. Las alternativas así seleccionadas fueron: 1. Aplicación de cal como corrector de la acidez en combinación con la aplicación de fertilizante fosfórico y 2. el uso de genotipos de frijol tolerantes a suelos ácidos.

2.2.1. Aplicación de cal y fósforo.

Esta alternativa fue considerada como la más factible en el corto plazo, ya que la cal existe en la región y es compatible con el sistema de cultivo; su complejidad de manejo y divisibilidad son similares a la de los fertilizantes ya usados, lo cual facilitaría su adopción.

2.2.2. Uso de genotipos de frijol tolerantes a suelos ácidos.

Esta segunda alternativa, considerada de mediano plazo se considera más promisoriosa y adecuada a las condiciones de los productores, ya que no involucra una inversión adicional por parte del productor.

El uso combinado de ambas alternativas (aplicación de cal y fósforo y el manejo de genotipos tolerantes a suelos ácidos) puede contribuir a una agricultura sostenible al

favorecer la rotación maíz-frijol antes practicada por los agricultores y asegurar más estabilidad a su sistema de producción.

Estas alternativas, solas y en combinación son las que se estudian en el presente trabajo de investigación. Sin embargo, lograr ambos objetivos en un solo trabajo se decidió utilizar la metodología de selección propuesta por Thung (1985) para seleccionar genotipos de frijol para suelos ácidos.

III. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y SUPUESTOS

3.1. Objetivos

En el presente trabajo de investigación se pretende lograr los siguientes objetivos:

1. Evaluar la reacción o respuesta de un grupo de genotipos de frijol a dos condiciones de suelos ácidos: con estrés de aluminio y/o fósforo y sin estrés por aluminio y/o fósforo.

2. Identificar los genotipos de frijol que por su respuesta a las condiciones de acidez del suelo estudiadas hayan demostrado ser:

a). Tolerantes a altos niveles de aluminio y/o con buena respuesta a la aplicación de cal al suelo y

b). Tolerantes a bajos niveles de fósforo nativo del suelo y/o con buena respuesta a la aplicación de fertilizante fosfórico.

3. Seleccionar los genotipos de frijol que reúnan simultáneamente las dos características anteriores para su recomendación a los agricultores y/o a los programas de mejoramiento para suelos ácidos.

3.2. Hipótesis.

Las hipótesis planteadas que motivaron la realización del presente trabajo de investigación son:

1. La aplicación de correctores a suelos ácidos sembrados con frijol en el Centro del estado de Chiapas como el encalado y el fertilizante fosfórico contribuyen de manera

significativa para incrementar el rendimiento de dicho grano.

2. Existen genotipos de frijol con tolerancia a suelos ácidos (bajo contenido de fósforo y alta saturación de aluminio), que responden al encalado y aplicación de fertilizante fosfórico.

3.3. Supuestos.

La comprobación de las hipótesis planteadas y el logro de los objetivos planteados se podrán alcanzar si se cumplen los siguientes supuestos:

1. La fuente de cal y Fósforo y sus dosis usadas en este estudio son las adecuadas.
2. Dentro del grupo de genotipos en estudio, existe la suficiente variabilidad genética para detectar tolerancia a suelos ácidos.
3. El suelo seleccionado para el estudio es representativo de toda el area problema.
4. La metodología de selección de genotipos usada en este trabajo de investigación es apropiada para lograr los objetivos perseguidos.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA.

4.1. Descripción del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

Dentro del grupo de las leguminosas comestibles, el frijol común es una de las más importantes debido a su amplia distribución en los cinco continentes y por ser complemento nutricional indispensable en la dieta de la gente que habita en dichos lugares. México ha sido aceptado como el centro de diversificación primaria de este cultivo y según Debouck e Hidalgo (1985), las plantas de frijol son anuales, herbáceas y descritas bajo la siguiente taxonomía.

4.1.1. Taxonomía del frijol.

Desde el punto de vista taxonómico, el frijol común es el prototipo del género *Phaseolus*, y su nombre científico es *Phaseolus vulgaris* L. asignado por Lineo en 1753. Perteneció a la tribu Phaseoleae de la subfamilia Papilionoideae dentro del orden Rosales (Debouck e Hidalgo, 1985).

4.1.2. Factores ambientales.

Temperatura. La planta de frijol crece bien entre temperaturas promedio de 15 a 27 °C, pero es importante reconocer que hay un gran rango de tolerancia entre variedades. En términos generales, las bajas temperaturas retardan el crecimiento, mientras que las altas causan una aceleración; sin embargo las temperaturas extremas pueden producir problemas graves como falta de floración o esterilidad. Los daños permanentes causados por temperaturas se deben a la disociación de proteínas enzimáticas y membranas celulares, (White, 1985).

Luz. Además de su papel en la fotosíntesis, la luz también afecta la fenología y morfología de la planta por medio de reacciones de fotoperíodo y elongación. De la radiación proveniente del sol, los pigmentos de clorofila solo captan el 50 % de la energía total recibida, siendo la eficiencia máxima de conversión de esta energía a energía química del 12 %

Agua. El agua sirve como reactivo de la fotosíntesis, elemento estructural, medio de transporte y regulador de temperatura. La tolerancia del frijol a la sequía se atribuye a su capacidad para extraer agua de capas profundas debida a un mayor crecimiento radical. Por su parte, en condiciones de suelo saturado, el oxígeno se convierte en un factor limitante para el funcionamiento correcto de las raíces.

Suelos. A pesar de que se reconocen los rangos de adaptación del frijol a suelos con ciertas características de textura, profundidad, drenaje y grado de fertilidad, en México y en general en América Latina, el frijol ha tenido que sembrarse en suelos con limitaciones edáficas como acidez.

4.1.3. Problemas de producción.

El frijol común, como todo cultivo depende para su desarrollo de la disponibilidad de nutrimentos y agua y de rangos adecuados de los factores ambientales. Además, el frijol es muy susceptible a factores adversos que afectan considerablemente su productividad; estos factores se clasifican en general en tres grupos: 1. Factores biológicos, como plagas, enfermedades y malezas; 2. Factores edáficos, como deficiencia o exceso de nutrimentos, pH inadecuado y estructura del suelo; y 3. Factores climáticos, como sequía, exceso de lluvias y temperaturas altas o bajas (Pastor, 1985).

Debido a que el efecto de cada uno de estos factores sobre el rendimiento del frijol varía de una región a otra y considerando los objetivos de este trabajo de

investigación, la revisión de bibliografía se enfocó al problema de suelos ácidos que limita el rendimiento del frijol y a algunas alternativas de solución.

4.2. La acidez del suelo.

La acidez del suelo esta determinada por la cantidad de actividad de H^+ en la solución del suelo y está influenciada por factores edáficos, climáticos y biológicos. Por ejemplo, suelos desarrollados a partir de material parental granítico se acidifican más rápidamente que suelos derivados de materiales calcáreos; suelos arenosos con relativamente pocas partículas de arcilla se acidifican más rápidamente debido a su menor reservorio de cationes alcalinos o capacidad buffer y su alto potencial de lixiviación. Por su parte, la lluvia excesiva influye sobre la tasa de acidificación del suelo dependiendo de la tasa de percolación del agua a través del perfil; y la materia orgánica se descompone para formar ácido carbónico y otros ácidos orgánicos débiles (Carver y Ownby, 1995).

La acidificación del suelo es un proceso natural que inicia cuando la superficie rocosa es colonizada por algas y líquenes; en forma natural el suelo se vuelve gradualmente más ácido con el tiempo, por lo que los suelos más viejos e intemperizados son más ácidos que los suelos jóvenes (Helyar y Porter, 1989). Coleman *et al.*, citado por Bornemiza (1965), indicaron que en el proceso de acidificación natural, los suelos jóvenes se encuentran saturados de cationes, sin embargo, a causa de la acción del tiempo y del medio ambiente, éstos cationes se pierden en el proceso de desarrollo del suelo, siendo sustituidos por H^+ ; En suelos seniles, las arcillas-H resultantes no son estables y se descomponen y los productos de dicha descomposición abastecen suficiente Al^{+3} para reemplazar el H^+ presente, llegándose así a los suelos ácidos.

La tasa de acidificación de un suelo puede ser expresada de dos formas que son de interés e sistemas agrícolas: 1. La tasa de cambio del pH del suelo (unidades de pH por período); y 2. La tasa de adición de ácidos que pueden ser neutralizados por

mantener constante el pH (mol-ha⁻¹-período⁻¹). Los suelos ácidos comúnmente son infértiles con un crecimiento limitado de plantas por efecto de factores como pH por se, toxicidad de Al o Mn, deficiencias o baja disponibilidad de Ca, Mg, P o Mo, y cambios en la actividad microbiológica (Bell y Edwards, 1989).

El pH del suelo mide la concentración de iones H⁺ de la solución del suelo o acidez activa; asimismo, el H⁺ retenido sobre la arcilla y el humus del suelo, suele denominarse con el nombre de acidez en reserva o potencial. En los suelos ácidos existe un equilibrio entre los iones H⁺ y el Al³⁺. En el sistema arcilloso no saturado de bases tanto el H⁺ como el Al³⁺ están presentes como iones intercambiables. Si una base se agrega al suelo, los iones H⁺ serán neutralizados primero; al agregar más de la base, el Al³⁺ se hidroliza con la producción de iones H⁺ en cantidades equivalentes al Al³⁺ presente (Ortiz, 1980). La determinación del pH da una buena indicación de la proporción relativa de los iones H⁺ a los iones básicos, en la acidez en reserva y en la acidez activa. Esto se debe a que ambas clases de acidez están en equilibrio (Ortiz, 1980).

El porcentaje de saturación de bases es el grado en el cuál el complejo de adsorción de un suelo está saturado con cationes intercambiables diferentes al Al³⁺. Se expresa como % de la capacidad total de intercambio de cationes. En los suelos de regiones húmedas, el % de saturación de bases es menor que en los suelos de regiones secas, ya que predomina el H⁺ (Ortiz, 1980). En clasificación de suelos, la saturación de bases es importante; si esta es mayor del 50 % se le denomina suelo eútrico o fértil y si es menor del 50 %, déstrico o infértil (Ortiz, 1980).

Los cationes adsorbidos en los lugares de intercambio de los coloides del suelo pueden dividirse en cationes de formación ácida como el Al³⁺ e H⁺ y de formación básica como Ca, Mg, K y Na. La proporción de cationes básicos sobre el complejo de intercambio catiónico es referido como % de saturación de bases (Donahue *et al*, 1988). Entre más ácido es un suelo, menor será el % de saturación de bases. A pH

de 7 o mayor, los suelos son generalmente 100 % saturados de bases; es decir, muy poco H^+ intercambiable y sin Al^{3+} soluble (Donahue *et al.*, 1988). Cambiar el pH de un suelo es cambiar el estado de saturación de la capacidad de intercambio iónico del mismo, ya que en cada tipo de suelo existe una relación determinada entre el pH y el estado de saturación de bases (Mela, 1963).

Los suelos ácidos son propios de las regiones con altas precipitaciones pluviales, en donde los cationes básicos como el Ca, Mg y K, se han lixiviado. Se caracterizan por tener un alto contenido de Al^{3+} activo, el cual además de ser causante de la fijación del P y del Mo, es tóxico a las plantas (Núñez, 1990). Los iones H^+ que caracterizan la acidez, compiten en el suelo con los cationes básicos Ca y Mg de la caliza, y con el K y Na de los materiales comúnmente usados como fertilizantes y con algunos otros que se cuantifican en determinadas cantidades como el Cu, Zn y Fe.

Además de los factores mencionados, la acidez puede agravada por el uso prolongado de algunos fertilizantes químicos que dejan residuo ácido, por la descomposición de la materia orgánica y por ciertas reacciones entre el suelo y las raíces de la planta (Kamprath, 1977 citado por Ortega, 1985).

4.2.1. Naturaleza de la acidez del suelo.

La acidez tiene varias fuentes: el humus o materia orgánica, arcillas aluminosilicatadas, óxidos hidratados de Fe y Al, sales solubles y CO_2 . Actualmente se reconoce que tanto el Al^{3+} e H^+ , así como la pérdida de cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ están involucrados en el desarrollo de la acidez del suelo.

Sin embargo, la acidez del suelo muestra variación cronológica y espacial (horizontal y vertical). Suelos altamente intemperizados como los oxisoles son ácidos en todo su perfil; por el contrario, suelos como los molisoles con cultivo continuo desarrollan

niveles de acidez en la capa superficial. En éstas condiciones, la acidez es acelerada por ciertas prácticas de cultivo como aplicaciones repetidas de N en exceso.

4.2.2. Aluminio en el suelo y su toxicidad en los cultivos.

De acuerdo con Carver y Ownby (1995), los suelos ácidos son fitotóxicos para cultivos susceptibles como trigo, frijol y muchos otros, no sólo por la deficiencia o exceso de algún elemento químico, sino como resultado de un complejo desorden nutricional: Deficiencias de nutrimentos esenciales como Ca y Mg; disminución de la disponibilidad de Fósforo; y toxicidad de Al, Mn e H.

Es aceptado ampliamente que cuando el pH disminuye, tanto el Al como el Mn aumentan su solubilidad y consecuentemente sus toxicidades relativas (Carver y Ownby, 1995). Sin embargo, por la naturaleza compleja de las reacciones químicas que ocurren en los suelos ácidos, es necesario dividir el sistema en fracciones simples para estudiar los mecanismos. Para el caso del Al^{3+} , su distribución en el suelo es el resultado neto de dos tipos de reacciones: 1. Competencia entre ligaduras por Al^{3+} , forma de competencia que determina la distribución potencial del Al^{3+} , y 2. Competencia entre Al^{3+} y otros cationes por ligaduras que es una forma que determina la distribución actual del Al^{3+} .

La toxicidad de Al^{3+} casi siempre ocurre en suelos ácidos con baja saturación de bases (Muller *et al.*, 1968). Sin embargo, la forma en que éste metal afecta a las plantas es motivo de debate entre especialistas del suelo, fisiólogos y genetistas. El Al^{3+} afecta a las raíces inhibiendo la división celular y el poco desarrollo del sistema radical (McCled *et al.*, 1967; Fleming *et al.*, 1968). La planta susceptible absorbe más Al^{3+} y lo va acumulando superficialmente o dentro de las raíces, por eso se detiene el desarrollo de las raíces, como efecto directo y disminuye el crecimiento de la planta en general, como efecto secundario.

Los efectos inmediatos del Al^{3+} son observados en los tejidos meristemáticos radicales con un retardo en la elongación de la raíz; por lo tanto, la toxicidad por Al^{3+} afecta más a las raíces que a la parte aérea en la primera época de crecimiento (Thung *et al.*, 1985). Robinson (1958) citado por Black (1975) sugirió que la inhibición en el crecimiento radical lateral podría ser causado por la reacción del Al^{3+} con las sustancias pécticas de las paredes de las células jóvenes de la región meristemática del ápice radical, que produce la pérdida prematura de su plasticidad que inhibe su alargamiento. Por su parte, McClean y Gilbert (1927), citados por Black (1975), observaron en las plantas tratadas con Al^{3+} , una pérdida de agua por unidad de área foliar menor que en las plantas testigo y en aquellas sometidas a tratamientos con Al^{3+} comprobaron un movimiento de los colorantes y también una absorción de nitratos inferiores a los testigos, éstas observaciones indicaron que la toxicidad por Al provoca una disminución general en la permeabilidad

El síntoma de toxicidad por Al^{3+} en frijol, generalmente se presenta en una planta pequeña. Las hojas jóvenes se vuelven amarillas; si la toxicidad es muy grave aparecen necrosamientos en las hojas empezando por los márgenes.

Las especies varían en su reacción a la acidez del suelo; además, en los últimos años se ha reconocido que también existen diferencias entre especies. La existencia de tales diferencias ha alcanzado la posibilidad de mejorar plantas agrícolamente importantes para tolerancia a la acidez. La toxicidad de Al^{3+} no es similar en todo tipo de plantas; en gramíneas el efecto se traduce en la acumulación de P en la raíz bajo complejos con Al^{3+} que no pueden ser metabolizados, en cambio en algodón se ha encontrado que el efecto tóxico del Al^{3+} se manifiesta en una menor absorción de P por las raíces. En los suelos ácidos el catión Al ($Al(OH)$) es tóxico para el frijol como planta muy susceptible a éste elemento (Schefer *et al.*, 1970). Los altos niveles de Al^{3+} intercambiables, normalmente considerados como el mayor limitante del frijol en el trópico, están asociados principalmente con los suelos del tipo ultisoles (CIAT, 1984).

La deficiencia de P en la planta de frijol se manifiesta en el cambio de color de las hojas a verde oscuro, porque el crecimiento de la planta es inicialmente más afectada que la producción de clorofila (Hechtbur Cholz, 1968). Después, las hojas inferiores se vuelven amarillas con bordes necróticos y defoliación temprana. La planta en general es erecta, pequeña, con tallos muy delgados y sus entrenudos son cortos, la planta no ramifica tanto como en condiciones normales, la época de floración tarda pero la maduración fisiológica es más corta. En general, las gramíneas tropicales, café, yuca y piña toleran la acidez del suelo, soportando hasta el 80 % de saturación de Al en el complejo de intercambio.

Los cultivos que tienen una tolerancia intermedia son el maíz y los frutales, y los más susceptibles resultan ser, la alfalfa, frijol, algodón, soya y remolacha, que toleran el 20 % de Al³⁺ en el complejo de intercambio (Núñez, 1990).

4.2.3. Mecanismos de tolerancia de las plantas a la acidez del suelo.

En general, se cree que el uso de la tolerancia de las plantas a la acidez es un enfoque complementario importante del manejo del suelo como el encalado. La tolerancia al Al³⁺ puede operar previniendo o reduciendo su absorción por las plantas o desintoxicando el Al³⁺ una vez que está en el tejido de la planta (Scott y Fisher, 1989). De acuerdo con Carver y Ownby (1995), las estrategias que usan las plantas para tolerar Al³⁺ caen en dos categorías: 1. Mecanismos externos de tolerancia en los que el Al³⁺ es excluido de los tejidos de las plantas, especialmente de la porción simplástica de los meristemos de la raíz; y 2. Mecanismos de tolerancia interna en donde el Al³⁺ que ha penetrado el plasmalema es secuestrado o convertido en formas no aprovechables.

El control genético de la tolerancia al Al³⁺, hasta hace poco fue poco entendido y fue respaldado solo con evidencia conflictiva de herencia simple vs compleja. Resultados de investigación para trigo indicaron que cultivares tolerantes vs sensibles al Al³⁺

difieren en un solo gene que controla el crecimiento de la raíz. Genes adicionales fueron postulados después para genotipos con tolerancia a altos niveles de toxicidad de Al^{3+} (Carver y Ownby, 1995).

4.3. Alternativas de solución al problema de acidez.

Las alternativas de solución al problema de suelos ácidos pueden ser numerosos y de distinto tipo, clasificándose por su tiempo de aplicación en alternativas de corto, mediano y largo plazo.

4.3.1. La aplicación de cal.

Esta alternativa puede considerarse como de corto plazo por la rapidez de su respuesta; sin embargo, es necesario mencionar que esta alternativa solo soluciona el problema en el corto plazo, ya que al cabo de algunos años, éste vuelve a presentarse requiriéndose entonces de una nueva aplicación de cal.

El encalado con cal agrícola o dolomítica es una práctica para neutralizar el efecto tóxico del Al o Mn , y para corregir las deficiencias de Ca . Sin embargo el poder de neutralización de la cal depende del contenido de Ca o Mg , y del tamaño de gránulo de la fuente usada. En Puerto Rico Abruña *et al* (1974), citados por Thung y Ortega (1985) obtuvieron aumentos en la producción de frijol encalando hasta un pH de 5.2 y un 70 % de saturación de bases.

Una práctica frecuente para evitar problemas de sobreencalado y reducir los costos de aplicar cantidades grandes de cal es aplicar cantidades de cal solamente suficientes para reducir la saturación de Al^{3+} intercambiable a un nivel no problemático (Cochrambe, 1980). En Brasil, principalmente en suelos con baja capacidad de intercambio catiónico y niveles de Al^{3+} intercambiable bajo, pero niveles de saturación altos, se encontró más recomendable encalar para obtener un nivel

deseado de saturación de bases que simplemente neutralizar el Al^{3+} intercambiable en cultivos de maíz, soya y algodón (Van Raij, 1986).

4.3.2. El uso de variedades tolerantes.

Es una alternativa de mediano plazo, y su aplicación puede solucionar el problema sobre todo a los agricultores de bajos recursos.

El primer concepto básico de una tecnología de un bajo nivel en el uso de insumos para suelos ácidos es superar los limitantes simplemente usando variedades o especies que sean tolerantes a éstos. Un número considerable de especies de plantas de importancia económica generalmente se consideran como tolerantes a las condiciones de suelos ácidos en los trópicos.

El término tolerancia a los suelos ácidos, según Sánchez y Salinas (1983) cubre una variedad de tolerancias individuales a los factores adversos del suelo y a las interacciones que ocurren entre ellos. Las evaluaciones cuantitativas de la tolerancia de las plantas a las limitaciones de los suelos ácidos, incluyen tolerancias a niveles altos de Al^{3+} y a las deficiencias de bases como Ca, Mg, P y algunos micronutrientes. Sin embargo, los mecanismos fisiológicos involucrados en dichas tolerancias no son objetivo de estudio en éste trabajo.

El caupí (*Vigna unguiculata*) es la especie de leguminosa considerada como la más tolerante a las condiciones limitantes por la acidez del suelo y específicamente a la toxicidad por aluminio (Sánchez y Salinas, 1983). En el caso de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) existe gran variabilidad, siendo algunos cultivares tolerantes a la toxicidad por aluminio y/o niveles de fósforo.

El frijol, por ser un cultivo de gran importancia socioeconómica y una fuente barata

de proteínas para la población de los trópicos ha sido considerado para su mejoramiento para condiciones adversas de suelos ácidos.

Al respecto, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), se desarrolló una metodología de selección de genotipos para suelos ácidos (Thung et al, 1985), consistente en tres etapas: En la etapa I se incluyen entre 200 y 300 líneas bajo estrés por fósforo y aluminio; En la etapa II se incluyen entre 50 a 80 de los mejores genotipos de la etapa anterior bajo los mismos tratamientos de estrés; En la etapa III únicamente se incluyen a los 15 mejores genotipos resultantes de etapas anteriores. De ésta manera se seleccionan los genotipos de interés para su recomendación.

4.3.3. Las alternativas de largo plazo son:

Aplicación de Materia orgánica al suelo y el uso de coberturas vegetales para reducir la lixiviación y erosión del suelo.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción del área de estudio.

El área de estudio se encuentra ubicada geográficamente entre los paralelos 16° 0' y 16° 30' de latitud Norte y meridianos 93° 0' y 93° 30' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, en la región Centro de Chiapas conocida como la Frayleuca, (figura 2).

Se caracteriza por un clima cálido-subhúmedo AW₂ según la clasificación de Köppen y modificado por García (1973). Este tipo de clima presenta una temperatura promedio de 25 °C, con un período de lluvias que inicia en el mes de mayo y finaliza a mediados de Octubre.

La precipitación varía desde 1200 mm en el Suroeste, hasta 700 mm en el Noreste y su distribución es bimodal; es decir, que presenta una sequía intraestival que muchas veces afecta a los cultivos cuando ésta es prolongada y/o cuando ocurre al encontrarse los cultivo en la etapa de floración.

La fisiografía existente en el área de estudio distingue, de manera natural tres unidades: terrenos de ladera con pendientes de más del 15 %; terrazas intermedias (altas y bajas) con pendientes entre 5 y 15 %, y los valles o terrenos aluviales con pendientes de menos del 5 %.

En la primera unidad fisiográfica se encuentran suelos del tipo mólico altamente productivos, pero por su ubicación presentan una alta susceptibilidad a erosionarse. De acuerdo a la clasificación de la FAO pueden encontrarse suelos del orden Faeozen.

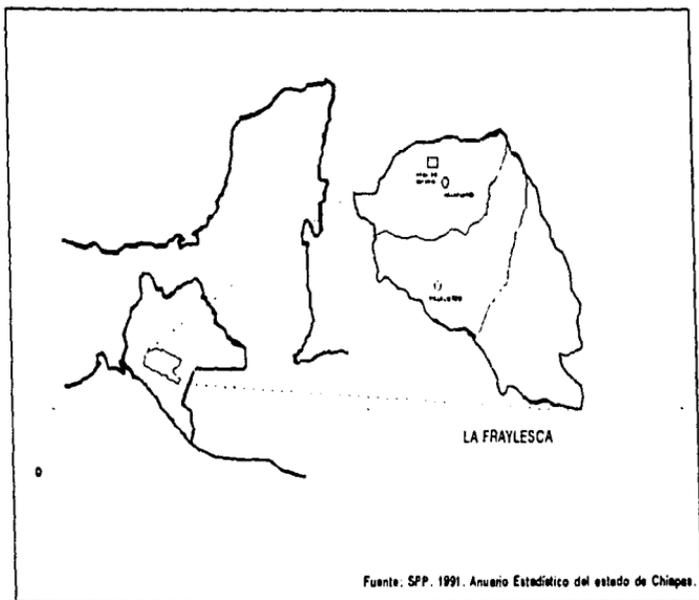


FIGURA 2. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO EN LA FRAYLESCA.

En las terrazas intermedias, se encuentran suelos muy degradados (erosionados e infértiles) como consecuencia de un mal manejo a que se les ha sometido. Una característica de ellos es su bajo contenido de materia orgánica (< de 2 %) y buena parte de su extensión (se estima un 30 %) presenta suelos ácidos (con pH menor de 5.5 y porcentaje de saturación de aluminio de más de 20 %) muy limitativos para la producción de cultivos, sobre todo para frijol.

En los valles se encuentran suelos aluviales , los cuales han sido formados por el acarreo hídrico de diferentes materiales ubicados aguas arriba y por la escorrentía proveniente de las laderas originada por las intensas lluvias; estos suelos presentan texturas franco-arenosas (60 % de arena), mediano contenido de M.O. y se clasifican dentro del orden de los fluvisoles.

La vegetación más representativa está constituida por comunidades de selva baja caducifolia; bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria; sabana, en un 29.8 % y un 44.3 % en bosque de pino-encino, encino-pino y pino.

El sector agropecuario es el que absorbe el mayor porcentaje de la población económicamente activa (71 %), y en menor importancia el sector comercio y servicios en un 10 %. El restante se reparte en el sector industrial.

Los cultivos más importantes son el maíz, el frijol y los pastos y en menor importancia el sorgo, cacahuete, hortalizas, entre otros.

Debido a que la Fraylesca es una de las regiones más organizadas, los productores cuentan con crédito y apoyos gubernamentales para sus cultivos.

La comercialización de sus productos se realiza por de vías oficiales donde se aplican los precios de garantía. Sin embargo, cabe destacar que el intermediarismo también es importante ya que buena parte de la comercialización se hace a través de este.

5.2. Factores y niveles de estudio.

El presente trabajo de investigación se basó en el estudio de dos factores: 1. Edáfico y 2. Genético.

5.2.1. El factor edáfico.

Comprendió el estudio de tres tratamientos a un suelo ácido para inducir diferentes condiciones de estrés al suelo:

1. Tratamiento con estrés por aluminio pero sin estrés por fósforo (aplicación de Fósforo al suelo). En éste tratamiento no se aplicó cal agrícola (CaCO_3), pero si se aplicó fertilizante fosfórico (superfosfato de calcio triple) en dosis de 200 kg/ha de P_2O_5 para asegurar su respuesta.

Para determinar el nivel de estrés por aluminio, se realizó un ensayo de invernadero donde se sembró frijol con dosis crecientes de cal. Los niveles de saturación por aluminio bajo cada nivel de cal, se calcularon mediante la fórmula propuesta por Pearson, 1974:

$$\text{Sat. de Al} = \frac{100 \cdot \text{Al}}{\text{Al} + \text{Ca} + \text{Mg} \cdot K}$$

Donde las cantidades de cationes se tomaron en unidades de mg equivalentes en 100 g de suelo. Además para cada nivel de cal se obtuvieron los rendimientos de frijol en términos de materia seca producida por parcela.

Con los datos obtenidos de saturación de aluminio y rendimiento de frijol se hizo una figura donde se graficó el abatimiento de la saturación por aluminio al

incrementarse la dosis de cal en el eje X y el incremento del rendimiento al incrementarse las dosis de cal en el eje Y.

El nivel de estrés por aluminio fue aquel donde su valor de saturación se mantuvo estable; es decir, no varió erráticamente (para este caso el valor fue de 20 % de saturación de aluminio); el nivel sin estrés fue aquel nivel de saturación por abajo del cuál el cultivo no fue afectado en su rendimiento y que en éste caso fue de < 20 % de saturación de aluminio.

2. Tratamiento con estrés por fósforo pero sin estrés por aluminio (aplicación de cal al suelo). En éste tratamiento no se aplicó fertilizante fosfórico, pero si se aplicó cal en dosis de 2.0 ton/ha.

El nivel de estrés por fósforo fue determinado de la misma forma que para el aluminio; es decir, se realizó un ensayo de frijol con diferentes dosis de fósforo y con los datos obtenidos se hizo una gráfica para ver la respuesta de la planta a dicho factor. El nivel de estrés fue aquel donde se observaron las máximas desviaciones de los rendimientos. El nivel sin estrés fue aquel donde las desviaciones de los rendimientos fueron menos marcadas.

3. Tratamiento sin estrés de aluminio ni fósforo (aplicación de cal y fósforo). En éste tratamiento se indujeron condiciones de no estrés para Al y P al aplicar al suelo el equivalente a 2.0 ton/ha de cal y 200 kg/ha de P_2O_5 .

5.2.2. El factor genético.

Este factor comprendió el estudio de 50 genotipos de frijol. La mayor parte de estos genotipos fue obtenida de un ensayo de observación de líneas de frijol (ECAR) provenientes del Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT a través de un

proyecto colaborativo entre el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y el Programa Centroamericano de Frijol (PROFRIJOL).

El grupo de genotipos mencionado fue definido por una selección previa en la que en un ensayo preliminar se determinó su adaptación a partir de una lista mayor de genotipos a suelos ácidos en la misma región. La lista completa de los genotipos incluidos en este estudio aparece en el cuadro 1.

Cuadro 1. Genotipos de frijol incluidos en el estudio

Numero	Identificación	Número	Identificación
1	APG 89-8	26	APG 89-3
2	CUT 59	27	DOR 445
3	APG 98-6	28	NAB 13
4	APG 89-9	29	JU 89-3
5	APG 89-19	30	JU 89-2
6	DOR 444	31	NAB 22
7	DOR 443	32	APG 89-10
8	APG 89-4	33	NAC 2
9	DOR 445	34	MUS 106
10	DOR 450	35	NAB 7
11	CUT 58	36	NAG 299
12	DOR 446	37	APG 89-14
13	APG 89-7	38	DOR 463
14	JU 89	39	DOR 441
15	JU 89-1	40	NAG 302
16	DOR 451	41	DOR 442
17	NAB 16	42	NAB 8
18	DOR 438	43	APG 89-13
19	DOR 449	44	APG 89-17
20	DOR 448	45	DOR 446
21	DOR 447	46	JAMAPA
22	DOR 439	47	NEGRO HUASTECO(*)
23	NAC 3	48	NEGRO CHIAPAS(*)
24	MUS 105	49	VERACRUZANO(*)
25	NAB 19	50	DOR 364(*)

(*) = Testigo local

5.2.3. El diseño experimental.

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas y tres repeticiones. Las parcelas grandes estuvieron formadas por los tres tratamientos de estrés al suelo (con estrés por aluminio; con estrés por fósforo y sin estrés) y las parcelas chicas estuvieron formadas por los 50 genotipos de frijol. Lo anterior arrojó un total de 150 tratamientos repetidos tres veces lo cual resultó en 450 unidades experimentales.

Las unidades experimentales fueron maceteros con capacidad para 2.0 kg de suelo en cada uno de los cuales se sembraron y mantuvieron 2 plantas de frijol en el invernadero hasta la cosecha.

5.3. Muestreo del suelo y preparación de los tratamientos.

Primeramente se seleccionó un sitio con problemas de acidez (pH menor de 5.5 y % de saturación de aluminio mayor a 20 %). El sitio seleccionado por presentar problemas de acidez del suelo se ubicó en el ejido Domingo Chanona del municipio de Villaflores.

Después de localizar el sitio con problemas de suelos ácidos se procedió a tomar una muestra de suelo para el ensayo biológico del invernadero. Esta fue tomada en cantidad suficiente con pala a una profundidad de 0 - 20 cm.

Posteriormente, la muestra de suelo se trasladó a las instalaciones del Campo Experimental donde se procedió a secarla a la sombra y tamizarla con malla de 2 mm. La preparación de los tratamientos se realizó de la manera siguiente:

Para los tratamientos con estrés por aluminio y sin estrés por fósforo sólo se pesó la cantidad correspondiente a 200 kg/ha de P_2O_5 como fertilizante fosfórico (super

fosfato triple). Para la capacidad de 2.0 kg de suelo de cada macetero la cantidad pesada fue de 0.143 g de fertilizante. Para éste tratamiento se prepararon 50 pesadas iguales que se aplicaron homogéneamente con el suelo seco de igual número de maceteros; esto fue repetido tres veces para un total de 150 unidades experimentales con dicho tratamiento.

Para los tratamientos con estrés por fósforo pero con suficiente cal, sólo se pesó la cantidad correspondiente a 2.0 ton/ha de cal. Para la capacidad de 2.0 kg de suelo de cada macetero, la cantidad pesada fue de 1.428 g de cal. Para éste tratamiento se prepararon 50 pesadas iguales que se aplicaron hogéneamente con los dos kg de suelo seco de igual número de maceteros; esto fue repetido tres veces para un total de 150 unidades experimentales.

Para los tratamientos sin estrés de aluminio ni fósforo, se pesaron las cantidades correspondientes a 200 kg/ha de P_2O_5 como superfosfato triple y 2.0 ton/ha de cal. Para la capacidad de 2.0 kg de suelo de cada macetero, las cantidades pesadas fueron de 0.143 g de superfosfato y 1.428 g de cal. Para éste tratamiento de prepararon 50 pesadas iguales de superfosfato.

Después de pesar la cal y el fertilizante fosfórico, la cal fue mezclada en forma homogénea con el suelo seco de los tratamiento que la incluían y enseguida se aplico la mezcla a los maceteros para inmediatamente regar hasta un nivel aproximado a capacidad de campo. En esas condiciones se mantuvieron las unidades experimentales hasta completar un período de tiempo de incubación de 20 días. Después de este tiempo, se volvió a secar el suelo y se procedió a mezclar en forma homogénea el suelo y el fertilizante fosfórico para completar el tratamiento.

El período de incubación de 20 días fue determinado en el laboratorio con muestras del mismo suelo ácido en el que se agregó una cantidad conocida de cal y se regó con agua destilada a capacidad de campo; después se hicieron análisis periódicos de

suelo para determinar la reacción de la cal y el período de incubación quedo determinado cuando las características de pH y aluminio se mantuvieron estables.

5.4. Siembra y conducción del experimento.

La siembra del experimento en el invernadero se realizó después de que el suelo fue regado con agua destilada hasta un nivel cercano a capacidad de campo. Para ello se procedió a sembrar en cada macetero una cantidad de cuatro semillas, y posteriormente se realizó un aclareo para uniformizar la población a tres plantas por macetero. El croquis de siembra quedó de la forma esquematizada en la figura 3.

Los riegos para mantener la humedad cercana a capacidad de campo se realizaron, en promedio cada tercer día. Asimismo, para mantener buenas condiciones de fertilidad en el suelo y asegurar que sólo los factores en estudio fueran los que variarían, se realizaron tres aspersiones de fertilizantes foliares durante el desarrollo del cultivo.

Las plagas como mosca blanca *Bemisia tabaci* y gusanos trozadores fueron controladas con aspersiones de Parathión Metílico en dosis de 1.0 lt/ha.

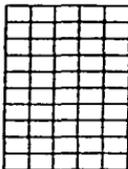
5.5. Variables evaluadas.

5.5.1. Del desarrollo del cultivo.

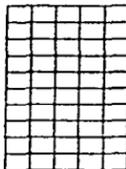
Para llevar una relación cronológica cuantitativa del desarrollo del cultivo y poder basar los resultados finales y análisis sobre bases reales, se realizaron cuantificaciones de algunos parámetros agronómicos que se consideraron de mayor importancia; éstos fueron:

Días a naceria. Se tomo el número de días transcurridos de la siembra a la naceria

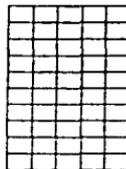
Tratam. 2
Rep. I



Tratam. 1
Rep. I

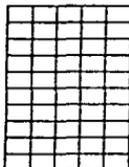


Tratam. 3
Rep. I

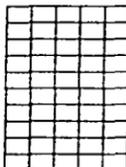


30

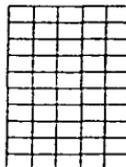
Tratam. 3
Rep. II



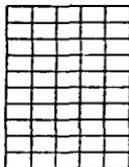
Tratam. 1
Rep. II



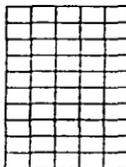
Tratam. 2
Rep. II



Tratam. 2
Rep. III



Tratam. 3
Rep. III



Tratam. 1
Rep. III

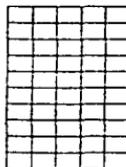


Figura 3. Croquis de invernadero del experimento de selección de genotipos de frijol por su tolerancia a suelos ácidos.

de las plántulas, para todos los tratamientos en estudio. Este dato se tomo cuando el 50 % de la población de plantas había emergido.

Altura de planta. Se tomaron alturas de plantas durante el desarrollo del cultivo con el fin de evaluar la forma de desarrollo del cultivo en los diferentes tratamientos; la frecuencia de las tomas fue la siguiente: Primera lectura en la Etapa V2 (hojas primarias desplegadas), la segunda lectura en la etapa V3 (primera hoja trifoliada desplegada), la cuarta lectura en la etapa V4 (tercera hoja trifoliada desplegada) y la quinta lectura en la etapa R5 (prefloración) de desarrollo.

Días a inicio de floración. Este dato fue tomado también para todos los tratamientos en estudio. Sin embargo como fecha de floración se consideró aquella cuando el cultivo presentó un 50% de floración.

Días a cosecha. Para el caso de este trabajo, la fecha de cosecha fue determinado antes de la siembra, de tal manera que se planeó cosechar a los 35 días después de la siembra. Esto fue así considerando las condiciones en las que crecieron las plantas en maceteros de poca capacidad para suelo.

5.5.2. De la Cosecha.

Con el fin de evaluar la respuesta de los genotipos de frijol a los tratamientos de estrés de acidez al suelo y poder seleccionarlos adecuadamente por su tolerancia a suelos ácidos, se procedió a cuantificar una serie de parámetros agronómicos de cosecha; entre ellos están:

Número de plantas cosechadas. Se cuantificó el número de plantas cosechadas por macetero.

Diámetro de tallos. Se cuantificó el diámetro de tallos de las plantas de frijol en

los diversos tratamientos; Para esto se utilizó un vernier.

Número de flores y vainas por planta. Se cuantificó el número de flores y vainas totales por planta y por macetero.

Peso de raíz y otros componentes del rendimiento. Se cuantificó el peso de raíz y follaje, incluyéndose en éste último, el peso de vainas y flores. Estos datos se tomaron en fresco (al momento de la cosecha) y en seco (después de secar en la estufa).

Adicionalmente se realizaron registros cualitativos de observaciones de otros aspectos relacionados con el desarrollo del cultivo como: comportamiento del crecimiento en los diferentes tratamientos (clorosis, necrosis foliar, caída prematura de hojas, aborto de flores, pudrición de tallos y raíces, etc.).

5.6. Metodología para el análisis y selección de genotipos.

5.6.1. Análisis estadístico.

El análisis estadístico consistente en un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey al nivel de significancia del 5 %, se realizó para corroborar las hipótesis planteadas en relación con las fuentes de variación en estudio, las cuales fueron: tratamientos de estrés por acidez al suelo; genotipos de frijol y la interacción de éstos dos factores.

Para ello, se usó como variable de respuesta el rendimiento de peso seco de follaje y el peso seco de raíz, y de manera complementaria se consideró también al peso seco total de biomasa (follaje + raíz). Asimismo se consideró para las pruebas de hipótesis, un nivel de probabilidad del 5 % considerando que se trató de un ensayo de invernadero.

5.6.2. Selección de genotipos de frijol por su tolerancia a las condiciones de acidez del suelo.

Al considerar que una sola evaluación estadística del rendimiento no es suficiente para la selección de genotipos por la existencia de grandes diferencias de rendimiento entre ellos; se decidió someter a las variables de respuesta de los genotipos de frijol a un análisis adicional y complementario denominado tamizado de frijol por su tolerancia a suelos ácidos. Esta metodología de selección fue propuesta por Thung *et al* (1985) en CIAT.

La metodología en cuestión se basa en el cálculo de dos parámetros adicionales derivados del rendimiento y su tratamiento para medir su respuesta.

1.- El parámetro α que mide la respuesta del frijol al fertilizante fosfórico (kg de P_2O_5 /ha), se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{(\text{Rend. parc. sin estrés por P}) - (\text{Rend. parc. con estrés por P})}{(\text{kg de } P_2O_5 \text{ ha en parc. sin estrés}) - (\text{kg de } P_2O_5 \text{ ha en parc. con estrés})}$$

2.- El parámetro β que es el factor de respuesta del frijol al Aluminio, se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$\beta = \frac{(\text{Rend. parc. sin estrés}) - (\text{rend. parc. con estrés por Al})}{(\% \text{ sat de Al en parc. con estrés}) - (\% \text{ sat Al parc. sin estrés})}$$

Después de obtener los parámetros α y β , para cada uno de los genotipos, estos se clasificaron en 4 grupos para su selección. Para el caso de la clasificación de los genotipos por su eficiencia y respuesta a aplicación de fósforo, se procedió de la siguiente manera: Se graficaron en el eje X el rendimiento de los genotipos de frijol bajo estrés por P, y en el eje Y se el valor de α .

La línea promedio del rendimiento (eje X), dividió a los genotipos en dos grupos: en la izquierda se localizaron a los genotipos ineficientes, mientras que en la derecha se localizaron a los genotipos eficientes. A su vez, la línea promedio de α (eje Y) separó a los genotipos en dos grupos: en la línea superior se localizó a los genotipos con respuesta y en la inferior a los genotipos sin respuesta. De ésta manera se clasificaron a los genotipos en 4 categorías:

I. Plantas eficientes de buena respuesta (ECR). Genotipos con buen rendimiento en condiciones de estrés por fósforo y con mayor rendimiento bajo el suministro adecuado de fósforo.

II. Plantas eficientes sin respuesta (ESR). Genotipos con buen rendimiento bajo estrés de fósforo, pero que no aumentan su rendimiento bajo condiciones óptimas de disponibilidad de fósforo.

III. Plantas ineficientes sin respuesta (ISR). Genotipos que son genéticamente pobres en relación a su tolerancia a bajos niveles de fósforo, ya que no producen bien ni bajo condiciones de estrés, ni bajo condiciones adecuadas de fósforo.

IV. Plantas ineficientes de buena respuesta (ICR). genotipos que producen poco bajo condiciones de estrés por fósforo pero que producen muy bien bajo un suministro adecuado de fósforo.

En el presente trabajo el objetivo fue seleccionar a los genotipos que se ubicaron en el grupo I (planta eficiente con buena respuesta), para ambas condiciones adversas de acidez (poco fósforo y alto aluminio).

De la misma manera se procedió para la selección de genotipos por su tolerancia a altos contenidos de aluminio y su buena respuesta a la aplicación de cal.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1. Características químicas del suelo.

Los resultados de los análisis de laboratorio practicados al suelo del sitio de estudio se presentan en el cuadro 2. Se puede observar que por sus características químicas, (el pH del suelo es bajo ($\text{pH} < 5.5$); el contenido de materia orgánica del suelo es pobre y presenta un bajo contenido de bases y un alto contenido de aluminio), el suelo de área de estudio tiene problemas de acidez.

Estas características, además de confirmar de que se trata de un suelo con ácido, también señalan que se trata de un suelo cuyo problema de acidez ha sido acelerado por un mal manejo como pudiera ser una aplicación intensiva de fertilizante químico de efecto residual ácido como el sulfato de amonio, ya que a diferencia de los suelos desarrollados o maduros en donde todo su perfil es ácido, en este suelo se observó que solo la capa superficial presenta tales características. Además, se puede observar que éstas condiciones adversas de acidez se mejoran notablemente con la aplicación de cal, al grado de que se vuelven favorables para la producción de frijol.

Cuadro 2. Características químicas del suelo del área de estudio.

Característica	Sin cal	Con 2.0 ton/ha
1. PH	4.78	5.6
2. M.O. (%)	1.27	1.28
3. Ca (ppm)	234	622
4. Mg (ppm)	32	34
5. K (ppm)	127	127
6. Na (ppm)	50	14
7. % Sat. de Al	39.6	7.5
8. ClC (meq/100g)	3.5	4.1
9. % Sat. de bases	56.95	92.10

6.2. Análisis estadístico del experimento de frijol.

Los resultados obtenidos de producción de follaje, raíces y biomasa total (g/maceta) en el experimento de invernadero, fueron primeramente analizados estadísticamente. En el cuadro 3 se presentan los resultados de los análisis de varianza para los tres parámetros de respuesta considerados (peso seco de follaje, peso seco de raíz y peso seco total).

Como se puede observar en el cuadro 3, con el análisis de varianza se detectaron diferencias altamente significativas para promedios de tratamientos de parcelas grandes (niveles de estrés) y para los promedios de las parcelas chicas (genotipos de frijol), pero no para la interacción. Esto fue tanto para peso seco de follaje como para peso seco de raíz y para la producción de biomasa total.

Las respuestas del frijol a cada una de estas fuentes de variación se discuten en detalle a continuación:

Cuadro 3. Análisis de varianza para producción de peso seco de follaje y peso seco de raíz en frijol de temporal en Chiapas.

Fuentes de variación	g. de l.	probabilidad de F para peso seco		
		follaje	raíz	total
1. Trat. Parc. Grandes (TPG) o niveles de estrés al maizo	2	0.0001 ^(**)	0.0001 ^(**)	0.0001 ^(**)
2. Trat. Parc. Chicas (TPCH) o genotipos de frijol	49	0.0001 ^(**)	0.0001 ^(**)	0.0001 ^(**)
3. Interacción TPG*TPCH	98	0.445 ^(ns)	0.761 ^(ns)	0.462 ^(ns)
4. Error	298			
5. Total	449			
C.V.		51.4	56.75	52.87

^(**) = altamente significativo

^(ns) = No significativo

6.2.1. Tratamientos de parcelas grandes (Niveles de estrés del suelo).

La respuesta del frijol en producción promedio de follaje y raíz a tres diferentes tratamientos al suelo se observa en el cuadro 4 y la figura 4.

De acuerdo a la prueba estadística de comparación de medias (Tuckey 0.05), en el cuadro 4 se observa que el tratamiento óptimo o sin estrés por suelos ácidos (C_1P_1) fue el que obtuvo el mayor rendimiento promedio de peso seco de follaje y peso seco de raíz; le siguió el tratamiento con estrés por fósforo y sin estrés por Al^{+} (C_1P_0); y finalmente el de rendimiento más bajo fue el tratamiento con estrés por aluminio y sin estrés por fósforo (C_0P_1).

Estos resultados señalan el grado de importancia de los factores adversos de acidez como su alto contenido de aluminio y su bajo contenido de fósforo sobre la producción del frijol, siendo de acuerdo a éstos resultados el alto contenido de aluminio intercambiable el que limita en mayor grado la producción de frijol en el área de estudio, seguido por el bajo contenido de fósforo aprovechable.

La respuesta del frijol a los tratamientos de estrés al suelo se atribuye a: 1. Con el tratamiento óptimo que incluye la aplicación de cal y fósforo al suelo (C_1P_1), las condiciones adversas de acidez como son bajo pH, alta concentración de Aluminio, bajo contenido de fósforo y baja saturación de bases, fueron corregidas con dicho tratamiento porque:

a). La dosis de cal aplicada neutralizó el alto contenido de aluminio y aumentó el pH del suelo y el contenido de Ca y Mg. Según los datos presentados en el cuadro 2, el encalado disminuyó el % de saturación de aluminio de 39.6 a 7.5 con la aplicación de 2 ton de cal/ha; El pH aumentó de 4.78 a 5.6; y el % de saturación de bases se incrementó de 56.95 a 92.10.

Cuadro 4. Algunos componentes del rendimiento del cultivo de frijol de acuerdo tres tratamientos al suelo.

Componentes	Tratamientos de estrés al suelo		
	C1P1	C1P0	C0P1
1. Peso seco de Follaje (g/maceta)*	3.744 a	3.182 b	2.311 c
2. Peso seco de raíz (g/maceta)	1.470 a	1.224 b	1.083 b
3. Peso seco total (g/maceta)	5.214 a	4.407 b	3.394 c
4. Altura de planta	18.004	18.930	15.700
5. Número de vainas/planta	1.650	1.020	1.450
6. Número de flores/planta	0.270	0.290	0.260
7. Diámetro de tallo (mm)	2.290	1.830	1.480

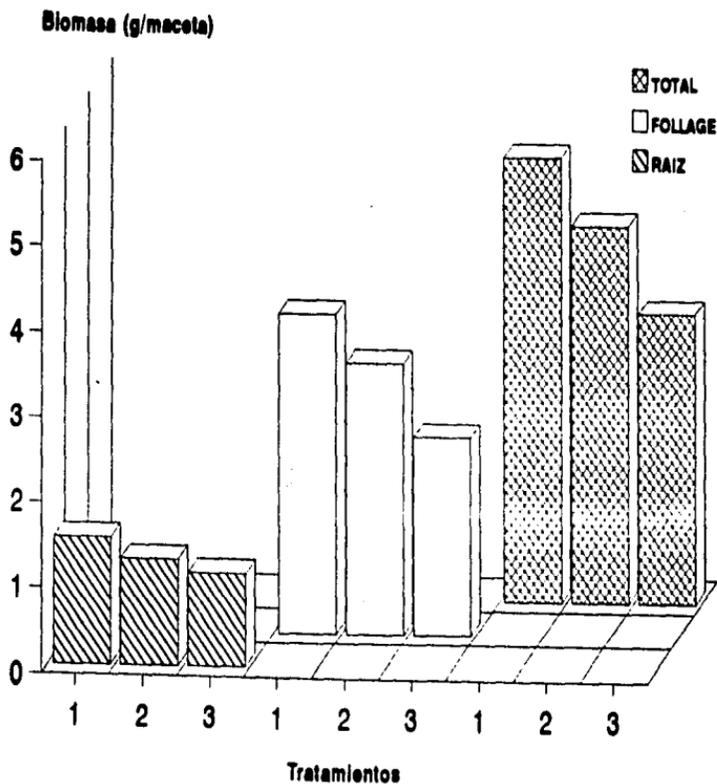
(*) = Cantidades de una fila con la misma letra son estadísticamente iguales

b). El fertilizante fosfórico fue aprovechado eficientemente por la planta. De ésta manera se explica que hubiese una buena producción de follaje y de biomasa de raíz al aplicarse este insumo.

2. Con el tratamiento con estrés por fósforo y sin estrés por aluminio (C_1P_0) el rendimiento de follaje y raíz fueron estadísticamente menores que el tratamiento óptimo. Esto se atribuye a que si bien, la cal aplicada pudo neutralizar el aluminio del suelo, el fósforo existente no fue suficiente para que la planta expresara su potencial. Sin embargo, el hecho que éste tratamiento haya producido un rendimiento intermedio sugiere que es el alto contenido de aluminio y no el bajo contenido de fósforo del suelo el factor más importante que afecta la producción del frijol en los suelos ácidos del área de estudio.

3. Finalmente, en el tratamiento con estrés por aluminio y sin estrés por fósforo (C_0P_1) el rendimiento de follaje y de raíz fue el más bajo. Esto confirma que es el contenido de aluminio y no el fósforo el factor más importante de la acidez del suelo que limita la producción del frijol en las condiciones de los suelos del área de

Figura 4. Respuesta del frijol (follaje y raíz) a tres tratamientos al suelo.



estudio, ya que se pudo observar que el tratamiento de estrés por fósforo pero sin estrés por aluminio afectó en menor grado la respuesta del cultivo de frijol, en comparación con el tratamiento de estrés de aluminio sin estrés de fósforo. Este efecto puede estar también asociado con otros factores de acidez como baja saturación de bases, la cual se puede corregir aplicando cal para suministrar bases como Ca y Mg, asociado con la aplicación de fósforo.

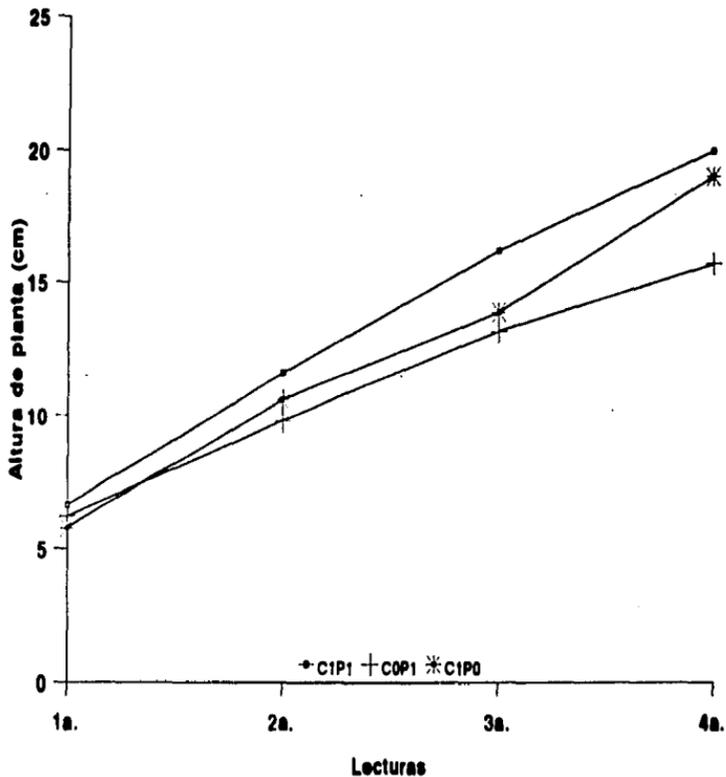
La respuesta encontrada de los parámetros del cultivo peso seco de follaje y de raíz a los tratamientos al suelo, se reflejó también en los componentes del rendimiento del frijol, los cuales se modificaron de acuerdo a cada tratamiento. En el cuadro 4, se presentan datos de la respuesta de algunos componentes del rendimiento del frijol a los tres tratamientos al suelo, y en la figura 5 se presenta el crecimiento del frijol de acuerdo a los mismos tratamientos.

En general se observa que los componentes del rendimiento del frijol varían entre tratamientos de estrés al suelo, de acuerdo a la respuesta del cultivo en peso seco de follaje y de raíz. La altura de planta fue mayor en el tratamiento óptimo de sin estrés por aluminio y fósforo, al igual que el diámetro del tallo. En el caso del número de flores y vainas por planta, se observó la misma tendencia, aunque las variaciones observadas se atribuyen a que a la cosecha, el cultivo de encontraba en esas etapas reproductivas.

En relación al crecimiento del frijol observado en la figura 5, la tendencia fue de que el cultivo siempre presentó una altura mayor con el tratamiento óptimo, seguida de una menor altura en el tratamiento de estrés por fósforo y con la más baja altura con el tratamiento de estrés por aluminio.

Es importante señalar que en suelos ácidos, el primer componente afectado es, de acuerdo a la literatura el desarrollo de la raíz, la cual al verse restringida por el alto contenido de aluminio del suelo afecta también el desarrollo del follaje y con ello

Figura 5. Altura de planta de frijol (cm) bajo diferentes condiciones de suelo.



los componentes del rendimiento; sin embargo, con la aplicación de cal y fósforo, el desarrollo de la raíz se realiza de manera normal y con ello la producción de follaje. En el caso del presente trabajo, se observó que con el tratamiento óptimo el peso seco de follaje fue el mayor posiblemente debido a una relación con también una mayor producción de peso seco de raíz.

De estos resultados obtenidos en relación con el factor edáfico se puede decir que: Existe una brecha tecnológica entre lo que potencialmente puede producir el frijol con solo aplicar cal y fósforo y lo que actualmente se produce bajo condiciones de acidez del suelo. Esta brecha puede ser evaluada fácilmente con experimentos de campo.

Por lo anterior, si el objetivo principal es incrementar el rendimiento de frijol sin considerar restricciones de capital (suponiendo disponibilidad de crédito), la mejor opción en el corto plazo sería aplicar cal y fósforo. Desafortunadamente, esta alternativa no es fácil de implementar bajo las condiciones actuales de crisis que enfrenta el sector agropecuario. Por ésta razón, es importante explorar otras alternativas de solución a este problema, como puede ser la alternativa de variedades tolerantes a suelos ácidos, bajo un esquema de bajos insumos.

6.2.2. Tratamientos de parcelas chicas (Genotipos de frijol).

La producción de follaje y raíz promedio sobre los tres tratamientos de estrés al suelo de los 50 genotipos de frijol estudiados mostró una amplia variabilidad, la cual resultó estadísticamente significativa.

En el cuadro 5 se presenta el peso seco promedio de follaje, de raíz y peso seco total de los 10 genotipos más rendidores, en comparación con uno de rendimiento intermedio y con otro de mínimo rendimiento.

Cuadro 5. Rendimiento de follaje y algunos componentes del rendimiento de 12 genotipos de frijol.

Genotipo de frijol	Rendim. prom. (g/maceta)			Altur a planta	vaina/ planta	hojas/ planta	diam. tallo
	Follaje	raíz	total				
1. Veracruzano	4.433	1.844	6.277a	10.44	0.89	0.22	0.16
2. DOR 443	4.700	1.444	6.144a	17.94	1.11	1.67	0.32
3. NAC 3	3.912	2.111	6.023a	16.72	1.22	0.56	0.27
4. NAB 22	4.117	1.533	5.650ab	20.99	2.89	1.44	0.34
5. APG 89-3	3.856	1.667	5.523ab	20.71	2.44	3.00	0.30
6. Jamsap	4.167	1.322	5.489ab	22.54	2.56	1.44	0.31
7. NAG 302	3.933	1.534	5.467ab	18.34	1.56	2.89	0.28
8. JU 89-3	3.789	1.644	5.433ab	16.23	0.67	1.11	0.23
9. DOR 441	3.900	1.500	5.400ab	13.46	0.89	2.11	0.23
10. CUT 59	3.578	1.800	5.378ab	15.12	1.56	0.44	0.21
.							
25. APG 89-17	3.211	1.400	4.611cd	22.04	2.44	0.67	0.32
.							
50. MUS 105	0.289	0.111	0.4 d	17.40	0.89	1.89	0.26

□ = Cifras con la misma letra son estadísticamente iguales.

El rendimiento promedio de follaje varió desde 0.289 g/maceta obtenido con el genotipo MUS 105, hasta 4.700 g/maceta con el genotipo DOR 443; esto marca una diferencia de 4.411 g/maceta. Dentro del grupo de los 10 genotipos de mayor rendimiento se encontraron también a: DOR 443, NAC 3, NAB 22, Veracruzano (testigo local) y otros.

Por su parte, la producción de peso seco de raíz varió desde 0.111 g/maceta con el genotipo MUS 105 hasta 2.111 g/maceta con el genotipo NAC 3; una diferencia de 2 g/maceta.

Se observa que aunque los mayores rendimientos de follaje no concuerdan exactamente con los de raíz, existe una tendencia de un mayor rendimiento asociado

a una mayor producción de peso seco de raíz, dando una relación follaje/raíz promedio de 2.00.

Esta situación en la que la producción de follaje no concuerda exactamente con la producción de raíz para seleccionar los mejores genotipos, sugirió la conveniencia de considerar la producción total de biomasa como parámetro de respuesta por la importancia de ambos parámetros en la respuesta total del cultivo a los factores adversos de acidez del suelo.

De esta manera se presentan en el mismo cuadro 5 los resultados de la biomasa total, la cual varió desde 0.400 g/maceta con el genotipo MUS 105, hasta 6.277 g/maceta con el genotipo Veracruzano (testigo local); una diferencia de 5.877 g/maceta. Es importante resaltar el hecho de que al considerar ambos parámetros de manera conjunta el mejor genotipo es el Veracruzano, a diferencia de que al considerar solo la producción del follaje el mejor genotipo fue el DOR 443 y al considerar solo la producción de raíz el mejor genotipo fue el NAC 3.

Por otra parte, esta variabilidad en el rendimiento de biomasa y raíz indica que existe amplia variabilidad genética en cuanto a potencial de rendimiento de los genotipos de frijol evaluados, tal como puede observarse en el cuadro 5. Esto puede ser de interés para los programas de mejoramiento genético y para recomendaciones directas a los productores, como se discutirá más adelante.

6.2.3. Interacción (TGP * TPCII). Niveles de estrés al suelo por genotipos de frijol.

La variación del rendimiento promedio de 50 genotipos de frijol bajo tres tratamientos de estrés al suelo, resultó no significativa en el análisis de varianza. Esto significa que la variabilidad del rendimiento promedio de los 50 genotipos de frijol es independiente del tratamiento en cuestión; en otras palabras, el efecto de los tres tratamientos al suelo no es significativa sobre el rendimiento promedio de los 50

genotipos; es decir, la respuesta de los genotipos de frijol es diferente para cada tratamiento al suelo. Esto sugiere que puede existir un genotipo o un grupo de ellos que se adapta a cada tratamiento.

En el cuadro 6 se presenta el rendimiento promedio de los 10 genotipos más rendidores, en comparación con uno de rendimiento intermedio y el de menor rendimiento, para su análisis dentro de cada tratamiento al suelo.

Primeramente se observa en el caso del tratamiento sin estrés por aluminio ni fósforo (C_1P_1), que el rendimiento de follaje varió desde 0.000 g/maceta obtenido con el genotipo MUS 105, hasta 7.953 g/maceta con el genotipo Veracruzano; una diferencia de 7.953 g/maceta.

Cuadro 6. Peso seco de follaje (g/maceta) de los 10 mejores genotipos de frijol comparados con uno intermedio y el más malo, bajo tres tratamientos al suelo.

Tratamiento 1 (C1P1)		Tratamiento 2 (C1P0)		Tratamiento 3 (C0P1)	
Genotipo	g/mac.	Genotipo	g/mac.	Genotipo	g/mac.
1. Veracruzano	7.953	JU 89	7.333	NAG 302	6.967
2. NAB 22	7.650	NAC 3	7.233	DOR 438	6.033
3. DOR 451	7.333	APG 89-9	6.867	APG 89-3	5.667
4. NAC 2	7.233	Jamapa	6.700	JU 89-3	5.633
5. NAB 8	6.967	CUT 59	6.300	DOR 443	5.600
6. DOR 443	6.867	NAB 8	6.267	Jamapa	5.133
7. JU 89-3	6.833	DOR 364	6.067	NAB 22	5.067
8. N. Huasteco	6.733	DOR 443	5.967	Veracruzano	5.000
9. N. Chiapas	6.733	Veracruzano	5.900	APG 89-13	4.917
10. DOR 448	6.700	DOR 441	5.867	DOR 441	4.800
.					
25. APG 89-17	5.600	DOR 450	4.833	APG 89-6	3.300
.					
50. MUS 105	0.000	N. Chiapas	0.000	MUS 105	0.000

Para el caso del tratamiento con estrés por fósforo y sin estrés por aluminio (C_1P_0), el peso seco de follaje varió desde 0.000 g/maceta obtenido con el genotipo N. Chiapas (testigo local) hasta 7.333 g/maceta con JU 89; una diferencia de 7.333 g/maceta.

Finalmente, para el caso del tratamiento con estrés por aluminio y sin estrés por fósforo (C_0P_1), el peso seco del follaje varió desde 0.000 g/maceta con el genotipo MUS 105 hasta 6.967 g/maceta con NAG 302; una diferencia de 6.967 g/maceta.

En esta interacción, destaca el hecho de algunos genotipos de frijol como el NAB 22, NAC 3, CUT 59 y otros presentan los mas altos rendimientos de peso seco de raíz, característica que pudiera ser de interés para seleccionar genotipos para suelos ácidos por su mayor capacidad para explorar el suelo y extraer mayor cantidad de nutrimentos.

Los genotipos más estables en producción de biomasa seca y que se manifestaron de igual manera en el grupo de los 10 genotipos mas rendidores en los tres tratamientos al suelo, fueron: Veracruzano (testigo local) y DOR 443.

Asimismo, hubo genotipos que se manifestaron estables en rendimiento de follaje solamente en ausencia del estrés por aluminio como NAB 8, y otros que se manifestaron estables en ausencia del estrés por fósforo como JU 89-3 y DOR 448.

Lo anterior refleja que a pesar de no detectarse diferencia significativa a la interacción tratamientos de estrés al suelo por genotipos, la variabilidad del rendimiento de biomasa de frijol es alta dentro de cada tratamiento al suelo.

Si fuera el caso de seleccionar genotipos de frijol a las condiciones adversas de suelos ácidos, el grupo de interés sería el de los genotipos que destacaran tanto en condiciones de sin estrés de fósforo y aluminio, como de estrés por aluminio y en

condiciones de estrés por fósforo; es decir los genotipos DOR 443, Veracruzano (testigo) y DOR 441, los cuales figuran entre los 10 más rendidores en todas las condiciones de estrés estudiadas (cuadro 6).

Estos resultados obtenidos que consideran el efecto interactivo de los dos factores estudiados (edáfico y genético) conducen a visualizar que: 1. Se puede incrementar el rendimiento de frijol mediante la aplicación de cal y fósforo al suelo; 2. Existe potencial genético para obtener buena producción de frijol en condiciones de suelos ácidos; 3. El manejo combinado de las dos alternativas es una opción muy promisoría para incrementar el rendimiento de frijol en los suelos ácidos de la Fraylesca.

6.3. Análisis del tamizado de genotipos de frijol por su tolerancia a suelos ácidos.

Considerando los resultados obtenidos del rendimiento total de frijol (follaje + raíz) en g/maceta de frijol para los diferentes tratamientos del experimento de invernadero, se procedió a transformar dichos datos a kg/ha. Posteriormente, dicha información fue sometida a la metodología de selección denominada tamizado de genotipos de frijol para suelos ácidos, descrita en el capítulo de materiales y métodos.

Como ya se explicó anteriormente, la metodología de selección de genotipos de frijol para suelos ácidos requiere de calcular los parámetros α y β para fósforo y aluminio, respectivamente. Estos parámetros se calcularon a partir de los datos transformados a kg/ha de la producción de biomasa.

Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 7 y fueron utilizados para aplicar la metodología de selección de genotipos. Una presentación mas detallada de dichos resultados se describe a continuación.

Cuadro 7. Cálculo de los parámetros α y β con base al rendimiento de biomasa total (kg/ha) para los 50 genotipos de frijol.

Genotipo	Tratamientos de ensés al suelo			Parámetro	
	CIP1	COP1	CIP0	α	β
1. APO 88-8	79.125	175.000	430.875	-19.588	-5.305
2. CUT 59	634.125	575.000	787.500	6.669	2.877
3. APO 88-6	704.125	412.500	437.500	10.331	10.605
4. APO 88-9	454.125	380.375	856.375	-30.213	3.609
5. APO 88-19	566.625	433.375	723.875	-7.713	4.865
6. DOR 444	675.000	404.125	654.375	0.831	9.850
7. DOR 443	834.375	700.000	743.875	5.825	5.739
8. APO 88-4	333.375	425.000	629.125	-14.768	-3.352
9. DOR 433	495.875	441.625	664.625	1.543	1.973
10. DOR 450	600.000	79.125	479.125	6.064	18.941
11. CUT 58	816.625	502.875	425.000	19.581	11.409
12. DOR 446	286.625	143.875	268.375	2.913	4.291
13. APO 88-7	787.500	495.875	739.625	2.894	10.605
14. JU 99	670.875	287.500	914.625	-12.288	13.941
15. JU 99-1	608.375	608.375	312.500	4.794	7.273
16. DOR 451	916.625	143.875	387.500	26.456	28.027
17. NAB 16	608.375	279.125	462.500	7.294	11.973
18. DOR 438	808.375	754.125	320.875	24.373	1.973
19. DOR 449	450.000	463.375	395.875	2.708	-1.214
20. DOR 446	837.500	281.625	733.375	3.268	20.214
21. DOR 447	729.125	329.125	312.500	20.831	14.545
22. DOR 439	666.625	329.125	535.375	6.563	12.273
23. NAC 2	820.375	354.125	684.125	-5.188	8.955
24. MUIS 103	0.000	0.000	150.000	-7.500	0.000
25. NAB 19	708.375	395.875	633.375	3.750	11.364
26. APO 88-3	833.375	708.375	529.125	15.213	4.545
27. DOR 445	820.875	487.500	600.000	11.064	8.464
28. NAB 13	0.000	225.000	0.000	0.000	-6.182
29. JU 89-3	834.125	704.125	479.125	18.750	5.455
30. JU 89-2	733.100	483.375	600.000	6.905	9.905
31. NAB 22	956.250	633.375	529.125	21.356	11.741
32. APO 88-10	804.125	495.875	604.125	10.000	11.209
33. NAC 2	804.125	241.625	333.375	28.338	24.091
34. MUIS 104	729.125	515.875	355.375	19.376	6.818
35. NAB 7	483.375	500.000	608.375	-6.250	-0.805
36. NAB 299	716.625	383.375	614.625	3.000	12.118
37. APO 88-14	604.125	337.500	534.625	3.225	9.695
38. DOR 443	412.500	454.375	654.375	-10.625	1.214
39. DOR 441	691.625	600.000	733.375	-2.088	3.332
40. NAG 302	570.875	870.875	650.000	-3.956	-10.909
41. DOR 442	729.125	414.625	343.875	19.163	11.264
42. NAB 8	870.875	337.500	783.375	4.375	19.389
43. APO 88-13	637.500	614.625	608.375	1.456	0.832
44. APO 88-17	700.000	362.500	686.625	1.669	12.273
45. DOR 446	695.875	375.000	695.875	0.000	11.664
46. Semapa	579.125	641.625	837.500	-12.919	-2.273
47. N. Humbuco	841.625	258.375	691.625	7.500	21.209
48. N. Chigapa	841.625	137.500	621.000	42.081	25.805
49. Veracruzano	991.625	623.000	737.500	13.622	13.312
50. DOR 364	487.500	343.875	758.375	-13.544	5.150
Promedio	651.720	425.110	555.893	4.791	8.242

6.3.1. Selección de genotipos de frijol por su eficiencia y respuesta a la aplicación de fósforo en la Fraylesca.

De acuerdo a la metodología de selección de genotipos seguida en este trabajo, los rendimientos del frijol se graficaron en el eje X, contra los valores del parámetro α en el eje Y, para seleccionar genotipos por su tolerancia a bajos niveles de fósforo del suelo. En la figura 6 se muestra la clasificación de los genotipos de frijol por su eficiencia y respuesta a la aplicación de fósforo.

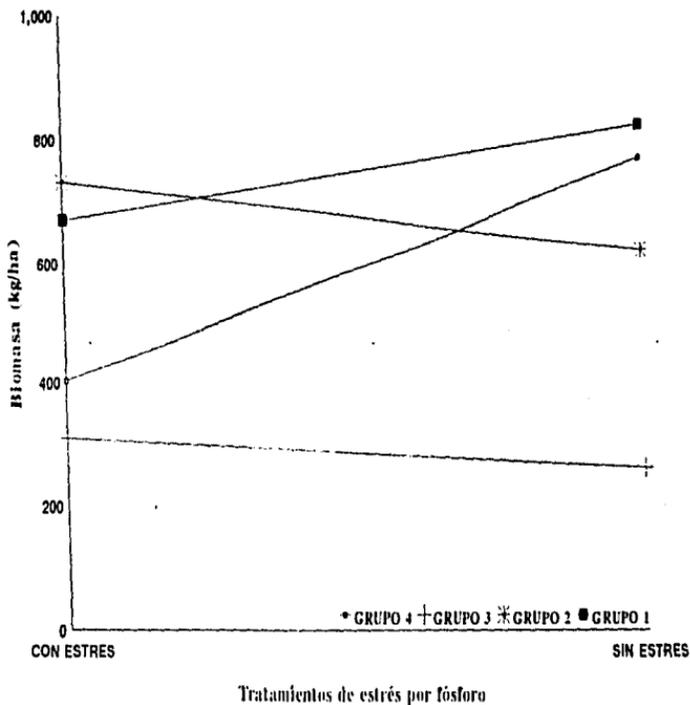
El eje X, el rendimiento promedio de biomasa del frijol bajo estrés por fósforo que fue de 555.893 kg/ha dividió a los genotipos en dos grupos: 27 genotipos de frijol rindieron mas que el promedio, por lo que fueron considerados como eficientes al aprovechamiento de bajos contenidos de fósforo del suelo y 23 de ellos rindieron menos que el promedio, por lo que fueron considerados como ineficientes.

Por su parte la producción promedio de materia seca producida por kg de fertilizante fosfórico aplicado evaluada con el parámetro α que fue de 4.79 kg/ha (eje Y), dividió a los genotipos en dos grupos: 24 genotipos de frijol obtuvieron valores de α superiores al valor promedio por lo que fueron considerados como genotipos con respuesta a la aplicación de fósforo; por su parte 26 de ellos obtuvieron un valor de α inferior a dicho promedio, por lo que se consideraron como genotipos sin respuesta a la aplicación de fósforo.

Las características consideradas en esta evaluación de eficiencia en aprovechamiento al fósforo nativo y respuesta a su aplicación como fertilizante, en conjunto formaron en la gráfica de la figura 6 cuatro cuadrantes en los que se definieron 4 categorías de genotipos. Estas categorías se describen en el cuadro 8.

Ocho genotipos formaron la categoría I (genotipos deseables); 19 genotipos formaron la categoría II; 7 genotipos formaron la categoría III y 16 genotipos formaron la

Figura 6. Evaluación del frijol por su eficiencia y respuesta al fósforo en suelos ácidos.



Cuadro 8. Categorías de frijol por su eficiencia y respuesta al fósforo en suelos ácidos de la Frayleuca.

Categoría I			Categoría II		
Genotipo	CIPO	CIP1	Genotipo	CIPO	CIP1
DOR 443	745.875	458.375	JU 89	916.625	670.875
Versalles	737.500	691.625	NAC 3	908.125	802.375
DOR 448	733.375	837.500	APG 89-9	854.375	454.125
N. Huasteco	691.625	841.625	Jasapa	837.500	379.125
NAB 299	616.625	716.625	CLT 59	787.500	634.125
APG 89-10	604.125	804.125	NAB 6	783.375	870.875
JU 89-2	600.000	733.750	DOR 364	758.375	447.500
DOR 445	600.000	820.875	DOR 441	733.375	691.625
			APG 89-7	729.625	787.500
			APG 89-10	720.875	566.625
			DOR 466	695.875	695.875
			APG 89-17	666.625	700.000
			DOR 463	658.375	445.875
			DOR 444	654.375	675.000
			NAG 302	650.000	370.875
			NAB 19	633.375	708.375
			APG 89-4	629.125	333.375
			APG 89-13	608.375	637.500
			NAB 7	608.375	483.375
Promedio	666.141	825.583	Promedio	728.329	621.737
Categoría III			Categoría IV		
Genotipo	CIPO	CIP1	Genotipo	CIPO	CIP1
APG 89-14	339.625	404.125	DOR 439	335.375	666.625
DOR 455	484.625	495.875	NAB 22	329.125	956.250
APG 89-8	420.875	29.125	APG 89-3	529.125	833.375
DOR 449	395.875	450.000	JU 89-1	512.500	608.375
DOR 444	208.375	266.625	DOR 450	479.125	600.000
MUS 105	150.000	0.000	JU 89-3	479.125	654.125
NAB 13	0.000	0.000	NAB 16	462.500	608.375
			APG 89-6	437.500	704.125
			CLT 58	425.000	816.625
			DOR 451	387.500	916.625
			MUS 106	358.375	745.875
			DOR 442	345.875	729.125
			NAC 2	333.375	604.125
			DOR 438	320.875	808.375
			DOR 447	312.500	729.125
			N. Chispas	0.000	841.625
Promedio	311.339	263.079	Promedio	402.992	770.172

categoría IV. La utilidad de contar con ésta clasificación de genotipos se explica en la figura 7. Las 4 categorías definen genotipos de frijol deseables y no deseables de la manera siguiente:

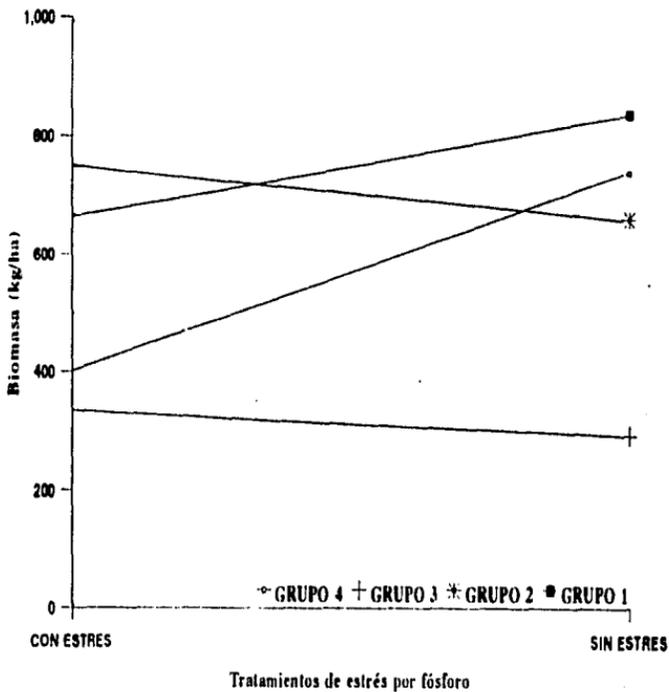
Genotipos clasificados en la categoría III. El grupo de genotipos que se clasificaron en la categoría III como el APG 89-14 se consideran ineficientes sin respuesta (ISR). Esto significa, por un lado que bajo condiciones de estrés por fósforo estos genotipos son poco eficientes para aprovechar el poco fósforo nativo del suelo por lo que son poca tolerables a esas condiciones y rinden poco. Por otro lado, aun bajo condiciones de un suministro adecuado de fósforo via fertilizante fosfórico, estos genotipos no responden a las aplicaciones de éste elemento al suelo.

En el cuadro 8 y la figura 6 se puede observar que el rendimiento promedio alcanzado por este grupo de genotipos fue de 311.34 kg/ha bajo condiciones de estrés por fósforo, mientras que para condiciones de no estrés por fósforo, este grupo de genotipos alcanzó un rendimiento promedio de 263.67 kg/ha.

Por esta razón, a los genotipos que se ubicaron en ésta categoría los descartamos definitivamente ya que son plantas genéticamente pobres (al menos para la región de estudio), que no producen bien bajo ninguna condición.

Genotipos clasificados en la categoría IV. Por su parte, los genotipos que se clasificaron en la categoría IV como el DOR 439 se consideran ineficientes para aprovechar el poco fósforo nativo, pero con buena respuesta a la aplicación de fertilizante fosfórico. Esto significa que a pesar de que bajo condiciones de estrés por fósforo, este grupo de genotipos tiene poco potencial (bajo condiciones de estrés por fósforo, este grupo de genotipos obtuvo un rendimiento promedio de biomasa de 402.99 kg/ha), al aplicarse fertilizante fosfórico se observó una buena respuesta en la producción de biomasa (bajo condiciones de no estrés de fósforo, el rendimiento promedio de biomasa fue de 770.17 kg/ha; una diferencia de 367.18 kg/ha en

Figura 7. Categorías de frijol por su eficiencia y respuesta al fósforo en suelos ácidos.



comparación con la condición de estrés, según el cuadro 8 y figura 6).

Por esa razón, los genotipos que se ubicaron en ésta categoría pueden bajo ciertas circunstancias recomendarse a los productores. Por ejemplo después de verificar que el incremento del rendimiento por efecto de fertilizante sea suficiente para cubrir el costo de dicho fertilizante y además de dejar un margen de ganancia. Esto es posible para productores que disponen de capital para aplicar fertilizantes.

Genotipos clasificados en la categoría II. Los genotipos identificados en la categoría II como el JU 89, se consideran como eficientes en el aprovechamiento de fósforo bajo condiciones de estrés a este elemento pero sin respuesta a su aplicación como fertilizante. Esto significa que dichos genotipos producen bien bajo condiciones de bajo fósforo pero su rendimiento no se incrementa al aplicar fertilizante fosfórico.

En el cuadro 8 y figura 6 se puede apreciar que bajo condiciones de estrés por fósforo, este grupo de genotipos rindió un promedio de 728.33 kg/ha de biomasa, mientras que en ausencia de estrés, el promedio alcanzado solo fue de 621.74 kg/ha.

Los genotipos que se ubicaron en ésta categoría se pueden recomendar a los productores de bajos recursos que tengan suelos con problemas de bajo contenido de fósforo y que además no tengan capital para adquirir el fertilizante. También podrán considerarse como fuente de tolerancia a estrés de fósforo en programas de mejoramiento genético.

Genotipos clasificados en la categoría I. Finalmente, los genotipos clasificados en la categoría I como el DOR 443 y otros 7 se consideraron como eficientes en el aprovechamiento de fósforo bajo condiciones de estrés y con buena respuesta a su aplicación como fertilizante; es decir que éstos genotipos producen bien tanto en condiciones de estrés como en ausencia de ella.

Los resultados del cuadro 8 y figura 6 indican que en condiciones de estrés por fósforo, este grupo de genotipos alcanzó un rendimiento promedio de biomasa de 666.14 kg/ha, ya considerado aceptable, mientras que al eliminar el estrés con la aplicación de fertilizante fosfórico al suelo, dicho promedio se incrementó hasta 825.56 kg/ha; una diferencia de 159.42 kg/ha).

Los genotipos que se ubicaron en ésta categoría se pueden recomendar a los productores que tengan suelos con problemas de bajo fósforo, tanto a productores de escasos recursos que no disponen de recursos para adquirir fertilizantes como a productores que dispongan de recursos para aplicar el fertilizante fosfórico. Esto debido a que el incremento del rendimiento obtenido por la aplicación del fertilizante podría ser suficiente para pagar su costo de aplicación.

Es importante recalcar que este grupo de genotipos se deben recomendar solo para aquellos casos de contarse con suelos bajos en fósforo, ya que no se conoce su respuesta a suelos con alto aluminio.

Además, este grupo de genotipos también pueden utilizarse como progenitores en programas de mejoramiento para suelos con bajo fósforo.

Los resultados anteriores indican que los genotipos deseables para suelos con bajo fósforo son aquellos que se ubicaron en la categoría I y que son, en orden de rendimiento: DOR 443, Veracruzano, DOR 448, N. Huasteco, NAB 299, APG 89-10, DOR 445, y JU 89-2.

Estos genotipos presentan las características observadas en el cuadro 9. Se observa que éstos genotipos muestran pequeñas diferencias en los componentes del rendimiento analizados. En lo que respecta a altura de planta, se observa una variación de los genotipos desde 10.056 cm con DOR 445, hasta 21.384 con DOR 448. En vainas por planta, se observa una variación desde 0.222 con DOR 445, hasta

Cuadro 9. Características principales de los genotipos de frijol tolerantes a bajos niveles de fósforo en suelos ácidos.

Genotipo	altura/pl (cm)	vaina/pl	flores/pl	díam. tallo(mm)	p. seco raíz (g/pl)
DOR 443	17.941	1.111	1.667	0.317	1.800
DOR 448	21.384	1.556	1.667	0.323	1.778
DOR 445	10.056	0.222	0.778	0.178	0.478
JU 89-2	17.629	2.111	1.333	0.256	0.978
APG 89-10	20.892	3.333	0.222	0.284	1.189
NAB 299	21.258	3.333	1.333	0.307	1.644
N. Huasteco	18.786	2.333	1.000	0.273	1.062
Veracruzano	10.444	0.889	0.222	0.161	0.300

3.33 con APG 89-10 y NAB 299 y así sucesivamente con el resto de parámetros. Destaca el hecho de que DOR 445 tiende a presentar menores valores en sus componentes del rendimiento y aun así destacó en el grupo de genotipos tolerantes a bajo fósforo.

También es importante mencionar que sólo DOR 443 y Veracruzano destacaron en el grupo de mayor rendimiento obtenido mediante el análisis de varianza inicial en el que no se consideró la eficiencia y respuesta a fósforo; el resto de los genotipos del grupo no clasificaron en dicho grupo. Esta situación revela el hecho que es necesario sacrificar rendimiento para asegurar eficiencia y respuesta a bajo fósforo del suelo.

6.3.2. Selección de genotipos de frijol por su tolerancia al alto aluminio y su respuesta a la aplicación de cal en la Fraylesca.

El siguiente paso en la selección de genotipos para suelos ácidos seguido en este trabajo fue evaluarlos por su tolerancia a altos contenidos de aluminio del suelo y a

su respuesta a la aplicación de cal. Para ello, de acuerdo a la metodología seguida, los rendimientos de biomasa en kg/ha obtenidos bajo condiciones de estrés por aluminio se graficaron en el eje X, contra los valores del parámetro β en el eje Y, a partir de los valores que presentan en el cuadro 6.

En la figura 8 se presenta la clasificación de los genotipos de frijol en cuatro categorías por su tolerancia a altos contenidos de aluminio y su buena respuesta a la aplicación de cal al suelo como corrector del alto contenido de aluminio.

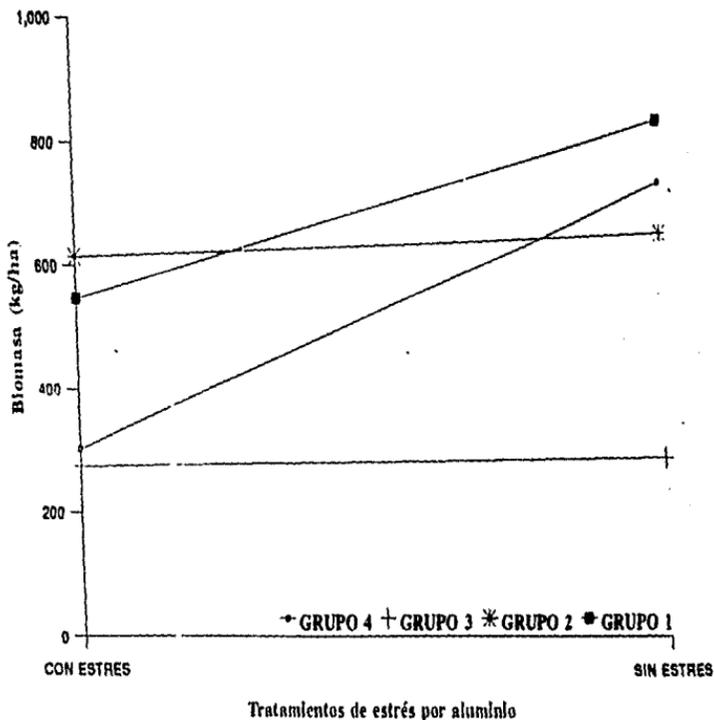
En el eje X, el rendimiento promedio de biomasa del frijol bajo estrés por aluminio de 425.11 kg/ha dividió a los 50 genotipos en dos grupos: 22 genotipos de frijol rindieron mas que dicho promedio, por lo que se consideraron como tolerantes a los altos contenidos de aluminio del suelo y 28 rindieron menos que el promedio, por lo que fueron considerados como no tolerantes.

Por su parte, en el eje Y, el valor promedio de la producción de materia seca producida por kg de cal aplicado expresado mediante el parámetro β de 8.24 kg/ha, dividió a los 50 genotipos en dos grupos: 27 genotipos de frijol tuvieron una respuesta a la cal superior a dicho promedio, por lo que se consideraron como genotipos con respuesta a la aplicación de cal y 23 genotipos presentaron una respuesta menor a dicho promedio, por lo que se consideraron como sin respuesta.

Las características consideradas en esta evaluación de tolerancia al aluminio y respuesta a la cal, en conjunto formaron en la gráfica de la figura 8 cuatro cuadrantes en los que se definieron 4 categorías de genotipos. Estas categorías se describen en el cuadro 10.

Ocho genotipos formaron la categoría I; 14 genotipos formaron la categoría II; 9 genotipos formaron la categoría III y 19 genotipos formaron la categoría IV.

Figura 3. Evaluación del frijol por su eficiencia y respuesta a la cal en suelos ácidos.

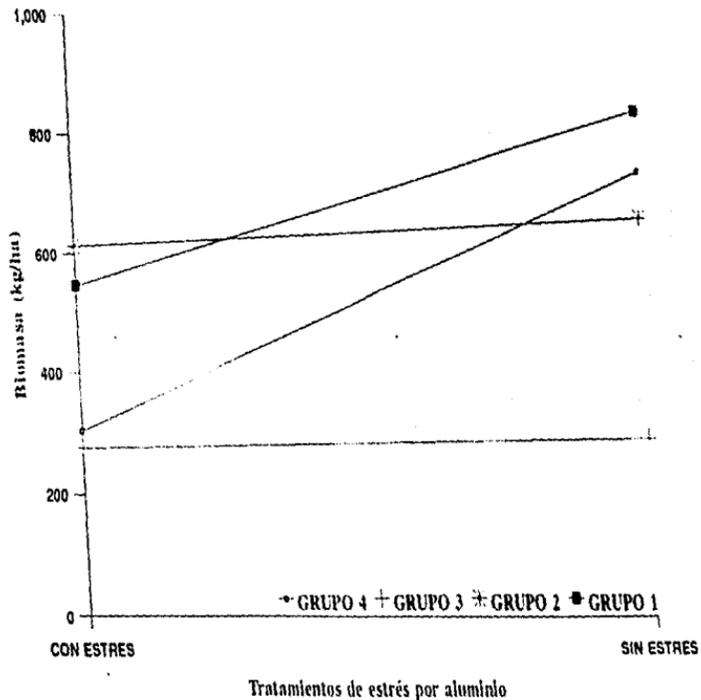


Cuadro 10. Categorías de frijol por su tolerancia al aluminio y respuesta a la cal en suelos ácidos de la Frayleca.

Categoría I			Categoría II		
Genotipo	CIP1	COP1	Genotipo	CIP1	COP1
Verdeanano	991.623	625.000	MUS 106	743.875	358.375
NAB 22	956.250	633.375	DOR 443	658.375	700.000
CUT 38	816.623	502.875	JU 86-3	854.125	708.125
APC 89-10	806.125	495.875	APC 89-16	546.625	433.375
APJ 89-7	787.500	495.875	APC 89-3	833.375	708.375
JU 89-2	733.750	483.375	DOR 441	691.625	660.000
NAC 3	800.375	354.125	CUT 39	634.125	375.000
DOR 443	820.875	547.500	DOR 438	808.375	754.125
			DOR 455	495.875	441.625
			APC 89-13	637.500	614.625
			NAB 7	483.375	500.000
			DOR 449	650.000	483.375
			Jamapa	379.125	641.625
			NAG 302	370.875	870.875
Promedio	838.891	547.250	Promedio	659.232	613.250
Categoría III			Categoría IV		
Genotipo	CIP1	COP1	Genotipo	CIP1	COP1
JU 89-1	828.375	428.375	N. Chaparral	841.625	137.500
DOR 364	487.500	345.875	DOR 451	916.625	145.875
DOR 646	266.625	145.875	NAC 2	904.125	241.625
APC 89-9	654.125	360.375	N. Huasteco	841.625	258.375
DOR 463	445.875	412.500	DOR 448	837.500	281.625
MUS 105	0.000	0.000	NAB 8	870.875	337.500
APC 89-4	333.375	425.000	DOR 450	600.000	79.125
APC 89-8	29.125	175.000	DOR 447	729.125	329.125
NAB 13	0.000	223.000	JU 89	670.875	247.500
			DOR 439	666.625	329.125
			APC 89-17	700.000	362.500
			NAB 299	716.625	383.375
			NAB 16	608.375	279.125
			DOR 466	695.875	275.000
			DOR 442	729.125	416.625
			NAB 19	708.375	395.875
			APC 89-6	704.125	412.500
			DOR 444	675.000	404.125
			APC 89-14	604.125	337.500
Promedio	291.667	277.356	Promedio	737.928	304.947

La utilidad de contar con esta clasificación de genotipos se explica en la figura 9. Las 4 categorías definen genotipos de frijol deseables y no deseables.

Figura 9. Categorías de frijol por su tolerancia y respuesta a la cal en suelos ácidos.



Genotipos clasificados en la categoría III. El grupo de genotipos que se clasificaron en la categoría III como el JU 89-1, se consideran no tolerantes a altos niveles de aluminio y sin respuesta a la aplicación de cal. Esto significa, por un lado que bajo condiciones de estrés por aluminio este grupo de genotipos tiene poca tolerancia y rinde poco, y por otro, que aun bajo condiciones de un suministro adecuado de cal, estos genotipos no responden a su aplicación.

Según el cuadro 10 y figura 9, el rendimiento promedio alcanzado por este grupo de genotipos bajo condiciones de estrés fue de 277.55 kg/ha, mientras que en condiciones de no estrés por aluminio, este grupo de genotipos alcanzó un rendimiento promedio de 291.67 kg/ha.

Por esta razón, a los genotipos que se ubicaron en ésta categoría los descartamos definitivamente para la región de estudio, ya que son plantas genéticamente pobres que no producen bien bajo ninguna condición.

Genotipos clasificados en la categoría IV. Por su parte, los genotipos que se clasificaron en la categoría IV como el N. Chiapas, se consideran no tolerantes al aluminio del suelo, pero con buena respuesta a la aplicación de cal.

Esto significa que a pesar de que bajo condiciones de estrés por aluminio este grupo de genotipos tiene poco potencial (bajo condiciones de estrés por aluminio, este grupo de genotipos obtuvo un rendimiento promedio de biomasa de 304.95 kg/ha), al aplicarse cal se observa una buena respuesta en la producción de biomasa (bajo condiciones de ausencia de estrés por aluminio, el rendimiento promedio de biomasa fue de 737.93 kg/ha; una diferencia de 432.98 kg/ha en comparación con la condición de estrés, según el cuadro 10 y figura 9).

Por esa razón, los genotipos que se ubicaron en ésta categoría pueden bajo ciertas circunstancias, recomendarse a los productores. Por ejemplo, después de verificar

que el incremento del rendimiento obtenido por efecto de aplicar cal al suelo sea suficiente para cubrir los costos de aplicación de la cal y dejar un margen de ganancia. Esta recomendación podrá dirigirse a los productores que disponen de capital para aplicar cal.

Genotipos clasificados en la categoría II. Los genotipos identificados en la categoría II como el MUS 106, se consideran como tolerantes al aluminio sin respuesta a la cal. Esto significa que dichos genotipos producen bien bajo condiciones de alto aluminio pero su rendimiento no se incrementa al aplicar cal.

En el cuadro 10 y figura 9 se puede apreciar que bajo condiciones de estrés por aluminio, este grupo de genotipos rindió un promedio de 613.25 kg/ha de biomasa, mientras que en ausencia de estrés, el promedio alcanzado solo fue de 659.23 kg/ha.

Los genotipos que se ubicaron en ésta categoría se pueden recomendar a los productores de bajos recursos que no tienen capital para adquirir el correctivo, ya que estos genotipos rinden aceptablemente bajo condiciones de estrés. También podrán considerarse como fuente de tolerancia a estrés por aluminio en programas de mejoramiento genético.

Genotipos clasificados en la categoría I. Finalmente, los genotipos clasificados en la categoría I como el Veracruzano y otros 7, se consideraron como tolerantes al aluminio, con buena respuesta a la cal. Es decir, que dichos genotipos producen bien tanto en condiciones de estrés por aluminio como en ausencia de ella.

Los resultados del cuadro 10 y figura 9 indican que en condiciones de estrés por aluminio, este grupo de genotipos alcanzó un rendimiento promedio de biomasa de 547.25 kg/ha, ya considerado aceptable, mientras que al eliminar el estrés con la aplicación de cal al suelo, dicho promedio se incrementó hasta 838.89 kg/ha; una diferencia de 291.64 kg/ha.

Los genotipos que se ubicaron en ésta categoría se pueden recomendar tanto a productores de escasos recursos que no disponen de recursos para aplicar cal, como a productores que dispongan de recursos para aplicar la cal, debido a que el incremento obtenido por la aplicación del correctivo podría ser suficiente para pagar su costo.

Es importante aclarar que estos genotipos se deben recomendar solo para aquellos casos donde se cuente con suelos altos en aluminio, ya que no se conoce su respuesta a suelos con bajo fósforo.

Además, este grupo de genotipos también pueden utilizarse como progenitores en programas de mejoramiento genético para suelos con alto aluminio.

Los resultados anteriores indican que los genotipos deseables para suelos con alto aluminio son aquellos que se ubicaron en la categoría I y que son, en orden de rendimiento: Veracruzano, NAB 22, CUT 58, APG 89-10, APG 89-7, JU 89-2, NAC 3, y DOR 445.

Estos genotipos presentan las características observadas en el cuadro 11, en donde se observa que los genotipos demuestran pequeñas diferencias de los parámetros analizados. Para altura de planta, se observa una variación de los genotipos desde 15.500 cm con Veracruzano, hasta 24.800 con NAC 3.

6.3.3. Evaluación conjunta para obtener genotipos de frijol tolerantes a suelos ácidos.

Con las dos fases anteriores (selección de genotipos por su eficiencia y respuesta al fósforo y por su tolerancia al aluminio y respuesta al encalado) se logra contar con recomendaciones de genotipos de frijol para suelos con bajos niveles de fósforo o bien con altos contenidos de aluminio. Sin embargo, los genotipos a recomendar, de preferencia deberán reunir las dos las características deseables para suelos ácidos, ya

Cuadro 11. Características principales de los genotipos de frijol eficientes con respuesta a la aplicación de cal en suelos ácidos.

Genotipo	altura pl (cm)	vainas/pl	flores/pl	diam. tallo(mm)	p. seco raíz (g/pl)
CLT 58	16.660	2.00	0.00	0.30	2.30
APG 89-7	18.000	5.00	1.00	0.35	1.80
NAC 3	24.800	3.00	1.00	0.30	1.60
DOR 445	16.000	5.00	2.00	0.26	1.80
JU 89-2	18.000	0.00	0.00	0.30	1.30
NAB 22	20.000	2.00	4.00	0.40	1.70
APG 89-10	30.000	2.00	1.00	0.30	1.80
Veracruzano	15.500	0.00	2.00	0.26	1.10

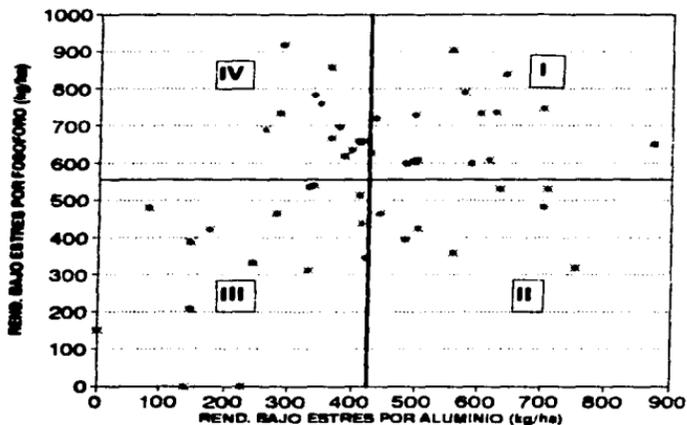
que comúnmente estas se presentan de manera conjunta en dicho tipo de suelos.

Las dos características deseables incluyen: a). que los genotipos sean eficientes en el uso del fósforo del suelo ácido y al mismo tiempo que sean tolerantes o moderadamente tolerantes a la toxicidad por aluminio del suelo.

Para poder obtener los resultados deseados en relación a la selección de genotipos para suelos ácidos, se elaboró la figura 10. En dicha figura se observa que el rendimiento de biomasa promedio de 425.11 kg/ha obtenido bajo condiciones de estrés por aluminio y expresado en el eje X dividió a los genotipos en dos grupos: 22 genotipos de frijol rindieron más que dicho promedio, por lo que se consideraron como tolerantes a las condiciones de estrés por aluminio y 28 rindieron menos que el promedio, por lo que fueron considerados como no tolerantes a dicha condición de suelos ácidos.

Por su parte la producción promedio de materia seca de 555.89 kg/ha obtenido bajo

FIGURA 10. EVALUACION DEL FRIJOL POR SU EFICIENCIA A SUELOS ACIDOS.



condiciones de estrés por fósforo y expresado en el eje Y, dividió a los genotipos en dos grupos: 27 genotipos de frijol fueron eficientes en el aprovechamiento de fósforo bajo las condiciones adversas de bajo fósforo y tuvieron un rendimiento superior al promedio y 23 de ellos fueron ineficientes y presentaron un rendimiento inferior a dicho valor promedio.

Las características consideradas en esta evaluación de eficiencia a las condiciones adversas de los suelos ácidos en conjunto formaron en la gráfica de la figura 10 cuatro cuadrantes en los que se definieron 4 categorías de genotipos.

En el cuadro 12 se puede observar que 14 genotipos formaron la categoría I; 8 genotipos formaron la categoría II; 15 genotipos formaron la categoría III y 13 genotipos formaron la categoría IV. Estas 4 categorías definen genotipos de frijol deseables y no deseables por su eficiencia a las condiciones adversas de suelos ácidos.

Genotipos clasificados en la categoría III. El grupo de 15 genotipos de frijol que se clasificaron en la categoría III como el APG 89-14 se consideran como no tolerantes al aluminio e ineficientes al bajo fósforo. Esto significa que bajo condiciones de suelos ácidos, estos genotipos son susceptibles al alto contenido de aluminio y además también son susceptibles al bajo contenido de fósforo, por lo que su rendimiento es muy bajo. Según el cuadro 12 y figura 10 el rendimiento promedio alcanzado por este grupo de genotipos bajo condiciones de estrés por aluminio y fósforo fue de 292.92 kg/ha, mientras que en condiciones de no estrés por aluminio y fósforo, este grupo de genotipos alcanzó un rendimiento promedio de 547.20 kg/ha.

Por esta razón, a los 15 genotipos de frijol que se ubicaron en esta categoría los descartamos definitivamente por ser no tolerantes a la acidez del suelo para el área de estudio; es decir, son plantas genéticamente pobres que no producen bien bajo las condiciones de suelos ácidos.

Cuadro 12. Categorías de los genotipos de frijol por su tolerancia a suelos ácidos de la Frayleasca.

Categoría I	Categoría II	Categoría III	Categoría IV
NAC 3	NAB 22	APG 89-14	JU 89
Jamapa	APG 89-3	DOR 439	APG 89-9
CUT 39	JU 89-3	JU 89-1	NAB 8
DOR 443	DOR 455	DOR 450	DOR 364
Veracruzano	CUT 38	NAB 16	DOR 448
DOR 441	DOR 449	APG 89-6	DOR 466
APG 89-7	MUS 106	APG 89-8	N. Huateco
APG 89-19	DOR 438	DOR 451	APG 89-17
NAG 302		DOR 442	DOR 444
NAB 7		NAC 2	DOR 463
APG 89-13		DOR 447	NAB 19
APG 89-10		DOR 446	APG 89-4
JU 89-2		MUS 105	NAB 299
DOR 445		NAB 13	
		N. Chiapas	
$\bar{x} = 644.45$	$\bar{x} = 518.02$	$\bar{x} = 292.92$	$\bar{x} = 535.76$
Sin estrés = 712.85	Sin estrés = 745.06	Sin estrés = 547.2	Sin estrés = 649.05

Genotipos clasificados en la categoría IV. Por su parte, los 13 genotipos que se clasificaron en la categoría IV como el JU 89 se consideran no tolerantes a estrés por aluminio pero eficientes al estrés por fósforo. Esto significa que bajo condiciones de estrés por aluminio y fósforo, este grupo de genotipos es susceptible al alto contenido de aluminio, pero es eficiente a bajo fósforo, por lo que su rendimiento es solo regular. En el cuadro 12 se observa que bajo condiciones de estrés a suelos ácidos, este grupo de genotipos rinde un promedio de 535.76 kg/ha, mientras que bajo condiciones de no estrés, el rendimiento promedio es de 649.05 kg/ha.

Por esa razón, los genotipos que se ubicaron en esta categoría pueden bajo ciertas circunstancias recomendarse a los productores o bien utilizarse como progenitores en programas de mejoramiento para suelos ácidos como fuente de tolerancia a bajo fósforo.

Genotipos clasificados en la categoría II. Los genotipos identificados en la categoría II como el NAB 22, se consideran como tolerantes a alto aluminio del suelo e ineficientes a bajo fósforo. Esto significa que bajo condiciones de suelos ácidos, éstos genotipos toleran el alto contenido de aluminio pero son susceptibles al bajo fósforo, por lo que su rendimiento es sólo regular. En el cuadro 12 se puede apreciar que bajo condiciones de suelos ácidos, este grupo de genotipos rindió un promedio de 518.02 kg/ha de biomasa, mientras que en ausencia de estrés el promedio alcanzado solo fue de 745.06 kg/ha.

Los genotipos que se ubicaron en ésta categoría se pueden recomendar bajo ciertas circunstancias a los productores del área de estudio, o bien utilizarse en los programas de mejoramiento para suelos ácidos como fuente de tolerancia a alto aluminio del suelo.

Genotipos clasificados en la categoría I. Finalmente, los genotipos clasificados en la categoría I como el NAC 3 y otros 13 se consideraron como tolerantes a suelos ácidos (alto aluminio y bajo fósforo). Es decir, que éstos genotipos producen bien tanto en condiciones de estrés a suelos ácidos, como en su ausencia (toleran al alto contenido de aluminio y bajo contenido de fósforo). Los resultados del cuadro 12 indican que en condiciones de estrés por suelos ácidos, este grupo de genotipos alcanzó un rendimiento promedio de biomasa de 644.45 kg/ha, ya considerado aceptable, mientras que al eliminar el estrés con la aplicación de cal y fósforo al suelo, dicho promedio se incrementó hasta 712.85 kg/ha; una diferencia de solo 68.4 kg/ha).

El grupo de genotipos ubicados en ésta categoría es el tipo de genotipo que se busca en este trabajo por lo que se pueden recomendar ampliamente a productores de escasos recursos del área de estudio que cuentan con suelos ácidos.

Además, este grupo de genotipos también pueden utilizarse como progenitores en

programas de mejoramiento para suelos ácidos con alto aluminio y bajo contenido de fósforo.

Los resultados anteriores indican que los genotipos deseables para suelos ácidos son aquellos que se ubicaron en la categoría I y que son, en orden de rendimiento: NAC 3, Jamapa, CUT 59, DOR 443, Veracruzano y otros 9 observados en el cuadro 12.

El rendimiento de éstos genotipos y algunas características agronómicas se presentan en el cuadro 13. A diferencia de lo esperado, ninguna de dichas características se relaciona de manera consistente con el rendimiento. Según la literatura, los genotipos que presentan un mayor volumen radical tienen más oportunidad de explorar el suelo y obtener más nutrimentos; sin embargo, para el caso del presente trabajo, dicha condición no se presentó.

6.3. Discusión de resultados.

La selección de genotipos de frijol de frijol por su respuesta y eficiencia a condiciones adversas de los suelos ácidos (bajos contenidos de fósforo y altos contenidos de aluminio intercambiable) debe ser un proceso que reúna características específicas dirigidas para tal fin y no debe basarse en un simple análisis de varianza. Esto queda demostrado en el presente trabajo en el que al seleccionar genotipos con base en un simple análisis de varianza, se obtienen resultados diferentes a cuando se considera de manera conjunta al suelo y a los genotipos mediante la metodología de tamizado propuesta por Thung (1985).

El análisis de varianza indicó que el tratamiento óptimo conduce a un mayor rendimiento de biomasa de frijol y que un grupo numeroso de genotipos resultaron estadísticamente igualmente más rendidores.

Cuadro 13. Rendimiento (kg/ha) de los genotipos de frijol tolerantes a suelos ácidos y algunas características agronómicas de los mismos.

Genotipo	sin estrés	con estrés	altura pl. (cm)	número flores	díam. tallo (mm)	número vainas
Veracruzano	991.625	681.250	18.5	0	0.30	4
DOR 443	858.375	722.938	24.8	1	0.30	3
DOR 445	820.875	593.750	22.0	2	0.35	4
APG 89-10	804.125	550.000	30.0	1	0.30	2
NAC 3	800.375	729.125	26.5	2	0.26	1
APG 89-7	787.500	612.750	18.0	0	0.30	0
JU 89-2	733.750	541.688	11.7	1	0.15	1
DOR 441	591.625	666.688	15.3	2	0.26	0
CUT 59	654.125	681.250	15.0	2	0.30	0
APG 89-13	637.500	611.500	15.0	1	0.26	6
Jamape	579.125	739.563	28.0	0	0.40	1
NAG 302	570.875	760.438	22.0	0	0.30	2
APG 89-19	566.625	577.125	15.5	1	0.25	0
NAB 7	483.375	554.188	27.5	1	0.35	5
Promedio	712.848	644.446	20.71	1	0.29	2

Por su parte, mediante la metodología de tamizado se logró identificar a 4 grupos de genotipos que fueron diferentes entre sí por su respuesta en la producción de biomasa a diferentes condiciones de acidez del suelo. Estos grupos así identificados fueron útiles para desechar aquellos genotipos que no reúnen las características deseables y considerar a los deseables ya sea para su recomendación inmediata a los agricultores o bien para los programas de mejoramiento genético.

De los genotipos identificados como deseables puede mencionarse que confirmaron la hipótesis planteada en relación a que existe material genético de frijol con tolerancia a las condiciones adversas de suelos ácidos, tanto introducido como nativo, ya que testigos como el Veracruzano resultaron dentro del grupo deseable.

Otro aspecto digno de discusión es el relacionado a la consideración de la biomasa total (follaje + raíz) como variable de respuesta para seleccionar a los genotipos en esta fase de invernadero. Esto por la inconsistencia de ambos parámetros individuales

presentada por los genotipos; es decir, no existió una verdadera relación entre dichos parámetros. Sin embargo, en la etapa de campo, evidentemente la variable de respuesta deberá ser el rendimiento de grano si el objetivo es recomendar genotipos directamente para su siembra por los agricultores y la producción de raíz u otra característica si el propósito es identificar progenitores para programas de mejoramiento genético.

VII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación condujeron a las siguientes conclusiones:

El análisis estadístico de la producción de follaje y raíz indicó que en cuanto a los niveles de estrés al suelo, el tratamiento óptimo (sin estrés de fósforo ni aluminio) produjo la mayor cantidad de follaje y raíz del frijol y que en relación al factor genético, un grupo numeroso de genotipos entre los que se encontró al testigo Veracruzano fue el de mayor producción de follaje y raíz.

De acuerdo con la metodología de tamizado o selección de genotipos, se identificaron 4 grupos de genotipos de frijol por su eficiencia y respuesta a fósforo, 4 grupos por su eficiencia y respuesta a la cal y 4 grupos por su tolerancia a las condiciones adversas de suelos ácidos.

De los 4 grupos identificados en cada caso, los genotipos clasificados en la categoría I y considerados como eficientes con buena respuesta fueron los deseables para seleccionar para su recomendación directa o para programas de mejoramiento. El resto de genotipos clasificados en las otras categorías podrán considerarse para recomendarse bajo ciertas restricciones o para desecharse definitivamente.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Adams, F.A. 1984. Soil acidity and liming. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisc. 380 p.
- Bell, L.C. and D.G. Edwards. 1987. The role of aluminum in acid soil infertility. In IBSRAM Proceedings No. 5. pp. 201-223.
- Bornemiza, E. 1966. El fósforo orgánico en suelos tropicales. Turrialba 15: 20-24.
- Cardona, C., C.A. Flor, F.J.M Morales y M.P. Corrales. 1982. Problemas de Campo en los cultivos de Frijol en América Latina. Segunda Edición. CIAT, Cali, Colombia.
- Carver, B.F. and J.D. Ownby. Acid soil tolerance in wheat. Adv. in Agronomy 54:117-173.
- CIAT. 1984. Tolerance to acid soils. Anual Report 1984 Bean Program. CIAT, Cali, Colombia.
- Cochran, T.T., J.G. Salinas y P.A. Sánchez. 1980. An equation for liming acid mineral soils to compensate crop aluminum tolerance. Trop. Agr. (Trinidad) 57:133-140.
- Debouck, D.J. y R. Hidalgo. 1985. Morfología de la planta de frijol común. En López, M., F. Fernández y A. VanSchoonhoven (Eds.). 1985. Frijol: Investigación y producción. CIAT, Cali, Colombia. pp. 7-41.
- Donahue, R., W.R. Miller y J.C. Shickluna. 1988. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Prentice-Hall, Hispano Americano, S.A.
- Fausberder, H.W. 1969. Efecto del encalado en la mejor utilización de fertilizantes fosfatados en un andosol de Costa Rica. Fitotecnia Latinoamericana 6(1): 115-125.

Fenster, W.E. y L.A. León. 1979. Manejo de la fertilización con fósforo para el establecimiento y mantenimiento de pastos mejorados en suelos ácidos e infértiles de América tropical. En: L.E. Tergas y P.A. Sánchez, 1979. Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. CIAT., Cali, Colombia.

Fernández, F., P. Gepts y M. López. Etapas de desarrollo en la planta de Frijol. En Frijol: Investigación y Producción. CIAT, 1985.

Helgar, K.R. and W.M. Porter. 1989. Soil acidification, its measurement and the processes. In Robson, A.D. (Ed.): 1989. Soil acidity and plant growth. Academic Press Australia. pp 61-101.

Kass, D.M., J.W. Bermúdez y L.G. Cedeno. 1985. Respuesta del frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) var. Talamanca a aplicaciones de caliza y fósforo en suelos con altos niveles de aluminio y manganeso en la zona atlántica de Costa Rica. Memoria XXXI Anual reunion PCCMCA. San Pedro Sula. Honduras 3:165-176.

Kamprath, E. 1984. Crop response to lime on soils of the tropics. En Adams (ed.). 1984. Soils acidity and liming. 2a. ed. Mon 12. ASA, Madison. pp. 349-368.

Mela, P. 1963. Tratado de Edafología y sus distintas aplicaciones. Ed. Agrociencia, Zaragoza.

Miramontes, B. y E. Ortega. 1972. Efectos del Carbonato y silicato de Calcio sobre el rendimiento de sorgo y algunas propiedades químicas en tres suelos de México. Agrociencia serie C No. 7: 81-93.

Núñez, E.R. 1990. Efectos de la acidéz del suelo sobre la producción de cultivos y su corrección mediante el encalado. C.P., Chapingo, Méx.

Ortega, J. 1985. Manejo de la acidez de los suelos. En frijol: Investigación y producción. CIAT, Cali, Colombia. p. 347-361.

Pastor C.M. 1985. Conceptos básicos sobre patología del frijol. En López, M., F. Fernández y A. Van Schoonhoven (Eds.). 1985. Frijol: Investigación y producción. CIAT. Cali, Colombia. pp. 7-41.

Ritchie, G.S.P. 1989. The chemical behaviour of aluminum, hydrogen and manganese in acid soils. In Robson, A.D. (Ed.). 1989. Soil acidity and plant growth. Academic Press Australia. pp 1-60.

Sánchez, P.A. y J.G. Salinas. 1983. Suelos ácidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. SCCS. Bogotá, Colombia. p. 93.

Scott, B.J. and J.A. Fisher. 1989. Selection of genotypes tolerant of aluminum and manganese. In Robson, A.D. (Ed.). 1989. Soil acidity and plant growth. Academic Press Australia. pp 61-101.

Thung, M. y J. Ortega. 1984. Requerimiento de los elementos nutricionales en frijol. En XIII curso intensivo para la producción de frijol (Febrero 1986). CIAT. Cali, Colombia.

Thung, M., J. Ortega y O. Erazo. 1985. Tamizado para identificar frijoles adaptados a suelos ácidos. En frijol: Investigación y producción. CIAT. Cali, Colombia. p. 313-346.

White, J.W. 1985. Conceptos básicos de fisiología de frijol. En López, M., F. Fernández y A. VanSchoonhoven (Eds.). 1985. Frijol: Investigación y producción. CIAT. Cali, Colombia. pp. 7-41.