

EFFECTO DE LA FORMA Y CAPACIDAD DEL RECIPIENTE Y SISTEMA
DE RIEGO SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA PRODUCTIVIDAD
DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

Tesis de grado

para

Magister Scientiae

Carlos Felipe Quintero F.



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales
Turrialba, Costa Rica
Agosto, 1974

EFFECTO DE LA FORMA Y CAPACIDAD DEL RECIPIENTE Y SISTEMA
DE RIEGO SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA PRODUCTIVIDAD
DEL FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado

de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA

Consejero Principal

José Fargas, Ph. D.

Miembro

Elemer Bornemisza, Ph. D.

Miembro

Warren M. Forsythe, Ph. D.

Miembro

Víctor Quiroga, M. S.

Agosto, 1974

iii

DEDICATORIA

A mis padres, Carlos y Dalia

A mi esposa e hija, Elsa y Yimena

AGRADECIMIENTO

El autor quiere agradecer muy especialmente al Dr. José Fargas, Consejero Principal, toda su invaluable ayuda y recomendaciones, que hicieron posible este trabajo y a quien pertenecen muchas de las ideas originales; así como también la orientación y consejos que durante su permanencia en este Instituto recibiera desinteresadamente del mismo.

A los Doctores Warren M. Forsythe, Elemer Bornemisza y al Ing. Víctor Quiroga, miembros del Comité.

Al personal de la Unidad de Estadística y Computación del IICA, muy especialmente al Ing. Víctor Quiroga y al Sr. Manuel Zamora, por su colaboración.

Al Sr. José Joaquín Salazar (Quincho) por la colaboración prestada en los análisis de laboratorio.

Al Sr. Antonio Castro por la ayuda prestada en los trabajos de invernadero y laboratorio.

A todas aquellas personas que de una manera u otra brindaron su amistad y colaboración al autor durante su permanencia en este Instituto.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Maracaibo, Venezuela el 3 de octubre de 1942.

Realizó sus estudios de primaria en los Colegios Dr. Jesús E. Lossada y Dr. Idelfonso Vázquez. Los estudios de bachillerato los realizó en los Liceos Rafael María Baralt y Udón Pérez, en Maracaibo, en este último obtuvo su grado de Bachiller en el año 1962.

En ese mismo año ingresó a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Zulia, en Maracaibo, Venezuela, donde recibió el título de Ingeniero Agrónomo.

En enero de 1969 ingresó al Ministerio de Agricultura y Cría, Dirección de Investigación, en la Estación Experimental El Guayabo, como Investigador de Cultivos Tropicales.

En Setiembre de 1972 ingresó a la Escuela de Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, en Turrialba, Costa Rica, realizando estudios de post-grado en la especialidad de Ecofisiología, graduándose de Magister Scientiae en agosto de 1974.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1. Factores que afectan el crecimiento de las plan- tas en macetas	3
2.1.1. Espacio radical y espacio aéreo del suelo	3
2.1.2. Succión de agua	5
2.2. Rendimiento en suelo y en solución nutritiva	10
3. MATERIALES Y METODOS	11
3.1. Localización del experimento	11
3.2. Condiciones climáticas dentro del invernadero ...	11
3.3. Material vegetal empleado	12
3.4. Suelo	12
3.5. Establecimiento del experimento	12
3.5.1. Preparación de recipientes	12
3.5.2. Germinación	13
3.5.3. Transplante a recipientes definitivos ...	13
3.6. Tratamientos	14
3.6.1. Volúmenes y formas	14
3.6.2. Riegos y nutrición mineral	15
3.7. Diseño experimental	19
3.8. Variables analizadas	19
3.8.1. Producción de biomasa y sus componentes .	19
3.8.2. Area foliar	20
3.8.3. Consumo de agua	21
3.8.4. Componentes del rendimiento	21
3.8.5. Densidad de raíces en el suelo	22
3.8.6. Análisis de macroelementos en hojas	23
3.9. Análisis de la información	24

	<u>Página</u>
4. RESULTADOS	26
4.1. Condiciones climáticas dentro del invernadero ...	26
4.2. Aspectos generales del cultivo	26
4.3. Efecto de los tratamientos sobre la producción de biomasa y sus componentes	29
4.3.1. Peso seco de raíz	30
4.3.2. Peso seco del tallo	31
4.3.3. Peso seco de hojas	32
4.3.4. Peso seco de frutos	33
4.4. Area foliar	34
4.5. Consumo de agua	36
4.6. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento y sus componentes	37
4.6.1. Peso total de semillas por planta (rendi- miento)	37
4.6.2. Número de frutos por planta	39
4.6.3. Número de semillas por fruto	40
4.6.4. Peso de 100 semillas	41
4.7. Densidad de raíces en el suelo	42
4.8. Contenido de macroelementos en hojas	44
4.8.1. Nitrógeno	44
4.8.2. Fósforo	45
4.8.3. Potasio	46
4.8.4. Calcio	47
4.8.5. Magnesio	48
4.8.6. Azufre	49
5. DISCUSION	51
5.1. Producción y distribución de raíces	51
5.2. Producción de parte aérea	53
5.3. Producción de área foliar	54
5.4. Disponibilidad de agua	55
5.5. Componentes del rendimiento	56
5.6. Contenido de macronutrientos	58
6. CONCLUSIONES	60
7. RESUMEN	61
7a. SUMMARY	62
8. LITERATURA CITADA	63
APENDICE	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro N ^o		<u>Página</u>
1	Peso seco de raíces (g) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias para los casos detectados	30
2	Peso seco de tallo (g) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipientes y dos sistemas de riego (valores promedio de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias para los casos detectados	31
3	Peso seco de hojas (g) de plantas de frijol cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego. (Valores promedio de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias	32
4	Peso seco de frutos (g) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego. (Valores promedio de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias	33
5	Area foliar (dm ²) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego. (Valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 50 días). Se incluyen significancias	35
6	Consumo de agua (lt) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valor promedio de cuatro plantas de frijol	36
7	Rendimiento (g) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias	38

Cuadro N ^o		<u>Página</u>
8	Número de frutos por plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias	39
9	Número de semillas por fruto de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipientes y dos sistemas de riego, (Valores promedio de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias	40
10	Peso de 100 semillas (g) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedio de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días)	41
11	Densidad de raíces (g/lt de suelo) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia	43
12	Contenido de N foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia	45
13	Contenido de P foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia	46
14	Contenido de K foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia	47

Cuadro Nº

Página

15	Contenido de Ca foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia	48
16	Contenido de Mg foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia	49
17	Contenido de S foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipientes y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia	50

LISTA DE FIGURAS

Figura N ^o		<u>Página</u>
1	Variantes en la forma de recipiente para cada volumen de suelo. De izquierda a derecha, diámetros de 25,4, 20,3 y 15,2 cm. Volumen de 7 litros	17
2	Detalle del sistema empleado para regar las plantas de frijol por capilaridad. Recipiente de 3 litros y 25,4 cm de diámetro	17
3	Aspecto de las plantas de frijol var. '27-R' a los 70 días de edad, cultivadas en recipientes de 7 litros de suelo. Izquierda: riego por capilaridad. Derecha: riego manual	28

1. INTRODUCCION

Es indiscutible la importancia que el frijol común (Phaseolus vulgaris L.) tiene en la dieta humana de muchos países de América y de otras partes del mundo.

Entre las técnicas más generalizadas de investigación agronómica con esta leguminosa, está su cultivo en macetas con suelo, bajo condi ciones de invernadero, con el fin de realizar principalmente estudi- dios de nutrición mineral y fertilización. Por otra parte, en la uni dad de Ecofisiología del CATIE en forma rutinaria se hace uso del cultivo del frijol en solución nutritiva, y comparándose los datos de crecimiento y rendimiento obtenidos con esta técnica con los que se obtienen, para las mismas variedades, en los experimentos en macetas con suelo, se nota que las diferencias son de consideración, favore- ciendo al cultivo en solución nutritiva (6, 12, 20, 28).

Como ambos sistemas de cultivo se realiza en condiciones de in- vernadero, es natural pensar que, en el caso del cultivo en macetas con suelo, existen uno o varios factores que pueden estar limitando el crecimiento del frijol y que estos deben estar actuando en las raíces.

La disponibilidad de agua y nutrimentos, aereación, espacio dis- ponible para el crecimiento de las raíces, resistencia mecánica a pe- netración por raíces y variaciones en temperatura, son factores que están íntimamente relacionados con el volumen y forma de los recipien tes empleados en el cultivo en macetas, por lo tanto sería de impor- tancia práctica el determinar, para el cultivo del frijol, la capaci- dad y forma más conveniente de las macetas, y la manera de proveer a las plantas de un adecuado suministro de los factores de crecimiento.

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados se consideró importante realizar el presente trabajo de investigación, cuyos objetivos son los siguientes:

1. Establecer la forma y capacidad de recipiente que permita obtener el mayor crecimiento y rendimiento en plantas de frijol, usando suelo.
2. Comparar dos sistemas de riego de macetas, manual y por capilaridad, en su eficiencia para abastecer de agua y nutrientes a las plantas.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Factores que afectan el crecimiento de las plantas en macetas

2.1.1. Espacio radical y espacio aéreo del suelo

El espacio ocupado por las raíces, es parte del espacio no sólido o poroso del suelo en que crecen. Cuando se trabaja bajo condiciones de invernadero y en macetas con suelo, el volumen de las mismas limita el espacio radical de que dispondrán las raíces para su desarrollo.

El volumen de suelo óptimo para el crecimiento de un cultivo dependerá en gran parte del volumen que llegan a alcanzar sus raíces y lógicamente variará de un cultivo a otro.

Wiersum (43) hace notar la importancia del volumen de suelo en el espacio disponible para las raíces, y comprueba que una reducción del volumen de suelo afecta negativamente el crecimiento de las plantas.

Hardy (22) define el espacio radical como: "el volumen de suelo cuyas relaciones con el agua y el aire son favorables para un activo desarrollo de las raíces". Cuando el volumen de espacio aéreo ocupado por aire libre disminuye a menos de 10%, las raíces de las plantas pueden sufrir por falta de oxígeno, aunque existen diferencias entre especies. Así, tenemos que la caña de azúcar requiere 11% (37), el frijol 25% (28) y el abacá 15% (38).

Usando recipientes de capacidad variable, de 1 a 24 galones, Armiger et al. (5) encontraron que aquellos con capacidad de 1 a 3

galones eran los mejores para estudios de fertilidad con plantas de alfalfa. Por otro lado Armiger y Fried (4) probando recipientes de diferentes volúmenes para estudiar el crecimiento del mijo, determinaron que con los recipientes pequeños de 840 cm^3 se observaron los más altos rendimientos en comparación con lo producido en recipientes de volumen mayor de hasta 11.158 cm^3 .

Terman et al. (42) consideran que recipientes de 3 lt de capacidad (3 kg de suelo) son buenos para experimentos de macronutrientes.

Trabajando con frijol en solución nutritiva, Furlan (19) encontró que la falta de aereación de las raíces es más perjudicial cuando ocurre por períodos cortos de 48 horas alternados con 48 horas de aereación durante todo el ciclo de vida de las plantas.

Gómez (20) trabajando con frijol var. '27-R' bajo condiciones de invernadero, en macetas con suelo, encontró que en cualquier época de crecimiento la inundación afecta el rendimiento del frijol.

Hay una fuerte reducción en rendimientos (90%) del frijol, cuando ocurren inundaciones internas o externas de 12 horas de duración por semana (17).

Legarda (28) trabajando con suelos de la serie La Margot en Turrialba, Costa Rica, encontró que la productividad óptima de frijol se lograba cuando el suelo tenía entre 20 a 25% de espacio aéreo, empleando recipientes con suelo de aproximadamente 26 litros de capacidad.

Dasberg y Bakker (13) observaron que la producción de materia seca de plantas de frijol disminuía cuando habían en el suelo concentraciones de oxígeno menores de 11%.

Cook y Millar (11) trabajando con remolacha azucarera en recipientes de 1, 2, 3 y 4 galones de capacidad, encontraron que los rendimientos, tanto de planta entera como de raíces comerciales, varió directamente con el tamaño del recipiente, siendo los promedios de rendimiento altamente significativos para cada caso. Además el rendimiento fue significativamente mayor en aquellos recipientes donde había una sola planta.

2.1.2. Succión de agua

El mayor crecimiento y rendimiento se observa en las plantas cuando sus raíces no están sometidas a elevadas tensiones hídricas. Para el caso de recipientes con suelo, el tamaño de los mismos influye en la cantidad de agua disponible para las plantas y cuando llega a ser limitante los rendimientos son afectados notablemente, si los riegos no se realizan con debida frecuencia.

Kramer (27) dice que "el suelo primordialmente es un reservorio del cual las plantas obtienen agua y minerales. El tamaño de este reservorio o la profundidad del suelo requerido para un buen desarrollo de la planta, depende principalmente de: su capacidad de almacenar agua, la rapidez con la cual el agua es extraída por transpiración y evaporación y la frecuencia a la cual es repuesta por la lluvia o el riego". Además ha observado que cuando plantas afectadas por la sequía son regadas, ellas generalmente recobran su turgidez en pocas horas, pero el efecto del marchitamiento sobre los procesos y condiciones internas no desaparecen inmediatamente (26).

Post y Seeley (35) utilizaron mechas de fibra de vidrio circulares con diámetros de 3/8 de pulgada para proveer por capilaridad de agua a recipientes con suelo, obteniendo buenos resultados.

Braga y López (9) comparando el riego de superficie con el riego por capilaridad con mechas de algodón, encontraron que la producción de materia seca de Settaria italica fue significativamente mayor para el riego por capilaridad.

Ashton (7) en trabajos con caña de azúcar, sometida a ciclos de alta y baja humedad en el suelo, observó que había una reducción progresiva en la actividad fotosintética al disminuir la humedad de capacidad de campo al punto de marchitez.

Regando macetas hasta producir 0,5, 1, 2 y 4 atmósferas de tensión, Burman y Bohmont (10) encontraron diferencias significativas en el peso de semillas de frijol por maceta, número de semillas por maceta y número de vainas por planta para los diferentes tratamientos de riego. Los tratamientos de mayor humedad produjeron los mayores pesos, y una rata de crecimiento mayor que los de menor humedad.

Trabajando con plántulas de cacao, Alvim et al. (2) observaron quemaduras en las hojas de las plantas colocadas en recipientes de 1 a 2 kg de suelo y una acentuada reducción en el grado de abertura de los estomas. A su vez, Reyes (36) trabajando con el mismo cultivo y probando diferentes tamaños de macetas, encontró que el número de hojas y el tamaño de las plantas fue mayor en las que se plantaron en recipientes de 6 kg de capacidad que las de 1,5 kg de capacidad. Ambos autores relacionan sus observaciones con deficiencias internas de agua en la planta, como consecuencia de insuficiente almacenamiento

de agua en los recipientes. A este respecto Alvim (2) dice que "estudios con plantas en recipientes con suelo pueden llevar a conclusiones erradas, siempre que no se conozca el volumen de suelo para un normal abastecimiento de agua a la planta en sus diferentes estados de desarrollo".

Dubetz (15) encontró que plantas de frijol sujetas a tensiones de agua en el suelo de 8 bares en los estados de post-floración, pre-floración y floración, reducen el rendimiento total en 35, 53 y 71% respectivamente.

Sometiendo plantas de Caupi (Vigna sinensis) en diferentes etapas de desarrollo, a varios niveles de escasez de agua, Hiler et al. (23) encontraron que había reducción de hasta 50% en el rendimiento cuando se aplicaban tensiones próximas a 5 bares en la época de floración durante 7 días.

Legarda (28) trabajando con frijol (Phaseolus vulgaris L.) de la variedad '27-R' en condiciones de invernadero, observó que la productividad fue mayor cuando la succión máxima del agua del suelo se mantuvo en 0,8 bares a 5 cm de profundidad y de 0,6 bares a 15 cm de profundidad, entendiéndose como succión máxima del suelo la succión alcanzada en la zona radical antes de regar el suelo.

Según Aguirre (1) para que el suelo de la serie La Margot, fase normal, pase de una succión de 0,3 bares a una de 5 bares basta con que pierda 5,8% de agua (5,8 ml por 100 cm³ de suelo); y para que pase de 0,3 bares a 15 bares solo debe perder 8,4% (8,4 ml por 100 cm³ de suelo), considerando la humedad volumétrica entre 0 y 40 cm de profundidad. Por otra parte Ascensio (6) trabajando con solución

nutritiva y en condiciones de invernadero, observó que el mayor consumo de agua por el frijol (Phaseolus vulgaris L.) de la variedad 'Turrialba-4', ocurrió cuando las plantas alcanzaron su área foliar máxima y además que en días despejados se registraron consumos diarios por planta de hasta 3.000 ml.

Trabajando con sorgo, algodón y otros cultivos, Sharkawy-El y Hesketh (40) observaron que el déficit de agua produjo hojas cloróticas, debido a reducción en fotosíntesis neta, como consecuencia de que los estomas permanecieron cerrados.

El consumo de agua por las plantas es variable según su etapa de crecimiento; generalmente durante su ciclo de vida existe un período de máximo consumo. Cuando los tamaños de recipientes no tienen la capacidad de almacenamiento de agua que el cultivo requiere, entre riegos, sus raíces se ven sometidas a elevadas tensiones.

Malagamba (30), Armenta (3) y Chávez (12) trabajando con frijol común en solución nutritiva observaron que hay un período crítico que corresponde a la época de floración e inicio del desarrollo de los frutos donde el efecto de deficiencia de agua es sumamente perjudicial para los rendimientos por excesiva abscisión de flores y frutos pequeños.

Maurer (32) considera que las plantas de frijol son muy susceptibles a las condiciones de humedad del suelo. Los rendimientos dependen particularmente de una adecuada humedad durante el período inmediato a la floración, pero los máximos rendimientos se obtienen cuando existe una adecuada humedad durante el período de floración.

Por su parte Masaya (31) encontró que la tensión de agua durante la época de floración y desarrollo de los frutos en plantas de frijol común (var. 'Turrialba-4') afectaba el número y peso de las semillas, porque el fruto es el órgano de la planta que crece con mayor rapidez después de la floración.

Denmead y Shaw (14) sometiendo plantas de maíz en diferentes estados de crecimiento a tensiones de agua correspondientes al punto de marchitez, observaron que los más severos efectos sobre el rendimiento ocurrían cuando se aplicaba el tratamiento en la etapa de formación de la espiga, llegando a reducirse en un 50%.

Trabajando con tomate (Lycopersicum sculentum) en solución nutritiva, Greenway (21) observó que al colocar las plantas en soluciones con tensiones entre 1,8 y 10,4 atmósferas, durante un tiempo considerable estas plantas tomaban menor cantidad de fósforo que aquellas que habían permanecido constantemente en solución nutritiva a 0,4 atmósferas.

El sistema habitualmente usado por los investigadores en los laboratorios del Tennessee Valley Authority (TVA), para regar macetas en sus experimentos de invernadero, es el sistema manual o superficial, manteniendo la tensión a $1/3$ de atmósfera o cerca de $2/3$ de la capacidad de campo (42).

Los trabajos que se han citado nos hacen notar lo crítico que puede llegar a ser la tensión hídrica para el crecimiento y rendimiento de plantas de frijol que crecen en recipientes de volumen inadecuado, si los riegos no son hechos con la debida frecuencia.

2.2. Rendimiento en suelo y en solución nutritiva

Según Hoagland (24) es falsa la opinión generalizada de que las plantas crecen y producen más cuando se cultivan en solución nutritiva que cuando lo hacen en suelo. Si un suelo tiene condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas, los rendimientos serán iguales a los obtenidos en solución nutritiva. En estudios más recientes se atribuyen las diferencias entre estos dos sistemas de cultivo en muchos casos a la resistencia mecánica del suelo (34).

En las pruebas de invernadero cultivando plantas de frijol en solución nutritiva y en suelo, se notan generalmente grandes diferencias en rendimiento, que hacen sospechar que los volúmenes de suelo u otros factores asociados con éste, pueden estar limitando los rendimientos. Así por ejemplo Chávez (12) trabajando con solución nutritiva, obtuvo para el frijol común (var. '27-R') rendimientos promedios de 64,8 g por planta, mientras que Legarda (28) obtuvo con la misma variedad y en macetas con suelo rendimientos de 28,65 g por planta.

Cuando se cultiva en igual solución nutritiva plantas de una misma variedad y línea pura, pueden aún producirse también variaciones en rendimientos, debido al efecto de factores ambientales no controlados. Así por ejemplo, trabajando en frijol común (var. 'Turrialba-4'), Ascensio (6) y Malagamba (30) obtuvieron rendimientos promedios de 83,5 y 112,2 g respectivamente.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del experimento

El trabajo experimental se llevó a cabo en el invernadero y laboratorio de la Unidad de Ecofisiología del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, del IICA, en Turrialba, Costa Rica, situada a 602 m.s.n.m. y a 9° 53' latitud norte y 83° 39' longitud oeste.

Según el sistema de clasificación por Zonas de Vida Ecológicas de Holdridge (25) se considera esta zona como bosque húmedo tropical premontano, con precipitación promedio anual de 2600 mm y temperatura media anual de 22,5°C.

3.2. Condiciones climáticas dentro del invernadero

Con el objeto de determinar las condiciones climáticas reinantes en el invernadero durante el período en que se realizó el experimento, se hicieron registros de temperatura (máxima y mínima), humedad relativa y radiación solar.

Para medir la temperatura se utilizó un termógrafo de registro semanal. Para medir la humedad relativa se utilizó un hidrógrafo, también de registro semanal.

Para medir la radiación solar se utilizó un actinómetro de alcohol tipo Bellani de lectura directa, tomándose lecturas diarias. La radiación solar se calculó según la siguiente fórmula:

$$Q = h \times k$$

donde:

Q = radiación solar en cal cm^{-2} día⁻¹

h = cm^3 de alcohol destilado en 24 horas

k = constante del aparato, equivalente a 18,8

3.3. Material vegetal empleado

La variedad de frijol común que se utilizó en el presente trabajo fue '27-R' (línea RH-238), de crecimiento indeterminado.

3.4. Suelo

El suelo utilizado fue de la serie La Margot, del CTEI, Turrialba, no cultivado, pasado por un tamiz de 2 mm, y secado al aire. Al suelo tamizado y secado al aire se le determinó la curva de retención de humedad, para encontrar las humedades correspondientes a 0,3 y 2 bares.

3.5. Establecimiento del experimento

3.5.1. Preparación de recipientes

Cada recipiente fue pintado interna y externamente con barniz marino, con el objeto de protegerlos de la oxidación como consecuencia de la humedad. Cada recipiente se perforó en su parte inferior en tres sitios equidistantes en línea recta, de manera que estos orificios sirvieran de drenaje en el caso de que fuera necesario, y a su vez el orificio central para dar paso a la mecha que conduciría el agua y solución nutritiva dentro de los recipientes regados por capilaridad. La cantidad de suelo colocada en cada recipiente del mismo

volumen y forma fue la misma.

Para los recipientes regados por capilaridad, la mecha se colocó en el mismo momento de poner el suelo, en número de dos, una frente a la otra y separadas de las paredes del recipiente 5 cm aproximadamente.

En el fondo de cada recipiente se colocó una capa delgada de grava con el objeto de que esta permitiera un drenaje más eficiente, en el caso de que fuera necesario (Fig. A1)*.

Al inicio del experimento todos los recipientes recibieron un riego con agua de lluvia para humedecerse el suelo hasta su capacidad de campo.

3.5.2. Germinación

La germinación de las semillas se hizo en forma individual, para lo cual se colocó cada una entre dos hojas de papel absorbente de 18 x 18 cm previamente humedecidas. Estas se colocaron a su vez sobre hojas de polietileno negro de iguales dimensiones y se arrollaron formando un cilindro el cual se introdujo en recipientes de vidrio de 130 ml de capacidad, conteniendo agua destilada. La germinación fue del 100% y se obtuvieron semillas germinadas sanas y sin defecto alguno en su desarrollo inicial.

3.5.3. Transplante a recipientes definitivos

Cuatro días después de haber sido colocadas las semillas en los germinadores cilíndricos y teniendo ya su radícula algunos centíme-

* Todos los cuadros y figuras con la letra A significa que están en el Apéndice.

tros de longitud, fueron sembradas en los recipientes. Para ello se abrió un hueco de 5 cm de profundidad en el centro de la superficie del suelo de cada recipiente en el cual se colocó una semilla pregerminada.

3.6. Tratamientos

Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

- a) tres volúmenes de recipiente
- b) tres formas de recipiente
- c) dos métodos de suministro de agua y nutrimentos.

3.6.1. Volúmenes y formas

Cada uno de los volúmenes fue representado en tres formas diferentes (Fig. 1), cuyas dimensiones aproximadas para cada una de ellas fueron las siguientes:

volumen 3,011 l		volumen 7,413 l		volumen 11,815 l	
alt cm	diam cm	alt cm	diam cm	alt cm	diam cm
19,0	15,2	43,2	15,2	63,5	15,2
11,4	20,3	25,4	20,3	39,4	20,3
8,9	25,4	16,5	25,4	25,4	25,4

La identificación de los tratamientos de volumen y forma que se empleará en el presente trabajo será la siguiente:

3,011 lt : V1	25,4 cm diam. : F1
7,413 lt : V2	20,3 cm diam. : F2
11,815 lt : V3	15,2 cm diam. : F3

3.6.2. Riegos y nutrición mineral

Los tratamientos de riego y suministro de nutrimentos fueron:

- a) Riego manual o de superficie (R1)
- b) Riego por capilaridad o con mecha (R2)

Riego manual

Para la aplicación de este método de riego se determinó previamente, en las condiciones de suelo tamizado y secado al aire, la curva de retención de humedad (Fig. A2). Con base en esta información pudieron ser determinadas las humedades que corresponden aproximadamente a 0,3 y 2 bares de succión, y en base a ellos pudo ser calculado el peso del suelo a ambas succiones, según la ecuación (18):

$$M_{ss} = \frac{M_{sh}}{1 + \frac{Hg}{100}}$$

donde:

M_{ss} = masa de suelo seco al horno

M_{sh} = masa de suelo húmedo

Hg = humedad gravimétrica para una determinada succión.

Conocidos los correspondientes pesos a las succiones de 0,3 y 2 bares, por diferencia es posible saber la cantidad de agua que debe agregarse para pasar de 2 a 0,3 bares.

Para lograr este propósito se utilizó una balanza, en la cual fueron pesados los recipientes y según su proximidad a 2 bares de succión se aplicó la cantidad de agua necesaria para llevar su peso al que corresponde una succión de 0,3 bares. Este es el método tradicional utilizado en los experimentos del laboratorio de suelos del CTEI.

Los pesos de suelo promedio contenidos en cada uno de los volúmenes de recipiente, los pesos de suelos promedio para capacidad de campo (0,3 bares) y los pesos de suelo promedio para una tensión de 2 bares, con sus correspondientes humedades gravimétricas y espacio aéreo fueron:

	Volúmenes de suelo (lt)		
	3.011	7.413	11.815
Peso suelo seco al aire (g)	3.186	8.033	12.273
Hg (%)	23,8	23,8	23,8
Espacio aéreo (%)	39,0	39,0	39,0
Peso suelo 0,3 bares (g)	4.578	11.543	17.635
Hg (%)	43,7	43,7	43,7
Espacio aéreo (%)	20,5	20,5	20,5
Peso suelo 2 bares (g)	4.423	10.891	16.654
Hg (%)	35,7	35,7	35,7
Espacio aéreo (%)	28,7	28,7	28,7

Riego por capilaridad

El suministro de agua y nutrimentos se hizo en este caso por capilaridad a través de mechas de fibra acrílica. Se colocaron dos mechas por recipiente en el momento de colocar el suelo. Cada mecha tuvo una longitud de acuerdo al tamaño del recipiente, llegando por su parte superior hasta el nivel del suelo y por su parte inferior

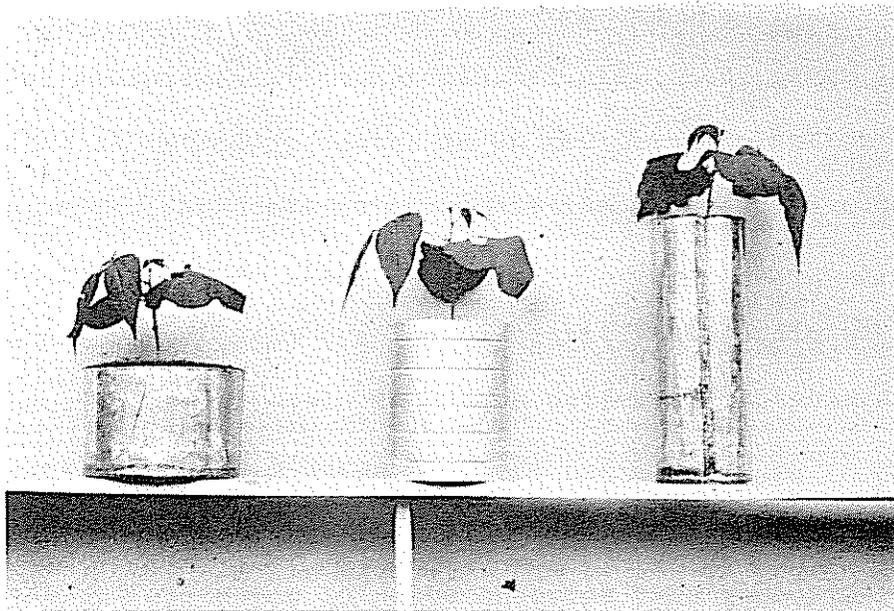


FIG. 1 Variantes en la forma de recipiente para cada volumen de suelo.
De izquierda a derecha, diámetros de 25,4, 20,3 y 15,2 cm.
Volumen de 7 litros

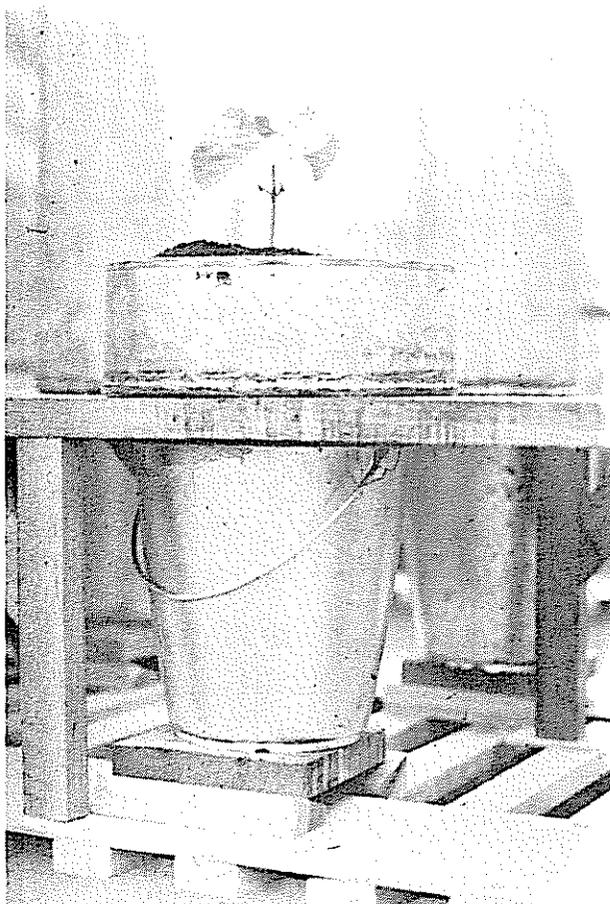


FIG. 2 Detalle del sistema empleado para regar las plantas de frijol por capilaridad. Recipiente de 3 litros y 25,4 cm. de diámetro.

saliendo del recipiente 15 cm aproximadamente. Esta parte inferior de las mechas se introdujo dentro de un recipiente plástico de 5 litros de capacidad, en donde estaba contenida la solución nutritiva o agua, según la necesidad (Fig. 2).

De esta forma el agua o solución nutritiva ascendía por capilaridad humedeciéndose el suelo de manera uniforme, manteniendo una succión aproximada de 0,3 bares.

Para el caso de los recipientes de mayor altura fue necesario adicionarles una mecha por la parte superior para garantizar el riego a través de toda su longitud (Fig. A1).

Nutrición mineral

La nutrición mineral de las plantas se realizó por etapas, suministrando los nutrimentos, según la edad de las mismas. Las cantidades (mg) de cada elemento que se administraron fueron calculadas de acuerdo a lo requerido por las plantas de frijol cultivadas en solución nutritiva (12) lo cual se muestra a continuación:

Elementos	E D A D (días)						Totales
	1-18	18-28	28-38	38-48	48-68	68-88	
N	184	390	500	956	912	1078	4020
P	17	56	128	160	145	220	726
K	185	310	580	1022	984	1264	4345
Ca	50	90	282	438	673	850	2383
Mg	8	17	45	67	77	128	342
S	22	91	23	104	150	124	415

Para evitar la fijación de P por el suelo, este fue saturado con una solución de KH_2PO_4 , en cantidad equivalente a 400 kg/ha de P. Esta cantidad fue calculada para cada volumen de suelo y se aplicó con el primer riego.

3.7. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el irrestrictamente al azar, con cuatro observaciones por tratamiento. Para definir los tratamientos se utilizó el diseño factorial 3 x 3 x 2. Se consideró a cada planta como una unidad experimental, resultando en total 72, de las cuales 36 recibieron riego manual y 36 recibieron riego por capilaridad.

Las evaluaciones de las respuestas de los tratamientos se hicieron con base en cuatro plantas o unidades experimentales, para cada variable estudiada, dentro de cada sistema de riego.

3.8. Variables analizadas

3.8.1. Producción de biomasa y sus componentes

Peso seco de raíz

Se determinó el peso seco total de la raíz al final de la vida de la planta, para lo cual se extrajeron las raíces de cada recipiente mediante lavado y tamizado del suelo por mallas de 2 y 1 mm. La cantidad de raíz extraída fue puesta en estufa a 70°C hasta peso constante.

Peso seco de tallo

Se determinó el peso seco total del tallo al final del ciclo de vida de la planta, secando el material en estufa a 70°C hasta peso constante.

Peso seco de hojas

El peso seco de hojas como en los casos anteriores, se determinó al final de la vida de la planta, secando el material en estufa a 70°C hasta peso constante.

Peso seco de frutos

Se determinó el peso seco de los frutos mediante secado de las vainas con sus granos en estufa a 70°C hasta peso constante.

3.8.2. Area foliar

La determinación del área foliar se hizo cuando las plantas tenían 49 días de sembradas en los recipientes definitivos, período en el cual las plantas han alcanzado su máxima área foliar. Para ello se utilizó la ecuación desarrollada por Chávez (12), modificada por Furlan (19), con la que obtuvieron un $R^2 = 0,98$ para la variedad de frijol '27-R', que garantiza la confiabilidad del ajuste. Esta es la siguiente:

$$Y = 2,94 X^{1,855374}$$

donde:

Y = área foliar

2,94 = constante

X = ancho máximo del foliolo central

1,855374 = constante

3.8.3. Consumo de agua

a) Riego manual

El consumo de agua fue medido en los recipientes regados en forma manual, mediante el volumen aplicado en cada riego a cada uno de los recipientes, necesario para llevar a los mismos de una succión de 2 bares a una de 0,3 bares.

b) Riego por capilaridad

Se determinó el consumo de agua en los recipientes con riego por capilaridad, por el volumen agregado periódicamente en los recipientes de depósito (Fig. A1) hasta completar el nivel original de 4,5 lt. Estas mediciones fueron hechas cuando el extremo inferior de las mechas tocaba el nivel del agua dentro del recipiente de depósito.

3.8.4. Componentes del rendimiento

Los componentes del rendimiento estudiados fueron los siguientes:

Peso total de semillas (rendimiento)

Número de frutos por planta

Número de semillas por fruto

Peso de 100 semillas

Cada uno de estos componentes se determinó individualmente por planta, y luego se obtuvo un promedio para cada tratamiento. Tanto el peso total de semillas (rendimiento) como el peso de 100 semillas fue corregido al 12% de humedad, según la fórmula siguiente, citada por Armenta (3):

$$Pf = \frac{Po (100-Ho)}{88}$$

donde:

Pf = peso de las semillas corregido al 12% de humedad

Po = peso de las semillas en el momento de la cosecha

Ho = porcentaje de humedad de las semillas en el momento de la cosecha

88 = constante igual a 100 - 12

El porcentaje de humedad de las semillas en el momento de la cosecha se determinó según la fórmula:

$$Ho = \frac{Ph - Ps}{Ph} \times 100$$

donde:

Ho = humedad de las semillas expresada en porcentaje

Ph = peso de las semillas en el momento de la cosecha

Ps = peso seco de las semillas, luego de permanecer en estufa a 70°C durante 72 horas.

3.8.5. Densidad de raíces en el suelo

Para determinar la densidad de raíces en el suelo, el suelo de cada recipiente fue dividido en secciones de 5 cm de altura. Cada una de estas secciones de suelo fue colocada en un recipiente y disgregada con agua a presión, lográndose que las raíces se soltaran y flotaran en el agua. Disuelto el suelo en agua y las raíces flotando en ella, se pasaron por tamices de 2 y 1 mm. Este proceso se repitió hasta que no fue posible extraer más raíces. Las raíces así obtenidas fueron luego puestas a secar en estufa a 70°C durante 72 horas.

3.8.6. Análisis de macroelementos en hojas

Se determinaron N, P, K, Ca, Mg y S en las hojas obtenidas en el momento de la cosecha. Estas hojas fueron secadas en estufa a 70°C, se obtuvo su peso seco y luego pasadas por un molino Willey con malla Nº 40. De este material molido y homogenizado se tomaron alícuotas para los análisis.

Las determinaciones de nitrógeno se hicieron por el método Micro-Kjeldhal, usando los destiladores propuestos por Müller (33).

Las determinaciones de fósforo se hicieron por el método colorimétrico de Fiske y Subarrow (8) modificado, en donde se usó ácido clorhídrico en lugar de ácido sulfúrico como acidificante. Las lecturas se hicieron en un colorímetro Coleman modelo 6-A, usando una longitud de onda de 525 nm.

Las determinaciones de potasio, calcio y magnesio se hicieron mediante digestiones con la mezcla nítrico-perclórica en proporción de 5:1, y las lecturas hechas con un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 303 sobre diluciones de las muestras, y los valores obtenidos de curvas patrón para cada elemento.

Las determinaciones de azufre se hicieron por turbidimetría, según el método de la AOAC (8), en el cual ocurre la formación de un precipitado de sulfato de bario, insoluble, que es estabilizado con una solución de goma arábiga al 0,5%. Las lecturas fueron hechas en un colorímetro Coleman modelo 6-A, usando una longitud de onda de 425 nm.

3.9. Análisis de la información

A objeto de estudiar el efecto de los tratamientos y sus interacciones sobre los componentes del rendimiento y crecimiento, área foliar, consumo de agua, densidad de raíces y contenido de macronutrientes en las hojas, se realizó un análisis de variancia general para cada variable estudiada, y análisis de variancia para cada sistema de riego empleado. Se interpretaron los resultados del análisis estadístico de Duncan (41) al nivel de 5%, comparando los promedios de tratamiento para cada variable.

El modelo de análisis de variancia general fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + V_j + F_k + (RV)_{ij} + (RF)_{ik} + (VF)_{jk} + (RVF)_{ijk} + E_{ijkl}$$

donde:

- Y_{ijkl} = variable de respuesta
- μ = media general
- R_i = efecto del riego i
- V_j = efecto del volumen j
- F_k = efecto de la forma k
- $(RV)_{ij}$ = interacción del riego i con el volumen j
- $(RF)_{ik}$ = interacción del riego i con la forma k
- $(VF)_{jk}$ = interacción del volumen j con la forma k
- $(RVF)_{ijk}$ = interacción del riego i con el volumen j y con la forma k
- E_{ijkl} = error experimental del riego i , volumen j , forma k y observación l .

El modelo de análisis de variancia aplicado para cada sistema de riego fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + V_i + F_j + (VF)_{ij} + E_{ijk}$$

donde:

- Y_{ijk} = variable de respuesta
- μ = media general
- V_i = efecto del volumen i
- F_j = efecto de la forma j
- $(VF)_{ij}$ = interacción del volumen i con la forma j
- E_{ijk} = error experimental del volumen i , la forma j y la observación k .

Para estudiar la densidad de raíces por profundidad de suelo, se realizó un análisis de funciones a fin de determinar la función que mejor se ajustara a los datos obtenidos para los tratamientos.

De las funciones estudiadas resultó la función gamma ser la que proporcionó el mejor ajuste, para el riego manual, porque para el riego por capilaridad no se ajustó ninguna de las funciones estudiadas. La ecuación de esta función es la siguiente:

$$Y_i = b_0 e^{-b_1 X_i} X_i^{b_2}$$

donde:

- Y_i = variable de respuesta (densidad de raíz)
- X_i = variable aleatoria (profundidad del suelo)
- b_0 = constante
- b_1 = tasa lineal
- b_2 = tasa logarítmica o cuadrática

4. RESULTADOS

4.1. Condiciones climáticas dentro del invernadero

En la Figura A3 del apéndice se muestran las gráficas que ilustran las condiciones climáticas que predominaron durante el período en el cual se realizó el experimento (Dic. 14, 1973 a marzo 5, 1974); en general, pueden ser consideradas como adecuadas para el cultivo del frijol.

4.2. Aspectos generales del cultivo

Las plantas fueron dispuestas en los mesones del invernadero a una distancia de 40,5 x 40,0 cm (16,20 dm²).

Después de la siembra, las plántulas emergieron a los cuatro días. El crecimiento fue bastante uniforme en ambos sistemas de riego durante los primeros 15 días; a partir de entonces comenzó a notarse el efecto del riego, a medida que las plantas aumentaban sus necesidades de agua. En las plantas regadas por capilaridad, las diferencias en crecimiento entre tratamientos fueron menos notables que en el caso de las plantas regadas manualmente.

Durante el ciclo de vida de las plantas se hicieron dos aplicaciones de Karatane (Dinitro (1 metil heptil) fenil crotonato 22,5%, dinitro capryl fenol 2,5%, ROHM y HAASS Co), en concentraciones de 0,75 y 1,00 g por litro para combatir mildiu (Erysiphe polygoni DC ex Merat). También se hizo una aplicación de Galecron 50 EC (N (2-metil-4-clorofenil)-N', N'-dimetil formamidina, C.I.B.A.), en concentración de 1 ml por litro para el combate de ácaros.

El período de floración se inició en forma general, alrededor de los treinta días. La abscisión de frutos establecida por diferencia, entre la cantidad de frutos a los 80 días y al momento de la cosecha, fue mayor en las plantas que fueron regadas manualmente. En el Cuadro A43 se muestran los promedios de caída de frutos correspondientes a cada uno de los volúmenes y sus respectivas formas, para cada sistema de riego.

En el momento de la cosecha, el follaje de las plantas no mostró síntomas aparentes de senescencia, aun cuando los frutos se encontraban secos. Esta particularidad fue más notable en las plantas que fueron regadas por capilaridad.

En general y para un mismo volumen de suelo las plantas que fueron regadas por capilaridad llegaron a producir más biomasa y rendimiento que las regadas manualmente (Fig. 3). Esto se vio reflejado tanto en el índice de cosecha K, que es la relación entre el rendimiento y la producción total de biomasa (Cuadro A44), como en el índice económico de eficiencia fotosintética que es la relación entre el rendimiento y las calorías provenientes de la radiación visible fotosintéticamente activa (Cuadro A45).

Para un mayor conocimiento de las condiciones en que crecieron las raíces, al finalizar el experimento se determinó la compactación del suelo en cada maceta mediante un penetrómetro estático marca Chatillon con pistón de acero inoxidable de 5 mm de diámetro y 5 mm de altura, cat N° 719-40 MRPFR. Los datos obtenidos se muestran en el Cuadro A46.



FIG. 3 Aspecto de las plantas de frijol var. 27-R a los 70 días de edad, cultivadas en recipientes de 7 litros de suelo, Izquierda riego por capilaridad. Derecha: Riego manual.

En este cuadro se puede apreciar que los valores correspondientes a las macetas regadas por capilaridad son mayores que los correspondientes valores de las macetas regadas manualmente. Aunque son diferentes estos valores, en forma relativa son bajos, lo que demuestra que bajo ninguno de los dos sistemas de riego hubo problemas de compactación.

4.3. Efecto de los tratamientos sobre la producción de biomasa y sus componentes

El Cuadro A1 muestra los valores promedios de biomasa y sus componentes obtenidos de las plantas sometidas a cada tratamientos y sistema de riego.

En el Cuadro A41 se muestran las características estudiadas y la significancia al 5% de sus variaciones bajo los tratamientos aplicados, según el análisis de variancia realizado para todo el experimento en conjunto.

Puede observarse en dicho cuadro que hubo diferencia significativa para los tratamientos y algunas de sus interacciones para todas las características estudiadas exceptuando las variaciones en peso seco de hojas que resultaron significativas únicamente para riego, y el peso seco de frutos que resultó significativo para riego y volumen.

Se observa que mientras que hubo significancia en casi todas las características estudiadas para los tratamientos de volumen y forma, y sus interacciones para riego manual, solamente el peso seco

de raíz y el peso seco de frutos, presentaron diferencias significativas para volumen y forma dentro del riego por capilaridad.

4.3.1. Peso seco de raíz

Los Cuadros A7 y A8 muestran los cuadrados medios del peso seco de raíces y su significancia, para los tratamientos aplicados.

La prueba de significancia de Duncan, Cuadro 1, aplicada a cada sistema de riego mostró que en el caso de riego manual, esta característica varió significativamente bajo efecto del volumen, incrementándose con el aumento de volumen del recipiente.

Cuadro 1. Peso seco de raíces (g) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias para los casos detectados*.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	4,08	4,08	3,97	4,04c	9,63	10,25	9,52	9,80c
V2	14,57	8,48	11,07	11,37b	18,83	17,53	12,10	16,15b
V3	14,80	17,63	16,83	16,42a	22,25	24,40	18,10	21,58a
\bar{X}_F	11,15	10,06	10,62		16,90a	17,39a	13,24b	

* Los valores con igual letra no mostraron diferencias significativas entre sí.

Los promedios correspondientes a cada volumen fueron significativamente diferentes entre sí, correspondiendo el mayor al V3 y el menor V1, siendo estos 16,42 y 4,04 g respectivamente.

Bajo riego por capilaridad se observó significancia para peso seco de raíces tanto para los tratamientos de volumen como de forma. Para volumen, los tratamientos fueron significativamente diferentes entre sí, siendo sus valores promedios 21,58, 16,15 y 9,80 g para los volúmenes V3, V2 y V1, respectivamente.

En cuanto a la forma del recipiente, los promedios de F1 y F2 fueron significativamente diferentes del promedio de F3, cuyos valores fueron 16,90, 17,39 y 13,24 g, respectivamente.

4.3.2. Peso seco del tallo

Los Cuadros A9 y A10 muestran los cuadrados medios del peso seco del tallo y su significancia para los tratamientos aplicados.

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de la prueba de significancia de Duncan aplicada a los valores de esta característica bajo cada sistema de riego.

Cuadro 2. Peso seco de tallo (g) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipientes y dos sistemas de riego (valores promedio de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias para los casos detectados.

	R ₁				R ₂ *			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	0,98f	2,32e	4,30d	2,53	13,15	9,83	15,85	12,94
V2	5,85c	4,38d	6,97bc	5,73	17,25	15,60	11,95	14,93
V3	8,95a	8,20ab	8,73a	8,63	16,27	17,50	12,75	15,51
\bar{X}_F	5,26	4,97	6,67		15,56	14,31	13,52	

* No se detectaron diferencias significativas entre los valores correspondientes a este sistema de riego.

Para el riego manual hubo significancia para la interacción volumen x forma, correspondiendo los mayores valores promedios a la interacción del V3 con las distintas formas, entre las que no hubo diferencias. El mayor valor promedio correspondió a la interacción V3 x F1, y el menor a la interacción V1 x F1, siendo estos valores 8,95, y 0,98 g, respectivamente.

Para el riego por capilaridad no se detectó diferencias significativas entre los tratamientos ni de sus interacciones.

4.3.3. Peso seco de hojas

Los Cuadros A11 y A12 muestran los cuadrados medios del peso seco de hojas y su significancia bajo los tratamientos aplicados.

El Cuadro 3 muestra los resultados de la prueba de significancia de Duncan aplicada a esta característica bajo cada sistema de riego.

Cuadro 3. Peso seco de hojas (g) de plantas de frijol cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego. (Valores promedio de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias.

	R ₁				R ₂ *			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	1,45c	2,83c	5,05b	8,11	14,55	14,05	15,80	14,80
V2	6,90b	6,32b	9,88a	7,70	19,38	18,45	15,05	17,63
V3	10,45a	9,63a	9,73a	9,93	19,20	18,35	16,38	17,97
\bar{X}_F	6,27	6,26	8,22		17,71	16,95	15,74	

* No se detectaron diferencias significativas entre los valores correspondientes a este sistema de riego.

Para el riego manual el peso seco de hojas mostró diferencias significativas en la interacción volumen x forma, correspondiendo los mayores valores promedios a la interacción del V3 con las diferentes formas; no hubo significancia entre esos valores y la interacción V2 x F3. El mayor promedio correspondió a la interacción V3 x F1, y el más bajo a la interacción V1 x F1, con 10,45 y 1,45 g, respectivamente.

Bajo el riego por capilaridad no se observaron diferencias significativas de esta característica entre los tratamientos ni sus interacciones.

4.3.4. Peso seco de frutos

Los Cuadros A13 y A14 muestran los cuadrados medios del peso seco de frutos y su significancia bajo los tratamientos aplicados.

El Cuadro 4 muestra los resultados obtenidos en la prueba de significancia de Duncan para cada sistema de riego.

Cuadro 4. Peso seco de frutos (g) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego. (Valores promedio de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	4,60	6,62	7,62	6,28c	46,90	45,95	43,80	45,55b
V2	14,93	11,27	16,42	14,21b	52,20	50,55	44,52	49,09b
V3	22,55	22,45	23,95	22,98a	57,00	62,60	62,65	60,75a
\bar{X}_F	14,02	13,45	16,00		52,00	53,03	50,32	

Para ambos sistemas de riego, manual y por capilaridad, el volumen produjo diferencias significativas en peso seco de frutos, siendo los promedios para V1, V2 y V3 significativamente diferentes entre si, con valores de 6,28, 14,21 y 22,98 g, respectivamente, para el riego manual.

Para el riego por capilaridad el promedio de V3 fue significativamente diferente de los promedios de V2 y V1, entre los que no hubo significancia. Los valores promedios obtenidos fueron 45,55, 49,09 y 60,75 g para V1, V2 y V3 respectivamente.

Para la producción de biomasa y sus componentes, el Cuadro A1 muestra los valores promedios de cuatro observaciones. Puede observarse que en todos los casos, los valores promedios para el sistema de riego por capilaridad, para cada característica analizada es superior al del riego manual.

La tendencia general observada es positiva, incrementándose el peso total de biomasa con el aumento en volumen de los recipientes, para ambos sistemas de riego.

4.4. Area foliar

Los Cuadros A15 y A16 muestran los cuadrados medios del área foliar y su significancia para los tratamientos aplicados.

El Cuadro 5 muestra el resultado de la prueba de significancia de Duncan aplicada a esta característica bajo cada sistema de riego.

Para el riego manual las variaciones de esta característica fue significativa tanto para los tratamientos de volumen como para los de forma.

Cuadro 5. Area foliar (dm^2) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego. (Valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 50 días). Se incluyen significancias.

	R_1				R_2			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	3,42	5,53	9,50	6,15c	33,50c	29,13c	43,57ab	35,40
V2	15,80	10,33	16,17	14,10b	52,93a	47,40a	28,55c	42,96
V3	21,45	19,92	19,88	20,42a	54,89a	48,74a	33,60bc	45,74
\bar{X}_F	13,56a	11,92b	15,18a		47,10	41,75	85,24	

Los promedios correspondientes a los diferentes tratamientos de volumen fueron significativamente diferentes entre si, siendo el mayor el de V3 con $20,42 \text{ dm}^2$ y el menor el de V1 con $6,15 \text{ dm}^2$.

Para los tratamientos de forma, resultaron significativamente diferentes F1 y F3 de F2, siendo sus valores de 13,56, 15,18 y 11,92 dm^2 , respectivamente.

Para el riego por capilaridad el área foliar varió significativamente para la interacción de volumen x forma, correspondiendo el mayor promedio a la interacción V3 x F1 con $54,89 \text{ dm}^2$ y el menor a la interacción V2 x V3 con $28,55 \text{ dm}^2$.

Para el área foliar, el efecto de los tratamientos fue diferente en ambos sistemas de riego. En el Cuadro A2 se presentan los promedios correspondientes al área foliar y se observa que, mientras bajo el riego manual se nota un incremento de esta característica con el

aumento del volumen de los recipientes, en el riego por capilaridad no se observa ninguna tendencia definida.

4.5. Consumo de agua

Los Cuadros A17 y A18 muestran los cuadrados medios del consumo de agua y su significancia para los tratamientos aplicados.

El Cuadro 6 muestra el resultado de la prueba de significancia de Duncan aplicada a esta característica para cada sistema de riego.

Cuadro 6. Consumo de agua (lt) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valor promedio de cuatro plantas de frijol var. '27-R').

	R_1				R_2^*			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	3,89d	3,80d	2,76e	3,48	20,47	18,98	18,70	19,38
V2	6,21b	3,89d	4,90c	5,00	21,37	20,68	17,90	19,98
V3	8,08a	6,53b	6,53b	7,04	20,26	20,42	20,90	20,52
\bar{X}_F	6,06	4,74	4,73		20,70	20,02	19,17	

* No se detectaron diferencias significativas.

Para el riego manual el consumo de agua resultó significativo para la interacción volumen x forma, correspondiendo el mayor valor promedio a la interacción V3 y F1 y el menor a la interacción V1 x F3, con 8,08 y 2,76 litros, respectivamente.

Para el riego por capilaridad no fue detectada significancia

alguna entre los tratamientos y sus interacciones.

4.6. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento y sus componentes

El Cuadro A⁴ muestra los valores promedios para estos componentes, peso total de semillas, número de frutos por planta, número de semillas por fruto y peso de 100 semillas, obtenidos para cada tratamiento en cada sistema de riego.

El Cuadro A⁴¹ muestra el rendimiento y sus componentes y su significancia al 5%, para los tratamientos aplicados, según el análisis de variancia realizado para todo el experimento en conjunto.

Puede observarse que excepto para la variable semillas por fruto, que fue significativa solo para forma, las otras variables resultaron significativas para los tratamientos de riego y volumen y sus interacciones.

El Cuadro A⁴² muestra el análisis de variancia para todas las variables estudiadas, por sistema de riego, con la correspondiente significancia al 5%. En dicho cuadro puede observarse que para el riego manual, las variables estudiadas como componentes del rendimiento resultaron significativas tanto para volumen como para forma, así como también para sus interacciones, mientras que para riego por capilaridad solo resultaron significativas para volumen, el rendimiento y el número de frutos por planta.

4.6.1. Peso total de semillas por planta (rendimiento)

Los Cuadros A¹⁹ y A²⁰ muestran los cuadrados medios para el

rendimiento y su significancia bajo los tratamientos aplicados. En el Cuadro 7 se presentan los resultados de la prueba de Duncan aplicada al peso total de semillas por planta para cada sistema de riego.

Cuadro 7. Rendimiento¹ (g) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{XV}	F1	F2	F3	\bar{XV}
V1	5,00	7,08	7,75	6,61c	45,53	42,70	44,57	44,27b
V2	14,75	10,48	15,55	13,59b	51,40	48,10	41,43	46,97b
V3	21,75	20,15	22,55	21,48a	53,52	59,20	57,95	56,89a
\bar{XV}	13,83a	12,57b	15,28a		50,15	50,00	47,98	

1/ Peso de las semillas corregido al 12% de humedad.

En el riego manual, tanto el volumen como la forma del recipiente afectaron significativamente el rendimiento. En cuanto al volumen, se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos de volumen aplicados, correspondiendo el promedio mayor a V3 y el menor a V1, con 21,48 y 6,61 g, respectivamente.

La forma produjo diferencia significativa para rendimiento correspondiendo a F2 el valor más bajo, 12,57 g, siendo los valores de los promedios de F1 y F3, 13,83 y 15,28 g, respectivamente, significativamente diferentes al promedio de F2.

Bajo el riego por capilaridad se detectaron significancia de rendimiento con el volumen, siendo en este caso V3, con promedio de 56,89 g, significativamente diferente de V1 y V2, cuyos promedios fueron 44,27 y 46,97 g, respectivamente.

4.6.2. Número de frutos por planta

Los Cuadros A21 y A22 muestran los cuadrados medios del número de frutos por planta y su significancia bajo los tratamientos que se aplicaron.

El Cuadro 8 muestra el resultado de la prueba de significancia de Duncan aplicada a esta característica, para cada sistema de riego. Bajo riego manual se observó significancia en la interacción de volumen x forma, correspondiendo el mayor promedio, 8,75 a la interacción V3 x F2, y el menor a la interacción V1 x F1 con 2,00.

Cuadro 8. Número de frutos por plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	2,00e	3,00e	3,75e	2,58	15,25	15,25	14,25	15,08b
V2	5,50cd	5,00d	6,50bc	5,67	16,00	16,50	13,50	15,33b
V3	7,50b	8,75a	7,00b	7,75	19,25	19,00	18,50	18,92a
\bar{X}_F	5,00	5,58	5,42		16,83	17,08	15,42	

Para el riego por capilaridad se detectó significancia para volumen, siendo el valor correspondiente a V3, 18,92, superior y significativamente diferente de V1 y V2.

4.6.3. Número de semillas por fruto

Los Cuadros A23 y A24 muestran los cuadrados medios del número de semillas por fruto y su significancia para los tratamientos aplicados.

El Cuadro 9 muestra los resultados de la prueba de significancia de Duncan, aplicada a esta característica para cada sistema de riego.

Cuadro 9. Número de semillas por fruto de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipientes y dos sistemas de riego, (valores promedio de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluyen significancias.

	R_1				R_2^*			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	3,00	2,75	3,75	3,17	4,00	4,00	4,00	4,00
V2	3,50	2,75	3,00	3,08	4,00	3,75	4,00	3,92
V3	3,75	3,00	4,25	3,67	3,75	4,25	4,50	4,17
\bar{X}_F	3,42a	2,83b	3,67a		3,92	4,00	4,17	

* No se detectaron diferencias significativas entre los valores correspondientes a este sistema de riego.

En el riego manual se detectó significancia para el efecto de la forma, siendo F1 y F3 con 3,42 y 3,67, respectivamente, significativamente diferente de F2 con 2,83 de promedio.

Para la característica semillas por fruto, bajo riego por capilaridad, no fue detectada significancia para los tratamientos de volumen, forma o sus interacciones.

4.6.4. Peso de 100 semillas

Los Cuadros A25 y A26 muestran los cuadrados medios del peso de 100 semillas y su significancia para los tratamientos aplicados.

El Cuadro 10 muestra los resultados de la prueba de significancia de Duncan, aplicada a los datos de esta característica para cada sistema de riego.

Cuadro 10. Peso de 100 semillas¹ (g) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedio de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días).

	R ₁				R ₂ *			
	F1	F2	F3	\bar{XV}	F1	F2	F3	\bar{XV}
V1	79,20	76,68	73,05	76,31a	66,80	61,67	70,65	66,38
V2	67,18	69,45	70,75	69,12b	72,85	69,70	67,32	69,96
V3	71,23	67,20	70,68	69,70b	66,05	66,73	64,75	65,84
\bar{XF}	72,53	71,11	71,49		68,57	66,03	67,57	

1/ Peso de las semillas corregido al 12% de humedad.

* No se detectaron diferencias significativas entre los valores correspondientes a este sistema de riego.

Bajo el regimen de riego manual se observaron variaciones significativas de esta característica por efecto del volumen, siendo V1

con promedio de 76,31 g, significativamente diferente de V2 y V3 con promedio de 69,12 y 69,70 g, respectivamente.

Bajo riego por capilaridad no se detectó significancia para esta variable en ninguno de los tratamientos de volumen y forma, ni en sus interacciones.

Para las características estudiadas como componentes del rendimiento en el Cuadro A4 se muestran los valores promedios de cuatro observaciones. Puede observarse que en todas estas características, excepto para el peso de 100 semillas, los promedios correspondientes al sistema de riego por capilaridad superan a los de riego manual.

Se observa una ligera tendencia positiva con el aumento de volumen, especialmente en el rendimiento, tanto para el riego manual como para el riego por capilaridad. Para las variables rendimiento y número de frutos por planta, los mayores promedios corresponden a los mayores volúmenes.

4.7. Densidad de raíces en el suelo

Los Cuadros A27 y A28 muestran los cuadrados medios de la densidad de raíces y su significancia para los tratamientos aplicados.

El Cuadro 11 muestra los resultados de la prueba de significancia de Duncan, aplicada a los datos de esta característica bajo cada sistema de riego.

En el Cuadro A41 que muestra las significancias obtenidas en el análisis de variancia para todas las variables en conjunto, puede observarse que en esta característica se detectó significancia para riego y la interacción de riego x volumen.

Cuadro 11. Densidad de raíces (g/lit de suelo) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{XV}	F1	F2	F3	\bar{XV}
V1	1,36b	1,36b	1,33b	1,35	3,45	3,40	3,16	3,34a
V2	1,97a	1,15b	1,48b	1,53	2,45	2,37	1,63	2,15b
V3	1,25b	1,50b	1,42b	1,39	1,89	2,06	1,53	1,83b
\bar{XV}	1,53	1,33	1,41		2,60	2,61	2,11	

En el Cuadro A42 se muestra el análisis de variancia al 5% para esta característica y por sistema de riego. Se observa que mientras para riego manual resultó significativa la interacción volumen x forma, en el riego por capilaridad se detectó significancia para el volumen únicamente.

El resultado de la prueba de significancia de Duncan para esta variable se presenta en el Cuadro 11. Puede observarse que la interacción V2 x F1 es significativamente diferente de las restantes, entre las que no se detectó significancia alguna, y cuyo promedio fue de 1,97 g por litro.

Para observar como la profundidad del suelo afectó la densidad de raíces, se trazaron las curvas correspondientes para cada tratamiento, para el riego manual (Figs. A4 a A11). En forma general puede notarse que la mayor densidad de raíces se encuentra en los

primeros 15 cm de suelo, disminuyendo a medida que aumenta la profundidad del suelo.

Para el riego por capilaridad, aunque los valores de densidad generalmente fueron más altos, ninguna de las curvas estudiadas se ajustó a los datos obtenidos. Las Figuras A12 al A19, contienen los valores promedios por profundidad obtenidos para cada tratamiento.

4.8. Contenido de macroelementos en hojas

El Cuadro A41 muestra la significancia encontrada en el análisis de variancia en conjunto para todas las características, y se observa que el contenido de macroelementos en hojas resultó significativo para los tratamientos y sus interacciones.

En el Cuadro A42 se muestran los resultados del análisis de variancia por elemento y por sistema de riego. Para el riego manual se detectó significancia para volumen en los casos del nitrógeno, calcio y azufre, mientras que las variaciones en fósforo, potasio y magnesio resultaron significativas para la interacción volumen x forma.

Bajo el riego por capilaridad la variación de todos los elementos resultó significativa para la interacción de volumen x forma.

4.8.1. Nitrógeno

Los Cuadros A29 y A30 muestran los cuadrados medios de N foliar y su significancia bajo los tratamientos aplicados.

El Cuadro 12 muestra los resultados de la prueba de significancia de Duncan, aplicada a esta característica para cada sistema de riego.

Cuadro 12. Contenido de N foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	4,43	4,09	4,21	4,24a	3,17ab	3,65abc	3,32b	3,56
V2	3,79	3,84	3,67	3,77b	2,88e	3,38bd	3,80a	3,36
V3	3,84	3,76	3,78	3,80b	2,65f	3,21d	3,28c	3,05
\bar{X}_F	4,02	3,90	3,89		3,08	3,42	3,47	

Para el riego manual el N varió significativamente bajo efecto del volumen, siendo V1 con 4,24% significativamente diferente de V2 y V3 con 3,77%, respectivamente, y entre los que no se detectó significancia alguna.

Para el riego por capilaridad la significancia de este elemento se encontró para la interacción volumen x forma, correspondiendo el mayor promedio a la interacción V2 x F3, y el menor para la interacción V3 x F1, con 3,80% y 2,65%, respectivamente.

4.8.2. Fósforo

Los Cuadros A31 y A32 muestran los cuadrados medios de P foliar y su significancia para los tratamientos aplicados.

El Cuadro 13 muestra el resultado de la prueba de significancia de Duncan aplicada al contenido de P en cada sistema de riego.

Cuadro 13. Contenido de P foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	0,07e	0,13d	0,17c	0,12	0,27a	0,30a	0,27a	0,28
V2	0,18c	0,19c	0,20c	0,19	0,19b	0,22b	0,29a	0,23
V3	0,26b	0,27b	0,32a	0,28	0,16b	0,21b	0,19b	0,19
\bar{X}_F	0,17	0,19	0,23		0,21	0,24	0,25	

Para ambos sistemas de riego, manual y por capilaridad, se detectó significancia para la interacción del volumen x forma, correspondiendo a la interacción V3 x F3 el mayor promedio con 0,32% y a la V1 x F1 el menor con 0,07% para el riego manual. El mayor promedio para el riego por capilaridad se observó en la interacción V1 x F2 con 0,30% y el menor en la V3 x F1 con 0,16%.

4.8.3. Potasio

Los Cuadros A33 y A34 muestran los cuadrados medios de K foliar y su significancia para los tratamientos aplicados.

El Cuadro 14 muestra el resultado de la prueba de significancia de Duncan, aplicada a esta característica bajo cada sistema de riego.

Para ambos sistemas de riego se detectó significancia para la interacción volumen x forma, correspondiendo el mayor promedio en el

riego manual a la interacción V1 x F3 y el menor a V2 x F3, con 6,28% y 4,26% respectivamente.

Cuadro 14. Contenido de K foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{XV}	F1	F2	F3	\bar{XV}
V1	4,63e	5,91b	6,28a	5,61	4,31b	5,41a	5,28a	5,06
V2	5,35bc	4,38d	4,26e	4,67	4,29b	3,77b	3,82b	3,99
V3	5,25c	4,97c	5,29c	5,17	3,93b	3,45c	3,31c	3,56
\bar{XF}	5,08	5,09	5,28		4,18	4,21	4,14	

Para el riego por capilaridad el mayor y menor promedio correspondieron a las interacciones V1 x F3 con 5,41% y a la V3 x F3 con 3,31% respectivamente.

4.8.4. Calcio

Los Cuadros A35 y A36 muestran los cuadrados medios de Ca foliar y su significancia para los tratamientos aplicados.

El Cuadro 15 muestra los resultados de la prueba de significancia de Duncan, aplicada a los datos del contenido de Ca para cada sistema de riego.

Cuadro 15. Contenido de Ca foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	4,44	4,36	4,49	4,43b	4,73b	6,21a	6,64a	5,86
V2	4,56	4,53	3,90	4,33b	6,48a	5,50b	6,13a	6,04
V3	5,36	5,34	4,88	5,19a	6,90a	6,83a	6,24a	6,65
\bar{X}_F	4,79	4,74	4,42		6,04	6,18	6,34	

Para el riego manual fue detectada significancia en el contenido de Ca para el volumen, resultando V3 con 5,19%, significativamente diferente de V1 y V2 con promedios de 4,43% y 4,33%, respectivamente, y entre los que no fue detectada significancia alguna.

Para el riego por capilaridad la significancia se detectó para la interacción volumen x forma, correspondiendo a la interacción V3 x F1 el promedio más alto con 6,90% y el más bajo a la interacción V1 x F1 con 4,73%.

4.8.5. Magnesio

Los Cuadros A37 y A38 muestran los cuadrados medios de Mg foliar y su significancia para los tratamientos aplicados.

El Cuadro 16 muestra los resultados de la prueba de significancia de Duncan, aplicada a los datos sobre el contenido de Mg para cada sistema de riego.

Cuadro 16. Contenido de Mg foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{X}_V	F1	F2	F3	\bar{X}_V
V1	0,57a	6,47bc	0,54ab	0,53	0,38c	0,47bc	0,52ab	0,46
V2	0,45bcd	0,52ab	0,38d	0,46	0,43d	0,46c	0,52ab	0,47
V3	0,49ab	0,52ab	0,40c	0,47	0,56a	0,55a	0,48ab	0,53
\bar{X}_F	0,50	0,51	0,44		0,46	0,49	0,51	

En ambos sistemas de riego se detectó significancia para la interacción volumen x forma. Para el riego manual, el mayor promedio fue el de la interacción V1 x F1 con 0,58%, y el menor para la interacción V3 x F3 con 0,40%.

Para el riego por capilaridad, el mayor promedio correspondió a la interacción V3 x F1 con 0,56 g y el menor a la interacción V1 x F1 con 0,38 g.

4.8.6. Azufre

Los Cuadros A39 y A40 muestran los cuadrados medios de S foliar y su significancia para los tratamientos aplicados.

El Cuadro 17 muestra el resultado de la prueba de significancia de Duncan aplicada a los valores de S foliar para cada sistema de riego.

Cuadro 17. Contenido de S foliar (% del peso seco) de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipientes y dos sistemas de riego, (valores promedios de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 80 días). Se incluye significancia.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{XV}	F1	F2	F3	\bar{XV}
V1	0,15	0,14	0,18	0,16a	0,14c	0,16b	0,14bc	0,15
V2	0,14	0,14	0,13	0,14b	0,10e	0,12c	0,17a	0,13
V3	0,15	0,13	0,15	0,14b	0,10e	0,10e	0,11d	0,10
\bar{XF}	0,15	0,14	0,15		0,11	0,13	0,14	

En el riego manual se detectó significancia para volumen, siendo V1 con promedio de 0,16% significativamente diferente de V2 y V3 con promedios de 0,14% ambos.

En el riego por capilaridad, se detectó significancia para la interacción volumen x forma, correspondiendo a la interacción V2 x F3 el mayor promedio con 0,70% y el menor a las interacciones V2 x F1, V3 x F1 y V3 x F2 con 0,10%.

En términos generales, y observando el Cuadro A6 se observa que el contenido de nitrógeno en hojas, así como el de potasio, presentan valores superiores para el riego manual, mientras que los contenidos de fósforo y calcio son mayores en el riego por capilaridad. Los contenidos de magnesio y azufre pueden considerarse iguales en ambos sistemas de riego, aunque se observan algunas diferencias entre los valores.

No se observó una tendencia definida en cuanto a los contenidos de macronutrientes en hojas, para ninguno de los tratamientos aplicados.

5. DISCUSION

5.1. Producción y distribución de raíces

El peso seco de la raíz, tanto en el riego manual, como en el riego por capilaridad, fue afectado significativamente por el volumen de suelo, encontrándose que los más altos pesos promedios correspondieron, en ambos sistemas de riego, a los mayores volúmenes de suelo utilizados (Cuadro 1).

Bajo riego manual, el peso seco de raíz de las plantas en recipientes con V1 fue inferior en 75,5% al de las que crecieron en V3. En forma similar, bajo riego por capilaridad, la diferencia correspondiente a esos mismos volúmenes fue de 54,6%. O sea que el volumen del suelo en que crecieron las raíces tuvo un efecto directo considerable en el peso seco que lograron alcanzar las raíces y este efecto varió poco con el sistema de riego empleado. Wiersum (43) llegó a conclusiones similares trabajando con diferentes especies y concluyó en que cualquier limitación considerable del volumen del suelo, como el impuesto por los recipientes, afecta fuertemente el crecimiento de las raíces y consecuentemente el de la planta como un todo.

Por otra parte, el sistema de riego por capilaridad favoreció el crecimiento de raíces, ya que, en igualdad de volumen de suelo, el peso seco de raíces fue mayor en un 41% como promedio al de las raíces de plantas regadas manualmente.

Es interesante notar que los pesos secos de raíces obtenidos en

V3 bajo los dos sistemas de riego, en forma general fueron aproximadamente el doble de los valores que suelen obtenerse en solución nutritiva para esta característica (12).

En el caso de la densidad de raíces (Cuadro 11) esta característica, en términos generales, no fue afectada por los tratamientos de volumen y forma cuando se empleó el sistema de riego manual. Bajo el riego por capilaridad solamente en el caso de recipientes con V1 se notó un aumento significativo en la densidad de raíces. A igualdad de volumen de suelo, ej. V1, la densidad de raíces fue muy superior en las macetas bajo riego por capilaridad que en las macetas bajo riego manual, lo cual es una consecuencia de la mayor disponibilidad de agua que tuvieron las plantas bajo este sistema de riego.

Las Figuras A4 a A11 muestran como se distribuye la densidad de raíces por profundidad en el sistema de riego manual, y podemos observar que la mayor concentración ocurre en los primeros 15 cm del suelo. Las Figuras A12 a A19 muestran que bajo riego por capilaridad, no hubo una tendencia definida en cuanto a la distribución de las raíces, cuya concentración fue generalmente alta y uniforme a través de toda la masa del suelo. Esto puede atribuirse a que en este caso la humedad no fue limitante, y por lo tanto el crecimiento no se concentró en los primeros centímetros del suelo.

Esto hace pensar que el crecimiento radical, siempre que otros factores no lo limiten y las condiciones de humedad sean adecuadas, ocurren no solamente en los primeros centímetros del suelo, sino que hay una distribución de raíces a través de todo el volumen de suelo que les sea posible alcanzar.

Aunque existieron diferencias en compactación en los dos sistemas de riego (Cuadro A46), estos fueron relativamente bajos, no teniendo una influencia directa sobre el crecimiento de las raíces, ya que la densidad de raíces (Cuadro 11), para recipientes con el mismo volumen de suelo y de igual forma, fue, en términos generales, superior en las macetas bajo riego por capilaridad, cuyos valores de compactación fueron mayores.

5.2. Producción de parte aérea

Aparentemente, bajo el riego por capilaridad la parte aérea de las plantas se afectaron poco con las variaciones en volumen y forma de recipientes (Cuadros 2, 3, 4, 5, 7) lo cual, relacionado con el hecho de que el peso seco de raíces disminuyó al reducir el volumen de los recipientes, conduce a concluir que la relación peso seco de raíces/peso seco parte aérea, tiene que haber disminuido al reducirse el volumen del recipiente.

Una reducción en esa relación conduce a un desbalance entre absorción de agua y transpiración que, en el caso de riego por capilaridad, no produjo un decaimiento notable en crecimiento vegetativo y rendimiento. Esto no fue así para las plantas bajo riego manual en que el crecimiento y el rendimiento se restringieron mucho al reducirse el volumen de los recipientes.

La relación peso seco raíces/peso seco parte aérea según Serrano (39) es una característica de gran importancia para evaluar las condiciones de tensión hídrica en que se encuentran las plantas de frijol, lo cual tiene gran repercusión en la actividad fotosintética de las

plantas.

Por otra parte, dentro de cada sistema de riego, la forma de los recipientes afectó poco el peso seco de las raíces, excepto en el de la F3, bajo riego por capilaridad, pero en este único caso la significancia ocurrió por estrecho margen. Esto significa que la extensión de la superficie de suelo expuesta al aire, por la que ocurre la difusión de oxígeno y anhídrido carbónico, en las condiciones de este experimento, pareció no afectar el crecimiento radical.

5.3. Producción de área foliar

Para el área foliar, el efecto de los tratamientos fue diferente en cada sistema de riego. Mientras que para el riego manual hubo efecto significativo para volumen y forma, para el riego por capilaridad se detectó significancia para la interacción volumen x forma.

El área foliar, en las plantas bajo riego manual, varió significativamente bajo efecto del volumen de suelo en que crecieron sus raíces (Cuadro 5) alcanzando valores de hasta 20 dm² con el mayor volumen. Este efecto del volumen de suelo no fue notable en las plantas bajo riego por capilaridad, en cuyo caso las áreas foliares alcanzaron valores de aproximadamente 40 dm².

Chávez (12) y Furlan (19) trabajando con la misma variedad pero cultivada en solución nutritiva, encontraron un área foliar promedio de 125 dm², lo cual fue superior, en aproximadamente 50%, a los mayores valores obtenidos en este trabajo. Esto podría atribuirse a que en solución nutritiva, las raíces absorben agua más fácilmente

que en suelo, donde a la tensión producida por el contenido de sales en la solución del suelo hay que sumarle la adsorción del agua a las partículas del suelo (16).

En lo referente a la forma del recipiente esta tuvo en términos generales muy poco efecto sobre el área foliar de las plantas en ambos sistemas de riego, considerados individualmente.

Otra vez podemos notar que cuando las plantas son abastecidas apropiadamente de agua, el efecto regulador que sobre el crecimiento de raíces tiene el volumen del suelo, no repercute en el resto de la planta, pues el área foliar que es la superficie fotosintéticamente activa más importante, no varió al alterarse el volumen de suelo.

Aparentemente, cuando el abastecimiento de agua no es un factor limitante, aun cuando las raíces hayan sido limitadas en su crecimiento por el tamaño del recipiente, las células estomáticas permanecen abiertas durante el día sin afectarse mayormente la fotosíntesis. Por esta razón en las plantas bajo riego por capilaridad el crecimiento vegetativo no varió mucho con los cambios en volumen de suelo.

5.4. Disponibilidad de agua

Los comentarios sobre la disponibilidad de agua por las plantas bajo los dos sistemas de riego y su relación con la actividad fotosintética puede comprobarse comparando los datos de los Cuadros 5 y 6, con lo que se constata que la transpiración fue mayor en las plantas regadas por capilaridad.

En las plantas regadas manualmente el crecimiento también fue mayor en los mayores volúmenes de suelo debido a que estos requirieron

ron una mayor cantidad de agua para mantenerlas a una humedad correspondiente a 0,3 bares, no así los volúmenes menores, que alcanzaron esta misma tensión con una menor cantidad de agua, de allí que aunque en ambos volúmenes se mantuviera la tensión deseada, la cantidad de agua disponible por volumen fue distinta. Sin embargo, esta situación no se presentó dentro de las plantas regadas por capilaridad, en donde dispusieron en todo momento de agua que transpiraban las plantas.

Los resultados obtenidos en este trabajo con las plantas regadas por capilaridad, en cuanto al consumo de agua, se asemejan a los encontrados por Ascensio (6) para la variedad 'Turrialba-4' y por Chávez (12) para la var. '27-R', ambos trabajando con solución nutritiva, los cuales coinciden en las exigencias del frijol en el consumo de agua.

5.5. Componentes del rendimiento

En el rendimiento y sus componentes los tratamientos que se aplicaron a las plantas de frijol produjeron diferencias significativas bien como efecto simple del tratamiento o por efecto de las interacciones de los mismos. En términos generales los mayores valores obtenidos en estas características corresponden también, como en el caso de la biomasa y sus componentes, a los mayores volúmenes de suelo.

En cuanto al peso seco de frutos, para ambos sistemas de riego, el volumen resultó ser significativo, y también para ambos el promedio de V3 fue significativamente mayor.

Para el riego manual el promedio de V1 fue 72,5% menor que el de V3 y el de V2 fue 38,2% menor que V3. En el riego por capilaridad los promedios de V1 y V2 fueron 25,0% y 19,0% menores que el de V3, respectivamente. Los valores promedio obtenidos para el riego manual fueron significativamente diferentes entre si mientras que para el riego por capilaridad los promedios de V1 y V2 no fueron significativamente diferentes entre si, pero si de V3.

En relación al número de frutos por planta para riego manual, aunque resultara significativa la interacción volumen x forma, puede observarse como los promedios correspondientes a V3 superan a los de otros volúmenes menores. Para el riego por capilaridad, el número de frutos por planta obtenido para V3, fue el mayor promedio, y 25,0% y 24,0% mayor que los de V1 y V2, respectivamente.

El número de semillas por fruto y el peso de 100 semillas, fueron poco afectados por los tratamientos aplicados; al parecer estas son características de la variedad que cambian muy poco por factores externos.

En el caso del rendimiento, esta característica varió significativamente bajo efecto del volumen de suelo en ambos sistemas de riego.

En el riego manual el incremento en volumen favoreció positivamente el rendimiento, observándose el mayor promedio para V3, que resultó ser 15,8% mayor que el obtenido en V2, y 32,5% mayor que el de V1.

Para el riego por capilaridad, aunque también hubo significancia

en rendimiento para volumen, los correspondientes a V1 y V2, no fueron significativamente diferentes entre si, detectándose únicamente significación para V3, que fue mayor en 18,0% al de V2 y en 22,0% al de V1.

Las diferencias en rendimiento entre los dos sistemas de riego utilizados, a igualdad de volumen de suelo, fueron reduciéndose conforme se aumentó el volumen. Así se observó que con V1, V2 y V3, el rendimiento con riego manual fue inferior en 85,0%, 73,0% y 44,0%, respectivamente. En términos generales, las diferencias en rendimiento entre ambos sistemas de riego fueron de consideración.

Los bajos rendimiento obtenidos para el sistema de riego manual, considerando los obtenidos para el riego por capilaridad, coinciden con los resultados encontrados por Legarda (28) a tensiones de 2 bares en macetas con suelo, y por Armenta (3), quien encontró que tensiones osmóticas en solución nutritiva de 2,4 y 4,1 bares, reducían el rendimiento en relación a plantas testigo en 42,8% y 72,1%, para las variedades de frijol Jamapa y 'Turrialba-4'.

Los rendimientos obtenidos para el riego por capilaridad en el mayor volumen fueron en general parecidos a los obtenidos por Chávez (12) usando la misma variedad con solución nutritiva.

5.6. Contenido de macronutrientos

En cuanto al contenido de macronutrientos en hojas, aunque se encontraron diferencias significativas para los tratamientos, son bastante semejantes para ambos sistemas de riego. Chávez (12)

encontró contenidos similares para la misma variedad trabajando en solución nutritiva, excepto P y S, en cuyos casos las plantas en solución nutritiva tuvieron aproximadamente el doble que las plantas en suelo.

Bajo riego manual se notó que el N, S y Mg mostraron tendencia a concentrarse más en las plantas que crecieron en V1, mientras que P, K y Ca lo hicieron en las plantas que estuvieron en los volúmenes mayores, en donde la disponibilidad de agua fue mayor.

En el riego por capilaridad los elementos que tendieron a acumularse en los volúmenes menores fueron N, P, K y S. El Ca y el Mg se acumularon más en las plantas sembradas en V3.

Aunque se supone que plantas bajo tensión hídrica muestran por efecto de concentración un contenido mayor de sales, esto aparentemente no puede generalizarse para todos los macroelementos, en las condiciones en que se realizó este trabajo de investigación.

6. CONCLUSIONES

En las condiciones en que este experimento se realizó, podemos sacar las siguientes conclusiones:

1. El sistema radical de las plantas de frijol creció mejor en los recipientes con mayor volumen de suelo, independiente del sistema de riego empleado.
2. Bajo riego por capilaridad el crecimiento y densidad de las raíces, en todos los volúmenes de suelo, fue superior al que lograron bajo riego manual.
3. Como consecuencia del efecto del volumen de suelo y sistema de riego sobre el sistema radical, el crecimiento vegetativo y el rendimiento fue mayor en las plantas que crecieron en los volúmenes de suelo mayores y bajo riego por capilaridad.
4. La forma del recipiente mostró poco efecto sobre el crecimiento vegetativo y rendimiento del frijol.
5. En términos generales, el mejor crecimiento y rendimiento se obtuvo de las plantas que crecieron en los recipientes V3 F2 bajo riego por capilaridad.
6. Basándose en la considerable diferencia en crecimiento y rendimiento observado bajo los dos sistemas de riego, puede concluirse que el sistema de riego manual, permitiéndose llegar la humedad del suelo hasta 2 bares de tensión, no es recomendable para el cultivo del frijol en macetas con suelo.

7. RESUMEN

Este experimento fue diseñado para estudiar el efecto del volumen y la forma del recipiente con suelo, y del sistema de suministro de agua y nutrimentos en el crecimiento y rendimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L.) var. '27-R'.

Se probaron tres volúmenes de recipiente (3, 7 y 11 litros), tres formas diferentes para cada uno de los volúmenes (25,4 cm, 20,3 cm y 15,2 cm de diámetro) y dos sistemas de suministro de agua y nutrimentos (manual o superficial y por capilaridad).

Los resultados obtenidos, en las condiciones que se realizó el presente trabajo, demostraron que el volumen de los recipientes afectó el crecimiento de las raíces en los dos sistemas de riego estudiados. La forma de los recipientes mostró poco efecto sobre el crecimiento vegetativo y rendimiento del frijol. En el sistema de riego por capilaridad, el crecimiento, rendimiento y densidad de raíces, en todos los volúmenes y formas estudiadas, fueron superiores a los alcanzados bajo riego manual. El mayor crecimiento y rendimiento se obtuvo de las plantas que crecieron en los recipientes de 11 litros y 20,3 cm de diámetro bajo riego por capilaridad. El sistema de riego manual, permitiéndose llegar la humedad del suelo hasta 2 bares de tensión, no es recomendable para el cultivo del frijol en macetas con suelo.

7a. SUMMARY

This experiment was designed to study the effect of volume and form of the soil container and of the system used to occupy water and nutrients on growth and yield of beans (Phaseolus vulgaris L.) var. '27-R'.

Three container volumes (3, 7 and 11 liters), three different forms for each one of the volumes (25.4 cm, 20.3 cm and 15.2 cm in diameter) and two systems for administering water and nutrients (manual or superficial and by capillarity), were tried.

Results obtained, under the conditions in which this work was carried out, showed that the volume of the container affected root growth in both irrigation systems studied. Container form had little effect on vegetative growth and bean yield. In the capillary irrigation system, growth, yield and root density, in all volumes and forms studied, were superior to those under manual irrigation. Greater growth and yield were obtained from plants in containers with 11 liters and 20.3 cm diameter, under capillary irrigation. The manual irrigation system, allowing soil humidity to reach 2 bars of water stress, is not recommended for cultivating beans in soil pots.

8. LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE AESTE, V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 139 p.
2. ALVIM, P. DE T., MACHADO, A. D. y GRANGIER JUNIOR, A. Alguns estudos sôbre as relações de água, solo e crescimento do cacauzeiro. In Conferência Internacional de Pesquisas em Cacau, 2a., Salvador e Itabuna, Novembro 19-26, 1967. Memórias. Bahia, Ceplac, 1969. pp. 316-323.
3. ARMENTA, J. La turgencia relativa y la conductividad eléctrica como criterio para evaluar la resistencia a sequía en el cultivo del frijol. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 61 p.
4. ARMIGER, W. H. y FRIED, M. Effect of pot size and shape on yield and phosphorus uptake of millet. Agronomy Journal 50(3):462-465. 1958.
5. _____ et al. Effect of size and type of pot on relation precision, yields and nutrient uptake in greenhouse fertilizer experiments. Agronomy Journal 50(5):244-247. 1958.
6. ASCENSIO, JOCELYNE. Análisis del crecimiento y eficiencia fotosintética del frijol (Phaseolus vulgaris L. var. Turrialba-4) cultivado en solución nutritiva. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 98 p.
7. ASHTON, F. M. Effects of a series of cycles of alternating low and high soil water contents on the rate of apparent photosynthesis in sugar cane. Plant Physiology 31(4):266-274. 1956.
8. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 9th ed. Washington, D. C., 1960. 1008 p.
9. BRAGA, J. M. y LOPES DO AMARAL, F. A. Comparação entre dois modos de irrigar vasos em casas de vegetação. Revista Ceres 19(106):395-402. 1972.
10. BURMAN, R. y BOHMONT, D. W. Evaluating the growth rate of great northern beans as influenced by soil moisture level under greenhouse conditions. Agronomy Journal 53:354-355. 1961.
11. COOK, R. L. y MILLAR, C. E. Some techniques which help to make greenhouse investigation comparable with field plot experiments. Soil Science Society of American Proceedings 11: 298-304. 1946.

12. CHAVEZ, A. Características morfofisiológicas de las raíces en frijoles (Phaseolus vulgaris y Vigna sinensis). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 86 p.
13. DASBERG, S. y BAKKER, J. W. Characterizing soil aeration under changing soil moisture conditions for bean growth. *Agronomy Journal* 62(6):689-692. 1970.
14. DENMEAD, O. T. y SHAW, R. H. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agronomy Journal* 52(5):272-274. 1960.
15. DUBETZ, S. y MAHALLE, P. S. Effect of soil water stress on bush beans Phaseolus vulgaris L. at three stages of growth. *Journal American Society of Horticultural Science* 94: 479-481. 1969.
16. FORSYTHE, W. M. El manejo de la succión total en suelos salinos y el rendimiento de las cosechas. In Simposio sobre salinidad, La Molina, Perú, Agosto, 1966. IICA. Zona Andina, 1966. 15 p. (Mimeo).
17. _____ y PINCHINAT, A. M. Tolerancia de la variedad de frijol '27-R' a la inundación. *Turrialba* 21(2):228-231. 1971.
18. _____. Manual de laboratorio de física de suelo. Turrialba, IICA, 1972. 216 p.
19. FURLAN JUNIOR, J. Respuesta del frijol (Phaseolus vulgaris L. var. 27-R y Turrialba-4) cultivado en solución nutritiva a diferentes tratamientos de aereación. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974.
20. GOMEZ, M. Efecto de combinaciones de épocas, frecuencias y duraciones de inundaciones sobre el rendimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L.). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 120 p.
21. GREENWAY, H. et al. Effect of water deficit on phosphorus nutrition of tomato plants. *Physiologia Plantarum* 22(1): 199-207. 1969.
22. HARDY, F. Edafología tropical. Trad. del inglés por Rufo Bazán. México, D. F., Herrero, 1970. 416 p.
23. HILER, E. A. et al. Sensitivity of southern peas to plant water deficit at three growth stages. *Agronomy Journal* 64(1):60-64. 1972.

24. HOAGLAND, D. R. y ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experimental Station. Circular nº 347. 1950. 32 p.
25. HOLDRIDGE, L. R. Life zone ecology. Revised ed. San José, Costa Rica, Tropical Science Center. 1967. 206 p.
26. KRAMER, P. J. Effects of wilting on the subsequent intake of water by plants. American Journal of Botany 37:280-284. 1950.
27. _____. Effects of deficient aeration on the roots of plants. In Drainage for efficient crop production conference. Chicago, 1965. pp. 13-14.
28. LEGARDA, L. Influencia de la succión máxima del agua y del espacio aéreo del suelo sobre la producción de la variedad 27-R de frijol (Phaseolus vulgaris L.). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972.
29. LEONARD, O. A. y PINCKARD, J. A. Effect of various oxygen and carbon dioxide concentrations on cotton root development. Plant Physiology 21:18-36. 1946.
30. MALAGAMBA, J. P. Respuesta de compensación fisiológica del frijol (Phaseolus vulgaris L.) Turrialba-4 al desbalance de agua provocado por salinidad. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 95 p.
31. MASAYA, P. Estudio de la absorción de nutrimentos y crecimiento de raíces en la planta de frijol (Phaseolus vulgaris L. var. Turrialba-4). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 57 p.
32. NAURER, A. R. et al. Effect of five soil water regimes on growth and composition of snap beans. Canadian Journal Plant Science 49:271-278. 1969.
33. MÜLLER, L. Un aparato micro-Kjeldhal para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. Turrialba 11(1):17-25. 1961.
34. PEARSON, R. W. Soil environment and root development. In Plant environment and efficient water use. Wisconsin. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. 1965. pp. 115.
35. POST, K. y SEELEY, J. G. Automatic watering of greenhouse crops. Cornell University. Agricultural Experiment Station. Ithaca. Bulletin 776. 1943.

36. REYES, L. C. DE. Tipos de potes más convenientes para propagación de cacao. Cacao, Boletín Informativo (Venezuela) 2(1 y 2):3-8. 1965.
37. ROBINSON, F. E. Required per cent air space for normal growth of sugar cane. Soil Science 98:206-207. 1964.
38. ROYER, A. E. y BERMUDEZ, S. E. The effects of soils physical condition upon the root and stalk development of Abaca. Turrialba, Costa Rica, Inter-American Institute of Agricultural Sciences. Abaca Research Report nº 41. 1956. 25 p.
39. SERRANO, J. L. Algunas diferencias fisiológicas y morfológicas de especies y variedades de frijol tolerantes a la sequía. Agricultura Técnica en México 2(4):161-164. 1963.
40. SHARKAWY-EL, M. A. y HESKETH, J. D. Effects of temperature and water deficit on leaf photosynthetic rates of different species. Crop Science 4(4):514-518. 1964.
41. STELL, R. G. y TORRIE, J. H. Principles and procedures statistics. New York, McGraw-Hill, 1960. 481 p.
42. TERMAN, G. L., ALLEN, S. E. y CLEMENTS, L. B. Greenhouse techniques for soil-plant-fertilizer research. Tennessee Valley Authority, Alabama, 1966. 63 p.
43. WIERSUM, L. K. Utilization of soil by the plant root system. Plant and Soil 15(2):189-191. 1961.

A P E N D I C E

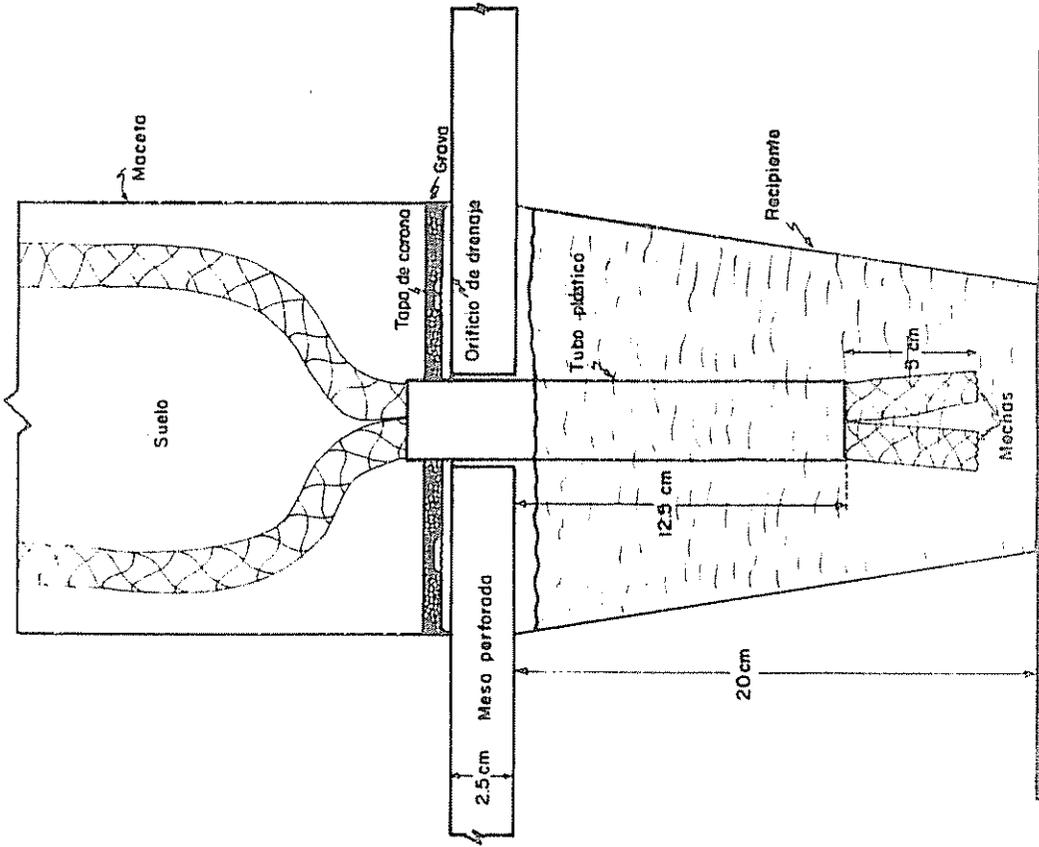


Fig. A1. Diagrama de los recipientes regados por capilaridad

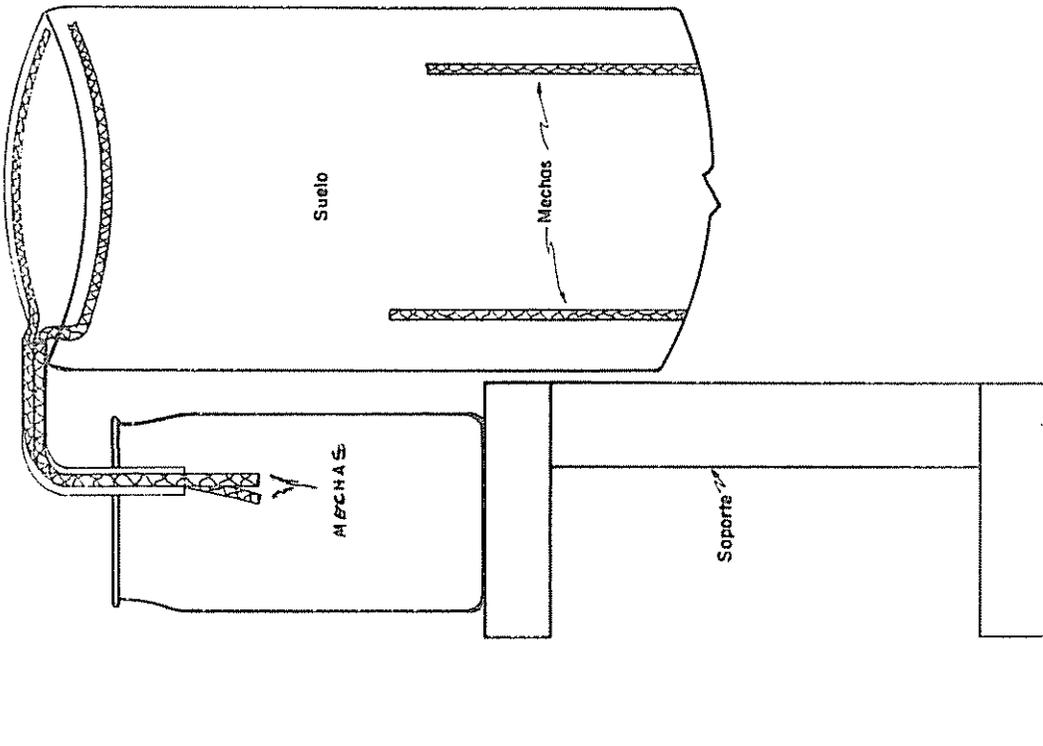


Fig. Recipiente con mecha por la parte superior

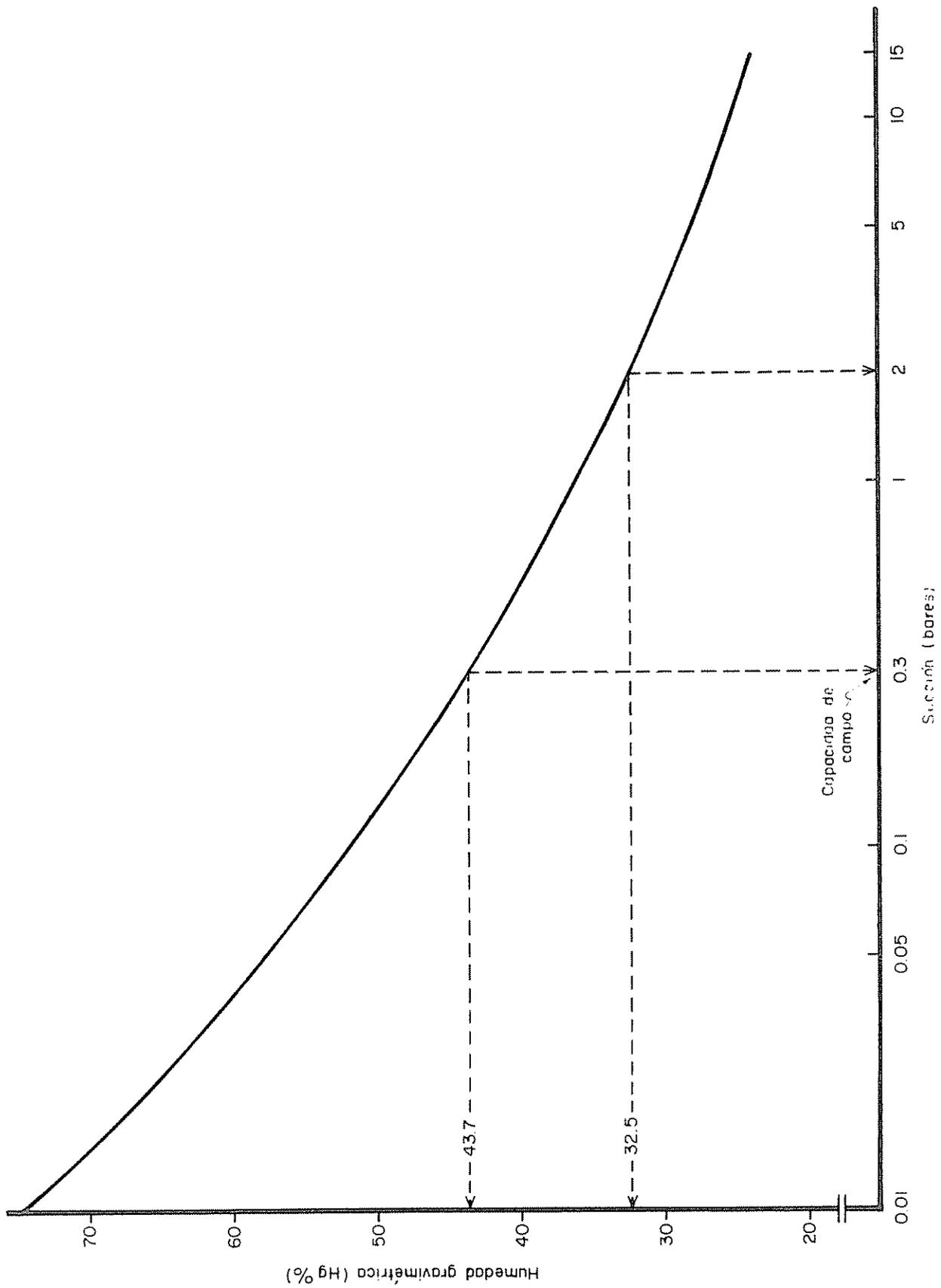


Fig. A2 Curva de desorción de un suelo franco (serie La Margot) tamizado (malla 2 mm)

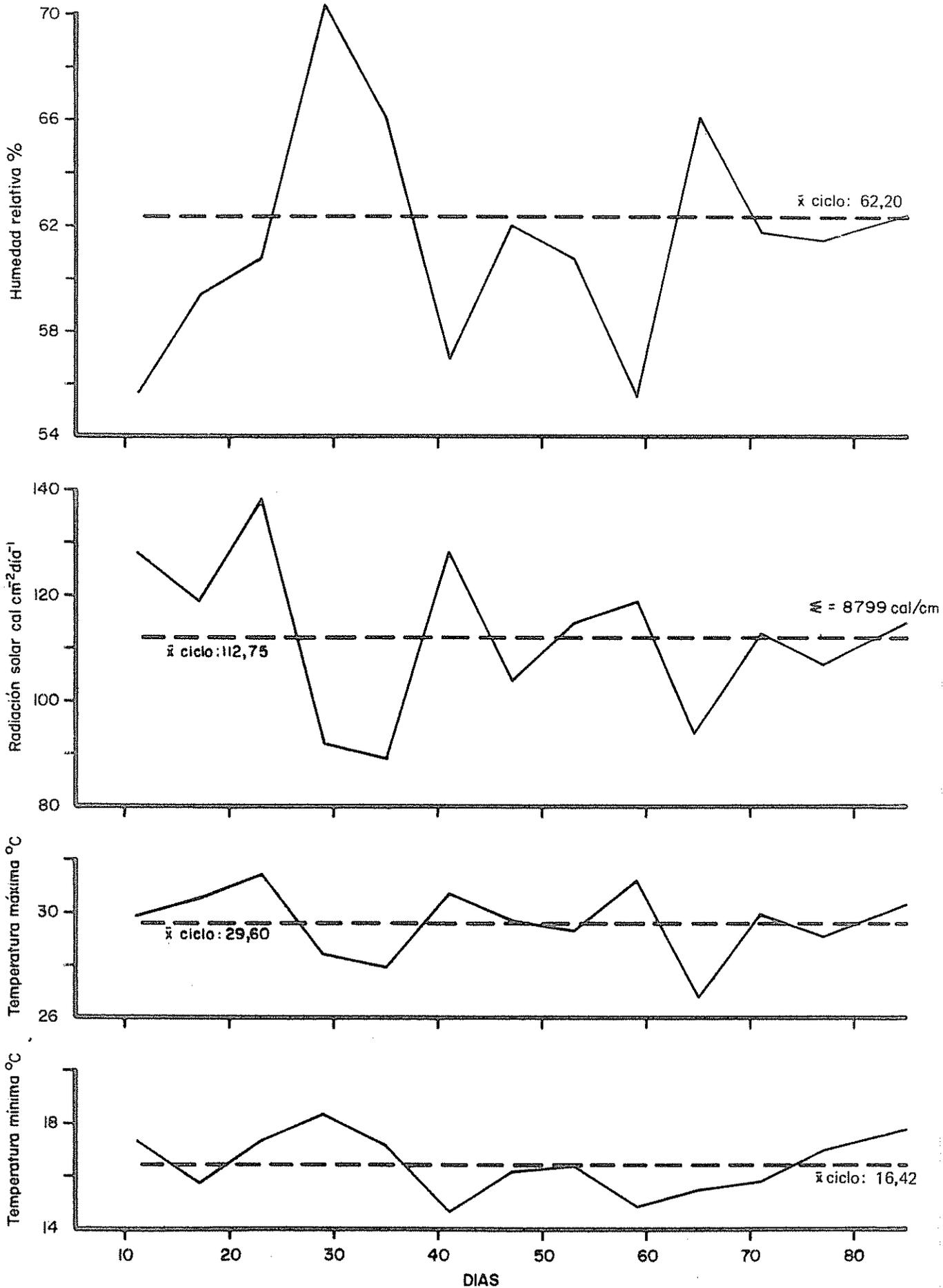


Fig. A.3 Condiciones de temperatura, humedad relativa y radiación solar que prevalecieron durante el experimento en el interior del invernadero. (promedios cada 6 días)

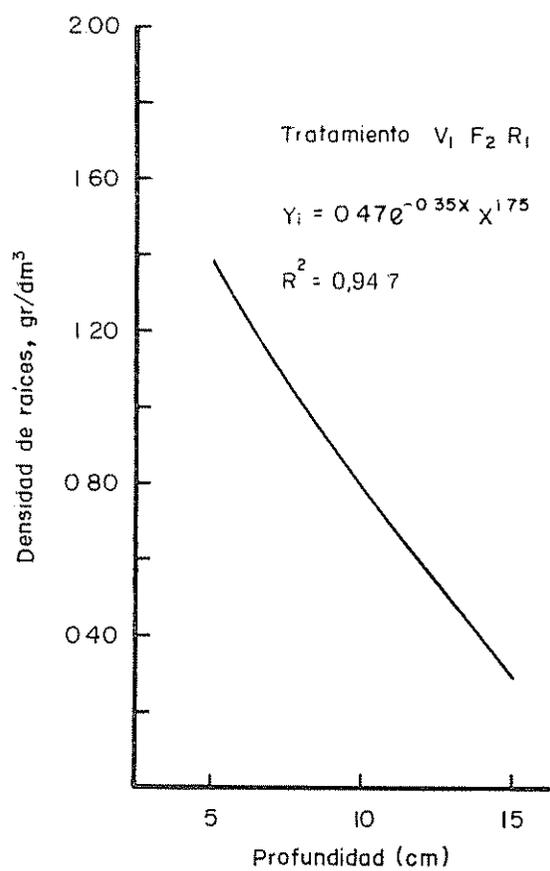


FIGURA A 4

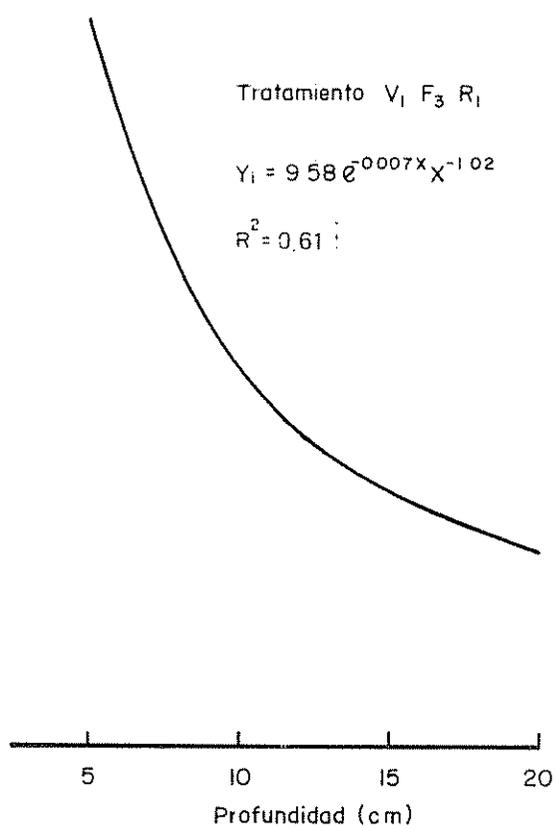


FIGURA A 5

Densidad de raíces a diferentes profundidades por tratamientos (Valores estimados)

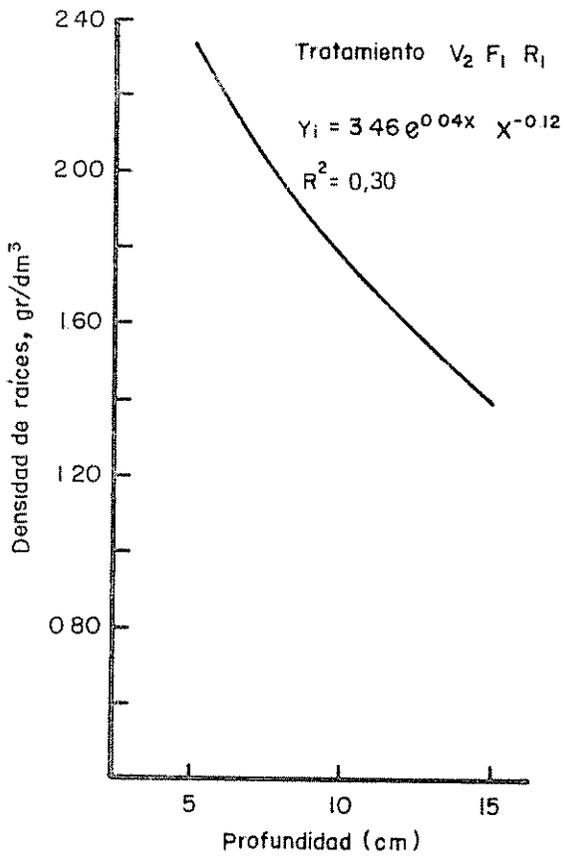


FIGURA A 6

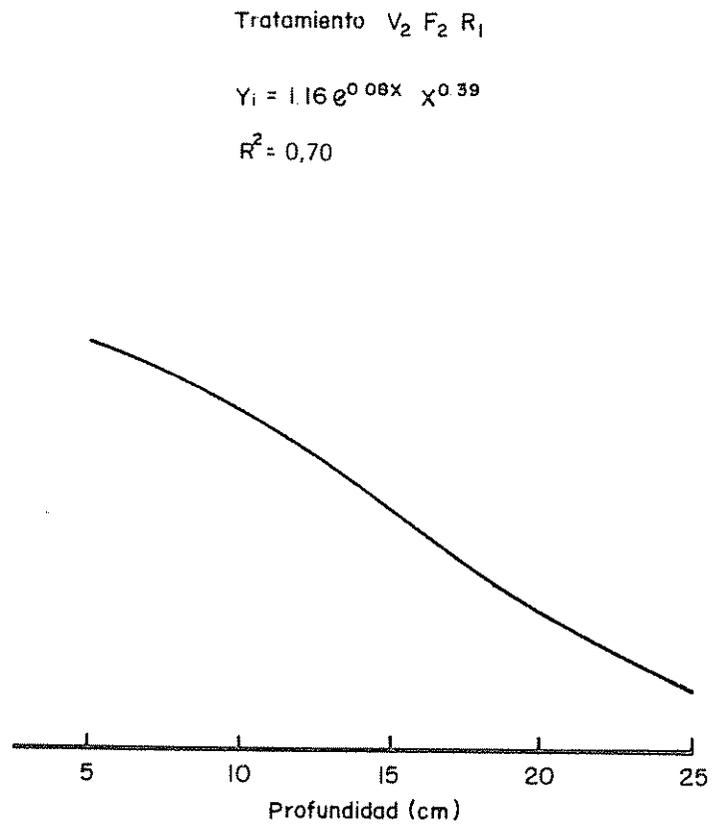


FIGURA A 7

Densidad de raíces a diferentes profundidades por tratamientos (Valores estimados)

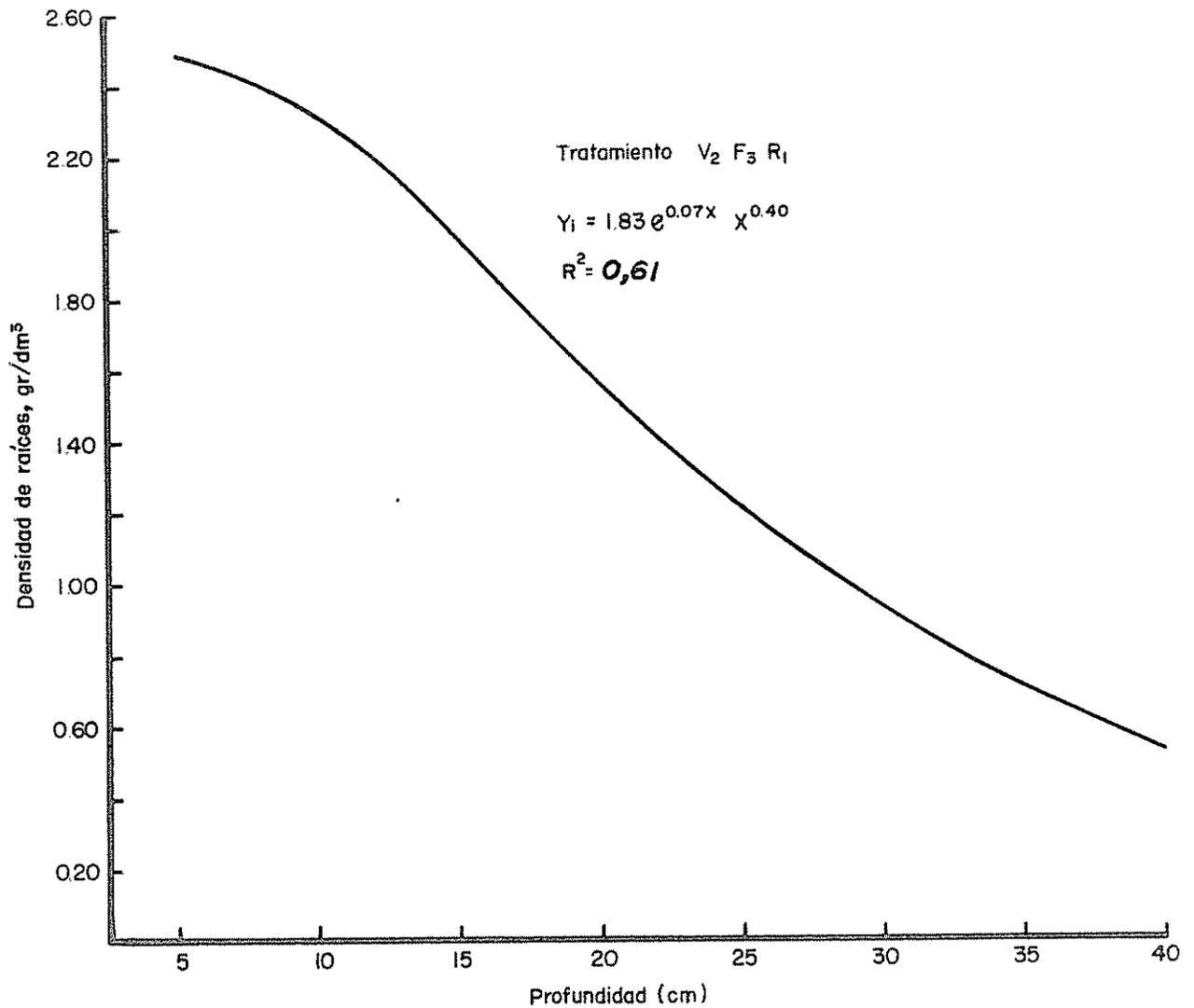
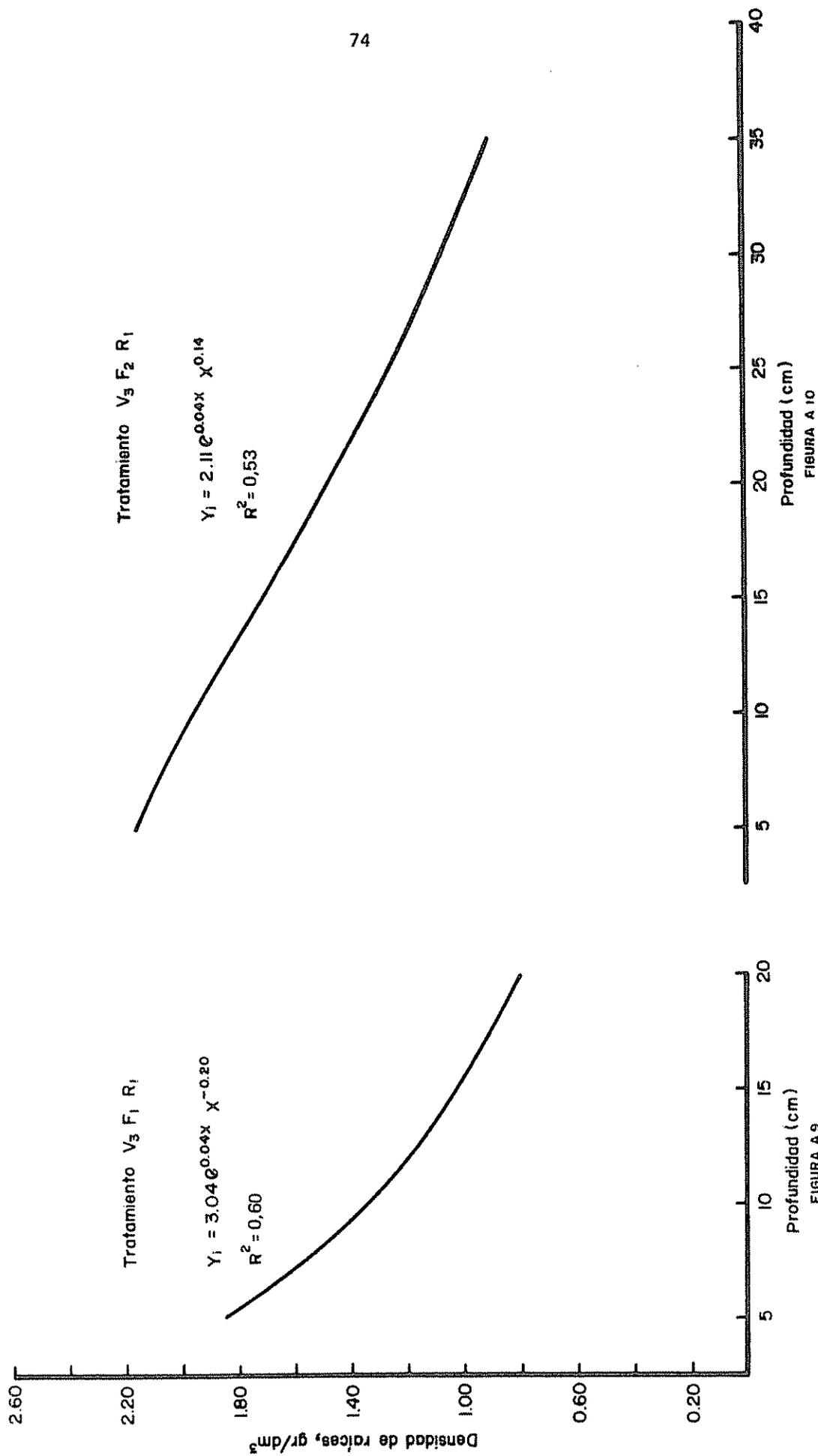


Fig. A 8 Densidad de raíces a diferentes profundidades por tratamiento (Valores estimados)



Densidad de raíces a diferentes profundidades por tratamientos. (Valores estimados)

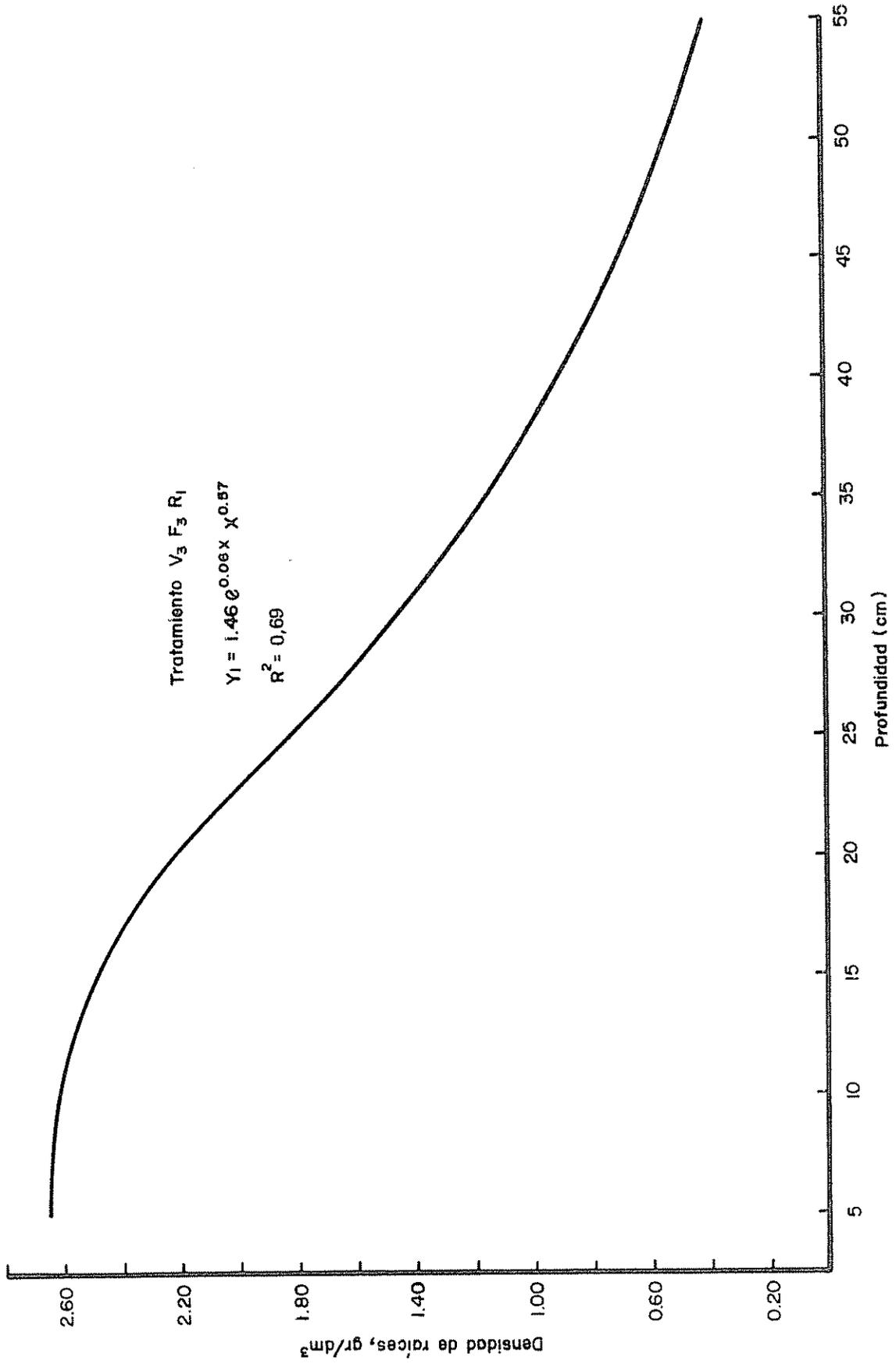


Fig. A.11 Densidad de raíces a diferentes profundidades por tratamientos (Valores estimados)

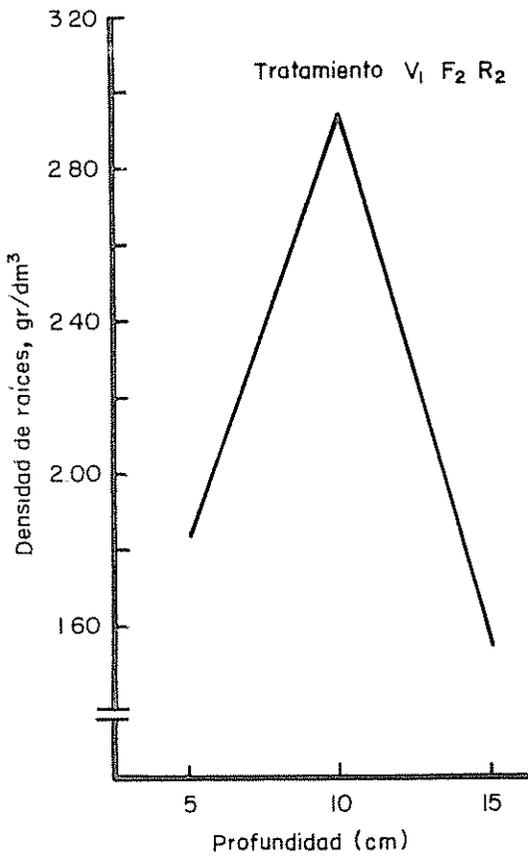


FIGURA A 12

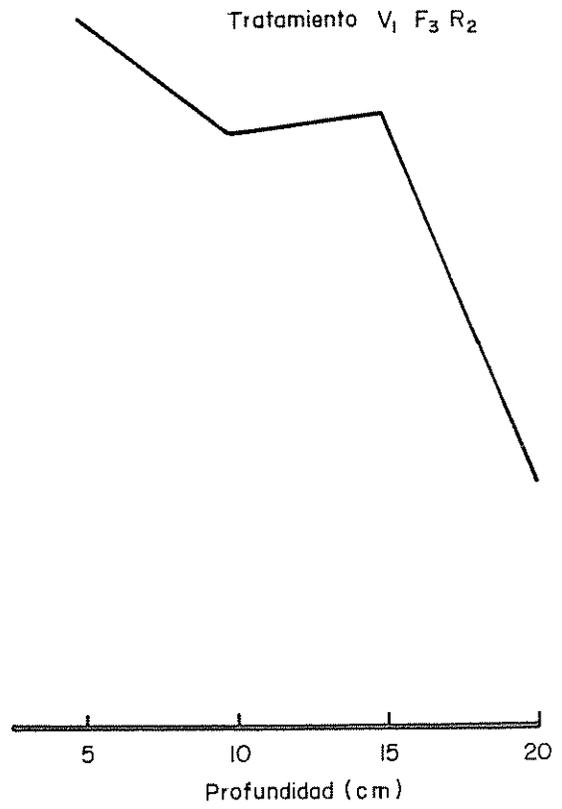


FIGURA A 13

Densidad de raíces a diferentes profundidades por tratamientos (Valores promedio reales)

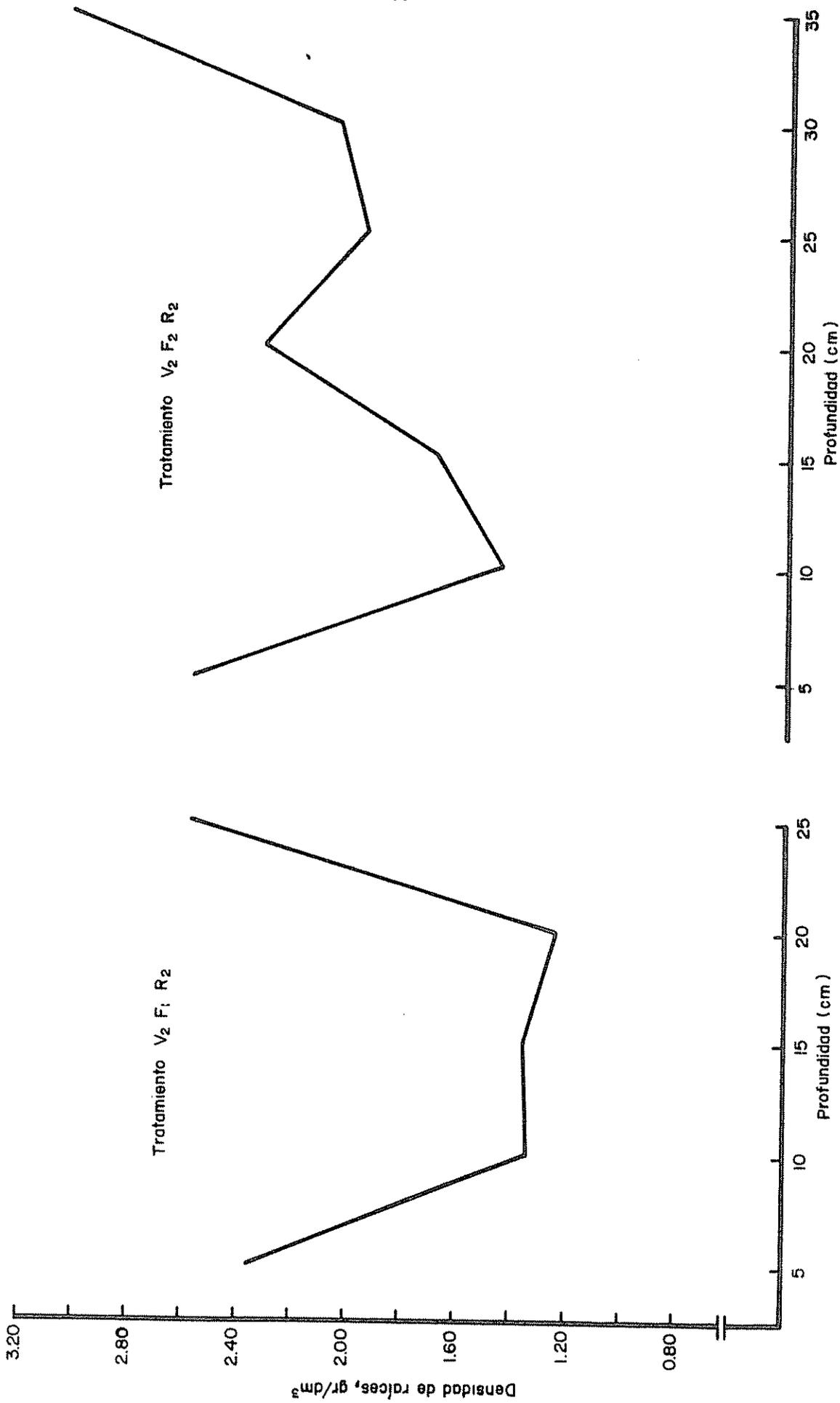


FIGURA A 14

Densidad de raíces a diferentes profundidades por tratamientos. (Valores promedio reales)

FIGURA A 15

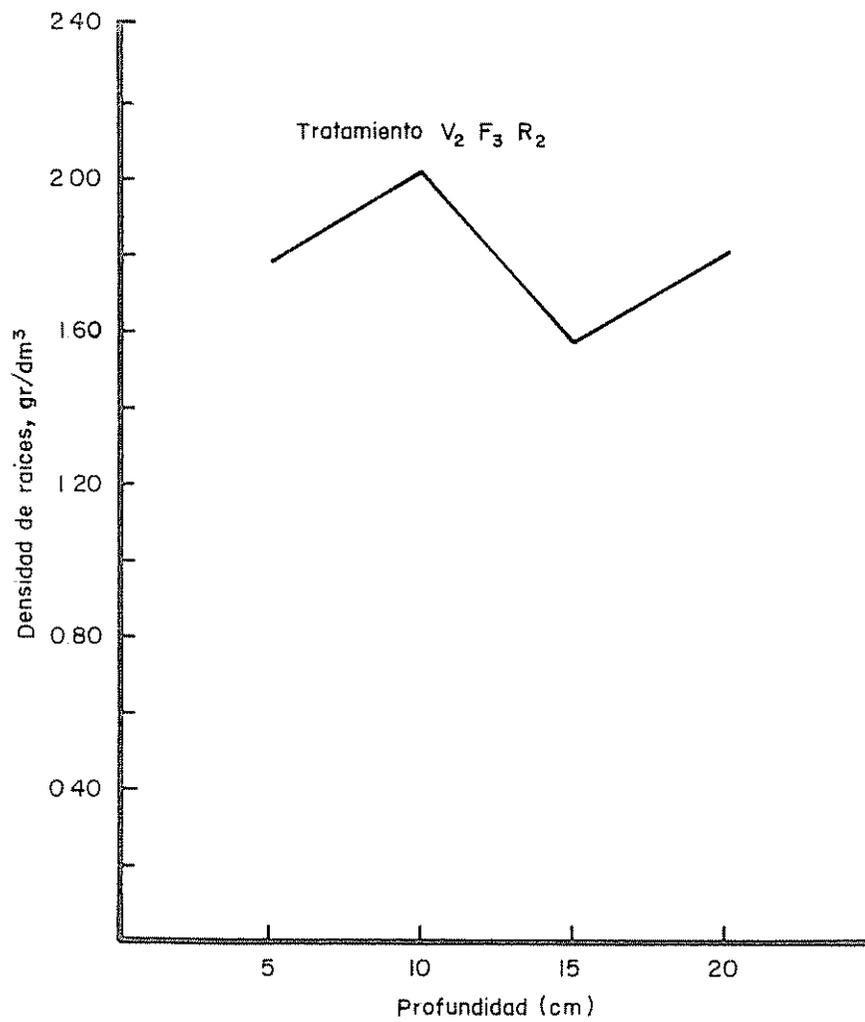
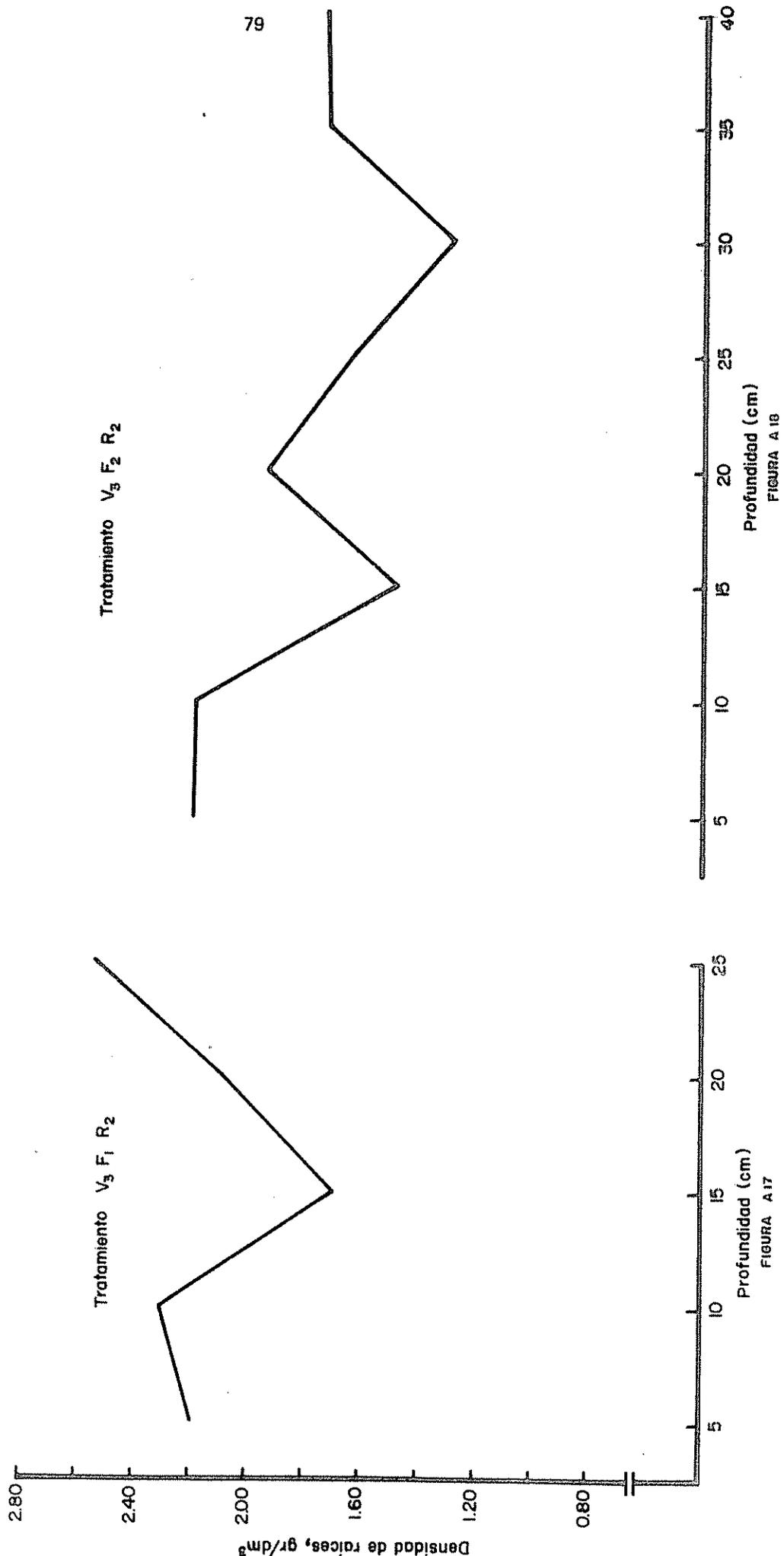


Fig A16 Densidad de raíces a diferentes profundidades por tratamiento
(Valores promedio reales)



Densidad de raíces a diferentes profundidades por tratamientos. (Valores promedio reales)

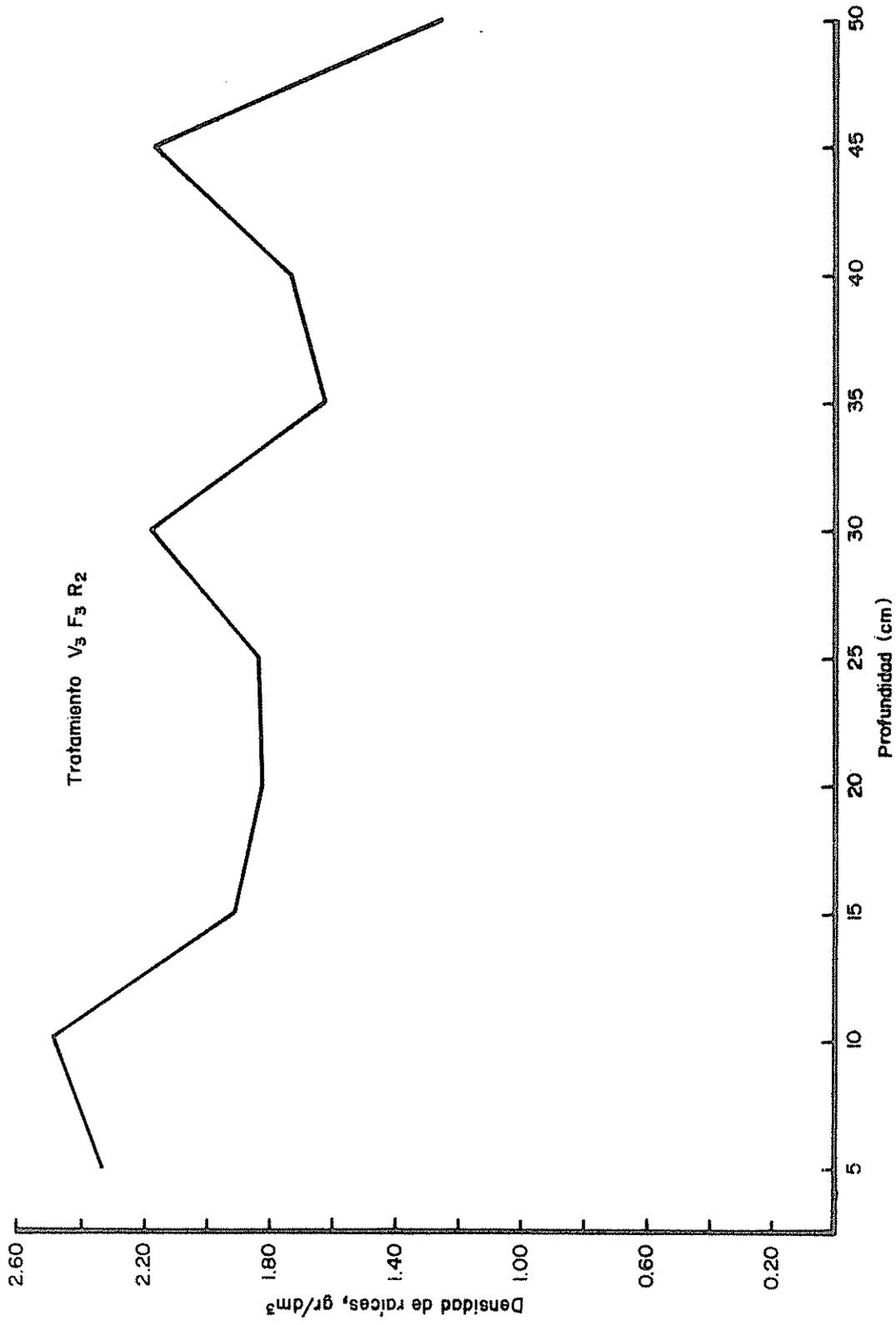


Fig. A 19 Densidad de raíces a diferentes profundidades por tratamiento. (Valores promedio reales)

Cuadro A1. Valores promedio de biomasa y sus componentes (g) obtenidos de cuatro plantas de frijol var. '27-R' de 80 días, clasificados por volumen y forma de recipiente y por sistema de riego.

R ₁										
	V1F1R1	V1F2R1	V1F3R1	V2F1R1	V2F2R1	V2F3R1	V3F1R1	V3F2R1	V3F3R1	
Raíz	4,08	4,08	3,97	14,57	8,48	11,07	14,80	17,63	16,83	
Tallo	0,98	2,32	4,30	5,85	4,38	6,97	8,95	8,20	9,73	
Hojas	1,45	2,83	5,05	6,90	6,32	9,88	10,45	9,63	9,73	
Frutos	4,60	6,62	7,62	14,93	11,27	16,42	22,55	22,45	23,95	
Biomasa total	11,11	15,85	20,94	42,25	30,45	44,34	56,75	57,91	59,24	

R ₂										
	V1F1R2	V1F2R2	V1F3R2	V2F1R2	V2F2R2	V2F3R2	V3F1R2	V3F2R2	V3F3R2	
Raíz	9,63	10,25	9,52	18,83	17,53	12,10	22,25	24,40	18,10	
Tallo	13,15	9,83	15,85	17,25	15,60	11,95	16,27	17,50	12,75	
Hojas	14,55	14,05	15,80	19,38	18,45	15,05	19,20	18,35	16,38	
Frutos	46,90	45,95	43,80	52,20	50,55	44,52	57,00	62,60	62,65	
Biomasa total	84,23	80,08	84,97	107,66	102,13	83,62	114,72	122,85	109,88	

Cuadro A2. Valores promedio de área foliar (dm^2) obtenidos de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 50 días, clasificados por volumen y forma de recipiente y por sistemas de riego.

	V1F1	V1F2	V1F3	V2F1	V2F2	V2F3	V3F1	V3F2	V3F3
Riego 1	3,42	5,53	9,50	15,80	10,33	16,17	21,45	19,92	19,88
Riego 2	33,50	29,13	43,57	52,93	47,40	28,55	54,89	48,74	33,60

Cuadro A3. Valores promedio de consumo de agua total durante el ciclo de vida obtenidos de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 50 días, clasificados por volumen y forma de recipiente y por sistema de riego.

	V1F1	V1F2	V1F3	V2F1	V2F2	V2F3	V3F1	V3F2	V3F3
Riego 1	3,89	3,80	2,76	6,21	3,89	4,90	8,08	6,53	6,53
Riego 2	20,47	18,98	18,70	21,37	20,68	17,90	20,26	20,42	20,90

Cuadro A4. Valores promedio del rendimiento y sus componentes (g) obtenidos de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 50 días, clasificados por volumen y forma de recipiente y por sistema de riego.

		Riego manual (R1)								
		V1F1R1	V1F2R1	V1F3R1	V2F1R1	V2F2R1	V2F3R1	V3F1R1	V3F2R1	V3F3R1
Rendimiento*		5,00	7,08	7,75	14,75	10,48	15,55	21,75	20,15	22,55
Frutos/planta		2,00	3,00	3,00	6,00	5,00	7,00	8,00	9,00	7,00
Semillas/fruto		3,00	3,00	4,00	4,00	3,00	8,00	4,00	3,00	4,00
Peso 100 semillas		79,20	76,68	73,05	67,18	69,45	70,75	71,23	67,20	70,68

		Riego por capilaridad (R1)								
		V1F1R2	V1F2R2	V1F3R2	V2F1R2	V2F2R2	V2F3R2	V3F1R2	V3F2R2	V3F3R2
Rendimiento*		45,53	42,70	44,57	51,40	48,10	41,43	53,52	59,20	57,95
Frutos/planta		15,00	16,00	14,00	16,00	17,00	14,00	19,00	19,00	19,00
Semillas/fruto		4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Peso 100 semillas		66,80	61,67	70,65	72,85	69,70	67,32	66,05	66,73	64,75

* Semillas al 12% de humedad.

Cuadro A5. Valores promedio de densidad de raíces (g lt⁻¹) obtenidos de cuatro plantas de frijol var. '27-R' a los 50 días, clasificados por volumen y forma de recipiente y por sistema de riego.

	V1F1	V1F2	V1F3	V2F1	V2F2	V2F3	V3F1	V3F2	V3F3
Riego 1	1,36	1,36	1,33	1,97	1,15	1,48	1,25	1,50	1,42
Riego 2	3,45	8,40	3,16	2,45	2,37	1,63	1,89	2,06	1,53

Cuadro A6. Contenido foliar promedio de macroelementos (% del PS) obtenido de cuatro plantas de frijol var. '27-R' de 80 días clasificados por volumen y forma de recipiente y por sistemas de riego.

	R ₁								
	V1F1	V1F2	V1F3	V2F1	V2F2	V2F3	V3F1	V3F2	V3F3
Nitrógeno	4,43	4,09	4,21	3,79	3,84	3,67	3,84	3,76	3,78
Fósforo	0,07	0,13	0,17	0,18	0,19	0,20	0,26	0,27	0,32
Potasio	4,63	5,91	6,28	5,35	4,38	4,26	5,25	4,97	5,29
Calcio	4,44	4,36	4,49	4,56	4,53	3,90	5,36	5,34	4,88
Magnesio	0,57	0,47	0,54	0,45	0,52	0,38	0,49	0,52	0,40
Azufre	0,15	0,14	0,18	0,14	0,14	0,13	0,15	0,13	0,15

	R ₂								
	V1F1	V1F2	V1F3	V2F1	V2F2	V2F3	V3F1	V3F2	V3F3
Nitrógeno	3,71	3,65	3,32	2,88	3,38	3,80	2,65	3,21	3,28
Fósforo	0,27	0,30	0,27	0,19	0,22	0,29	0,16	0,21	0,19
Potasio	4,31	5,41	5,28	4,29	3,77	3,82	3,93	3,45	3,31
Calcio	4,73	6,21	6,64	6,48	5,50	6,13	6,90	6,83	6,24
Magnesio	0,38	0,47	0,52	0,43	0,46	0,52	0,56	0,55	0,48
Azufre	0,14	0,16	0,14	0,10	0,12	0,17	0,10	0,10	0,11

Cuadro A7. Cuadrados medios del peso de raíces a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	492,98*
V	2	880,58*
RV	2	1,47
F	2	30,70*
RF	2	34,57*
VF	4	26,00*
RVF	4	10,62
M	3	6,56
Error experimental	51	9,48

* Significativo al nivel de 5%

Cuadro A8. Cuadrados medios de peso seco de raíz a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual (R1) y riego por capilaridad (R2).

Fuentes de variación	G L	R ₁	R ₂
		C M	C M
V	2	464,67*	417,38*
F	2	4,39	61,70*
VF	4	10,31	15,42
M	3	0,72	10,90
Error experimental	24	6,75	14,51

* Significativo al nivel de 5%

Cuadro A9. Cuadrados medios del peso seco de tallo a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	1403,62*
V	2	113,94*
RV	2	19,25
F	2	3,60
RF	2	19,03
VF	4	25,64*
RVF	4	17,43
M	3	14,18
Error experimental	51	9,48

* Significativo al nivel de 5%

Cuadro A10. Cuadrados medios de peso seco de tallo a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R ₁	R ₂
		C M	C M
V	2	111,42*	21,77
F	2	9,92*	12,71
VF	4	4,33*	
M	3	1,18	19,47
Error experimental	24	0,76	18,58

* Significativo al nivel de 5%

Cuadro A11. Cuadrados medios del peso seco de hojas a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipientes y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	373,10*
V	2	77,95
RV	2	4,92
F	2	0,86
RF	2	14,65
VF	4	15,56
RVF	4	8,65
M	3	4,29
Error experimental	51	87,03

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A12. Cuadrados medios de peso seco de hojas a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R ₁	R ₂
		C M	C M
V	2	145,30*	36,37
F	2	15,28*	11,81
VF	4	6,63*	10,30
M	3	1,79	10,39
Error experimental	24	2,17	12,99

* Significativo al nivel de 5%

Cuadro A13. Cuadrados medios del peso seco de frutos a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipientes y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	25050,66*
V	2	1566,61*
RV	2	29,78
F	2	0,28
RF	2	43,70
VF	4	25,17
RVF	4	31,82
M	3	63,41
Error experimental	51	28,15

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A14. Cuadrados medios para peso seco de frutos a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R_1	R_2
		C M	C M
V	2	837,39*	759,00*
F	2	21,47	22,51
VF	4	9,45	47,53
M	3	10,08	71,68
Error experimental	24	6,44	51,08

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A15. Cuadrados medios del área foliar a los 50 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	13921,68*
V	2	928,78*
RV	2	28,07
F	2	164,14*
RF	2	291,16*
VF	4	298,52*
RVF	4	192,38*
M	3	47,54
Error experimental	51	38,66

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A16. Cuadrados medios para área foliar a los 50 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R ₁	R ₂
		C M	C M
V	2	613,28*	343,56*
F	2	31,85*	423,45*
VF	4	26,16*	464,74*
M	3	5,93	54,07
Error experimental	24	8,76	71,84

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A17. Cuadrados medios del consumo de agua de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipientes y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	39364766,79*
V	2	332608,44*
RV	2	89425,02*
F	2	129051,22*
RF	2	11826,92
VF	4	19785,06
RVF	4	48405,30
M	3	56266,63
Error experimental	51	

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A18. Cuadrados medios del consumo de agua de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R ₁	R ₂
		C M	C M
V	2	38287448*	3915900
F	2	7004978*	7082837
VF	4	1585064*	5233973
M	3	427486	7585231
Error experimental	24	258544	4900133

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A19. Cuadrados medios del rendimiento a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	22663,19*
V	2	1167,31*
RV	2	27,44
F	2	3,01
RF	2	36,73
VF	4	31,77
RVF	4	43,91
M	3	56,08
Error experimental	51	22,20

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A20. Cuadrados medios del rendimiento a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R_1	R_2
		C M	C M
V	2	664,62*	530,13*
F	2	22,17*	17,57
VF	4	10,90	64,78
M	3	10,20	55,09
Error experimental	24	4,58	41,45

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A21. Cuadrados medios de número de frutos por planta a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	2222,22*
V	2	124,22*
RV	2	12,06*
F	2	5,06
RF	2	5,72
VF	4	0,39
RVF	4	4,18
M	3	3,59
Error experimental	51	3,60

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A22. Cuadrados medios de número de frutos por planta a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R_1	R_2
		C M	C M
V	2	81,08*	55,19*
F	2	1,08	9,69
VF	4	2,79*	1,78
M	3	0,30	4,67
Error experimental	24	0,48	5,25

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A23. Cuadrados medios del número de semillas por fruto a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelos, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	1,39
V	2	4,04
RV	2	0,01
F	2	2,17
RF	2	0,06
VF	4	0,52
RVF	4	0,24
M	3	0,19
Error experimental	51	0,52

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A24. Cuadrados medios del número de semillas por fruto a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R_1	R_2
		C M	C M
V	2	1,19	0,36
F	2	2,19*	0,36
VF	4	0,53	0,19
M	3	0,25	0,03
Error experimental	24	0,50	0,19

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A25. Cuadrados medios del peso de 100 semillas a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	335,75*
V	2	76,47
RV	2	174,84*
F	2	23,49
RF	2	2,57
VF	4	7,42
RVF	4	72,67
M	3	19,03
Error experimental	51	36,41

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A26. Cuadrados medios de peso de 100 semillas a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R ₁	R ₂
		C M	C M
V	2	191,20*	60,11
F	2	6,53	19,53
VF	4	31,92	48,17
M	3	14,69	19,69
Error experimental	24	35,04	40,41

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A27. Cuadrados medios de densidad de raíces a los 80 días de plantas cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	4,15*
V	2	1,29
RV	2	5,20*
F	2	0,56
RF	2	0,03
VF	4	0,37
RVF	4	0,09
M	3	0,20
Error experimental	51	0,68

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A28. Cuadrados medios de densidad de raíces a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R ₁	R ₂
		C M	C M
V	2	0,11	3,31*
F	2	0,11	0,92
VF	4	0,32*	0,27
M	3	0,08	0,34
Error experimental	24	0,10	0,92

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A29. Cuadrados medios de N foliar a los 80 días de plantas de frijol cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	6,77*
V	2	1,46*
RV	2	0,19
F	2	0,12
RF	2	0,49*
VF	4	0,30*
RVF	4	0,23
M	3	0,13
Error experimental	51	0,08

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A30. Cuadrados medios de N foliar a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R_1	R_2
		C M	C M
V	2	0,86*	0,80*
F	2	0,06	0,54*
VF	4	0,04	0,49*
M	3	0,22	0,04
Error experimental	24	0,09	0,07

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A31. Cuadrados medios de P foliar a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	0,024*
V	2	0,007*
RV	2	0,097*
F	2	0,016*
RF	2	0,001
VF	4	0,0005
RVF	4	0,005*
M	3	0,002
Error experimental	51	0,0008

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A32. Cuadrados medios de P foliar a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R_1	R_2
		C M	C M
V	2	0,079*	0,026*
F	2	0,011*	0,006*
VF	4	0,002*	0,003*
M	3	0,001	0,001
Error experimental	24	0,0006	0,0011

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A33. Cuadrados medios de K foliar a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	15,94*
V	2	8,52*
RV	2	2,06*
F	2	0,04
RF	2	0,19
VF	4	2,36*
RVF	4	0,33
M	3	0,19
Error experimental	51	0,22

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A34. Cuadrados medios de K foliar a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R_1	R_2
		C M	C M
V	2	2,66*	7,09*
F	2	0,15	0,01
VF	4	2,20	0,88*
M	3	0,31	0,10
Error experimental	24	0,24	0,17

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A35. Cuadrados medios de Ca foliar a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	42,26*
V	2	4,64*
RV	2	0,13
F	2	0,04
RF	2	0,71
VF	4	1,74*
RVF	4	1,08
M	3	0,29
Error experimental	51	0,44

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A36. Cuadrados medios de Ca foliar a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R ₁	R ₂
		C M	C M
V	2	2,68*	2,09*
F	2	0,48	0,27
VF	4	0,20	2,62*
M	3	0,22	0,18
Error experimental	24	0,22	0,69

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A37. Cuadrados medios de Mg foliar a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	0,003
V	2	0,015*
RV	2	0,021
F	2	0,004
RF	2	0,020*
VF	4	0,012*
RVF	4	0,013*
M	3	0,002
Error experimental	51	0,003

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A38. Cuadrados medios de Mg foliar a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego para capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R_1	R_2
		C M	C M
V	2	0,017*	0,018*
F	2	0,018*	0,009*
VF	4	0,015*	0,013*
M	3	0,003	0,0009
Error experimental	24	0,0032	0,0025

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A39. Cuadrados medios de S foliar a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

Fuentes de variación	G L	C M
R	1	0,0059*
V	2	0,0051*
RV	2	0,0022*
F	2	0,0021*
RF	2	0,0011*
VF	4	0,0005
RVF	4	0,0017*
M	3	0,0003
Error experimental	51	0,0002

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A40. Cuadrados medios de S foliar a los 80 días de plantas de frijol var. '27-R' para riego manual y riego por capilaridad.

Fuentes de variación	G L	R ₁	R ₂
		C M	C M
V	2	0,0010*	0,0063*
F	2	0,0005	0,0027*
VF	4	0,0004	0,0018*
M	3	0,0001	0,0004
Error experimental	24	0,0002	0,0002

* Significativo al nivel del 5%

Cuadro A41. Resultado del análisis de la variancia entre tratamientos para las características estudiadas consideradas en forma global (nivel 5%).

Características	Fuentes de variación							M
	R	V	RV	F	RF	VF	RVF	
Biomasa y sus componentes								
Peso seco de raíz	*	*		*	*	*		
Peso seco de tallo	*	*				*		
Peso seco de hojas	*							
Peso seco de frutos	*	*						
Rendimiento y sus componentes								
Rendimiento	*	*						
Frutos por planta	*	*	*					
Semillas por fruto				*				
Peso 100 semillas	*		*					
Elementos del balance hídrico								
Area foliar	*	*		*	*	*	*	
Consumo de agua	*	*	*	*				
Densidad de raíces	*		*					
Contenido de macroelementos								
Nitrógeno	*	*			*	*		
Fósforo	*	*	*	*				*
Potasio	*	*	*			*		
Calcio	*	*				*		
Magnesio		*	*		*	*	*	
Azufre	*	*	*	*	*		*	

Cuadro A42. Resultado del análisis de la variancia entre tratamientos para las características estudiadas, agrupadas por sistemas de riego (nivel 5%).

Características	Fuentes de variación							
	R ₁				R ₂			
	V	F	VF	M	V	F	VF	M
Biomasa y sus componentes								
Peso seco raíz	*				*	*		
Peso seco tallo	*	*	*					
Peso seco hojas	*	*	*					
Peso seco frutos	*				*			
Rendimiento y sus componentes								
Rendimiento	*	*			*			
Frutos por planta	*		*		*			
Semillas por fruto		*						
Peso 100 semillas	*							
Elementos del balance hídrico								
Area foliar	*	*			*	*	*	
Consumo de agua	*	*	*					
Densidad raíces			*		*			
Contenido de macroelementos								
Nitrógeno	*				*	*	*	
Fósforo	*	*	*		*	*	*	
Potasio	*		*		*		*	
Calcio	*						*	
Magnesio	*	*	*		*	*	*	
Azufre	*				*	*	*	

Cuadro A43. Valores promedio de caída de frutos (%) en plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego (Promedio de cuatro plantas).

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{XV}	F1	F2	F3	\bar{XV}
V1	74,81	64,76	73,88	71,15	47,51	45,94	49,69	47,71
V2	66,30	56,72	56,80	59,94	51,88	44,29	58,01	51,39
V3	62,66	54,64	64,34	60,55	38,67	50,46	39,30	42,81
\bar{XV}	67,92	58,71	65,01		46,02	46,90	49,00	

Cuadro A44. Índices de cosecha (K) para plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en tres volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

	R ₁				R ₂			
	F1	F2	F3	\bar{XV}	F1	F2	F3	\bar{XV}
V1	0,45	0,45	0,37	0,42	0,54	0,53	0,52	0,53
V2	0,35	0,34	0,35	0,35	0,48	0,47	0,50	0,48
V3	0,38	0,35	0,38	0,38	0,47	0,48	0,53	0,49

Cuadro A45. Índice económico de eficiencia fotosintética (g frijol x Ly^{-1} x 10^3) para plantas de frijol var. '27-R' cultivadas en 3 volúmenes de suelo, tres formas de recipiente y dos sistemas de riego.

	R_1				R_2			
	F1	F2	F3	\bar{XV}	F1	F2	F3	\bar{XV}
V1	1,26	1,79	1,96	1,67	11,50	10,78	11,26	11,18
V2	3,75	2,65	3,93	3,43	11,98	12,15	18,46	14,53
V3	5,49	5,09	5,70	5,43	13,52	14,95	14,64	14,37

Langley (Ly) = $cal\ cm^{-2}$

Calorías fotosintéticamente activas = $8799 \times 0,45 = 3959,55$

Cuadro A46. Valores promedio de penetrabilidad (bares) del suelo contenido en recipientes de tres volúmenes, tres formas y bajo dos sistemas de riego cultivados con frijol var. '27-R'. (Promedio de cuatro recipientes iguales).

	R_1				R_2			
	F1	F2	F3	\bar{XV}	F1	F2	F3	\bar{XV}
V1	3,91	3,87	6,34	4,71	5,31	6,26	5,49	5,69
V2	4,90	5,72	6,89	5,84	5,91	7,22	6,70	6,61
V3	5,33	6,60	6,87	6,27	6,82	7,91	7,55	7,43
\bar{XF}	4,71	5,40	6,70		6,01	7,13	6,58	