

CARACTERISTICAS MORFO-FISIOLOGICAS DE LAS RAICES EN FRIJOLES

(Phaseolus vulgaris y Vigna sinensis)

Tesis de Grado

de

Magister Scientiae

Abner Chávez Leandro



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales  
Turrialba, Costa Rica  
Mayo, 1973

CARACTERÍSTICAS MORFO-FISIOLÓGICAS DE LAS RAÍCES EN FRIJOLES  
(Phaseolus vulgaris Y Vigna sinensis)

Tesis

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


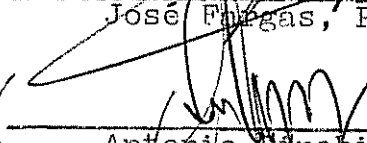
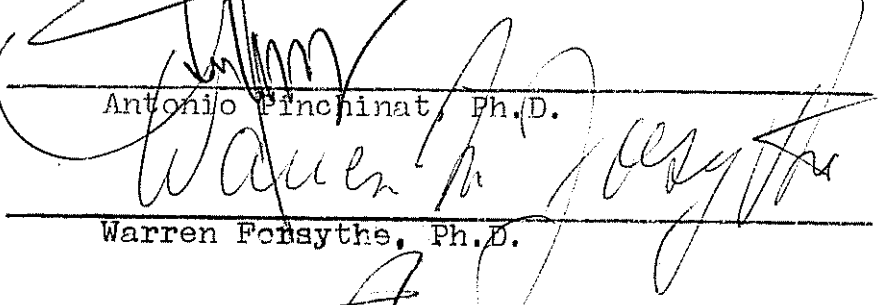
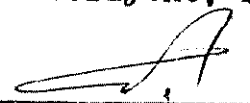
de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:

 _____ José Flegas, Ph.D.	Consejero
 _____ Antonio Pinchinat, Ph.D.	Comité
 _____ Warren Forsythe, Ph.D.	Comité
 _____ Gilberto Páez, Ph.D.	Comité

Mayo 1973

A la memoria de mi Padre

## AGRADECIMIENTO

El autor desea dejar expreso su agradecimiento al Dr. José Fargas, Consejero Principal, por su valiosa y acertada orientación en la realización del presente trabajo.

A los miembros de su Comité Consejero, Drs. Antonio Pinchinat, Gilberto Páez y Warren Forsythe, por su colaboración y revisión del original de la tesis.

A la Universidad Nacional 'Hermilio Valdizan' de Huánuco, Perú, por la licencia concedida por el tiempo que duró sus estudios de postgrado.

Al Gobierno de Holanda, por la ayuda de beca para sus estudios y la publicación de la tesis.

Al Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del IICA, por la oportunidad y facilidades prestadas durante su permanencia en el Centro.

A los Ings. Nicolás Icaza y Pedro Benedetti, Profesores de la Universidad Nacional 'Hermilio Valdizan' de Huánuco, por su espontánea colaboración con el dictado de los cursos a cargo del autor durante el tiempo que duró sus estudios.

Al personal técnico, auxiliar y a todas aquellas personas del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del IICA-CTEI que en una u otra forma contribuyeron en la culminación de sus estudios y la realización del presente trabajo de tesis.

## BIOGRAFIA

El autor nació en Huánuco, Perú, el 15 de diciembre de 1942. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Agropecuario No. 12 de Huánuco. Cursó estudios superiores en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional "Hermilio Valdizan" de Huánuco. Se graduó de Bachiller en Ciencias Agrícolas en diciembre de 1966 y optó el Título de Ingeniero Agrónomo en diciembre de 1967.

Ingresó a la Docencia Universitaria el año 1965 como Ayudante de Cátedra del Departamento de Botánica, Actualmente ocupa el cargo de Profesor Asociado de Dedicación Exclusiva en la Universidad donde estudió.

En setiembre de 1971 ingresó a la Escuela para Graduados del IICA, obteniendo el grado de Magister Scientiae en mayo de 1973.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	
2.1 Aspectos Generales. . . . .	3
2.2 Hábito de Crecimiento Vegetativo de las Raíces en Frijol . . . . .	3
2.3 Morfología de las Raíces del Frijol y su Rela- ción con la Absorción de Agua y Nutrimentos . .	5
2.4 Análisis de Crecimiento . . . . .	9
3. MATERIALES Y METODOS	
3.1 Localización del Experimento. . . . .	11
3.2 Condiciones Climáticas dentro del Invernadero .	11
3.3 Material Vegetal Empleado . . . . .	11
3.4 Establecimiento del Experimento . . . . .	12
3.4.1 Germinación . . . . .	12
3.4.2 Transplante a recipientes definitivos . .	13
3.4.3 Disposición experimental. . . . .	13
3.4.4 Cambios de solución nutritiva . . . . .	13
3.5 Determinación del Volumen Radical . . . . .	14
3.6 Toma de Datos de Longitud y Número de Raíces. .	14
3.7 Determinación del Area Foliar . . . . .	14
3.8 Peso de Materia Seca del Material Vegetal . . .	15
3.9 Medición de Absorción de Agua . . . . .	15
3.10 Toma de Muestras para el Análisis Químico de la Solución Nutritiva . . . . .	15
3.11 Toma de Muestras para Análisis Químico del Material Vegetal. . . . .	17
3.12 Análisis Químico. . . . .	17
3.12.1 Nitrógeno. . . . .	17
3.12.2 Fósforo. . . . .	17
3.12.3 Potasio, Calcio y Magnesio . . . . .	18
3.12.4 Azufre . . . . .	18
3.13 Determinación de los Componentes de Rendimiento	18
3.14 Modelo de Análisis de la Información. . . . .	19
4. RESULTADOS	
4.1 Condiciones Climáticas dentro del Invernadero .	22
4.2 Aspectos Generales del Crecimiento de las Plantas . . . . .	22
4.3 Crecimiento de la Parte Aérea . . . . .	27
4.3.1 Peso seco total . . . . .	27
4.3.2 Peso seco de tallo y hojas. . . . .	29
4.3.3 Area foliar . . . . .	29

4.4	Crecimiento del Sistema Radical . . . . .	30
4.4.1	Peso seco . . . . .	30
4.4.2	Volumen . . . . .	33
4.4.3	Longitud. . . . .	36
4.4.4	Número de raíces. . . . .	36
4.5	Absorción de Agua . . . . .	38
4.6	Absorción de Macroelementos . . . . .	41
4.6.1	Nitrógeno . . . . .	41
4.6.2	Fósforo . . . . .	41
4.6.3	Potasio . . . . .	42
4.6.4	Calcio. . . . .	42
4.6.5	Magnesio. . . . .	42
4.6.6	Azufre. . . . .	43
4.7	Contenido de Macroelementos en Raíces y Hojas .	43
4.8	Componentes de Rendimiento. . . . .	45
4.8.1	Peso de semillas por planta . . . . .	45
4.8.2	Número de frutos por planta . . . . .	46
4.8.3	Número de semillas por fruto. . . . .	47
4.8.4	Número de semillas por planta . . . . .	47
4.8.5	Peso de 100 semillas. . . . .	47
4.9	Correlaciones entre las Características Estu- diadas en Cuatro Variedades de Frijol . . . . .	47
4.9.1	Correlación entre condiciones climáticas y algunas características de crecimiento y absorción . . . . .	47
4.9.2	Correlación general de los valores estimados y las tasas de incremento de las características estudiadas. . . . .	49
5.	DISCUSION	
5.1	Crecimiento del Sistema Radical . . . . .	55
5.2	Absorción de Agua y Macroelementos. . . . .	58
5.3	Relaciones entre el Crecimiento de la Raíz y el de la Parte Aérea . . . . .	61
5.4	Relación del Crecimiento de las Raíces con Ab- sorción de Agua y Nutrientes . . . . .	62
5.5	Relación de los Factores Climáticos con el Cre- cimiento de las Raíces y Absorción. . . . .	64
5.6	Componentes de Rendimiento. . . . .	65
6.	CONCLUSIONES	66
7.	RESUMEN	68
7a.	SUMMARY	70
8.	LITERATURA CITADA	72
	APENDICE	76

## LISTA DE CUADROS

<u>Húmero</u>		<u>Página</u>
1	Condiciones climáticas que predominaron durante el período de experimento	22
2	Datos generales sobre el sistema radical de planta de frijol de cuatro variedades al final de su ciclo de vida (valores promedios de 10 raíces)	27
3	Cuadrados medios de tasas logarítmicas de incremento de algunas variables analizadas en cuatro variedades de frijol	30
4	Cuadrados medios de las variables de crecimiento de absorción (estimados) y de rendimientos (reales) en cuatro variedades de Frijol	33
5	Valores promedios y representación gráfica de la significación de Duncan en las variables de crecimiento de cuatro variedades de frijol	34
6	Valores promedios y representación gráfica de la significación de Duncan en las variables de absorción de agua y nutrimentos de cuatro variedades de frijol	39
7	Absorción de agua y nutrimentos en los diferentes períodos de crecimiento de las cuatro variedades de frijol (Datos promedios de cuatro plantas/variedad)	40
8	Porcentaje de macroelementos en base a materia seca contenida en raíces (R) y hojas (H) de frijol	44
9	Valores promedios y representación gráfica de la significación de Duncan en los componentes de rendimiento de cuatro variedades de frijol	46
10	Coefficiente de correlación entre condiciones climáticas del invernadero y algunas variables observadas en cuatro variedades de frijol	48
11	Matriz de correlación de las variables estudiadas	50



## CUADROS DEL APENDICE

<u>Número</u>		<u>Página</u>
1	Distribución cronológica de algunas labores realizadas durante el período de cultivo y observaciones de desarrollo de las plantas	77
2	Contenido de materia seca a diferentes edades en plantas de cuatro variedades de frijol (valores promedios de cuatro plantas)	78
3	Tasas logarítmicas de incremento de las variables estudiadas en cuatro variedades de frijol (valores promedios de cuatro plantas por variedad)	79
4	Características de crecimiento, absorción y rendimiento en cuatro variedades de frijol (valores promedio de PE/88 días obtenidos con cuatro plantas/cm <sup>2</sup> )	80
5	Datos promedios de variables climáticas en diferentes períodos de desarrollo	81

## LISTA DE FIGURAS

<u>Número</u>		<u>Página</u>
1	Variación del área de una hoja en función del ancho de su foliolo central en 4 variedades de frijol	16
2	Hábito de crecimiento de la parte aérea de 4 variedades de frijol a los 48 días de edad	23
3	Hábito de crecimiento del sistema radical de la variedad Progreso 66 (frijol de costa) a los 48 días de edad	24
4	Hábito de crecimiento del sistema radical de la variedad Santo Tomás-9R a los 48 días de edad	24
5	Hábito de crecimiento del sistema radical de la variedad 27-R a los 48 días de edad	26
6	Hábito de crecimiento del sistema radical de la variedad Col. 1-63-A a los 48 días de edad	26
7	Curva de incremento del peso seco total (g) de la parte aérea de plantas de 4 variedades de frijol, a través de su ciclo de vida	28
8	Peso seco del tallo y hojas (g) en plantas de frijol a diferentes edades	28
9	Area foliar (cm <sup>2</sup> ) en plantas de 4 variedades de frijol a diferentes edades	31
10	Curvas de incremento en pesos secos de raíces en plantas de 4 variedades de frijol	32
11	Volumen del sistema radical (ml) en plantas de 4 variedades de frijol a diferentes edades	35
12	Longitud (cm) de raíces primarias, en plantas de 4 variedades de frijol a diferentes edades	37
13	Número de raíces primarias, en plantas de 4 variedades de frijol a diferentes edades	37

## FIGURAS DEL APENDICE

<u>Número</u>		<u>Página</u>
1	Variación en el porcentaje de N en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad	82
2	Variación en el porcentaje de N en las hojas de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad	82
3	Variación en el porcentaje de P en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad	83
4	Variación en el porcentaje de P en las hojas de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad	83
5	Variación en el porcentaje de K en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad	84
6	Variación en el porcentaje de K en las hojas de las plantas de 4 variedades en relación con la edad	84
7	Variación en el porcentaje de Ca en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad	85
8	Variación en el porcentaje de Ca en las hojas de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad	85
9	Variación en el porcentaje de Mg en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad	85
10	Variación en el porcentaje de Mg en las hojas de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad	86
11	Variación en el porcentaje de S en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad	86
12	Variación en el porcentaje de S en las hojas de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad	86

## 1. INTRODUCCION

Las plantas verdes pueden elaborar sustancias orgánicas a partir del anhídrido carbónico del aire, agua y sales orgánicas del suelo. Debido a que las raíces son los órganos principales en la absorción de agua y nutrimentos, su estudio morfológico y fisiológico es importante para interpretar con mejores bases el comportamiento de la parte aérea, la cual, como en el caso del frijol, incluye la cosecha.

El conocimiento de los hábitos de crecimiento de raíces y de absorción de las variedades de frijol constituye un valioso aporte a los trabajos de mejoramiento genético. La eficiencia en el uso de fertilizantes y la tolerancia a condiciones adversas de agua y alta concentración salina son algunos ejemplos de características de los sistemas radicales, que podrían tener gran repercusión económica si se transfirieran a variedades mejoradas.

Los estudios sobre los hábitos de crecimiento y fisiología del sistema radical del frijol son escasos debido principalmente a las dificultades técnicas que se encuentran en condiciones de campo. Además de ser difícil la remoción de raíces del suelo, su crecimiento y actividad fisiológica se encuentran afectados por factores del ambiente edáfico, a veces adversos, que modifican la expresión genotípica.

El sistema de cultivo de plantas en solución nutritiva ofrece muchas ventajas para los estudios relacionados con su sistema radical ya que permite tener bajo control los principales factores edáficos como son fertilidad, agua, aireación y pH.

Al planificar el presente trabajo se partió de la hipótesis de que los hábitos de crecimiento de la parte aérea tienen que estar relacionados con los hábitos de crecimiento del sistema radical, por esta razón se eligieron cuatro líneas puras de variedades con diferentes hábitos de crecimiento.

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- 1- Determinar los hábitos de crecimiento de raíces, de nutrición mineral y de absorción de agua en tres variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) y una de frijol de costa (Vigna sinensis Endl.).
- 2- Relacionar algunas características del crecimiento vegetativo y del rendimiento de dichas variedades con sus correspondientes características radicales, bajo condiciones de cultivo en solución nutritiva, para determinar el papel del sistema radical a la formación de biomasa.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos Generales

Demelon (10) al tratar sobre el papel de los órganos subterráneos de las plantas sostiene que existe una relación estrecha entre el desarrollo de las partes aéreas y el de las raíces. Las partes aéreas producen los carbohidratos y otras sustancias necesarias para el crecimiento y metabolismo de las células de las raíces y a su vez las raíces aseguran el abastecimiento de los órganos aéreos con agua y sustancias minerales, siendo también los principales órganos de sostén. Estos conceptos son confirmados por Masaya (26) y Serrano (36) en el frijol. Además, en las raíces ocurren reacciones bioquímicas que conducen a la formación de sustancias orgánicas de vital importancia para la fisiología de toda la planta como es el caso de la reducción de los nitratos del suelo (11).

### 2.2 Hábitos de Crecimiento Vegetativo de las Raíces en Frijol

El hábito de crecimiento es la manifestación morfológica de una planta y la manera particular de llegar a adquirir su forma y peso característicos a través del tiempo lo cual está determinado por genotipos específicos. Miranda (27) y Yarnell (48), al tratar sobre algunos aspectos genéticos del frijol establecieron tres grupos de genes en los que probablemente reside el control genético del hábito de crecimiento de la parte aérea, a saber:

- a. Fin/fin = crecimiento indeterminado/determinado
- b. T/t = enredador/arbustivo
- c. Serie  $L_1/L_2$  = altura determinada por largo de entrenudo.

En el Banco de Germoplasma de Frijol del IICA-CTEI, según la lista publicada por Pinchinat y Matarrita (32), las leguminosas están clasificadas con letras, de acuerdo al hábito de crecimiento de la parte aérea, como sigue:

(A) = Determinado arbustivo o enano

(G) = Indeterminado con guía corta (indeterminado erecto)

(T) = Indeterminado con guía larga (indeterminado trepador o voluble)

Sobre las características del crecimiento de las raíces del frijol y de su relación con la parte aérea, hay muy poca información. Entre aproximadamente seis mil trabajos citados en la bibliografía del IICA-CTEI (20) sobre este cultivo no se encuentra uno cuyo título sugiere que se estudien los hábitos de crecimiento del sistema radical.

Muchos investigadores consideran que el sistema radical del frijol consta de una raíz principal con raíces adventicias provenientes de la porción más baja del hipocótilo, las secundarias son muy ramificadas, tanto o más que la primaria. Lo más importante es destacar que si bien es cierto que la forma de la raíz es gobernada por la herencia, es muy sensible a la influencia del ambiente donde crece, por eso Demelon (10) considera el conjunto de raíces como un "sistema deformable".

Miranda (28) al estudiar la herencia de algunas características del sistema radical en dos especies de frijol, demostró que los diferentes tipos de raíces dependen de una serie de factores alelomórficos donde la raíz tuberosa del P. coccineus es dominante sobre el tipo de raíz semi-fibrosa (híbrido) y fibrosa del P.

vulgaris L. La raíz semi-fibrosa es a su vez dominante sobre la fibrosa. Destaca además dicho autor que todas las variedades de raíz tuberosa se comportan como perennes y las de tipo fibrosa como anuales.

Relativamente pocos cruzamientos entre plantas han sido llevados a cabo con el objeto de examinar el control genético de variaciones en sistemas radiculares. Según Troughton y Wittington (41) la evidencia de estas variaciones a menudo descansa sobre comparaciones hechas entre diferentes plantas cultivadas dentro del mismo ambiente. Tales estudios se hicieron en base a las características de crecimiento, forma y metabolismo del sistema radical. Esos estudios citan a Hellriegel (1883) quien pudo establecer que: "Todas las especies de plantas siguen su propia idea arquitectural en la construcción de sus raíces en la misma forma como lo hace la construcción de las partes sobre el suelo".

De acuerdo con Masaya (26), Demelon (10), Gallo y Miyasaka (13), el crecimiento de las raíces en el frijol prosigue hasta la fructificación y cesa cuando empieza el traslado de carbohidratos hacia los frutos. Demelon (10) comenta la poca atención dada a la investigación del desarrollo del sistema radical y lo atribuye al hecho de que los sistemas subterráneos son menos accesibles a la observación directa y a las dificultades de su intacta recuperación.

### 2.3 Morfología de las Raíces del Frijol y su Relación con la Absorción de Agua y Nutrimentos

En algunos cultivos, ciertas características morfológicas han sido relacionadas con la efectividad en absorción de elementos nutritivos. Weaver (45) sostiene que un tipo ideal de



sistema radical es aquel que ocupa completamente el suelo a adecuada profundidad y radio para asegurar el abastecimiento continuo de agua y nutrimentos necesarios para promover un buen desarrollo vegetativo. Cahoon y Morton (8) opinan que el total de agua disponible para la planta está en relación directa con la extensión que tenga su sistema radical. Complementan estos criterios Briggs y Shantz (7) quienes comprobaron que los sistemas radicales gruesos y escasamente ramificados son menos eficientes en la utilización del agua del suelo que los sistemas bien ramificados.

Serrano (36) estudiando los factores morfológicos asociados con resistencia a sequía en frijol, obtuvo resultados que concor- daron con los de Currence (9) quién, relacionando el área foliar con el peso del sistema radical, demostró que una variedad tole- rante a la sequía tiene un sistema radical más grande, en propor- ción al área de sus hojas, que una variedad susceptible.

Relacionando el efecto de la transpiración con la absorción de minerales por las plantas, Freeland (12) concluyó en que un incremento en la absorción de agua resulta en un incremento de la absorción de minerales, pero los diferentes iones no se afec- tan en igual forma, además, la velocidad de absorción de cada uno varía de una especie a otra. Esta hipótesis del efecto de la absorción de agua en la absorción de nutrimentos por las raíces han sido motivo de discusión en los últimos tiempos ya que existe un cierto grado de independencia entre ambos procesos.

La absorción de agua y los elementos nutritivos se realiza principalmente en los tejidos jóvenes de una pequeña porción

cerca del ápice de las raíces (zona de crecimiento) y en los pelos absorbentes. Se cree que en raíces más viejas el engrosamiento de las paredes de la endodermis y la suberificación de la epidermis impiden la penetración de iones, pero Russell (33) trabajando con cebada y utilizando sustancias radiactivas demostró que las partes más viejas de las raíces principales donde la endodermis está engrosada, pueden absorber y transportar fosfatos como los hacen tejidos jóvenes. El autor citado comenta que cuando la difusión de agua y nutrimentos del suelo hacia la superficie de las raíces más jóvenes limita la absorción, las raíces más gruesas pierden eficiencia, por lo que las raíces laterales más delgadas realizan una contribución mayor en las funciones de abastecimiento que aquellas.

Salter y Drew (35) comentando que muchas especies de leguminosas son susceptibles a la escasez de agua durante el período de floración y crecimiento de los frutos, citan a Brouwer sugiriendo que la absorción de nutrimentos aumenta durante la época de floración y crecimiento de los frutos. Los autores mencionados (35), trabajando con arvejas (Pisum sativum L.), encontraron que cuando se inicia el desarrollo del primer primordio floral se detuvo el crecimiento de nuevas raíces y muchas raíces murieron; llegando a la conclusión que la planta depende entonces más de la difusión del agua en el suelo que del desarrollo de nuevas raíces para la absorción de agua y nutrimentos.

Tanto la deficiencia como el exceso de elementos nutritivos afectan el crecimiento de los diferentes órganos de la planta, estos efectos están relacionados en forma compleja con los diferentes factores que determinan la intensidad de crecimiento.

Hackett (14) trabajando en nutrición mineral de la cebada determinó que el número de raíces principales y largo de las secundarias fueron reducidos por la deficiencia de potasio y fósforo mientras que el largo de las raíces principales, el número de raíces secundarias y el diámetro de ambos tipos de raíces fueron poco afectados. Este investigador concluye opinando que la interacción entre variedad y nutrición fue altamente significativa, especialmente en el desarrollo de las raíces secundarias.

Weaver (45) señala que los nitratos en exceso inhiben la penetración de las raíces y propenden incremento de ramificaciones, mientras que los fosfatos promueven raíces profundas. Una explicación de los efectos del exceso de nitrógeno en el frijol se encuentra en el trabajo de Biddulph y Cory (5) quienes sostienen que en condiciones de exceso de ese elemento las hojas inferiores de la planta dejan de suministrar carbohidratos a las raíces, provocando un decaimiento del sistema radical. Además, según Bosemark (6) el nitrógeno en abundancia dentro de la planta disminuye el crecimiento de las raíces al estimular la síntesis de alguna hormona que reduce el crecimiento radical.

Masaya (26) al estudiar la relación entre la absorción de nutrimentos y el crecimiento de raíces de frijol, encontró que existe una relación entre la rata de absorción de nutrimentos por gramo de peso seco de raíces, y el contenido de carbohidratos en los tejidos radicales.

Recientemente, Sotomayor (38) encontró que el volumen de raíces está influenciado positivamente por los niveles de nitrógeno de la solución nutritiva en dos cultivares de frijol, pero que no respondió a niveles de fósforo, lo cual se reflejó en un

bajo coeficiente de correlación entre la absorción de fósforo y el volumen radical.

Según la opinión de Lastuvka y Minar (22), el crecimiento está en función de dos variables de nutrición: intensidad y balance de nutrimentos. La primera se mide por la concentración total de nutrimentos inorgánicos en la hoja y la segunda fundamentalmente por la composición química total de las hojas. Para dichos investigadores, en cualquier nivel de intensidad nutricional existen diferentes relaciones entre balance de nutrimentos y el crecimiento. Los rendimientos máximos se alcanzan cuando tanto el balance como la intensidad son óptimos para el cultivo considerado. Además, Shear, Grane y Myers (37) opinan que la composición química de la hoja es uno de los criterios de mayor validez para juzgar el status nutricional de la planta.

#### 2.4 Análisis de Crecimiento

Es difícil, en estudios sobre crecimiento de raíz, el apreciar su importancia en forma independiente; un método para vencer esa dificultad, sugerido por Troughton (40), es a través de una comparación de las proporciones relativas de órganos de las plantas, por ejemplo: peso relativo de tallos a peso de raíces. Estas razones normalmente cambian a medida que la planta crece (5, 26, 36) y una comparación de razones provenientes de plantas a diferentes edades puede reflejar bien la diferencia en tamaño.

Una de las formas de analizar el crecimiento se basa en las variaciones en peso seco de toda la planta o parte de ella a través de su vida.

Blackman, citado por Hammond y Kirkham (15) y Watson (44), basándose en la ganancia neta de peso seco en determinados

lapsos, desarrolló una técnica de análisis de crecimiento, estableciendo una similitud entre el progreso del crecimiento y la ley de interés compuesto. De acuerdo al primer autor citado, la nueva materia seca originada como consecuencia del progreso del crecimiento en un determinado período, se suma constantemente al considerado 'capital' de que disponía la planta antes de dicho período. Sus fórmulas son muy utilizadas en estudios de dinámica del crecimiento empleándose además para determinar varios índices, entre ellos el Índice de Crecimiento Relativo (ICR) que es el que se adaptaría mejor al estudio del crecimiento de raíces por no intervenir en su determinación datos sobre parámetros foliares (1).

Sin embargo, la tendencia de simplificar estos estudios ha originado técnicas más refinadas, así Ledig y Perry (23) trabajando con pino sugieren hacer las comparaciones de crecimiento en base a las razones de tasas de crecimiento.

La ganancia de peso a través del período de vida de las plantas así como las ratas de absorción de nutrimentos y agua se expresan como tasas de incremento y esta medida se determina por análisis de regresión y correlación\*.

Entre los métodos empleados para medir el crecimiento vegetativo de las raíces, encontramos peso seco (más frecuentemente estudiado) (38), el volumen (25); longitud y grado de ramificación y diámetro (14), profundidad de penetración y distribución en el suelo (19, 45), anatomía, implantación y número de pelos radicales (41).

---

\* Comunicación personal del Dr. G. Páez.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización del Experimento

El presente trabajo se realizó en el invernadero y el laboratorio de Ecofisiología del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica. Este Centro está ubicado a 602 msnm a  $9^{\circ}53'$  latitud norte y  $83^{\circ}39'$  longitud occidental. Según el sistema de zonas de vida de Holdridge (18) está clasificada como zona ecológica de bosque subtropical húmedo puesto que la precipitación y temperatura media anual es de 2600 mm y 22,5 C, respectivamente.

#### 3.2 Condiciones Climáticas dentro del Invernadero

Para precisar las condiciones ambientales bajo las cuales desarrollaron las plantas se registraron las variaciones de temperatura diurna o fototemperatura, y temperatura nocturna o nictotemperatura, humedad relativa, radiación solar e intensidad de luz.

Para la obtención de datos de temperatura y humedad relativa se dispuso de un higrotermógrafo de registro semanal; para radiación solar diaria de un actinómetro de alcohol de lectura directa y para intensidad de luz a determinadas horas del día, de un fotómetro.

#### 3.3 Material Vegetal Empleado

Las semillas de líneas puras con las que se hizo el presente estudio provenían del Banco de Germoplasma del IICA-CTEI. Se escogieron las líneas de las variedades cuyas características se indican a continuación:

Especie	Variedad	No. línea	Clave	Código de hábito de crecimiento
Frijol común ( <u>P. vulgaris</u> )	27-R	RH#238	27R	A
	Santo Tomás#9R	RH-604	ST	T
	Col. 1-63-A	RH-237	Cl	T
Frijol de costa ( <u>V. sinensis</u> )	Progreso 66 (crema)	H (de Inv. P66 71-730)		G

En el texto de esta tesis, cuadros y figuras, el nombre de las variedades será representado por su clave.

### 3.4 Establecimiento del Experimento

#### 3.4.1. Germinación

Se utilizó el sistema de germinación individual en papel absorbente, siguiendo la técnica descrita en trabajos anteriores (1, 25, 26, 38) que consta de los siguientes pasos:

- a) Desinfectar la semilla en solución de 'clorox' al 15 por ciento, durante un minuto, luego lavar varias veces con agua destilada.
- b) Poner cada semilla entre dos papeles absorbentes de 20 x 20 cm que a su vez están sobre una hoja de polietileno negro del mismo tamaño, luego arrollar los tres pliegos en forma de tubo conteniendo la semilla entre sus paredes.
- c) Colocar cada tubo en recipientes de 130 ml de capacidad llenos hasta la mitad con solución nutritiva Hoagland No. 2 (17) a un quinto de su concentración original.

### 3.4.2 Transplante a recipientes definitivos

A los ocho días de la siembra en los germinadores tubulares, las plantas fueron trasladadas a recipientes de plástico opaco conteniendo 7,5 litros de solución nutritiva Hoagland No. 2 a concentración  $\frac{1}{2}$  de la original. Los recipientes se pusieron en mesones a razón de 12 plantas en cada uno distanciadas a 0,55 x 0,65 cm. Se fijaron las plantitas en una posición adecuada en las tapas de los recipientes utilizando cinta adhesiva e hilos de algodón fijados en los tutores.

La solución nutritiva fue permanentemente aireada mediante un compresor cuyo aire llegaba a cada recipiente mediante capilares de vidrio.

### 3.4.3 Disposición experimental

Se cultivaron 96 plantas distribuidas siguiendo el esquema de un diseño irrestrictamente al azar. Los tratamientos consistieron en cuatro variedades con 24 plantas cada uno. Los datos de crecimiento y nutrición se estimaron en seis períodos, el primero a los 18 días, el segundo, tercero y cuarto a intervalos de 10 días y los dos restantes a intervalos de 20 días. Para ello, se sacrificaron cuatro plantas por variedad después de cada período, tomadas aleatoriamente.

### 3.4.4. Cambios de solución nutritiva

Después de 15 días del transplante se hizo el primer cambio de la solución Hoagland No. 2 pasándola a su concentración original, los cambios posteriores se efectuaron cada 15 días. Se hicieron en total cuatro cambios de solución nutritiva.



Se utilizó agua de lluvia tanto para preparar la solución fresca como para las reposiciones periódicas y del agua perdida por transpiración. El pH se mantuvo entre 5,5 y 6,5.

### 3.5 Determinación de Volumen Radical

La determinación del volumen del sistema radical se hizo empleando el dispositivo descrito por Jiménez (21), modificado por Loayza (25) en el laboratorio de Ecofisiología del CTEI, que se basa en el principio de desplazamiento de volúmenes.

### 3.6 Toma de Datos de Longitud y Número de Raíces

En vista de que el frijol tiene raíces embrionarias y adventicias de forma y ramificación idénticas a las hipocotiledonarias, se ideó una nomenclatura morfológicamente razonable para su clasificación, a saber: A la raíz embrionaria principal que normalmente se desarrolla en el centro del sistema se la denomina raíz principal primaria. A las que nacen en la base del hipocótilo se las llama laterales primarias. A las ramificaciones tanto de la principal como laterales primarias, se las llama raíces secundarias y las que se originan sobre ellas, terciarias.

Para separar las raíces primarias se procedió a desenredarlas en un recipiente espacioso conteniendo agua, luego se procedió a cortar las primarias. Se tomaron aleatoriamente 10 raíces primarias para medirlas y en ellas contar y medir las ramificaciones.

### 3.7 Determinación del Área Foliar

Se utilizó el método usado por Ascensio (1) y Loayza (25), que se basa en la relación que existe entre el ancho basal del foliolo central y el área de los tres foliolos de la hoja.

Para obtener el área por hoja se comparó el peso de un pedazo de papel de área conocida ( $100 \text{ cm}^2$ ) con el peso de los pedazos correspondientes en área a los tres folíolos centrales.

Relacionando los parámetros de ancho de folíolo central y el área de la hoja entera se obtuvieron ecuaciones matemáticas de las cuales se obtuvo mejor coeficiente de confiabilidad para el modelo logarítmico (Figura 1).

### 3.8 Peso de Materia Seca del Material Vegetal

Se tomaron datos de peso seco de raíces y parte aérea por separado en cada planta, operación llevada a efecto una vez terminadas las mediciones correspondientes. Para ello el material fue puesto en estufa a  $70^\circ\text{C}$  durante 72 horas, tiempo en que se alcanzó peso seco constante.

### 3.9 Medición de Absorción de Agua

El consumo de agua por la planta se midió por el volumen que fue necesario reponer cada dos a tres días, para alcanzar el nivel original de 7,5 litros. La pérdida de agua por evaporación se controló mediante recipientes sin plantas que fueron aireados igual que los demás.

### 3.10 Toma de Muestras para el Análisis Químico de la Solución Nutritiva

La solución nutritiva se preparó en recipientes de plástico de 20 litros de capacidad y se analizó químicamente antes de ser utilizada por las plantas.

En las fechas fijadas para remover plantas de los mesones y cambiar la solución nutritiva se tomaron muestras de solución de cada uno de los recipientes. La técnica consistió en llevar a

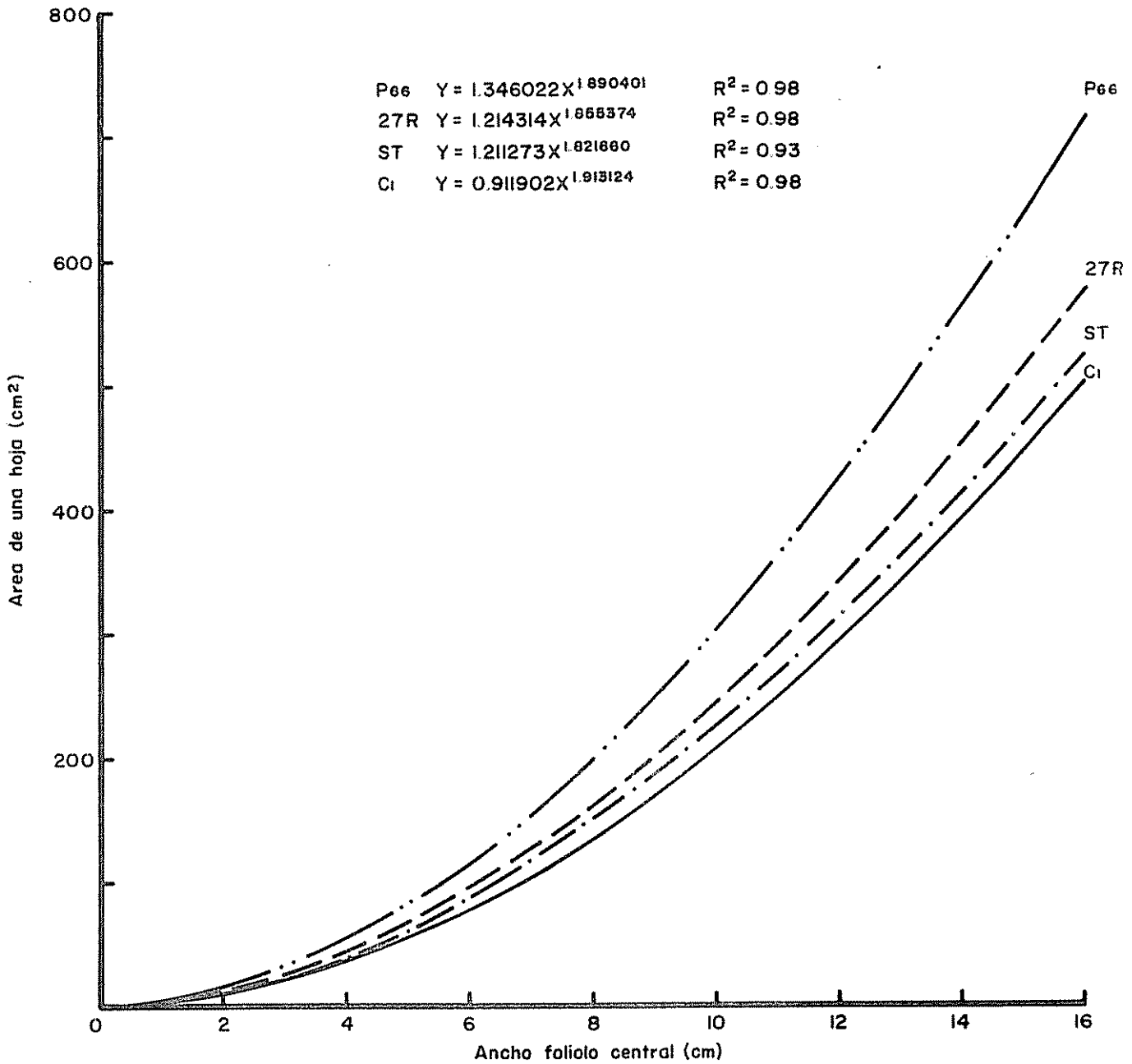


Fig. 1 Variación del área de una hoja en función del ancho de su foliolo central en 4 variedades de frijol

volumen original (7,5 litros) y tomar una alícuota de 50 ml por recipiente, éstas fueron conservadas en refrigeración hasta el momento del análisis.

En cálculo de consumo de N, P, K, Ca, Mg y S por planta se hizo por diferencia entre los resultados analíticos de las soluciones nutritivas antes y después de ser utilizada por las plantas.

### 3.11 Toma de Muestras para Análisis Químico del Material Vegetal

Las muestras de raíces y hojas en las que se determinó el contenido de N, P, K, Ca, Mg y S, se tomaron después de la obtención de los pesos secos correspondientes. Se tomó una sola muestra de las cuatro plantas sacrificadas por variedad. Fue necesario para ello homogenizar bien el material. La muestra así obtenida se pasó a través de un Molino Willy con malla 40 y se guardó en frascos de vidrio hasta el momento del análisis.

### 3.12 Análisis Químico

Tanto en las soluciones nutritivas como en el material vegetal se hizo el análisis de los seis macroelementos. Excepto para el N, las muestras del material vegetal fueron sometidas a digestión con mezcla nítrico perclórica en proporción de 5:1, utilizando erlenmeyers de 125 ml.

#### 3.12.1 Nitrógeno

El nitrógeno total se determinó por el método micro-Kjeldhal, utilizando destiladores del tipo propuesto por Müller (30). Para el análisis del material vegetal la digestión se realizó con ácido sulfúrico.

#### 3.12.2 Fósforo

El análisis del contenido del fósforo se llevó a efecto por

el método colorimétrico de Fiske-Subarrow modificado (2). Esta modificación consiste en el uso de ácido clorhídrico en vez de ácido sulfúrico como acidificante. Las lecturas se efectuaron en un colorímetro Coleman modelo 6-A con una longitud de onda de 525 nanómetros.

### 3.12.3 Potasio, Calcio y Magnesio

Para determinar estos elementos se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer modelo 303.

### 3.12.4 Azufre

El azufre se determinó por turbidimetría utilizando el método de la AOAC (2), que se basa en la formación de un precipitado insoluble de sulfato de bario estabilizado con una solución de goma arábica al 0,5 por ciento. La lectura se hizo en el mismo aparato empleado para el fósforo pero a una longitud de onda de 425 nanómetros.

## 3.13 Determinación de los Componentes de Rendimiento

La evaluación de rendimiento se hizo al final del ciclo de vida de las plantas, el cual se alcanzó entre los 80 y 88 días de la siembra en las cuatro variedades. Para la evaluación se tomaron en cuenta los siguientes datos:

Peso total de semillas por planta (rendimiento)  
 Número de frutos por planta  
 Número de semillas por fruto  
 Número total de semillas por planta  
 Peso de 100 semillas

Para efecto de análisis estos datos se tomaron de cuatro plantas por variedad.

Los pesos de las semillas se ajustaron a 12 por ciento de humedad, utilizando la siguiente fórmula: 
$$P_f = \frac{P_o(100-H_o)}{(100-H_f)}$$

donde:  $P_f$  = peso de granos ajustado al 12 por ciento (g)  
 $P_o$  = peso original de los granos húmedos  
 $H_o$  = humedad original expresada en proporción  
 $H_f$  = humedad final expresada en proporción.

### 3.14 Modelo de Análisis de la Información

Para comparar las variedades en crecimiento, absorción de agua y absorción de macroelementos, se calcularon por medio de la técnica de regresión, las tasas logarítmicas de incremento. Estas son medidas de la velocidad con que las variables respuesta cambian, como función de la edad (tiempo). Los cambios se reflejan en la producción de biomasa final, absorción de elementos, consumo de agua, etc.

El modelo matemático aplicado fue el siguiente:

$$Y = b_o X_i^{b_1}$$

donde:

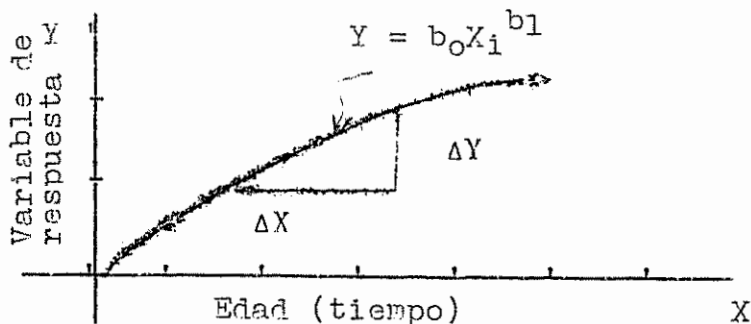
$Y$  = variable de respuesta (variable dependiente)

$b_o$  = estimado de  $Y$  cuando  $X=1$  (en unidades de medida de  $Y$ )

$X_i$  = estímulo (variable independiente)

$b_{11} = \frac{dY}{dX} \times \frac{X}{Y} =$  tasa logarítmica de incremento (elasticidad)  
de la respuesta

Representado gráficamente tendríamos:



La tasa logarítmica de incremento del crecimiento se conoce con el nombre de Elasticidad del crecimiento como función de la edad (tiempo) y de ella se puede derivar la tasa lineal de crecimiento que es igual a:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta X} = b_1 \frac{\bar{X}}{\bar{Y}}$$

Se prefirió usar la tasa logarítmica de crecimiento en vez de utilizar las medidas tradicionales de crecimiento debido a que el coeficiente de crecimiento logarítmico se ajusta muy bien al patrón de crecimiento o formas de las funciones estudiadas.

Los cálculos requeridos para el ajuste de este tipo de análisis utiliza la metodología de Mínimos Cuadrados, método de estimación de parámetros muy conocido en el campo de estadística, por la bondad de las propiedades que el estimador posee.

Además la serie de datos tomados durante el crecimiento de las plantas se reducen a dos en cada caso, que son:

- 1)  $b_1$  = tasa logarítmica = parte dinámica.
- 2)  $\bar{Y}$ ,  $Y$  estimada = producción = parte estática

Después de la transformación de los distintos datos en tasas o producción total se utilizó el modelo conocido de Análisis de la Variancia para discriminar efectos de tratamientos, efectos que se refleja en las tasas o en los totales.

Modelo de Análisis de la Variancia fue el siguiente:

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

donde:

$Y_{ij}$  = variable de respuesta

$\mu$  = media general

$T_i$  = efecto del tratamiento

$E_{ij}$  = error experimental

En la comparación de promedios se utilizó la prueba de Duncan. En los análisis de correlación para detectar asociación entre variables de respuesta medida o generada en forma de tasas, se tomó en cuenta la escala de porcentaje de asociación ( $r^2 \times 100$ ) que es el siguiente:

% de asociación	Coefficiente de correlación equivalente	Grado de asociación
menor de 25	menor de 0,50	baja
25 - 50	0,50 - 0,71	media
50 - 75	0,71 - 0,87	estrecha
mayor de 75	mayor de 0,87	muy estrecha

Con los valores de rendimiento promedio por planta se estimó el rendimiento de frijol por hectárea, considerando para tal fin la densidad de siembra, recomendada para centroamérica por Montenegro (29), de 200,000 plantas distribuidas en el campo a 10 cm sobre el surco y 50 cm entre surcos.



4. RESULTADOS4.1 Condiciones Climáticas dentro del Invernadero

En el Cuadro 1 se indican las condiciones climáticas que predominaron durante el período que se realizó el experimento.

Cuadro 1. Condiciones climáticas que predominaron durante el período de experimento

Ambiente	Máxima absoluta	Media	Mínima absoluta	Unidades de medida
Fototemperatura	27,0	25,3	21,6	Grados centígrados
Mictotemperatura	24,5	21,8	18,0	Grados centígrados
Humedad relativa	95,5	73,2	50,6	Por ciento
Radiación solar	124,1	85,6	37,6	cal/cm <sup>2</sup> /día
Intensidad de luz	---	19000,0	---	lux

La temperatura dentro del invernadero fue mayor en 3,0°C, la humedad relativa, radiación solar e intensidad de luz fueron menores en 9, 20 y 80%, respectivamente.

4.2 Aspectos Generales del Crecimiento de las Plantas

Las plantas de las cuatro variedades de frijol mostraron buena conformación y vigor desde su germinación hasta la cosecha. Las plantas de la variedad ST presentaron en su follaje puntuaciones necróticas hasta aproximadamente los 30 días de edad. Este síntoma no fue visible en el follaje que se desarrolló posteriormente y no pareció afectar el crecimiento y rendimiento de las plantas. El origen de esta anomalía no ha sido aún establecido.

En las variedades 27R y P66 se presentaron brotes esporádicos de mildiú (Erysiphe polygoni D. C. ex Merat) que fueron controlados en forma efectiva con Karatane al 0,3%.

Las plantas del frijol de costa, variedad P66 (Figuras 2 y 3) mostraron gran desarrollo vegetativo con ramificaciones en la base



Figura 2. Hábito de crecimiento de la parte aérea de 4 variedades de frijol a los 48 días de edad.

Figura 3. Hábito de crecimiento del sistema radical de la variedad Progreso 66 (Frijol de costa) a los 48 días de edad.

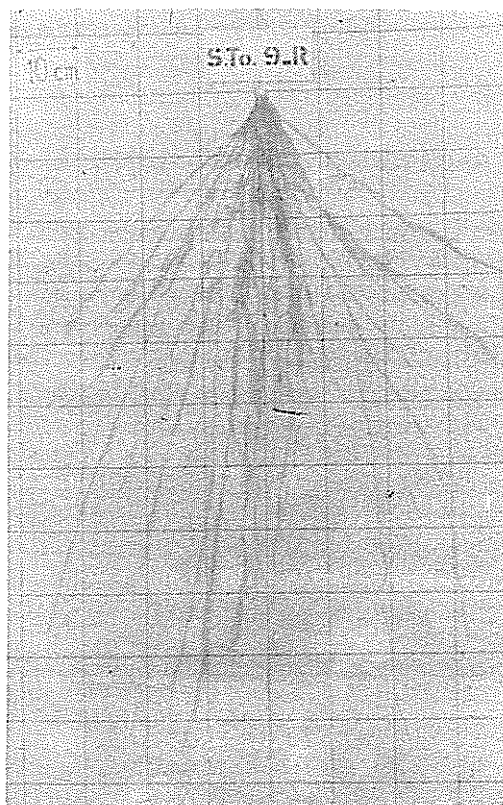
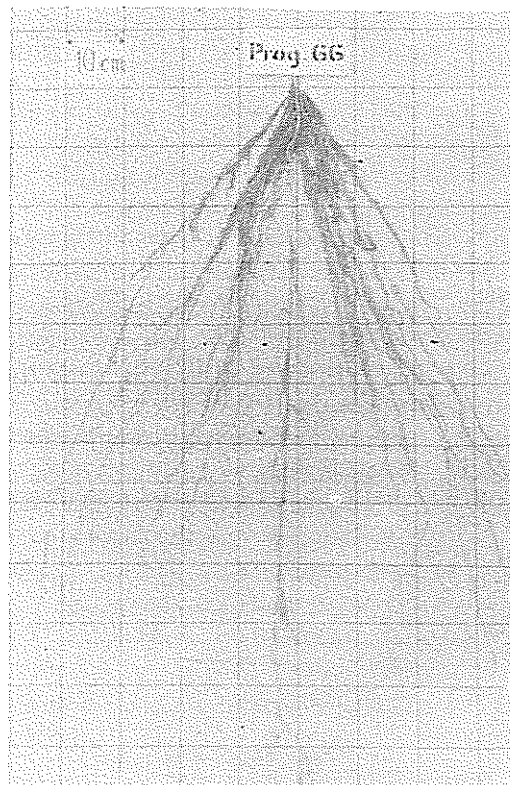


Figura 4. Hábito de crecimiento del sistema radical de la variedad Santo Tomás - 9R a los 48 días de edad.

de la planta, entrenudos considerablemente largos (40-50 cm), hojas con foliolos amplios y alargados muy caedizos. Sistema radical con raíz principal pivotante bien diferenciado de las raíces laterales primarias en extensión, grosor y ramificación. La raíz principal alcanzó una longitud máxima de 1,95 m a los 68 días de edad. Las raíces laterales primarias a la misma edad llegaron a un máximo de 1,40 m de longitud. Las raíces secundarias se presentaron a los 18 días de edad. En condiciones de invernadero se comportó como una variedad tardía para la floración y muy precoz para la maduración, puesto que éste período duró solo 31 días (antesis a cosecha).

Las plantas del frijol común variedad 27R (Figuras 2 y 5) mostraron sus características típicas: crecimiento arbustivo de porte bajo (0,70 m) de entrenudos gruesos y cortos, de hojas amplias y persistentes. Mostraron sistema radical compacto de longitud, diámetro y ramificación no diferenciados entre las raíces primarias, principal y laterales. Se observaron ramificaciones secundarias a los 48 días y ramificaciones terciarias a los 68 días de edad.

Las plantas de la variedad ST (Figuras 2 y 4) de crecimiento indeterminado voluble, sobrepasaron los 3 m de altura. Mostraron un aspecto general de cono invertido debido a que las hojas y frutos se concentran en el tercio superior de las plantas. Esta es una característica morfológica opuesta a la de muchas variedades de cultivo generalizado como Jamapa, Porrillo y Turrialba-4. Las plantas mostraron un sistema radical con raíces primarias no diferenciables y poco ramificadas.

Las plantas de la variedad Cl (Figuras 2 y 6) alcanzaron una altura de 2,20 m y tuvieron forma cónica es decir con mayor concentración de hojas y frutas en la base de la planta. Su sistema

Figura 5. Hábito de crecimiento del sistema radical de la variedad 27 - R a los 48 días de edad

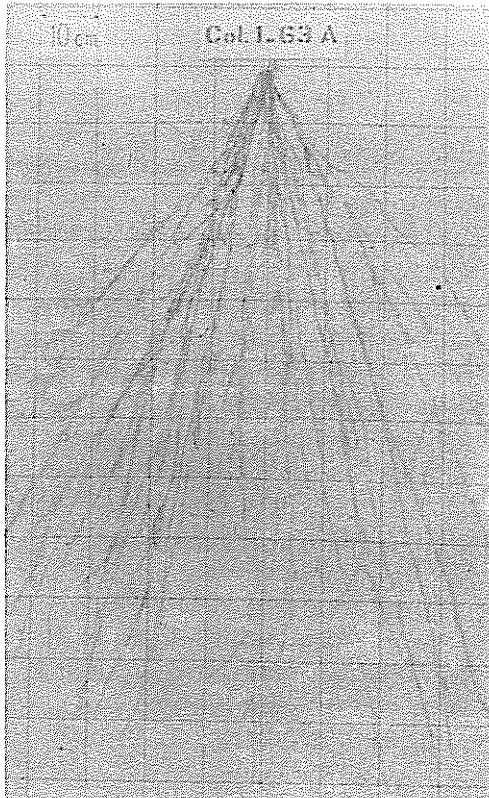
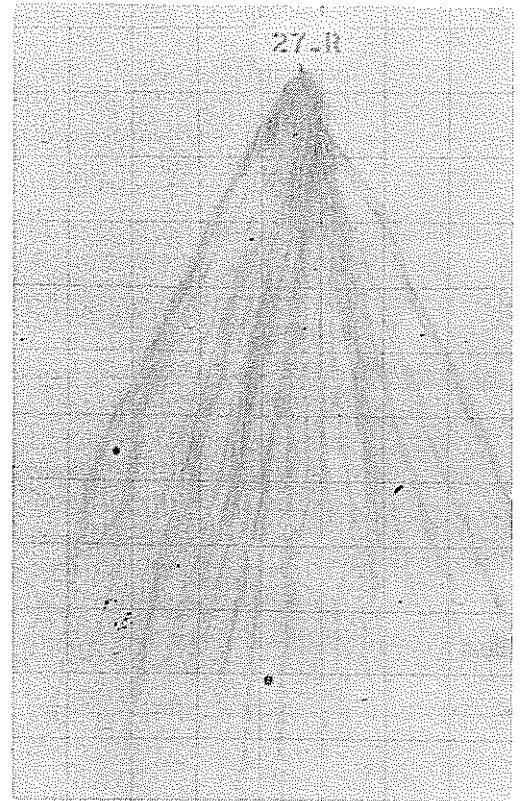


Figura 6. Hábito de crecimiento del sistema radical de la variedad Col.1.63-A a los 48 días de edad.

radical con raíces primarias no diferenciado con menor número de raíces secundarias que en la variedad ST.

En el Cuadro 2 se presentan las características principales del sistema radical de las variedades que se estudiaron.

Cuadro 2. Datos generales sobre el sistema radical de plantas de frijol de cuatro variedades al final de su ciclo de vida (Valores promedios de 10 raíces)

Variedad	Raíces primarias		Raíces secundarias (sobre cada primaria)		Raíces terciarias (sobre cada secundaria)	
	No.	longitud (cm)	no.	longitud (cm)	no.	longitud (cm)
P66	18,75	93,85	5,10	50	4,30	12
27R	24,00	103,30	6,40	75	0,53	22
ST	23,75	97,12	4,50	70	-	-
Cl	22,50	109,95	1,60	80	-	-

#### 4.3 Crecimiento de la Parte Aérea

##### 4.3.1 Peso seco total

Considerando en forma global el peso seco del tallo más el de hojas y los frutos, se notó que este sigue una marcada tendencia ascendente aún en los períodos finales del crecimiento debido al incremento en peso de los frutos (Figura 7 y Cuadro 2 del Apéndice).

De acuerdo con el resultado del análisis de la variancia que se presenta en los Cuadros 3 y 4, se concluyó que existieron diferencias importantes ( $p < 0,01$ ) entre las variedades estudiadas tanto en tasas logarítmicas de incremento como en peso final estimado. Observando el Cuadro 5, no se detectaron diferencias significativas entre las tasas de incremento en peso seco de P66, ST y Cl. Las plantas de las tres variedades citadas mostraron tasas significativamente más altas que las de 27R. Al hacer las comparaciones

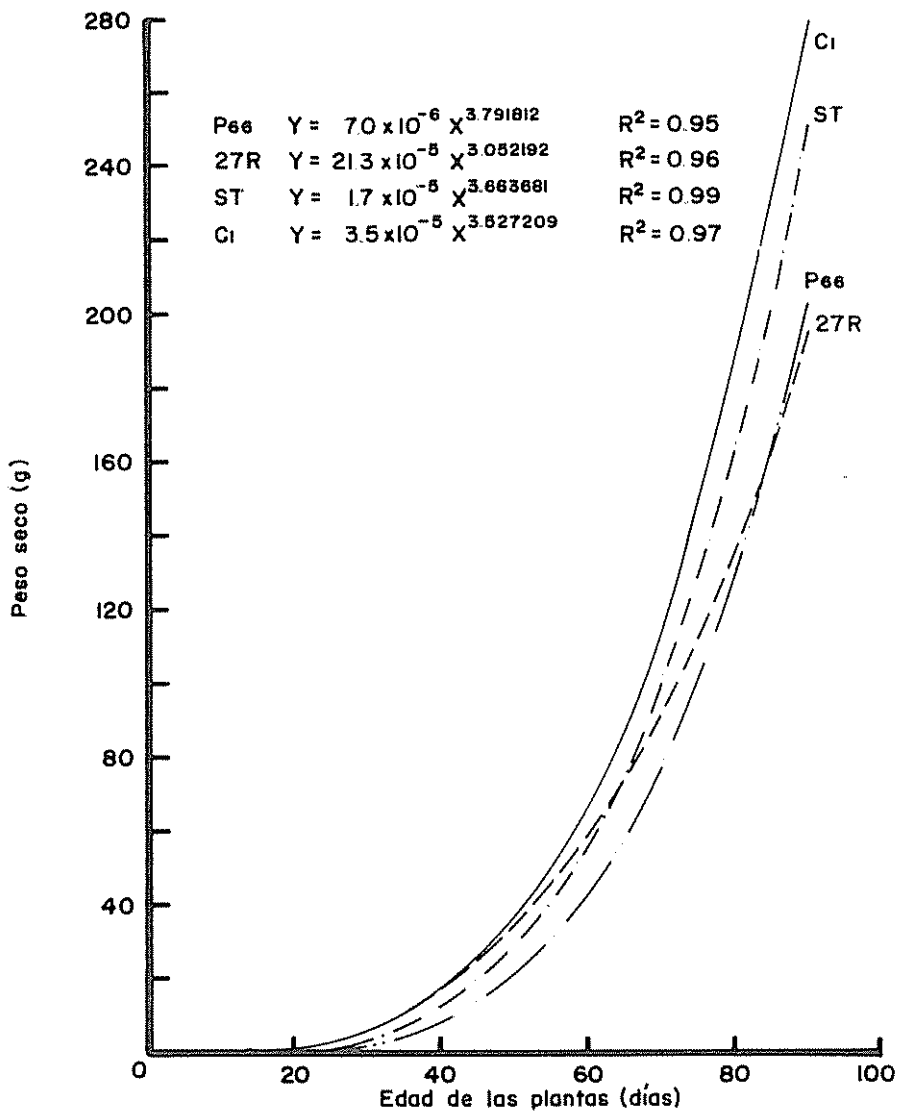


Fig. 7 Curva de incremento del peso seco total (g) de la parte aérea de plantas de 4 variedades de frijol, a través de su ciclo de vida.

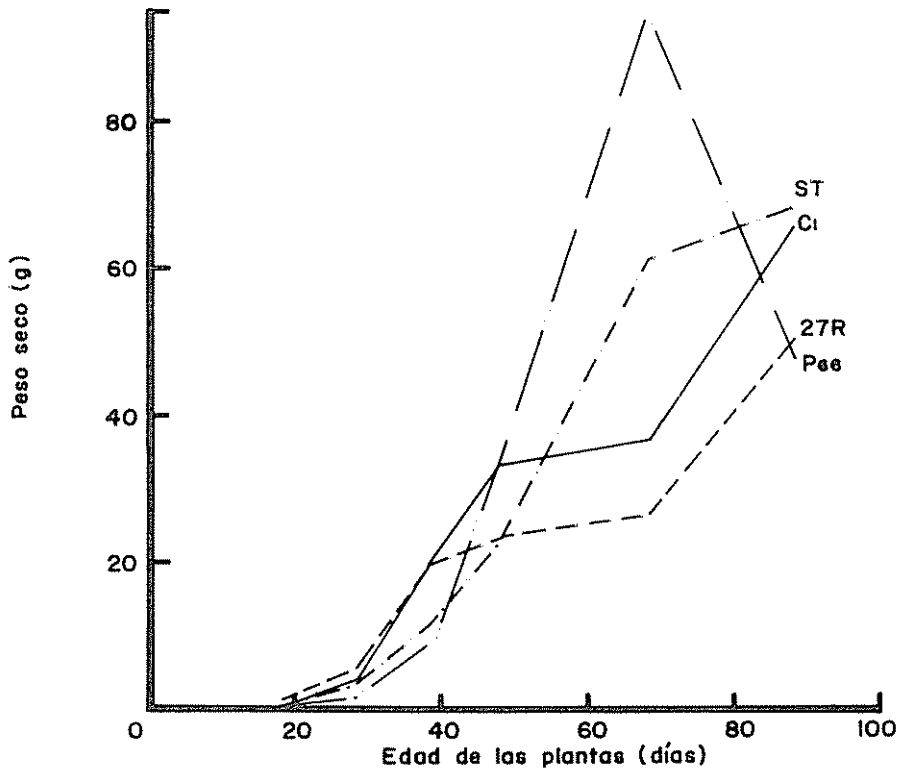


Fig. 8 Peso seco del tallo y hojas (g) en plantas de frijol a diferentes edades.

entre los pesos secos estimados, se observó que Cl y ST mostraron los pesos más altos sin alcanzar diferencia significativa entre ellos. Las plantas P66 a pesar de mostrar tasa de crecimiento relativamente más alta alcanzó peso final igual que 27R.

#### 4.3.2 Peso seco del tallo y hojas

Comparando las medias de las tasas logarítmica de incremento en peso seco de tallos + hojas se tuvo que P66 alcanzó tasa más alta que ST, Cl y 27R. Entre las plantas ST y Cl no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Los pesos finales estimados para las plantas de las variedades ST, P66 y Cl fueron estadísticamente semejantes y superiores al de 27R. La Figura 8 objetiviza las tendencias de crecimiento de las plantas, en ella se puede apreciar que P66 alcanzó el mayor incremento de peso seco pero al llegar a la época de floración su peso bajó bruscamente, debido probablemente a su excesiva defoliación en el período de fructificación.

#### 4.3.3 Area foliar

Observando la Figura 9 se puede apreciar que las plantas de P66 mostraron fluctuaciones en área foliar más marcadas que las demás variedades. Las plantas de la variedad 27R alcanzaron dos máximas, la 1a. al llegar a los 48 días de edad y la 2a. en el período final del cultivo debido a que cuando las tres variedades alcanzaron su máxima área foliar 27R mostraba defoliación de algunas hojas basales.

Al hacer las comparaciones de medias de área foliar (Cuadro 5) se encontró que P66 mostró mayor tasa logarítmica de incremento, las variedades Cl, ST y 27R no mostraron diferencias significativas entre ellas. En área foliar estimada no hubieron diferencias



Cuadro 3. Cuadrados medios de tasas logarítmicas de incremento de algunas variables analizadas en cuatro variedades de frijol

Variables	Fuentes de variabilidad y GL	
	Tratamiento 3	Error 12
Peso seco total parte aérea (g)	0,417**	0,012
Peso seco tallo y hojas (g)	0,774**	0,040
Area foliar (cm <sup>2</sup> )	0,440**	0,062
Peso seco raíces (g)	1,373**	0,024
Volumen radical (ml)	1,645**	0,014
Long. promedio de raíces primarias (cm)	0,123**	0,008
Número raíces primarias	0,075ns	0,026
Absorción de agua (ml)	0,730**	0,036
Absorción de N (mg)	0,450**	0,031
Absorción de P (mg)	0,453**	0,008
Absorción de K (mg)	0,521**	0,036
Absorción de Ca (mg)	0,428**	0,017
Absorción de Mg (mg)	5,099*	0,881
Absorción de S (mg)	17,231**	0,063

\* Diferencias al nivel de 0,05

\*\* Diferencias al nivel de 0,01

ns Sin diferencias significativas

significativas entre Cl, ST y P66, pero cada una de ellas superaron al área estimada para 27R.

#### 4.4 Crecimiento del Sistema Radical

##### 4.4.1 Peso seco

Los resultados obtenidos al analizar los incrementos en peso seco de raíces a través del ciclo de vida en las cuatro variedades (Figura 10 y Cuadro 2 del Apéndice), muestran que las plantas de las variedades 27R y Cl, al igual que P66 y ST, siguen tendencias semejantes.

Comparando los promedios de tasas logarítmicas de incremento y pesos finales estimados (Cuadro 5) nos muestran que P66 y ST tuvieron tasas significativamente mayores que 27R y Cl, y las de estas últimas no alcanzaron diferencias estadísticamente importantes

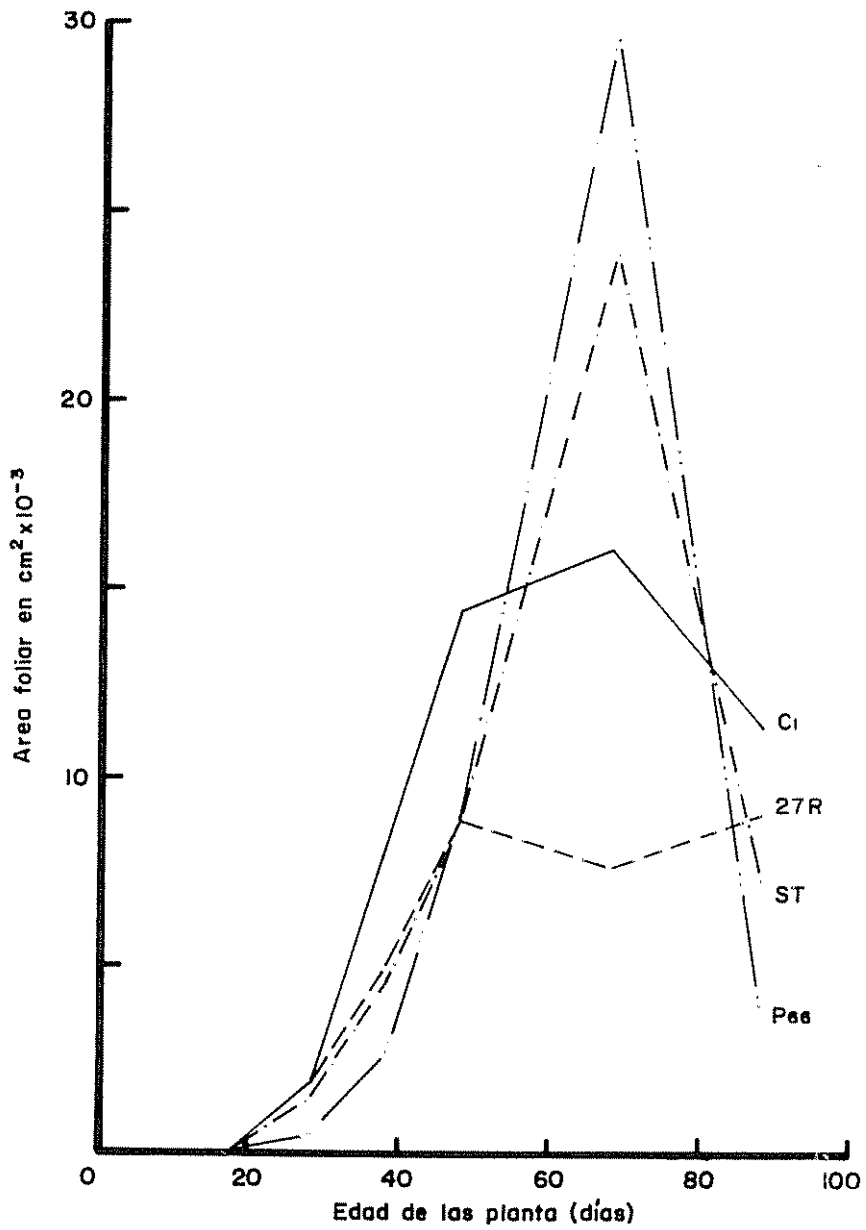


Fig. 9 Area foliar (cm<sup>2</sup>) en plantas de 4 variedades de frijol a diferentes edades.

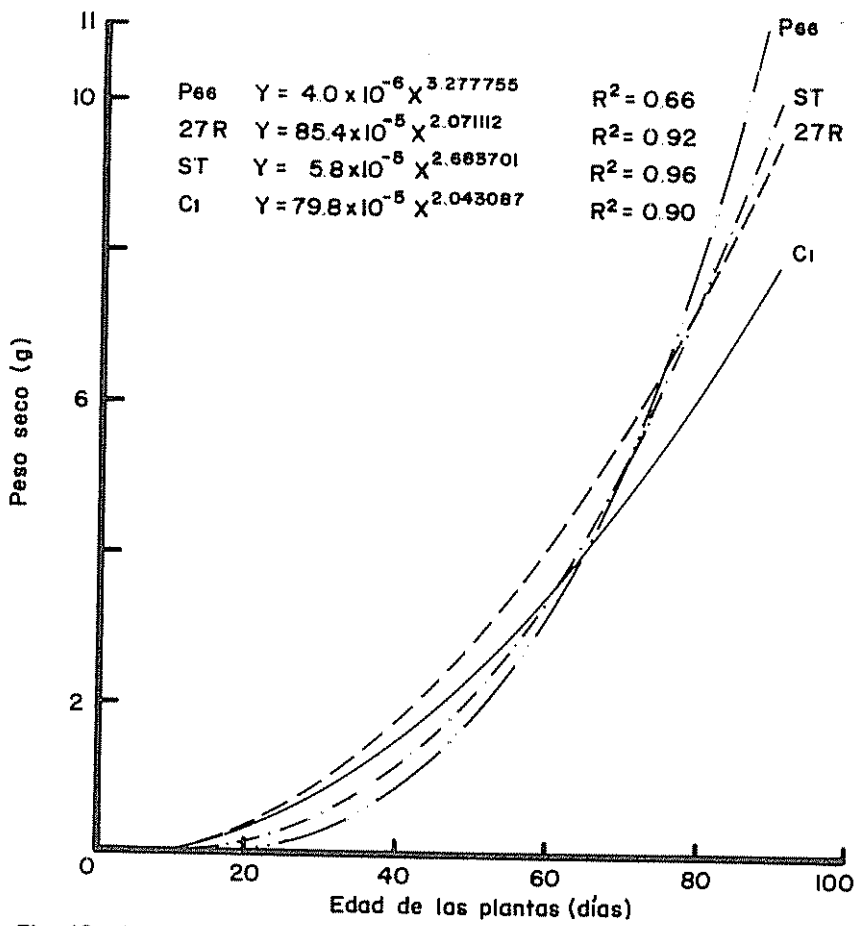


Fig. 10 Curvas de incremento en pesos secos de raíces en plantas de 4 variedades de frijol.

Cuadro 4. Cuadrados medios de las variables de crecimiento de absorción (estimados) y de rendimiento (reales) en cuatro variedades de frijol

Variable	Fuentes de Variabilidad y GL	
	Tratamientos 3	Error Exp. 12
Peso seco de parte aérea total (g)	2068,60**	180,57
Peso seco tallo y hojas (g)	496,07*	135,05
Area foliar (cm <sup>2</sup> )	61853234,73**	14023418,68
Peso seco raíces (g)	2,46ns	2,58
Volumen radical (ml)	4856,47ns	2607,72
Ext. promedio raíces primarias (cm)	310,12*	82,46
Número raíces primarias	22,83*	4,53
Absorción de agua (mg)	193257712,12**	4429952,00
Absorción de N (mg)	731330,83ns	294572,08
Absorción de P (mg)	4893,68ns	15339,88
Absorción de K (mg)	2341762,75**	331209,14
Absorción de Ca (mg)	111057,02ns	250803,46
Absorción de Mg (mg)	265899,94*	78514,36
Absorción de S (mg)	2153103,92**	42199,97
Número de frutos/planta	2591,39**	35,14
Número de semillas/planta	125223,41**	4164,79
Número de semillas/fruto	76,66**	0,20
Peso de semillas/planta (g)	3349,79**	90,54
Peso de 100 semillas (g)	1557,77**	0,65

\* Diferencias al nivel de 0,05

\*\* Diferencias al nivel de 0,01

ns Sin diferencias significativas

entre ellas. Al final del ciclo, a pesar de que existieron diferencias en tasas de incremento no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los pesos secos finales entre las cuatro variedades.

Los valores promedios de peso seco máximo de raíces (g) fueron los siguientes: P66 = 7,45; 27R = 9,10; ST = 7,16 y Cl = 7,22.

#### 4.4.2 Volumen

Al observar la representación gráfica de los volúmenes radicales a través del tiempo (Figura 11) se puede apreciar que cada una de las variedades sigue tendencias diferentes, pero al final del ciclo alcanzan volúmenes cuyas diferencias no pasa de 40 ml. Esta

Cuadro 5. Valores promedios y representación gráfica de la significación de Duncan en las variables de crecimiento de cuatro variedades de frijol

	Tasas logarítmicas de incremento (/planta/día)				Valores estimados /33 días			
	P66	ST	Cl	27R	ST	Cl	27R	P66
Peso seco total (g)	3,79	3,66	3,52	3,05	169,82	149,74	127,71	119,32
Peso seco tallo y hojas (g)	P66	ST	Cl	27R	ST	P66	Cl	27R
	3,30	3,02	2,75	2,26	73,16	71,28	51,53	
Area foliar (cm <sup>2</sup> )	P66	Cl	ST	27R	Cl	ST	P66	27R
	3,15	2,68	2,50	2,40	22700,58	17054,98	14610,89	14128,81
Peso seco raíces (g)	P66	Cl	27R	ST	P66	ST	Cl	27R
	3,27	2,68	2,07	2,04	7,78	7,14	7,02	5,89
Volumen radical (ml)	P66	ST	Cl	27R	ST	P66	Cl	27R
	3,87	3,68	2,82	2,55	331,97	317,24	286,66	253,37
Longitud raíces (cm)	P66	Cl	27R	ST	Cl	ST	P66	ST
	1,10	0,77	0,76	0,73	129,70	122,44	117,69	108,69
Número raíces (no.)	P66	Cl	ST	27R	ST	27R	Cl	P66
	0,42	0,20	0,19	0,10	24,53	23,42	22,35	19,03

Las variedades unidas por una barra horizontal no mostraron diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidad.

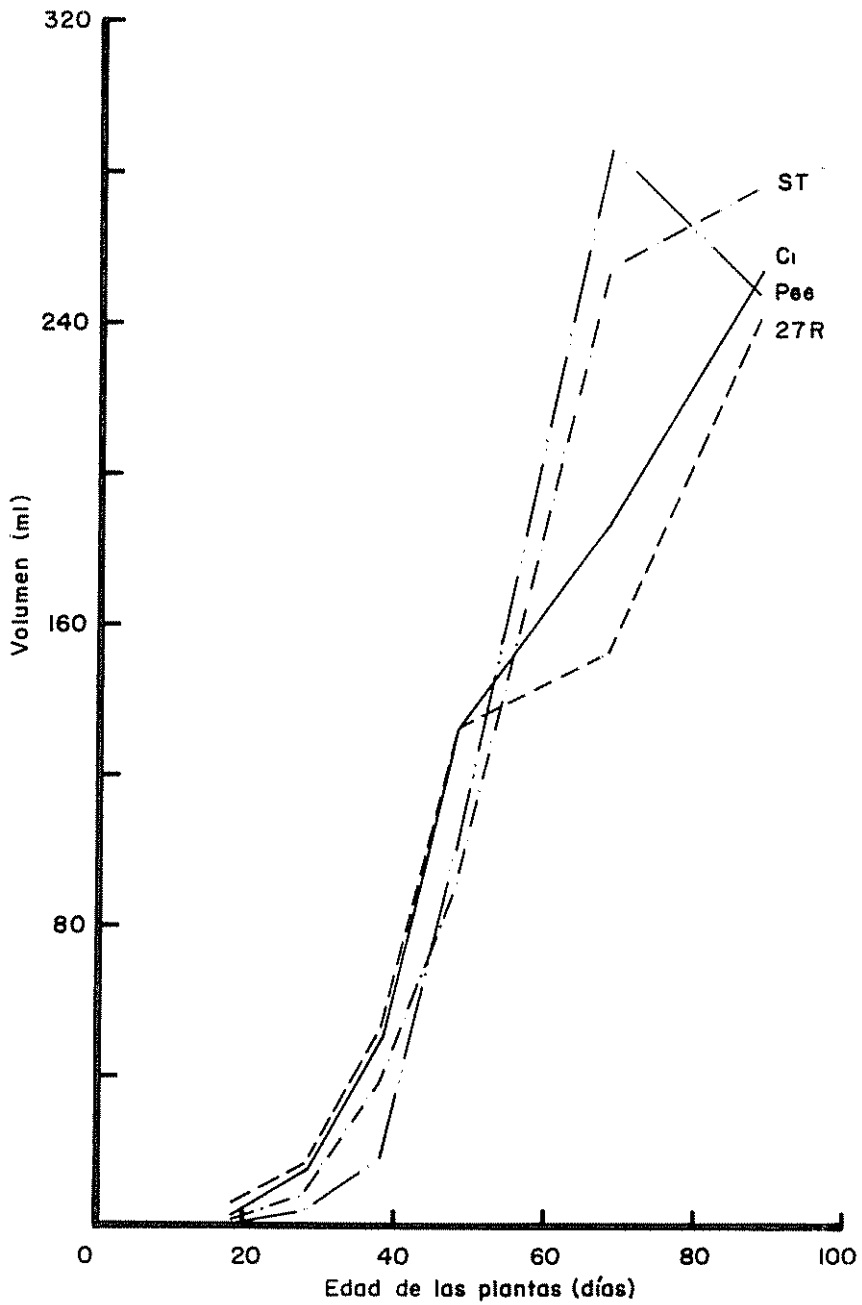


Fig. II Volumen del sistema radical (ml) en plantas de 4 variedades de frijol a diferentes edades.

apreciación se ve confirmada con los resultados de los análisis comparativos de tasas y estimados del volumen radical final (Cuadro 5) puesto que cada variedad tuvo diferentes valores de tasas de incremento, pero en volumen estimado para los 88 días de edad, las cuatro variedades alcanzaron medidas estadísticamente semejantes.

Los valores promedios de volumen radical máximo de raíces (ml) fueron los siguientes: P66 = 287, 27R = 242, ST = 276 y Cl = 254.

#### 4.4.3 Longitud

La determinación de longitud de las raíces a través del tiempo que es una evaluación de su capacidad de distribución se representa en la Figura 12. En ella se puede apreciar que el incremento en longitud radical no es continuo hasta el momento de la cosecha. En las cuatro variedades se produjo una disminución en longitud promedio, fenómeno que tiene su explicación en la descomposición de los tejidos jóvenes de las raíces cuando se paraliza su actividad. Si en estas condiciones la planta mantiene ciertos órganos aéreos en actividad se debe a la actividad de algunas raíces primarias jóvenes y sus ramificaciones.

Según las comparaciones de los promedios correspondientes (Cuadro 5), las plantas de la variedad P66 mantienen tasas de incremento logarítmico más alta que sus similares, mientras que Cl, 27R y ST mostraron tasas estadísticamente iguales. Las longitudes finales estimadas para Cl, 27R y P66 no muestran diferencias significativas entre ellas pero fueron superiores al de ST que logró la más baja longitud.

#### 4.4.4 Número de raíces

La Figura 13 muestra el incremento en número de raíces primarias para las cuatro variedades estudiadas. Al hacer las

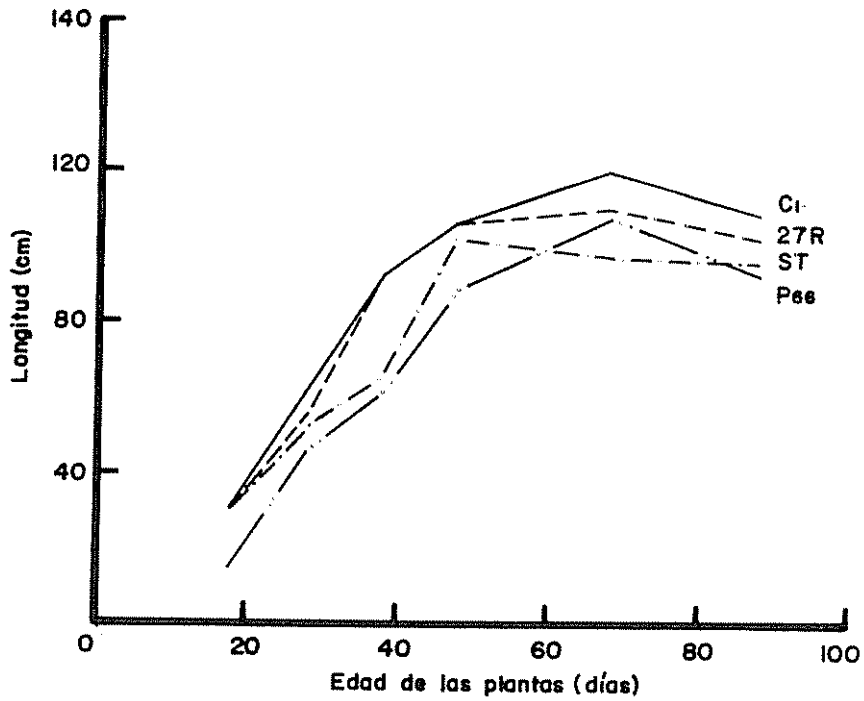


Fig. 12 Longitud (cm) de raíces primarias, en plantas de 4 variedades de frijol a diferentes edades.

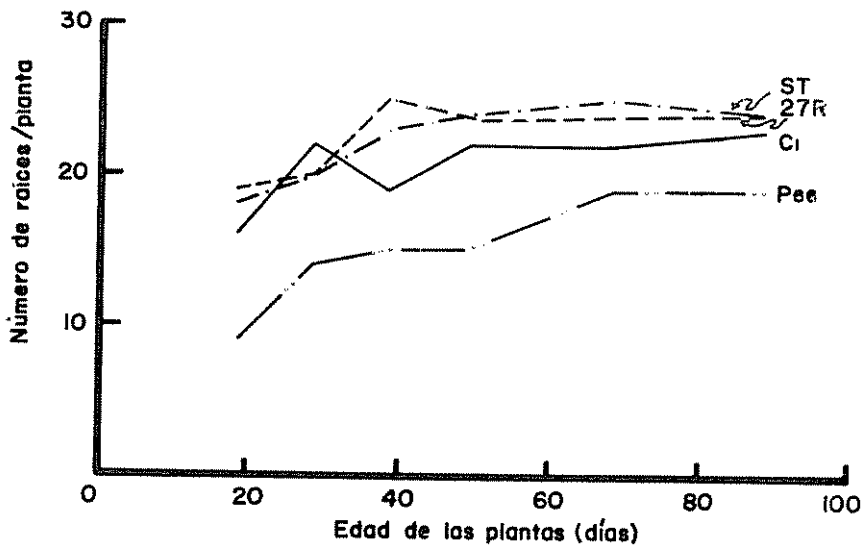


Fig. 13 Número de raíces primarias, en plantas de 4 variedades de frijol a diferentes edades.



comparaciones de media por la prueba de Duncan (Cuadro 5), las plantas de la variedad P66 mostraron una tasa de incremento mayor que las de la 27R, pero al compararla con Cl y ST no se detectaron diferencias. Por otro lado, comparando Cl, ST y 27R, tampoco se encontraron diferencias estadísticamente detectables.

El análisis de los promedios de números de raíces estimadas al final de la vida de las plantas se notó que las variedades ST, 27R y Cl, sin alcanzar diferencias significativas entre ellas, superaron a la P66.

#### 4.5 Absorción de Agua

En el Cuadro 7 se muestran los datos de absorción de agua en diferentes períodos de vida de las plantas. Las máximas demandas aparentes correspondieron, para 27R, al período 38-48 días, y para las variedades P66, ST y Cl, al período 48-68 días. Estos períodos coinciden con la época de formación de frutos para las variedades ST, Cl y 27R y con el período de inicio de floración para P66 (ver Cuadros 1 y 2 del Apéndice).

El análisis de variancia de las tasas logarítmicas de incremento y absorción final acumulada mostraron que existieron diferencias altamente significativas entre variedades (Cuadros 3 y 4).

Los promedios de tasas y la absorción final estimada se muestran en los Cuadros 3 y 4 del Apéndice.

La tasa logarítmica de incremento de las plantas de la variedad P66 fueron mayores que de las demás. Las tasas correspondientes a ST y Cl fueron iguales pero superiores a 27R. En cuanto al total estimado de agua absorbida se encontraron diferencias significativas entre las variedades en el siguiente orden decreciente: Cl, P66, ST y 27R (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores promedios y representación gráfica de la significación de Duncan en las variables de absorción de agua y nutrientes de cuatro variedades de frijol

		Tases de incremento logarítmico (/planta/día)			Valores estimados /38 días			
Absorción de agua (ml)	P66	ST	CI	27R	CI	F66	ST	27R
	3,96	3,62	3,34	2,95	48737,03	44798,22	41581,32	32437,19
Absorción de N (mg)	ST	F66	CI	27R	CI	ST	F66	27R
	2,68	2,33	2,00	1,96	4881,93	4836,32	4862,16	3953,16
Absorción de P (mg)	P66	ST	CI	27R	CI	F66	ST	27R
	3,24	2,86	2,70	2,36	873,25	859,92	847,09	793,47
Absorción de K (mg)	P66	ST	CI	27R	CI	ST	F66	27R
	2,85	2,54	2,22	2,03	5851,29	5722,02	5331,71	4169,86
Absorción de Ca (mg)	ST	P66	CI	27R	CI	ST	27R	F66
	3,25	2,87	2,67	2,49	2712,72	2461,87	2401,76	2329,23
Absorción de Mg (mg)	P66	ST	CI	27R	P66	ST	CI	27R
	4,73	2,88	2,37	2,34	949,92	583,38	556,61	326,34
Absorción de S (mg)	P66	ST	CI	27R	ST	CI	F66	27R
	3,16	2,61	1,89	1,75	629,33	600,59	573,96	510,43

Las variedades unidas por una barra horizontal no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidad.

Cuadro 7. Absorción de agua y macroelementos en los diferentes períodos de crecimiento de las cuatro variedades de frijol. (Datos promedios de cuatro plantas/variedad)

Períodos (Días)	Variedades	Absorción de agua (ml/planta)	Absorción de macroelementos (mg./planta)						
			N	P	K	Ca	Mg	S	
0-18	P66	150,75	140,14	10,60	80,00	35,00	4,01	0,01	
	27R	357,00	183,44	16,50	185,00	50,00	8,00	22,00	
	ST	210,00	103,56	9,00	160,00	20,40	11,00	14,00	
	CI	233,00	246,86	12,00	210,00	55,00	20,00	36,00	
18-28	P66	515,50	298,42	42,18	173,34	86,08	16,97	59,99	
	27R	1221,75	390,37	56,25	310,49	88,59	17,34	90,93	
	ST	762,50	445,27	41,24	213,28	62,34	13,74	41,25	
	CI	1371,50	348,39	43,68	301,40	90,17	23,43	94,58	
23-35	P66	1422,75	259,87	62,06	344,62	118,23	23,42	66,71	
	27R	3131,50	499,23	128,02	579,09	282,28	45,07	22,70	
	ST	1765,00	238,06	96,75	522,93	157,06	34,21	26,25	
	CI	3395,00	651,37	114,18	824,90	309,40	60,93	32,93	
35-48	P66	6593,20	1302,59	188,06	1406,25	524,53	115,78	148,12	
	27R	7141,00	955,82	158,62	1021,87	438,29	67,02	104,06	
	ST	4970,00	933,65	148,12	1173,28	323,43	67,56	72,56	
	CI	8841,50	1124,07	180,56	1423,03	515,62	140,62	97,50	
48-68	P66	27011,00	1553,26	245,43	2218,12	1070,68	324,43	280,50	
	27R	10963,50	912,73	145,24	984,84	672,71	76,55	150,16	
	ST	26100,50	1783,36	293,99	2493,74	1418,00	327,40	264,21	
	CI	22368,25	1418,54	249,37	1614,56	1093,12	159,84	192,38	
68-88	P66	13345,20	1563,76	227,06	1471,31	953,62	140,71	67,50	
	27R	8635,75	1077,76	220,31	1263,75	850,31	127,50	223,75	
	ST	17246,00	1262,92	222,18	1909,12	901,87	310,31	300,56	
	CI	10747,73	1325,75	219,93	1772,62	892,50	235,59	255,33	

#### 4.6 Absorción de Macroelementos

Los datos de absorción de macroelementos en diferentes períodos de edad de las plantas se indican en el Cuadro 7. Los resultados del análisis de variancia de las tasas logarítmicas de incremento y estimados de absorción (absorción acumulada) se encuentran en los Cuadros 3 y 4 respectivamente y sus promedios correspondientes en los Cuadros 3 y 4 del Apéndice. En el Cuadro 6 se muestran los resultados de las pruebas de significación de Duncan.

##### 4.6.1 Nitrógeno

En el Cuadro 7 se puede apreciar que el período de mayor demanda aparente de N para todas las variedades fue el de 38-48 días.

Comparando los promedios de las tasas logarítmicas de absorción, las plantas de la variedad ST superaron a los de P66. Estas a su vez superaron a las plantas de C1 y 27R, las que no mostraron diferencias entre sí.

Según el análisis de variancia de la absorción de N (estimado) no se detectaron diferencias significativas entre variedades, pero al hacer la prueba de Duncan se encontró que las plantas C1 y ST consumieron más N en comparación con 27R, pero entre las plantas P66 y 27R no hubieron diferencias significativas en el consumo de este elemento.

##### 4.6.2 Fósforo

El período de mayor consumo aparente de este elemento estuvo comprendido entre los 38 y 48 días en las cuatro variedades (Cuadro 7).

Se comprobó que las variedades estudiadas tuvieron diferentes tasas de absorción de P, en el siguiente orden decreciente P66,

ST, Cl y 27R, sin embargo el consumo para los 88 días fue estadísticamente igual en las cuatro variedades.

#### 4.6.3 Potasio

Por los datos del Cuadro 7 se concluye que la absorción máxima aparente de este elemento en las plantas Cl, P66 y 27R se registraron en el período 38-48 días, pero para las plantas ST lo fue en el período 48-68 días.

Según las pruebas de significación de Duncan, las plantas de P66 tuvieron tasa logarítmica de incremento de absorción de K significativamente más alta que las plantas de las demás variedades. Las plantas ST mostraron una tasa más alta que los Cl y 27R, estas últimas no mostraron diferencias entre sí.

No se detectaron diferencias significativas en absorción estimada de K entre las plantas Cl, ST y P66, pero estas superaron a las 27R.

#### 4.6.4 Calcio

Las mayores demandas aparentes de este elemento se presentaron en los mismos períodos que para el K, pero al hacer comparaciones de tasas logarítmicas de absorción se encontró que las plantas ST superaron al de las variedades P66, Cl y 27R. Entre P66 y Cl no hubieron diferencias pero las plantas P66 superaron a las 27R. No se detectaron diferencias significativas en absorción de Ca durante el período que duró el cultivo en lo relacionado al calcio total estimado (Cuadro 6).

#### 4.6.5 Magnesio

Este elemento fue absorbido en mayor cantidad aparente por las plantas 27R y Cl en el período 38-48 días, y por las plantas P66 y ST en el período siguiente de los 48-68 días.

Comparando las medias por la prueba de Duncan, se encontró que las plantas P66 tuvieron la tasa logarítmica de absorción de Mg significativamente más alta. Las plantas de las otras variedades no mostraron diferencias estadísticamente importantes (Cuadro 6).

Los promedios de absorción total de Mg para las plantas P66 superó al de las demás variedades. Comparando ST, Cl y 27R no se detectaron diferencias significativas (Cuadro 6).

#### 4.6.6 Azufre

En absorción de este elemento con relación al tiempo (Cuadro 7) se encontraron resultados sin tendencias definidas, así, las plantas de P66 y de 27R mostraron mayor absorción aparente en el período 38-48 días; las plantas de ST en el período 48-68 días y las de Cl en el último período (68-88 días).

Las variedades que mostraron tasa logarítmica de absorción de S más altas fueron P66 y ST que superaron a las demás. Pero las plantas de P66 superaron a las de ST (Cuadro 6). Según los datos estimados, las plantas de las variedades ST y Cl absorbieron significativamente mayor cantidad de S en comparación con las de P66 y 27R, pero entre las plantas de las dos variedades de cada grupo no hubieron diferencias.

#### 4.7 Contenido de Macroelementos en Raíces y Hojas

En el Cuadro 8 se muestra, para cada variedad, el contenido de los elementos mayores en raíces y hojas en diferentes edades, expresado en porcentaje.

Las variaciones siguen una curva logarítmica, tal como se puede apreciar en las Figuras 10 a 21 del Apéndice. Las tasas

Cuadro 8. Porcentaje de macroelementos en base a materia seca contenida en raíces (R) y hojas (H) de frijol

Edad días	Variedades	N		P		K		Ca		Mg		S	
		R	H	R	H	R	H	R	H	R	H	R	H
18	P66	4,61	5,53	1,32	0,75	4,37	5,08	0,35	1,08	0,43	0,11	0,61	0,40
	27R	4,28	5,43	1,49	0,92	5,75	4,70	0,43	1,75	0,35	0,45	0,50	0,28
	ST	4,54	5,53	1,66	0,72	4,00	4,87	0,56	2,55	0,35	0,48	0,46	0,33
	Cl	4,87	5,91	1,86	0,85	6,33	4,70	0,54	2,50	0,47	0,53	0,64	0,30
28	P66	3,93	6,08	2,21	0,95	6,66	5,00	0,40	3,22	0,42	0,46	0,62	0,53
	27R	3,66	5,58	2,30	0,95	6,80	4,52	0,55	3,00	0,21	0,52	0,50	0,27
	ST	4,37	5,44	2,42	0,75	5,30	5,80	0,46	2,97	0,24	0,55	0,51	0,34
	Cl	4,27	5,18	2,31	0,90	5,30	5,77	0,71	3,85	0,34	0,77	0,50	0,36
38	P66	4,17	6,23	2,26	0,84	7,60	4,02	0,29	3,10	0,27	0,56	0,66	0,35
	27R	4,16	5,15	1,72	0,72	6,20	3,00	0,46	3,10	0,40	0,47	0,38	0,22
	ST	4,60	5,89	2,08	0,69	5,90	5,25	0,32	2,57	0,31	0,37	0,49	0,29
	Cl	4,62	5,67	1,59	0,65	5,70	4,72	0,51	3,17	0,37	0,63	0,65	0,30
48	P66	3,42	5,79	0,83	0,64	1,77	3,90	1,06	3,17	0,32	0,56	0,29	0,25
	27R	2,76	4,89	0,58	0,60	0,71	3,85	1,08	3,45	0,32	0,54	0,17	0,20
	ST	3,92	5,52	0,81	0,69	1,00	5,25	0,78	2,60	0,32	0,52	0,32	0,30
	Cl	3,55	5,37	0,80	0,51	1,30	4,70	1,09	3,50	0,39	0,53	0,31	0,28
68	P66	2,80	4,37	0,69	0,62	5,17	3,20	0,30	2,70	0,32	0,60	1,02	0,25
	27R	3,69	3,45	1,24	0,49	5,05	3,27	0,62	6,30	0,34	0,37	0,33	0,19
	ST	3,87	3,70	0,46	0,36	3,25	3,62	0,50	4,65	0,58	0,67	0,78	0,21
	Cl	3,49	2,65	0,62	0,27	3,35	4,00	0,81	6,75	0,33	0,56	0,41	0,15
88	P66	2,98	3,69	0,48	0,53	1,00	3,15	0,91	2,97	0,19	0,82	0,34	0,29
	27R	3,54	3,25	0,79	0,50	4,95	2,65	0,56	6,30	0,50	0,46	0,43	0,22
	ST	2,72	2,17	0,22	0,18	3,22	2,45	0,65	4,40	1,07	0,59	1,03	0,26
	Cl	3,47	2,55	0,22	0,23	2,72	4,70	0,85	7,00	0,71	0,62	0,66	0,18

logarítmicos de incremento y el contenido promedio al final del ciclo de vida se encuentran en los Cuadros 3 y 4 del Apéndice, respectivamente.

Comparando la tendencia de las curvas del contenido de N, P y K vemos que con la edad ésta disminuye en cada elemento tanto en raíces como en hojas de las cuatro variedades (Figuras 1 a 6 del Apéndice), por lo tanto las tasas logarítmicas de incremento son negativas para las cuatro variedades.

El contenido de Ca en raíces y hojas sigue tendencias positivas en forma similar en las cuatro variedades (Figuras 7 y 8 del Apéndice).

Las tendencias que siguen el contenido de Mg y S (Figuras 9 a 12) son diferentes en cada variedad y dentro de la misma variedad para raíces y hojas. Así las variedades 27R, ST y Cl poseen tasas positivas de incremento de Mg en raíces, la variedad P66 tasa negativa. En hojas la situación se invierte para las variedades P66, 27R y Cl. La variedad ST mantiene tasa positiva. El S sigue tendencias negativas tanto en raíces como en hojas de las variedades estudiadas a excepción de las raíces de las plantas ST.

#### 4.8 Componentes de Rendimiento

Al hacer los análisis de la variancia, para cada componente del rendimiento (Cuadro 4) se detectó que existen diferencias altamente significativas en rendimiento entre variedades. Las pruebas de significación de Duncan de los promedios (Cuadro 9), nos mostró los resultados que se exponen a continuación.

##### 4.8.1 Peso de semillas por planta

Al comparar los pesos de las semillas por planta producidas



Cuadro 9. Valores promedios y representación gráfica de la significación de Duncan en los componentes de rendimiento de cuatro variedades de frijol

	ST	C1	27R	P66
Peso seco de semillas/planta (g)	<u>105,35</u>	<u>102,17</u>	64,88	46,09
	C1	ST	P66	27R
Número de frutos/planta	<u>50,25</u>	<u>40,50</u>	<u>27,50</u>	<u>24,50</u>
	P66	C1	ST	27R
Número de semillas/frutos	14,11	<u>6,42</u>	<u>5,86</u>	4,33
	ST	P66	C1	27R
Número de semillas/planta	<u>470,75</u>	<u>390,00</u>	298,00	61,75
	27R	C1	ST	P66
Peso de 100 semillas (g)	57,96	31,62	22,42	11,83

Las variedades unidas por una barra horizontal no muestran diferencias significativas al nivel de 0,05 de probabilidades.

por cada variedad no se detectaron diferencias importantes entre los rendimientos alcanzados por las plantas ST y C1, ambas superaron a 27R y P66. A su vez las plantas 27R alcanzaron mayor rendimiento que las P66.

El rendimiento estimado por hectárea con 200.000 plantas fue el siguiente:

<u>Variedad</u>	<u>g/planta</u>	<u>kg/ha</u>
ST	105,35	21070
C1	102,17	20434
27R	64,88	12976
P66	46,09	9218

#### 4.8.2 Número de frutos por planta

Las plantas de las variedades C1 y ST, sin mostrar diferencias significativas entre ellas, produjeron significativamente mayor número de frutos que las plantas de P66 y 27R, que a su vez produjeron lo mismo.

#### 4.8.3 Número de semillas por fruto

Las plantas de la variedad P66 superaron ampliamente a las demás variedades estudiadas. No se detectó diferencia significativa en esta característica entre C1 y ST; estas variedades produjeron significativamente mayor número de semillas por vaina que 27R.

#### 4.8.4 Número de semillas por planta

Comparando el número de semillas por planta de la variedad ST con P66 no hubo diferencia significativa, pero las plantas de ST alcanzaron a superar a las de C1 y 27R. Entre P66 y C1 tampoco se detectó diferencia significativa en esta característica. La variedad 27R fue superada por las tres variedades aludidas.

#### 4.8.5 Peso de 100 semillas

Al hacer las comparaciones de los promedios se encontraron diferencias significativas en el peso de 100 semillas entre las cuatro variedades, en el siguiente orden decreciente 27R, C1, ST y P66.

### 4.9 Correlaciones entre las Características Estudiadas en Cuatro Variedades de Frijol

#### 4.9.1 Correlación entre condiciones climáticas y algunas características de crecimiento y absorción

En el Cuadro 10 donde se presentan las correlaciones aludidas se puede notar que todos los coeficientes son negativos indicando que, en condiciones del invernadero, a medida que disminuye las magnitudes de las variables climáticas las otras variables aumenta y viceversa.

En las plantas de la variedad P66 la radiación solar alcanzó correlación media con la longitud de raíces y con las demás variables esta correlación fue baja. En la variedad 27R se detectó

Cuadro 10. Coeficiente de correlación entre condiciones climáticas del invernadero y algunas variables observadas en cuatro variedades de frijol\*

	P66	27R	ST	Cl
<u>R a d i a c i ó n   s o l a r</u>				
Peso seco raíces	-0,38	-0,51	-0,47	-0,54
Area foliar	-0,39	-0,71	-0,48	-0,69
Longitud de raíces	-0,60	-0,71	-0,53	-0,70
Absorción de agua	-0,41	-0,58	-0,42	-0,49
Absorción de N	-0,40	-0,50	-0,35	-0,61
Absorción de P	-0,49	-0,65	-0,57	-0,67
Absorción de K	-0,47	-0,55	-0,52	-0,64
Absorción de Ca	-0,42	-0,56	-0,44	-0,59
<u>F o t o t e m p e r a t u r a</u>				
Peso seco raíces	-0,36	-0,60	-0,47	-0,58
Longitud de raíces	-0,57	-0,62	-0,51	-0,65
Absorción de agua	-0,30	-0,40	-0,31	-0,26
<u>N i c t o t e m p e r a t u r a</u>				
Peso seco parte aérea	-0,84	-0,91	-0,82	-0,89
Peso seco raíces	-0,75	-0,93	-0,82	-0,92
Area foliar	-0,33	-0,84	-0,45	-0,71
Volumen radical	-0,77	-0,85	-0,79	-0,89
Longitud de raíces	-0,81	-0,80	-0,74	-0,82
Número de raíces	-0,79	-0,27	-0,52	-0,42
Absorción de agua	-0,70	-0,78	-0,64	-0,60
Absorción de N	-0,77	-0,81	-0,65	-0,82
Absorción de P	-0,81	-0,89	-0,77	-0,85
Absorción de K	-0,68	-0,82	-0,74	-0,86
Absorción de Ca	-0,78	-0,88	-0,65	-0,81
Absorción de Mg	-0,55	-0,74	-0,66	-0,86
Absorción de S	-0,36	-0,43	-0,65	-0,76

\* No figuran las variables que mostraron baja correlación con los datos climáticos en las cuatro variedades.

correlación media con las variables: peso seco de raíces, absorción de agua, absorción de N, P, K, y Ca y asociación alta con área foliar y extensión de raíces. En la variedad ST se pudo notar correlación media con longitud de raíces, absorción de P y K. En la variedad Cl se aprecia correlación media entre las variables comparadas, menos en absorción de agua que mostró correlación baja.

En cuanto al factor fototemperatura, en la variedad 27R y C1 se obtuvieron correlaciones medias con peso seco y longitud de raíces mientras que en P66 y ST la correlación media se observó con extensión de raíces y baja con el peso correspondiente.

El factor nictotemperatura es el que mostró correlación más alta con mayor número de variables tal como puede apreciarse en el mismo Cuadro 9. Así, en la variedad 27R se alcanzó correlación muy alta con los pesos secos de la parte aérea, peso seco de raíces, absorción de P y Ca y en la variedad C1 con los pesos secos de la parte aérea, de raíces, volumen y longitud radical.

#### 4.9.2 Correlación general de los valores estimados finales y las tasas de incremento de las características estudiadas

En base a la matriz de correlación (Cuadro 11), se tiene los siguientes grados de asociación ( $r^2 \times 100$ ):

a) Rendimiento de semillas por planta: Esta característica mostró una muy alta correlación positiva con peso seco de la parte aérea, absorción de fósforo y contenido de Mg de raíces y negativa con por ciento de Mg en raíces y por ciento de N y P en hojas. También estuvo altamente correlacionada, en forma positiva, con área foliar, número de raíces, absorción de Ca, por ciento de N en raíces y tasa de incremento de Mg en raíces. En forma alta, pero negativa, estuvo asociada con peso de raíces y tasas de incremento en longitud de raíces.

El rendimiento también estuvo asociado positivamente, en grado medio, con tasas de absorción de Mg; tasas y por ciento de S en raíces, por ciento de K en hojas y tasas de incremento de Mg en hojas; y en forma negativa con tasas de incremento del número de raíces y tasa de incremento del por ciento de Ca en las raíces.

Line	Column	Value
1	1	0.000
1	2	0.000
1	3	0.000
1	4	0.000
1	5	0.000
1	6	0.000
1	7	0.000
1	8	0.000
1	9	0.000
1	10	0.000
1	11	0.000
1	12	0.000
1	13	0.000
1	14	0.000
1	15	0.000
1	16	0.000
1	17	0.000
1	18	0.000
1	19	0.000
1	20	0.000
1	21	0.000
1	22	0.000
1	23	0.000
1	24	0.000
1	25	0.000
1	26	0.000
1	27	0.000
1	28	0.000
1	29	0.000
1	30	0.000
1	31	0.000
1	32	0.000
1	33	0.000
1	34	0.000
1	35	0.000
1	36	0.000
1	37	0.000
1	38	0.000
1	39	0.000
1	40	0.000
1	41	0.000
1	42	0.000
1	43	0.000
1	44	0.000
1	45	0.000
1	46	0.000
1	47	0.000
1	48	0.000
1	49	0.000
1	50	0.000
1	51	0.000
1	52	0.000
1	53	0.000
1	54	0.000
1	55	0.000
1	56	0.000
1	57	0.000
1	58	0.000
1	59	0.000
1	60	0.000
1	61	0.000
1	62	0.000
1	63	0.000
1	64	0.000
1	65	0.000
1	66	0.000
1	67	0.000
1	68	0.000
1	69	0.000
1	70	0.000
1	71	0.000
1	72	0.000
1	73	0.000
1	74	0.000
1	75	0.000
1	76	0.000
1	77	0.000
1	78	0.000
1	79	0.000
1	80	0.000
1	81	0.000
1	82	0.000
1	83	0.000
1	84	0.000
1	85	0.000
1	86	0.000
1	87	0.000
1	88	0.000
1	89	0.000
1	90	0.000
1	91	0.000
1	92	0.000
1	93	0.000
1	94	0.000
1	95	0.000
1	96	0.000
1	97	0.000
1	98	0.000
1	99	0.000
1	100	0.000

Luzora II. Matriz de correlacion entre las variables estudiadas en tres vertederos de Ejidal  
Econo y uso de fertiliz de racion.

## Explicación de las variables de la matriz del Cuadro 11:

- R = Coeficiente de correlación
- X1 = Tasas logarítmicas de incremento en peso seco parte aérea total
- X2 = Peso seco parte aérea total
- X3 = Rendimiento
- X4 = Tasas logarítmicas de incremento de peso seco de tallo + hojas
- X5 = Peso seco de tallo + hojas, final
- X6 = Tasas logarítmicas de incremento en peso seco de raíces
- X7 = Peso seco de raíces, final
- X8 = Tasas logarítmicas de incremento en área foliar
- X9 = Área foliar
- X10 = Tasas logarítmicas de incremento en volumen radical
- X11 = Volumen radical
- X12 = Tasas logarítmicas de incremento en longitud de raíces primarias
- X13 = Longitud de raíces primarias
- X14 = Tasas logarítmicas de incremento en número de raíces primarias
- X15 = Número de raíces primarias
- X16 = Tasas logarítmicas de incremento en absorción de agua
- X17 = Absorción de agua
- X18 = Tasas logarítmicas de incremento en absorción de N
- X19 = N absorbido
- X20 = Tasas logarítmicas de incremento en absorción de P
- X21 = P absorbido
- X22 = Tasas logarítmicas de incremento en absorción de K
- X23 = K absorbido
- X24 = Tasas logarítmicas de incremento en absorción de Ca
- X25 = Ca absorbido
- X26 = Tasas logarítmicas de incremento en absorción de Mg
- X27 = Mg absorbido
- X28 = Tasas logarítmicas de incremento en absorción de S
- X29 = S absorbido
- X30 = Tasas logarítmicas de incremento de porcentaje de N en raíces
- X31 = Porcentaje de N en raíces
- X32 = Tasas logarítmicas de incremento del porcentaje de P en raíces
- X33 = Porcentaje de P en raíces
- X34 = Tasas logarítmicas de incremento del porcentaje de K en raíces
- X35 = Porcentaje de K en raíces
- X36 = Tasas logarítmicas de incremento del porcentaje de Ca en raíces
- X37 = Porcentaje de Ca en raíces
- X38 = Tasas logarítmicas de incremento del porcentaje de Mg en raíces
- X39 = Porcentaje de Mg en raíces
- X40 = Tasas logarítmicas de incremento del porcentaje de S en raíces
- X41 = Porcentaje de S en raíces
- X42 = Tasas logarítmicas de incremento del porcentaje de N en hojas
- X43 = Porcentaje de N en hojas
- X44 = Tasas logarítmicas de incremento del porcentaje de P en hojas
- X45 = Porcentaje de P en hojas
- X46 = Tasas logarítmicas de incremento del porcentaje de K en hojas
- X47 = Porcentaje de K en hojas
- X48 = Tasas logarítmicas de incremento del porcentaje de Ca en hojas
- X49 = Porcentaje de Ca en hojas
- X50 = Tasas logarítmicas de incremento del porcentaje de Mg en hojas
- X51 = Porcentaje de Mg en hojas
- X52 = Tasas logarítmicas de incremento del porcentaje de S en hojas
- X53 = Porcentaje de S en hojas.

Con las demás variables los rendimientos en grano mostraron correlación baja, o sea grados de asociación inferior a 25%.

b) Peso seco de raíces: En cuanto a correlación de las variables radiculares, objetivo principal en el presente trabajo, se encontró que las tasas logarítmicas de incremento de materia seca de raíces estuvieron muy altamente relacionadas en forma positiva con tasas de incremento de volumen radical, tasas de incremento del número de raíces, tasas de absorción de agua, tasas de absorción de P, K, Mg y S y porcentaje de Mg en hojas. Con tasas de contenido de N en raíces, lo estuvo en forma negativa. Similar correlación se observó con contenido de N en raíces y Ca y Mg en hojas.

Porcentajes altos de asociación positiva se detectaron entre tasas logarítmicas de incremento de materia seca de raíces y las siguientes variables: su correspondiente peso seco, volumen radical, por ciento de N en hojas, tasa de longitud de raíces y por ciento de Ca. En forma alta pero negativa este variable estuvo asociado con absorción de P y porcentaje de K en raíces. Con las demás variables mostró correlaciones medianas y bajas.

Considerando el grado de asociación entre peso seco de raíces y las variables consideradas se encontró que está relacionado negativamente con peso seco total de la parte aérea (88%), área foliar (84%), longitud de raíces (43%), número de raíces (27%), absorción de P (67%), porcentaje de Ca en raíces (70%), absorción de Ca (96%), porcentaje de nitrógeno en raíces (57%) y porcentaje de Ca en hojas (64%). Mostró también una correlación media y positiva con las tasas logarítmicas de incremento del volumen radical, de la longitud de raíces, del número de raíces, de absorción de potasio. Con la tasa de absorción

de Mg la correlación fue alta así como también con las tasas de incremento de absorción de S, tasas de contenido de N, K y Mg en hojas y contenido de N, P, K y S en hojas.

e) Volumen radical: Evaluando las tasas logarítmicas de incremento diario de volumen radical a través del ciclo de vida de las plantas en las cuatro variedades de frijol (Cuadro 11) encontramos que guarda correlación muy alta y positiva con las tasas logarítmicas de incremento de peso de materia seca de la parte aérea, con las de absorción de agua, con las de absorción de P, K y S y una correlación muy alta pero negativa con las tasas de porcentaje de N en raíces, y las de Ca en hojas. Los coeficientes de correlación de esta característica fueron altos con las tasas de incremento de número de raíces, las de absorción de N, Ca y Mg, y tasas del porcentaje de Mg en hojas. Guardó correlación media positiva con tasa de incremento de longitud de raíces, tasa de incremento de área foliar, absorción de K y S, y correlación media negativa con absorción de P y tasa de incremento y porcentaje de P en raíces.

El grado de asociación entre el volumen radical con otras características fue como sigue: con la tasa logarítmica de incremento de absorción de agua (75%), absorción de N (81%), absorción de P (67%), absorción de K (70%), absorción de Ca (86%), absorción de Mg (30%), absorción de S (56%), de acumulación en raíces de N (64%) y de P (75% negativa), de Ca en hojas (98% negativa) y Mg en hojas (26%). Las correlaciones del volumen radical con variables estimadas para el final del ciclo de vida fue como sigue: con volumen de agua absorbido (27%), absorción de N (53%), de K (53%), de Mg (49%), de S (81%), contenido de P en raíces (81% negativa), de K en raíces (54% negativa) y de S en raíces (82%) contenido de Ca en hojas (68%), de Mg en hojas



(50%) y de S en hojas (59%). La correlación fue baja con área foliar y con las variables no citadas en el presente párrafo.

d) Extensión de raíces: Las tasas logarítmicas de incremento de crecimiento en longitud de las raíces primarias estuvieron más relacionadas con las variables de absorción y contenido de macroelementos en raíces y hojas, además de las correlaciones ya citadas se puede agregar que la longitud de total de raíces mostraron alto grado de asociación con área foliar (59%), absorción de Ca (53%), contenido de Ca en raíces (84%) y contenido de K en hojas (73%).

e) Número de raíces primarias: La tasa logarítmica de incremento de número de raíces primarias mostró una buena correlación con las tasas de absorción de P, K, Mg y S y contenido de macroelementos en raíces y hojas. El número final de raíces primarias mostró las mayores correlaciones con absorción de P (82%), de Mg (65% negativa), contenido de N (81%), K (42%) y Mg (81%) en raíces y contenido de N (77,44%), P (64,76%) y Mg (64% negativa) en hojas.

f) Absorción de agua y macroelementos: Tanto las tasas de absorción de agua como su volumen total absorbido guardaron buena correlación positiva con las tasas de absorción de macroelementos y con la cantidad total absorbida de ellos. Además de las relaciones con las variables de crecimiento de raíces, ya descritas en párrafos anteriores, la absorción de agua mostró alto porcentaje de asociación con el área foliar (43%).

## 5. DISCUSION

### 5.1 Crecimiento del Sistema Radical

Las diferentes tasas logarítmicas de incremento obtenidas para las variables de crecimiento del sistema radical mostraron que existieron diferencias en velocidad de crecimiento de raíces entre las plantas de una variedad a otra y estas diferencias fluctuaron a través del ciclo de vida de las plantas. Así P66, que inició su floración 20 días después de C1 y 27R, alcanzó tasas de incrementos más altas tanto en peso seco como en volumen radical. Lo anteriormente dicho se ve en las Figuras 11 y 13, donde P66 y ST al comienzo tienen crecimiento radical relativamente lento pero en el período próximo a la floración dicha tasa de incremento aumenta y es constante por algún tiempo en ambas variedades mientras que en C1 y 27R el crecimiento fue rápido por corto tiempo hasta los 40 días deteniéndose momentáneamente durante 20 días para reanudar otra vez un crecimiento tan rápido como al principio. Esta momentánea detención en la tasa de incremento de peso de raíces corresponde al período de floración intensa de estas variedades. El comportamiento de P66 en hábito de crecimiento radical puede atribuirse a su diferente constitución genética por tratarse de otra especie.

Considerando las características morfológicas, el sistema radical de las plantas de frijol de costa, variedad P66, mostró una raíz principal más larga que sus raíces laterales primarias, mientras que en las plantas de frijol común, variedades 27R, ST y C1, las raíces principales alcanzaron longitudes que se confunden con las raíces laterales primarias. Las raíces fueron más ramificadas en las plantas de 27R y P66, estas últimas tuvieron raíces secundarias

relativamente cortas y menos numerosas pero raíces terciarias más numerosas. Las plantas de las variedades ST y Cl no mostraron raíces terciarias; las plantas de la variedad ST se caracterizan por tener raíces secundarias más numerosas pero relativamente cortas.

La tasa logarítmica de crecimiento en longitud de las raíces primarias, fue igual estadísticamente en las variedades Cl, 27R y ST las que alcanzaron tasas menores que P66. El incremento en número de raíces primarias después de los 18 días de edad fue relativamente pequeño y sin mucha variación entre una y otra variedad.

Teniendo en cuenta el criterio generalizado de que las raíces son un "sistema deformable" (10) podemos suponer que en el cultivo hidropónico en el que se desarrollaron las raíces no se modificó la expresión genotípica propia de cada variedad. Por lo tanto, el hábito de crecimiento de las raíces observado en las condiciones de este experimento puede ser utilizado para estudiar su relación con los hábitos de crecimiento de la parte aérea, según la opinión de varios investigadores, pueden estar gobernados por los mismos genes (28, 41, 48).

Las descripciones morfológicas de raíces encontradas en otros trabajos (24, 34, 39, 42) coinciden parcialmente con las obtenidas en el presente estudio puesto que el grado de ramificación es mayor para plantas arbustivas y erectas que requieren mejor sistema de fijación mientras que las variedades volubles presentan raíces poco ramificadas y de longitud uniforme probablemente debido a que los tallos de la planta contribuyen en el sostén de la misma.

A pesar de tener diferentes tasas logarítmicas de incremento tanto en peso seco como de volumen radical, al final del ciclo de vida no se alcanzaron diferencias significativas al comparar las

raíces de las cuatro variedades. La 27R aun siendo de porte pequeño alcanzó peso y volumen de raíces relativamente altos, atribuible probablemente a la influencia del medio de cultivo y las condiciones climáticas del invernadero. Estas causas motivaron que las plantas mantuvieran el follaje siempre verde con engrosamiento progresivo del tallo y crecimiento de algunas raíces laterales primarias y sus ramificaciones en el período de floración y crecimiento de frutos, que correspondió en esta variedad, a una reducción en la tasa de incremento de peso seco de raíces (Cuadro 2 del Apéndice). Estas alteraciones anatómico-morfológicas retardaron el secado comercial de los frutos. Estos resultados se oponen al criterio de Law, citado por Troughton y Whittington (41), estableciendo que un cromosoma 7B que determina floración temprana también determina un peso relativamente bajo de raíz y como consecuencia una planta pequeña.

Los períodos de mayor crecimiento del sistema radical en las plantas de las cuatro variedades coincidieron con el período de máximo crecimiento de la parte aérea o sea en la época de floración y crecimiento de los frutos. Luego el crecimiento en longitud y aumento de peso seco de las raíces continúa en forma lenta mientras las plantas tengan algunas hojas verdes, cesando el aumento de raíces laterales primarias. De allí que el aumento de peso seco de las raíces podría deberse a lignificación de los tejidos adultos y al alargamiento de las raíces secundarias. En las plantas de la variedad P66, el volumen radical al momento de la cosecha mostró una disminución, pero su peso seco mostró ligero aumento. Esto se debió tal vez a que, las porciones terminales de las raíces primarias que se desintegran al final del ciclo por ser tejidos aún no diferenciados, al secarse tienen peso muy bajo en comparación al volumen que

representan. El fenómeno común para todas las plantas de las tres variedades de frijol común de formar nuevos brotes de hojas y raíces después de la maduración de los frutos no se presentó en P66.

Si consideramos el peso seco de raíces como medida de su crecimiento, no se observó el detenimiento de crecimiento del sistema radical poco después de iniciada la fructificación tal como lo han reportado previamente otros investigadores (1, 10, 13).

## 5.2 Absorción de Agua y Macroelementos

Las mayores demandas de agua en las variedades estudiadas, se produjo en el período comprendido entre la floración y el crecimiento de los frutos, lo cual concuerda con las conclusiones de Masaya (26) y Salter y Drew (35).

En las condiciones de este experimento la velocidad de absorción de agua en las variedades de las dos especies consideradas, estuvo asociada directamente el incremento de peso seco de la parte aérea de las plantas.

El volumen total de agua absorbido por las plantas fue diferente aún en variedades que mostraron tasas de absorción similares, fenómeno que podría atribuirse a las exigencias propias de cada variedad que está en relación a su área foliar o al tiempo que su follaje se mantuvo fotosintéticamente activo. Así C1 absorbió mayor volumen de agua por que durante los 50 primeros días de edad el aumento en follaje fue mayor que en las tres variedades restantes y siguió el incremento hasta los 68 días y este follaje lo mantuvo aproximadamente hasta el final de su ciclo. Por otra parte P66 mostró la mayor tasa logarítmica de absorción de agua pero el volumen total absorbido fue inferior al de C1 lo cual se pudo deber a que, luego de

alcanzar la máxima área foliar a los 68 días, se presentó la senescencia y caída de las hojas.

Los resultados de absorción de macroelementos nos muestran que K, N y Ca fueron absorbidos en cantidades relativamente altas, en las cuatro variedades. El P, S y Mg fueron utilizados en cantidades proporcionalmente menores por las variedades ST, 27R y Cl. Las plantas de la variedad P66 tomó más Mg que las plantas de las otras variedades lo cual se reflejó en la alta concentración de este elemento en su follaje. Los resultados que nos reportan Ascencio (1), y Parker y Pierre (31) concuerdan con los de este trabajo en relación a la absorción de macroelementos en frijol común.

La diferencia marcada en cuanto a absorción de Mg por las plantas de la variedad P66 podría ser atribuida a la baja intensidad de luz dentro del invernadero acentuada por el auto sombreado de las hojas. Generalmente, la baja intensidad de luz conduce a un aumento en concentración de clorofila en las hojas para lo cual se requiere mayor cantidad de Mg ya que es su principal constituyente. Esta opinión se basa en los estudios realizados por Shirley, citado por Wilsie (47), quien sostiene que las plantas expuestas a baja intensidad luminosa aumentan su contenido de clorofila. Fenómeno que no sucede en frijol común puesto que aparentemente puede realizar fotosíntesis neta con baja intensidad de luz sin aumentar su concentración de clorofila ya que su punto de compensación es bajo (1).

Con respecto al período de máxima absorción aparente de nutrientes se obtuvo que las plantas aumentan su consumo durante la época de floración y desarrollo de los frutos con excepción del S que no mantiene tendencia definida de absorción y fluctúa de una variedad a otra conforme con el criterio de Brouwer, citado por Salter y Brew (35).

Considerando las tasas logarítmicas de absorción de los macroelementos, las plantas de la variedad ST tuvieron las más altas tasas en N y Ca, mientras que las de P66 en P, K, Mg y S. Las tasas en que fueron absorbidos los elementos N, K, Ca, Mg y S no alcanzaron diferencias significativas entre Cl y 27R las que mostraron las tasas más bajas. En P las plantas de la variedad Cl tuvieron mayor tasa de absorción que las 27R. Estas variaciones, tal como lo comenta Free-land (12) en el sentido de que la velocidad de absorción de cada elemento varía de una especie a otra, pudo además según los resultados del presente trabajo, comprobarse aún entre variedades de una misma especie. En las variedades 27R y Cl no se detectaron diferencias en las tasas de absorción de los elementos N, K, Ca, Mg y S.

El hecho de que en la cantidad total absorbida de P y Ca no se hayan alcanzado diferencias significativas entre todas las variedades, se podría atribuir a que las plantas de la variedad 27R de porte pequeño no tuvieron senescencia en el período de madurez comercial de los frutos y teniendo antecedentes que el P se retiene en las raíces (1, 4, 5) si se prolonga el desarrollo radical se tendrá consecuentemente aumento tanto de absorción como de acumulación de este elemento en las raíces. También se sabe que el Ca es un elemento que se acumula en las paredes celulares preferentemente en las hojas y si estos órganos persisten como en el caso de 27R, este elemento, para ser acumulado progresivamente tal como nos muestra el resultado del análisis químico, también será absorbido en cantidades considerables como si fuera una planta de muchas hojas pero no persistentes.

La cantidad absorbida de nutrimentos específicos está en proporción al porte o a la capacidad de producción de biomasa total,

por este motivo las variedades Cl, ST y P66 tomaron del medio de cultivo cantidades iguales de N, K, y Ng.

Las cantidades de S tomadas por las plantas de las variedades ST y Cl, sin alcanzar diferencias significativas fueron mayores a las absorbidas por P66 y 27R que tampoco mostraron diferencias significativas. La razón podría ser que son mayores los requisitos de S por las plantas con mayor producción de semillas que, como se sabe, contienen aminoácidos azufrados.

En general al discutir sobre los resultados de crecimiento del sistema radical y de las absorciones de agua y nutrimentos en diferentes variedades y especies conviene tener presente también que influyen los factores genéticos.

### 5.3 Relaciones entre el Crecimiento de la Raíz y el de la Parte Aérea

Las tasas de crecimiento del sistema radical, evaluadas como incrementos en peso seco y volumen, muestran relación estrecha con las tasas de crecimiento de las partes aéreas. Esta relación es más evidente en las variedades P66 y 27R que alcanzaron las tasas máximas y mínimas, respectivamente, en la mayoría de las variables estudiadas. Considerando en forma general los coeficientes de correlación estrecha entre tasas de incremento en volumen radical con las de peso seco de tallos + hojas y las de peso seco de la parte aérea total. Estos resultados concuerdan con los resultados de otros trabajos (10, 26, 36), que demostraron que existe una relación estrecha entre el desarrollo de las partes aéreas y el de las raíces. Como una confirmación de lo anteriormente dicho se notó que en las raíces estudiadas los volúmenes máximos de raíces correspondieron con el tiempo en que se alcanzó una máxima área foliar.



Por los resultados obtenidos con los totales alcanzados al término del ciclo de vida de las plantas se puede concluir en que hubo una correlación muy estrecha y negativa del peso seco de raíces con área foliar y con peso total de la parte aérea y entre volumen radical con peso seco de tallos+ hojas.

Este resultado se puede explicar en parte debido a que las plantas de la variedad P66 tuvieron un desarrollo vegetativo notable seguido al terminar su ciclo, por una excesiva defoliación que originó ese tipo de correlación negativa que no corresponden a las correlaciones entre las respectivas tasas durante el crecimiento. En el caso de la variedad 27R el mantenimiento del follaje activo hasta el final de su ciclo pudo haber mantenido en crecimiento continuo su sistema radical por lo cual, en este caso, se esperaría que a un mayor peso seco de raíces correspondiera una mayor área foliar y peso seco de la parte aérea total, lo cual concordaría con los resultados de trabajos anteriores (1, 25, 38).

#### 5.4 Relación del Crecimiento de las Raíces con Absorción de Agua y Nutrientos

Las correlaciones positivas muy estrechas de las tasas de incremento del sistema radical en peso seco y volumen con absorción de agua, con absorción de P, K, Mg y S y correlaciones positivas estrechas con N y Ca nos muestran, tal como sostiene Masaya (26) que durante el crecimiento de las plantas de frijol la absorción de agua y nutrientes está asociada a incrementos en peso seco y volumen del sistema radical.

Los datos mostraron que no habían diferencias en peso seco y volumen finales de las raíces en las variedades estudiadas pero sí se diferenciaron tanto en longitud y número de raíces primarias como en

su grado de ramificación. Estos resultados, en base a los estudios morfológicos de los sistemas radicales (7, 8) nos lleva a opinar que en el frijol, la absorción de agua y nutrimentos está más relacionada con la longitud y ramificación de las raíces que con su peso seco total y consecuentemente los gruesos y escasamente ramificados son menos eficientes en absorción. Así, las plantas de la variedad C1 con raíces largas y delgadas, aunque poco ramificadas, mostraron mayor capacidad de absorción de agua y nutrimentos en comparación con la variedad 27R. En ésta última variedad a pesar de tener las plantas raíces primarias abundantes y largas absorbieron agua y nutrimentos en cantidades inferiores a las demás variedades; esto podría atribuirse a baja demanda de estos elementos por la parte aérea que en esta variedad fue menor que las demás, expresada en peso seco.

El caso particular de la absorción de P y Ca que no alcanza diferencias significativas entre las plantas de las cuatro variedades podría deberse, tal como demostró Russel (33) a que los fosfatos pueden ser absorbidos y transportados aún por las partes viejas de las raíces principales por más que éstas tengan sus paredes fuertemente engrosadas.

Existe la opinión de que un incremento en absorción de agua resulta en un incremento en absorción de macroelementos (12). Esto pudo constatarse por los altos coeficientes de correlación entre las tasas de absorción de agua y macroelementos.

En base a los análisis químicos de las hojas se puede concluir en que la concentración al final del ciclo de vida de N, P, K, Ca y S guardó estrecha correlación con el peso seco final de las raíces. Este hecho junto con el buen crecimiento vegetativo que mostraron las plantas nos hace suponer que el balance de nutrimentos en la

solución fue óptimo así como también la actividad metabólica de las raíces puesto que el crecimiento, según sostienen algunos autores (22, 37) está en función de la intensidad y balance de nutrimentos en la planta y que son abastecidos por las raíces.

Considerando los coeficientes de correlación entre el peso seco final de las raíces y su concentración de macroelementos se encontró la existencia de una correlación estrecha negativa con N y Ca, hecho que podría deberse, tal como sostienen algunos investigadores (4, 6, 45) a que el N, cuando se encuentra en abundancia en la planta el crecimiento de las raíces disminuye debido probablemente al aumento de actividad de alguna hormona que inhibe el crecimiento de las raíces.

#### 5.5 Relación de los Factores Climáticos con el Crecimiento de las Raíces y Absorción

Entre los factores climáticos que se midieron fue la nictotemperatura el que relacionó con mayor número de variables de crecimiento y absorción. Los coeficientes de correlación negativa nos indican que a medida que bajó la temperatura nocturna hasta 18°C (temperatura mínima registrada dentro del invernadero) el crecimiento de los diferentes órganos de la planta aumentó y viceversa. Wilsie (47) probó que en muchas plantas el crecimiento ocurre predominantemente durante las noches y Went (46) encontró que el crecimiento del tomate era también favorecido por el descenso en nictotemperatura hasta 13°C como mínimo. Es probable que en zonas tropicales donde la temperatura diurna es alta el crecimiento del sistema radical del frijol sea influenciado por la nictotemperatura.

Por otra parte, tanto la radiación solar, como la fototemperatura estuvieron correlacionadas en forma negativa con todas las

características de crecimiento y absorción lo cual hace suponer que estos factores climáticos estuvieron acuando a niveles subóptimos. Este efecto fue más notable en las variedades de 27R y C1 que se caracterizaron por floración temprana y cuyo crecimiento de raíces se detuvo temporalmente a la mitad de su ciclo de vida.

#### 5.6 Componentes de Rendimiento

Aunque la variedad P66 tuvo mayor número de semillas por fruto y por planta, el peso de 100 semillas fue el más bajo y por lo tanto las semillas fueron pequeñas. Este hecho junto con el excesivo desarrollo vegetativo y su retraso en floración podría deberse a que las condiciones climáticas del invernadero no fueron apropiadas para esta variedad que en condiciones de campo, según experiencia personal, muestran menor desarrollo vegetativo; para las otras variedades estudiadas estas condiciones fueron buenas ya que el crecimiento y rendimientos superaron los obtenidos en experimentos anteriores realizados en condiciones de mayor radiación y longevidad (1).

Por los altos coeficientes de correlación entre el rendimiento de granos con las variables de crecimiento como peso seco de la parte aérea, peso seco de raíces, área foliar, número de raíces, absorción de N, P, K, Ca y Mg consideramos que los rendimientos de frijol común, variedades ST, C1 y 27R, están en relación directa con el crecimiento vegetativo y la absorción de nutrimentos. Wallace y Munger (43) encontraron que los altos rendimientos en frijol, se obtuvieron en aquellas variedades con mayor área foliar y por tanto esta característica varietal es la responsable de la correlación mencionada.

## 6. CONCLUSIONES

En las condiciones en que se realizó este trabajo de investigación y con las tres variedades de frijol común y una de frijol de costa, que se estudiaron, podemos concluir en lo siguiente:

1. El hábito de crecimiento de las raíces de las plantas de frijol se exterioriza en el hábito de crecimiento de su parte aérea, tanto en longitud como en ramificación de sus raíces primarias.
2. El grado de ramificación de las raíces es mayor en las plantas de la variedad Progreso 66 (V. sinensis) y las de 27R (P. vulgaris), arbustivo de crecimiento erecto. Las variedades de frijol común de crecimiento voluble poseen raíces escasamente ramificadas.
3. El incremento en peso seco del sistema radical adquiere su máximo valor en la época de floración y crecimiento de los frutos.
4. Mientras la planta se mantenga en la solución nutritiva, el aumento en peso seco de las raíces continúa, aún estando la mayoría de los frutos completamente maduros.
5. Los períodos de máxima absorción aparente de agua y nutrimentos coinciden con la época de floración y crecimiento de los frutos con excepción de la absorción de S que no tuvo tendencia definida.
6. Durante el crecimiento de las plantas de frijol, la absorción de agua y macroelementos está en relación directa al peso seco de las raíces, volumen radical y área foliar.

7. Tanto la absorción como el transporte de los macroelementos a las diferentes partes de la planta varían de acuerdo a las exigencias del desarrollo vegetativo y producción de frutos de cada variedad y en forma diferente para cada elemento.
8. La variación en concentración de N, P, y S en las hojas muestra correlación positiva con las variaciones en peso seco de las raíces, y negativa con las concentraciones de K y Ca.
9. La nictotemperatura es uno de los factores climáticos que más influye, en forma inversa, en el crecimiento de las raíces del frijol, lo cual consecuentemente repercute en el crecimiento y rendimiento de la planta.
10. Las plantas de la variedad P66 (V. sinensis) en condiciones de cultivo en soluciones nutritivas y con intensidad de luz (19000 lux) y radiación solar (85,6 cal/cm<sup>2</sup>/día) relativamente bajas muestran crecimiento vegetativo excesivo, reflejado por el peso seco de tallos+ hojas.
11. Las plantas de las variedades ST y Cl, frijol común, ambas de crecimiento voluble, alcanzaron los mayores rendimientos.
12. El rendimiento por planta está en estrecha relación positiva con el área foliar, peso seco de raíces, número de raíces primarias y absorción de N, P, K, Ca y S.

## 7. RESUMEN

Debido a la poca literatura existente en relación con la morfología y fisiología de las raíces del frijol y la importancia de esa relación para facilitar el mejoramiento de los rendimientos del cultivo, se consibió el presente trabajo cuyos objetivos fueron determinar los hábitos de crecimiento de las raíces y evaluar sus relaciones con el crecimiento de la parte aérea, las funciones de absorción y los rendimientos.

El trabajo se realizó en el invernadero y el laboratorio de Fisiología del IICA-CTEI. Se utilizaron semillas de líneas puras de cuatro variedades de frijol, con diferente hábito de crecimiento de la parte aérea. Estas variedades fueron: 27-R, Santo Tomás-9R, Col. 1-63-A, pertenecientes a la especie Phaseolus vulgaris L. y Progreso 66, perteneciente a la especie Vigna sinensis Endl.

Se emplearon 24 plantas por variedad, las cuales fueron cultivadas en solución nutritiva Hoagland No. 2 en recipientes de 8 litros. La solución se renovó cada 15 días.

Para evaluar el crecimiento y nutrición se tomaron datos en 6 períodos, los 4 primeros a intervalos de 10 días después del transplanta y los 2 restantes a intervalos de 20 días. Para ello, después de cada período se sacrificaron 4 plantas por variedad, tomadas aleatoriamente.

El crecimiento del sistema radical fue evaluado por las tasas logarítmicas de incremento y las medidas alcanzadas al final del ciclo de vida. Las determinaciones fueron peso seco, volumen, longitud, número y grado de ramificación.

De la misma manera se evaluó la absorción de agua y nutrimentos y el contenido de macroelementos en raíces y hojas. Los datos de

rendimiento provinieron de cuatro plantas por variedad.

Los hábitos de crecimiento medidos y observados fueron como sigue: Las plantas de la variedad Progreso 66 poseen sistema radical altamente ramificado, raíz principal de mayor longitud y grosor que las primarias laterales. Las plantas de la variedad 27-R presentan sistema radical con raíces primarias de longitud uniforme muy ramificados sin poderse diferenciar la raíz principal. Las plantas de las variedades Santo Tomás-9R y Col.1-63-A poseen raíces de características muy parecidas; en ambas no se diferencian las raíces principales, mostrando solo raíces secundarias. Las raíces de Santo Tomás-9R sin embargo, se caracterizan por sus raíces laterales primarias más cortas pero con raíces secundarias más numerosas y largas que la Col. 1-63-A.

Aún mostrando diferentes tasas logarítmicas de incremento en peso seco y volumen, al final del ciclo de vida no se alcanzaron diferencias significativas en estas características del sistema radical en las cuatro variedades. La absorción y contenido de macroelementos fue diferente para las variedades considerados, pero estas variaciones estuvieron en relación estrecha con el peso seco de las plantas de cada variedad y su rendimiento.

Se encontró buena correlación entre el crecimiento de las raíces y el de la parte aérea, entre volumen radical y absorción de agua y macroelementos, entre área foliar y absorción de agua y macroelementos.



7a. SUMMARY

Due to the scarce literature available related with the morphology and physiology of the bean roots and to the importance of that information on breeding for higher yields, the present work was undertaken with the following objectives: to determine root growth characteristics of some bean varieties; to evaluate the relationship of these characteristics with the absorption of water and nutrients; and to determine growth and yield of the aerial part of the plants.

The work was carried out at IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica. The seeds used came from pure lines of four bean varieties with different growth habit of the aerial part. These varieties were 27-3, Santo Tomás-9R, Col. 1-63-A (Phaseolus vulgaris) and Progreso 66 (Vigna sinensis).

Twenty-four plants of each variety were grown in Hoagland no. 2 nutrient solution in 8-liter containers. The solution was changed every 15 days.

Data was taken during six periods to evaluate growth and nutrition, the first four were at 10-day intervals after transplanting and the last two at 20-day intervals. After each period four plants per variety were chosen at random for analysis.

The growth of the root system was adjusted to a logarithmic function.

With the established experimental conditions, plants from the Progreso 66 variety showed a highly branched root system, with the main root longer and thicker than the lateral primaries.

Plants from 27-R variety had a highly branched root system with primary roots of uniform length, without a distinguishable main root. In the varieties Santo Tomás-9R and Col. 1-63-A, the main root was not differentiated from secondary roots, however, roots from Santo Tomás-9R were characterized by shorter primary laterals with more numerous and longer secondary roots than Col. 1-63-A.

Even though the varieties showed different logarithmic rates of increment in dry root weight and volume, at the end of the life cycle there was no significative difference in these characteristics of the root system among the four varieties. Absorption and content of macroelements were statistically different for the varieties, but these differences were in close relationship with dry weight and yields of the plants of each variety.

Root growth increased with shoot growth, absorptions of water and macroelements with volume, and leaf area with water and macroelement absorption.

8. LITERATURA CITADA

1. ASCENCIO, J. Análisis de 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.
2. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official; methods of analysis. 9 ed. Washington, D. C., 1960. 1009 p.
3. BAHEYENS, J. Nutrición de las plantas de cultivo. Traducción de J. N. Box y P. Urbano T. Madrid, Lemos, 1970. 631 p.
4. BIDDULPH, O. et al. Circulation patterns for phosphorus, sulphur and calcium in the bean plant. *Plant Physiology* 33(4): 293-300. 1958.
5. \_\_\_\_\_ y CORY, R. Translocation of  $^{14}\text{C}$  metabolites in the phloem of the bean plant. *Plant Physiology* 40(1):119-129. 1965.
6. BOSEMARK, N. O. The influence of nitrogen on root development. *Physiologia Plantarum* 7(3):497-502. 1954.
7. BRIGGS, L. J. y SHANTZ, H. L. The relative wilting coefficients for different plants. *Botanical Gazette* 53:229-235. 1912.
8. CAHOON, G. A. y NORTON, E. S. An apparatus for the quantitative separation of plant root from soil. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 78:593-596. 1961.
9. CURRENCE, T. H. The transpiration rate of the pinto bean. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 25:41-44. 1928.
10. DEMOLON, A. Principios de Agronomía. II. Crecimiento de vegetales cultivados. Traducido de la 5 ed. francesa por José Pérez Malla. Barcelona, Omega, 1966. pp. 90-112.
11. DEVLIN, R. W. Fisiología vegetal. Traducido por Xavier Lliona Pagés. Barcelona, Omega, 1970. 614 p.
12. FREELAND, R. O. Effect of transpiration upon the absorption and distribution of mineral salts in plants. *American Journal of Botany* 23:355-362. 1936; 24:373-374. 1937.
13. GALLO, J. R. y MIYASAKA, S. Composição química do Feijoeiro e absorção de elementos nutritivos do florescimento a maturação. *Bragantia (Brasil)* 20(40):867-884. 1961.
14. HACKETT, C. A study of the root system of barley. I. Effects of nutrition on two varieties. *New Phytol* 67:287-299. 1968.

15. HAMMOND, L. C. y KIRKMAN, D. Growth curves of soy beans and corns. *Agronomy Journal* 41(1):23. 1949.
16. HEWITT, E. J. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. 2 ed., Bucks, England, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1966. 547 p.
17. HOAGLAND, D. R. y ARNON, D. I. Physiological aspects of an availability of nutrients for plant growth. *Soil Science* 51: 431-443. 1941.
18. HOLDRIDGE, L. R. Life zone ecology. Revised ed. San Jose, Costa Rica, Tropical Science Center, 1967. 206 p.
19. INFORZATO, R. y MIYAZAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos do solo do Estado do São Paulo. *Bragantia (Brasil)* 22(38):477-481. 1963.
20. INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA. CENTRO INTERAMERICANO DE DOCUMENTACION E INFORMACION AGRICOLA. Bibliografía frijol (Phaseolus spp.). Ed. acum. Turrialba, Costa Rica, 1972. 299 p. (Bibliografías no. 4).
21. JINENEZ, E. J., SALAZAR, J. J. y PICADO, V. Un método para medir volumen radical de plantas de cacao (Theobroma cacao L.) cultivados en hidroponia. *Turrialba (Costa Rica)* 17(1):98-101. 1967.
22. LASTUVKA, Z. y MINAR, J. The relation between nutrient solution concentration and growth and ion absorption of peas (Pisum sativum). II. Accumulation, distribution and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium. *Plant and Soil* 32:412-423. 1970.
23. LEDIG, F. T. y PERRY, T. O. Physiological genetics of the shoot-root ratio. Society of American Foresters Meeting, Detroit, 1965. Proceedings. Washington, D. C., Society of American Foresters, 1966. pp. 39-43.
24. LEON, J. Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1968. pp. 298-306.
25. LOAYZA, J. M. Respuesta de tres variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L.) a tres tensiones osmóticas en soluciones nutritivas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 75 p.
26. MASAYA, S. P. Estudio de la absorción de nutrimentos y crecimiento de raíces en la planta de frijol (Phaseolus vulgaris L. var. Turrialba-4). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1971. 57 p.
27. MIRANDA, C. S. Mejoramiento del frijol en México. INIA. Folleto Misceláneo 13. 1966. 34 p.

28. MIRANDA, C. S. Herencia del tipo de raíz en Phaseolus coccineus L. y P. vulgaris L. Agricultura Técnica en México 2(6):255-257. 1967.
29. MONTENEGRO, J. Labores realizadas con leguminosas de grano. Tegucigalpa, Programa de Desarrollo de Granos Básicos, 1972. pp. 22-31.
30. MÜLLER, L. Un aparato Micro-Kjeldhal simple para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. Turrialba, Costa Rica, Documentos 11(1):17-25. 1961.
31. PARKER, F. W. y PIERRE, W. H. The relation between the concentration of mineral elements in a culture medium and the absorption and utilization of those elements by plants. Soil Science 25:337-343. 1928.
32. PINCHINAT, A. M. y NATARRITA, V. N. Lista de las introducciones de frijol (Phaseolus vulgaris L.) y otras leguminosas del IICA-CTEI. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 37 p.
33. RUSSELL, R. S. Los sistemas radiculares y la nutrición de las plantas: nuevos enfoques. Endeavour 29(107):60-66. 1970.
34. SAENZ, A. El frijol común. San José, Universidad de Costa Rica, 1962. 108 p.
35. SALTER, P. J. y DREW, D. H. Root growth as a factor in the response to water of Pisum sativum L. Nature 206(4988):1063-1064. 1965.
36. 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.
37. SHEAR, C. B., GRANE, H. L. y MYERS, A. T. Nutrient element balance; a fundamental concept in plant nutrition. Proceedings of the American Society of Horticultural Science 47:239-248. 1946.
38. SOTOMAYOR, J. S. Respuesta de dos cultivares de frijol (Phaseolus vulgaris L.) a varios niveles de N y P en soluciones nutritivas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 82 p.
39. TAYLOR, A. Biología del frijol; estructura de órganos vegetativos y reproductivos. MAG (Panamá) 5(2):42-46. 1970.
40. TROUGHTON, A. Influence of genotype and mineral nutrition on the distribution of growth within plants of Lolium perenne L. grown in soil. Annals of Botany 32(126):411-423. 1968.
41. \_\_\_\_\_ y WHITTINGTON, W. J. The significance of genetic variation in root systems. In Whittington, W. J., ed. Root growth. New York, Plenum Press, 1969. pp. 296-314.

42. VANDEMARK, J. S. Morphological and developmental changes in the bean (Phaseolus vulgaris L.) as modified by the application of various regulators. Tesis Mag. Sc. Illinois, University, 1961. 93 p.
43. WALLACE, D. H. y MUNGER, H. F. Studies of the physiological basis for yield differences. 1. Growth analysis of six dry bean varieties. *Crop Science* 5:343-348. 1965.
44. WATSON, D. J. The physiological bases of variation in yield. *Advances in Agronomy* 4:101-145. 1952.
45. LEAVER, J. E. Root development of field crops. New York, McGraw-Hill, 1926. 291 p.
46. WENT, F. W. The experimental control of plant growth. *Chronica Botanica* v. 17. 1957. 343 p.
47. WILSIE, C. P. Cultivos: aclimatación y distribución. Traducción del Dr. Manuel Serrano García. Zaragoza, España, Acribia, 1966. 491 p.
48. YARNELL, S. H. Cytogenetics of the vegetable crops. IV. Legumes. *Botanical Review* 31(3):247-330. 1965.

A P E N D I C E

Cuadro 1. Distribución cronológica de algunas labores realizadas durante el período de cultivo y observaciones de desarrollo de las plantas

Edad días	E v e n t o s
0 (5-8-72)	Siembra de semillas en germinadoras
4	Germinación de semillas en germinadoras
8	Transplante en recipientes definitivos
12	Primer sacrificio de plantas (datos 1o. período)
18	Se observó ramificación secundaria en las raíces de P66, en las demás variedades no hubo ramificación
23	Primer cambio de solución nutritiva
24	92 por ciento de plantas de la variedad ST se observó pequeñas puntuaciones cloróticas en las hojas
25	Segundo sacrificio de plantas (datos 2o. período)
29	Recuperación completa de la variedad ST
31	Antesis de la variedad C1
32	Antesis de la variedad 27R
33	Presencia de mildiú en variedades P66 y 27R
34	Control de mildiú con Karathane al 0,3 %
38	Tercer sacrificio de plantas (datos 3o. período)
38	Segundo cambio de solución nutritiva
39	Antesis de la variedad ST
42	Gran número de frutas formadas en la variedad 27R y C1
47	Aparición de algunos primordios florales en P66
48	Cuarto sacrificio de plantas
53	Tercer cambio de solución nutritiva
57	Antesis plena de la variedad P66
58	Control de nuevos brotes de mildiú con Karathana al 0,3%
62	Inicio de madurez de frutos en variedad 27R
64	Amarillamiento de hojas adultas en las cuatro variedades
68	Quinto sacrificio de plantas (3o. período)
68	Cuarto cambio de solución nutritiva
68	Inicio de madurez de frutos en variedades ST y C1
69	Caída de hojas en variedades P66, ST y C1
79	Se notó emisión de nuevas raíces y brotes en variedad 27R
81	Se notó emisión de nuevas raíces y brotes en variedad C1
85	Madurez comercial en variedades 27R, ST y C1. La variedad P66 con 90 por ciento frutos maduros
88 (1-11-72)	Cosecha y sexto sacrificio de plantas (datos 6o. período)



Cuadro 2. Contenido de materia seca a diferentes edades en plantas de cuatro variedades de frijol (valores promedios de cuatro plantas)

Variedad	Edad días	Raíces (g)	Tallos y hojas (g)	Frutos (g)	Total parte aérea (g)	Total de la planta (g)	%
P66	18	0,07	0,41	-	0,41	0,48	0,42
	28	0,19	1,82	-	1,82	2,01	1,79
	38	0,77	8,99	-	8,99	9,76	8,71
	48	2,17	34,55	-	34,55	36,72	32,79
	68	7,35	94,72	-	94,72	102,07	91,15
	88	7,45	47,25	57,28	104,53	111,98	100,00
27R	18	0,29	1,12	-	1,12	1,41	0,97
	28	0,75	5,76	-	5,76	6,51	4,50
	38	2,81	19,77	-	19,77	22,58	15,60
	48	2,90	23,52	14,92	38,44	41,34	28,63
	68	4,12	26,67	53,52	80,19	84,31	58,39
	88	9,10	50,40	84,89	135,29	144,39	100,00
ST	18	0,13	0,67	-	0,67	0,80	0,39
	28	0,39	3,42	-	3,42	3,81	1,89
	38	1,35	11,67	-	11,67	13,02	6,49
	48	1,87	23,52	0,07	23,59	25,46	12,69
	68	6,57	61,07	55,47	116,54	123,11	61,37
	88	7,16	67,97	125,45	193,42	200,58	100,00
C1	18	0,29	0,74	-	0,74	1,03	0,59
	28	0,45	4,32	-	4,32	4,77	2,73
	38	2,38	19,47	-	19,47	21,85	12,54
	48	2,67	33,30	7,32	40,62	43,29	24,84
	68	3,50	36,37	80,50	116,87	120,37	69,09
	88	7,22	65,67	101,33	167,00	174,22	100,00

Cuadro 3. Tasas de incremento de las variables estudiadas en cuatro variedades de frijol (valores promedios de cuatro plantas por variedad)

Variables (/día)	Variedades			
	P66	27R	ST	Cl
Peso seco parte aérea total (g)	3,79	3,05	3,66	3,52
Peso seco tallo y hojas (g)	3,30	2,26	3,02	2,75
Area foliar (cm <sup>2</sup> )	3,15	2,40	2,50	2,68
Peso seco raíces (g)	3,27	2,07	2,68	2,04
Volumen radical (ml)	3,87	2,55	3,68	2,82
Extensión de raíces prim. (cm)	1,10	0,76	0,73	0,77
No. de raíces primarias	0,42	0,10	0,19	0,20
Absorción de agua (ml)	3,96	2,95	3,62	3,34
Absorción de N (mg)	2,33	1,96	2,68	2,00
Absorción de P (mg)	3,21	2,36	2,86	2,70
Absorción de K (mg)	2,85	2,03	2,54	2,22
Absorción de Ca (mg)	2,87	2,49	3,25	2,67
Absorción de Mg (mg)	4,73	2,34	2,88	2,37
Absorción de S (mg)	3,16	1,75	2,61	1,89
Contenido de N en raíces (%)	-0,39	-0,12	-0,27	-0,24
Contenido de P en raíces (%)	-0,82	-0,51	-1,24	-0,90
Contenido de K en raíces (%)	-0,80	-0,31	-0,35	-0,63
Contenido de Ca en raíces (%)	0,44	0,23	0,14	0,30
Contenido de Mg en raíces (%)	-0,45	0,23	0,72	0,13
Contenido de S en raíces (%)	-0,19	-0,25	0,44	-0,11
Contenido de N en hojas (%)	-0,27	-0,36	-0,52	-0,55
Contenido de P en hojas (%)	-0,28	-0,47	-0,81	-0,93
Contenido de K en hojas (%)	-0,34	-0,35	-0,42	-0,09
Contenido de Ca en hojas (%)	0,46	0,81	0,37	0,64
Contenido de Mg en hojas (%)	1,04	-0,06	0,13	-0,04
Contenido de S en hojas (%)	-0,36	-0,21	-0,24	-0,47

Cuadro 4. Características de crecimiento, absorción y rendimiento en cuatro variedades de frijol (valores promedio de PE/88 días obtenidos con cuatro plantas/cm<sup>2</sup>)

Variables	Variedades			
	P66	27R	ST	CI
Peso seco parte aérea total (g)	119,32	127,71	149,74	169,82
Peso seco tallo y hojas (g)	73,16	51,53	75,96	71,28
Area foliar (cm <sup>2</sup> )	14610,89	14128,81	17054,98	22700,58
Peso seco raíces (g)	7,73	7,14	7,02	5,89
Volumen radical (ml)	317,24	253,37	331,97	286,66
Extensión de raíces primarias (cm)	117,69	122,44	108,69	129,70
Número raíces primarias	19,03	23,42	24,53	22,85
Absorción de agua (ml)	44798,22	32437,19	41381,32	48737,03
Absorción de N (mg)	4562,16	3953,18	4836,82	4881,93
Absorción de P (mg)	859,92	793,47	847,09	873,25
Absorción de K (mg)	5331,71	4169,86	5722,02	5851,29
Absorción de Ca (mg)	2329,23	2401,76	2461,67	2712,72
Absorción de Mg (mg)	949,92	326,34	583,38	556,61
Absorción de S (mg)	573,96	510,43	629,33	600,59
Porcentaje de N en raíces	2,73	3,38	3,32	3,43
Porcentaje de P en raíces	0,66	0,89	0,46	0,64
Porcentaje de K en raíces	2,16	3,32	2,65	2,51
Porcentaje de Ca en raíces	0,62	0,67	0,57	0,87
Porcentaje de Mg en raíces	0,25	0,41	0,64	0,48
Porcentaje de S en raíces	0,50	0,31	0,73	0,47
Porcentaje de N en hojas	4,38	3,60	3,22	3,11
Porcentaje de P en hojas	0,59	0,50	0,30	0,28
Porcentaje de K en hojas	3,22	3,02	3,35	4,46
Porcentaje de Ca en hojas	3,39	5,98	4,00	6,16
Porcentaje de Mg en hojas	0,85	0,44	0,62	0,61
Porcentaje de S en hojas	0,27	0,19	0,24	0,13
Número de frutos/planta	27,50	24,50	79,50	50,25
Número de semillas/planta	390,00	61,75	470,75	298,00
Número de semillas/fruto	14,11	4,33	5,86	6,42
Peso total de semillas/planta (g)	46,09	64,88	105,35	102,17
Peso de 100 semillas (g)	11,83	57,96	22,42	31,62

Cuadro 5. Datos promedios de variables climáticas en diferentes períodos de desarrollo

Período (días)	Fototemperatura °C	Nictotemperatura °C	Radiación cal/cm <sup>2</sup> /día	Humedad Relativa %
0-18	26,11	22,58	88,63	69,60
18-28	25,20	22,19	90,78	72,00
28-38	25,01	21,78	81,71	74,70
38-48	25,45	21,48	84,96	73,50
48-68	25,33	21,58	83,74	72,30
68-88	24,95	20,98	84,51	78,10

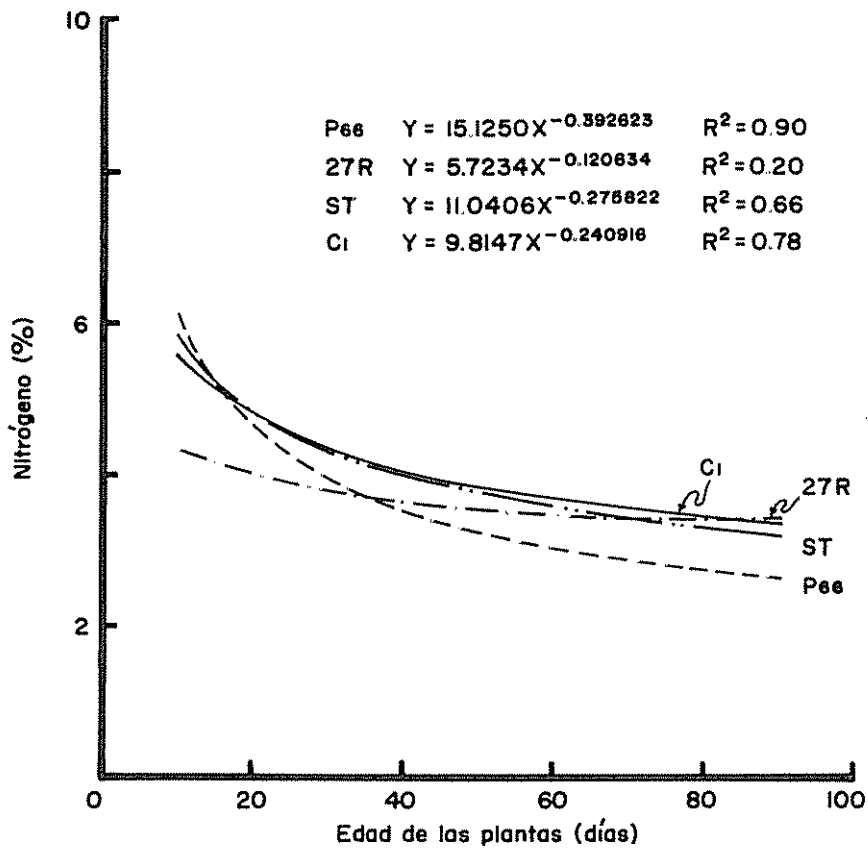


Fig. 1 Variación en el porcentaje de N en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad.

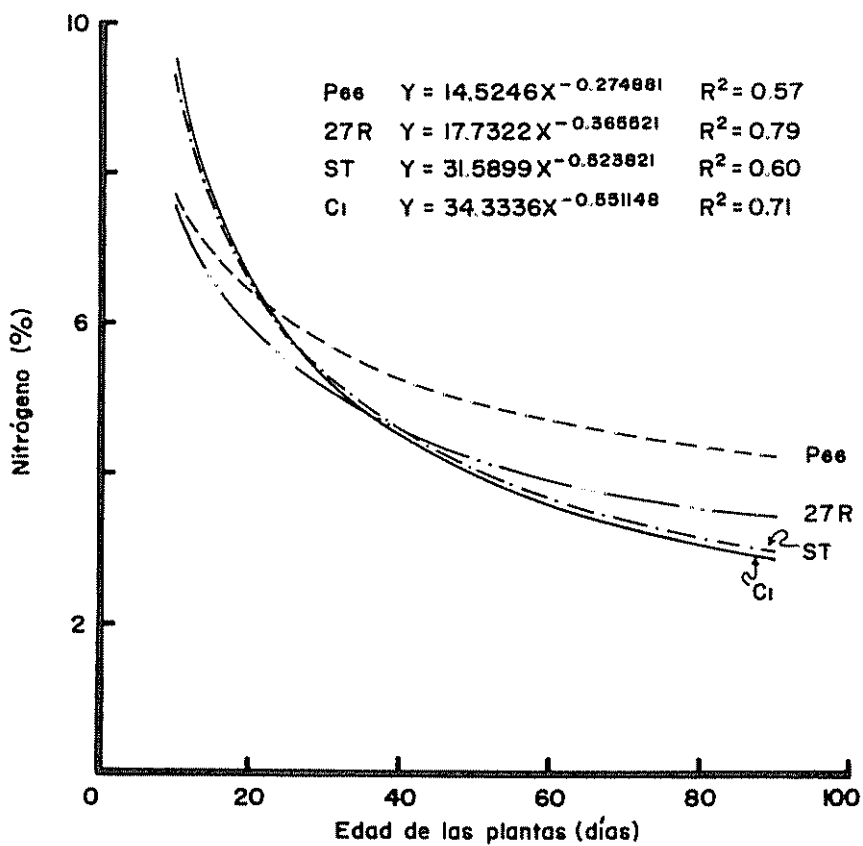


Fig. 2 Variación en el porcentaje de N en las hojas de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad.

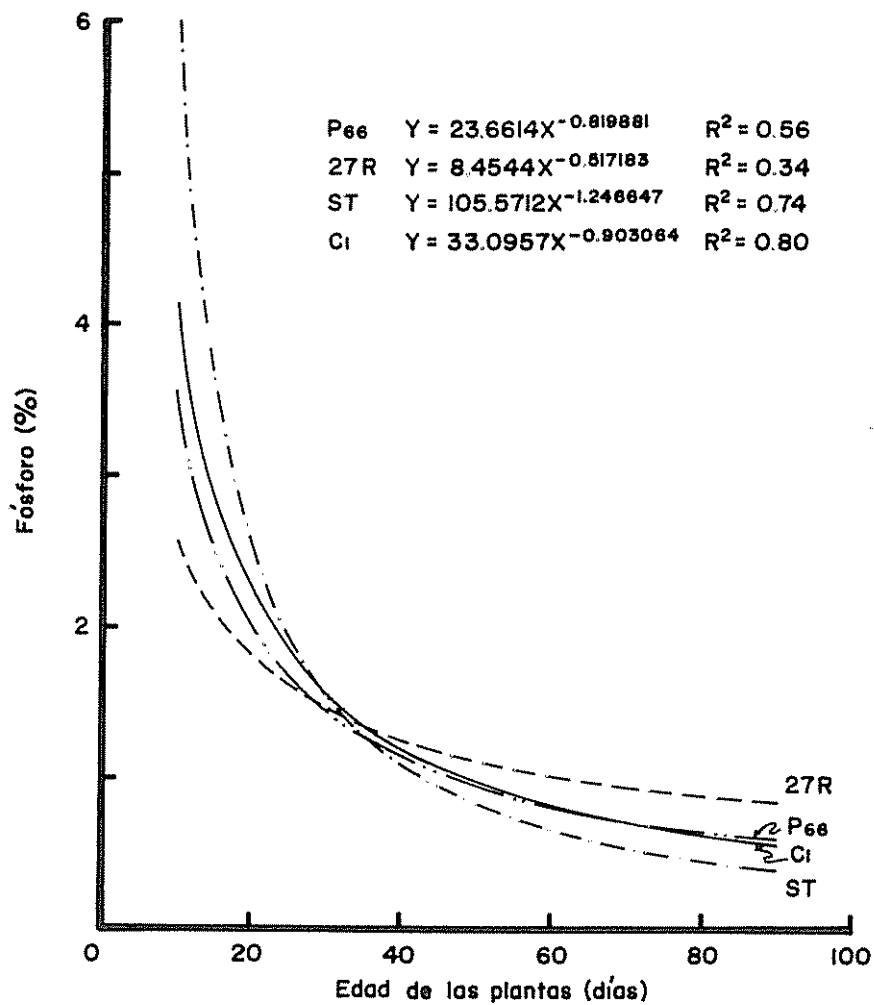


Fig. 3 Variación en el porcentaje de P en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad.

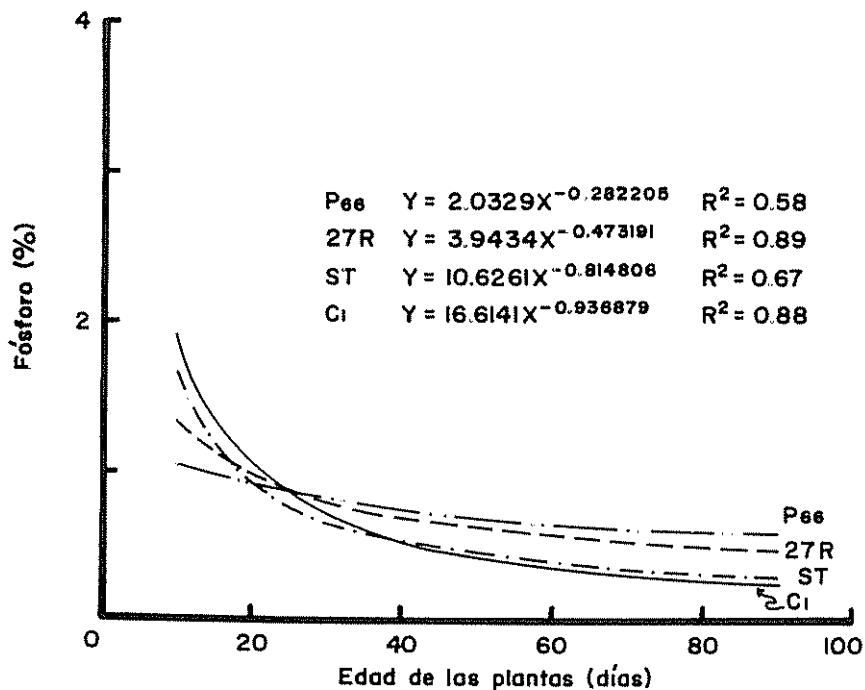


Fig. 4 Variación en el porcentaje de P en las hojas de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad.

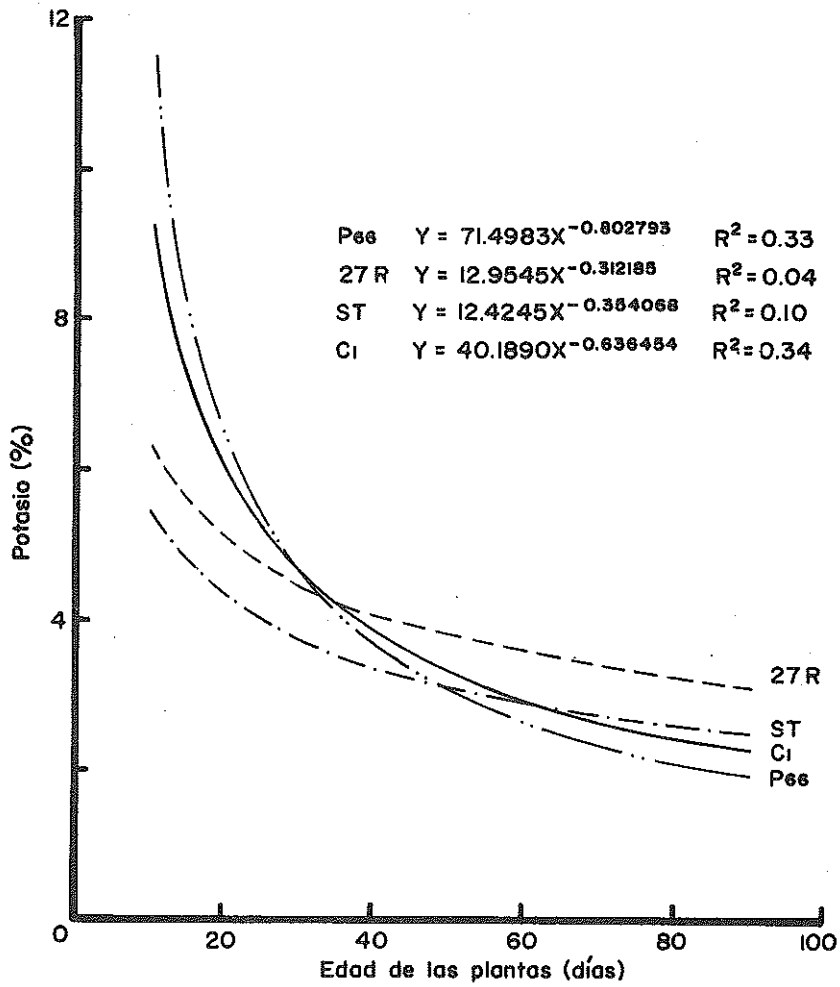


Fig. 5 Variación en el porcentaje de K en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad.

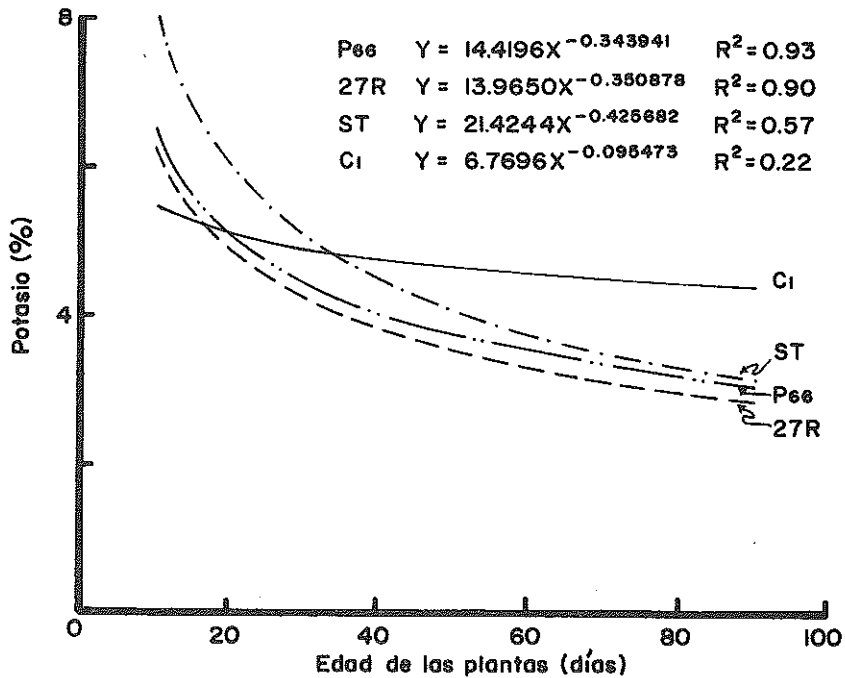


Fig. 6 Variación en el porcentaje de K en las hojas de las plantas de 4 variedades en relación con la edad.

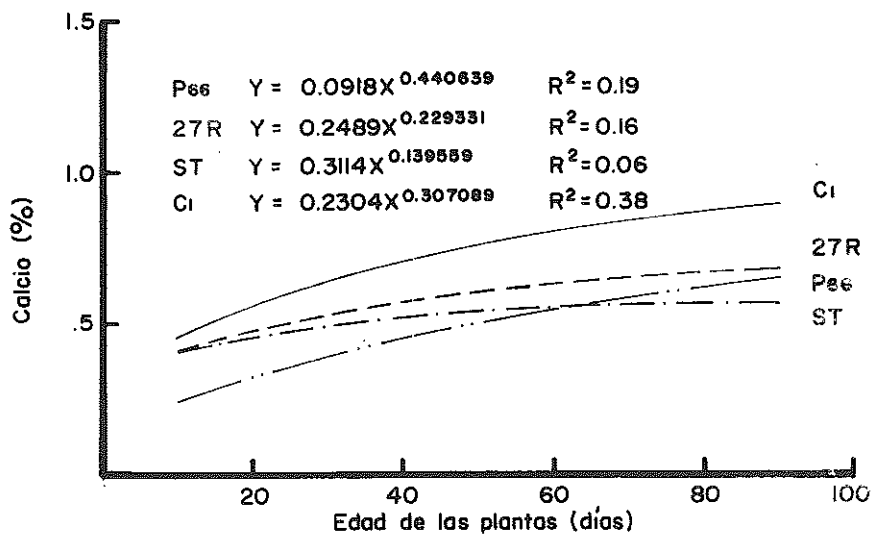


Fig. 7 Variación en el porcentaje de Ca en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad.

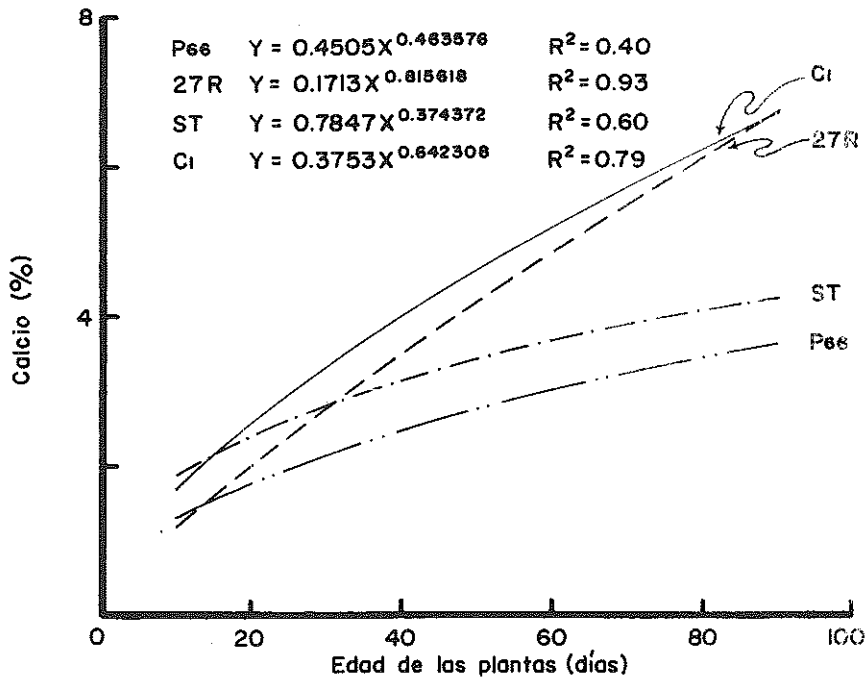


Fig. 8 Variación en el porcentaje de Ca en las hojas de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad.

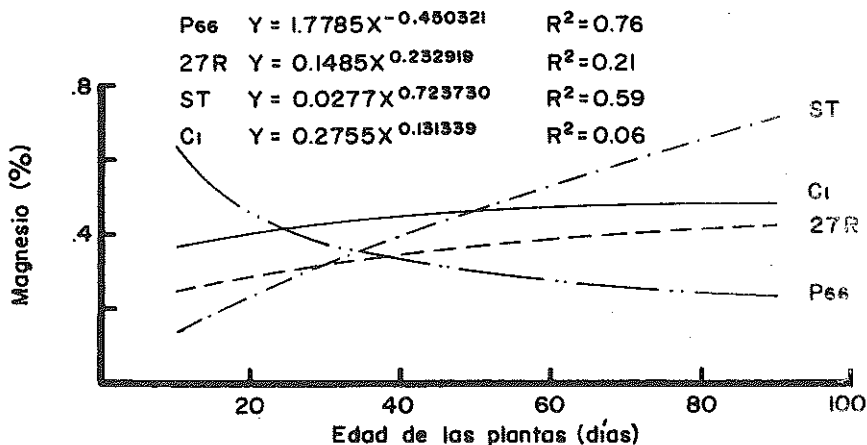


Fig. 9 Variación en el porcentaje de Mg en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad.



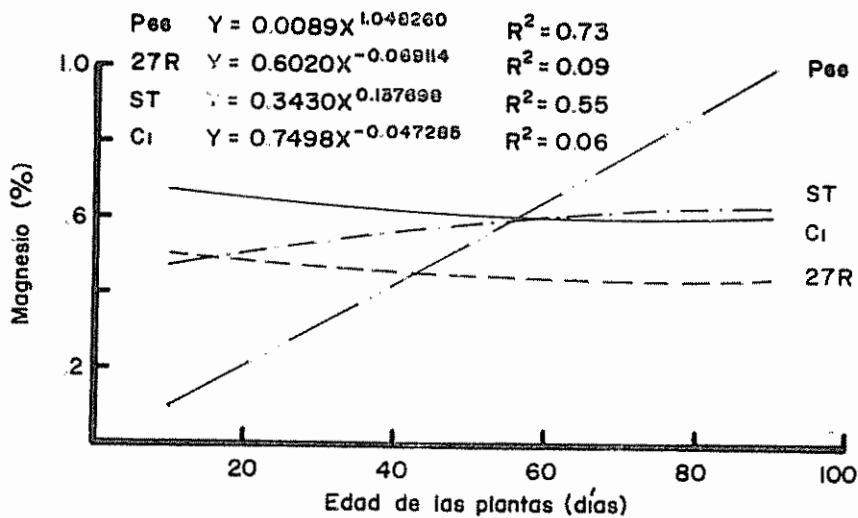


Fig. 10 Variación en el porcentaje de Mg en las hojas de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad.

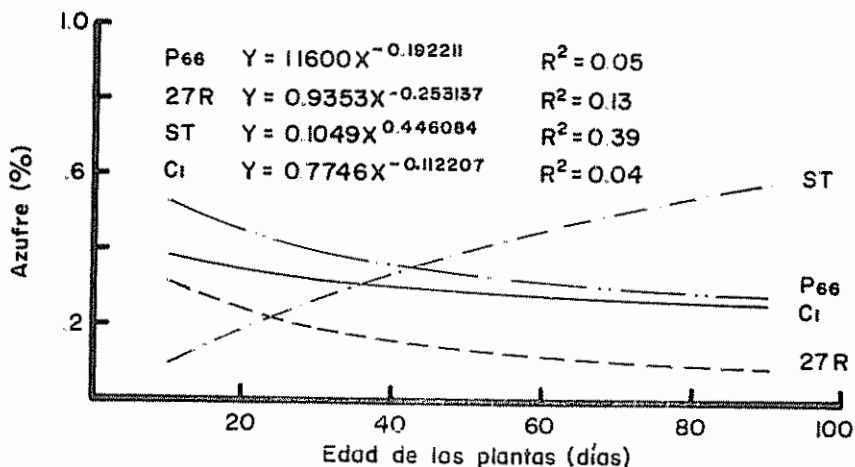


Fig. 11 Variación en el porcentaje de S en las raíces de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad.

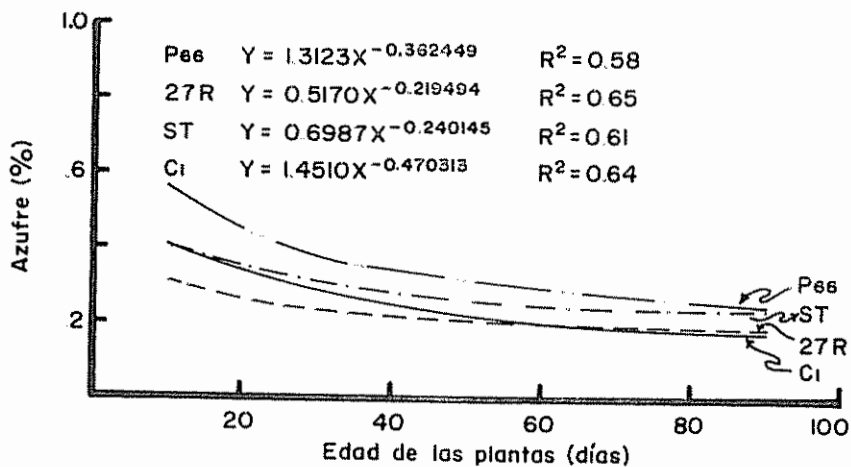


Fig. 12 Variación en el porcentaje de S en las hojas de las plantas de 4 variedades de frijol en relación con la edad.