

17483

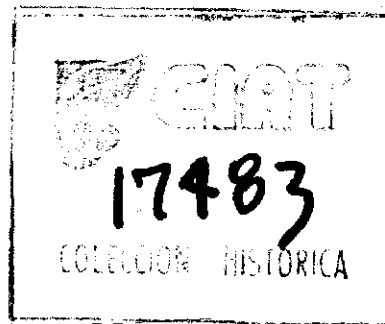


METODOLOGIA SIMULTANEA DE "SCREENING" POR LA EFICIENCIA EN EL USO DE
BAJOS NIVELES DE FOSFORO Y POR LA TOLERANCIA A TOXICIDAD DE ALUMINIO
Y MANGANESO EN SUELOS ADVERSOS PARA FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

Michael Thung
Jorge Ortega
Oscar Erazo

CIAT
BIBLIOTECA

1984



OBJETIVOS

1. Introducción
2. Fósforo en el suelo y su deficiencia en fríjol
3. Aluminio en el suelo y su toxicidad en fríjol
4. Manganeso en el suelo y su toxicidad en fríjol
5. Variación genética del fríjol en condiciones adversas (bajo fósforo y alta toxicidad del aluminio y manganeso)
6. Metodología de "screening"
7. Técnicas en el campo
 - 7.1 Sitio
 - 7.2 Determinación del nivel de stress por aluminio y manganeso
 - 7.3 Determinación del nivel de stress por fósforo
 - 7.4 Tratamiento de "screening" simultáneo
 - 7.5 Preparación de tierra para selección a grande escala, y siembra
 - 7.6 Modificaciones a la metodología de "screening"
 - 7.7. Recolección de la información
 - 7.8 Evaluación de los datos

Metodología simultanea de screening por la eficiencia en el uso de bajos niveles de fósforo y por la tolerancia a toxicidad de aluminio y manganeso en suelos adversos para fríjol (Phaseolus vulgaris L.).

Objetivos:

1. Evaluar la eficiencia del fríjol en el uso bajo niveles de fósforo en el suelo, y también la buena respuesta a fósforo adicional.
2. Evaluar la tolerancia del fríjol a toxicidad de aluminio y manganeso y la buena respuesta a encalamiento adicional.
3. Identificar materiales que tengan ambas características (1 y 2).
4. Recomendar a los fitomejoradores materiales sobresalientes (3) como fuentes de eficiencia y tolerancia para mejorar su resistencia a sequía, a enfermedades, a plagas y también su arquitectura.

1. Introducción

Los rendimientos del fríjol en América Latina, en general, son muy bajos; por ejemplo Brasil (FAO 1976) y México (Lepiz 1977), son países productores de fríjol con un área de producción de 4.1 y 1.8 millones de hectáreas respectivamente y con rendimientos menores de 700 Kg/ha. Estos países representan más del 70% del área sembrada con fríjol, y los bajos rendimientos que allí se obtienen se deben, entre otras causas, a que en la mayoría de los casos el fríjol se siembra en suelos de condiciones adversas, o más específicamente en suelos ácidos con problemas edáficos de bajo fósforo y alto contenido de Aluminio y de vez en cuando Aluminio y Manganeso conjuntamente.

La deficiencia de fósforo es el problema nutricional más común en frijol en América Latina. En muchas regiones de Brasil, especialmente en el Campo Cerrado (Guazzelli et al. 1973) en "Terra Roxa" de Paraná y Minas Gerais en oxisoles y ultisoles de Puerto Rico (Abruña et al. 1974), y en Colombia (CIAT, 1974).

Fassbender (1967), indicó que el 66% de los suelos de la zona frijoleira de Centro América es deficiente en fósforo.

La toxicidad de aluminio o aluminio y manganeso casi siempre ocurre al mismo tiempo en suelos ácidos con baja saturación de base. Muller et al. (1968) mostró que el 20% de 110 muestras analizadas de suelos provenientes de América Central, tenían el pH menor de 6.0, mientras que el frijol crece mejor en suelos con pH entre 6.0-7.5 (Jacob et al. 1963). Miranda et al. (1968), y Freitas et al. (1960), indicaron en Cerrado, Brasil la necesidad de encalamiento para reducir la toxicidad de Al.

Los suelos ácidos se encuentran frecuentemente en zonas trópicas con alta precipitación anual. Estos suelos se vuelven ácidos por muchas causas; entre ellas las más importantes son:

1. El material parental es ácido y por lo tanto los suelos derivados de este también son ácidos.
2. Los suelos son lixiviados por las lluvias fuertes, removiendo del perfil solamente los cationes básicos (principalmente Ca, Mg, y K)
3. El problema de los ácidos del suelo es incrementado por el uso excesivo de fertilizantes formadores de ácidos, por ejemplo, todos los fertilizantes nitrogenados son formas ácidas a excepción de cianamida de calcio (Ca CN₂).

Los suelos ácidos presentan un ambiente no favorable para el crecimiento del fríjol por muchos factores, los cuales son:

1. Bajo contenido de fósforo.
2. Alta capacidad de fijación de fósforo, resulta con deficiencia de fósforo disponible.
3. Altos niveles de Al solo, o Al + Mn que llega a nivel tóxico para el fríjol.
4. Deficiencia de elementos esenciales como Ca, Mg, Mo y S.
5. Efecto directo de alta concentración de H + Al (Bollard y Buttler, 1966).

Además de los factores anteriores, existe la influencia de materia orgánica del suelo y la irregularidad de lluvia, que también limita la producción alta de fríjol *Phaseolus vulgaris* L. (Wolf, 1975).

Generalmente solo los suelos ácidos y además arenosos y bastante lixiviados presentan deficiencia total de Ca, Mg y Zn para el crecimiento de la planta. Por otro lado, un exceso de Al y Mn puede interferir la absorción de Ca, Mg y P y el uso por parte de la planta. Sin embargo, es difícil estudiar estos factores por separado debido a que estos elementos reaccionan entre sí y con otros elementos. El Al reacciona con Ca, P y Mg en el suelo y en la planta, y el Mn reacciona con el P, Fe y Si.

Desafortunadamente los suelos de la mayoría de las áreas productoras de fríjol en América Latina tienen un pH inferior a 6.0 (Muller et al. 1968) y la deficiencia de P es común. El único método de mejorar los suelos con pH inferiores a 5.0, es por encalamiento. La aplicación de CaCO_3 se hace principalmente para mantener los Al^{+++} intercambiables por debajo de los

niveles tóxicos, en vez de aumentar el pH del suelo. El fríjol, como miembro de la familia de las leguminosas, es más sensible a la toxicidad por Al y Mn; por tanto, necesita niveles más altos de Ca que otros cultivos ó gramíneas. Para "Screening" el fríjol con eficiencia a bajos niveles de fósforo, el problema del complejo Al y Mn debe ser controlado por encalamiento. Pero un encalamiento exagerado podría inducir a una deficiencia de Zn y B. La aplicación adecuada de fertilizantes fosforados para suplir la necesidad de la planta y así tener un rendimiento máximo, está fuera del alcance del agricultor y no está de acuerdo con la política de CIAT de insumos mínimos. Además, los fertilizantes fosforados son costosos y no es probable que bajen de precio.

Es más: se sabe que el P después de aplicado tiene una efectividad baja con fertilizante. Se estima que la planta de fríjol utiliza entre el 10 y el 30% del fertilizante aplicado. (Kick et al. 1972). En 1967 Cobra calculó que solamente 9.1 Kg P/ha es absorbido por la planta y que se exporta solamente 3.6 Kg P/ha a través de 1000 kg de semilla. Este dato no es muy elevado comparado con los datos de Haag (1967), que calculó 3.2 Kg P/ha a través de 1000 kg de semillas. Por regla general, entre más deficiencia de P tenga el suelo, menos eficiente es la planta en este tipo de suelo para absorber el P añadido (como fertilizante). Por las razones aducidas es mejor buscar una planta eficiente en el uso de fosforo y tolerante a moderadamente alta toxicidad de Al como condiciones normales en suelos ácidos, que mejorar los suelos. Pero no se trata de buscar plantas que pueden crecer sin fósforo.

Este es la nueva tendencia de la investigación.

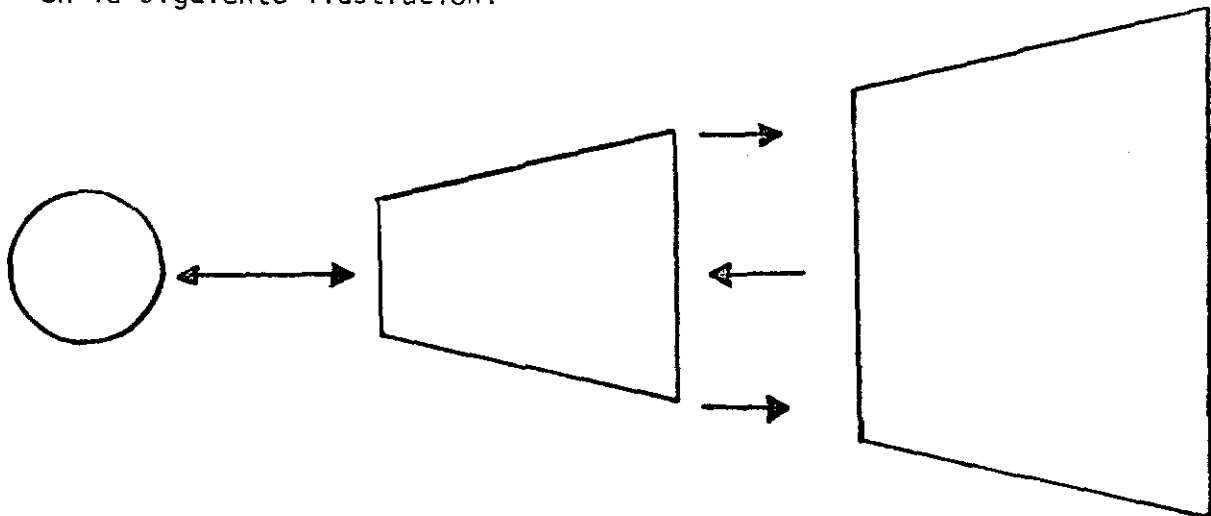
Antes de entrar en la metodología del "Screening" se necesita aprender más sobre la naturaleza del fósforo, aluminio, manganeso y su interrelación en la planta.

2. Fósforo en el suelo y su deficiencia en fríjol

El fósforo en el suelo está sujeto a cambios constantes, y el proceso es muy complicado. Este fósforo puede dividirse en tres formas de ocurrencia en el suelo, que son:

1. El fósforo es disponible directamente a través de la solución del suelo para las plantas.
2. El fósforo es inestable. Este tipo de fósforo se fija ligeramente y con el tiempo puede ser transformado en una forma disponible para la planta.
3. El fósforo que la planta no puede aprovechar porque se fija pronto.

La relación entre estas tres formas se puede explicar con más claridad en la siguiente ilustración:



Fosfato en solución del suelo aprovechable por la planta.

Fosfato inestable parcialmente aprovechable por la planta

Fosfato fijado No aprovechable por la planta

En general, la disponibilidad del fósforo disminuye con la acidez del suelo.

La deficiencia de fósforo en la planta de fríjol se manifiesta en el cambio del color de las hojas a verde oscuro, porque el crecimiento de la planta es inicialmente más afectada que la producción de clorofila, (Hecht-Buchholz, 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. La extensión de la raíz en el suelo es limitada por poco crecimiento. La raíz principal es muy corta y de vez en cuando se nota como raíz principal sino que aparece como raíz de familia gramínea.

3. Aluminio en el suelo y su toxicidad en fríjol

Dentro de los elementos mayores que forman la crusta de tierra, el aluminio ocupa el segundo lugar (Scheffer et al, 1970). Pero esta gran cantidad no es dañina, si este aluminio no está en forma asimilable por la planta. En los suelos ácidos el catión Al^{+++} y $(Al OH)^{++}$ son tóxicos para el fríjol como planta muy susceptible a este elemento.

La toxicidad de aluminio afecta principalmente a las raíces que a la parte aérea en la primera época de crecimiento. El aluminio afecta las raíces inhibiendo la división celular y el poco desarrollo del sistema radicular (Macleod and Jackson, 1967, Fleming et al. 1968, Foy, 1974). La planta susceptible absorbe más aluminio y lo va acumulando superficialmente ó dentro de sus raíces. Por éso detiene el desarrollo de las raíces,

como efecto directo, y disminuye el crecimiento de la planta en general, como efecto secundario. También el aluminio reduce la absorción de fósforo por la planta debido a que el fósforo en solución del suelo reacciona con aluminio y forma fosfato de aluminio, el cual no es disponible para la planta. Dentro de la planta también se postula hubo esta reacción, debido a la deficiencia más severa de P en la planta.

Lo anteriormente mencionado explica por qué el síntoma de toxicidad de aluminio aparece de vez en cuando con deficiencia de fósforo.

El síntoma de toxicidad de aluminio en fríjol, generalmente se expresa en una planta pequeña, muy suelta en el suelo. Las hojas jóvenes se vuelven amarillas. Si la toxicidad es muy grave, aparecen necrozamientos en las hojas, empezando por los márgenes. Las raíces son las partes más afectadas por Al; por esta razón se utiliza como parámetro de tolerancia en muchas investigaciones (Armiger et al. 1968, Reid et al. 1971, y Kerridge et al. 1971).

4. Manganeso en el suelo y su toxicidad en fríjol

En el suelo, el manganeso se encuentra en tres formas: Mn^{++} , Mn^{+++} , y Mn^{++++} ; solamente Mn^{++} es asimilable por la planta, y está en complejo de absorción o libre en la solución del suelo. En suelos ácidos con origen de ceniza volcánica como andosoles, tienen un alto contenido de este elemento y causa mucho daño al fríjol. Mn^{+++} y Mn^{++++} pueden ser fácilmente reducidos a Mn^{++} , si el terreno está sujeto a inundación temporal durante la época de lluvia.

La absorción de manganeso y su transporte en la planta es en la

forma iónica de Mn^{++} , este elemento es poco móvil porque él no puede pasar el floema (Van Goor et al. 1974). Por éso Mn se acumula y queda en las hojas de la planta. La planta de fríjol puede absorber bastante Mn antes de producir síntoma tóxico y bajo rendimiento. El contenido hasta 1000 ppm no es raro en las hojas.

La toxicidad de manganeso en fríjol se manifiesta por el amarillamiento entre nervaduras, deformación y encocamiento de las hojas cogollos, y necrosis en las hojas viejas si la toxicidad es grave. Las raíces no se afectan directamente sino en forma secundaria después de deteriorarse el follaje. Hay dos teorías para explicar estos síntomas de toxicidad del manganeso, que son:

- 1.- Efecto directo del elemento de manganeso a la planta.
- 2.- Efecto indirecto que induce a deficiencia de hierro.

En las hojas, Mn reemplaza a Fe en forma directa o Mn oxida Fe^{++} a Fe^{+++} ; este Fe^{+++} forma quelato de hierro y Fe^{++} , que queda escaso y produce síntomas de deficiencia de hierro.

5. Variación genética del fríjol en condiciones adversas (bajo fósforo y alta toxicidad del aluminio y manganeso)

Existe gran evidencia de la variación genética del fríjol en cuanto a su eficiencia en el uso de fósforo y tolerancia a la toxicidad de aluminio y manganeso. Algunas variedades comerciales de Brasil como Carioca, Mulatinho 349 (65059) no solamente son eficientes en el uso del fósforo, sino también tolerantes a un nivel moderadamente alto de aluminio y manganeso, mientras que las variedades comerciales de América Central y Colombia son

susceptibles a estas condiciones adversas de suelos. El fríjol de color negro no es más tolerante o eficiente que otros colores. Nuestros datos recientes muestran que el color de los granos negros es igual a otros colores en su eficiencia a bajos niveles de fósforo y su tolerancia a toxicidad de aluminio y manganeso.

Lindgren (1976), CIAT (1976) y Gerloft (1963) han evidenciado la variación de eficiencia en el uso del fósforo. Mientras Gabelman (1976) y Whiteaker (1972) confirmaron la heredabilidad de este factor en la habichuela (poroto verde de Phaseolus vulgaris L.).

6. Metodología de "Screening"

Muchos investigadores tratan de producir un método a través de ensayos en casa de malla, invernadero o campo, con el fin de hacer un "screening" que facilite manejar grandes cantidades de materiales en un tiempo relativamente corto, barato y confiable o con una buena correlación en el rendimiento final. En el caso del fríjol son los granos. En el caso de eficiencia de la planta en condiciones de bajo fósforo, se usan diferentes parámetros derivados de diferentes órganos de la planta. Whiteaker (1972) usó parámetro de eficiencia en el uso del fósforo.

$$E.U.F. = \frac{\text{total mg parte \u00e1rea de la planta}}{\text{total mg P en parte \u00e1rea de la planta}}$$

McLachlan (1976) usó la actividad de la enzima fosfatasa en las raíces, mientras Salinas et al. (1975) usó la tasa relativa de extensión en las raíces. Todos informaron buena correlación entre sus parámetros y el rendimiento final. En el caso de tolerancia de la planta a nivel alto de

aluminio en el suelo, la mayoría de investigadores están de acuerdo en usar las raíces (partes de la planta más afectadas por toxicidad de aluminio) como índices de tolerancia; Foy (1974) usó índice de crecimiento de raíces; Reid et al. (1978) intensidad de color de raíces; Hanson et al. (1979) la actividad de enzima ATP en las raíces. También al final todos aseguraron que usando su parámetro tiene buena correlación con el rendimiento.

En ambos casos, tanto para el estudio del aluminio como del fósforo, se usan parámetros de una parte de la planta que se daña durante el proceso de evaluación, lo que hace imposible usar la misma planta para producir semilla, excepto en el método de Polle et al. (1978), quienes sostienen que la planta se puede recuperar después con un tratamiento de hematocilina. Por esta razón, es difícil hacer el "Screening" en generaciones tempranas al mismo tiempo garantizar la identidad genética del material seleccionado, salvo que se pudieran detectar plantas genéticamente iguales en una población segregante. Otro factor que se debe tener en cuenta, es que se utilizan sus semillas (granos) para el consumo humano, el cual es una parte generativa de la planta, en el que hay alto contenido de fósforo. Si la selección ocurre en la época vegetativa de la planta, se supone que el resto del ciclo de vegetación, la planta tiene la misma capacidad de absorción e ignora la alta actividad de movilización de fosfato durante la época de llenado de las vainas. Haag et al. (1976) mostró que la absorción máxima de P culmina en la época de formación de vainas y mantiene este nivel de absorción hasta la maduración fisiológica, mientras que en época de germinación hasta pre-floración, la absorción es muy baja.

Debido a lo anterior, es preferible hacer el "screening" en el campo;

además, todavía hay inconsistencias en los resultados del "screening" bajo condiciones artificiales, comparado con los resultados de campo en maíz (Brown et al. (1974)), y con habichuelas (Foy, 1976).

Para facilitar la separación de los materiales en categorías: eficiente o ineficiente, se utilizan rendimientos (granos) como parámetro. No se usa otro parámetro indirecto antes de saber el mecanismo de eficiencia o tolerancia en el cultivo del frijol. También se observó que el vigor de crecimiento del cultivo en cualquier etapa, no tiene correlación clara con el rendimiento final. Las plantas pueden crecer perfectamente bien con bajos niveles de P hasta el período de formación de vainas. Sin embargo, en la etapa de llenado de vainas, en las parcelas "con stress de P", no se llenan todas las vainas formadas, lo que sí sucede en las parcelas bajo condiciones "sin stress de P".

Por estas razones el "screening" del programa Agronomía de Frijol- Pruebas Preliminares, se lleva a cabo en el campo. (Ver Figura 1, esquema del "screening").

7. Técnicas en el Campo

7.1. Sitio.

Hay muchas zonas que tienen solamente problema de bajo fósforo sin alta toxicidad de aluminio; por ejemplo, Cerrado y "Terra Roxa" Goias, Brasil. Pero también hay sitios que poseen todos los problemas (alta toxicidad de Al + Mn y bajo nivel de P). La fertilidad de una zona a otra varía lo mismo que su nivel de toxicidad de aluminio y manganeso o solo aluminio. Esto implica que el "screening" en el campo necesita un ensayo preliminar para determinar los niveles de stress, ya sea por aluminio y manganeso o también por fósforo.

7.2. Determinación del nivel de stress por aluminio y manganeso.

El determinar el nivel de stress por aluminio y manganeso puede hacerse por el sencillo método de encalamiento en el campo. Se hace un ensayo de encalamiento con diferentes niveles de cal agrícola o cal dolomítica aplicada al voleo y se siembran en él varios materiales de frijol, incluyendo materiales tolerantes como Carioca (G 4017), Río Tibaji (G4830), Mulatinho (G5059) y también materiales susceptibles como Puebla 152 negro (G3352), Sanilac (G4498), Zamorano 2 (G4482). Afortunadamente, con encalamiento mínimo y alta materia orgánica en el suelo de CIAT-Quilichao, se elimina "efecto de toxicidad" de manganeso antes de ser efectivo para eliminar "efecto de toxicidad" de aluminio. Con este conocimiento se puede llevar a cabo un "screening" de stress por aluminio sin preocuparse del efecto de manganeso. La toxicidad de aluminio se calcula a través de la saturación del mismo en el suelo, de acuerdo con sugerencia de Pearson 1974,

y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{Saturación de Al (\%)} = \frac{100 \times \text{Al}}{\text{Al} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}}$$

donde las cantidades de cationes se toman en unidades de miligramo equivalentes en 100 gramos de suelo.

Los resultados de este tipo de ensayo se pueden ver en la figura 2, como ejemplo. De esta figura se puede tomar el nivel de stress por Al, donde su valor de saturación está más o menos estable después del encalamiento. En este caso 800 Kg CaCO_3 equivalente, ó 65% de saturación de aluminio, es suficiente bajo condiciones en CIAT- Quilichao. Menos de esta dosis, la saturación de aluminio fluctúa erráticamente por la dificultad en la aplicación de cal homogénea en el campo. El nivel de saturación de aluminio parece bastante alto, pero si se mira el análisis de suelo de CIAT- Quilichao, se puede explicar por razón del alto contenido de materia orgánica que ayuda a amortiguar la toxicidad de aluminio a través de su complejo de absorción.

Si se aplica una dosis más alta que este nivel de stress, tanto las plantas susceptibles como las plantas tolerantes crecen y producen bien.

También en este ensayo se puede determinar la dosis sin stress por aluminio, es decir, que el contenido de aluminio no afecta más el crecimiento del frijol. Según la figura 2, se puede estimar que la dosis de más de 4.000 kg CaCO_3 equivalente, es suficiente para reducir (no eliminar) el efecto de toxicidad de aluminio, porque dentro de esta dosis la saturación de aluminio está alrededor de 10 que se supone suficiente para

el crecimiento del fríjol. La aplicación de más de 6.000 kg CaCO_3 equivalente, puede causar otros problemas como por ejemplo la movilización o fijación de muchos elementos Zn y B, así como fijación de fósforo. También el exceso en la aplicación de cal puede causar algunas enfermedades en las raíces del fríjol, y económicamente no es aceptable.

7.3. Determinación del nivel de stress por fósforo.

Con el mismo sistema como se determina el stress por aluminio, se hacen ensayos a niveles de fósforo, usando también diferentes materiales de fríjol.

Los niveles de fósforo se deben ensayar cuidadosamente, porque la dosis es muy pequeña y se aplica en banda. Los datos de análisis de suelo no se pueden usar para determinar el requerimiento de fósforo ni tampoco para determinar nivel crítico de fósforo. Bajo condiciones de CIAT-Quilichao, el fríjol puede crecer perfectamente con nivel de fósforo alrededor de 4 ppm con extracción Bray II y 2.000 kg CaCO_3 equivalente, mientras que en otros países con 4ppm, no crece ni una planta de fríjol. Esta diferencia se puede deducir por el contenido de materia orgánica, al cual se fija el fósforo temporalmente y da tiempo disponible.

Para determinar el nivel de stress por fósforo, se necesita hacer una gráfica como en la figura 3, donde los puntos representan un dato de cada repetición y la dispersión de los puntos es máxima, es decir, que la diferenciación de los materiales es la más marcada. Este punto es usado como nivel de stress por fósforo.

También se puede usar la estadística. Aquí se determina la mayor

desviación, como niveles de stress por fósforo.

El nivel sin stress se determina al contrario del nivel de stress. Aquí se buscan los puntos que estén más cerca entre sí. La diferencia que existe de los puntos, se supone como la diferencia del nivel de rendimiento máximo de materiales.

El nivel sin stress de fósforo tiene un límite; si se aplica en exceso, puede dañar la relación entre elemento y también económicamente no se puede, dado su alto costo.

7.4. Tratamiento de "screening" simultáneo.

Después de saber los niveles de stress de aluminio y fósforo, y también los niveles sin stress u óptimo de cal y fósforo, se pueden combinar estos niveles para hacer un "screening" simultáneo, como se ve en la figura 1. Cada parcela representa un tratamiento llevado a cabo, por lo menos con tres repeticiones.

Tratamiento I: Parcelas con stress por Al pero con suficiente fósforo.

Tratamiento II: Parcelas con stress por fósforo pero sin stress de Al*

Tratamiento III: Parcelas óptimas (sin stress por aluminio y por fósforo).

Tratamiento III Tratamiento I = efecto de aluminio

Tratamiento III Tratamiento II = efecto de fósforo.

* (con suficiente aplicación de cal)

7.5. Preparación de tierra para selección a grande escala, y siembra.

Después de conocer los niveles de stress por Al, por P y niveles sin stress, se prepara el campo para encalamiento. Si se necesitan 800 kg ó 4.000 kg CaCO_3 equivalentes, la mitad se aplica al voleo y se incorpora

tan profundamente como sea posible (con arado de reja o vertedera); la otra mitad se aplica al voleo antes de sembrar mientras la úrea se aplica separadamente por ser higroscópica (ver apéndice para tratamiento correctivo en CIAT-Quilichao). Se siembra en exceso (20% más) una hilera de tres metros, con una distancia de 0.6 m entre hileras. Se debe lograr una población de 25 plantas/m² después del raleo; dos semanas después de la germinación. Se usan tres replicaciones. Los materiales deben separarse de acuerdo con el hábito de crecimiento. Los hábitos de crecimiento I y II pueden sembrarse lado a lado, mientras que los del hábito de crecimiento III deben sembrarse juntos para lograr un cierto grado de competencia dentro del hábito de crecimiento y no de un hábito a otro. Sólo se cosechan los dos metros internos dejando bordes de medio metro en cada punta.

7.6 Modificaciones a la Metodología de "Screening"

En base a los resultados obtenidos con la metodología de "screening", en condiciones de campo, en los suelos de la subestación de "Quilichao", se procedió con algunas modificaciones. El "screening" se separó en tres etapas (I, II y III), que incluyen los aspectos siguientes:

Etapa I: Integrada por líneas de frijol entre 200 y 300, que conforman los EP (Ensayos Uniformes, Preliminares de Rendimiento); además de siete testigos: Carioca, Puebla 152, Mulatinho G 5059, Mulatinho G 5054, Rio Tibaji G 4830, Iguaçu G 4821, ICA Pijao; evaluados como tolerantes a condiciones de suelos ácidos. Al tiempo se pueden evaluar también líneas avanzadas de los mejoradores y/o de los viveros de adaptación y los Pre-VEF. Cada material se siembra en parcelas de 4 surcos por 3 metros de largo, distanciados a 60 cm y agrupados por hábito y color de grano. Los tratamientos que incluye esta etapa son: stress por fósforo y stress por aluminio. En stress

por fósforo se aplica 1 ton/ha de CaCO_3 equivalente por semestre, al voleo e incorporada, 75 kg/ha de P_2O_5 como Superfosfato Triple 46%, en banda en el fondo del surco, 60 kg/ha de Nitrógeno como Urea 46%, 60 kg/ha de K_2O como KCl 60%, aplicados en banda; micronutrientes, B y Zn, foliarmente al 0.5%, de acuerdo con manifestación de síntomas deficitarios.

En stress por aluminio, se aplica 500 kg/ha de CaCO_3 equivalente, 220 kg/ha de P_2O_5 como SFT 46%, 60 kg/ha de N como Urea 46%, 60 kg/ha de K_2O como KCl 60% y micronutrientes; aplicados en igual forma que para el tratamiento de stress por fósforo. No incluye replicaciones, se toman datos sobre adaptación (escala 1: bueno - 5: malo) y se cosecha los dos surcos centrales para evaluación de rendimiento y sus componentes, al 14% de humedad. El screening se protege contra plagas y/o enfermedades, y antes de siembra y después de cosecha se hace un análisis completo de suelos a 0-20 y 20-40 cm de profundidad.

Etapa II: Formada por aquellos materiales de frijol, (50-80), que muestran en Etapa I buena adaptación y rendimientos, y los mismos testigos de Etapa I. Consta de tres tratamientos: sin stress, stress por fósforo, stress por aluminio, que se distribuyen en forma bloqueada con un diseño de bloques al azar y con tres replicaciones. El tamaño de parcela por material es de 4 surcos por 3 metros de largo a 60 cm de distancia. Se cosechan los dos surcos centrales. Se registran datos fenológicos (días a germinación, días a floración, días a madurez fisiológica) y componentes de rendimiento, (número de plantas por parcela, número de vainas de cinco plantas, número de granos de cinco plantas, peso de granos de cinco plantas, peso total en gr/parcela al 14% de humedad), para el correspondiente análisis de varianza.

El tratamiento sin stress consta de: 2.5 ton/ha de CaCO_3 equivalente por se-

mestre, 300 kg/ha de P_2O_5 como SFT 46%, fertilización basal, al suelo, de:
:N:100 kg/ha como Urea 46%, K_2O : 100 kg/ha como KCl 60%, S elemental: 20
kg/ha, 1 kg/ha de Mg (20 kg/ha de $MgSO_4$), Boro: 1 kg/ha (10 kg/ha de Borax),
Zn: 5 kg/ha (25 kg/ha de $ZnSO_4$), Molibdeno: 1 kg/ha (1 kg/ha de Molibdato de
Sodio y/o Amonio).

El tratamiento de stress por fósforo consta de: 1 ton/ha de $CaCO_3$ equi-
valente, por semestre, 50 kg/ha de P_2O_5 como SFT 46%; y los demás nutrime-
tos al igual que en stress por fósforo de Etapa I.

En stress por aluminio se aplica por semestre 500 kg/ha de $CaCO_3$ equivalente,
200 kg/ha de P_2O_5 como SFT 46% y los otros nutrimentos al igual que para el
stress por fósforo de Etapa I.

Etapa III: Incluye los materiales de frijol, alrededor de 15 más los siete
testigos de Etapa I, que han sobresalido en Etapa II por sus buenos rendi-
mientos de grano seco. Consta de los tratamientos descritos en Etapa II,
distribuidos en bloques al azar con cuatro replicaciones. El tamaño de par-
cela por material es de 5 surcos por 4 metros de largo y a 60 cm de distan-
cia. El manejo agronómico es igual para Etapas I y II; se cosechan los tres
surcos centrales y se registran los datos que se tienen en cuenta en la Eta-
pa II.

El tratamiento sin stress es igual al comentado para la Etapa II. El de
stress por fósforo recibe 1 ton/ha de $CaCO_3$ equivalente por semestre, 30 kg
/ha de P_2O_5 como SFT 46% y los otros nutrimentos al igual que en Etapas I
y II.

El de stress por aluminio consta de 400 kg/ha de $CaCO_3$ equivalente por semes-
tre, 180 kg/ha de P_2O_5 como SFT 46% y el resto de nutrimentos igual que en
etapas anteriores.

Es importante destacar que los niveles de stress para fósforo y aluminio, se han establecido para las condiciones de los ultisoles de Quilichao, los cuales deben irse manejando teniendo en cuenta el efecto residual, para ello se recomienda el análisis completo de suelos antes y después de cada cosecha. Además, los niveles propuestos, no necesariamente pueden ser válidos para otros suelos y/o ambientes y es necesario establecerlos en cada lugar y/o país.

7.7 Recolección de la Información

a. Fenológica

1. Días a la germinación (cuando haya germinado el 50%).
2. Tasa de germinación
3. Días a floración
4. Días a la madurez fisiológica

b. Análisis de rendimiento

1. Número de plantas cosechadas
2. Número de vainas llenas/planta (muestra de 5 plantas/hilera)
3. Número de vainas/planta
4. Rendimiento g/m^2 con una humedad del 14%

7.8. Evaluación de los datos.

Una evaluación estadística no daría resultados satisfactorios puesto que las diferencias en rendimiento de materiales son demasiado grandes. El principal objetivo es observar la estabilidad del rendimiento en las tres ó cuatro replicaciones dentro de un hábito de crecimiento. De ser necesario ésto puede reducirse aún más a grupos de color de la semilla.

Se siembran siempre en cada "screening" los mismos materiales estándar. Estos materiales pueden usarse siempre para medir la importancia relativa de las diferencias entre semillas, porque el rendimiento está sujeto a condiciones climatológicas, y los materiales estándar se usan como factor correctivo.

Antes de seleccionar los materiales para separarlos según su característica, se necesitan dos parámetros adicionales derivados del rendimiento y su tratamiento para medir sus respuestas.

$$1) \alpha = \frac{\text{Rendimiento en parcela sin stress-Rend. en parcela con stress por P.}}{\text{Diferencia de } P_{205} \text{ kg/ha en parcela sin stress y en parcelas con stress por P.}}$$

No se usan ppm de P en el suelo porque los datos de análisis químico del suelo para P dependen mucho de condiciones hídricas y del tiempo después de aplicarse.

$$2) \beta = \frac{\text{Rendimiento en parcela sin stress-Rend. en parcela con stress por Al}}{\text{Diferencia de saturación de aluminio (\%) en parcela con stress y sin stress por Al.}}$$

Los materiales de un grupo (según el color de granos o su hábito de crecimiento) pueden clasificarse con la ayuda del parámetro y promedio del rendimiento

de parcelas con "stress" de este grupo.

La figura 4, muestra la clasificación de eficiencia y su respuesta a la aplicación de fertilizante fosfórico. En el eje X se coloca el rendimiento de materiales bajo stress por P; y en el eje Y se coloca su valor α .

La línea promedia del rendimiento (en este caso 99 gm/m^2), divide los materiales en dos grupos. En la izquierda son materiales ineficientes, mientras que en la derecha son materiales eficientes. Mientras que la línea promedia de α (en este caso $2.2 \text{ kg/ha P}_2\text{O}_5$) separa los materiales con respuesta, arriba en la línea, y los materiales sin respuesta abajo de la línea promedia de α . De esta manera podemos definir los materiales en cuatro categorías:

- 1.- Planta eficiente de buena respuesta (ECR) - Una planta de buen rendimiento tanto en condiciones de stress de P, como en suministro adecuado de P.
- 2.- Planta eficiente sin respuesta (ESR) - Esta producirá bien bajo un stress de P, pero no rinde igual que otras plantas bajo condiciones óptimas de disponibilidad de P.
- 3.- Planta ineficiente sin respuesta (ISR) - Esta es una planta genéticamente pobre que no produce bien bajo condiciones adecuadas o inadecuadas de fósforo.
- 4.- Planta ineficiente de buena respuesta (ICR) - Una planta que produce menos bajo un stress de P, pero que produce la misma cantidad o más que la planta eficiente con una disponibilidad adecuada de P.

Esta clasificación se puede ver más clara en la Fig. 5.

Las plantas de categoría 3 las descartamos inmediatamente, y las plantas de categoría 2 las podemos usar directamente para los pequeños agricultores que no tienen la costumbre o no son capaces de fertilizar. Las plantas de categoría 4 se pueden entregar a los agricultores que usan fertilizantes, si el valor económico de los materiales (color, tamaño de grano) es aceptable. La categoría 1 se puede usar directamente para pequeños agricultores. Estos materiales se usan como fuente de tolerancia o eficiencia en el programa, con el fin de mejorar los materiales e incorporar la resistencia de algunas enfermedades importantes.

Es interesante que los resultados confirman el postulado de Lynes (1938), según el cual: "los materiales más eficientes bajo condiciones adversas, no necesariamente son los mejores en óptimas condiciones" (Figura 6).

El efecto de nitrógeno en el "screening" es también muy importante. Si se efectúa un "screening" con suministro de nitrógeno inadecuado, la respuesta de variedades al fertilizante fosfórico se confunde con el efecto negativo por nitrógeno (Figura 7). Por eso en el "screening" es necesario aplicar suficiente nitrógeno como en el caso de CIAT-Quilicaho, se aplica 100 kg N/ha en forma de urea.

La eficiencia en el uso de fósforo, adicional, varía entre los semestres por influencia del sistema agroclimático. En la Figura 8 se vé que varían entre 2.41 y 1.11 para 1978A y 1978B, respectivamente. Pero la clasificación de los materiales eficientes o ineficientes queda constante, aunque el promedio de rendimiento bajo condiciones de "stress" por P está reducido en el segundo semestre (1978B). Solamente algunos materiales no quedan constantes.

A través de este resultado de evaluación, se escogieron solamente materiales que tienen características de eficiencia en condiciones de "stress" por P con buena respuesta a fertilización de fósforo, o poseen características para tolerar desde la moderada, hasta la alta toxicidad por Al y Mn; así se puede afirmar que estos materiales se comportan bien en condiciones normales.

Las Figuras 9 y 10 muestran alta correlación entre materiales condicionados al "stress" de fósforo y materiales tolerantes a la moderada toxi-

cidad por Al y Mn, con su rendimiento potencial.

EVALUACION CONJUNTA PARA OBTENER MATERIALES TOLERANTES A CONDICIONES
ADVERSAS DE SUELOS

Estos materiales deben tener todas las características en sí; eficientes en el uso del fósforo en el suelo, con respuesta a fertilizantes fosfóricos, y al mismo tiempo tolerantes a moderada toxicidad de aluminio y con respuesta a encalamiento.

A través de una gráfica (Figura 11), se pueden evaluar e identificar materiales con las características deseables. Los únicos materiales que quedan en el cuadrante I se identifican como tolerantes a condiciones de suelos ácidos. La mayoría de estos materiales identificados hasta este momento como tolerantes, son de origen brasilero donde deben adaptarse a condiciones adversas; pero algunos materiales no comerciales también poseen esta característica, como G4000.

Este resultado muestra la efectividad del sistema de "screening" en Santander de Quilichao, donde también el Al y el Mn están afectando la producción.

Para ilustrar más ampliamente el manejo de la información obtenida a través de la metodología de "screening", se incluye en los Cuadros 2 y 3 y en las Figuras 12, 13 y 14, como otro ejemplo, el procesamiento de datos.

Cuadro 1. Padres con eficiencia a bajo fósforo

Identificación	Hábito	Grano	
		Tamaño	Color
1. CARIOCA	III	Pequeño	Crema rayado
2. G 4000	II	Pequeño	Gris
3. G 5059 (P786)	II	Pequeño	Crema
4. G 5201 (P2)	II	Pequeño	Negro
5. IGUAÇU	II	Pequeño	Negro
6. RIO TIBAGI	II	Pequeño	Negro

Cuadro 2. Materiales eficientes a bajo fósforo con menos del 10% de saturación de Aluminio en CIAT-Quilichao, 1979-8.

Identificación	Color semilla	Hábito	Rendimiento kg/ha		Factor de respuesta α
			50 kg P ₂ O ₅ /ha (22 kg P/ha)	300 kg P ₂ O ₅ /ha (133 kg P/ha)	
1 Carioca	Crema	III	2558	3129	2.3
2 BAT 449	Negro	II	2543	3045	2.0
3 <u>EMP 28</u>	Bayo	II	2216	2739	2.1
4 BAT 115	Negro	II	2155	2800	2.6
5 A 22	Café	III	2107	2724	2.4
6 <u>BAT 458</u>	Negro	II	2061	2717	2.6
7 BAT 450	Negro	II	2057	2715	2.6
8 BAT 263	Negro	III	2049	2660	2.5
9 BAT 317	Crema	II	2011	2598	1.7
10 BAT 76	Negro	II	1977	2436	1.8

\bar{R} 2173

$\bar{\alpha}$ 2.2

$$\text{Factor de respuesta} = \frac{\text{rendimiento alto P} - \text{rendimiento bajo P}}{\text{kg/ha P}_2\text{O}_5 \text{ sin estrés} - \text{kg/ha P}_2\text{O}_5 \text{ estrés} \times \text{P}}$$

Cuadro 3. Materiales tolerantes a niveles moderadamente altos de Aluminio y Manganeso en suelos con 65% de saturación de Aluminio en CIAT-Quilichao, 1979-B.

Identificación	Color semilla	Hábito	Rendimiento kg/ha		Factor de respuesta β
			65% Saturación Al	10% Saturación Al	
1 BAT 450	Negro	II	472	2394	34
2 EMP 28	Bayo	II	555	2297	32
3 <u>BAT 458</u>	Negro	II	555	2580	37
4 Carioca	Crema	III	616	2717	38
5 BAT 449	Negro	II	466	2354	34
6 BAT 76	Negro	II	457	2500	37
6 BAT 115	Negro	II	456	2584	39
8 A 22	Café	III	452	2446	36
9 BAT 317	Crema	II	450	2650	40
10 BAT 263	Negro	III	450	2406	36

\bar{R} 493

$\bar{\beta}$ 36.3

$$\text{Factor de respuesta } \beta = \frac{\text{rendimiento sin estrés} - \text{rendimiento con estrés} \times \text{Al} + \text{Mn}}{\% \text{ saturación Al trat. estrés} \times \text{Al} - \% \text{ saturación Al trat. sin estrés}}$$

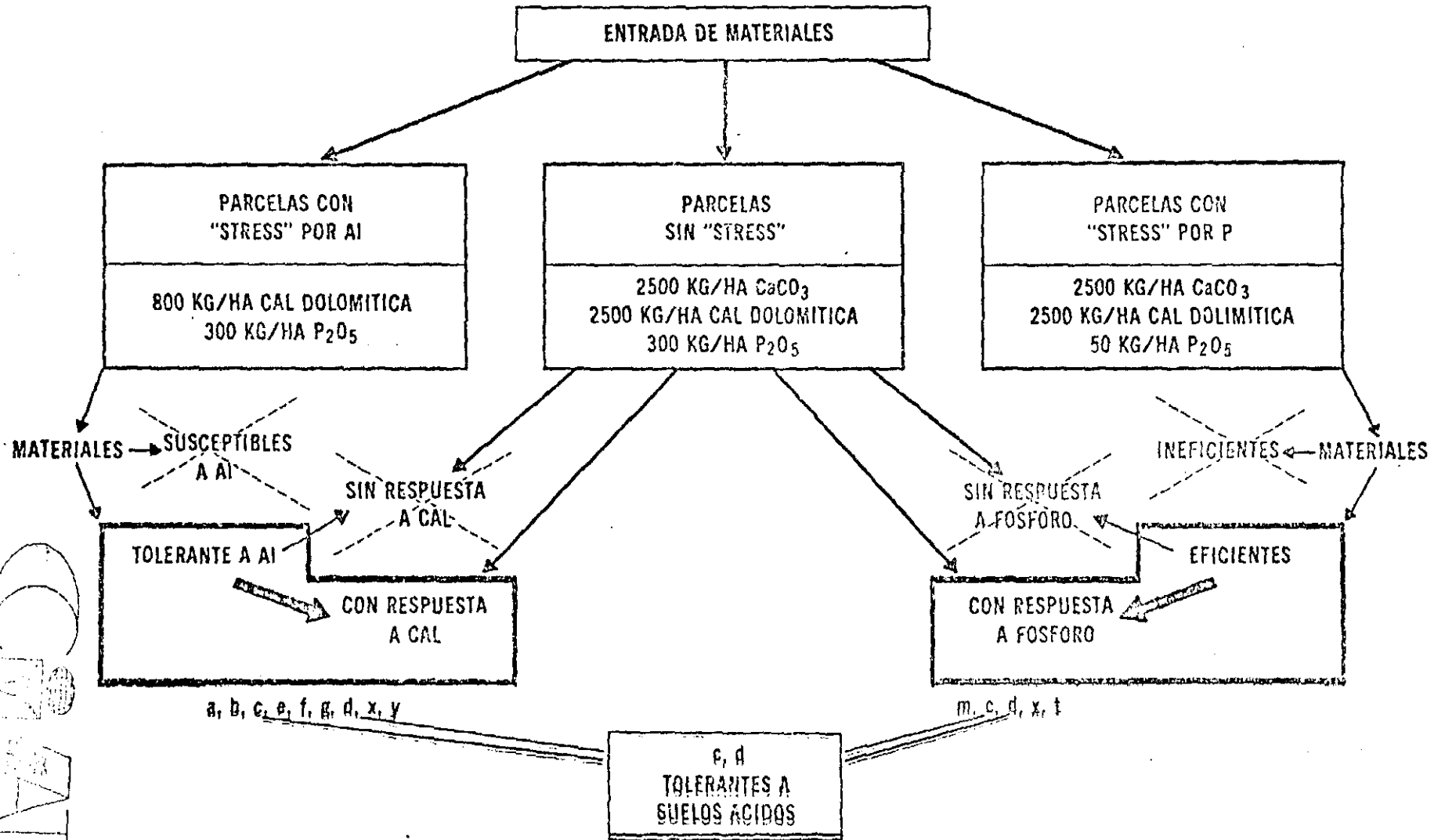
Apéndice : 1

FERTILIZANTES CORRECTIVOS PARA CIAT-Quilichao

Elemento	Dosis kg/ha	Forma del fertilizante	Cantidad kg/ha
N	100 - N	Urea	240
P	50-300 ~ P ₂ O ₅	Superfosfato triple	670
K	100 - K ₂ O	Sulfato de Potasio	200
S	20 - S	Azufre	20
B	1 - B	Borax	10
Zn	5 - Zn	Sulfato de Zinc	25
Mg	1 - Mg	Sulfato de Magnesio	20
Mo	-	Molybdeno de Sodio	1

Figura 1 :

ESQUEMA DEL "SCREENING"



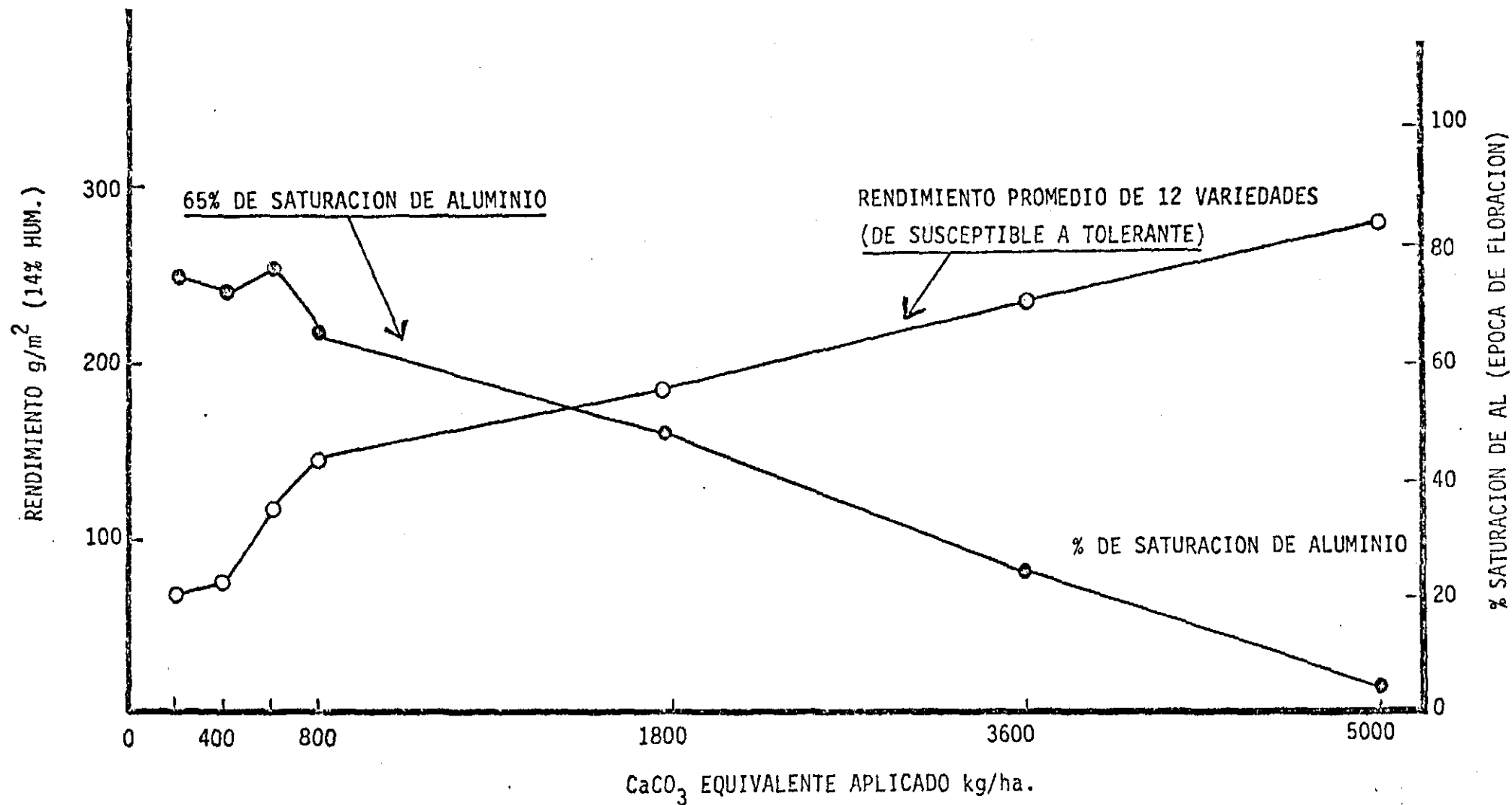
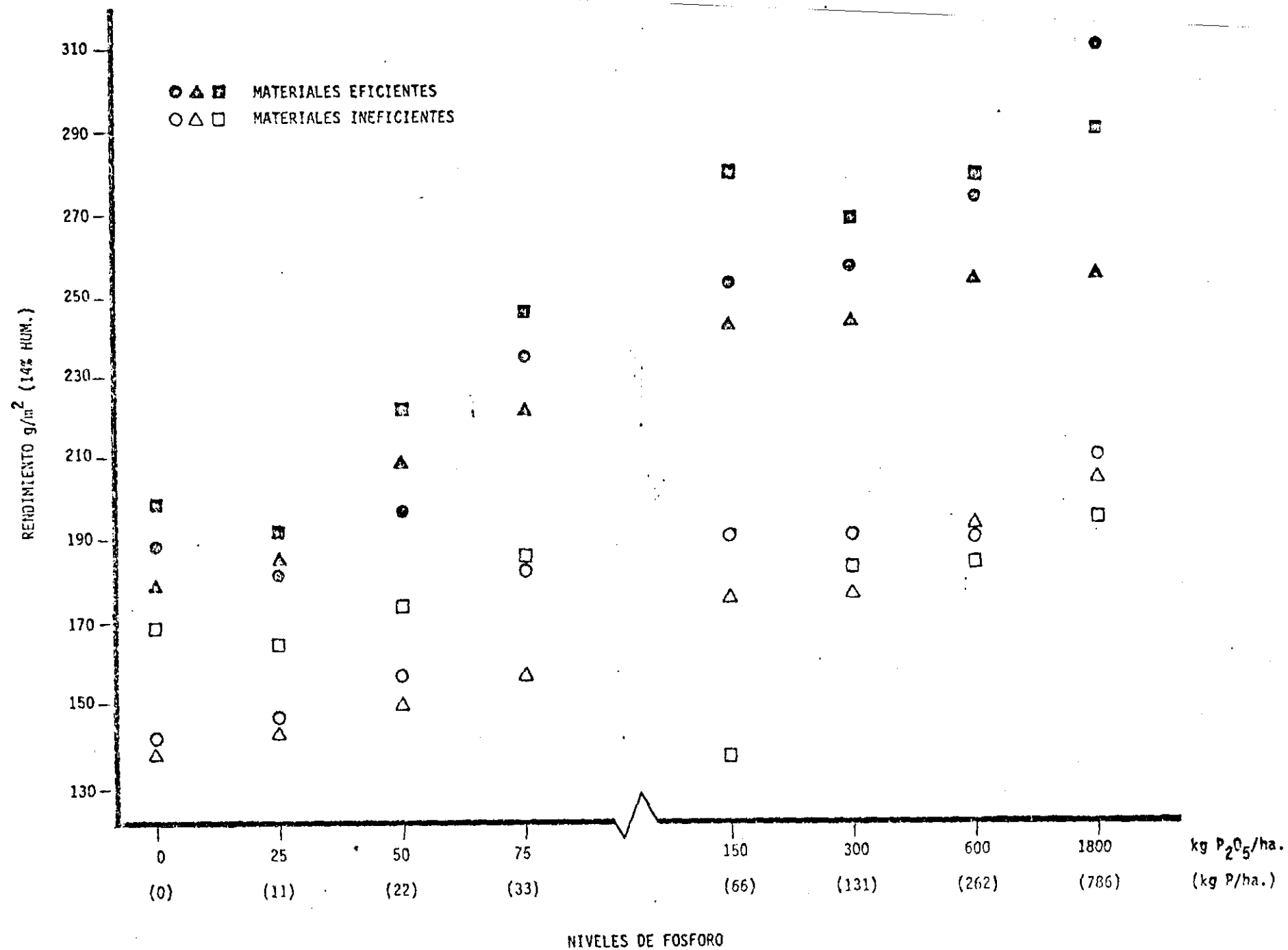


FIGURA 2: EFECTO DE LA SATURACION DE AL DURANTE LA EPOCA DE FLORACION, EN RENDIMIENTO DE 12 VARIEDADES DE FRIJOL EN CIAT-QUILICHAO, 1979A. (CV = 22%; DMS 0.05 = 40)

FIGURA 3: EFECTO DE FOSFORO EN LA PRODUCCION DE FRIJOL (CIAT-QUILICHAO 1979)



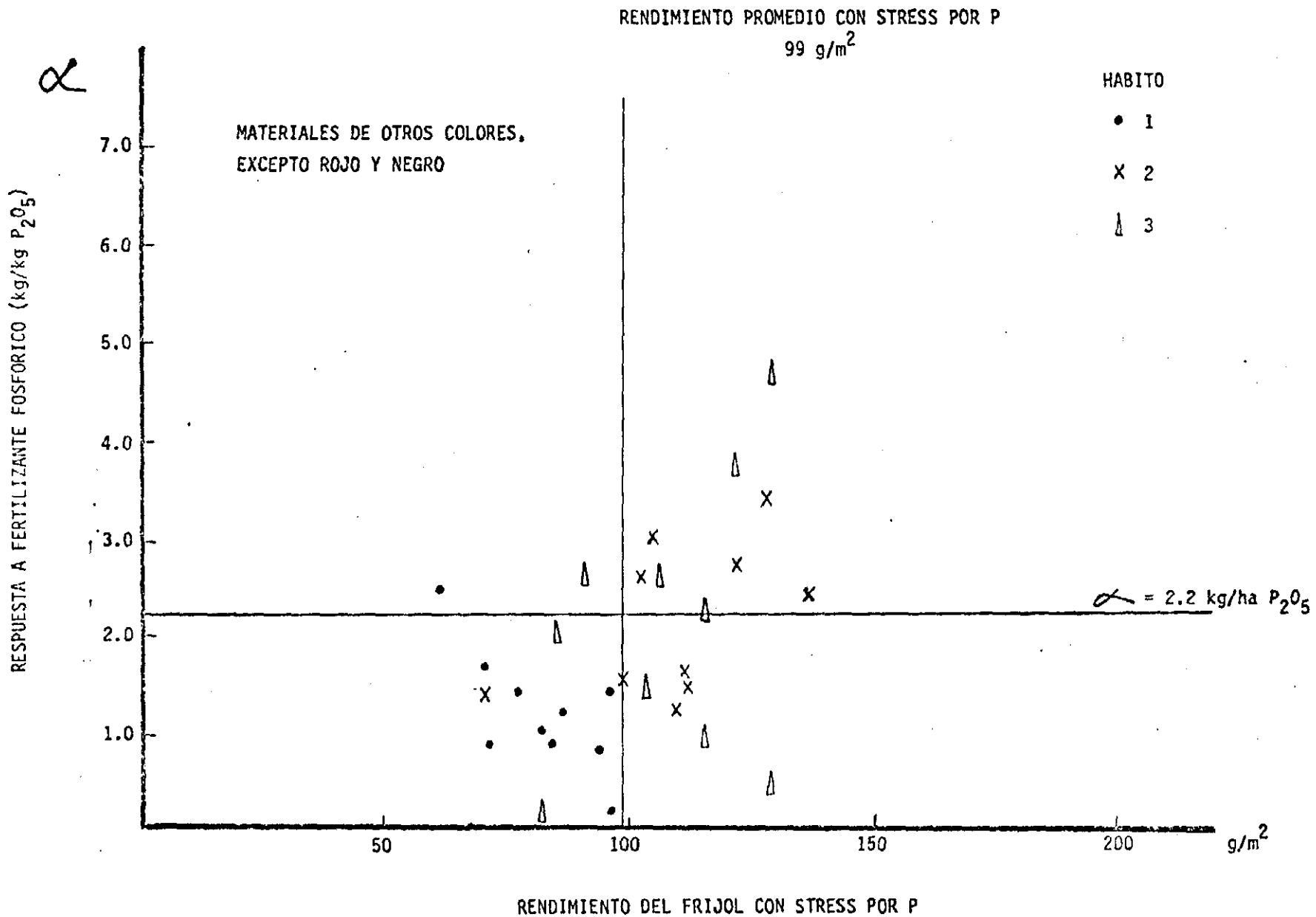


FIGURA 4: EVALUACION DE MATERIALES PARA SU EFICIENCIA Y RESPUESTA A FERTILIZANTE FOSFORICO EN CIAT-QUILICHAO

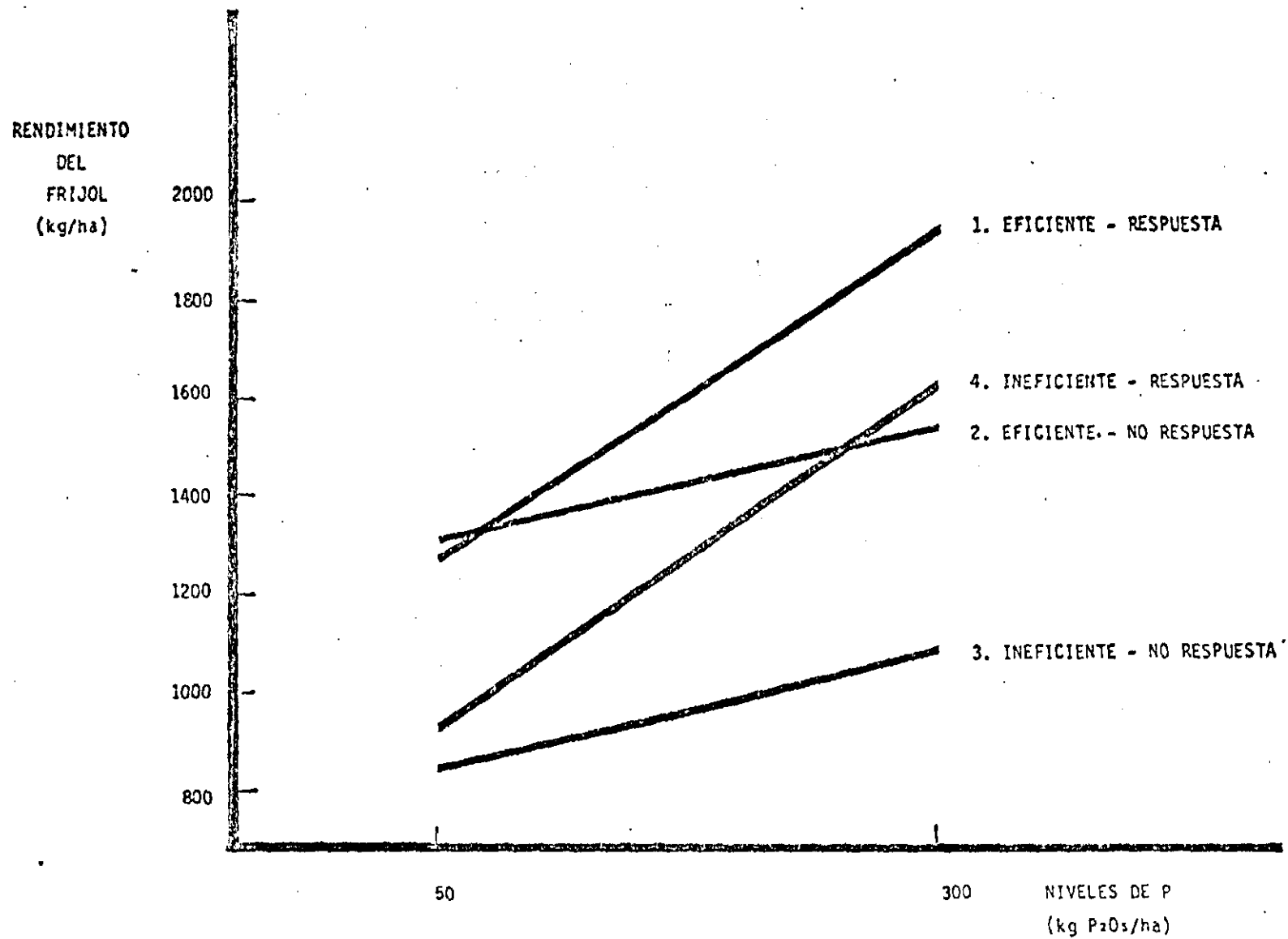


Fig. 5: DIFERENTES CURVAS DE RESPUESTA DE PHASEOLUS VULGARIS L. A NIVELES DE P

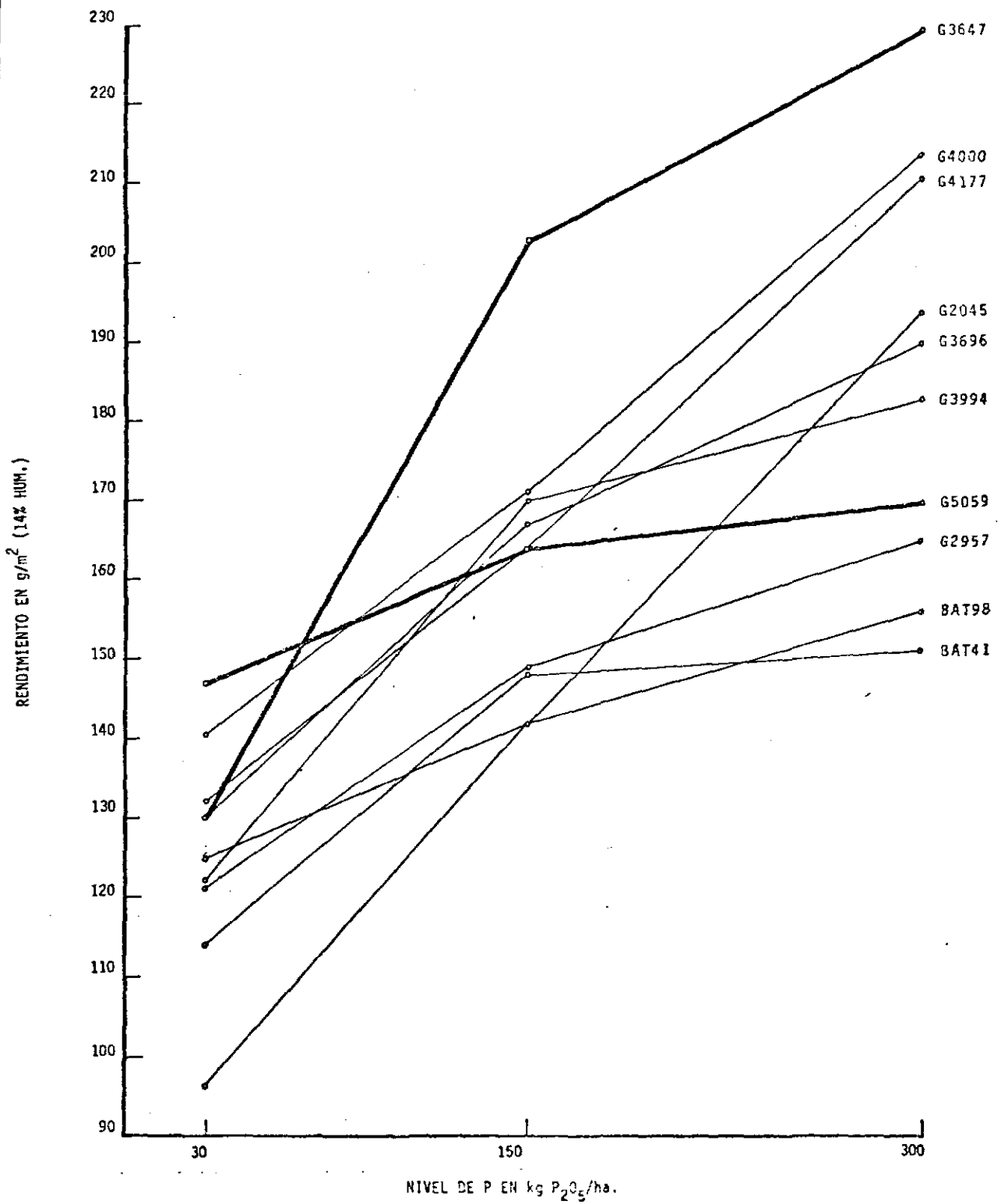


FIGURA 6: RESPUESTA DE ALGUNOS CULTIVARES DE FRIJOL (PHASEOLUS VULGARIS L.) A DIFERENTES NIVELES DE FOSFORO

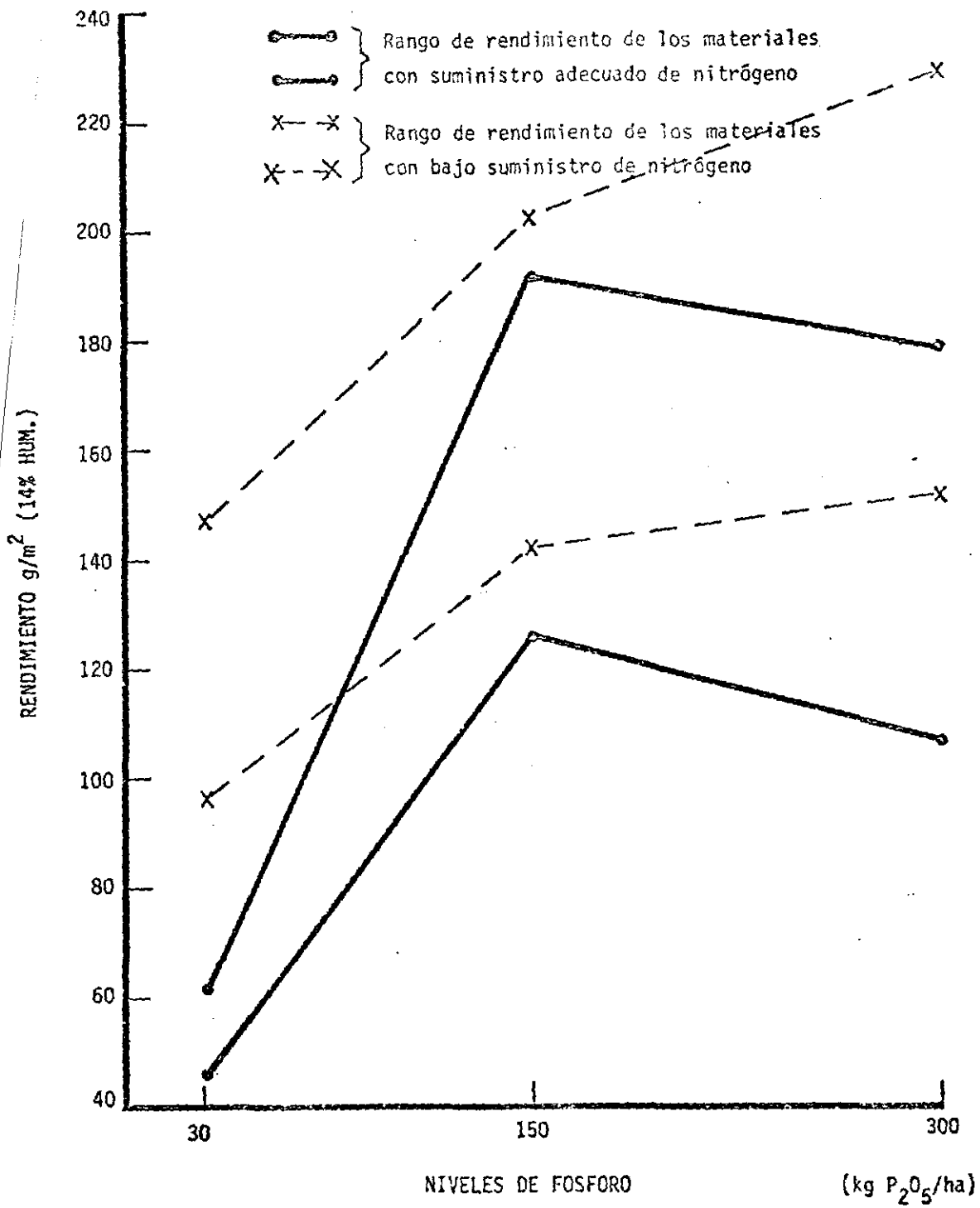


FIG. 7: RANGO DE RESPUESTA DE FRIJOL A DIFERENTES NIVELES DE P, AFECTADO
 POR DIFERENTES NIVELES DE N

Fig. 8
Efectos de diferentes semestres

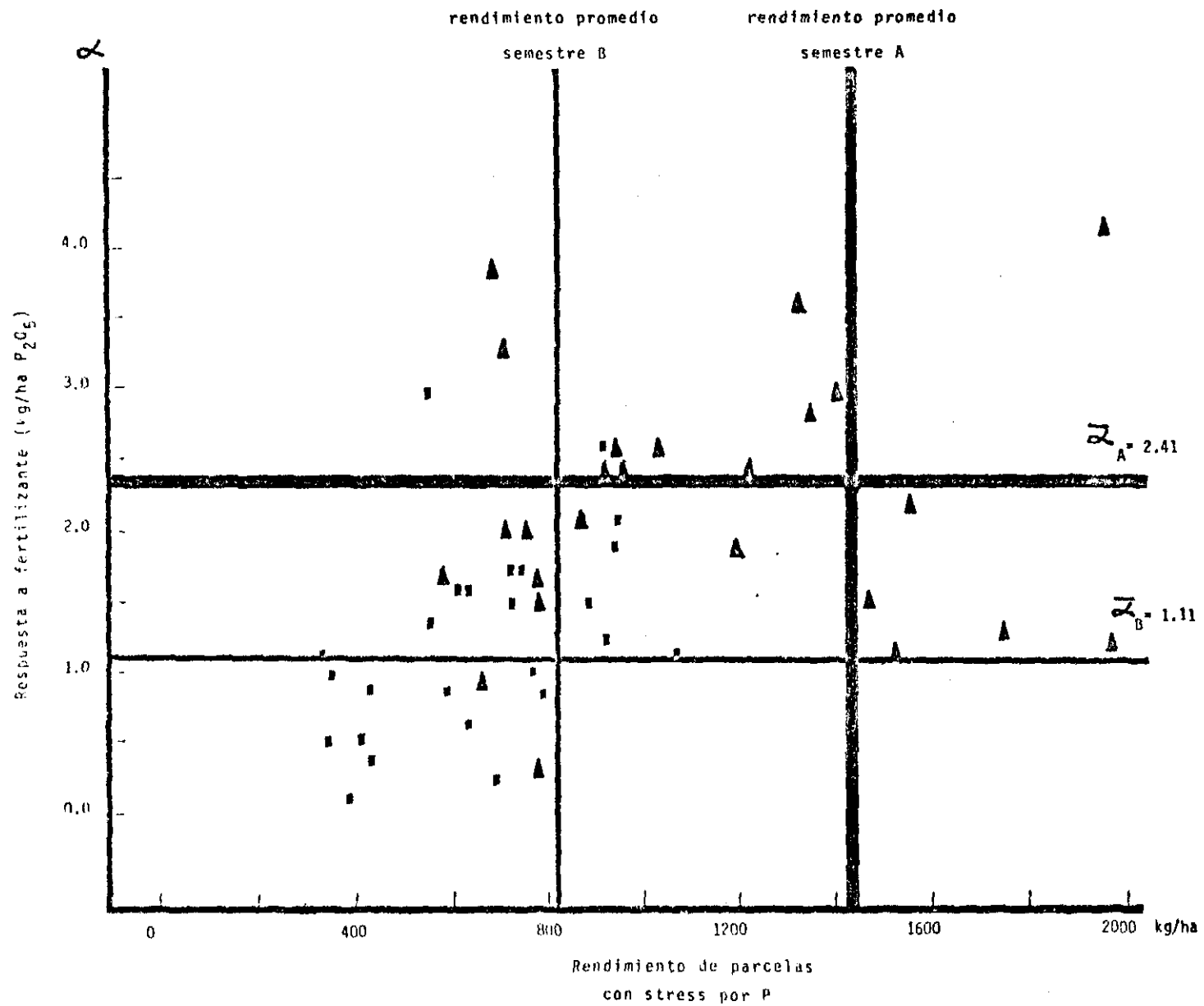


FIGURA 9: CORRELACION ENTRE RENDIMIENTO POTENCIAL
Y RENDIMIENTO BAJO STRESS POR P
CIAT-QUILICHAO 1979 A

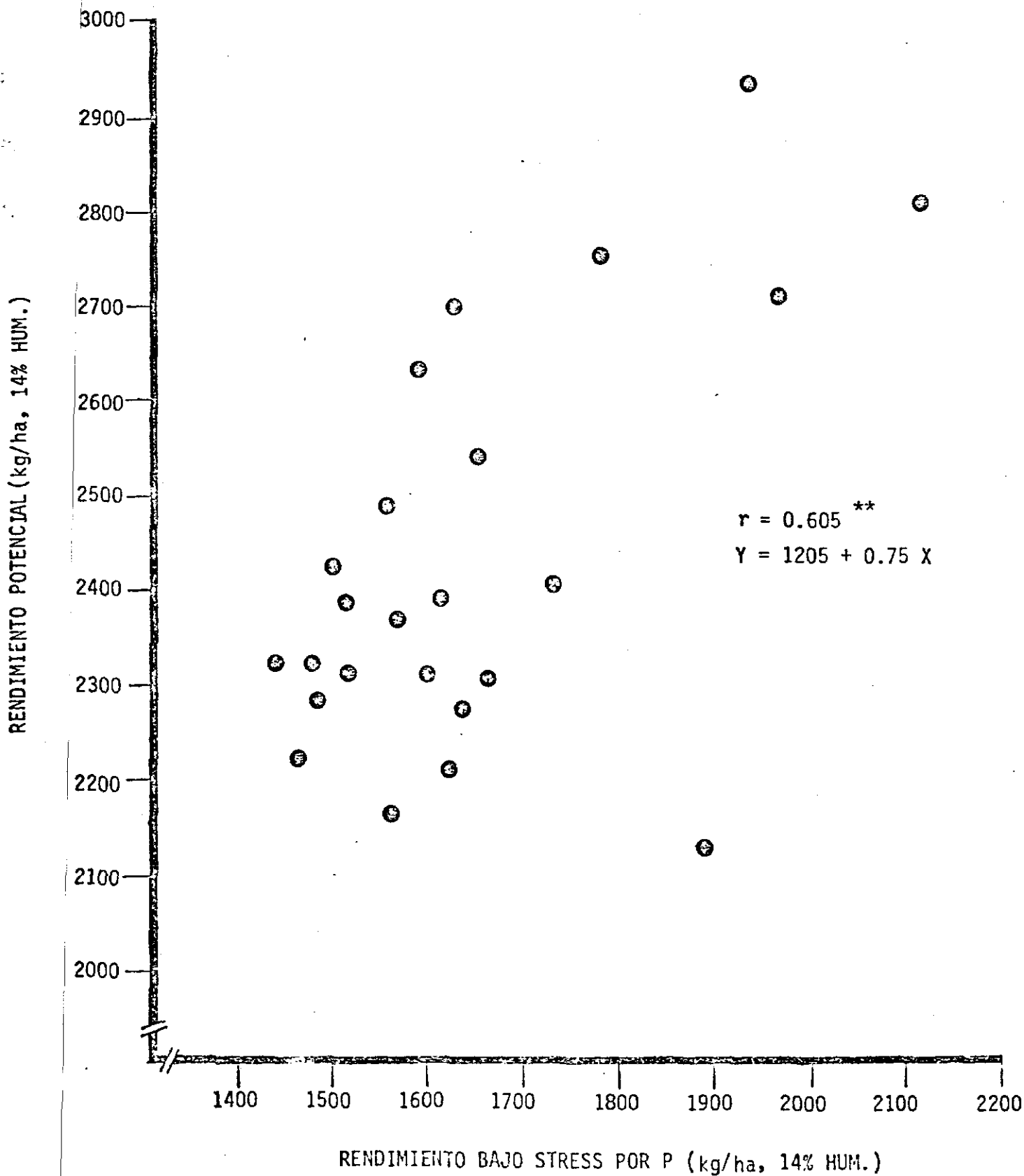
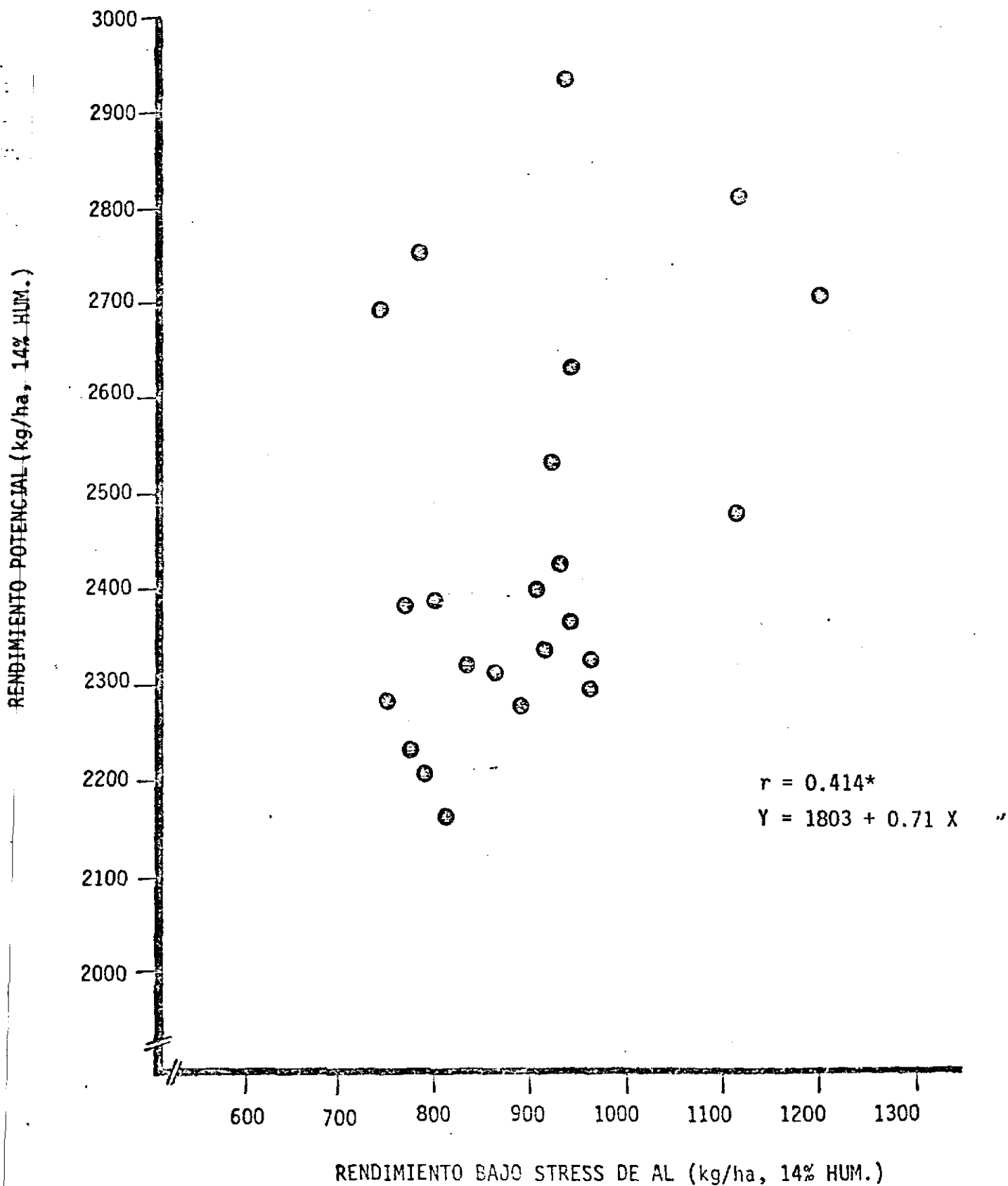


FIGURA 10: CORRELACION ENTRE RENDIMIENTO POTENCIAL
Y RENDIMIENTO BAJO STRESS POR AL
CIAT-QUILICHAO 1979 A



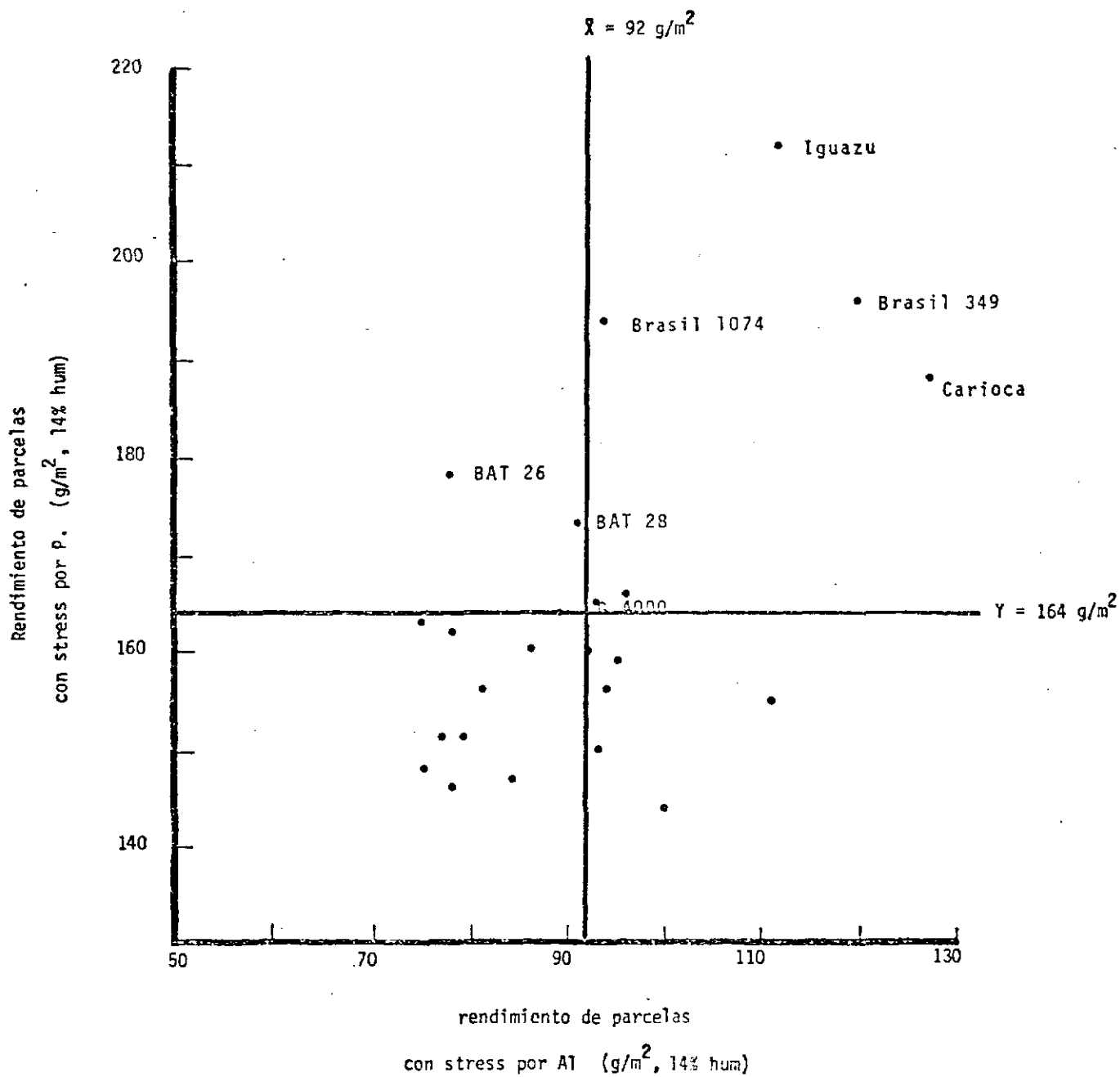


FIG. 11: EVALUACION PARA OBTENER MATERIALES TOLERANTES A CONDICIONES ADVERSAS DE SUELOS

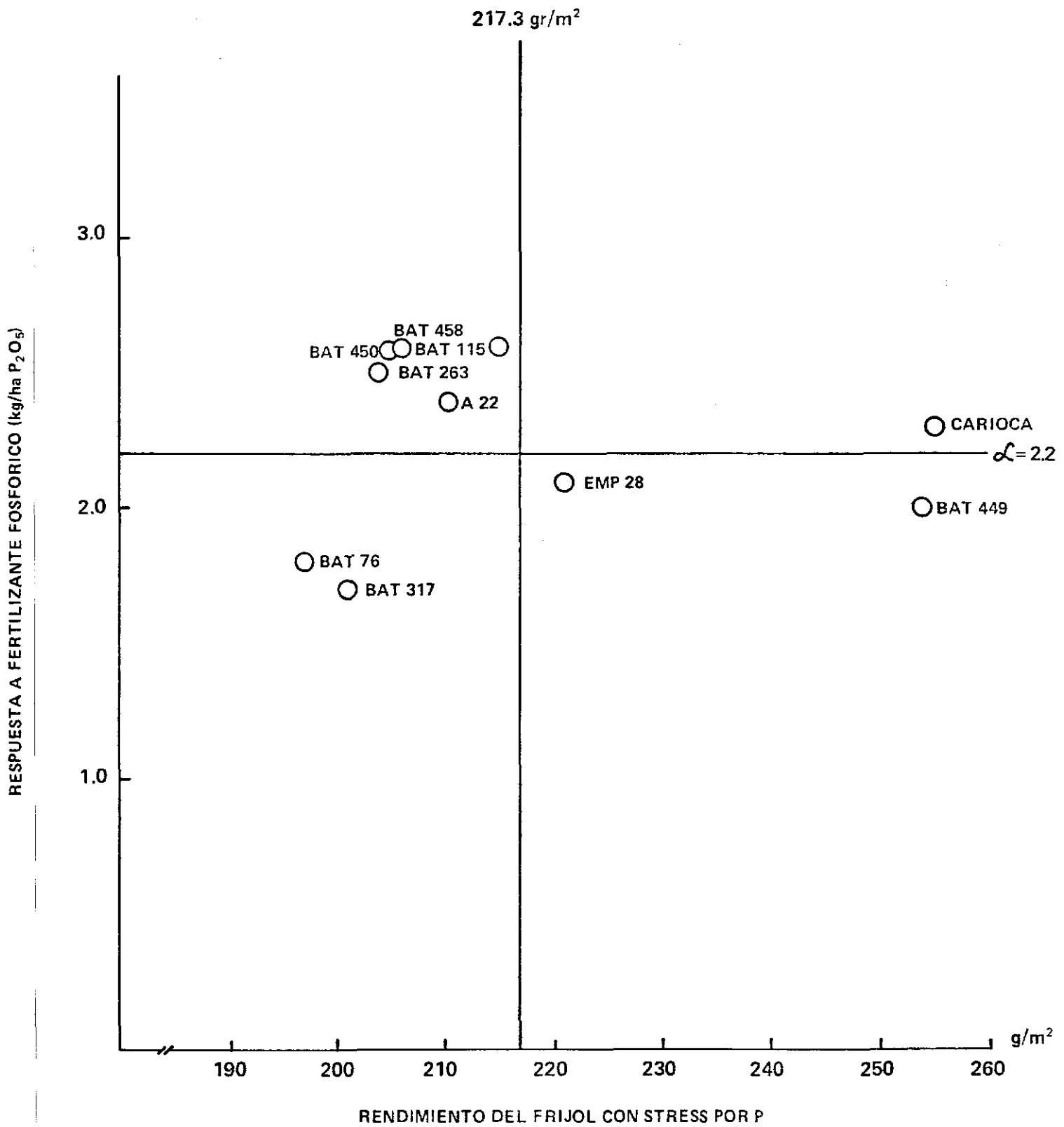


Figura 12. Evaluación de materiales para su eficiencia y respuesta a fertilizante fosfórico en CIAT-Quilichao.

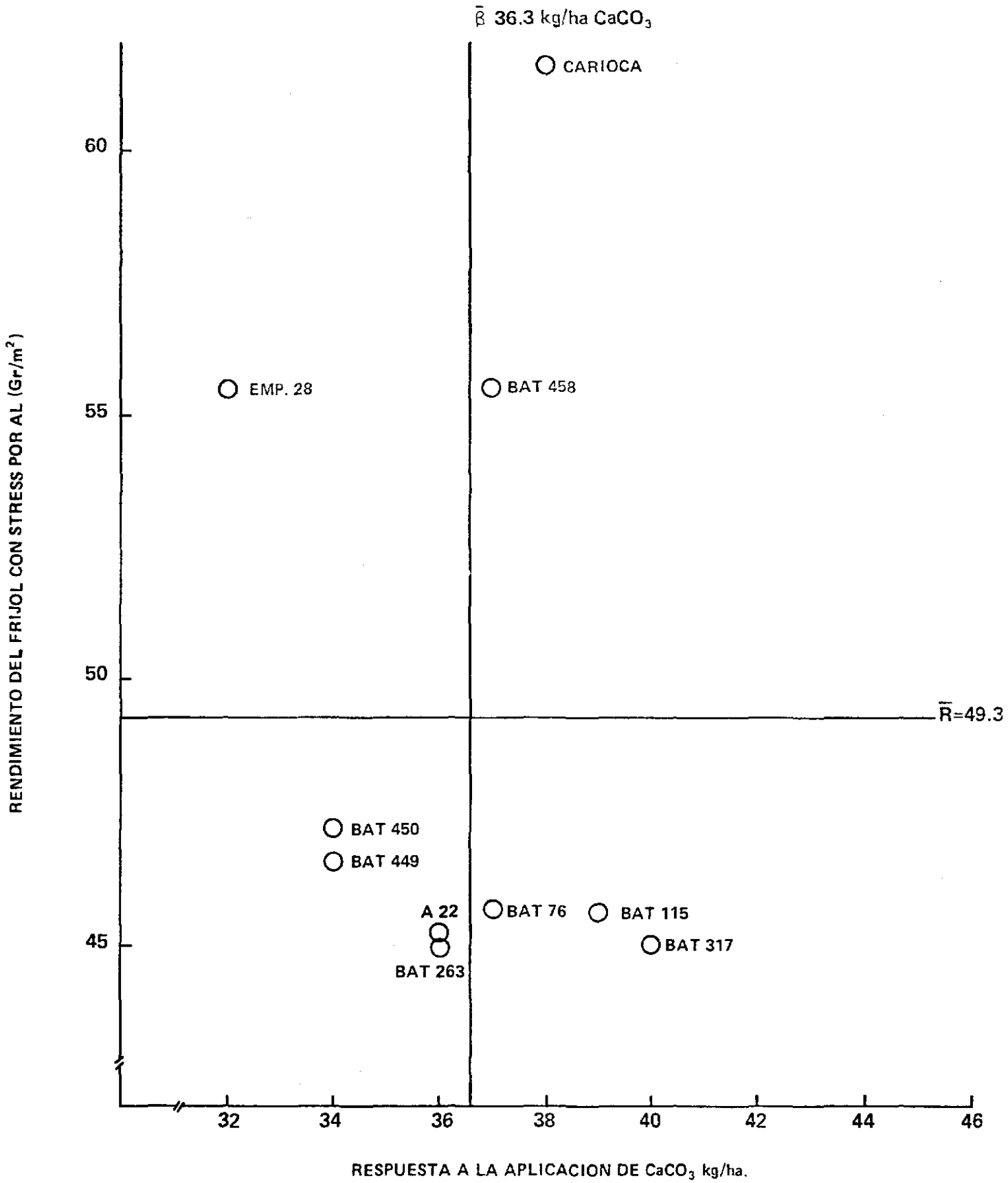


Figura 13. Evaluación de materiales para su eficiencia y respuesta a la aplicación de Cal.

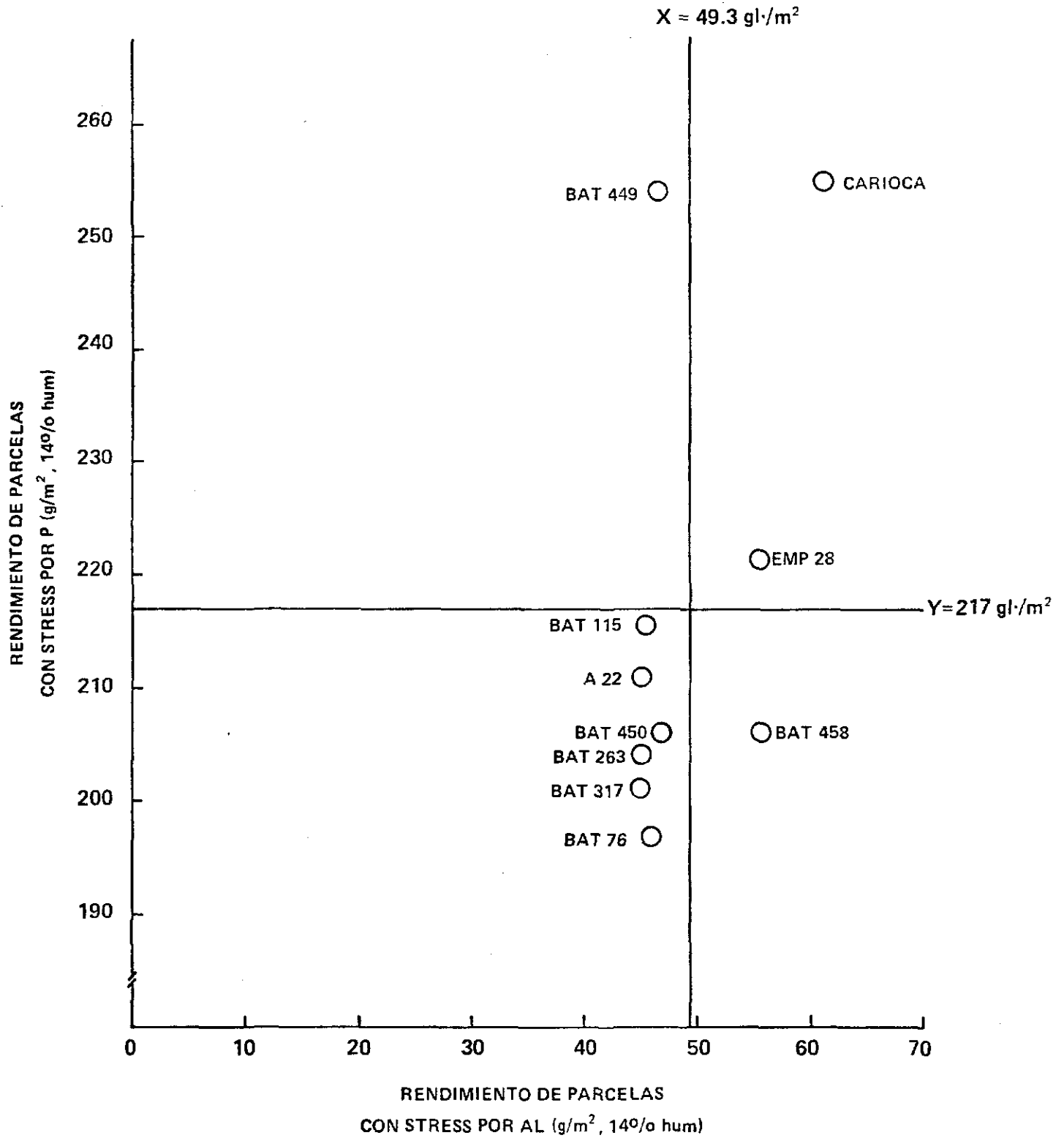


Figura 14. Evaluación para obtener materiales tolerantes a condiciones adversas de suelos.

BIBLIOGRAFIA

- Abruña, Rodríguez, F., R. W. Pearson, and R. Perez, Excolar 1974. Lime response of corn and beans grown on typical Ultisols and Oxisols of Puerto Rico. P. 261-282. In E. Bornemisza and A. Alvarado (eds.) Soil Management in Tropical America. North Carolina State Univ. Raleigh, N.C. 27607.
- Arriger, W.H., C.D. Foy, A.L. Fleming, and B.E. Caldwell, 1968. Differential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminium. Agron. J. 60: 67-70.
- Bollard, E.G. and G.W. Butler, 1966. Mineral nutrition of plants. P. 77-112. In. L. Machlis (Ed.). Annual Review of Plant Physiology 17.
- Brown, J.C., and R.B. Clark. 1974. Differential response of two maize inbreds to molybdenum stress. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 331-333.
- Campbel, L.G., and H.N. Laferver. 1976. Correlation of field and nutrient culture technique of screening wheat for aluminium tolerance. In: Wright J.M. (ed) Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Cornell Univ. Ithaca. N.Y., U.S.A.
- CIAT, 1976. Annual Report.
- Cobra Neto, A. 1967. Adsorção e Deficiências dos macronutrientes pelo feijão. Tese de doutor em agronomia G.S.A. Piracicaba (S.P.). Brasil.
- FAO. 1976. Anuario de Producción. Vols. 29. Roma, Italia.
- Fassbender, H.W. 1967. La fertilización del frijol (Phaseolus sp.) Turrialba: 17 (1): 46-52.

- Foy, C.D., 1974. Effects of aluminium on plant growth. p. 601-642. In.
E.W. Carson (ed). The plant root and its environment. Univ. Press of
Va., Box 3608. Univ. Station, Charlottesville, VA, U.S.A.
- Foy, C.D. 1976. Differential aluminium and manganese tolerances of plant
species and varieties in acid soils. *Ciencia e Cultura*. 28: 150-155.
- Fliming, A.L., and C.D. Foy, 1968. Root structure reflects differential
aluminium tolerance in wheat varieties. *Agron. J.* 60: 172-176.
- Freitas, L.M.M. de, A.C. McClung e W.L. Lott. 1960. Field studies on fer-
tility problems of two Brazilian "campos cerrados". 1958-1959. IBEC
Research Institute, Boletim 21. New York.
- Gabelmann, W.H. 1976. Genetic potentials in nitrogen, phosphorus, and po-
tassium efficiency. In: Wright (ed). Plant adaptation to mineral stress
in problem soils. Cornell Univ. Ithaca N.Y. U.S.A.
- Gerloff, G.C. 1963. Comparative mineral nutrition of plants. *Annual rev.*
plant physiology. 14: 107-129.
- Guazelli, R.J., et al. 1973. Efeitos agronomicos e econômicos do calcario,
nitrogenio, fósforo, potásio, enxofre e micronutrientes nos rendimientos
do soya, feijão e arroz em Uberaba, Minas Gerais, *Pesquisa Agropor-
cuaria Brasileira*. Serie Agronomía 8 (6): 29-37.
- Hanson, W.D., and E.J. Kamprath. 1979. Selection for aluminium tolerance
in soybean based on seedling-root growth. *Agron. J.* 71: 581-586.
- Haag, H.P. et al. Absorcao da nutrientes pela cultura do feijoeiro. *Bragantia*,
26 (30): 381-391. (1967). (118).

- Hacht - Buchholtz, Ch. 1971. Wirkung der Mineralstoffernaehrung auf die Feinstruktur der Pflanzenzelle. Z. F. Pflanzenernaehr., Dueng., Bodenkunde, 132: 45-68.
- Jacob, A. and H.v. Vexkuell, 1963. Fertilizer use, nutrition and manuring of tropical crops. p. 566. 3th. ed. Verlagsgesellschaft fuer Ackerbau mbH: Hannover.
- Kerridge, P.C., and W.E. Kronstad. 1968. Evidence of genetic resistance to aluminium toxicity in wheat (Triticum aestivum (vill). Host). Agron. J. 60: 710-712.
- Kick, H. and R.S. Minhas 1972. Die Verfuuegbarkeit der durch langjaehrige Duengung im Boden angereicherten Phosphaten. Landw. Forsch. Sonderh. 22: 184-191.
- Lepiz, R. 1977. Informe 1977, Programa Nacional de Fríjol. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. INIA - México.
- Lindgren, D. 1976. Variability of phosphorus uptake and translocation in Phaseolus vulgaris L. under phosphorus stress. Ph.D. Thesis Univ. of Wisconsin, Madison. (Diss. Abst. 37 (1): 11-13.
- Lynnes, A.S. 1936. Varietal differences in the Phosphorus feeding capacity of plants. Plant Physiol. 11: 665-688.
- MacLeod, L.B., and L.P. Jackson, 1967. Aluminium tolerance of two barley varieties in nutrient solution, peat and soil culture. Agron. J. 59: 359-363.
- Miranda de L.N. y E. Lobato, 1978. Tolerancia de variedades de feijao e de trigo ao alumínio e de baixa disponibilidade de fosforo no solo. R. Bras. Ci. Solo. 2º 44-50.

- Muller, L., Balerdi, F., Díaz-Romeu, R. & Fassbender H.W. 1968. Estudio del fosforo en suelos: de América Central 1. Ubicación, características Físicas y químicas. Turriabla. 18: 319-332.
- McLachlan, K.D. 1976. Comparative Phosphorus response in plants to a range of available phosphorus situation. Aust. J. Agric. Res. 27: 323-341.
- Pearson, R.W. 1975. Soil acidity and liming in the humid tropics. Cornell Int. Agric. Bull. 30. Cornell Univ., Ithaca, N.Y.
- Polle, E., C.F. Konzale, and J.A. Kittrick. 1978. Rapid screening of wheat tolerance to aluminium in breeding varieties better adapted to acid soils. Technical series bulletin No. 21 Nov. 1978. Office of Agric. Dev. support Bureau. AID Washington, U.S.A.
- Reid, D.A., A.L. Fleming, and C.D. Foy. 1971. A method for determining aluminium response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al-toxic soil. Agron. J. 63: 600-603.
- Salinas, J.G., and P.A. Sanches. 1975. Tolerance to aluminium toxicity and low available soil phosphorus. p. 61. In: Agronomic - Economic Research on tropical soils, Annual Report for 1975. Soil Sci. Dept. Univ. North Carolina, Raleigh. U.S.A.
- Scheffer, F. y Schachtschabel, P. 1970. Lehrbuch der Bodenkunde. 7. Ed. Stuttgart, F. Enke, Verlag. p. 443.
- Van Goor, B.J., and D. Wiersma. 1974. Redistribution of potassium, calcium, magnesium, and manganese in the plant. Physiol. Plant. 31: 163-168.
- Whiteaker, G. 1972. Inheritance and Physiology of differential growth response under phosphorus stress. Ph.D. Thesis. Univ. of Wisconsin, Madison.

Wolf, J.M. 1975. Soil-water relations in Oxisols of Puerto Rico and Brazil. p. 145-154. In: E. Bornemiza and A. Alvarado (ed). Soil management in tropical America. Soil Science Dep. North Carolina State Univ., Raleigh, N.C.