

**MODELOS DE RAICES EN RIZOTRONES
MODIFICADOS EN FRIJOL COMUN
(Phaseolus vulgaris L.)**

DORA MARIA AGUILERA CHARLES

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO**



**Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro**

PROGRAMA DE GRADUADOS

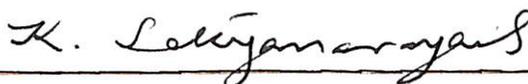
Buenavista, Saltillo, Coah.

Tesis elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO

C O M I T E P A R T I C U L A R

Asesor principal:



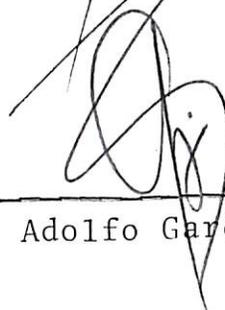
Dr. Sathyanarayanaiah Kuruvadi

Asesor:



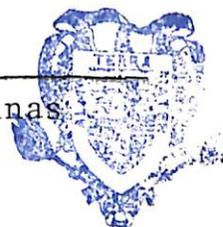
M.C. Edgar E. Guzmán Medrano

Asesor:

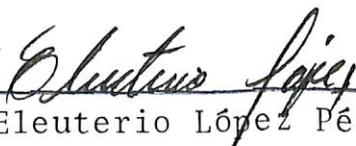


M.C. Adolfo García Salinas

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA



Dr. Eleuterio López Pérez
Subdirector de Asuntos de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Marzo 1988

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado para la realización de mis estudios y la presente investigación.

Al Dr. Sathyanarayanaiah Kuruvadi, mi más profundo y sincero agradecimiento por su apoyo y orientación durante el desarrollo del presente trabajo.

Al Ing. M.C. Edgar Guzmán Medrano y al Ing. M.C. Adolfo García Salinas, por sus sugerencias y la revisión del escrito.

Al Programa de Graduados de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por la oportunidad brindada para la realización de mis estudios.

A mis maestros del Colegio, por sus conocimientos transmitidos, su paciencia y dedicación.

A la Sra. Leticia Ayala por la realización del trabajo mecanográfico.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible la realización de este trabajo.

A mi hijo Gerardo

Con mi más grande amor

*A quien pido disculpas por haberme
permitido tomar parte de su precio
so tiempo, esperando que la presen
te sea un estímulo para su futura
superación.*

DEDICATORIA

A mis Padres:

Sr. Silvestre Aguilera de la Rosa (+)

Sra. Petra Charles de Aguilera

con inmenso amor.

A mi Esposo:

Gerardo García Espino

*con amor, por el estímulo, apoyo y
comprensión recibidos durante la -
realización de mis estudios.*

A mis Hermanos:

José Manuel María Rita

Irma Ofelia María Isela

con cariño.

A mis Suegros:

Rubén García Gandara

María Tecla Espino de García

con afecto y agradecimiento.

A mis cuñados y sobrinos.

A mis maestros, compañeros y amigos.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,

COMPENDIO

Modelos de Raíces en Rizotrones Modificados en
Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.)

Por

DORA MARIA AGUILERA CHARLES

MAESTRIA

FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MARZO 1988

Dr. Sathyanarayanaiah Kuruvadi - Asesor -

Palabras clave: Modelos de raíces, rizotrones, pará
metros genéticos, correlaciones, fri
jol común.

En esta investigación se evaluaron 20 genotipos de -
frijol común en rizotrones modificados, utilizando un diseño
de bloques al azar con dos repeticiones, con el objetivo de
graficar modelos de raíces, estudiar parámetros genéticos y
correlaciones fenotípicas.

El análisis de varianza para sistema radical en cinco diferentes perfiles (0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100: cm) y para el potencial total indicó diferencias significativas. Los genotipos Fe-33-RB, Negro Jamapa, Negro Huasteco y Fe-30-RB registraron alta proporción de sistema radical en el perfil más profundo de 81-100 cm y también mostraron excelentes modelos de crecimiento.

Los genotipos precoces produjeron baja cantidad de sistema radical en comparación con los tardíos. El peso seco de raíces presentó valores altos de heredabilidad en sentido amplio y fue altamente correlacionado con rendimiento por planta, vainas por planta, peso seco de vástago y días a madurez fisiológica.

ABSTRACT

Root Models in Modified Rhizotrons in Common
Bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

By

DORA MARIA AGUILERA CHARLES

MASTER OF SCIENCE

PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MARCH 1988

Dr. Sathyanarayanaiah Kuruvadi.

- Advisor -

Key words: Root models, rhizotrons, genetic parameters, correlations, common bean.

In this investigation 20 genotypes of common bean were evaluated in modified rhizotrons utilizing a randomized block design with two replications with an object of designing root models, to study genetic parameters and phenotypic correlations.

The analysis of variance indicated significant differences for root system in the five profiles (0 - 20, -

21-40, 41-60, 61-80 y 81-100 cm) and for total root potential. The genotypes Fe-33-RB, Negro Jamapa, Negro Huasteco y Fe-30-RB registered high proportion of the root system in the soil profile of 81-100 cm and also showed excellent growth of root model.

The early genotypes produced low quantity of root system in comparison to lates. The dry root mass presented higher values of broad sense heritability and highly correlated with grain yield per plant, pods per plant, dry shoot weight and days to physiological maturity.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	xi
INDICE DE FIGURAS	xii
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	5
ORIGEN E IMPORTANCIA DEL FRIJOL	5
RESISTENCIA A SEQUIA EN LOS CULTIVOS	6
EFECTO DE LA SEQUIA SOBRE CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS Y COMPONENTES DEL RENDIMIEN- TO	7
CARACTERISTICAS DE LA PLANTA QUE IMPARTEN RESISTENCIA A SEQUIA	13
ABSORCION DE AGUA	14
HEREDABILIDAD	22
CORRELACIONES	24
MATERIALES Y METODOS	27
CARACTERISTICAS AGRONOMICAS EVALUADAS	31
RESULTADOS	35
DISCUSION	54
CONCLUSIONES	69
RESUMEN	71
LITERATURA CITADA	74

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Página
3.1.	Origen, hábito de crecimiento y color - de grano de los genotipos incluidos en el estudio	28
4.1.	Análisis de varianza para diferentes - características agronómicas en frijol. .	36
4.2.	Promedio de diferentes características agronómicas en frijol común	38
4.3.	Análisis de varianza para sistema radi- cal de frijol común en diferentes perf ^u les de suelo en rizotrones modificados .	41
4.4.	Promedio de peso seco de sistema radi - cal de frijol común en diferentes perf ^u les de suelo en rizotrones modificados .	42
4.5.	Parámetros genéticos para diferentes ca racterísticas agronómicas en frijol co- mún	51
4.6.	Correlaciones fenotípicas para diferen tes características agronómicas en fri- jol común	53

INDICE DE FIGURAS

Figura No.		Página
4.1.	Modelos de raíces de 20 genotipos de - frijol	44
4.2.	Modelos de raíces de 20 genotipos de - frijol	49

INTRODUCCION

En México, el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los cultivos más importantes, ya que ocupa el segundo lugar como alimento básico y es una de las principales fuentes de proteínas en la dieta del pueblo mexicano. En el país se cultivan alrededor de dos millones de hectáreas anualmente, de las cuales un 85 por ciento se desarrollan bajo condiciones de temporal, con un rendimiento medio de aproximadamente 500 kilogramos por hectárea.

Estas áreas frecuentemente están sujetas a sequía, provocada por una inadecuada cantidad de humedad en el suelo durante períodos cortos o largos a causa de las escasas y erráticas precipitaciones que se presentan durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Las altas temperaturas del suelo y del aire pueden causar grandes tasas de evapotranspiración desarrollando déficits de humedad en el suelo y la planta, y consecuentemente, la sequía, que ocurre frecuentemente en las áreas temporaleras con diferentes grados de severidad y pérdidas en el rendimiento (Kuruvadi, 1987b).

La sequía es uno de los factores más limitantes en la producción y calidad de los cultivos a nivel mundial, (Kozlowski, 1968), por lo que la investigación de áreas temporales de zonas áridas y semiáridas deberá ser dirigida hacia la conservación del agua y suelo, y ser planeada en base a los conocimientos que se tengan sobre precipitación, evapotranspiración, agronomía y mejoramiento genético de los cultivos, con el propósito de incrementar la productividad total en dichas áreas (Kuruvadi, 1987a).

Dos características de la planta muy importantes para proporcionar mejor adaptación bajo condiciones de sequía son: primero, un mejor sistema radical, con profusas ramificaciones y alta tasa de crecimiento vertical y horizontal, para facilitar la absorción de una adecuada cantidad de agua y nutrientes, y segundo, la conservación de agua en la planta a través de una óptima área de follaje, pubescencia, enrollamiento de las hojas, gruesa capa de cutina y secamiento de hojas viejas y tallos no productivos; el agua ahorrada a través de estos procesos fisiológicos puede ser utilizada por la planta durante los períodos de llenado de grano, incrementando así la producción.

El sistema radical de la planta está directamente relacionado con la absorción de agua y nutrientes y es un factor determinante para la resistencia a sequía en los cultivos. Varios investigadores (Donald, 1963; Bertrand, 1965; y Watson, 1968) afirman que los genotipos con un sistema radical más profundo y ramificado absorben mayor cantidad

de agua durante los períodos de deficiencia y pueden sobrevivir a la sequía.

Evaluar el sistema radical de la planta adulta, o examinarlo periódicamente durante sus diferentes etapas fenológicas es difícil, lento y costoso debido a su crecimiento por abajo del suelo (Kaigama *et al.*, 1977), razón por la cual no hay suficiente información acerca de él en los cultivos. Existen varios métodos tales como el monolito, los rizotrones, de barrena, en el sitio y de radiotrazadores en el suelo y la planta, para estudiar el potencial del sistema radical, a través de los cuales es posible evaluar y graficar diferentes modelos de raíces (Hurd, 1974; Kuruvadi y Guzmán, 1987). Uno de los principales objetivos del mejoramiento genético bajo condiciones de sequía deberá ser la identificación de mejores sistemas radicales y la incorporación de éstos a variedades altamente rendidoras bajo condiciones de temporal.

En la literatura publicada existe poca información sobre el estudio de diferentes modelos de raíces en frijol, por lo que en esta investigación se evaluaron 20 genotipos en rizotrones modificados, con los siguientes objetivos:

- Estudiar la variabilidad para el potencial del sistema radical en diferentes perfiles de suelo.
- Graficar los diferentes modelos de raíces de 20 genotipos de frijol común.

- Identificar el mejor modelo y líneas sobresalientes para masa de raíces.
- Estimar parámetros genéticos y correlaciones fenotípicas para sistema radical y otras características.

REVISION DE LITERATURA

Origen e Importancia del Frijol

Miranda (1967) señala que el frijol común es originario de América, menciona además que su centro de diversificación primaria es el área México-Guatemala, donde probablemente se localiza su centro de origen.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), (1980), reporta que en general se acepta que todas las especies del género *Phaseolus* se originaron en la América tropical (México, Guatemala, Perú) y que las principales evidencias de su origen son la diversidad genética de los materiales que existen en esta región y los hallazgos arqueológicos que prueban la antigüedad de su cultivo en México y Perú.

Navarro (1983) afirma que a nivel nacional el frijol se considera uno de los cultivos más importantes, en razón a: la superficie dedicada a su producción, la cantidad de grano que se consume y la actividad económica que genera; además, sus características alimenticias lo han justificado como uno de los principales cultivos básicos, ya que, comparado con -

la proteína de origen animal, el frijol es una buena fuente de ella, barata y fácil de obtener en los diferentes medios y estratos sociales.

Resistencia a Sequía en los Cultivos

May *et al.* (1962) definieron resistencia a sequía como la capacidad que tienen las plantas para soportar la deshidratación temporal de sus tejidos sin una disminución en el rendimiento, o con una reducción mínima del mismo; también la describen como la capacidad de los cultivos para crecer satisfactoriamente en las áreas sujetas a períodos con déficit de agua; y por último, como la capacidad de la planta para reducir las pérdidas del rendimiento, bajo condiciones de estrés de humedad.

Levitt (1972) describió tres diferentes mecanismos de resistencia a sequía en los cultivos, que son: escape, evitación y tolerancia. Señala que las plantas con mecanismo de escape son las que pueden completar su ciclo de vida durante el corto período de tiempo en el que el agua está disponible, mientras que las evitadoras son aquellas capaces de mantener un alto potencial hídrico y turgencia en las células cuando son expuestas a estrés de agua, éstas pueden evadir la sequía de dos maneras: 1) absorbiendo una mayor cantidad de agua a través de un sistema radical más profundo, o 2) reduciendo la transpiración, conservando el agua interna de la planta, este mecanismo proporciona supervivencia; asimismo, indica que las especies tolerantes son aquellas que pueden

resistir un severo estrés de agua, pudiendo además sobrevivir aún cuando sus tejidos alcanzan extremadamente bajos potenciales hídricos.

Brown (1977) señala que la resistencia a sequía en las plantas resulta de una habilidad para tolerar o resistir el estrés de agua, debido a que el protoplasma puede soportar la deshidratación y/o de adaptaciones fisiológicas y estructurales que resultan en escape o retardamiento de los efectos letales de la misma. Este mismo autor menciona que el término resistencia a sequía incluye solamente los mecanismos de evitación y tolerancia, coincidiendo con Miller (1986) quien también omite el mecanismo de escape.

Mac Key (1980) afirma que la habilidad de la planta para escapar al estrés y a la pérdida en el potencial hídrico, dependen de la resistencia estomatal a la evaporación; de la capacidad y eficiencia del sistema de transporte interno; de la potencialidad del sistema radical para extraer agua y desde luego, de la disponibilidad de ésta en el suelo. Las tres primeras características: resistencia difusiva, eficiente transporte y capacidad de absorción de agua, están particularmente bajo control genético.

Efecto de la Sequía sobre Características Morfológicas
y Componentes del Rendimiento

Características Morfológicas

Virgin (1965) menciona que el primer efecto del estrés de humedad en la planta es probablemente la lenta

disminución en el desarrollo de tallos y hojas, como un resultado de la reducida turgencia. Cuando el potencial hídrico continúa decreciendo en los tejidos, la división celular se reduce lentamente, los estomas comienzan a cerrarse, con una consecuente disminución en la transpiración y fotosíntesis y el ácido abscísico (ABA) empieza a acumularse; si el potencial hídrico sigue decreciendo, respiración, translocación y fotosíntesis son substancialmente reducidas y si el estrés de agua se convierte en severo, una marcada acumulación de prolina ocurre y la asimilación de CO₂ cesa casi completamente.

Appadurai y Rajakaruna (1967) evaluaron la contribución de la hoja al rendimiento de vainas en frijol enano, encontrando que plantas totalmente defoliadas produjeron aproximadamente la décima parte de los rendimientos de las plantas no defoliadas. La máxima contribución al rendimiento de vainas parece provenir de la fotosíntesis y translocación desde las hojas, ya que la contribución de la fotosíntesis de las vainas es insignificante.

Schultheis (1972) diseñó un sistema para estudiar los efectos principales e interactivos de la falta de aireación y agua sobre algunos aspectos fisiológicos del frijol arbuscivo durante varios períodos de crecimiento, concluyendo lo siguiente: 1) la falta continua de agua redujo los pesos fresco y seco de la raíz y de las porciones vegetativas de la planta, disminuyendo drásticamente el número de vainas por planta e incrementando el porcentaje de semillas. 2) las

plantas que sufrieron falta de agua antes de la antesis, presentaron una recuperación completa en el crecimiento radical cuando el medio de las raíces se corrigió a condiciones óptimas, observándose resultados similares en el crecimiento vegetativo; 3) las plantas sometidas a falta de aireación y/o agua en el momento de la antesis, presentaron una disminución muy marcada en el crecimiento de la planta.

Wien *et al.*, (1973) evaluaron la influencia de la remoción de la flor sobre el crecimiento y rendimiento de frijol, observando que aún cuando la remoción temporal de la flor aumentó la formación de vainas en comparación con las plantas testigo, el aborto de la vaina y de la semilla previno un aumento significativo en el rendimiento, lo que dió como resultado menores proporciones en el peso de la semilla, peso seco total y disminución en el peso de las vainas por unidad de área foliar.

Palacios y Martínez (1978) afirman que la mayoría de las leguminosas son susceptibles al déficit hídrico durante el período de floración, lo que trae como consecuencia una marcada disminución en el rendimiento.

Mac Key (1980) menciona que los cultivos o variedades desarrolladas bajo estrés presentan un crecimiento radical más vigoroso, con sus raíces primarias más orientadas verticalmente para una profunda penetración y sus raíces axiales ramificadas cuando el agua está disponible en el perfil del suelo. Afirma que la resistencia a sequía en las plantas está

mayormente en función del seguro abastecimiento de agua.

Rojas y Rovalo (1984) indican que cuando el nivel de sequía está muy avanzado, empieza a aumentar sensiblemente la concentración de ácido abscísico (ABA) en la planta, enfatizan que las especies resistentes a sequía no tienen un gran contenido de éste cuando están en condiciones normales, pero son capaces de sintetizarlo en gran cantidad, elevando su concentración bajo condiciones de sequía muy por encima de las plantas susceptibles.

Cruz *et al.*, (1986) al evaluar la respuesta de la raíz y el vástago a déficits de agua en arroz, observaron que el estrés de agua incrementó la proporción de masa seca de vástago a masa seca de raíz y el porcentaje de área foliar a longitud total de raíz.

Componentes del Rendimiento

Kambal (1969) menciona que el rendimiento es un carácter muy complejo, determinado por algunos componentes y en un intento por facilitar el mejoramiento para alto rendimiento, es lógico examinar sus componentes y dar más atención a los que tengan mayor influencia sobre éste.

Krarrup y Davis (1970) afirman que los componentes del rendimiento más importantes en muchos cultivos de leguminosas son: número de vainas por planta, número de semillas por vaina y peso de la semilla.

Yassin (1973) señala que caracteres complejos de la planta, tales como rendimiento, son heredados cuantitativamente e influenciados por efectos genéticos así como por efectos debidos a la interacción del genotipo con el medio ambiente. El mismo autor menciona que el rendimiento por sí mismo no es el mejor criterio de selección y, por lo tanto, es importante estudiar sus componentes y estimar su grado de asociación, con el rendimiento.

Stoker (1974) observó que el rendimiento de frijol se vió reducido principalmente por un período de falta de agua durante la floración, pero también se redujo por la ausencia de ésta durante las fases vegetativas iniciales y finales. La reducción en el rendimiento se manifestó principalmente en un número más pequeño de vainas por planta y de semillas por vaina. El peso individual de la semilla se vió tan sólo levemente afectado por la falta de agua.

Rojas y Rovalo (1984) indican que cuando las funciones fisiológicas de la planta son afectadas adversamente, el rendimiento, que no es sino la resultante de dichas funciones, también lo será. Señalan que aún cuando la planta no llegue a morir de sequía, basta con que en su ciclo sufra un período de marchitez severa para que disminuya su rendimiento en un 50 por ciento.

Lorens *et al.*, (1987) observaron que una deficiencia de agua durante algunos estados de desarrollo del maíz, a menudo resultan en un bajo rendimiento de grano, sin

embargo, la magnitud de la reducción depende del estado de desarrollo del cultivo durante el tiempo de estrés, de la severidad y duración de éste y de la susceptibilidad de los genotipos.

Scott *et al.*, (1987) mencionan que el efecto de la sequía en el rendimiento, depende del suministro de agua en el suelo, de las demandas de agua por el cultivo y de la manera en cómo el cultivo es capaz de utilizar su limitado suministro, de agua.

Efectos de la temperatura sobre componentes del rendimiento

Smith y Pryor (1962) al estudiar los efectos de la edad y la temperatura máxima sobre la floración y la producción de semilla en tres variedades de frijol, observaron que cuando las plantas estaban en floración durante los días de alta temperatura, hubo una alta mortalidad de flores y un menor número de granos por vaina.

Mack y Singh (1969) encontraron que el porcentaje de formación de flores y el número y peso de las vainas de frijol disminuyeron cuando las plantas se sometieron a altas temperaturas máximas durante la floración.

Kohashi y Alfaro (1980) mencionan que la abscisión de órganos reproductivos tales como yemas florales, flores y frutos jóvenes, disminuyen el rendimiento del frijol, especialmente bajo condiciones limitantes de agua, luz, nutrientes y temperaturas. Las altas temperaturas durante el

período de floración aumentan la tendencia de aborto en la semilla y reducen el peso seco de ésta.

Características de la Planta que Imparten Resistencia a Sequía

Brown (1977) señala que características como: incremento en la proporción raíz-vástago, hojas pequeñas, cutícula gruesa y venación densa, proveen a la planta para un buen control en la disponibilidad de agua, incrementando así su resistencia al déficit de humedad.

Parsons (1979) indica que algunas de las características de la planta que imparten resistencia a sequía, son: - un amplio sistema radical o un incremento en la proporción raíz-vástago, pequeño tamaño de células, cutícula de la hoja y cambio en el ángulo y movimiento de ésta, frecuencia y comportamiento de estomas, acumulación de prolina y el ajuste osmótico. El autor señala que algunas de estas adaptaciones posponen la desecación y otras más involucran un incremento en la tolerancia a sequía.

Kuruvadi (1987a) afirma que algunas características tales como: un sistema radical bien desarrollado, con mayor crecimiento vertical y horizontal, hojas con mayor capacidad de retención de agua y baja tasa de transpiración, baja densidad y comportamiento de estomas; alta tasa de fotosíntesis y de fijación de CO₂, precocidad y sincronización en la floración, mayor actividad enzimática, alta producción de proteínas, aminoácidos, ácido abscísico, prolina, betaína y -

agua fisiológica, contribuyen para resistencia a sequía en las plantas. Menciona además, que estas características son controladas por los genes, el medio ambiente y su interacción, por lo que pueden ser fácilmente manipuladas por el fitomejorador.

Absorción de agua

Cahoon y Morton (1961) realizaron algunos trabajos con el propósito de conocer la relación que guarda el sistema radical con respecto a la resistencia a sequía y enfatizan que el total de agua disponible para la planta depende de la extensión de sus raíces, ya que entre más extensas sean éstas, es mayor su disponibilidad de agua.

Brown (1977) alude que los dos procesos directamente relacionados con el desarrollo de estrés de agua en las plantas, son la absorción y la transpiración, ya que el estrés hídrico empieza a desarrollarse en plantas y tejidos cuando la cantidad de agua perdida por transpiración excede la proporción en la cual ésta es reemplazada por absorción.

Palacios y Martínez (1978) mencionan que las leguminosas dejan de producir raíces durante la floración, en esta etapa la absorción de agua por la planta es más difícil, sobre todo, si aumenta la tensión hídrica en el suelo.

Mac Key (1980) enfatiza que el desarrollo total de la planta depende de la capacidad que ésta tenga para tomar agua a través de su sistema radical. Tal capacidad está

principalmente en función de tres características de la raíz que son: una efectiva superficie, la eficiencia de esta superficie y la distribución espacial de la misma sobre el perfil del suelo, lo cual está en relación de la cantidad, cualidad y diseño de las raíces.

Taylor y Terrel (1982) mencionan que las raíces nuevas son más efectivas en la absorción de agua y minerales que las raíces viejas, coincidiendo con Rojas y Rovalo (1984) quienes señalan que la absorción de agua tiene lugar principalmente en la llamada zona pilífera, algo arriba del ápice de la raíz donde se concentran los pelos radicales y, por lo tanto, la entrada de agua a la planta se realiza principalmente a través de las raíces jóvenes.

White y Sponchiado (1985) indican que el mecanismo que explica más fácilmente las diferencias entre las variedades con respecto a su reacción a la sequía, tiene que ver con una mayor extracción de humedad del suelo por parte de los materiales tolerantes, para evitar, o por lo menos para reducir, el estrés. La mayor extracción de humedad es el resultado de un mayor crecimiento radical.

Descripción de la Raíz del Frijol

Lépiz (1983) señala que el sistema radical del frijol está constituido por la raíz primaria o principal, que se desarrolla a partir de la radícula del embrión, sobre ésta y en disposición en forma de corona, en la parte alta se desarrollan las raíces secundarias, terciarias y otras

subdivisiones; los pelos absorbentes, órganos epidérmicos especializados en la absorción de agua y nutrimentos, se localizan en las partes jóvenes de las raíces laterales. Aún cuando el sistema radical presenta variación, en general se le considera como fibroso con un amplio desarrollo de raíces secundarias.

Medidas de Evaluación del Sistema Radical

Abd-Ellatif y Weibel (1978) evaluaron algunas características de la raíz tales como: peso fresco, longitud, volumen y proporción raíz-vástago en 10 cultivares de sorgo grano, encontrando que la mayoría de éstos presentaron resistencia a sequía, además de un significativo peso de raíz, un gran volumen y una alta proporción raíz-vástago, concluyendo que estas técnicas son prometedoras para identificar líneas resistentes a sequía, pero involucran una gran cantidad de tiempo y trabajo, enfatizando que el peso seco de la raíz es probablemente la característica más indicativa y fácil de determinar.

Murphy *et al.*, (1982) encontraron una correlación altamente significativa entre el volumen y el peso seco del sistema radical y sugieren utilizar el peso de masa de raíces en los programas de mejoramiento, ya que la medida del volumen es más laboriosa y requiere de más tiempo para seleccionar un gran número de genotipos en base a su sistema radical.

Kuruvadi (1987c) menciona que existen cuatro medidas para estudiar el sistema radical, a saber: longitud, peso, volumen y densidad de raíz, señalando que la longitud es considerada de mayor valor que el peso y el volumen, ya que indica la actividad del sistema radical en los diferentes perfiles del suelo, además, esta medida es útil para identificar variedades con mecanismo de evitación.

Métodos para medir raíces

Hurd (1964), Taylor (1986) y Kuruvadi y Guzmán (1987) mencionan varios métodos a través de los cuales es posible evaluar el potencial del sistema radical, dentro de éstos se destacan los siguientes:

Monolito. Este método requiere la remoción de un bloque de suelo y la separación de las raíces contenidas en él. A través de este método es posible estimar peso seco, longitud y volumen de raíces. Esta es una de las mejores metodologías para evaluar el sistema radical, sin embargo, es un método destructivo del suelo, laborioso, lento, costoso y requiere de mucha agua.

En el sitio o *In Situ*. Este método consiste en la excavación de una zanja alrededor del sistema radical y el aislamiento de las paredes con agua. Por medio de él se puede determinar la localización y el número de raíces dentro del perfil muestreado, pudiendo ser utilizado en árboles frutales, sin embargo, no es útil en plantas herbáceas; su principal desventaja radica en que es un método destructivo del

campo.

Rizotrones. El rizotrón puede ser una simple caja - cubierta con un vidrio o plástico claro al frente, o bien - grandes instalaciones conteniendo muchos metros cuadrados - de superficie observable. Instrumentos y sensores pueden - ser instalados fácilmente para medir las condiciones del - suelo y, en algunas instalaciones, el volumen de enraiza - miento es hidráulicamente aislado del mismo. Por medio de - este método la estimación del crecimiento de la raíz puede ser hecha visual y periódicamente. Sus principales deventajas son su elevado costo y sus requerimientos de continuo - mantenimiento; sin embargo, pueden ser repetidamente utilizados.

De Berrena o Soil Coring. Este método involucra la remoción del perfil del suelo con simples barrenas cilíndricas y el lavado de éste para recuperar las raíces contenidas en él. La barrena es utilizada para extraer muestras a varias profundidades del perfil y a diferentes distancias predeterminadas en la base de la planta, a períodos secuenciales de tiempo. Por medio de esta metodología es posible estudiar el sistema radical de varias plantas en poco tiempo y la destrucción del suelo es menor en comparación con los métodos de el monolito o en el sitio. Dentro de sus principales desventajas se observa que es difícil obtener una muestra representativa del sistema radical, además, éste no puede ser estudiado completamente y las muestras pueden -

contener raíces de otras especies.

Radiotrazadores. El sistema radical de la planta también puede ser medido a través del uso de radiotrazadores como el Rubidio⁸⁶ y el Fósforo³², los cuales pueden ser aplicados al suelo o a la planta.

Modelos de raíces

Klepper *et al.*, (1973) estudiaron patrones de enraizamiento en el cultivo de algodón, encontrando que la densidad de raíces se incrementó en los perfiles más profundos a causa de la sequía, no observándose estos cambios en plantas desarrolladas al mismo tiempo en un perfil similar que se mantuvo húmedo.

Mac Key (1973) y Hurd (1974) señalan que los patrones de crecimiento del sistema radical están controlados por los genes, pudiendo ser modificados por el ambiente, lo que hace posible que esta característica pueda ser manejada a través de mejoramiento genético.

Kaigama *et al.*, (1977) investigaron la relación entre profundidad y distribución de raíces con el desarrollo morfológico de la parte aérea en sorgo para grano durante sus diferentes etapas fenológicas bajo condiciones de riego y sequía, observando una rápida penetración de ellas durante las primeras etapas de desarrollo, alcanzando una profundidad de 140 a 150 cm seis semanas después de la emergencia. Señalan además que bajo condiciones de riego, la cantidad de

raíces fue mayor en los 15 cm superiores del suelo, mientras que bajo sequía la mayor proporción de éstas se observó en los estratos más profundos. La máxima acumulación de materia seca, tanto de las raíces como de la parte aérea, fue mayor en los tratamientos bajo riego.

Robertson *et al.* (1980) realizaron algunos trabajos para determinar el efecto planta-agua bajo condiciones de estrés y riego en la distribución de raíces de los cultivos de maíz, soya y cacahuate. Los tratamientos fueron: 1) sin riego, 2) riego infrecuente y ligero, 3) riego frecuente y ligero, y 4) riego infrecuente y mediano; encontrando que los rendimientos de maíz y cacahuate se incrementaron en todos los tratamientos con riego, sin embargo, la soya no presentó tal respuesta. El desarrollo de la raíz en cacahuate y soya no fue afectado por la cantidad de agua. En los experimentos de maíz, el riego incrementó la longitud de las raíces en los 150 cm de perfil del suelo. El valor más alto de longitud de raíz fue encontrado en los tratamientos con riego infrecuente y ligero. Los autores concluyeron que los cultivos de maíz, soya y cacahuate varían en respuesta radical al estrés de agua y riego.

Garay y Wilhelm (1983) estudiaron el sistema radical de dos isolíneas de soya sometidas a condiciones de estrés de agua, observando que a los 78 días después de la siembra, el 80 por ciento de las raíces estuvieron concentradas dentro de los 30 cm superiores del suelo y, después de 30 días de sequía, la densidad de longitud de raíz fue mayor en los

estratos de 0.90 a 1.20 m. La isolínea Harsoy, de pubescencia densa, tendió a presentar una gran cantidad de raíces para explorar profundamente el suelo y extraer más agua durante la sequía que la isolínea de pubescencia normal.

Jodari-Karimi *et al.* (1983) evaluaron el efecto de diferentes profundidades de riego en el uso eficiente del agua, patrones de extracción de humedad y distribución de raíces en alfalfa, observando que la profundidad de riego no afectó la producción total de raíces, pero sí su distribución, ya que las plantas regadas profundamente produjeron significativamente más raíces en los estratos más bajos del suelo que las plantas regadas superficialmente.

White y Sponchiado (1985) al comparar los patrones de crecimiento radical y de extracción de humedad del suelo en cuatro variedades de frijol, encontraron que las raíces de las variedades tolerantes penetraron más de 120 cm, mientras que las raíces de las variedades susceptibles escasamente pasaron de los 70 cm. Observando que las variedades susceptibles presentaron una mayor cantidad de raíces en la capa superior del suelo, donde hay menor disponibilidad de humedad, aprovechando menos el agua del suelo que las variedades tolerantes.

Lorens *et al.* (1987) estudiaron la relación entre agua y densidad de longitud de raíz en dos híbridos de maíz, encontrando que, durante un severo estrés, el híbrido 3165-presentó una gran densidad de longitud de raíces en las zonas más profundas del perfil del suelo, debido a ello,

mantuvo altos potenciales de turgencia e hídrico de la hoja, lo que resultó en gran desarrollo del cultivo, mayor biomasa final y un alto rendimiento de grano.

Heredabilidad

Dudley y Moll (1969) indican que la heredabilidad puede ser estimada de dos formas, una en sentido amplio, que es la proporción de la varianza genética total sobre la varianza fenotípica, y otra en sentido estrecho, que es la proporción de la varianza genética aditiva sobre la varianza fenotípica.

Brauer (1980) menciona que la heredabilidad es la estimación de la influencia que tienen los genes aditivos múltiples en la determinación de los caracteres cuantitativos, en comparación con el rendimiento fenotípico y este último es el resultado de la capacidad genética más la influencia ecológica. También la define como el cociente entre la variación hereditaria y la variación total.

Falconer (1981) define la heredabilidad en sentido amplio como el cociente de la varianza genotípica sobre la varianza fenotípica. Afirma que la función de la heredabilidad es la de predecir la confiabilidad del valor fenotípico a través de generaciones y es de gran utilidad en los programas de selección.

Armenta-Soto *et al.* (1983) evaluaron algunas características tales como: longitud, espesor, número y peso -

seco de la raíz en el cultivo de arroz, y encontraron altos valores de heredabilidad para todas ellas.

García (1984) estimó valores de heredabilidad en sentido amplio de muy bajos a moderados para la característica vainas por planta en frijol, señalando que la heredabilidad para esta característica es de grado moderado, lo que es significativo para hacer una efectiva selección en generaciones segregantes.

Rocha (1984) al evaluar 34 genotipos de frijol común encontró altos valores de heredabilidad para las características días a primera flor, altura de planta, ancho de vaina y peso de 100 semillas, enfatizando que la selección para dichas características podría ser más efectiva.

Zamora (1984) encontró valores moderados de heredabilidad en sentido amplio para las características número de raíces, longitud de raíces secundarias, peso fresco, seco y volumen de raíz al evaluar 12 variedades de frijol, y afirma que estos valores son lo suficientemente altos para facilitar la selección de variedades con diferente sistema radical.

Cortinas (1985) estimó valores de heredabilidad en sentido amplio superiores al 90 por ciento, para las características peso de 100 semillas, días a 50 por ciento de floración y clorosis, al evaluar 20 genotipos de frijol bajo condiciones de temporal. Menciona, además, que el rendimiento presentó heredabilidades relativamente altas debido

a que los genotipos utilizados en el estudio fueron previamente seleccionados para tal característica.

Ekanayake *et al.* (1985) encontraron altos valores de heredabilidad para las características de peso seco, grosor y densidad de longitud de raíz, con valores de 92, 80 y 77 por ciento respectivamente, al evaluar una población F_3 de arroz.

Correlaciones

Kambal (1969) señala que el estudio de las correlaciones es de gran interés para el mejoramiento, ya que ellas indican la relativa facilidad con que los diferentes caracteres pueden ser seleccionados conjuntamente.

Duarte y Adams (1972) encontraron una correlación positiva y significativa entre rendimiento con número de vainas por planta, semillas por vaina y peso de semilla; además de una correlación negativa y significativa entre peso de semilla con número de vainas por planta y número de semillas por vaina, al evaluar algunos componentes del rendimiento en frijol. Asimismo mencionan que el número y el tamaño de las hojas están fuertemente asociadas con el número de vainas y el peso de la semilla.

Mac Key (1973) estableció que la alta coordinación cuantitativa entre el desarrollo de la raíz y vástago en los genotipos puede ser tomada como una evidencia en la importancia del tamaño de la raíz y como un criterio

adaptativo, y ésto como un carácter de selección. Señala - que esta correlación es favorable, ya que el tamaño de la - planta es una característica más fácil de seleccionar que - la eficiencia y el patrón de distribución de las raíces.

Yassin (1973) realizó un estudio sobre componentes del rendimiento en haba, encontrando que el rendimiento de semilla por parcela está estrecha y positivamente correlacionado con número de vainas y rendimiento por planta y negativamente asociado con el peso de 1000 semillas.

Cholick *et al.* (1977) evaluaron los modelos de raíces de algunos cultivares de trigos semi-enanos y altos bajo condiciones de sequía en el campo y observaron que no - existía relación significativa entre altura de planta y profundidad de raíces o modelos de extracción de humedad. Mencionan, además, que todos los cultivares estudiados presentaron una profundidad menor de 300 cm.

Armenta-Soto *et al.* (1983) al estudiar el control genético de algunas características de la raíz, encontraron que las raíces profundas y gruesas estuvieron positivamente correlacionadas con altura de planta, mientras que el espesor de la raíz estuvo negativamente asociado con número de raíces y el número de espigas.

Zamora (1984) al evaluar 12 variedades de frijol bajo condiciones de invernadero, obtuvo una correlación positiva y significativa entre peso seco de raíz con días a floración, altura de planta y área foliar, mencionando que las

variedades con mayor masa de sistema radical resultaron con un mejor crecimiento vegetativo.

Ekanayake *et al.* (1985) encontraron una asociación positiva y significativa entre características de raíz con altura de planta, número de tallos y peso seco de vástago en arroz. Cinco de ellas fueron significativamente correlacionadas con medidas visuales de resistencia a sequía en el campo, confirmando el papel de tales características en el mantenimiento de un alto potencial hídrico de la hoja, bajo condiciones de estrés.

Kapuya *et al.* (1985) encontraron una correlación positiva entre tolerancia a estrés y acumulación de prolina en el cultivo de frijol. Los autores confirman que la determinación de la capacidad de acumulación de prolina bajo condiciones de estrés pueden ser un índice utilizado en prácticas de mejoramiento para seleccionar variedades tolerantes a estrés dentro de una especie.

Ceccareli (1987) estableció una correlación alta y negativa entre el índice de susceptibilidad a sequía y el rendimiento de grano de cebada en sitios secos, lo que indica la existencia de características que son deseables bajo sequía e indeseables bajo riego, o viceversa. El autor concluye que selección bajo condiciones de estrés espera ser más efectiva que selección bajo condiciones favorables cuando las áreas secas son el objetivo del medio ambiente.

MATERIALES Y METODOS

El presente experimento se realizó bajo condiciones de invernadero, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio - Narro, durante el período comprendido de junio a diciembre - de 1986.

Los recursos genéticos incluidos fueron 20, los cuales presentaron una amplia gama de variabilidad genética para diferentes características agronómicas y para el grado de resistencia a sequía, en base a rendimiento bajo temporal. El origen, hábito de crecimiento y color de la semilla de estos genotipos se presentan en el Cuadro 3.1. Quince de ellos son originarios del Estado de Tamaulipas, dos del Estado de Veracruz, y uno correspondiente a cada uno de los siguientes Estados: Chihuahua, Querétaro y Sinaloa.

Los materiales presentaron tres diferentes tipos de hábito de crecimiento, uno de ellos mostró hábito determinado con crecimiento erecto (Tipo I), 15 poseen hábito indeterminado con crecimiento erecto (Tipo II) y cuatro presentan - hábito indeterminado con numerosas ramas postradas (Tipo III). Se detectaron diferentes grados de color de semilla entre -

Cuadro 3.1. Origen, hábito de crecimiento y color de grano de los genotipos incluidos en el estudio

Genotipo	Origen	Hábito de crecimiento	Color de grano
Mulato	Tamaulipas	III	ojo de cabra negro
Fe-30-RB	Tamaulipas	II	ojo de cabra café
Negro Huasteco	Veracruz	II	negro
Azabache	Tamaulipas	II	negro
Negro Jamapa	Veracruz	II	negro
Pinto-114	Tamaulipas	III	pinto-café
Ciateño	Tamaulipas	II	bayo
Delicias-71	Chihuahua	II	pinto-café
S-19-RB	Tamaulipas	II	negro
S-18-RB	Tamaulipas	II	negro
S-17-RB	Tamaulipas	III	bayo-negro
Agrarista	Tamaulipas	II	bayo
Flor de Mayo	Querétaro	III	bayo-morado
Agramejo	Tamaulipas	II	bayo
Canario-107	Sinaloa	I	amarillo
Fe-33-RB	Tamaulipas	II	rosado
Adjuntas-21	Tamaulipas	II	bayo
S-4-RB	Tamaulipas	II	bayo
Pinto Norteño	Tamaulipas	II	pinto-café
Fe-22-RB	Tamaulipas	II	bayo-negro

los que se encuentran el bayo, rosado, negro, amarillo, bayo rosado, bayo-negro, bayo morado, pinto café, ojo de cabra negro y ojo de cabra café.

Para la evaluación del potencial del sistema radical de cada uno de los genotipos, se utilizaron bolsas de polietileno color negro, de 120 cm de longitud y 30 cm de diámetro.

Las bolsas se llenaron con suelo de bosque cribado finamente para eliminar residuos vegetales de gran tamaño, mezclado con 30 por ciento de arena para facilitar la extracción de las raíces. El suelo dentro de la bolsa se colocó hasta una altura de 100 cm, dejando 20 cm libres para la aplicación del riego. Al ir vaciando el suelo en la bolsa, se iba compactando para evitar que con el riego el volumen de éste bajara a menos de la altura requerida.

Se aplicaron dos riegos hasta punto de saturación, el primero antes de la siembra y el segundo 60 días después de ésta, cuando ya las plantas mostraban síntomas de marchitez en las hojas. En cada riego se aplicó un volumen de 15 lt de agua por bolsa.

La siembra se realizó el día 17 de junio de 1986, sembrándose seis plantas por bolsa, de las que se eliminaron cuatro después de 12 días, dejándose únicamente las dos más vigorosas de cada bolsa. Se empleó el diseño de bloques al azar con dos repeticiones. La parcela experimental estuvo formada por una bolsa con dos plantas.

Cabe mencionar que durante todo el período de desarrollo del cultivo se tuvo un severo ataque de minador, al cual se le estuvo controlando mediante continuas aplicaciones de insecticida.

Cuando las plantas llegaron a su madurez fisiológica se cortaron al raz del suelo y se llevaron al horno donde permanecieron por un espacio de 48 hr a una temperatura de 66°C y después se les determinó el peso seco.

El suelo de cada bolsa conteniendo las raíces fue seccionado en cinco segmentos (0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100 cm) de 20 cm de longitud. Cada segmento fue cribado en seco en mallas de 2, 4 y 6 mm de diámetro, y se le extrajeron las raíces, las cuales fueron lavadas para eliminar los residuos de suelo y después se secaron al horno durante 48 hr a 60°C, luego se pesaron en una balanza analítica para determinar el peso seco de cada segmento por separado.

Como se mencionó anteriormente, la extracción de las raíces del suelo se hizo en seco, con el fin de evitar la pérdida de algunas de éstas, ya que como las plantas llegaron hasta su etapa final de desarrollo, al ser lavadas con agua las raíces más delgadas y raicillas se quebraban y filtraban fácilmente a través de las perforaciones de las mallas y además, su obtención presentaba un mayor grado de dificultad.

Los modelos de raíces de los 20 genotipos se graficaron en base a la masa seca del sistema radical recuperado en

cada segmento. La anchura de la barra representa el peso seco de las raíces de cada perfil y la longitud la profundidad de 20 cm de cada segmento, para cada uno en todos los genotipos.

Características Agronómicas Evaluadas

Días a floración

Días transcurridos desde la siembra hasta que al menos una de las plantas presentó flores.

Días a madurez fisiológica

Días transcurridos desde la siembra hasta la cosecha.

Altura de planta

Se midió la altura de las dos plantas en centímetros desde su base hasta el nudo terminal del tallo principal y se obtuvo el promedio.

Peso seco de vástago

Se obtuvo secando y pesando la porción aérea de las dos plantas, a las que se les eliminaron las hojas y los pecíolos, dejando únicamente el tallo, las ramas y las vainas con semilla, determinándoles luego el promedio.

Rendimiento por planta

Se determinó el rendimiento total, en gramos, de ambas plantas y se obtuvo el promedio.

Vainas por planta

Se cuantificó en ambas plantas el número de vainas - con al menos una semilla y se determinó el promedio.

Semillas por vaina

Se determinó el número total de semillas de las dos plantas y se obtuvo el promedio.

Peso de 100 semillas

Se obtuvo a través de una conversión en base al peso y número de semillas de las dos plantas.

Los promedios de estas características se utilizaron para calcular los análisis de varianza, parámetros genéticos y correlaciones.

El análisis de varianza se realizó bajo el siguiente modelo estadísticos:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + R_j + E_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t \text{ (tratamientos)}$$

$$j = 1, 2, \dots, r \text{ (repeticiones)}$$

donde: Y_{ij} = respuesta del i -ésimo genotipo en la j -ésima repetición.

μ = media general

T_i = efecto el i -ésimo genotipo

R_j = efecto de la j -ésima repetición

E_{ij} = error experimental

Las hipótesis a probar fueron:

$H_0: T_1 = T_2 = T_3$ todos los tratamientos son iguales

$H_a: T_1 \neq T_2 \neq T_3$ al menos un tratamiento es diferente.

Estructura del Análisis de Varianza.

	Grados de libertad	Cuadrados medios	Esperanza de cuadrados medios
Repeticiones	$(r - 1)$		
Tratamientos	$(t - 1)$	M_2	$\sigma_e^2 + r\sigma_t^2$
Error	$(r - 1)(t - 1)$	M_1	σ_e^2
Total	$rt - 1$		

Fórmula del Coeficiente de Variación

$$C.V. = \sqrt{\frac{CME}{\bar{x}}} \times 100$$

donde: CME = cuadrado medio del error

\bar{x} = media general

Fórmula para la prueba de comparación de medias de -

DMS:

$$DMS = t_{\alpha/2} \cdot \sqrt{\frac{2(CME)}{r}}$$

donde: $t_{\alpha/2}$ = valor de tablas de T con los grados de libertad del error.

CME = cuadrado medio del error

r = número de repeticiones

En base al análisis de varianza se calcularán los parámetros genéticos de todas las características, utilizando las siguientes fórmulas:

$$V_g = \frac{M_2 - M_1}{r}$$

$$V_f = V_g + \frac{M_1}{r}$$

$$H^2 = \frac{V_g}{V_f}$$

donde: V_g = varianza genotípica

V_f = varianza fenotípica

H^2 = heredabilidad en sentido amplio

M_2 = cuadrado medio de tratamientos

M_1 = cuadrado medio del error

r = número de repeticiones

Las correlaciones fenotípicas se calcularán por medio de la siguiente fórmula:

$$r_f = \frac{\text{Cov } f_{x,y}}{\sigma_{fx}^2 \cdot \sigma_{fy}^2}$$

donde: r_f = correlación fenotípica

$\text{Cov } f_{x,y}$ = producto de los cuadrados medios de las variables x e y

σ_{fx}^2 = varianza fenotípica de la variable x

σ_{fy}^2 = varianza fenotípica de la variable y

RESULTADOS

El análisis de varianza para diferentes características agronómicas en frijol (Cuadro 4.1) indicó diferencias altamente significativas para rendimiento por planta, vainas por planta, peso seco de vástago, días a floración y días a madurez fisiológica, y diferencias significativas para semillas por vaina y altura de planta, revelando una variabilidad considerable para las diferentes características estudiadas en los recursos genéticos incluidos, además, para el carácter peso de 100 semillas no se detectaron diferencias significativas.

El coeficiente de variación osciló entre 4.06 y 18.54 por ciento para las características: días a floración, días a madurez fisiológica, altura de planta, semillas por vaina y vainas por planta, y se consideran muy aceptables. Mientras que para las características peso de 100 semillas (23.11 por ciento), peso seco de vástago (25.17 por ciento) y rendimiento por planta (30.15 por ciento) fueron un poco altos, sin embargo, para las condiciones de sequía en que fue desarrollado el estudio, estos valores son aceptables.

Cuadro 4.1. Análisis de varianza para diferentes características agronómicas en frijol

Fuentes de variación	G.L.	F c a l c u l a d a							
		Rendimiento por planta	Vainas por planta	Semillas por vaina	Peso de 100 semillas	Peso seco de vástago	Altura de planta	Días a floración	Días a madurez fisiológica
Repeticiones	1	6.02	11.43	0.34	2.96	4.20	3.50	1.55	5.54
Tratamientos	19	3.51**	7.83**	2.58*	1.09 NS	4.12**	2.34*	12.97**	5.58**
Error (CM)	19	1.81	3.08	0.15	17.39	3.37	34.39	3.16	238.76
Total (CM)	39	8.72	29.01	0.55	39.00	17.96	121.72	44.44	1640.30
C.V. (%)		30.15	18.54	14.75	23.11	25.17	14.97	4.06	14.00

** Significancia al 1 por ciento

* Significancia al 5 por ciento

CM Cuadrado medio

CV Coeficiente de variación

El promedio para diferentes características agrónó-
micas en frijol común se presenta en el Cuadro 4.2. El rendi-
miento por planta varió entre 2.00 a 7.26 g, con un promedio
de 4.46 g. El genotipo S-4-RB presentó el máximo rendimiento
con 7.26 g, siguiéndole Fe-33-RB (6.50 g), Ciateño (6.46 g),
Azabache (6.23 g), Negro Jamapa (6.17 g), Fe-30-RB (6.06 g),
Adjuntas-21 (6.05 g), Agrarista (5.84 g), Negro Huasteco
(5.51 g) y Flor de Mayo (4.67 g), todos estos genotipos fue-
ron estadísticamente iguales en la producción de rendimiento
por planta individual y al mismo tiempo fueron superiores al
resto de los genotipos incluidos en el estudio.

Vainas por planta osciló de 3.5 a 15.5 con un prome-
dio de 9.46. La variedad Negro Huasteco (15.5) produjo el
máximo número, siguiéndole Ciateño (14.5), Fe-33-RB (13.5),
Fe-30-RB (13.25), S-4-RB (12.75) y Agrarista (12.50). Estos
genotipos fueron superiores y estadísticamente iguales. En
esta característica se observó un rango más amplio.

Semillas por vaina presentó una variación muy estre-
cha, con un mínimo de 1.73, un máximo de 3.39 y un promedio
de 2.64. Se encontraron diferencias estadísticas significati-
vas y los genotipos Delicias-71 (3.39), Canario-107 (3.36),
Azabache (3.22), Adjuntas-21 (3.18), Negro Jamapa (2.98),
Fe-22-RB (2.93), Agrarista (2.79), S-4-RB (2.71), S-19-RB
(2.69), Flor de Mayo (2.64), Fe-33-RB (2.58) y Pinto Norteño
(2.58) fueron los más sobresalientes en cuanto a número de
semillas por vaina.

Cuadro 4.2. Promedio de diferentes características agronómicas en frijol común.

Genotipo	Rendimiento por planta	Vainas por planta	Semillas por vaina	Peso de 100 semillas (g)	Peso seco de vástago (g)	Altura de planta (g)	Días a floración	Días a madurez fisiológica
Mulato	3.40	8.25	1.73	19.30	5.83	39.00	43.00	102.50
Fe-30-RB	6.06	13.25	2.25	20.82	9.33	38.75	43.00	126.50
Negro Huasteco	5.51	15.50	2.01	17.74	10.69	51.63	45.00	135.50
Azabache	6.23	11.00	3.22	17.78	10.39	38.00	46.50	122.00
Negro Jamapa	6.17	9.50	2.98	21.81	9.82	39.63	49.00	123.00
Pinto-114	2.09	4.00	2.40	22.15	3.20	44.88	34.50	60.50
Ciateño	6.46	14.50	2.48	17.82	10.49	38.38	45.00	127.00
Delicias-71	2.94	7.50	3.39	11.03	6.54	32.88	49.50	116.50
S-19-RB	3.61	7.75	2.69	15.55	5.56	38.00	44.00	115.00
S-18-RB	3.62	9.25	2.28	16.98	5.81	36.75	43.00	100.50
S-17-RB	3.54	9.50	2.25	14.44	5.81	35.75	43.50	104.50
Agrarista	5.84	12.50	2.79	16.66	9.40	38.63	48.00	150.00
Flor de mayo	4.67	8.25	2.64	21.48	7.01	58.50	34.50	115.50
Agramejo	2.80	7.00	2.47	21.77	5.08	38.13	49.50	92.00
Canario-107	2.06	3.50	3.36	17.17	3.76	41.00	35.50	66.00
Fe-33-RB	6.50	13.50	2.58	18.99	9.36	34.00	44.50	132.50
Adjuntas-21	6.05	10.25	3.18	18.72	9.10	38.75	48.00	117.50
S-4-RB	7.26	12.75	2.71	21.49	10.66	34.50	43.50	150.00
Pinto Norteño	2.41	7.25	2.58	13.23	3.83	30.50	42.00	74.00
Fe-22-RB	2.00	4.25	2.93	15.89	4.12	35.50	42.50	77.00
Promedio	4.46	9.46	2.64	18.04	7.29	39.16	43.80	110.40
DMS (5%)	2.81	3.67	0.82	-	3.84	12.27	3.72	32.34

Peso de 100 semillas registró un rango de 11.03 a 22.15 g con una media de 18.04 g. Para esta característica todos los genotipos resultaron estadísticamente iguales y forman un solo grupo, sin embargo, se observan diferencias numéricas para detectar líneas con alto peso de 100 semillas. La variedad Pinto-114 produjo el máximo peso con 22.15 g, siguiéndole Negro Jamapa, Agramejo, S-4-RB, Flor de Mayo y Fe-30-RB con valores de 21.81, 21.77, 21.49, 21.48 y 20.82 g respectivamente.

El peso seco de vástago es el producto de la fotosíntesis del potencial biológico de la planta, este carácter mostró una diferencia muy amplia, desde 3.20 a 10.69 g, con un promedio de 7.29 g. Los genotipos con mayor producción de materia seca por planta individual fueron: Negro Huasteco (10.69 g), S-4-RB (10.66 g), Ciateño (10.49 g), Azabache (10.39 g) y Negro Jamapa (9.82 g). Generalmente, los materiales más sobresalientes para rendimiento son superiores para peso seco de vástago. Los genotipos Pinto 114, Pinto Norteño, Canario-107 y Fe-22-RB produjeron los más bajos rendimientos, y al mismo tiempo, el menor peso seco de la porción aérea de la planta.

Una de las características más importantes de vigorosidad y desarrollo, es la altura de planta, la cual varió entre 30.5 a 58.5 cm, con un promedio de 39.16 cm. Los genotipos Flor de Mayo (58.5 cm), Negro Huasteco (51.63 cm), y Pinto-114 (44.88 cm) presentaron la mayor altura, mientras que Pinto Norteño (30.5 cm), Delicias-71 (32.88 cm) y

Fe-33-RB (34.0 cm) resultaron ser los de menor altura.

En cuanto al carácter días a madurez fisiológica, se detectó una amplia variación que fue de 60.5 a 150 días, con un promedio de 110.4 días. Los genotipos S-4-RB y Agrarista fueron los más tardíos, con una duración de 150 días desde la siembra hasta la cosecha, siguiéndole Negro Huasteco (135.5 días) y Fe-33-RB (132.5 días). Las variedades Pinto 114, Canario-107, Pinto Norteño y Fe-22-RB, se cosecharon a los 60.5, 66, 74 y 77 días respectivamente y fueron los más precoces.

Los genotipos S-4-RB, Fe-33-RB, Negro Jamapa, Azabache y Fe-30-RB produjeron altos valores para el rendimiento y sus componentes, examinándolos simultáneamente.

El análisis de varianza para sistema radical en diferentes perfiles de suelo en rizotrones modificados (Cuadro 4.3) mostró diferencias altamente significativas para todos los segmentos estudiados, así como para el potencial total, revelando una amplia gama de variabilidad para peso seco de raíces en los materiales incluidos. El coeficiente de variación presentó un rango de 33.01 a 43.82 por ciento.

El promedio de peso seco de sistema radical para los diferentes segmentos, se presenta en el Cuadro 4.4. El peso seco de la masa total de raíces varió de 0.43 a 3 g, con un promedio de 1.75 g. La variedad Ciateño presentó la máxima producción que fue de 3 g, siguiéndole Azabache, Negro Jamaapa, S-4-RB, Fe-30-RB, Negro Huasteco, Mulato y Flor de Mayo,

Cuadro 4.3. Análisis de varianza para sistema radical de frijol común en diferentes perfiles de suelo en rizotrones modificados.

Fuentes de variación	G.L.	F c a l c u l a d a										
		0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	0-40	0-60	41-80	41-100	61-100	0-100
Repeticiones	1	6.94	8.65	2.44	3.79	2.67	9.03	7.66	4.32	4.31	3.70	7.36
Tratamientos	19	3.05**	6.29**	3.93**	2.71**	8.49**	3.67**	3.86**	3.49**	3.96**	3.85**	3.77**
Error (CM)	19	0.06	0.02	0.02	0.01	0.00	0.12	0.20	0.06	0.09	0.03	0.37
Total (CM)	39	0.27	0.13	0.13	0.06	0.03	0.62	1.07	0.29	0.44	0.14	1.89
C.V. (%)		38.25	37.09	36.28	43.18	43.82	34.57	33.01	38.25	37.52	40.98	34.55

** : Significancia al 1%

* : Significancia al 5%

CM: Cuadrado medio

CV: Coeficiente de variación

U.A.A.A.N.
BANCO DE TESIS

Cuadro 4.4. Promedio de peso seco de sistema radical de frijol común en diferentes perfiles de suelo en rizotrones modificados.

Genotipo	P e r f i l e s (cm)										
	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100	0-40	0-60	41-80	41-100	61-100	0-100
Mulato	0.67	0.50	0.63	0.47	0.12	1.17	1.80	1.10	1.22	0.59	2.39
Fe-30-RB	0.88	0.51	0.45	0.39	0.24	1.39	1.84	0.84	1.08	0.63	2.47
Negro Huasteco	0.67	0.63	0.51	0.36	0.27	1.30	1.81	0.87	1.14	0.63	2.44
Azabache	0.91	0.51	0.71	0.51	0.21	1.42	2.13	1.22	1.43	0.72	2.85
Negro Jamapa	0.89	0.46	0.61	0.47	0.30	1.35	1.96	1.08	1.38	0.77	2.73
Pinto-114	0.19	0.06	0.13	0.08	0.01	0.25	0.38	0.21	0.22	0.09	0.47
Ciateño	1.10	0.83	0.51	0.41	0.15	1.93	2.44	0.92	1.07	0.56	3.00
Delicias-71	0.90	0.33	0.47	0.29	0.16	1.23	1.70	0.76	0.92	0.45	2.15
S-19-RB	0.38	0.14	0.24	0.17	0.06	0.52	0.76	0.41	0.47	0.23	0.99
S-18-RB	0.44	0.20	0.32	0.22	0.01	0.64	0.96	0.54	0.55	0.23	1.19
S-17-RB	0.63	0.32	0.23	0.28	0.07	0.95	1.18	0.51	0.58	0.35	1.53
Agrarista	0.51	0.40	0.16	0.31	0.20	0.91	1.07	0.47	0.67	0.51	1.58
Flor de Mayo	1.22	0.45	0.42	0.18	0.09	1.67	2.09	0.60	0.69	0.27	2.36
Agramejo	0.35	0.21	0.26	0.19	0.05	0.56	0.82	0.45	0.50	0.24	1.06
Canario-107	0.26	0.07	0.09	0.01	0.00	0.33	0.42	0.10	0.10	0.01	0.43
Fe-33-RB	0.45	0.19	0.19	0.21	0.33	0.64	0.83	0.40	0.73	0.54	1.37
Adjuntas-21	0.56	0.42	0.41	0.23	0.02	0.98	1.39	0.64	0.66	0.25	1.64
S-4-RB	0.85	0.61	0.46	0.41	0.20	1.46	1.92	0.87	1.07	0.61	2.53
Pinto Norteño	0.81	0.13	0.14	0.16	0.00	0.94	1.08	0.30	0.30	0.16	1.24
Fe-22-RB	0.35	0.06	0.12	0.16	0.00	0.41	0.53	0.28	0.28	0.16	0.69
Promedio	0.65	0.35	0.35	0.27	0.13	1.01	1.36	0.62	0.75	0.40	1.75
DMS (5%)	0.52	0.27	0.27	0.25	0.16	0.73	0.94	0.52	0.61	0.34	1.27

con valores de 2.85, 2.73, 2.53, 2.47, 2.44, 2.39 y 2.36 g respectivamente, mientras que los genotipos Canario-107 (0.43 g), Pinto-114 (0.47 g), Fe-22-RB (0.69 g) y S-19-RB (0.99 g), fueron los que presentaron los valores más bajos.

En el primer perfil que fue de 0-20 cm, la producción de materia seca radical presentó un promedio de 0.65 g, observándose una tendencia de reducción en los perfiles subsiguientes, indicando que a medida que el perfil fue más profundo, el promedio en el peso seco de la masa de raíces fue menor.

Los genotipos Negro Jamapa (0.77 g), Azabache (0.72 g), Fe-30-RB (0.63 g), Negro Huasteco (0.63 g), S-4-RB (0.61 g) y Mulato (0.59 g) produjeron los más altos valores de peso seco de raíces en el perfil de 61-100 cm, y se considera que tuvieron una mayor actividad de sistema radical dentro de éste.

Los modelos de raíces de los 20 genotipos de frijol incluidos en el estudio, se presentan en forma individual en la Figura 4.1 y en forma conjunta en la Figura 4.2.

El genotipo Fe-33-RB, aún cuando registra valores intermedios en la producción total del peso seco de sistema radical, produjo el mejor modelo, ya que éste, al contrario de lo que sucedió en la mayoría de los genotipos estudiados, mostró una tendencia a incrementar la producción de raíces a medida que el perfil fue más profundo y además, presentó

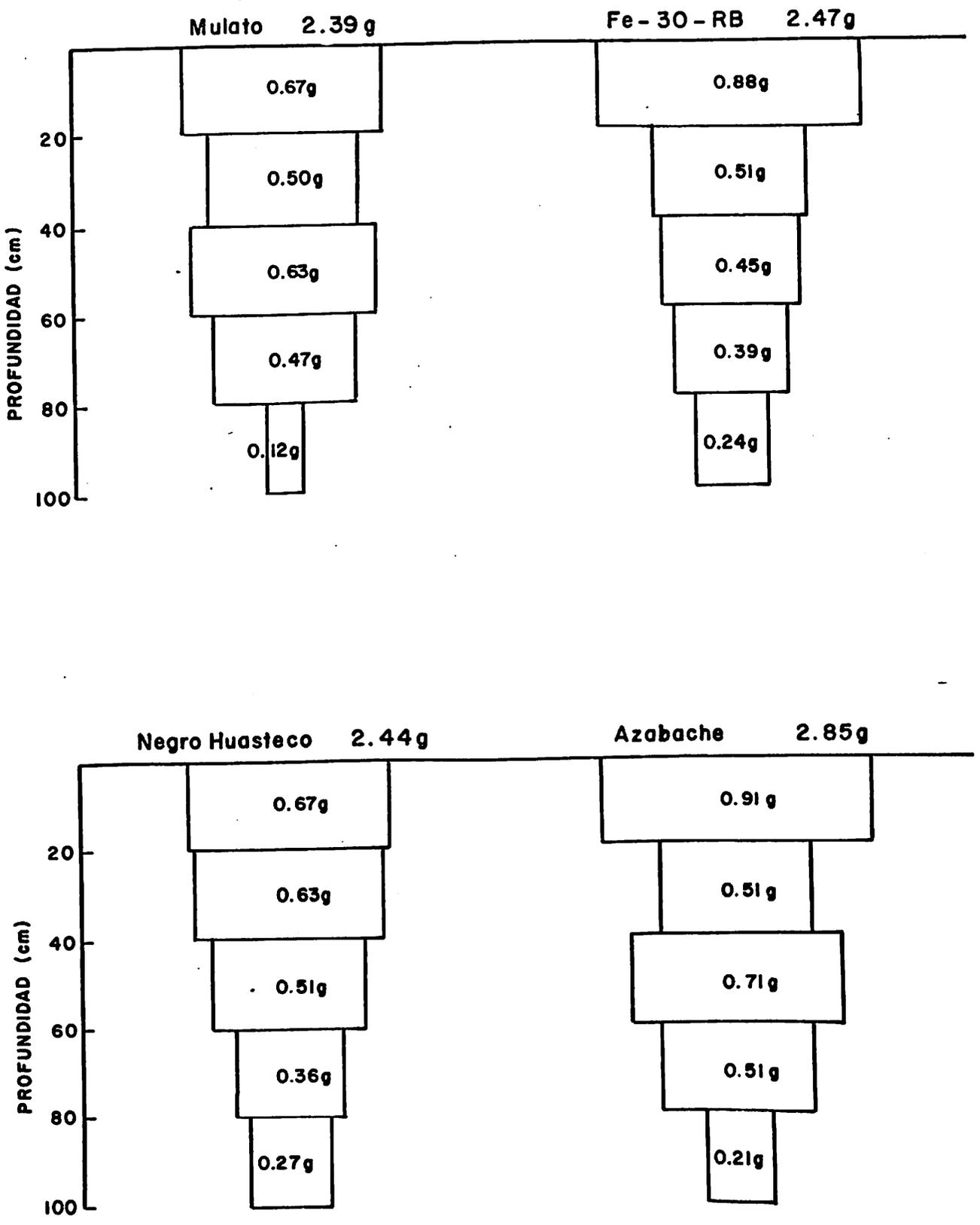


Fig. 4.1 Modelos de Raíces de 20 genotipos de frijol

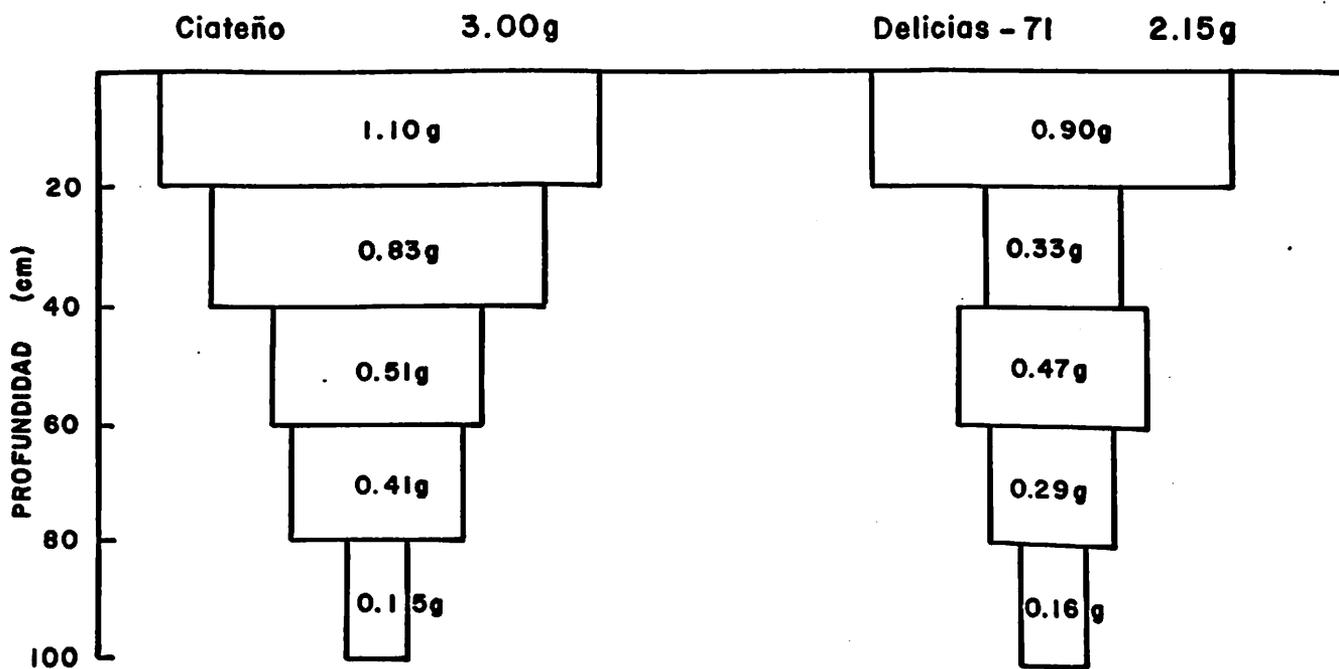
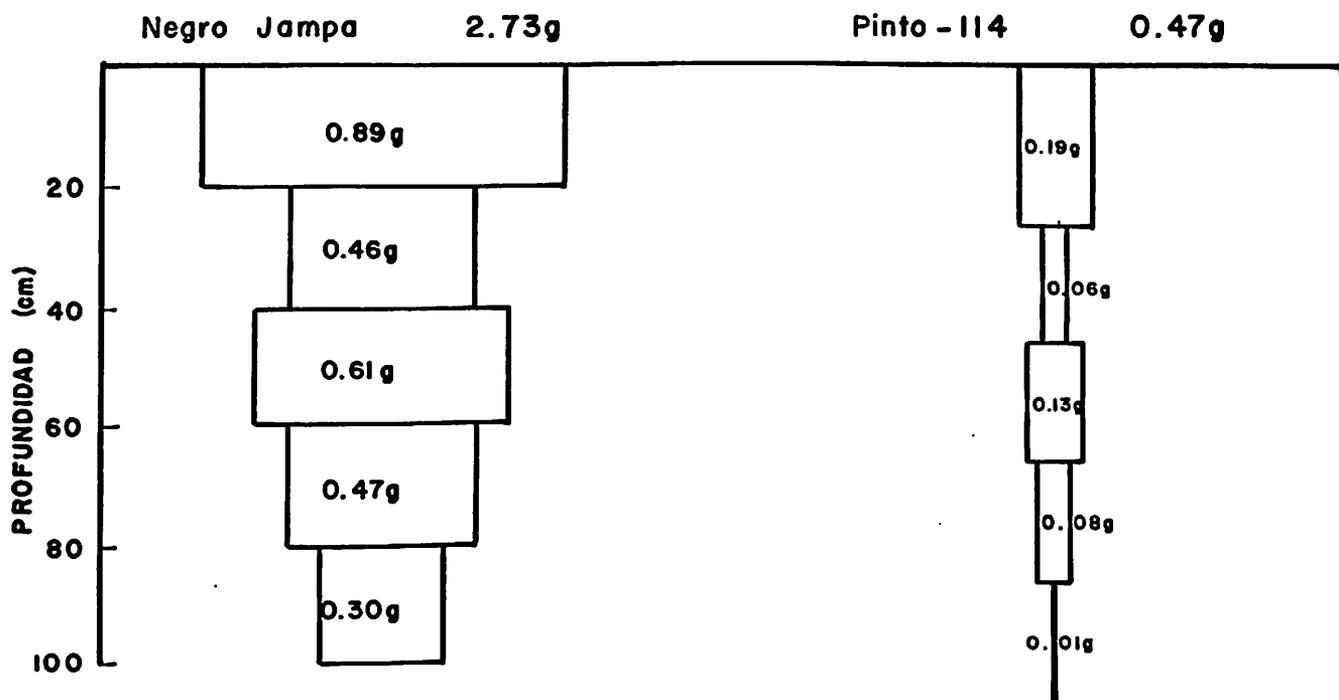


Fig. 4.1 ... Continuación

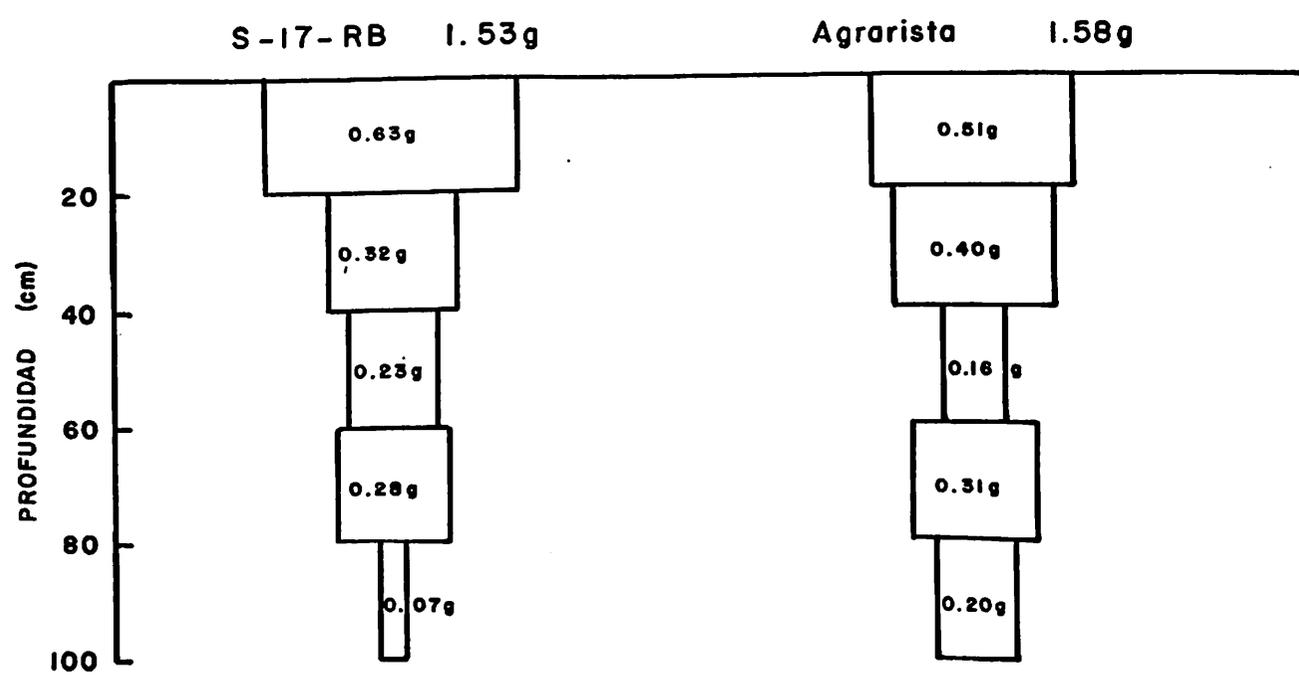
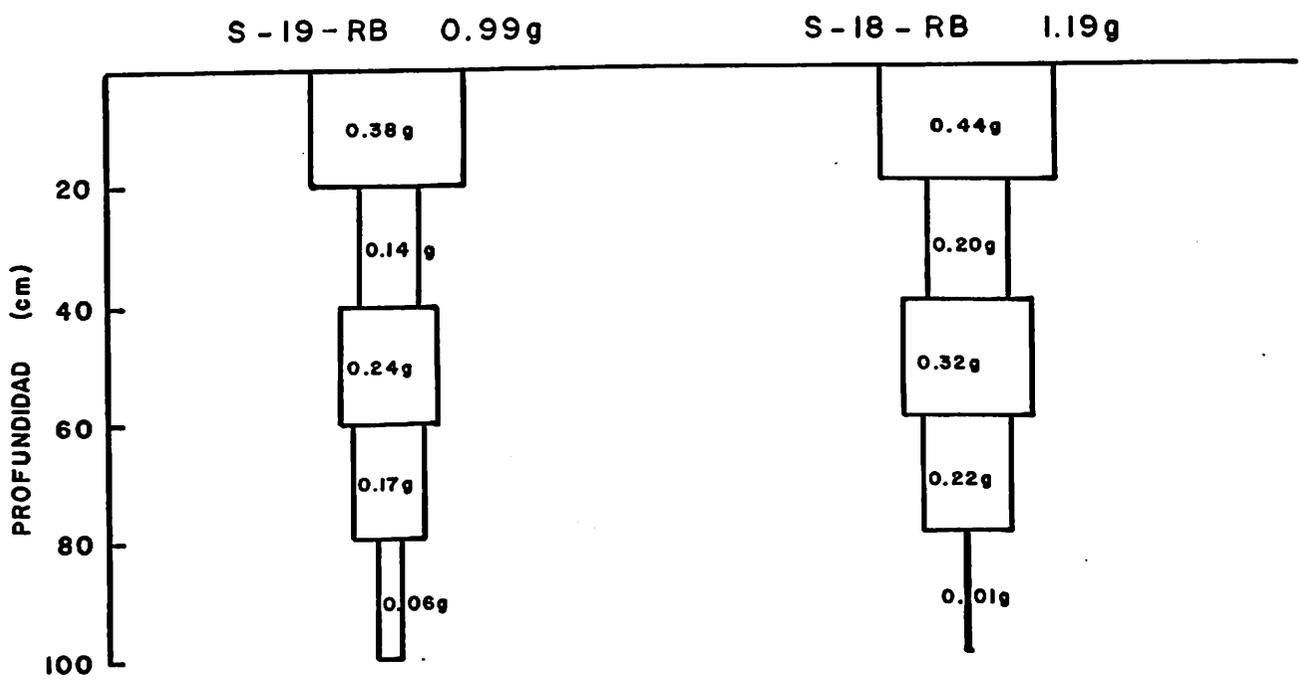


Fig. 4.1.... Continuación

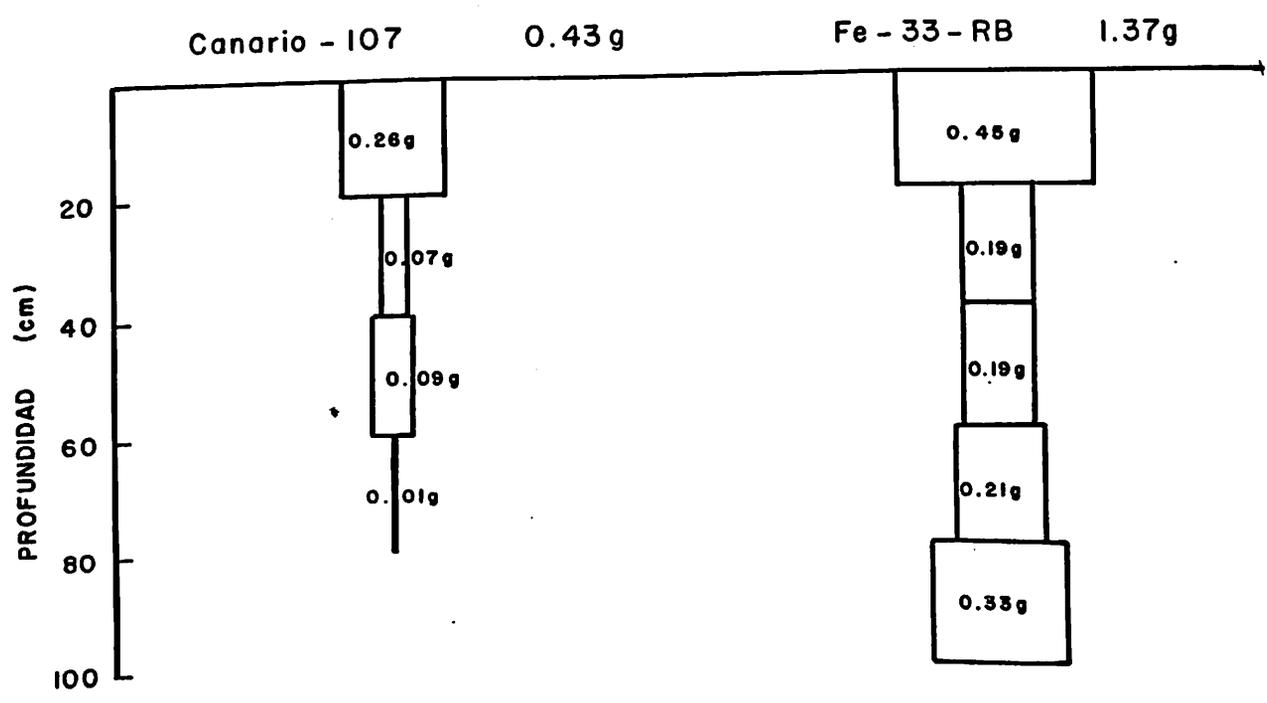
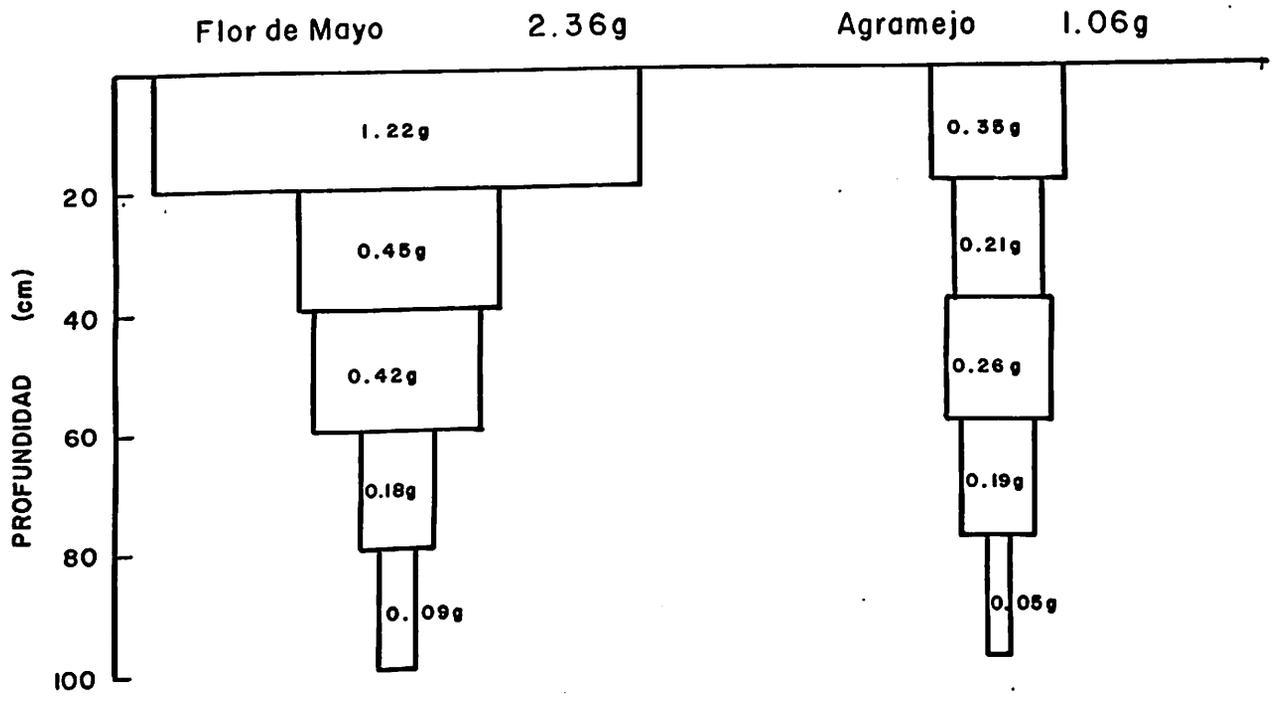


Fig.4.1 Continuación

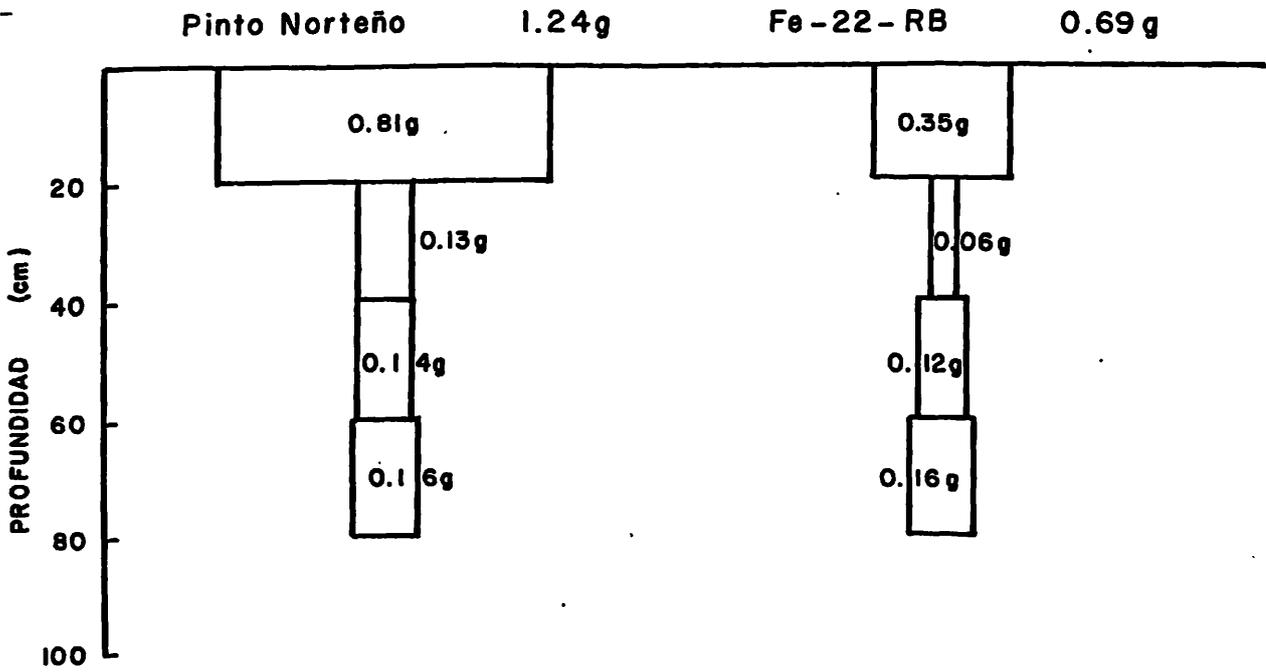
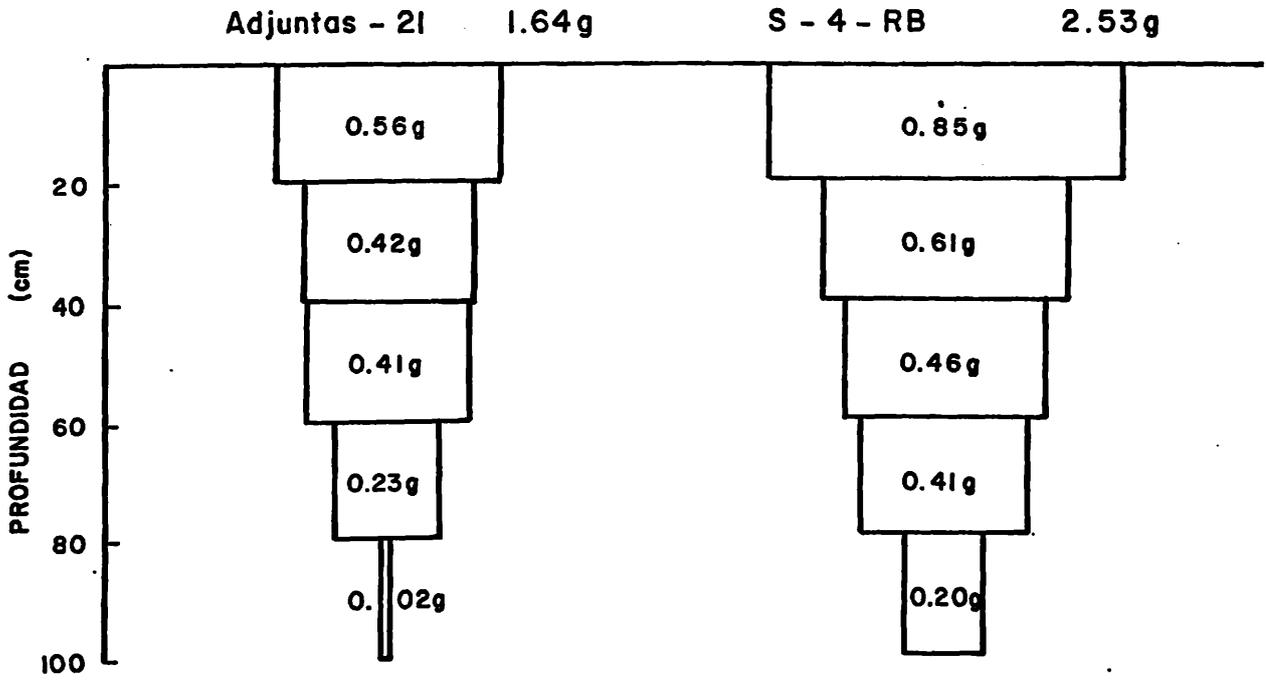


Fig. 4.1..... Continuación

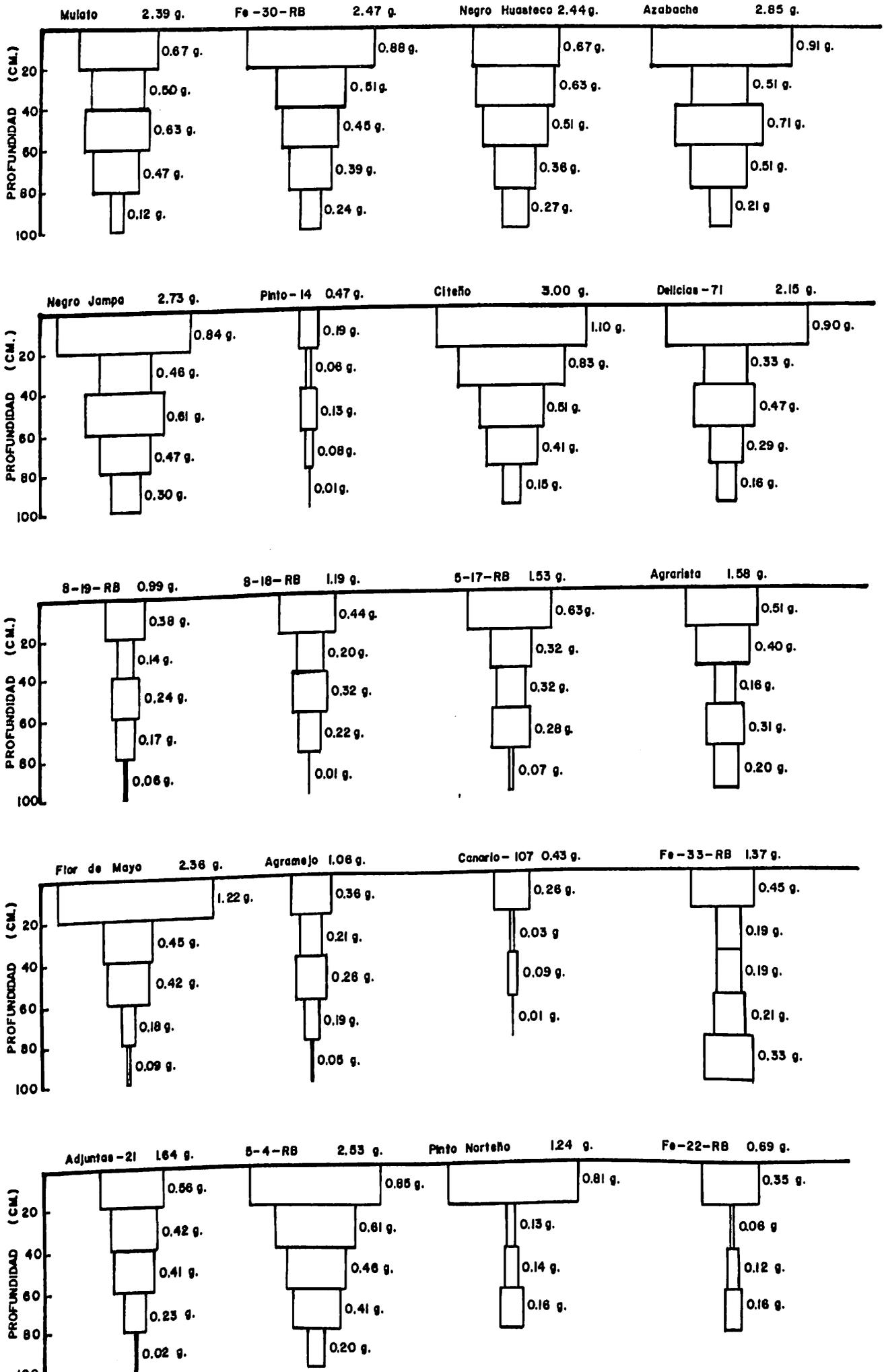


FIGURA 4.2. Modelos de raíces de 20 genotipos de frijol

el más alto valor de sistema radical en el último perfil (0.33 g) que fue de 81-100 cm.

Las variedades Negro Jamapa (0.30 g), Negro Huasteco (0.27 g), Fe-30-RB (0.24 g), Azabache (0.21 g), Agrarista (0.20 g) y S-4-RB (0.20 g) también presentaron altos valores de peso seco de la masa de raíces en el perfil más profundo (81-100 cm) y fueron considerados, al igual que Fe-33-RB, como los genotipos con mejor modelo radical dentro de los materiales evaluados.

En la Figura 4.2 se observa que 17 variedades produjeron raíces dentro de los cinco perfiles estudiados (0-100 cm), mientras que los genotipos Canario-107, Pinto Norteño y Fe-22-RB sólo presentaron raíces en los cuatro primeros perfiles (0-80 cm).

Se observa también que las variedades Pinto-114, S-18-RB y Adjuntas-21 presentaron una cantidad muy baja de peso seco de raíces en el último segmento entre 81-100 cm, con valores de 0.01, 0.01 y 0.02 g respectivamente.

Los parámetros genéticos para las diferentes características agronómicas en frijol se presentan en el Cuadro 4.5. La heredabilidad en sentido amplio registró valores muy altos para días a floración (92.29 por ciento), vainas por planta (87.12 por ciento), días a madurez fisiológica (82.07 por ciento), peso seco de vástago (75.70 por ciento) y peso seco de sistema radical (73.22 por ciento). Para las características de semillas por vaina y altura de planta, la

Cuadro 4.5. Parámetros genéticos para diferentes características agronómicas en frijol común

Características	Varianza fenotípica	Varianza genética	Varianza ambiental	Heredabilidad en sentido amplio (%)
Rendimiento por planta	3.17	2.27	1.81	71.48
Vainas por planta	12.04	10.50	3.08	87.12
Semillas por vaina	0.20	0.12	0.15	61.22
Peso de 100 semillas	9.45	0.76	17.39	8.01
Peso seco de vástago	6.93	5.24	3.37	75.70
Altura de planta	40.23	23.04	34.39	57.26
Días a floración	20.51	18.93	3.16	92.29
Días a madurez fisiológica	665.96	546.58	238.76	82.07
Peso seco de sistema radical	0.69	0.50	0.37	73.22

heredabilidad presentó valores intermedios con 61.22 y 57.26 por ciento respectivamente y un valor muy bajo de 8.01 por ciento para peso de 100 semillas.

Las correlaciones fenotípicas simples para diferentes pares de características agronómicas, se presentan en el Cuadro 4.6. Se encontró una correlación positiva y altamente significativa entre: rendimiento por planta con vainas por planta ($r = 0.873$), peso seco de vástago ($r = 0.965$), días a madurez fisiológica ($r = 0.883$) y peso seco de sistema radical ($r = 0.744$); entre vainas por planta con peso seco de vástago ($r = 0.901$), días a madurez fisiológica ($r = 0.871$) y peso seco de sistema radical ($r = 0.719$); entre peso seco de vástago con días a madurez fisiológica ($r = 0.906$) y peso seco de sistema radical ($r = 0.811$); y entre días a madurez fisiológica con peso seco de sistema radical ($r = 0.730$).

Además, se observaron asociaciones positivas y significativas entre: peso de 100 semillas con altura de planta ($r = 0.466$); entre peso seco de vástago con días a floración ($r = 0.491$); entre altura de planta con días a floración ($r = 0.477$); y entre días a floración y días a madurez fisiológica ($r = 0.531$).

Cuadro 4.6. Correlaciones fenotípicas para diferentes características agronómicas en frijol común

Característica	Vainas por planta	Semillas por vaina	Peso de 100 semillas	Peso seco de vástago	Altura de planta	Días a floración	Días a madurez fisiológica	Peso seco de sistema radical
Rendimiento por planta	0.873**	0.007	0.367	0.965**	0.070	0.390	0.883**	0.744**
Vainas por planta	-	-0.296	0.132	0.901**	0.048	0.438	0.871**	0.719**
Semillas por vaina	-	-	-0.261	0.024	-0.210	0.160	0.040	0.119
Peso de 100 semillas	-	-	-	0.258	0.466*	-0.217	0.121	0.188
Peso seco de vástago	-	-	-	-	0.102	0.491*	0.906**	0.811**
Altura de planta	-	-	-	-	-	0.477*	0.049	0.160
Días a floración	-	-	-	-	-	-	0.531*	0.379
Días a madurez fisiológica	-	-	-	-	-	-	-	0.730**

** Significancia al 1%

* Significancia al 5%

DISCUSION

El análisis de varianza (Cuadro 4.1) mostró diferencias significativas para las características tales como: rendimiento por planta, vainas por planta, semillas por vaina, peso seco de vástago, altura de planta, días a floración, días a madurez fisiológica y materia seca del sistema radical, revelando una amplia gama de variabilidad para los diferentes rasgos estudiados en los genotipos incluidos, lo que indica que es factible desarrollar un programa de mejoramiento genético de frijol en estos recursos. Cortinas (1985) y Rodríguez (1987) evaluaron frijol bajo temporal y riego respectivamente y encontraron diferencias significativas en el análisis de varianza para las características citadas.

Para peso de 100 semillas no se detectaron diferencias significativas, debido a que esta característica fue una de las más severamente afectadas por las fuertes condiciones de estrés de humedad a que estuvieron sometidas las plantas durante el período de llenado de grano.

El coeficiente de variación osciló entre 4.06 y 18.54 por ciento para las características vainas por planta, semillas por vaina, altura de planta, días a floración y días a

madurez fisiológica, estos valores fueron considerados como muy confiables. Las características rendimiento por planta, peso seco de vástago y peso de 100 semillas presentaron valores de 30.15, 23.11 y 25.17 por ciento respectivamente y fueron un poco altas debido a las condiciones de sequía en que se desarrollaron las plantas y a la falta de control de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero, otros factores que influyeron fueron las diferencias en hábito de crecimiento y días a madurez fisiológica, así como el efecto del medio ambiente, ya que influyó de una manera diferencial en los genotipos; sin embargo, estos valores bajo déficit de humedad son considerados aceptables, por consiguiente, los datos obtenidos son confiables. Cortinas (1985) al evaluar 20 genotipos de frijol bajo condiciones de temporal en el campo, encontró bajos coeficientes de variación para las características días a 50 por ciento de floración, altura de planta, peso de 100 semillas, semillas por vaina, vainas por planta y rendimiento por hectárea, y un valor ligeramente más alto para rendimiento por planta.

El rendimiento económico de la planta de frijol es la semilla, la cual es el producto de la multiplicación de sus componentes. Rendimiento es un carácter muy complejo controlado por poligenes del núcleo y genes del citoplasma, con una cadena de eventos interrelacionados de diferentes funciones fisiológicas e interacción con el medio ambiente (Kuruvadi y Cortinas, 1986).

En este estudio el rendimiento por planta varió de 2.00 a 7.26 g, con un promedio de 4.46 g. Las variedades S-4-RB, Fe-33-RB, Ciateño, Azabache y Negro Jamapa fueron superiores en comparación con el resto de las variedades cosechadas bajo sequía rigurosa en el invernadero.

Debido a que el rendimiento presenta una baja heredabilidad y tiene una gran interacción con el medio ambiente, no es por sí mismo el mejor criterio de selección, por lo que debe ser mejorado a través de sus componentes, tales como: vainas por planta, semillas por vaina y peso de 100 semillas (Grafius, 1960; Miranda, 1966; Rasmusson y Cannell, 1970; Yassin, 1973).

Vainas por planta es un carácter muy importante y decisivo en la determinación del rendimiento total del genotipo. En esta investigación el número de vainas por planta osciló entre 3.50 a 15.50, con un promedio de 9.46 y los genotipos que se detectaron como los mejores para esta característica fueron: Negro Huasteco, Ciateño, Fe-33-RB, Fe-30-RB, Agrarista y S-4-RB.

En el mejoramiento genético de frijol, generalmente los fitomejoradores utilizan el carácter vainas por planta como un índice de selección visual en el campo, para identificar genotipos superiores para rendimiento. Este es un carácter tomado como índice de selección bajo riego y ambientes favorables; sin embargo, Cortinas (1985) encontró que en ambientes desfavorables con déficit de humedad, los genotipos

produjeron aproximadamente el mismo número de vainas que bajo condiciones de riego, pero el número de granos abortivos fue mayor, por lo tanto, los fitomejoradores de frijol deben de dar más énfasis a la identificación del óptimo número de vainas con alta fertilidad de semillas bajo condiciones de temporal. Muchos de los genotipos en este estudio produjeron vainas pequeñas con solamente una o dos semillas.

Otro componente principal del rendimiento es el número de semillas por vaina. En este estudio la variación para esta característica fue muy ligera. Los genotipos Delicias-71, Canario-107, Azabache, Adjuntas-21, Negro Jamapa y Fe-22-RB fueron los que presentaron los más altos valores. La falta de desarrollo de algunas semillas se debió al déficit de humedad y a las altas temperaturas que existieron durante el período de llenado de grano.

El peso de 100 semillas también influye marcadamente en el rendimiento total de la planta, esta característica varió de 11.00 a 22.15 g, con un promedio de 18.04 g, y las variedades de mayor peso fueron Pinto-114, Negro Jamapa, Agramejo, S-4-RB y Flor de Mayo.

En este estudio, los valores de los tres principales componentes del rendimiento fueron reducidos a causa de las altas temperaturas del invernadero, castigos de humedad y altas tasas de evapotranspiración, causando una verdadera condición de sequía en los genotipos. Este déficit de agua es una de las causas principales de la abscisión de las

hojas, órganos principales de la fotosíntesis, siguiéndole la aborción de flores, vainas y granos, reduciendo consecuentemente el rendimiento total de la planta. Appadurai y Rajakaruna (1967) afirman que la máxima contribución al rendimiento de vainas parece provenir de la fotosíntesis y translocación desde las hojas, ya que la contribución de las vainas es insignificante. Asimismo, Wien *et al.* (1973) observaron que la remoción temporal de la flor aumentó la formación de vainas, sin embargo, el aborto de algunas vainas y semillas redujeron el rendimiento significativamente, dando como resultado menores proporciones en el peso de la semilla.

Varios investigadores (Smith y Pryor, 1962; Dubetz y Mahall, 1969; Mack y Singh, 1969, y Stoker, 1974) evaluaron genotipos de frijol para estudiar el efecto de altas temperaturas y déficit de agua durante el período de floración y observaron una reducción en el porcentaje de formación de flores, número de vainas por planta, semillas por vaina y leves decrementos en el peso de 100 semillas, lo que contribuyó a la disminución del rendimiento total de la planta.

El principal objetivo de esta investigación fue el de evaluar el potencial del sistema radical y graficar los modelos de raíces de los genotipos incluidos en el estudio, con este fin se castigaron las plantas para estimular una mayor producción de raíces, ya que varios investigadores (Klepper *et al.*, 1973; Kaigama *et al.*, 1977; Garay y Wilhelm,

1983; Jodari-karimi *et al.*, 1983 y Whitey Sponchiado, 1985) - afirman que bajo condiciones de sequía, los genotipos producen un sistema radical más profundo en busca de agua.

En el análisis de varianza para masa de sistema radical recuperada en diferentes perfiles (Cuadro 4.3), mostró diferencias altamente significativas para todos los segmentos estudiados, así como para la producción total de raíces - revelando una gran variabilidad genética para esta característica en los materiales incluidos, lo que indica que es factible identificar genotipos con alta producción de raíces para desarrollar variedades altamente rendidoras bajo temporal en un programa de resistencia a sequía en frijol. Kuruvadi y Smith (1986), Hurd (1974), Espinoza y Kuruvadi (1985) - evaluaron el potencial del sistema radical en trigo macarronero, trigo duro y zacate gigante, encontrando diferencias significativas para el potencial total del sistema radical.

El porcentaje del coeficiente de variación osciló entre 33.01 a 43.82 para peso seco de sistema radical en diferentes perfiles. Estos valores están considerados como poco altos, debido principalmente a errores en la técnica de muestreo empleada, ya que en general todos los estudios con raíces son problemáticos. Zamora (1984), obtuvo coeficientes de variación para peso seco de raíz de 20.81 a 42.10 por ciento, al evaluar 12 variedades de frijol en diferentes etapas de desarrollo.

Las variedades Ciateño, Azabache, Negro Jamapa, Fe-30-RB y Negro Huasteco produjeron peso seco de sistema radical entre 2.44 a 3.00 g y fueron las mejores en comparación con los genotipos restantes. Estas variedades pueden utilizarse como progenitores en los programas de hibridación para incorporar mejor sistema radical en variedades altamente rendidoras bajo sequía.

La proporción de masa de sistema radical depende de la constitución genética, medio ambiente, condición de crecimiento (bajo riego o temporal), profundidad, estructura, temperatura, aereación y disponibilidad de oxígeno del suelo. Entre los 20 genotipos incluidos, 17 (excepto Canario - 107, Pinto Norteño y Fe-22-RB) produjeron raíces en los cinco diferentes perfiles de suelo estudiados, indicando que la mayoría de las variedades de frijol pueden producir su sistema radical hasta los 100 cm (Figuras 4.1 y 4.2), por lo tanto, en futuros estudios se recomienda utilizar bolsas o rizotrones hasta una profundidad de 150 o 200 cm, para evaluar el sistema radical y graficar los modelos de los mismos. White y Sponchiado (1985), al comparar patrones de crecimiento radical y de extracción de humedad del suelo en frijol, observaron que las raíces de las variedades tolerantes penetraron a más de 120 cm.

En este estudio, las variedades Fe-33-RB, Negro Jamapa, Negro Huasteco, Fe-30-RB, Azabache, Agrarista y S-4-RB presentaron una mayor actividad de sistema radical con masa de peso seco entre 0.20 a 0.33 g en el perfil de 80-

100 cm.

Varios investigadores (Singh, 1952; Donald, 1963; Weatherley, 1965; Watson, 1968 y Kuruvadi, 1980) reportaron que el estrés de humedad generalmente decrece con el aumento del sistema radical a mayores profundidades. Según Levitt (1972) las plantas con mayor profundidad de raíces muestran mayor evitación a la sequía que las plantas con sistema radical superficial.

Estas variedades con más cantidad de raíces a mayor profundidad podrían tener mecanismo de evitación a sequía para supervivencia durante déficit de agua, ya que normalmente en las zonas frijoleras bajo temporal en Durango y Zacatecas, la humedad del suelo se puede agotar en los perfiles entre 0 a 80 cm durante el tiempo de máxima producción de flores y llenado de grano, y estos genotipos aprovechan superficies más profundas del suelo, absorben agua y abastecen a la planta hasta el término de su etapa de desarrollo.

Levitt (1972) explicó tres diferentes mecanismos de resistencia a sequía tales como: escape, evitación y tolerancia. Las plantas evitadoras evaden la sequía en dos formas: por absorción de mayor cantidad de agua debido a una mayor profundidad de crecimiento vertical del sistema radical, o por la reducción de la transpiración y conservación del agua interna de la planta, por lo tanto, las evitadoras poseen un alto potencial hídrico y turgencia en las células, producen óptimos rendimientos y pueden sobrevivir bajo condiciones de

escasez de humedad. El mismo autor enfatiza que el mecanismo de evitación es mejor que el de tolerancia en la producción de rendimiento bajo sequía.

Los genotipos Canario-107, Pinto-114, Fe-22-RB y S-19-RB produjeron menor rendimiento de materia seca de sistema radical y raíces menos profundas en comparación con los restantes, por lo tanto, estos genotipos no poseen mecanismo de evitación. White y Sponchiado (1985), encontraron también que las variedades de frijol susceptibles a sequía presentaban raíces que escasamente sobrepasaban los 70 cm de profundidad.

Siete genotipos (Negro Jamapa, Fe-33-RB, Negro Huasteco, Fe-30-RB, Azabache, Agrarista y S-4-RB) produjeron un excelente modelo de sistema radical, con mayor peso seco de raíces y su crecimiento dentro de los cinco segmentos estudiados. Sin embargo, la línea F-33-RB mostró el mejor modelo ya que fue incrementando la cantidad de raíces a medida que el perfil del suelo era más bajo, excepto para el primero (0-20 cm), presentando el mayor peso seco de masa radical en el último segmento. Los genotipos antes mencionados tienen una mayor actividad de absorción de agua y nutrientes y pueden evitar la sequía, ya que de acuerdo con Parsons (1979), las plantas con un largo, profundo y bien desarrollado sistema radical pueden extraer más agua del suelo y posponer o retrasar los efectos de la sequía.

Las variedades Negro Jamapa y Azabache produjeron modelos de raíces más o menos semejantes, mientras que Negro Huasteco, Fe-30-RB y S-4-RB también presentaron modelos similares entre sí, otros genotipos que mostraron aproximadamente el mismo modelo fueron: S-19-RB y Agramejo. El resto de los genotipos produjeron modelos únicos.

Los dos primeros perfiles de cada planta (0-20 y 20-40 cm) presentaron raíces más viejas, gruesas, menos ramificadas y con un mayor peso seco, sin embargo, se considera que estas raíces son fisiológicamente inactivas durante los períodos de floración a llenado de grano debido a la baja disponibilidad de agua existente en estos perfiles. Asimismo, se observó que las raíces de los últimos segmentos fueron más jóvenes, delgadas, profusamente ramificadas y de menor peso, pero fisiológicamente muy activas en la absorción de agua. Taylor y Terrel (1982) y Rojas y Rovalo (1984) mencionan que las raíces jóvenes son más efectivas en la absorción de agua y nutrientes que las raíces viejas.

Hurd (1974) alude que los modelos de sistema radical están controlados por los genes y pueden ser modificados por el ambiente, por lo tanto, podemos manipular esta característica a través de mejoramiento genético en los cultivos.

Kuruvadi (1987c) mencionó cuatro medidas para estudiar el sistema radical, a saber: longitud de raíces, peso de masa de raíz, volumen y densidad de raíz en una unidad

de superficie de suelo. Generalmente la longitud de raíces es considerada de más valor que el peso y volumen porque indica la actividad del sistema radical en diferentes perfiles de suelo, para interpretar mejor los datos y para identificar variedades con mecanismo de evitación.

Los datos de longitud del sistema radical son útiles cuando se evalúan los genotipos en rizotrones o bolsas tubulares de 100 a 200 cm, mientras que el peso y volumen pueden ser empleados cuando los estudios del sistema radical son conducidos en cartones o bolsas de polietileno de poca profundidad. Kuruvadi y Smith (1986) reportaron una correlación positiva y altamente significativa entre masa de sistema de raíces de plantas adultas bajo riego en cartones, con masa de sistema radical de los mismos genotipos bajo condiciones de sequía en rizotrones. Murphy *et al.* (1982) observaron una correlación positiva y significativa entre volumen y peso seco de sistema radical y sugieren que el peso de masa de raíces puede utilizarse en los programas de mejoramiento en lugar de volumen de raíz, porque la medida de volumen es muy tediosa y consume más tiempo para seleccionar dentro de un gran número de genotipos para sistema radical. Abd-Elatif y Weibel (1978) opinan que para la identificación de líneas resistentes a sequía, el peso de raíz probablemente sea la característica más indicativa y fácil de determinar.

Las variedades Pinto-114, Canario-107, Pinto Norteño y Fe-22-RB produjeron baja cantidad de masa de sistema

radical a causa de su precocidad, ya que se cosecharon entre 60.5 y 77 días después de la siembra. Los genotipos tardíos (Agrarista, S-4-RB, Negro Huasteco y Fe-33-RB) se cosecharon entre 132 a 150 días después de la siembra y produjeron una gran cantidad de sistema radical en peso seco, en comparación con los precoces. Generalmente los genotipos tardíos e intermedios presentaron un alto peso de sistema radical comparados con los precoces.

Brauer (1980) definió la heredabilidad como el cociente entre la variación hereditaria y la varianza total, y también como la estimación de la influencia que tienen los genes aditivos en la determinación de los caracteres cuantitativos. La heredabilidad puede ser calculada de dos maneras: en sentido amplio, que es la proporción heredable del total de la varianza fenotípica y; en sentido estrecho, que indica la suma de los efectos de los genes aditivos que un progenitor contribuye a su progenie:

En esta investigación se estimó el porcentaje de heredabilidad en sentido amplio (Cuadro 4.5) y las características días a floración, vainas por planta, días a madurez fisiológica, peso seco de vástago y peso seco de sistema radical presentaron valores altos de 73.22 a 92.29 por ciento, por lo tanto, la selección para estas características es muy efectiva en generaciones tempranas como en tardías en esta especie.

Las características altura de planta y semillas por vaina presentaron valores intermedios de heredabilidad de 57.26 y 61.22 por ciento respectivamente, y estos caracteres también son efectivos en los programas de selección, pero el fitomejorador tiene que ser más cuidadoso y preciso en la selección. García (1984), Rocha (1984), Zamora (1984) y Cortinas (1985) estimaron valores de heredabilidad en sentido amplio de moderados a altos en frijol para las características antes mencionadas, y señalan que estos valores son significativos para hacer una efectiva selección en los programas de mejoramiento genético.

Los valores de los coeficientes de correlación entre diferentes pares de características agronómicas de la planta proporcionan el grado de relación entre éstas, las correlaciones facilitan una mejor interpretación de los datos, son una herramienta útil para planear un eficiente programa de selección y para clasificar características útiles y no útiles en dichos programas (Kuruvadi, 1986).

En este estudio, el rendimiento tuvo correlaciones positivas y altamente significativas con cuatro características, como: vainas por planta, peso seco de vástago, días a madurez fisiológica y peso seco de sistema radical. El carácter vainas por planta y días a madurez fisiológica pueden utilizarse como selección indirecta para identificar genotipos superiores para rendimiento en el campo. Generalmente los fitomejoradores de frijol están utilizando vainas -

por planta como un carácter de apoyo en la identificación de genotipos sobresalientes para rendimiento en el campo, con selección visual.

Vainas por planta estuvo estrecha y positivamente asociada con tres características: peso seco de vástago, días a madurez fisiológica y peso seco de masa radical. Peso seco de vástago fué relacionado con tres características: días a floración, días a madurez fisiológica y sistema radical. Días a madurez fisiológica es altamente correlacionado con peso seco de sistema radical, indicando que la producción de raíces puede ser mayor al aumentar los días a madurez fisiológica.

Peso de sistema radical fue altamente correlacionado con rendimiento por planta, vainas por planta, peso seco de vástago y días a madurez fisiológica. Kaigama *et al.* (1977) indicaron que estudiar el sistema radical periódicamente es muy difícil debido a que crece por abajo de la superficie del suelo y la mayoría de las investigaciones en los cultivos están hechas en la parte aérea de la planta, por lo tanto, las características anteriormente citadas pueden utilizarse en los programas de fitomejoramiento para identificar genotipos con mayor producción de raíces a través de selección visual en el campo.

Hurd (1974) y Kuruvadi (1980), estudiaron la relación entre rendimiento y sistema radical en trigo macarroneero e indicaron que los genotipos sobresalientes para

rendimiento bajo temporal automáticamente poseen un mejor sistema de raíces y son resistentes a la sequía.

CONCLUSIONES

- Existe una amplia gama de variabilidad para peso seco de masa de sistema radical en los cinco diferentes perfiles (0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100) así como para su potencial total en los rizotrones modificados.

- Se detectaron diferencias significativas para rendimiento por planta, vainas por planta, semillas por vaina, peso seco de vástago, altura de planta, días a floración y madurez fisiológica, en los recursos genéticos estudiados.

- Los genotipos Fe-33RB, Negro Jamapa, Negro Huasteco y Fe-30-RB presentaron alta actividad de sistema radical en el perfil más profundo de 81-100 cm, mostraron los mejores modelos de raíces y se recomiendan como progenitores en los programas de hibridación para incorporar mejor sistema radical en las variedades de frijol alto rendidas bajo temporal.

- Los genotipos S-4-RB, Fe-33-RB, Ciateño y Azabache produjeron altos valores para rendimiento por planta; Negro Huasteco, Ciateño, Fe-33-RB y Fe-30-RB para vainas por planta, Delicias-71, Canario-107, Azabache y Adjuntas-21 para semillas por vaina, y pueden utilizarse como fuentes de genes para incorporar los rasgos correspondientes.

- Las características días a floración, vainas por planta, días a madurez fisiológica, peso seco de vástago y peso seco de sistema radical, presentaron valores altos de heredabilidad en sentido amplio y estos rasgos son efectivos en los programas de selección.

- Genotipos con mejor sistema radical pueden identificarse indirectamente a través de características como: alto rendimiento, mayor número de vainas por planta, mayor producción de peso seco de vástago y días a madurez fisiológica.

- Se observó una correlación positiva y altamente significativa entre rendimiento con vainas por planta, peso seco de vástago, días a madurez fisiológica y peso seco de sistema radical.

- Estudiar modelos de raíces en rizotrones es costoso, sin embargo, en rizotrones modificados es económico.

- En futuros estudios se recomienda construir rizotrones modificados hasta una profundidad de 150-200 cm para obtener una mejor información sobre profundidad de crecimiento de sistema radical en frijol común.

RESUMEN

En esta investigación se evaluaron 20 genotipos de frijol con una amplia gama de variabilidad, bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones, con el objetivo de estudiar el potencial del sistema radical en diferentes perfiles de suelo, graficar modelos de raíces, estimar parámetros genéticos y correlaciones fenotípicas para diferentes variables.

El sistema radical de los genotipos citados se evaluó en bolsas de polietileno de 100 cm de longitud, con 70 por ciento de suelo de bosque y 30 por ciento de arena. Se sembraron seis semillas por bolsa y se dejaron las dos plántulas más vigorosas, después de 12 días de nacidas, se aplicó un riego de germinación y un riego de auxilio 60 días después de la siembra. El trabajo se realizó bajo condiciones naturales de invernadero donde existieron temperaturas altas hasta de 45°C aproximadamente, después de la madurez fisiológica de los genotipos, se cosechó la parte aérea de las plantas, la bolsa conteniendo las raíces se seccionó en cinco segmentos de 20 cm cada uno y se determinó el peso seco de masa de sistema radical de cada segmento.

El análisis de varianza para sistema radical en los cinco diferentes perfiles (0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100 cm), así como para su potencial total, indicó diferencias altamente significativas. El análisis de varianza para diferentes características agronómicas tales como rendimiento por planta, semillas por vaina, peso seco de vástago, altura de planta, días a floración y madurez fisiológica, también mostraron diferencias significativas.

De los 20 genotipos, 17 produjeron sistema radical dentro de los cinco perfiles estudiados. Las variedades Fe-33-RB, Negro Jamapa, Negro Huasteco y Fe-30-RB presentaron alta proporción de raíces en el perfil más profundo de 81-100 cm y también mostraron los mejores modelos. Estas características pueden contribuir a un mayor abastecimiento de humedad durante el tiempo de floración hasta madurez fisiológica y proporcionar a la planta un mecanismo de evitación a la sequía.

Los genotipos S-4-RB, Fe-33-RB, Ciateño y Azabache, fueron los más sobresalientes para rendimiento; Negro Huasteco, Ciateño, Fe-33-RB y Fe-30-RB para vainas por planta, y Delicias-71, Canario-107, Azabache y Adjuntas-21 para semillas por vaina.

Los genotipos Pinto-114, Canario-107, Pinto Norteño y Fe-22-RB fueron los más precoces, con 60.5, 66, 74 y 77 días a madurez fisiológica respectivamente, mientras que S-4-RB y Agrarista resultaron ser los más tardíos dentro de

los materiales incluidos, con 150 días desde la siembra hasta la cosecha.

Los genotipos precoces produjeron baja cantidad de peso seco de sistema radical en comparación con los tardíos. La altura de la planta no indicó una clara evidencia en alta producción de sistema radical.

Las características días a floración, vainas por planta, días a madurez fisiológica, peso seco de vástago y peso seco de sistema radical, presentaron altos valores de heredabilidad en sentido amplio y estos rasgos son muy efectivos en el programa de selección.

La masa de peso seco de sistema radical es alta y positivamente correlacionada con cuatro características: rendimiento por planta, vainas por planta, peso seco de vástago y días a madurez fisiológica, las cuales pueden utilizarse como índices de selección indirecta para identificar genotipos con mejor sistema radical.

El rendimiento está fuertemente correlacionado con vainas por planta, peso seco de vástago, madurez fisiológica y peso seco de sistema radical.

LITERATURA CITADA

- Abd-Ellatif M. and D.E. Weibel. 1978. Evaluation of root characteristics in grain sorghum. *Agron. J.* 70:217 - 218.
- Appadurai, R.R. and S.B. Rajakaruna. 1967. Leaf contribution to podo yields in kidney-bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Indian Journal of Agricultural Science.* 37:524-525.
- Armenta-Soto, J. T.T. Chang, G.C. Loresto and J.C. O'Toole. (1983). Genetic analysis of root characters in rice. *Sabrao I.* 15(2):103-116.
- Bertrand, A.R. 1965. Water conservation through improved practices. In: "Plant environment and efficient water use". pp. 207-235. Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Madison, Wisconsin.
- Brauer, O. 1980. *Fitogenética aplicada*. Ed. Limusa, México. p. 246.
- Brown, R.W. 1977. Water relations of range plants. In: Sosebee, R.E. Ed. *Rangeland plant physiology*. Range Science Series No. 4. Society for Range Management pp. 97-140.
- Cahoon, G.A. and Morton, E.S. 1961. An apparatus for the quantitative separation of plant roots from soil. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 78:593-596.

- Ceccarelli, S. 1987. Yield potential and drought tolerance - of segregating populations of barley in contrasting environments. *Euphytica*. 36:265-273.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1980. Diversidad genética de las especies cultivadas del - género *Phaseolus*. Guía de estudio. p. 7.
- Cortinas, E.H. 1985. Determinación del grado de clorosis y - su relación con características agronómicas en fri - jol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis M.C. Saltillo, Coah. UAAAN. Colegio de graduados.
- Cruz, R.T., J.C. O'Toole, M. Dingkuhn, E.B. Yambao, M. Than - garaj and S.K. De Datta. 1986. Shoot and root respon - ses to water deficits in rainfed lowland rice. *Aust. J. Plant. Physiol.* 13:567-575.
- Cholick, F.A., J.R. Welsh and C. Vernon C. 1977. Rooting - patterns of semi-dwarf and tall winter wheat culti - vars under dryland field conditions. *Crop Sci.* 17: 637-639.
- Donald, C.M. 1963. Competition among crop and pasture plants *Advn. Agron.* 15:1-118.
- Duarte, A.R. and M.W. Adams. 1972. A path coefficient analy - sis of some yield component interrelations in field beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Sci.* 12:579-582.
- Dubetz, S. and P.S. Mahall. 1969. Effect of soil water - - stress on bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) at three stagen of growth. *J. of American Society for Horti - cultural Science.* 94(5):479-481.
- Dudley, J.W. and R.H. Moll. 1969. Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in - plant breeding. *Crop. Sci.* 9(3):257-262,

- Ekanayake, I.J., J.C. O'Toole, D.P. Garrity and T.M. Masajo. 1985. Inheritance of root characters and their relations to drought resistance in rice. *Crop Sci.* 25(6) 927-932.
- Espinoza Z.R. y S. Kuruvadi. 1985. Clasificación de colecciones de zacate gigante (*Leptochloa dubia* H.B.K. Ness) por su grado de resistencia a sequía en manitol. - *Agraria. Revista Científica.* 1(2):142-152. UAAAN. - Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Falconer, D.S. 1981. *Introducción a la Genética Cuantitativa* Ed. CECSA. México. 13a. impresión. pp. 303-310.
- Garay, A.F. and W.W. Wilhelm. 1983. Root system characteristics of two soybean isolines under going water stress conditions. *Agron. J.* 75:973-977.
- García, S.A. 1984. Estabilidad de los componentes primarios de rendimiento de frijol sobre diversos ambientes. Tesis M.C. Saltillo, Coahuila. UAAAN. Colegio de graduados.
- Grafius, J.F. 1960. Does overdominance exist for yield in corn. *Agron. J.* pp. 352-361.
- Hurd, E.A. 1974. Root study of three wheat varieties and their resistance to drought and damage by soil cracking. *Can. J. Plant Sci.* 44:240-248.
- _____. 1984. Phenotype and drought tolerance in wheat. In: "Modification for more efficient water use". - (J.E. Stone Edited). *Agric. Meteorology.* 14:39-55.
- Jodari-karimi, F., V. Watson, H. Hodges and F. Shisler. 1983. Root distribution and water use efficiency of alfalfa as influenced by depth of irrigation. *Agron. J.* - 75:207-211.

- Kaigama, B.K., I.D. Teare, L.R. Stone and W.L. Powers. 1977. Root and top growth of irrigated and nonirrigated grain sorghum. *Crop Sci.* 17:555-559.
- Kambal, A.E. 1969. Components of yield in field beans (*Vicia faba* L.). *J. Agric. Sci. Camb.* 72:359-363.
- Kapuya, J.A., G.W.M. Barendse and H.F. Liskens. 1985. Water stress tolerance and proline accumulation in *Phaseolus vulgaris* L. *Acta Bot. Neerl.* 34(3):293-300.
- Klepper, B., H.M. Taylor, M.G. Huck and E.L. Fiscus. 1973. Water relations and growth of cotton in drying soil. *Agron. J.* 65:307-310.
- Kohashi, S.J. y M. Alfaro. 1980. Efecto de la temperatura en la abscisión de vainas y en el aborto de semillas de *Phaseolus vulgaris* L. In: Avances en la enseñanza y la investigación. Colegio de postgraduados. Chapingo México.
- Kozlowski, T.T. 1968. In water deficit and plant growth. Vol. 1. (T.T. Kozlowski ed). pp. 1-21. New York Academic.
- Krarrup, A. and D.W. Davis. 1970. Inheritance of seed yield and its components in a six-parent diallel cross in peas. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 95:795-797.
- Kuruvadi, S. 1980. Genetic studies in oriland wheat (*Triticum durum* Desf.). International Development Research Centre. Post-Doctoral Thesis. Ottawa, Canada.
- _____. 1986. Utilidad de las correlaciones en el mejoramiento genético de los cultivos. COMUNNA. Organó-Informativo de la UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. p. 9.

- Lorens, G.F., J.M. Bennett y L.B. Loggale. 1987. Differences in drought resistance between two corn hybrids. II. Component analysis and growth rates. *Agron. J.* 79: 808-815.
- Mack, H.J. and J.N. Singh. 1969. Effects of high temperature on yield and carbohydrate composition of bush snap beans. *Journal of the American Society of Horticultural Science.* 94:60-62.
- Mac Key, J. 1973. The wheat root. *Proc. 4th Int. Wheat Genet. Symp. Columbia. 1973. Missouri Agric. Exp. Sta. Columbia.* pp. 827-842.
- _____, 1980. Crop improvement and root water relations. Plant root. In: A compilation of ten seminaris given at Iowa State University. pp. 69-79.
- May, L.H., E.J. Milthorpe and E.L. Milthorpe. 1962. Pre-sowing hardening of plants and drought. An appraisal of the contributions by P.A. Henkel. *Field crops. Abstract.* 15(2):193-198.
- Miller, D.E. 1986. Root Systems in relation to stress tolerance. *Hort. Science.* Vol 21(4):963-970.
- Miranda, C.S. 1966. Mejoramiento del frijol en México. *Folleto misceláneo No. 13. INIA-SAG. México.* 36 p.
- _____, 1967. Origen de *Phaseolus vulgaris* L. *Agrocien- cia.* Vol. 1(2):99-109.
- Murphy, C.F. R.C. Long and L.A. Nelson. 1982. Variability of seedling growth characteristics among oat genotypes. *Crop Sci.* 22:1005-1008.
- Navarro, S.F. 1983. Marco de referencia del área. In: *Frijol en el noreste de México. (Tecnología y Producción).* SARH-INIA-CIAPAN-CAEUACU. pp. 1-27.

- Palacios, V.E. y A. Martínez. 1978. Respuesta de los cultivos a diferentes niveles de humedad del suelo. Un enfoque metodológico de investigación. SARH. Colegio de postgraduados. Chapingo, México. 25 p.
- Parsons, L.R. 1979. Breeding for drought resistance: what plant characteristics impart resistance? Hort. Sci. 14:590-593.
- Rasmusson, D.C. and R.Q. Cannell. 1970. Selection for grain yield and components of yield in barley. Crop Sci. 10(4):51-54.
- Robertson, W.K., L.C. Hammond, J.T. Johnson and K.J. Boote. 1980. Effects of plant-water stress on root distribution of corn, soybeans and peanuts in sandy soil. Agron. J. 72:548-550.
- Rocha, R.G. 1984. Efecto de la interacción genotipo ambiente sobre la asociación de caracteres en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis M.C. Saltillo, Coahuila. UAAAN. Colegio de Graduados.
- Rodríguez, C.F. 1987. Estudio de aptitud combinatoria y heterosis para diferentes características cuantitativas en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis M.C. Saltillo, Coahuila. UAAAN. Colegio de Graduados.
- Rojas, G.M. y M. Rovalo. 1984. Relaciones con el agua. Fisiología vegetal aplicada. Ed. Mc Graw-Hill. 3a. ed. pp. 19-36.
- Scott, H.D., J.A. Ferguson and L.S. Wood. 1987. Water use, yield and dry matter accumulation by determinate soybean grown in a humid region. Agron. J. 79:870-875.
- Schulteis, D.T. 1972. Aeration level and moisture stress in root microclimate and their interactive effect on snap bean physiology. Ph.D. Thesis. Fayetteville, University of Arkansas. 145 p. En: Resúmenes Analíticos sobre frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Vol. 1

- Singh, K. 1952. Effect of soil cultivation of the growth and yield of winter wheat. IV. Effect of cultivation on root development. *J. Sci. Food Agr.* 3:514-525.
- Smith, F.L. and R.H. Pyror. 1962. Effects of maximum temperature and age of flowering and seed production in three bean varieties. *Hilgardia.* 33(12):669-688.
- Stoker, R. 1974. Effect of dwarf beans of water stress and different phases of growth. *New Zeland Journal of Experimental Agriculture.* 2(1):13-15.
- Taylor, H.M. 1986. Methods of studying root systems in the field. *Hort Science.* 21(40):952-956.
- _____ and E.E. Terrell. 1982. Rooting pattern and plant productivity in handbook of agriculture productivity. Ed. Miloslav Rechcigh Jr. C.R.C. Boca Raton, Florida. 1:151-183.
- Virgin, H.I. 1965. Chlorophyll formation and water deficit. *Plant Physiology.* 18:994-1000.
- Watson, D.J. 1968. A prospect of crop physiology. *Ann. Appl. Biol.* 62:1-9.
- Weatherley, P.E. 1965. Some investigations on water deficit and translocation under controlled conditions. In: "Water-stress in plants". Bohdan Slavik, Ed. pp. 63-69. Junk Publ. The Hague.
- White, J.W. y B.N. Sponchiado. 1985. Tolerancia de frijol a la sequía. Interrogantes y algunas respuestas. *Boletín informativo del programa de frijol en CIAT.* 7(1):1-3.
- Wien, H.C., R.F. Sandsted and D.H. Wallace. 1973. The influence of flower removal on growth and seed yield of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of the American Society of Horticultural Science.* 98(1):45-49.

Yassin, T.E. 1973. Genotypic and phenotypic variances and correlations in field beans (*Vicia faba* L.). J. Agric. Sci. Camb. 81:445-448.

Zamora, C.F. 1984. Estudios de la variabilidad genética de sistema radical y sus correlaciones con caracteres morfoagronómicos en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis profesional UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.