

Patrones del Sistema Radical en Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L.)¹

S. Kurivadi*, D.M. Aguilera*

ABSTRACT

In this investigation 20 genotypes of the common bean, *Phaseolus vulgaris* L., with a broad spectrum of variability were evaluated for root potential in tubular polyethylene bags 110 cm long and 30 cm wide with the object of designing root models. The bags containing the root system were sectioned into five consecutive segments of 20 cm and the dry root weight of each segment was determined. The analysis of variance for dry root mass in the five different profiles (0-20, 21-40, 41-60, 61-80 and 81-100 cm) and for the total root potential, indicated highly significant differences. Seventeen out of 20 genotypes produced root systems in the five profiles studied. In the varieties 'Fe-33-RB', 'Negro Jamapa', 'Negro Huasteco' and 'Fe-30-RB' higher proportions of root system were recorded in the lowest profile of 81-100 cm, and showed excellent root models. The genotypes with earliness produced low a quantity of dry root mass compared to lates. The root weight was positively and significantly associated with four characters such as yield per plant, pods per plant, dry weight of the vegetative portion and days to physiological maturity. The dry weight of the root system recorded higher values (75.7 %) of broad sense heritability.

INTRODUCCION

La sequía es uno de los factores más limitantes en la producción y calidad de los cultivos a nivel mundial (10), por lo que la investigación en zonas áridas y semiáridas deberá ser dirigida hacia la conservación del agua y suelo, y planeada con base en 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 (13)

Dos características muy importantes de la planta que proporcionan una mejor adaptación en condicio-

COMPENDIO

En esta investigación se evaluaron 20 genótipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con una amplia gama de variabilidad, en bolsas de polietileno de 110 cm de longitud y 30 cm de anchura, con el objetivo de graficar modelos de raíces. La bolsa con las raíces fue seccionada en cinco segmentos de 20 cm cada uno y se determinó el peso seco de masa del sistema radical por segmento. El análisis de la variancia del sistema radical en los cinco perfiles (0-20, 21-40, 41-60, 61-80, 81-100 cm), así como de su potencial total indicó diferencias altamente significativas. De los 20 genótipos, 17 produjeron sistema radical dentro de los cinco perfiles estudiados. Las variedades 'Fe-33-RB', 'Negro Jamapa', 'Negro Huasteco' y 'Fe-30-RB' presentaron una alta proporción de raíces en el perfil más profundo de 81-100 cm y también mostraron los mejores modelos. Los genótipos precoces produjeron baja cantidad de peso seco del sistema radical en comparación con los tardíos. La masa de peso seco del sistema radical es alta y positivamente correlativa a cuatro características: rendimiento por planta, vainas por planta, peso seco de vástago y días hasta la madurez fisiológica. El peso del sistema radical registró altos valores (75.7 %) de hereditabilidad en sentido amplio.

nes de sequía, son: primero, óptimo 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 (4, 12, 20) y, segundo, 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 (12, 13, 20). El agua ahorrada a través de estos procesos fisiológicos puede ser utilizada por la planta durante los períodos del llenado del grano, incrementándose 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 la sequía en los cultivos. Varios investigadores (2, 5, 9, 13, 24) afirman que los genótipos con un sistema radical más profundo y ramificado, absorben mayor cantidad de agua durante los períodos de deficiencia y pueden sobrevivir a la sequía.

¹ Recibido para publicación el 8 de junio de 1988. Parte de la tesis de Maestría en la especialidad de fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista, Saltillo, México.

* Ph.D. Maestro-Investigador y Tesista, respectivamente. Departamento de Fitomejoramiento; División de Agronomía, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

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 abajo del suelo (8); razón por la cual no hay suficiente información acerca del mismo en los cultivos. Existen varios métodos para estudiar el potencial del sistema radical tales como el 'monolito', los 'rizotrones', "de barrena", en el sitio y de radio-trazadores en el suelo y la planta, a través de los cuales es posible evaluar y "graficar" diferentes modelos de raíces (5, 15). Uno de los principales objetivos del mejoramiento genético en condiciones de sequía deberá ser la identificación de mejores sistemas radicales y la incorporación de éstos a variedades rendidoras en las condiciones mencionadas.

En la literatura publicada existe poca información sobre el estudio de los diferentes modelos de raíces en frijol, por lo que en esta investigación se evaluaron 20 genotipos del mismo, con los siguientes objetivos: determinar la variabilidad entre genotipos de frijol, en el desarrollo del sistema radical en diferentes perfiles de suelo; "graficar" los diversos patrones de raíces; estimar parámetros genéticos y correlaciones fenotípicas para el sistema radical y otras características agronómicas.

MATERIALES Y METODOS

El presente experimento se realizó en condiciones de invernadero, en la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" (Saltillo, México), durante el período comprendido de junio a diciembre de 1986.

Los 20 genotipos incluidos en esta investigación fueron seleccionados con base en alta productividad, amplia adaptación y algunas características de tolerancia a la sequía; resultando sobresalientes para varias características agronómicas en pruebas de evaluación a través de varios años, realizadas en los campos experimentales de "Río Bravo" y "El Tapón". El origen, hábito de crecimiento y color de la semilla de estos genotipos, se presentan en el Cuadro 1.

Para realizar la evaluación del potencial del sistema radical de cada uno de los genotipos, se utilizaron bolsas de polietileno de color negro, con 110 cm de longitud y 30 cm de diámetro. Estudiar el sistema radical mediante 'rizotrones' es muy costoso y laborioso; mientras que con este tipo de bolsas es muy económico y fácil de manejar, además el color negro evita la penetración de la luz, permitiendo un desarrollo normal del sistema radical.

Las bolsas se llenaron con suelo de bosque, cribado finamente para eliminar residuos vegetales, y mezcla-

do con 30 por ciento de arena para facilitar la extracción de las raíces. El suelo fue colocado dentro de la bolsa hasta una altura de 100 cm, dejando 10 cm libres para la aplicación del riego. Al ir vaciando el suelo en la bolsa, se le iba compactando para evitar que, con el riego, el volumen bajara a menos de la altura requerida.

La siembra se realizó el día 17 de junio de 1986. Se sembraron seis semillas por bolsa y 12 días después se dejaron las dos plántulas más vigorosas. Se empleó el diseño de bloques al azar con dos repeticiones. La parcela experimental estuvo formada por una bolsa con dos plantas.

Se aplicaron dos riegos hasta el 75 % de la capacidad de campo; el primero antes de la siembra y el segundo 70 días después, cuando las plantas mostraron síntomas de marchitez en las hojas. En cada riego se aplicó un volumen de 15 litros de agua por bolsa.

Cabe mencionar que, durante el período de desarrollo del cultivo, se tuvo el ataque del minador de la hoja (*Liriomyza* sp.) al cual se le estuvo controlando mediante aplicaciones, cada 15 días, del insecticida Diazinon en dosis de 1.5 l/ha (distribuidas uniformemente en seis aplicaciones).

Cuando las plantas llegaron a su madurez fisiológica, se cortaron al ras del suelo y se llevaron al horno, donde permanecieron por un espacio de 48 h a una temperatura de 60 °C, determinándoseles posteriormente el peso seco.

El suelo de cada bolsa con 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 uno de ellos 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 secadas al horno durante 48 h a 60 °C. Luego se determinó el peso seco de cada segmento por separado. La extracción de las raíces del suelo se hizo en seco, con el fin de evitar la pérdida de algunas, ya que las plantas estaban en su etapa final de desarrollo, y, al ser lavadas con agua, las raíces más delgadas y raicillas corrían el riesgo de quebrarse y filtrarse fácilmente a través de las perforaciones de las mallas; además, su obtención presentaba un mayor grado de dificultad.

Los modelos de raíces de los 20 genotipos se 'graficaron' con base en la masa seca del sistema radical recuperado en cada segmento. La anchura de la barra representa el peso seco de las raíces por perfil y la longitud la profundidad de 20 cm por segmento, para cada uno de los genotipos.

Cuadro 1. Origen, hábito de crecimiento y color del grano en los genótipos estudiados.

Genótipo	Origen	Hábito de crecimiento*	Color del 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

* Hábito de crecimiento: Tipo I: erecto; Tipo II: indeterminado con crecimiento erecto; Tipo III: indeterminado con ramas postradas

Se tomaron datos sobre las siguientes características agronómicas de la planta.

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 una semilla al menos 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 seco del vástago: se obtuvo al secar y pesar la porción aérea de las dos plantas, a las que se les eliminó las hojas y los pecíolos, dejando únicamente el tallo, las ramas y las vainas con semilla, para determinarles luego el promedio.

Altura de la planta: se midió la altura de las dos plantas en centímetros, desde su base hasta el nudo terminal del tallo principal y se obtuvo la media.

Días hasta la floración: lapso transcurrido desde la siembra hasta que al menos una de las plantas presentó flores.

Días hasta la madurez fisiológica: lapso transcurrido desde la siembra hasta la cosecha.

Los promedios de cada característica fueron utilizados para calcular el análisis de variancia, parámetros genéticos y correlaciones.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de variancia mostró diferencias significativas para todas las características, revelando una amplia gama de variabilidad en los genótipos incluidos. Así la variancia para la masa de sistema radical recuperada en diferentes perfiles, 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. Ello indica que es factible identificar genótipos con alta producción de raíces para desarrollar variedades altamente rendidoras en condiciones de sequía. Kuruvadi y Smith (16, 17), Hurd (6), Espinoza y Kuruvadi (3) evaluaron el potencial del sistema radical en trigo macarronero, trigo y zacate gigante, encontrando diferencias significativas para el potencial total del sistema radical.

Las variedades 'Ciateño', 'Azabache', 'Negro Jamapa', 'Fe-30-RB', 'S-4-RB' y 'Negro Huasteco' produjeron peso seco de sistema radical entre 2.44 a 3.00 g y fueron los mejores en comparación a los genótipos restantes (Cuadro 2). Estas variedades pueden utilizar-

Cuadro 2. Promedio de peso seco del sistema radical en frijol común según diferentes perfiles de suelo.

Genótipo	Perfiles					(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
'Ciataño'	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
C V (%)	38.25	37.09	36.28	43.18	43.82	34.57	33.01	38.25	37.52	40.98	34.55

C V. = Coeficiente de variación

se como progenitores en los programas de hibridación para incorporar un mejor sistema radical en aquellas altamente rendidoras en condiciones de sequía

La proporción de masa de sistema radical depende de la constitución genética, medio ambiente, condición de crecimiento (bajo riego o sequía), profundidad, estructura, temperatura, aeración y disponibilidad de oxígeno del suelo. Entre los 20 genótipos 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 (Fig. 1). Por lo tanto, en futuros estudios, se recomienda utilizar bolsas o 'rizotrones' hasta una profundidad de 150 a 200 cm, para evaluar la capacidad de penetración del sistema radical. White y Sponchiado (25), 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 centímetros.

En este estudio, las variedades 'Fe-33-RB', 'Negro Jamapa', 'Negro Huasteco', 'Fe-30-RB', 'Azabache', 'Agrarista' y 'S-4-RB' presentaron una mayor activi-

dad en el sistema radical con una masa de peso seco entre 0.20 a 0.33 g en el perfil de 80 a 100 centímetros. Varios investigadores (22, 2, 24, 11) han informado que el estrés de humedad generalmente decrece con el aumento del sistema radical a mayores profundidades.

Según Levitt (18) las plantas con mayor profundidad de raíces muestran más capacidad de evitación de la sequía que las plantas con un sistema radical superficial. Estas variedades que tienen más cantidad de raíces a mayor profundidad, podrían tener un mecanismo de evitación de sequía para sobrevivir durante un déficit de agua, ya que normalmente en las zonas frijoleras bajo sequía 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, aprovechando estos genótipos las superficies más profundas del suelo, para absorber agua y abastecer a la planta hasta el término de su etapa de desarrollo.

Los genótipos 'Canario-107', 'Pinto-114', 'Fe-22-RB' y 'S-19-RB' dieron un menor rendimiento de materia seca en el sistema radical y en raíces menos profundas en comparación a los restantes, por lo tanto,

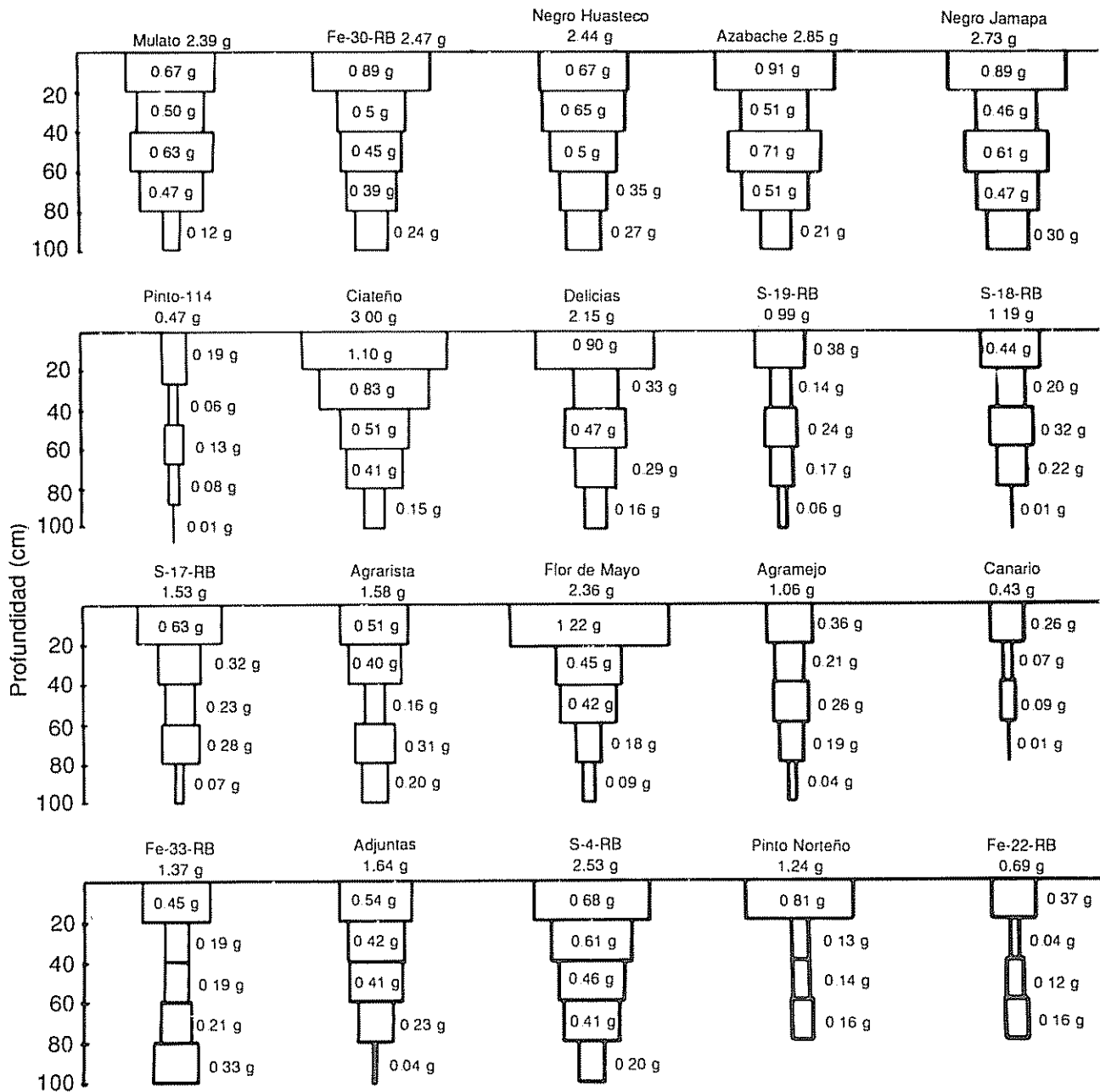


Fig 1 Modelos de raíces en 20 genótipos de frijol, bajo sequía

estos genótipos, probablemente, no poseen ese mecanismo de evitación White y Sponchiado (25) encontraron también que las variedades de frijol susceptibles a la sequía presentaban raíces que escasamente sobrepasaban los 70 cm de profundidad

Siete genótipos ('Negro Jamapa', 'Fe-33-RB', 'Negro Huasteco', 'Fe-30-RB', 'Azabache', 'Agrarista' y

'S-4-RB') produjeron el mejor modelo de sistema radical de los 20 incluidos, con un mayor peso seco de raíces y de crecimiento dentro de los cinco segmentos estudiados (Fig. 1) Sin embargo, la línea 'Fe-33-RB' mostró un modelo superior 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 úl-

timo segmento. Los genótipos antes mencionados tienen más actividad de absorción de agua y nutrimentos, y pueden evitar la sequía, ya que de acuerdo con Parsons (20) las plantas con un largo, profundo y bien desarrollado sistema radical pueden extraer más agua del suelo y posponer o retrasar los efectos de 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 los presentaron similares entre sí. Otros genótipos que mostraron aproximadamente el mismo modelo fueron: 'S-19-RB' y 'Agramejo'. El resto produjo modelos únicos.

Los dos primeros perfiles de cada planta (0-20 y 21-40 cm) mostraron raíces más viejas, gruesas, menos ramificadas y con un mayor peso seco; sin embargo, se considera que estas raíces son fisiológicamente inactivas durante los periodos de floración hasta el llenado del grano, debido a la baja disponibilidad de agua existente en estos perfiles. Así mismo, 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 (23), y Rojas y Rovalo (21) mencionan que las raíces jóvenes son más efectivas en la absorción de agua y nutrimentos que las raíces viejas.

Hurd (6) alude que los modelos del sistema radical están controlados por los genes y pueden ser modificados por el ambiente, por lo tanto, se puede manipular esta característica a través del mejoramiento genético en los cultivos.

Kuruvadi (14) 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 más valiosa que el peso y volumen, porque indica la actividad del sistema radical en diferentes perfiles de suelo, para interpretar mejor los datos e identificar variedades con el mecanismo de evitación. Los datos sobre la longitud del sistema radical son útiles cuando se evalúan los genótipos en 'rizotrones' o bolsas tubulares de 100 a 200 cm en tanto 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 (17) denotaron 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 genótipos en condiciones de sequía en 'rizotrones'. Murphy *et al.* (19) observaron una correlación positiva y significativa entre el volumen y peso seco de sistema radical; sugieren que el peso de masa de raíces puede utilizarse en los programas de mejoramiento en lugar del volumen de raíz, porque esta medida es muy tediosa y consume más tiempo para seleccionar dentro de un gran número de genótipos para sistema radical. Abd-Ellatif y Weibel (1) opinan que, para la identificación de líneas resistentes a la 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 una baja cantidad de masa de sistema radical a causa de su precocidad, ya que fueron cosechadas entre los 60.5 y 77 días después de la siembra. Los genótipos tardíos ('Agrarista', 'S-4-RB', 'Negro Huasteco' y 'Fe-33-RB') se cosecharon entre los 132 a 150 días después de la siembra y produjeron una gran cantidad de sistema radical en peso seco, en comparación con los precoces. Gene-

Cuadro 3. Parámetros genéticos para diferentes características agronómicas en frijol común.

Características	Variación fenotípica	Variación genética	Variación ambiental	Hereditabilidad en sentido amplio (%)
Rendimiento por planta	3.17	2.27	1.71	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 seco de vástago	6.93	5.24	3.37	75.70
Altura de planta	40.23	23.04	24.39	57.26
Días hasta la floración	20.51	18.93	3.16	92.29
Días hasta la madurez fisiológica	665.96	546.48	238.76	82.07
Peso seco del sistema radical	0.69	0.50	0.37	73.22

ralmente los genótipos tardíos e intermedios presentaron un alto peso del sistema radical respecto de los precoces.

En esta investigación se estimó el porcentaje de hereditabilidad en sentido amplio (Cuadro 3) y las características: días hasta la floración, vainas por planta, días hasta la madurez fisiológica, peso seco de vástago y peso seco de sistema radical presentaron valores altos entre el 73.22 y el 92.29 por ciento; por lo tanto, la selección según estas características es muy efectiva en generaciones tempranas y tardías en esta especie.

El peso de sistema radical fue altamente correlativo al rendimiento por planta, vainas por planta, peso seco de vástago y días hasta la madurez fisiológica (Cuadro 4) Kaigama *et al.* (8) indicaron que estudiar el sistema radical periódicamente es muy difícil, debido a que crece por abajo de la superficie del suelo, mientras que la mayoría de las investigaciones en los cultivos están hechas en la parte aérea de la planta. Por lo tanto, las características citadas pueden utilizarse en los programas de mejoramiento de frijol, para identificar genótipos con mayor producción de raíces a través de la selección visual en el campo.

Cuadro 4. 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 hasta la floración	Días hasta la madurez fisiológica	Peso seco del 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 hasta la floración	--	--	--	--	--	--	0.531*	0.379
Días hasta la madurez fisiológica	--	--	--	--	--	--	--	0.730**

** Significancia al 1%

* Significancia al 5%

Existe asociación positiva y significativa entre rendimiento con cuatro características, que son: vainas por planta, peso seco de vástago, días hasta la madurez fisiológica y peso seco del sistema radical. El carácter de vainas por planta puede utilizarse como una manera de selección indirecta para identificar genótipos sobresalientes en el campo. Se observaron correlaciones entre vainas por planta con peso seco de vástago y días hasta la madurez fisiológica; y peso de 100 semillas con altura de planta y días hasta la floración.

CONCLUSIONES

- Existe una amplia gama de variabilidad en el peso seco de masa del sistema radical en los cinco diferentes perfiles (0-20, 21-40, 41-60, 61-80 y 81-100), así como en su potencial total
- Los genótipos 'Fe-33-RB', 'Negro Jamapa', 'Negro Huasteco' y 'Fe-30-RB' presentaron una alta actividad del sistema radical en el perfil más profundo de 81-100 cm; mostraron los mejores modelos de raíces y se les recomienda como progenitores en los programas de hibridación, para incorporar un mejor sistema radical en las variedades de frijol alto, rendidoras bajo sequía.
- Las características días hasta la floración, vainas por planta, días hasta la madurez fisiológica, peso seco de vástago y peso seco del sistema radical,

presentaron valores altos de hereditabilidad en un sentido amplio y estos rasgos son efectivos en los programas de selección.

- Los genótipos con un 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 hasta la madurez fisiológica.

LITERATURA CITADA

1. ABD-ELLATHI, M ; WEIBEL, D F 1978 Evaluation of root characteristics in grain sorghum. *Agronomy Journal* 70:217-218
2. DONALD, C.M 1963 Competition among crop and pasture plants *Advances in Agronomy* 15:1-118
3. ESPINOZA, Z R ; KURUVADI, S 1985 Clasificación de colecciones de zacate gigante (*Leptochloa dubia* HBK Ness) por su grado de resistencia a sequía en manitol. *Agraria Revista Científica (Méx)* 1(2): 142-152
4. GARAY, A F.; WILHELM, W.W 1983 Root system characteristics of two soybean isolines undergoing water stress conditions *Agronomy Journal* 75: 973-977
5. HURD, E.A. 1964 Root study of three wheat varieties and their resistance to drought and damage by soil cracking *Canadian Journal of Plant Science* 44: 240-248
6. HURD, E A 1974 Phenotype and drought tolerance in wheat. In *Modification for more efficient water use*. Ed. by J E Stone *Agricultural Meteorology* 14:39-55
7. JODARI-KARIMI, F.; WATSON, V.; HODGLS, H.; SHISLER, F 1983. Root distribution and water use efficiency of alfalfa as influenced by depth of irrigation *Agronomy Journal* 75:207-211
8. KAIGAMA, B K ; TLARE, D ; STONE, L R ; POWERS, W.L. 1977 Root and top growth of irrigated and nonirrigated grain sorghum *Crop Science* 17:555-559
9. KLEPPER, B.; TAYLOR, H M ; HUCK, M G ; FISCUS, E L. 1973 Water relations and growth of cotton in drying soil *Agronomy Journal* 65:307-310
10. KOZLOWSKI, T T 1968 In water deficit and plant growth. Ed. by T.T Kozłowski. New York, Academic Press v 1, pp 1-21.
11. KURUVADI, S. 1980 Genetic studies in dryland wheat (*Triticum durum* Desf.) Post-Doctoral Thesis Ottawa, Canada, International Development Research Centre
12. KURUVADI, S 1987 Mejoramiento de cultivos bajo condiciones de temporal In *Primer Ciclo de Conferencias del Grupo Interdepartamental de Fisiología y Ecología Aplicada*. Saltillo, México, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". (En impresión)
13. KURUVADI, S 1987 Características agronómicas y fisiológicas que contribuyen a la mejor adaptación de los cultivos a regiones semidesérticas. In *IV Semana de Zonas Áridas*. [Memorias] Bermejillo, Dgo., Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, UACH (En impresión)
14. KURUVADI, S 1988. Variability for root potential in macaroni wheat Rachis Aleppo, Syria, International Center for Agricultural Research in the Dry (En impresión)
15. KURUVADI S ; GUZMAN, M E 1987 Investigación sobre sistema radical en los cultivos COMUNNA, Buenavista. Saltillo, Coahuila (Méx) p. 9
16. KURUVADI, S.; SMITH, T.F 1988 Relationship among seedling and adult plant root system in wheat Turrialba (Costa Rica) 38(2):149-153.
17. KURUVADI, S ; SMITH, T F. 1986 Modelos de raíces en trigo macarronero en rizotrones Turrialba (Costa Rica) 36(4):473-478
18. LEVITT, J 1972 Responses of plants to environmental stresses. New York, Academic Press p 697
19. MURPHY, C I ; LONG, R C ; NELSON, L A 1982 Variability of seedling growth characteristics among oat genotypes *Crop Science* 22:1005-1008
20. PARSONS, L R 1979. Breeding for drought resistance: what plant characteristics impart resistance? *HortScience* 14:590-593
21. ROJAS, G M ; ROVALO, M 1984. Relaciones con el agua *Fisiología vegetal aplicada*. 3 ed , Mc Graw-Hill. p 19-36.
22. SINGH, K 1952. Effect of soil cultivation of the growth and yield of winter wheat IV. Effect of cultivation on root development. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 3:514-525.
23. TAYLOR, H M ; TERREL, E E 1982 Rooting pattern and plant productivity in handbook of agriculture productivity Ed. by Miloslav Reachcigh Jr . Boca Raton, Florida, C.R.C. v. 1, p. 151-183.
24. WATSON, D.J 1968 A prospect of crop physiology *Annals of Applied Biology* 62:1-9
25. WHITE, J.W ; SPONCHIADO, B N. 1985. Tolerancia de frijol a la sequía Interrogantes y algunas respuestas. Boletín informativo del programa de frijol del CIAT 7(1):1-3