

RESPUESTA DE TRES VARIEDADES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)  
A TRES TENSIONES OSMOTICAS EN SOLUCIONES NUTRITIVAS

Tesis de Grado de Magister Scientiae

José M. Loayza Torres



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales  
Turrialba, Costa Rica  
Abril, 1972

RESPUESTA DE TRES VARIEDADES DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.)  
A TRES TENSIONES OSMOTICAS EN SOLUCIONES NUTRITIVAS

Tesis

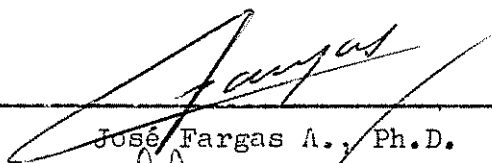
Sometida al Consejo de Estudios Graduados como  
requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

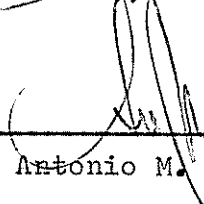
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:



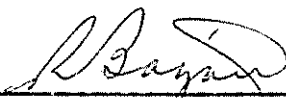
José Fargas A., Ph.D.

Consejero




Antonio M. Pinchinat, Ph.D.

Comité



p. Gilberto Pérez, Ph.D.

Comité



Pablo Rosero, Mag. Agr.

Comité

Abril, 1972

A mis queridos padres

Sara y Agustín

A mi recordada Irma

A Ernesto

AGRADECIMIENTO

El autor agradece sinceramente:

Al Dr. José Fargas, como Consejero Principal, su iniciativa en la materialización de este trabajo y como constante insentivador con su apoyo moral, amistad y perseverancia.

Al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA y a la Zona Andina quienes hicieron posible mi permanencia en la Ciudad de Turrialba.

A mi institución de trabajo: la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María - Perú, por la confianza puesta en mí para superarme y servirla.

A los miembros de mi Comité Consejero: Dr. Antonio Pinchinat, Mag. Agr. Pablo Rosero y Dr. Gilberto Páez.

A mis amigos del Laboratorio de Ecofisiología y de la Unidad de Estadística y Computación.

Y a toda persona que con su amistad hizo de esta etapa de mi vida inolvidable en el recuerdo.

## BIOGRAFIA

José Marcial Loayza Torres, nació en la Provincia Constitucional del Callao en la República del Perú.

Hizo sus estudios primarios y secundarios en el Colegio Marianista, San Antonio de esta ciudad. En el año 1960 ingresó a la Universidad Nacional Agraria de La Molina en la ciudad de Lima, Perú, completando el año 1964 su plan de estudios para bachiller en Ciencias Agrarias. En 1967 presentó la tesis para optar al Título de Ingeniero Agrónomo.

En 1965 inició sus servicios profesionales en el Departamento de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María, Perú, como docente a tiempo completo.

En setiembre de 1970 ingresó en la Escuela de Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA en Turrialba, Costa Rica, finalizando sus estudios postgraduados en marzo de 1971.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
LISTA DE CUADROS .....	vixi
LISTA DE FIGURAS .....	xv
1. INTRODUCCION .....	1
2. REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1. Aspectos generales .....	3
2.2. Respuestas de las plantas a la sequía .....	3
2.2.1. Germinación y primeros estados del cre- cimiento .....	3
2.2.2. Crecimiento de las plantas .....	4
2.2.3. Floración y producción de semillas .....	5
2.2.4. Crecimiento de raíces .....	7
2.3. Adaptaciones para tolerar la sequía .....	8
2.4. Período del crecimiento en que la sequía es más perjudicial .....	8
2.5. Cultivo del frijol en soluciones nutritivas ....	9
2.6. Sustancias productoras de tensión osmótica .....	10
2.7. Tensiones que afectan el rendimiento .....	11
3. MATERIALES Y METODOS .....	12
3.1. Localización del experimento .....	12
3.2. Material vegetal empleado y su manejo .....	12
3.3. Producción de tensiones osmóticas .....	13
3.4. Determinación del área foliar .....	15
3.5. Determinación de la secuencia de floración .....	17
3.6. Volumen de raíces .....	17
3.7. Procedimiento experimental .....	19
3.8. Medición de la transpiración .....	19
3.9. Toma de muestras para análisis químico .....	20
3.10. Métodos para análisis de macroelementos .....	21
3.11. Componentes del rendimiento estudiados .....	22
4. RESULTADOS .....	25
4.1. Caracteres cualitativos del crecimiento de las plantas .....	25
4.2. Efectos de los tratamientos sobre la floración .	26
4.2.1. Número de flores .....	26
4.2.2. Tiempo para ocurrir el 50% de la flora- ción .....	32

4.3.	Efecto de los tratamientos sobre los frutos ....	34
4.3.1.	Número de frutos .....	34
4.3.2.	Número de semillas por fruto .....	37
4.4.	Efecto de los tratamientos sobre las semillas ..	37
4.4.1.	Número de semillas por planta .....	37
4.4.2.	Rendimiento .....	38
4.5.	El efecto de los tratamientos sobre las raíces..	40
4.5.1.	Volumen máximo .....	40
4.5.2.	Peso fresco .....	42
4.5.3.	Peso seco .....	42
4.6.	Efecto de los tratamientos sobre el área foliar máxima .....	44
4.7.	Efecto de los tratamientos sobre la transpira- ción máxima .....	45
4.8.	Efecto de los tratamientos sobre la nutrición mineral .....	47
4.8.1.	Absorción del N total .....	47
4.8.2.	Absorción del P .....	50
4.8.3.	Absorción de K .....	50
4.8.4.	Absorción de Ca .....	51
4.8.5.	Absorción de Mg .....	51
4.8.6.	Absorción de S .....	52
4.9.	Correlaciones entre todas las variables .....	52
5.	DISCUSION .....	53
5.1.	Reacción de dos plantas al GP-1540 .....	53
5.2.	Efecto de los tratamientos sobre las caracterís- ticas estudiadas .....	53
5.2.1.	En la floración .....	53
5.2.2.	En los frutos .....	54
5.2.3.	En los rendimientos .....	56
5.2.4.	En las raíces .....	57
5.2.5.	En el área foliar .....	58
5.2.6.	En la transpiración .....	59
5.2.7.	En la absorción de nutrimentos .....	60

	<u>Página</u>
5.2.7.1. Absorción de N .....	60
5.2.7.2. Absorción de P.....	60
5.2.7.3. Absorción de F .....	61
5.2.7.4. Absorción de Ca .....	61
5.2.7.5. Absorción del Mg .....	61
5.2.7.6. Absorción de S .....	62
6. CONCLUSIONES .....	63
7. RESUMEN .....	65
7a. SUMMARY .....	67
8. LITERATURA CITADA .....	69



## LISTA DE CUADROS

Cuadro Nº		<u>Página</u>
1	Nutrimientos (ppm) adicionados a diferentes edades de las plantas con varios volúmenes de solución renovadora. Tipo Hoagland con centrado 10 veces . . . . .	21
2	Efectos de las tensiones osmóticas sobre las variables indicadas en tres variedades de frijol expresados en porcentaje . . . . .	27
3	Efectos promedios de tres tensiones osmóticas sobre las variables indicadas en tres variedades de frijol . . . . .	28
4	Cuadrados medios de las características observadas en tres variedades de frijol bajo tres tensiones osmóticas . . . . .	29
5	Efecto de tres tensiones osmóticas sobre la relación entre diferentes características de tres variedades de frijol . . . . .	30
6	Coefficientes de correlación entre algunas características en tres variedades de frijol . . . . .	31
7	Coefficientes de correlación entre la tensión osmótica y algunas variables observadas en cada variedad de frijol estudiados..	36
8	Análisis de variancia de los parámetros de incremento de las variables transformadas .	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura N <sup>o</sup>		<u>Página</u>
1	Equipo de invernadero utilizado en el experimento. A) Recipiente colectivo usado para primera etapa de plantas, B) Sistema usado para los tratamientos definitivos, C) Aparato para medir volumen de raíces .....	14
2	Curvas de tensiones osmóticas correspondientes a diferentes concentraciones de glicol polietilénico (GP-1540), en agua y en solución Hoagland N <sup>o</sup> 2 .....	16
3	Curva de área foliar en función del ancho del foliolo central en tres variedades de frijol.	18
4	Curvas del número de flores producidas a partir del inicio de la floración, en tres variedades del frijol .....	33
5	Rendimiento promedio de semilla por planta en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas .....	35
6	Peso promedio de 100 semillas en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas ....	35
7	Número promedio de semillas por vaina en tres variedades de frijol a tres tensiones osmóticas .....	39
8	Número promedio de vainas por planta en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas .....	39
9	Volumen promedio de raíces a diferentes edades, por planta en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas .....	41
10	Area foliar promedio de 4 plantas a diferentes edades en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas .....	46
11	Transpiración: promedio a diferentes edades de las plantas en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas. Datos observados .	48
12	Transpiración promedio a diferentes edades de las plantas en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas. Datos estimados ..	49

## 1. INTRODUCCION

El incremento demográfico de los países de América crea la necesidad no solamente de aumentar los rendimientos de los cultivos alimenticios básicos como el frijol sino también de incrementar la superficie sembrada. Como consecuencia se tendrán que poner en explotación paulatinamente, áreas marginales para dichos cultivos en las que uno o varios factores ecológicos limitan sus rendimientos en forma continua a través del año o en forma estacional.

El agua es uno de los factores que actúa como elemento limitante del cultivo del frijol en muchas zonas de los trópicos americanos, tanto por su exceso como por su escasez.

La mayor parte de las áreas en las que se cultiva actualmente el frijol en latinoamérica poseen estaciones lluviosas y secas alternadas, siendo muy generalizada la práctica de sembrar cuando se aproxima el fin de la estación lluviosa para tener condiciones de sequía en la cosecha. Esta práctica lleva consigo el riesgo de que se presente prematuramente una sequía faltando agua para que el cultivo complete normalmente su ciclo de vida, reduciéndose los rendimientos notablemente.

Una manera de abordar este problema es desarrollando variedades nuevas de frijol que, además de otras características de importancia económica, posean un alto grado de tolerancia a la escasez de agua. Para lograr esto un primer paso sería el de evaluar el grado de tolerancia a la escasez de agua de las colecciones de frijol de que se dispone empleando técnicas eficientes. El presente trabajo es un aporte a este campo de investigaciones.

El objetivo de este trabajo de investigación fue:

Determinar como se comportan algunas características morfológicas y fisiológicas del frijol bajo condiciones controladas de escasez de agua.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Aspectos generales

El agua es indispensable para todo organismo viviente, en consecuencia su abundancia o escasez afecta notablemente las características anatómicas y fisiológicas de las plantas.

El término "sequía" se refiere usualmente a una condición por la cual el agua no puede ser aprovechada en forma satisfactoria por la planta, produciéndose un déficit hídrico en sus tejidos al punto de afectar su crecimiento y desarrollo (10). Por lo tanto la resistencia a la sequía es la respuesta fisiológica compleja de la planta tendiente a contrarrestar los efectos perjudiciales de la falta de agua (79).

Sobre la importancia de los factores ambientales y específicamente del agua en frijol han tratado Aguirre (2), Pinchinat (61), Miranda (53), Montoya (54) y García (21) determinando áreas y condiciones óptimas para este cultivo en algunos países latinoamericanos.

### 2.2. Respuestas de las plantas a la sequía

#### 2.2.1. Germinación y primeros estados del crecimiento

Jarvis (34) investigando el efecto de diferentes tensiones hídricas en la germinación y en plántulas de Lupinus sp. observó que la baja tensión osmótica causaba reducción de peso seco en las plántulas debido a que disminuía la traslocación de material de los cotiledones al embrión.

Uhits (75) demostró que había reducción en el porcentaje de germinación en leguminosas cuando la tensión osmótica aumentaba en el substrato nutritivo, estos mismos resultados obtuvieron Parmar y Moore (60) en maíz.

Trabajos realizados en Europa citados por Salter y Goode (65) mostraron que en las leguminosas la alta tensión en los primeros días del crecimiento de las plántulas afectaron principalmente el crecimiento vegetativo subsecuente.

Asi mismo Gates (22) citó a Owen por haber encontrado que en las primeras etapas del crecimiento, el embrión podía realizar su desarrollo a altas tensiones osmóticas del substrato, debido, primeramente al proceso físico de imbibición y luego a la iniciación de la hidrólisis del almidón.

Estudiando el efecto de salinidad y su consecuente tensión osmótica en la germinación de frijol, Tarquino (72) comprobó que los primeros efectos de toxicidad se debían a concentraciones de sales y no a efectos osmóticos.

### 2.2.2. Crecimiento de las plantas

Datos experimentales han comprobado que el crecimiento de las plantas disminuye a niveles altos de tensión osmótica en el ambiente radical lo cual ha sido demostrado por Wadleigh y Ayers (76), Kenworthy (38), Salter (63) y Bernstein y Pearson (9).

Milthorpe (52) trabajando en gramíneas pudo determinar tres fases diferentes de comportamiento a la sequía en las primeras etapas

del crecimiento, el cual se redujo permanentemente en la etapa en que las plántulas empezaron a emitir las primeras hojas definitivas; determinó también que la magnitud de la elongación de las células meristemáticas estaba relacionada con la resistencia a altas tensiones.

La causa del retardo del crecimiento parece deberse al efecto de la hidratación decreciente (69) que consiste en que a medida que decrece la presión de turgor en los tejidos los estomas se cierran, disminuyéndose por esta razón el ingreso de  $\text{CO}_2$  en las hojas que se refleja en la producción de carbohidratos por fotosíntesis. El mismo autor (70) demostró experimentalmente en tres especies vegetales que el comportamiento de la planta al déficit de agua se debe a características propias de la especie, más que al efecto del medio radical.

En estudios sobre el efecto de la alta tensión de agua en el crecimiento realizados por Aspinall, Nichols y May (6) en plantas de cereales, se notó una reducción en la elongación de los entrenudos en los períodos de escasez de agua.

### 2.2.3. Floración y producción de semillas

Observando la interacción del progresivo aumento de tensión osmótica y de la salinidad sobre el crecimiento del frijol, Wadleigh y Ayers (76) encontraron un efecto negativo de dichos factores sobre la floración y el peso total de semillas.

Tanto Kattan y Fleming (37) como Gabelman y Williams (20) demostraron que la irrigación durante la época de floración incrementó el

número y peso de semillas. Los últimos no encontraron diferencias en esas características cuando se suministraba agua en el período de máximo crecimiento vegetativo.

En la producción de semillas de ciertas leguminosas, Hagan (25) observó que bajas tensiones osmóticas en el substrato radical reducían los rendimientos, en cambio con una tensión apropiada disminuía un poco el área foliar pero aumentaba notablemente la producción de semillas. Así mismo Stanhill (71) concluye que las plantas cultivadas para el aprovechamiento de sus partes vegetativas sufren más los efectos perjudiciales del aumento de tensión osmótica que las utilizadas por sus frutos o semillas.

El punto de vista de Brower, citado por Salter y Drew (64), para explicar la susceptibilidad de las leguminosas a escasez de agua, sugiere que en la época de floración y crecimiento de frutos aumenta la absorción de nutrimentos. Estos últimos autores encontraron que en la arveja cuando se inició el desarrollo de la primera yema floral se detuvo el crecimiento de nuevas raíces y muchas raíces viejas murieron, llegando a la conclusión que la planta depende, en esa etapa del desarrollo, más de la difusión del agua en el suelo que del desarrollo de nuevas raíces para absorción de agua y nutrimentos.

La morfogenesis apical y la formación de flores con relación a la sequía fueron estudiadas por Nicholls y May (56), Gates (22) y Husain y Aspinall (30) observaron que el ápice vegetativo es particularmente sensitivo a déficit de humedad en la etapa de diferencia-



ción vegetativa y floral lo cual repercute en los rendimientos.

Estudiando el efecto fotoperiódico y del déficit hídrico sobre la inducción floral, Aspinall y Husain (7) determinaron que algunas plantas, en la floración son influenciadas indirectamente por la defoliación que impide la traslocación del estímulo floral, no así el Lolium temulentum, que se comporta indiferente a la defoliación y presenta una floración normal. Esto permite suponer que el comportamiento de la floración en plantas afectadas por sequía, es también una manifestación de características genéticas de la especie o variedad.

#### 2.2.4. Crecimiento de raíces

Hagan (25) mencionó las características del sistema radical como un factor que influye marcadamente sobre el comportamiento de las plantas en condiciones de sequías.

Hayward y Spurr (27) estudiando el efecto de las concentraciones osmóticas del suelo en las raíces del maíz encontraron que a tensiones osmóticas elevadas se inhibía la actividad meristemática y como consecuencia la elongación y volumen de raíces. Los mismos resultados fueron obtenidos por Eaton (19) en plantas de tomate y maíz.

Experimentos hechos por Hayward y Spurr (26), Wadleigh y Ayers (76) y Janes (33) demostraron que existe una relación inversa entre el grado de absorción radical de agua y la presión osmótica existente en el sustrato.

### 2.3. Adaptaciones para tolerar la sequía

La naturaleza de la resistencia a la sequía ha sido revisada por Levitt (46), Jursanov (36), Parker (59) e Iljin (31).

La habilidad de las plantas para soportar la escasez de agua depende de muchos factores siendo los principales: capacidad de absorber agua más eficientemente, reducción eficaz de la transpiración por sus estomas y cutícula y tener células capaces de soportar deshidratación sin afectarse su metabolismo (40).

Un sistema radical bien desarrollado es considerado como la forma más importante de resistencia a la escasez de agua en plantas cultivadas (22). En el caso del frijol parece que la relación peso-seco de raíces / área foliar es una de las características importantes cuando se desea evaluar su resistencia a la sequía (67). Muchas plantas anuales por su breve ciclo de vida pueden crecer y fructificar en lugares secos con lluvias estacionales aprovechando del corto tiempo en que el suelo está húmedo escapando de la sequedad en lugar de soportarla. Este tipo de adaptación es muy común entre las gramíneas de lugares desérticos.

Clark y Levitt (14) estudiando la resistencia a sequía en Soya, comprobaron que la planta reacciona ante los efectos adversos del déficit de agua depositando lípidos en la superficie de las hojas.

### 2.4. Período de sequía crítico para el crecimiento

El efecto de la escasez de agua sobre el rendimiento del frijol depende de la etapa del desarrollo de la planta. Salter y Goode (65)

en la que concluye que la alta tensión de agua durante las primeras semanas de vida de la planta afecta principalmente el crecimiento vegetativo, pero cuando dicha tensión se presenta durante el período de formación de las flores, se reduce apreciablemente la producción de semillas debido a un alto porcentaje de abscisión de flores y vainas pequeñas.

En trabajos en que se aplicaron tensiones de humedad en diferentes épocas del crecimiento y desarrollo del maíz se comprobó que reduciendo el porcentaje de humedad del suelo cuando se estaban formando los estilos y estigmas se produjo una baja en los rendimientos del 50%. Si la tensión era mantenida constante a través del ciclo de vida de la planta la reducción era de un 21% (17).

## 2.5. Cultivo del frijol en soluciones nutritivas

Hewitt (28) hace una excelente revisión de las técnicas y fórmulas empleadas en el cultivo de plantas en solución nutritiva, incluyendo el frijol.

El cultivo del frijol en soluciones nutritivas han sido empleadas con éxito en los últimos años para muchos estudios fisiológicos, principalmente en los aspectos de nutrición mineral y salinidad (51). La solución nutritiva de Hoagland (4) es muy empleada en esos tipos de investigación y ha sido usada en frijol por muchos investigadores como Osawa y Lorenz (58), Al-Ani (3), Lagerwerff y Holland (42) y Masaya (49).

## 2.6. Sustancias productoras de tensión osmótica

Una forma de evaluar el efecto de la sequía en plantas es por medio del aumento de la tensión osmótica de la solución nutritiva en que ellas crecen. Para lograr esto se han empleado adiciones de sales simples (24), mezclas de sales (48) y compuestos orgánicos (27) pero debido a la toxicidad producida por exceso de sales o a la descomposición de las sustancias orgánicas estas adiciones han causado muchas dificultades.

Debido a su estabilidad química y a su baja metabolización el compuesto llamado comercialmente Carbowax está siendo usado en forma cada vez más generalizada para estudios de tensión osmótica en plantas (60). Este compuesto es un polímero del óxido de etileno que puede ser sintetizado en diferentes pesos moleculares, y es conocido químicamente como glicol polietilénico.

El glicol polietilénico en sus diferentes pesos moleculares ha sido usado por Leshen (45), Singh (68) y Parmar y Moore (60) para estudiar efecto de tensiones en la germinación de diferentes especies y en frijol la usó Tarquino (72).

Para estudiar el efecto de tensiones osmóticas en todo el ciclo vegetativo y reproductivo de diferentes plantas ha sido usado también este producto por Jackson (32), Jarvis (34), Ruff et al. (62) así como Lagerwerff, Ogata y Eagle (43) y Janes (33).

Aspinall y Husain (7) emplearon glicol polietilénico de peso molecular 4000 para estudiar la inhibición de la floración en tres especies vegetales.

En investigaciones realizadas sobre la absorción y efecto en el crecimiento del glicol polietilénico empleado como productor de tensión osmótica en sus diferentes pesos moleculares, Lawlor (44) demostró que estos compuestos cuando son de peso molecular muy elevado, pueden impedir el ingreso de nutrimentos y agua por los vasos conductores del frijol y maíz. Ruff et al. (62) recomiendan trabajar con pesos moleculares entre 1300 a 1600, ya que con este rango se presentaron menos efectos tóxicos debido a ciertas impurezas presentes en el glicol polietilénico de calidad técnica.

## 2.7. Tensiones que afectan el rendimiento

Entre los investigadores que han estudiado las tensiones osmóticas críticas que afectan el rendimiento en diferentes especies se puede mencionar a Slatyer (70) y Denmead y Shaw (17).

Al someter las plantas a diferentes niveles de tensión osmótica Magistad et al. (48) reportaron disminuciones de 50 y 75% de los rendimientos en frijol con tensiones de 2,4 y 4,4 atmósferas respectivamente estando el testigo a 0,4 atmósferas.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización del experimento

El presente trabajo se realizó en los invernaderos y el laboratorio de Fitofisiología del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, en Turrialba, Costa Rica. Este centro está ubicado a 602 m sobre el nivel del mar y su posición es de 9°53' de latitud norte y 83°39' de longitud occidental. Según Holdridge (29) corresponde a la zona ecológica de bosque subtropical húmedo con precipitación y temperatura promedio de 2600 mm y 22,5°C anuales respectivamente.

#### 3.2. Material vegetal empleado y su manejo

Las variedades que se estudiaron fueron Turrialba-4, Porrillo y Jamapa. Antes de poner a germinar las semillas, se desinfectaron con Clorox al 15% durante un minuto, luego se lavaron con agua destilada y se colocaron sobre pliegos de papel absorbente de 18 x 18 cm los que fueron asperjados con solución al 0,1% de Pentacloro nitrobenzeno. Seguidamente se cubrieron con hojas de polietileno negro del mismo tamaño y se enrollaron sobre si mismas para luego ser colocadas verticalmente en recipientes con solución Hoagland (4) a un cuarto de la concentración original.

Una vez ocurrida la germinación las semillas fueron movidas hacia el borde superior de los rollos para mejorar la iluminación de los hipocotilos y favorecer su enderezamiento. Se obtuvo 100% de germinación de las tres variedades en estudio.

A los seis días de puestas a germinar las semillas las plántulas tenían aproximadamente 8 cm de longitud y se colocaron suspendidas en las tapas de recipientes de plástico a razón de 16 plantas por recipiente. Los recipientes contenían 7,5 litros de solución nutritiva tipo Hoagland a la mitad de la concentración original. Las plantas permanecieron seis días en estos recipientes.

A los 12 días de edad las plantas se pasaron a los recipientes definitivos conteniendo el mismo tipo de solución nutritiva pero a la concentración original. En estos recipientes permanecieron hasta los 27 días en que se iniciaron los tratamientos de tensión osmótica. Los detalles de los recipientes usados pueden verse en la Figura 1.

### 3.3. Producción de las tensiones osmóticas

La sustancia empleada para incrementar la concentración osmótica de la solución Hoagland, fue el glicol polietilénico (GP) de la casa Baker, de peso molecular 1540, conocido también como Carbowax.

Las cantidades de GP totales necesarias para elevar la tensión osmótica de la solución Hoagland de 0,7 bares que es la tensión de dicha solución, a 1,8 y 3,0 bares fueron de 46 y 75 g por litro respectivamente, estas cantidades fueron adicionadas en fracciones de un tercio y un cuarto, respectivamente que se adicionaron diariamente para cada caso. Las tensiones osmóticas mencionadas se eligieron porque se deseaba permitir que las plantas completaran su ciclo de vida y que sus rendimientos mermaran aproximadamente un 50%. Esto se podría lograr con unos 3,0 bares (48).

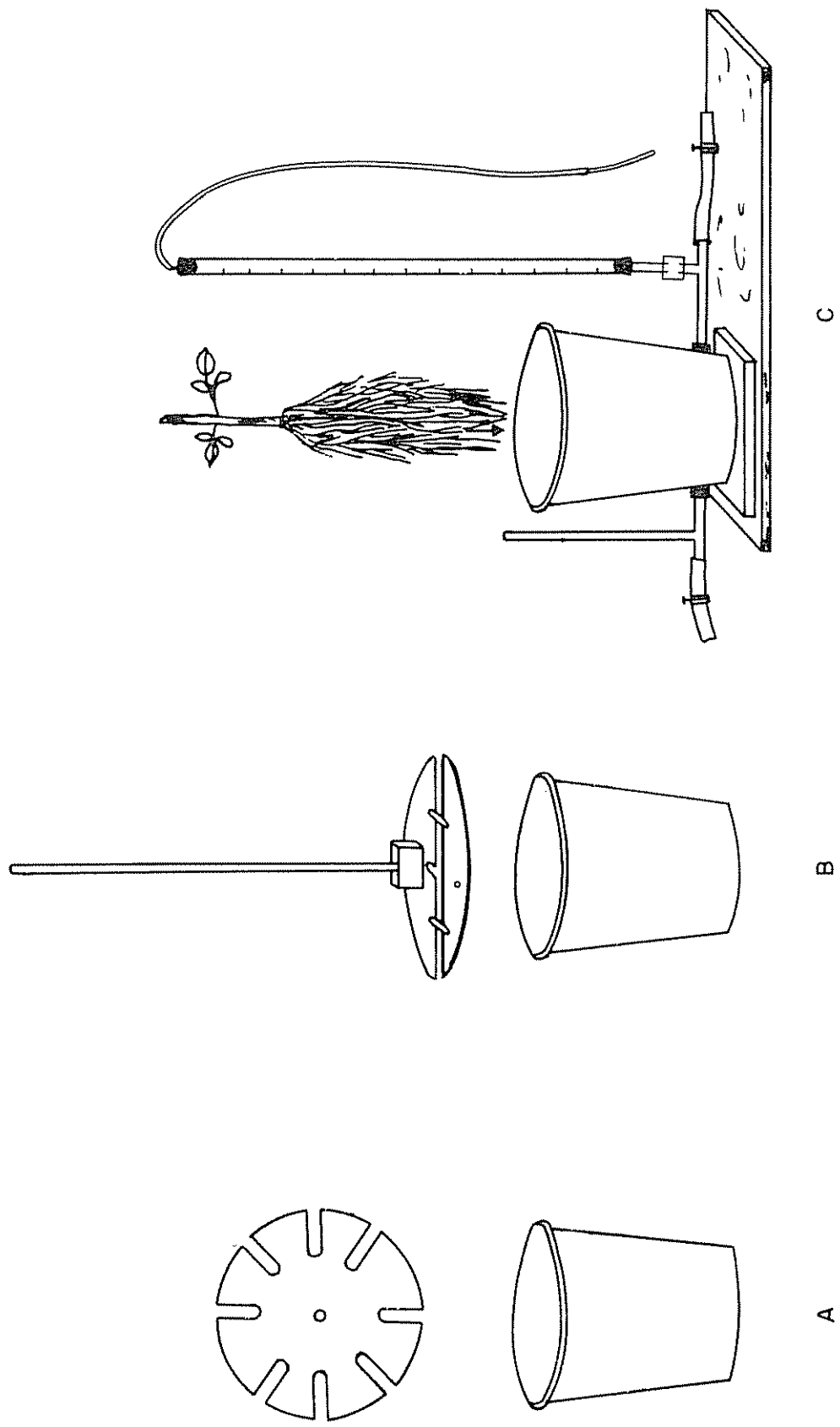


Fig. 1— EQUIPO DE INVERNADERO UTILIZADO EN EL EXPERIMENTO. — A) Recipiente colectivo usado para la etapa de plantas, B) Sistema usado para los tratamientos definitivos, C) Aparato para medir volumen de raíces.



Para determinar las cantidades de GP necesarias para lograr las tensiones empleadas en el experimento, se prepararon soluciones de 1 a 10% del producto en solución nutritiva y se determinó estadísticamente la tendencia de la curva y la fórmula de la misma. Los resultados de esta prueba preliminar se pueden ver en la Figura 2.

Para usar cómodamente el GP, sólido a temperatura ambiente, fue necesario hacer previamente una dilución del mismo al 80% P/V. Para verificar la exactitud de las tensiones osmóticas producidas en las soluciones nutritivas, esas fueron determinadas por Crioscopía después de adicionar las cantidades totales de GP.

Una vez adicionado el GP a los tratamientos que lo requerían, las soluciones nutritivas no fueron cambiadas hasta el final del experimento, por lo que fue necesario reponer periódicamente los macro y micronutrientes, corregir el pH llevándolo a 6,0 y mantener constante el volumen original. Las soluciones fueron permanentemente aeradas para mantener una concentración de oxígeno apropiada.

### 3.4. Determinación del área foliar

Antes de realizarse el presente experimento se cultivaron las tres variedades en estudio tanto en solución nutritiva como en macetas con suelo para tratar de encontrar una forma rápida y eficiente de determinar la superficie de las hojas trifoliadas en función de algún parámetro foliar tomando como base métodos empleados en frijol por Ackley (1) y en otras especies por Asomaning (5), Turrel (74) y Lyon (47).

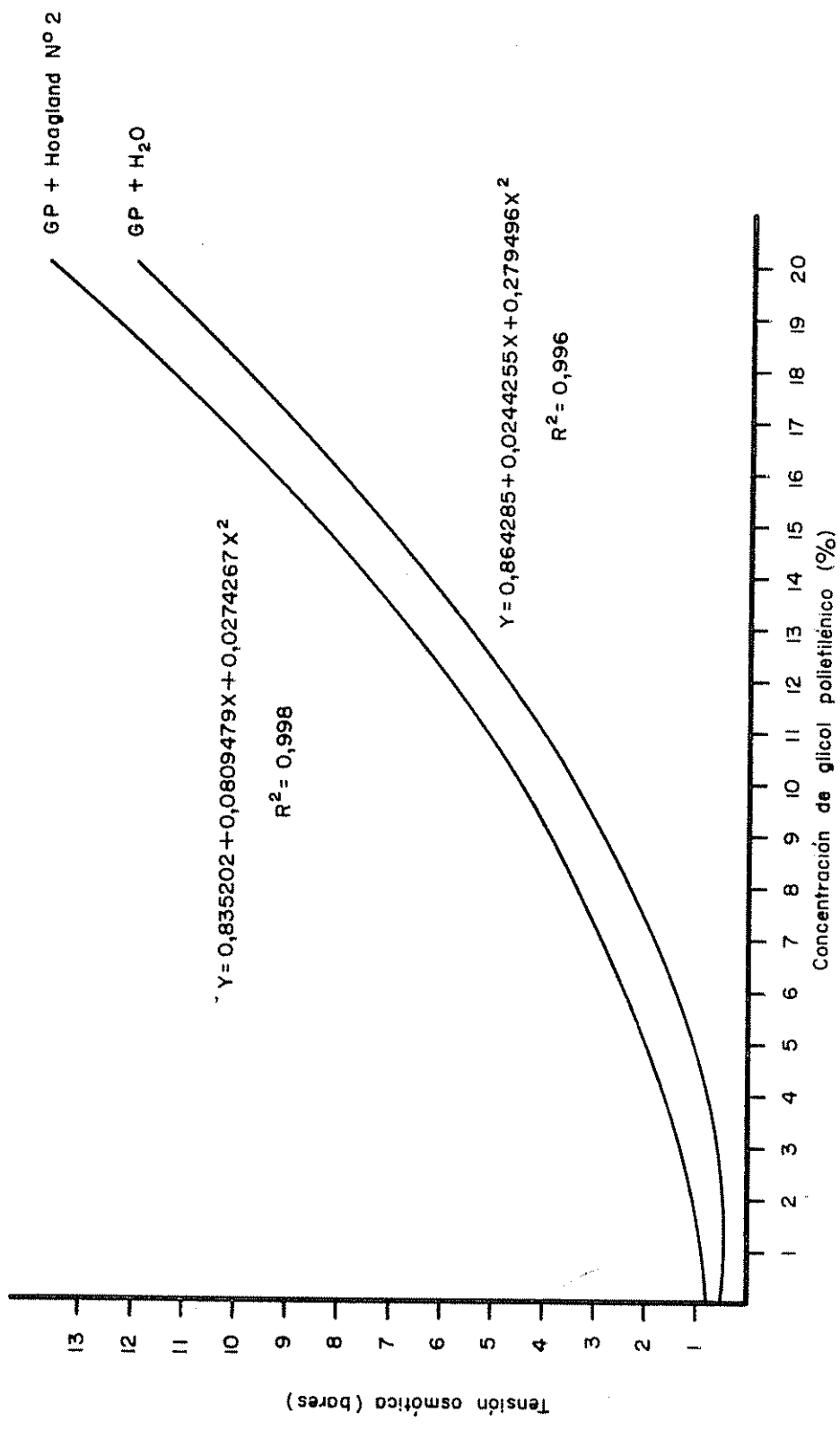


Fig. 2.- Curvas de tensiones osmóticas correspondientes a diferentes concentraciones de glicol polietilénico (GP-1540), en agua y en solución Hoagland Nº 2.

Después de determinar los coeficientes de correlación entre el área y los parámetros ancho, largo y ancho x largo se obtuvieron respectivamente los siguientes valores para  $r \pm$  0,98, 0,99 y 0,53. Se decidió emplear el ancho porque además de su aceptable coeficiente de correlación se podía determinar con mayor rapidez. La curva de predicción empleada para evaluar el área foliar en función del ancho del foliolo central se ve en la Figura 3. La medición del área foliar de todas las plantas se realizó cada 15 días.

### 3.5. Determinación de la secuencia de floración

Para contar la apertura diaria de flores, se determinó previamente la duración promedio del aspecto lozano de la flor recién abierta, tomando como referencia el cambio de coloración y turgidez de los pétalos. Este dato permitió la fácil identificación de las flores que se abrían cada día. El contaje de las flores recién abiertas en cada planta y por cada tratamiento fue hecho a la frecuencia de 2 veces al día. Una vez terminado el período de floración y conociendo el número total de flores producidas por planta fue fácil establecer la fecha en que ocurrió el 50% de la floración en cada caso. Los cambios de coloración fueron determinados en las tablas de colores para uso hortícola del British Colour Council (11).

### 3.6. Volumen de raíces

Durante el ensayo se hicieron cuatro determinaciones del volumen de las raíces, a los 18, 28, 48 y 83 días de edad de las plantas.

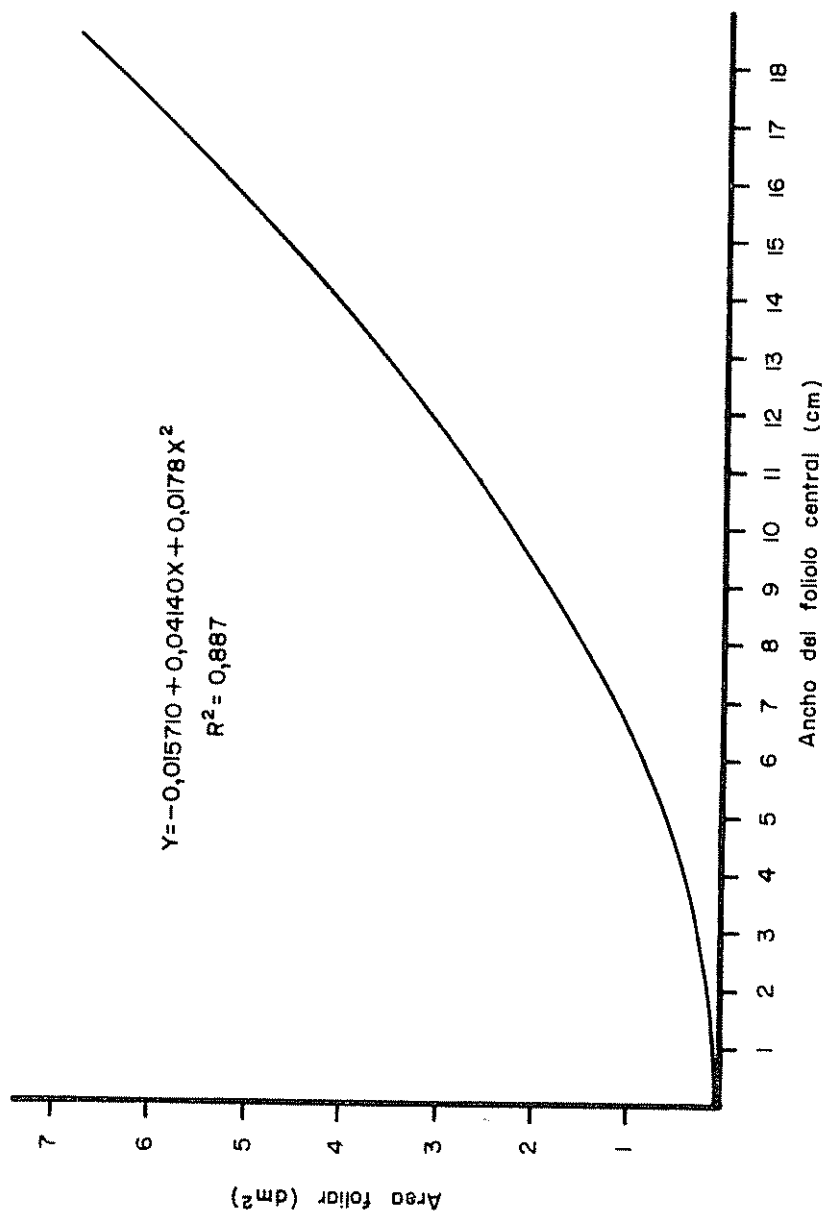


Fig. 3 - Curvo de área foliar en función del ancho del foliolo central en tres variedades de frijol.

El aparato empleado para hacer las mediciones fue el descrito por Jiménez (35) con algunas modificaciones, siendo la principal posibilidad de intercambiar los recipientes donde se sumergen las raíces para adaptarse a su tamaño y así poder efectuar mediciones más precisas. Los detalles pueden verse en la Figura 1.

Antes de hacer cada medición las plantas eran colocadas en un recipiente vacío por 3 minutos para escurrir la solución que retenían las raíces en exceso, la cual era devuelta al recipiente original.

### 3.7. Procedimiento experimental

El diseño empleado fue de bloques al azar con 9 tratamientos y 4 repeticiones. Las plantas que se emplearon en el experimento fueron 36, estando cada una de las tres variedades representada por 12 plantas las que recibieron 3 niveles de tensión osmótica en sus raíces: 0,7, 1,8 y 3,0. La tensión 0,7 bares se consideró como Testigo por ser esta la tensión de la solución Hoagland a concentración original y sin adición de GP.

### 3.8. Medición de la transpiración

El volumen original de la solución nutritiva en los recipientes fue de 7,5 litros. Las pérdidas por transpiración fueron repuestas dos veces por semana, por las noches, adicionando agua destilada.

La primera reposición se hizo todos los lunes y la segunda en la noche de cualquier otro día de la semana en que hubiese habido cielo despejado, para acentuar las diferencias en volumen. En estas

oportunidades se midió, con una probeta, el volumen empleado para alcanzar el nivel original y el valor obtenido se dividió para el número de días de intervalo entre dos reposiciones. Este volumen se lo consideró como la transpiración promedio por día durante esa semana.

Las pérdidas de agua por efecto de la aereación de las soluciones fue evaluado en un recipiente sin planta.

### 3.9. Toma de muestras para análisis químico y renovación de soluciones

Mientras las plantas no recibían el GP y estuvieron en solución nutritiva completa (del 15<sup>o</sup> al 28<sup>o</sup> día) se analizó solo una vez la solución nutritiva tomándose alícuotas de 50 ml tanto de la solución fresca como de la usada por las plantas para poder determinar el consumo de macronutrientes por diferencia.

Después de adicionar GP ya no hubieron cambios de solución nutritiva sino tres reposiciones de elementos correspondiendo a las edades de 42, 57, y 72 días. Para realizar los análisis a estas edades primeramente se llevó a volumen los recipientes y se tomó una alícuota de 50 ml de cada uno para analizar los elementos consumidos. Un día después y con el propósito de que 'bajara' el nivel de la solución nutritiva, se repusieron los macroelemento mediante la adición de una solución renovadora tipo Hoagland No. 2 concentrada 10 veces.

El volumen de la solución renovadora y por lo tanto el contenido de elementos que se agregaron a las soluciones usadas varió con

la edad de las plantas de acuerdo al Cuadro 1. El volumen que se adicionó al realizar la renovación se tomó en cuenta al evaluar el agua transpirada.

Cuadro 1. Nutrimientos (ppm) adicionados a diferentes edades de las plantas con varios volúmenes de solución renovadora tipo Hoagland concentrada 10 veces.

	E d a d (días)		
	42	57	72
Volumen de solución renovadora (ml/7,5 litros)	750	500	200
Proporciones aportadas de elementos (100% = solución fresca)	75	50	25
Nitrógeno	140,00	105,00	53,00
Fósforo	20,00	15,00	7,50
Potasio	156,00	117,00	58,50
Calcio	32,00	24,00	12,00
Magnesio	106,60	80,00	40,00
Azufre	42,60	32,00	16,00

### 3.10. Métodos para análisis de macroelementos

#### Nitrógeno

El nitrógeno se determinó por el método de Micro-Kjeldahl utilizando el aparato diseñado por Müller (55). Este método analiza solamente el nitrógeno nítrico y amoniacal.

### Fósforo

Para la determinación del fósforo se utilizó el método de Fiske-Subarrow (13) modificado, que consistió en el uso de HCl en vez de  $H_2SO_4$  como agente acidificador. Al tomar la alícuota fue necesario digerirla en una solución de Acido Nítrico y Perclórico a una proporción 5:1 para eliminar la interferencia del glicol polietilénico que causaba turbidez.

### Azufre

El azufre se determinó por el método de la Association of Official Agricultural Chemists de Estados Unidos de Norte América (8) con una modificación consistente en el uso de 1 g de  $BaCl_2$ , que forma un precipitado blanco estabilizado con la adición de una solución al 0,5% de goma arábica.

### Calcio, Magnesio y Potasio

Para la determinación de estos elementos se hizo una dilución 1:20 con las alícuotas de las soluciones nutritivas analizándolas directamente con un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer modelo 303 (16).

### 3.11. Componentes del rendimiento estudiados

Cuando las plantas presentaron síntomas de completa defoliación y amarillamiento de las vainas se consideró finalizado su ciclo de vida procediéndose al retiro de las plantas y a la cosecha de frutos.



El criterio para elegir los componentes que se estudiaron se basa en trabajos de Pinchinat (61), Serrano (67) y Selassier (66).

Se recolectaron, por planta, todas las vainas de color amarillento y consistencia corolacea, las que se guardaron en bolsas de papel. Luego fueron sometidas a la radiación de un foco infrarrojo de 150 watts situado a 80 cm de las bolsas permitiendo una temperatura interior de aproximadamente 29°C.

De esta manera se obvió el inconveniente de la falta de luz so-lar y exceso de humedad, que no permitían un secado normal y unifor-me.

Una vez secas las vainas se pesaron por planta.

#### Rendimiento por planta

Para obtener el rendimiento de cada tratamiento se pesó la can-tidad total de semillas producidas por planta. Se determinó la hume-dad actual con un higrómetro de semillas Steinlite tipo G. y por co-rrección se uniformizaron todos los rendimientos al 12% de humedad.

Se tomó al mismo tiempo el peso de cáscara por planta, dato que se obtuvo por diferencia entre el peso total de frutos y peso de se-millas.

#### Número de semillas por vaina

Se obtuvo el número de vainas y el número de semillas para cada variedad y tratamientos procediendo luego a calcular el número prome-dio de semillas por vaina.

Peso de 100 semillas

Para la determinación del peso de 100 semillas se tomaron grupos al azar individualmente para cada planta y tratamientos y se pesaron en una balanza, luego se procedió a la corrección del peso por humedad. La decisión para estudiar esta característica se basó en que es una magnitud muy empleada para evaluar calidad de semillas en frijol (12).

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1. Caracteres cualitativos del crecimiento de las plantas

La germinación fue de 100% en todas las variedades. En los recipientes colectivos las plantas mostraron buena vitalidad, altura uniforme y buena conformación de las hojas cotiledonarias y raíces. Al transferirlas a los recipientes individuales, se observó después de una semana la presencia de manchas cloróticas con bordes angulares en las hojas adultas, posteriormente se manifestó una curvatura marginal hacia abajo. Este síntoma fue más frecuente en la variedad Jamapa. A los siete días el síntoma ya no progresó y brotaron hojas normales.

Al aplicarse las primeras dosis de GP fue evidente, en las horas de alta temperatura y luminosidad, la pérdida de turgencia en las hojas recuperándola al atardecer. Las plantas toleraron bien las dosis fraccionadas de GP sin mostrar efectos irreversibles.

En todo el período que duró el experimento, se presentaron ataques esporádicos de mildiú (Erysiphe polygoni DC ex Mirat) los cuales quedaron controlados con Karatane al 0,05% en solución acuosa.

No se registraron cambios apreciables en el valor del pH de la solución nutritiva. El pH de las soluciones que llevaron GP, mostró más estabilidad.

La presencia de algas, se notó a simple vista en los tratamientos con GP y no en los demás.

Las plantas testigos presentaron follaje de color y apariencia normales. Las tratadas con GP presentaron un amarillamiento

intervernal característico. Al finalizar el experimento el follaje de las plantas bajo tensiones altas se manifestó flácido y las manchas cloróticas pasaron a necróticas mostrándose de apariencia húmeda.

En algunas plantas de las variedades Jamapa y Porrillo se manifestó una necrosis marginal con enrollamiento hacia abajo, y en algunas de Turrialba-4 se presentó además necrosis apical del foliolo central.

#### 4.2. Efectos de los tratamientos sobre la floración

##### 4.2.1. Número de flores

En el Cuadro 2 se muestra que el porcentaje de floración disminuye en cada variedad a medida que aumentan las tensiones siendo las reducciones, en promedio, de aproximadamente 33% para 3,0 bares. Estas diferencias en porcentaje no fueron significativas entre las variedades lo que puede notarse en el Cuadro 3.

Luego de hacer el análisis de variancia no hubo diferencia significativa entre el número de flores producidas por todas las variedades bajo el efecto de los tratamientos (Cuadro 4).

Según se nota en el Cuadro 5 el cociente Fruto / Flores tiende generalmente a disminuir a medida que se incrementa la tensión osmótica excepto en la variedad Porrillo.

En el Cuadro 6 se aprecia una asociación negativa significativa de esta característica con las tensiones, además se puede ver en el mismo cuadro, correlaciones altamente significativas con otras variables estudiadas.

Cuadro 2. Efectos de las tensiones osmóticas sobre las variables indicadas en tres variedades de frijol expresadas en porcentaje. (O)

Variables,	J. K. P. A.			P. O. R. R. I. L. L. O.			T. U. R. R. I. L. B. A. 4		
	0.7	1.8	3.0	0.7	1.8	3.0	0.7	1.8	3.0
Rendimiento (g)	100	39.64	42.04	100	72.72	45.78	100	60.14	38.42
Peso de 100 semillas (g)	100	91.41	88.49	100	95.57	86.14	100	89.80	81.90
Peso de cascara (g)	100	54.86	39.90	100	84.25	77.70	100	43.73	33.22
Peso total de frutos (g)	100	42.07	41.92	100	74.85	54.09	100	57.87	38.05
Número total de semillas	100	43.96	53.08	100	82.92	40.92	100	54.72	39.97
Número de frutos buenos	100	50.00	47.82	100	82.81	67.18	100	59.09	44.31
Número total de frutos	100	54.28	61.23	100	89.92	72.09	100	72.67	51.10
Número de frutos vanos	100	200.00	470.00	100	1000.00	800.00	100	220.00	200.00
Fruto de 7 semillas	100	45.45	31.80	100	95.40	70.00	100	45.45	45.45
Número de frutos por planta	100	54.20	61.20	100	89.30	72.80	100	72.49	51.11
Número de semillas/fruto	100	91.40	48.90	100	92.10	56.00	100	76.10	74.80
Número total de flores	100	59.93	79.00	100	85.70	61.98	100	75.74	65.67
Tiempo del 50% - Floración (días)	100	67.69	60.46	100	82.92	80.48	100	72.25	77.50
Máximo volumen de raíces (cm <sup>3</sup> )	100	45.36	81.97	100	86.19	66.36	100	70.96	68.54
Peso fresco de raíles (g)	100	60.06	67.50	100	71.60	59.40	100	60.90	78.70
Peso seco de raíces (g)	100	62.30	72.40	100	82.62	57.70	100	65.10	82.71
Máxima transpiración (ml)	100	48.86	77.70	100	81.20	79.04	100	47.11	41.92
Máxima área foliar (dm <sup>2</sup> )	100	65.30	53.85	100	79.33	63.62	100	64.69	58.56
Absorción de N	100	73.32	73.32	100	105.40	71.2	100	72.74	61.71
Absorción de P	100	61.92	96.28	100	104.33	91.33	100	100.00	92.81
Absorción de K	100	79.37	68.60	100	83.02	58.21	100	90.33	58.41
Absorción de Ca	100	52.74	57.15	100	71.97	62.03	100	62.61	61.24
Absorción de Mg	100	91.53	86.51	100	99.82	76.74	100	86.15	74.61
Absorción de S	100	100.00	95.41	100	85.82	76.20	100	72.14	74.88

(O) Comparaciones hechas con los respectivos testigos de cada variedad.

Cuadro 3. Efectos promedios de tres tensiones osmóticas sobre las variables indicadas en tres variedades de frijol (O)

Variables	J A N A R I A			P O R R I L L O			T U R R I E R A		
	0.7	1.8	3.00	0.7	1.8	3.00	0.7	1.8	3.0
Rendimiento (g)	44.95	17.58 <sup>+</sup>	18.90 <sup>+</sup>	51.55	37.49	23.50 <sup>+</sup>	54.70	32.90	21.02 <sup>+</sup>
Peso de 100 semillas (g)	22.95	20.28	20.31	22.59	21.59	19.46	21.98	19.74	18.02
Peso de cascara (g)	10.90	5.98	4.35	11.75	9.50	9.13	18.75	8.20	6.25
Peso total de frutos (g)	55.93	23.53	23.45	63.28	47.38	34.23	70.95	41.05	27.00
Número total de semillas	178.00	88.25	94.50	206.50	171.25	84.50 <sup>+</sup>	295.75	162.00 <sup>+</sup>	112.00 <sup>++</sup>
Número de frutos buenos	34.50	17.25 <sup>+</sup>	16.50 <sup>+</sup>	32.00	26.50	21.50	43.90	26.00 <sup>+</sup>	19.50 <sup>++</sup>
Número total de frutos	35.50	19.25	21.75	32.25	29.00	23.50	45.20	31.25	22.00
Número de frutos vanos	1.00	2.00	4.70 <sup>+</sup>	0.25	2.50 <sup>+</sup>	2.00 <sup>+</sup>	1.25	2.75	2.25 <sup>+</sup>
Fruto de 7 semillas	11.00	5.00	3.50 <sup>+</sup>	11.00	10.50	7.50	11.00	5.00 <sup>+</sup>	5.0 <sup>+</sup>
Número de frutos por planta	8.87	4.81	5.43	8.06	7.20	5.87	10.76	7.80	5.50
Número de semillas /fruto	5.01	4.58	4.34	6.40	5.90	3.59	6.80	5.18	5.09
Número total de flores	78.00	46.75	62.25	78.25	65.50	48.50	109.25	82.75	71.75
Tiempo del 50% - Floración (días)	10.75	7.50 <sup>++</sup>	6.50 <sup>++</sup>	10.25	8.50	8.25 <sup>++</sup>	10.00	7.25 <sup>++</sup>	7.75 <sup>++</sup>
Máximo volumen de raíces (ml)	121.25	55.00 <sup>++</sup>	83.00	112.25	96.76	74.50	124.00	88.00	85.00
Peso fresco de raíces(g)	64.32	39.04	53.37	94.80	67.97	56.35 <sup>+</sup>	83.96	51.15 <sup>+</sup>	66.10
Peso seco de raíces(g)	3.40	2.12	2.70	4.90	4.05	2.93	3.99	2.60	3.30
Máxima transpiración (ml)	611.25	296.25	475.00	656.25	537.50	518.75	1106.00	521.25 <sup>++</sup>	463.75 <sup>++</sup>
Máxima area foliar (dm <sup>2</sup> )	62.84	41.04	33.84 <sup>+</sup>	68.24	54.14	43.43 <sup>+</sup>	85.96	56.40	49.14 <sup>++</sup>
Absorción de N (ppm)	2598.00	1905.00 <sup>+</sup>	1983.00	2885.00	3041.00	2055.00 <sup>+</sup>	3262.00	2370.00 <sup>+</sup>	2013.00
Absorción de P (ppm)	457.00	283.00 <sup>+</sup>	440.00	461.00	481.00 <sup>+</sup>	425.00 <sup>+</sup>	549.00	548.00	445.00
Absorción de K (ppm)	2169.00	1721.00 <sup>+</sup>	1488.00 <sup>+</sup>	2338.00	1981.00 <sup>+</sup>	1389.00 <sup>+</sup>	2338.00	2112.00	1950.00 <sup>+</sup>
Absorción de Ca (ppm)	1475.00	778.00 <sup>+</sup>	843.00 <sup>+</sup>	1891.00	1361.00 <sup>+</sup>	1171.00 <sup>+</sup>	1886.00	1181.00 <sup>+</sup>	1155.00 <sup>+</sup>
Absorción de Mg (ppm)	508.00	465.00	439.00	559.00	558.00	429.00 <sup>+</sup>	585.00	504.00 <sup>+</sup>	433.00 <sup>+</sup>
Absorción de S (ppm)	393.00	393.00	375.00	395.00	339.00 <sup>+</sup>	301.00 <sup>+</sup>	438.00	316.00 <sup>+</sup>	328.00 <sup>+</sup>

(O) Comparaciones hechas con los respectivos testigos en cada variedad

(+) Diferencia significativa al nivel P<sub>0.05</sub>

(++) Diferencia significativa al nivel P<sub>0.01</sub>

Cuadro 4. Cuadros medios de las características observadas en tres variedades de frijol bajo tres tensiones osmóticas<sup>#</sup>.

Fuentes de variabilidad	Repeticiones		Tratamientos (T)		Variedad (V)		T x V		Error
	4	4	2	2	2	2	4	24	
G.L.									
Rendimiento	119.781	2730.218 <sup>++</sup>	384.933	859.979	328.570				
Número total de semillas	621.580	5221.736 <sup>++</sup>	14634.790	4770.770	5044.500				
Número total de frutos	80.546	1026.583 <sup>++</sup>	151.083	74.416	135.750				
Tiempo del 50% de floración	0.990	29.527 <sup>++</sup>	2.027	1.777	1.865				
Máximo volumen de raíces	1121.361	6175.361 <sup>++</sup>	1831.861	233.518	859.900				
Peso fresco de raíces	78.685	2682.273 <sup>++</sup>	1374.172	301.239	481.330				
Máxima transpiración	27191.285	442076.063 <sup>++</sup>	40908.586	140242.469	59540.000				
Máxima área foliar	394.793	2779.599 <sup>++</sup>	313.000	518.283	278.260				
Absorción de N	3277.927	583503.751 <sup>++</sup>	1671.047	1617.813	3699.000				
Absorción de P	147.219	16218.361 <sup>++</sup>	16.301	4.349	42.450				
Absorción de K	436.664	375595.875 <sup>++</sup>	1809.488	1876.301	492.400				
Absorción de Ca	2073.671	213616.437 <sup>++</sup>	1677.619	1439.399	1229.000				
Absorción de Mg	6.417	19233.074 <sup>++</sup>	1.701	3.940	16.541				
Absorción de S	23.832	10874.140 <sup>++</sup>	48.163	42.001	41.400				

# No incluye características en las cuales no hubo significancia

++ Diferencia significativa al nivel P 0,05.

Cuadro 5. Efecto de tres tensiones osmóticas sobre la relación entre diferentes características de tres variedades de frijol<sup>#</sup>.

Relaciones	Tensiones			FORRILLO			TURRIABA-4			
	J/M/PA	J/M/PA	J/M/PA	1,8	0,7	1,8	3,0	0,7	1,8	3,0
Peso cáscara x 100	24,20	33,00	23,00	22,00	26,40	38,80	34,00	21,90	29,63	
Rendimiento										
Frutos buenos x 100	44,23	36,89 <sup>+</sup>	26,50 <sup>++</sup>	40,89	40,45	44,32	40,27	31,41 <sup>+</sup>	27,17 <sup>++</sup>	
Flores totales										
Frutos vanos x 100	2,80	1,15	2,85	0,78	0,94	0,93	2,88	1,05	1,28	
Frutos buenos										
Peso seco de raíces x 100	4,60	5,80	4,90	5,09	6,03	5,17	4,97	5,32	5,03	
Peso fresco de raíces										
Area foliar cm <sup>2</sup>	10,20	13,80	7,10	10,40	10,00	8,30	7,50	10,80	10,60	
Transpiración me										
Area foliar cm <sup>2</sup>	139,70	233,80	179,00	132,30	144,40	184,80	153,40	175,10	239,00	
Rendimiento g										

+ Diferencia significativa al nivel de P 0,05

++ Diferencia significativa al nivel de P 0,01



Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre algunas características en tres variedades de frijol.

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>
1,000	0,942 <sup>++</sup>	0,925 <sup>++</sup>	0,718 <sup>++</sup>	0,819 <sup>++</sup>	0,776 <sup>++</sup>	0,761 <sup>++</sup>	0,901 <sup>++</sup>	0,932 <sup>++</sup>	-0,584 <sup>++</sup>
	1,000	0,988 <sup>+</sup>	0,761 <sup>++</sup>	0,769 <sup>++</sup>	0,643 <sup>++</sup>	0,780 <sup>++</sup>	0,890 <sup>++</sup>	0,918 <sup>++</sup>	-0,547 <sup>++</sup>
		1,000	0,787	0,757	0,688	0,732	0,874	0,899	-0,484
			1,000	0,623 <sup>+</sup>	0,562 <sup>++</sup>	0,647 <sup>++</sup>	0,748 <sup>++</sup>	0,732 <sup>++</sup>	-0,419 <sup>+</sup>
				1,000	0,943 <sup>++</sup>	0,610 <sup>++</sup>	0,756 <sup>++</sup>	0,753 <sup>++</sup>	-0,369 <sup>+</sup>
					1,000	0,537 <sup>+</sup>	0,692 <sup>++</sup>	0,672 <sup>++</sup>	-0,337 <sup>NS</sup>
						1,000	0,709 <sup>++</sup>	0,772 <sup>++</sup>	-0,459 <sup>++</sup>
							1,000	0,932 <sup>++</sup>	-0,564 <sup>++</sup>
								1,000	-0,653 <sup>++</sup>
									1,000

R = Matriz de correlación

X<sub>1</sub> = Rendimiento

X<sub>2</sub> = Número de frutos buenos

X<sub>3</sub> = Número total de frutos

X<sub>4</sub> = Número de flores

X<sub>5</sub> = Peso fresco de raíces

X<sub>6</sub> = Peso seco de raíces

X<sub>7</sub> = Máximo volumen de raíces

X<sub>8</sub> = Máxima área foliar

X<sub>9</sub> = Máxima transpiración

X<sub>10</sub> = Tensión osmótica

+ Significancia 0,05

++ Significancia 0,01

NS Sin significancia

Con los datos sobre floración en relación al tiempo transcurrido desde su iniciación se hicieron curvas con datos estimados los cuales se muestran en la Figura 4.

#### 4.2.2. Tiempo para ocurrir el 50% de la floración

La iniciación de la floración no se afectó con los tratamientos por lo que no justificó analizarlos estadísticamente. En este análisis se consideró el número de días transcurridos desde el inicio de la floración hasta la fecha en que ocurrió el 50% de la misma. En el Cuadro 4 puede apreciarse el análisis estadístico de estos datos en que se ve que la variación de los mismos bajo efecto de los tratamientos resultó altamente significativo.

En el Cuadro 3 se ve que en la variedad Jamapa las variaciones en días para llegar al máximo de floración fue afectada en forma altamente significativa tanto por 1,8 bares como por 3,0 bares de tensión, ocurriendo lo mismo con la variedad Turrialba-4. En la variedad Porrillo solamente 3,0 bares produjeron variaciones significativas. La tendencia general fue adelantarse dicha fecha con los incrementos de tensión.

La representación de los datos en porcentajes pueden verse en el Cuadro 2 en donde se nota que la variedad Jamapa fue la más afectada por las tensiones en relación con el testigo de la misma variedad y siendo la menos afectada la variedad Porrillo.

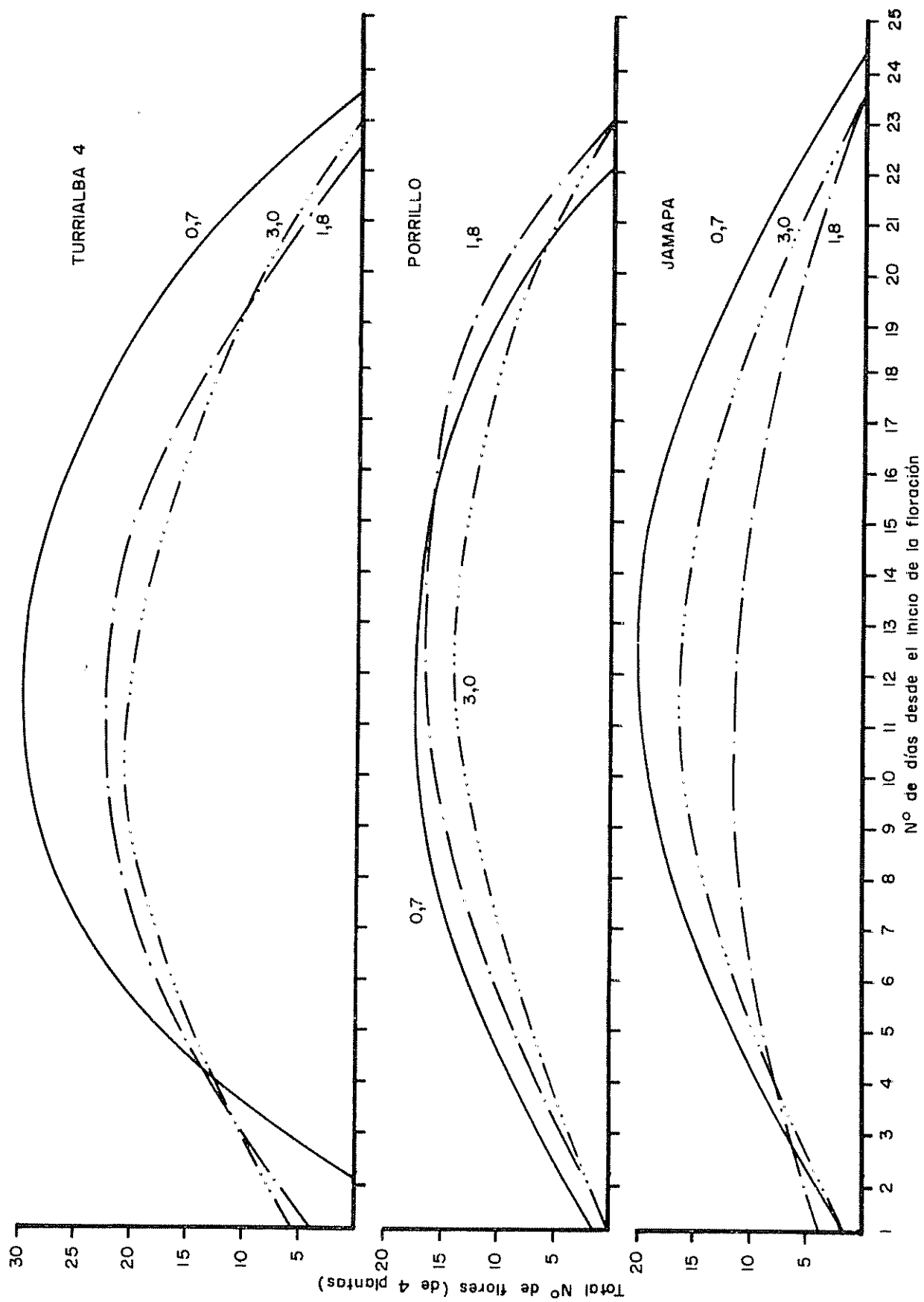


Fig. 4— Curvas del número de flores producidas a partir del inicio de la floración, en tres variedades de frijol.

#### 4.3. Efecto de los tratamientos sobre los frutos

##### 4.3.1. Número de frutos

De acuerdo al análisis de variancia presentado en el Cuadro 4 las variaciones en número de frutos por efectos de los tratamientos de tensión osmótica fueron significativas. En la Figura 5 es posible ver la manera como fluctúa esta variable en función de las tensiones.

Al analizar los datos por variedad lo cual se ve en el Cuadro 3, las variaciones en número de frutos buenos producidos por los tratamientos tienen significación para 1,8 y 3,0 bares de tensión tanto para Jamapa como para Turrialba-4 no siendo así para Porrillo. En todos los casos la tendencia es decreciente.

Los datos expresados en porcentaje en el Cuadro 2 muestran que la variedad que se afectó menos con las tensiones en lo relacionado al número de frutos buenos por planta fue Porrillo.

No se obtuvieron efectos significativos de las tensiones osmóticas sobre el número total de frutos, sin embargo es notorio este efecto sobre el número de frutos vanos.

La asociación del índice Frutos buenos/Flores totales, con las tensiones osmóticas (Cuadro 7) no fue significativa en todas las variedades. Estos índices (Cuadro 5) siguen una tendencia descendente con las tensiones osmóticas a excepción de Porrillo.

En el caso de las asociaciones Frutos vanos/Frutos buenos, con los niveles de tensión (Cuadro 7) fueron significativas solo en la variedad Jamapa.

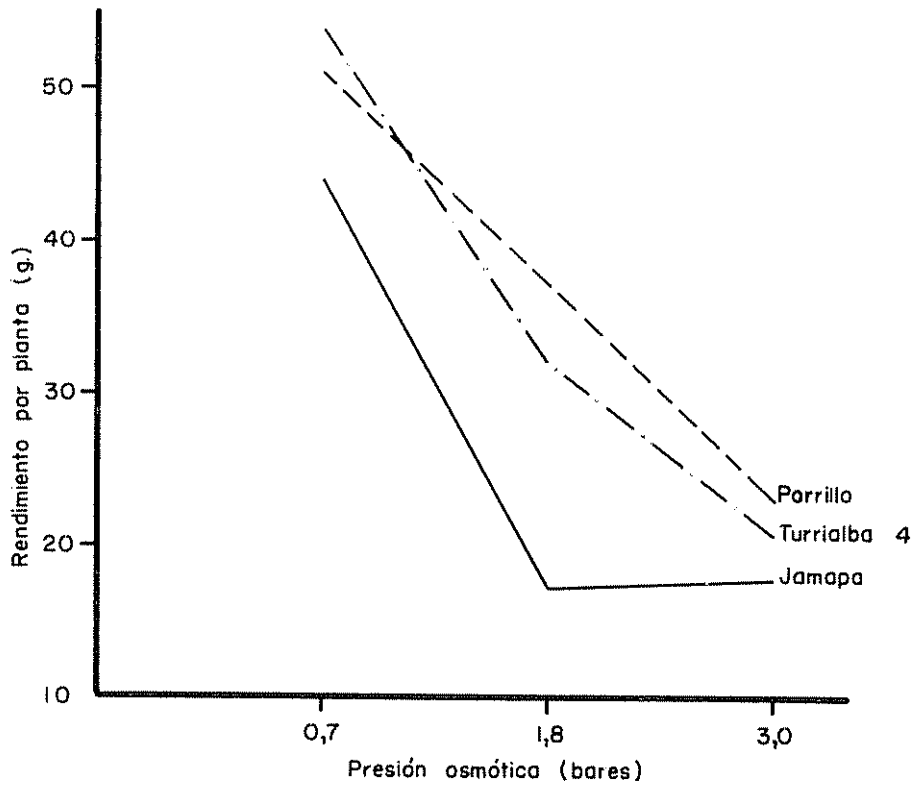


Fig. 5— Rendimiento promedio de semillas por planta en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas.

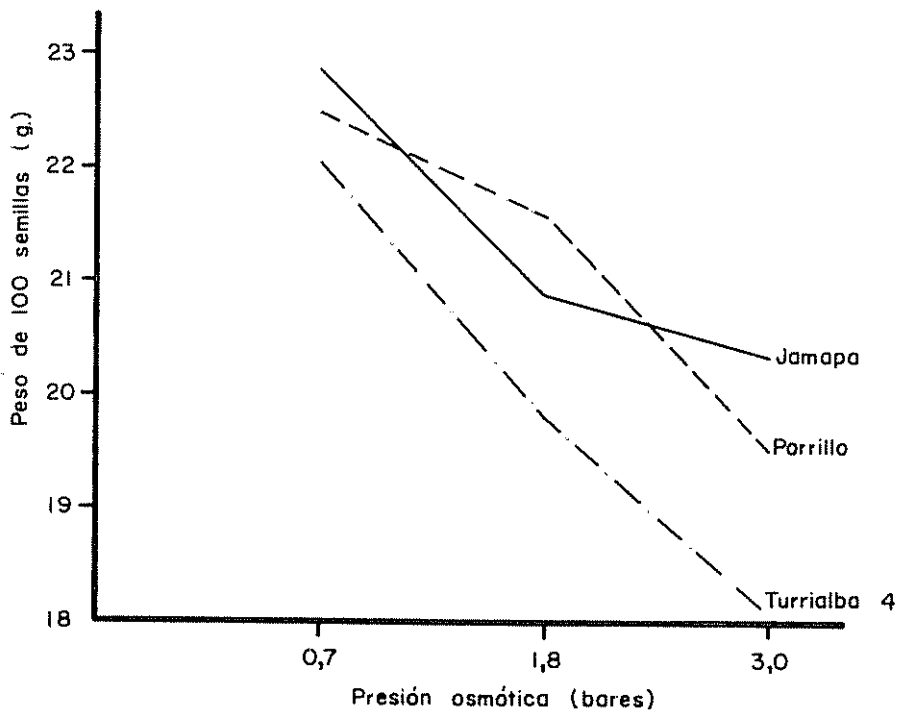


Fig. 6— Peso promedio de 100 semillas en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación entre la tensión osmótica y algunas variables observadas en cada variedad de frijol estudiada.

	JAMAPA	PORRILLO	TURRIALBA-4
Peso de semilla	-0.587*	-0.621*	-0.601*
Máxima área foliar	-0.606*	-0.538NS	-0.646*
Máxima transpiración	-0.602*	-0.683*	-0.746**
Frutos de 7 semillas	-0.652*	-0.623*	-0.489NS
Peso de cáscara			
<u>Rendimiento</u>	0.040NS	0.420NS	0.151NS
Frutos buenos			
<u>Flores totales</u>	-0.259NS	-0.239NS	-0.565NS
Frutos vanos			
<u>Frutos buenos</u>	0.776**	0.491NS	0.574NS
Peso seco de raíz			
<u>Area foliar</u>	0.508NS	-0.093NS	0.666*
Area foliar			
<u>Transpiración</u>	-0.224NS	-0.309NS	0.439NS
Area foliar			
<u>Rendimiento</u>	-0.162NS	-0.562NS	0.378NS

\* Significancia 0,05

\*\* Significancia 0.01

NS Sin significancia

#### 4.3.2. Número de semillas por fruto

En cuanto a este componente del rendimiento, no se encontraron diferencias significativas dentro de las variedades (Cuadro 3), pudiéndose observar en el Cuadro 2 que la variedad Jamapa redujo a 48,9%, y la Porrillo y Turrialba-4 a 56 y 74% respectivamente el número de semillas por fruto a 3,0 bares.

Al momento de cosechar los frutos se determinó que los que tenían 7 semillas eran los más frecuentes en las tres variedades. La tensión de 3,0 bares afectó significativamente el contenido de estos frutos en las variedades Jamapa y Turrialba-4, no ocurriendo esto con la Porrillo (Cuadro 3). Así mismo hubieron asociaciones negativas altas en las tres variedades en relación con la tensión excepto en la variedad Turrialba-4 (Cuadro 7).

#### 4.4. Efecto de los tratamientos sobre las semillas

##### 4.4.1. Número de semillas por planta

De los resultados del análisis de la variancia que muestra el Cuadro 4 se puede concluir que las variaciones motivadas por los tratamientos en el número total de semillas, fueron altamente significativos.

En el Cuadro 3 en que se analiza el efecto de los tratamientos sobre el número de semillas por variedad se puede ver que esta variable, no se afectó significativamente con los tratamientos en la variedad Jamapa. En la variedad Porrillo se afectó dicha variable

solamente a 3,0 bares. La variedad Turrialba-4 fue la más afectada en este aspecto.

Al expresarse los resultados en porcentaje (Cuadro 2) podemos ver que la tensión de 3,0 bares redujo el número de semillas en las tres variedades en aproximadamente un 55%.

#### 4.4.2. Rendimiento

En el Cuadro 4 en que se aprecian los resultados del análisis de variancia puede verse que el rendimiento fue una variable afectada significativamente por influencia de los incrementos de tensión.

Al analizar el comportamiento de esta variable por variedad vemos en el Cuadro 3 que la tensión de 3,0 bares afectó los rendimientos de todas las variedades en forma significativa. En la variedad Jamapa, 1,8 bares de tensión ya redujo el rendimiento significativamente.

Al expresar en porcentaje los datos (Cuadro 2), la tensión 1,8 bares afectó más, proporcionalmente, a la variedad Jamapa y 3,0 bares afectaron en igual forma a las tres variedades.

Las variaciones en el peso de 100 semillas no fueron significativas entre variedades o tratamientos (Cuadro 3).

En las Figuras 7 y 8 se muestran gráficos en los que se relacionan; por variedad, peso de semillas por planta y peso de 100 semillas para los tres tratamientos de tensiones. En dichos gráficos se nota una tendencia general de descender los pesos de semillas al incrementar las tensiones osmóticas en las tres variedades estudiadas.



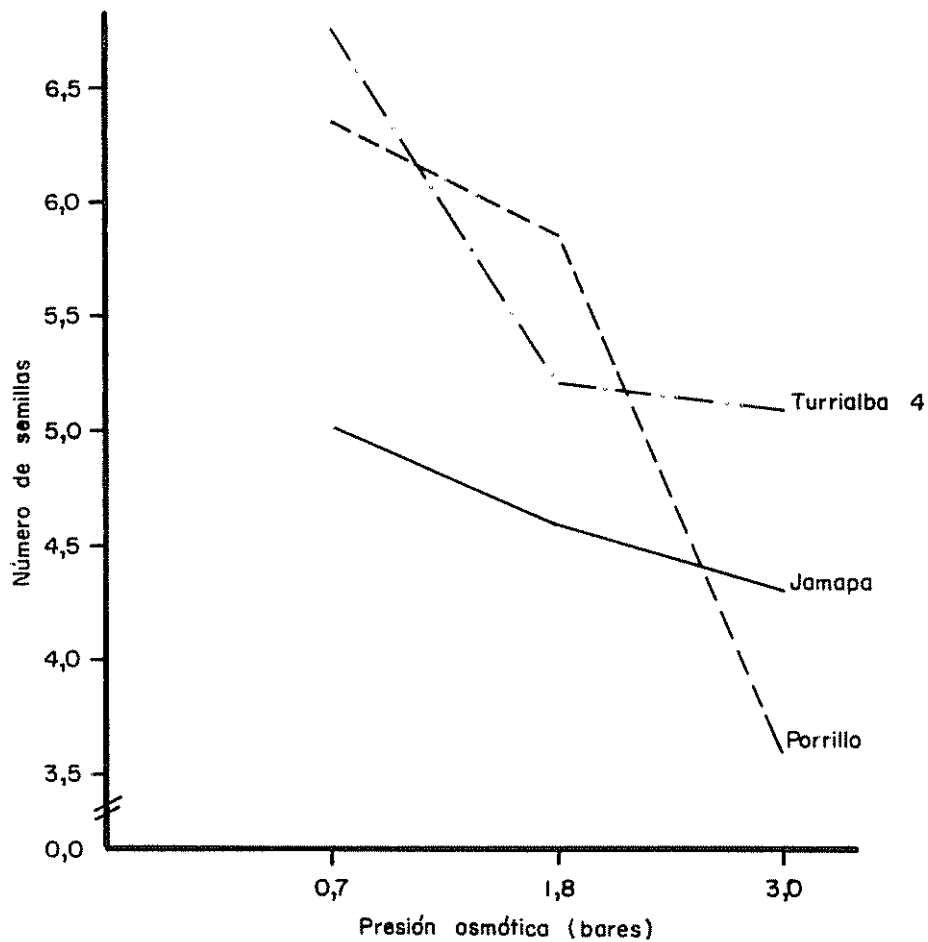


Fig 7- Número promedio de semillas por vaina en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas.

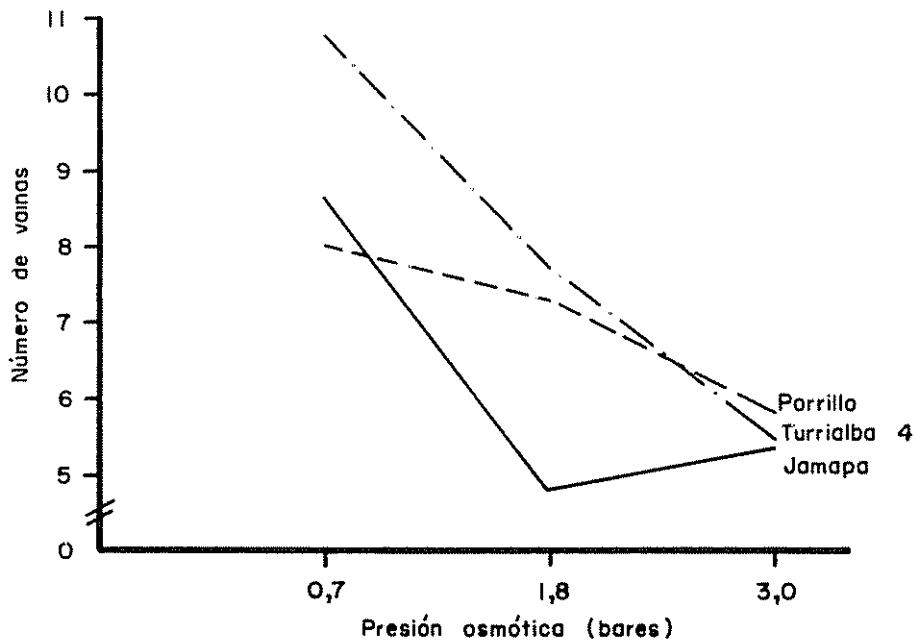


Fig 8- Número promedio de vainas por planta en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas.

Los coeficientes de correlación entre el rendimiento y las demás variables consideradas en el Cuadro 6 muestran significación, notándose que en el caso de las tensiones osmóticas el valor es negativo ( $r = -0,584$ ). Las variables que muestran más asociación con tensión osmótica fueron, número de frutos buenos, número total de frutos, máxima transpiración y máxima área foliar.

En el Cuadro 7 se presentan los coeficientes de correlación de los índices Peso cáscara/Rendimiento y Area foliar/Rendimiento para cada variedad. En igual forma en el Cuadro 5 se dan los valores de estos índices en relación a las tensiones osmóticas.

#### 4.5. El efecto de los tratamientos sobre raíces

##### 4.5.1. Volumen máximo

El volumen máximo de las raíces se afectó con los aumentos de tensiones en forma altamente significativa como quedó comprobado por el análisis de variancia (Cuadro 4), pero al buscar la significancia específica se notó que este efecto no era muy extensivo.

La variedad Jamapa fue la única variedad que de acuerdo al Cuadro 3 fue afectada por la tensión osmótica y lo que solamente con 1,8 bares. Al representar los datos en porcentaje se nota uniformidad en las reducciones de volumen radical excepto en el caso ya mencionado.

Los incrementos de volumen de raíces en relación a la edad de las plantas, para estas variedades y tensiones osmóticas, se muestran, en la Figura 9 en forma de curvas. En dicha figura se puede apreciar

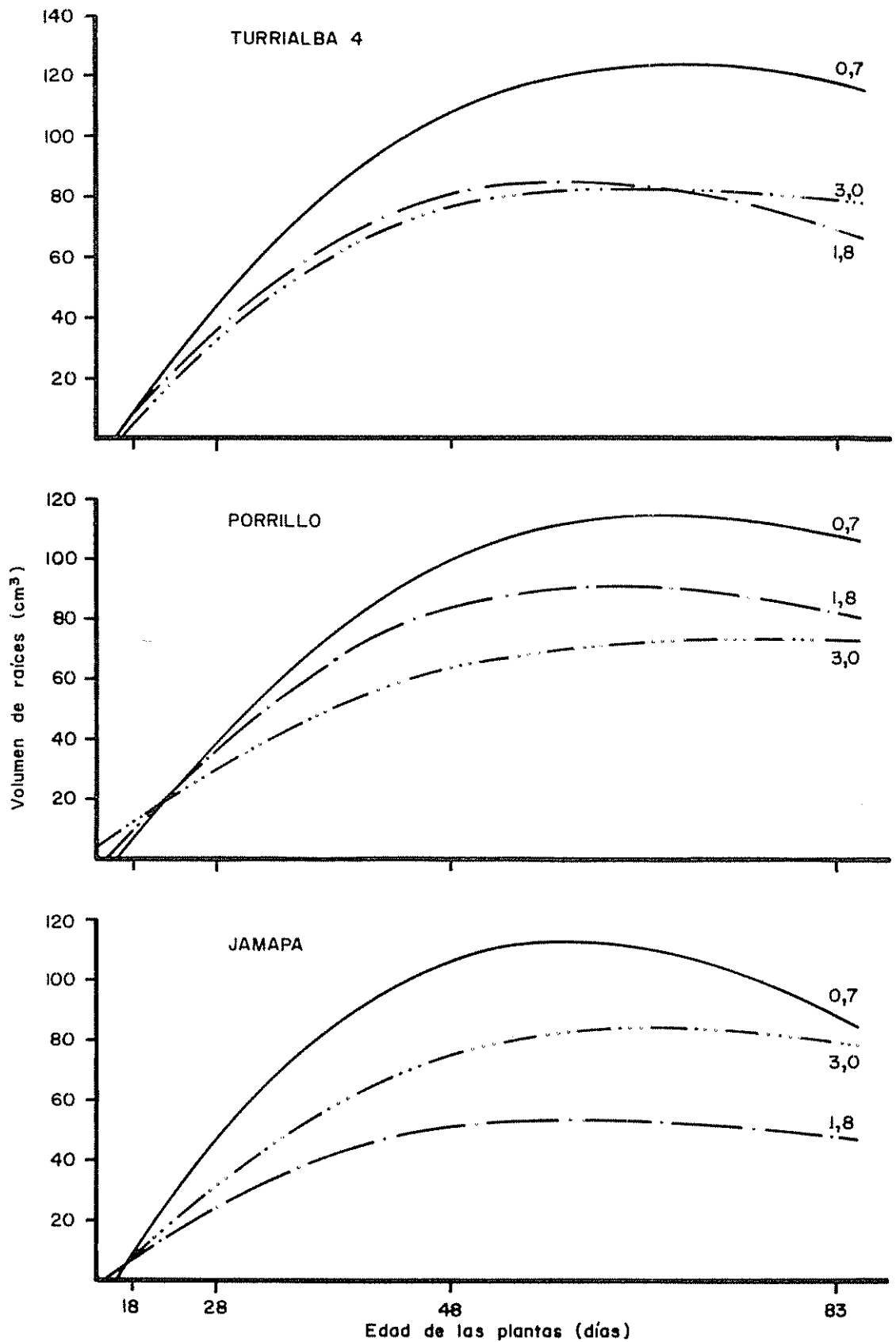


Fig 9— Volumen promedio de raíces a diferentes edades, por planta en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas.

que los incrementos en volumen de raíces es semejante para todos los testigos y superan a las plantas tratadas sobre todo al alcanzar los valores máximos. El análisis de las tasas de incremento de las curvas no fueron significativas (Cuadro 8).

#### 4.5.2. Peso fresco

El peso fresco varió en forma significativa bajo la influencia de los tratamientos como puede verse en el Cuadro 4. En el Cuadro 3 en que se hace el análisis de variancia por variedad se determina que en la Porrillo la tensión de 3,0 bares produjo una disminución significativa en el peso fresco de raíces. En el caso de la variedad Turrialba-4 esto solo ocurrió a 1,8 bares.

Los datos en porcentaje sobre las reducciones en peso fresco de raíces se muestra bastante uniforme para las tres variedades (Cuadro 3). En la matriz de correlación (Cuadro 6) se observa que la correlación Peso fresco de raíces y tensión osmótica fue  $r = -0,369$  lo cual fue significativo (0,05).

#### 4.5.3. Peso seco

El análisis de la variancia de las variables estudiadas demuestra que no hubo efecto de los tratamientos sobre el peso seco de las raíces, lo cual también se comprobó en los análisis de significación del Cuadro 3. Expresando los pesos secos de las raíces en porcentaje también se observó uniformidad en el efecto de los tratamientos que siempre tendieron a reducir el peso seco de las raíces (Cuadro 2).

Cuadro 8. Análisis de variancia de los parámetros de incremento de las variables transformadas.

Fuentes de variabilidad	Repeticiones	Tratamientos	Variedades	T x V	Error
G.L.	4	2	2	4	24
Volumen de raíces	9.709	30.179 <sup>++</sup>	0.552	6.229	5.930
Transpiración	243.496	2589.126 <sup>++</sup>	678.000	308.345	2101.000
Area foliar	0.017	0.203	4.517 <sup>++</sup>	0.354	0.337
Absorción de N	12.337	73.305 <sup>+</sup>	22.534	13.910	16.670
Absorción de P	3.105	3.183	3.348	2.395	1.790
Absorción de K	20.390	78.842 <sup>++</sup>	6.374	8.813	8.440
Absorción de Ca	1.558	9.381	10.132	19.074	11.670
Absorción de Mg	1.412	1.027	0.284	0.032	0.363
Absorción de S	2.771	1.614	1.446	2.711	2.630

+ Diferencia significativa al nivel de P 0,05

++ Diferencia significativa al nivel de P 0,01

La asociación de los índices del Peso seco de raíz/Área foliar mostró correlación significativa con las tensiones osmóticas solamente en la variedad Turrialba-4 (Cuadro 7).

Por otra parte el índice Peso seco de raíces/Peso fresco de raíces mostró valores máximos a 1,8 bares de tensión (Cuadro 5) aunque no fueron significativos. Los coeficientes de correlación fueron altamente significativos entre el peso seco de raíces y la máxima área foliar y la transpiración (Cuadro 6).

#### 4.6. Efecto de los tratamientos sobre el área foliar máxima

En general el área foliar máxima varió en forma altamente significativa bajo el efecto de los tratamientos de tensión osmótica lo cual se comprobó con el correspondiente análisis de la variancia (Cuadro 4).

En el Cuadro 3 en que vemos el resultado de los análisis de significancia bajo el efecto de los tratamientos de tensión osmótica lo cual se comprobó con el correspondiente análisis de la variancia (Cuadro 4). En el Cuadro 3 en que vemos el resultado de los análisis de significación con cada variedad se aprecia que fue el nivel de 3,0 bares el que afectó significativamente el área foliar de las plantas tratadas, reduciendo su valor. Al expresar los datos sobre las reducciones de área foliar en por ciento (Cuadro 4) se verifica que dicha reducción fue bastante semejante en las tres variedades aproximándose a un 42% del valor de área foliar de sus respectivos testigos.

La asociación entre el área foliar y tensión osmótica (Cuadro 6) tiene un coeficiente de correlación negativo ( $r = -0,564$ ) altamente significativo y con la transpiración dicho coeficiente es más alto y positivo ( $r = 0,932$ ).

La máxima área foliar tuvo coeficientes de correlación negativos y significativos con las tensiones en las variedades Jamapa ( $r = -0,606$ ) y Turrialba-4 ( $r = -0,646$ ) lo cual se ve en el Cuadro 7. En este mismo cuadro se muestra que los coeficientes de correlación de los índices Área foliar/transpiración y Área foliar/Peso de semillas no alcanzan valores significativos en ninguna variedad. En la Figura 10 se muestran los incrementos en área foliar en relación con la edad de las plantas. El análisis de las tasas de incremento de las curvas no fueron significativas (Cuadro 8).

#### 4.7. Efecto de los tratamientos sobre la transpiración máxima

La tensión osmótica hizo variar en forma altamente significativa la transpiración máxima (Cuadro 4). Al analizar individualmente, por variedad y tensiones, la significancia (Cuadro 3) se encontró que solamente en la variedad Turrialba-4 las variaciones de transpiración fueron altamente significativas en los dos niveles de tensión.

Observando el Cuadro 2 de porcentajes se puede concluir en que la variedad Turrialba-4 redujo más la transpiración, en comparación con su testigo, que las otras variedades.

La asociación entre tensión osmótica y transpiración alcanza la magnitud significativa de  $r = -0,653$  (Cuadro 6). En el Cuadro 5 se

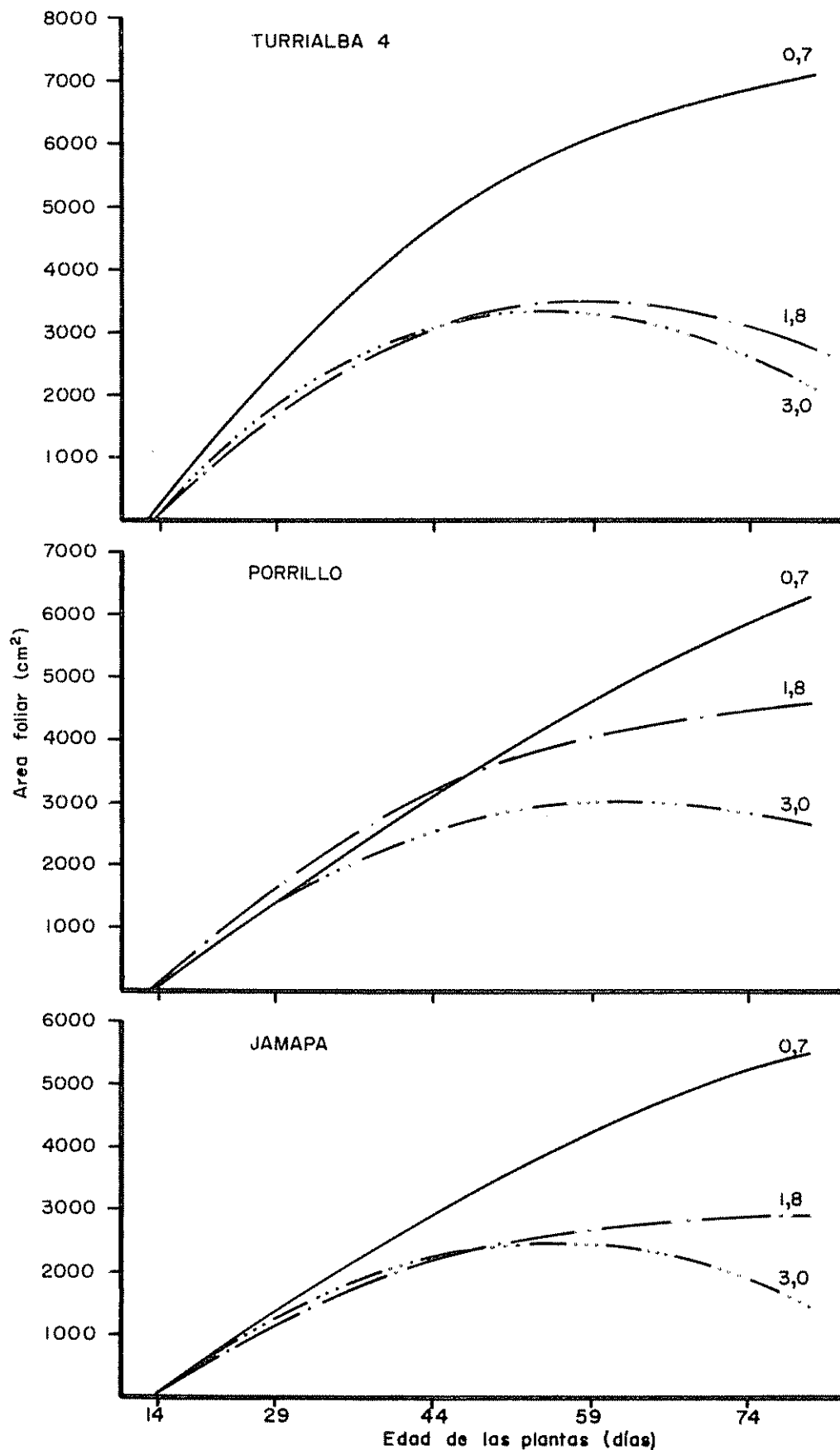


Fig 10- Area foliar promedio de 4 plantas a diferentes edades en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas.



ve que el índice Area foliar/Transpiración no alcanzó niveles significativos en ninguna variedad.

Las asociaciones de Máxima Transpiración con la tensión osmótica muestra coeficientes de correlación magnitud significativa en cada variedad (Cuadro 7).

Los gráficos que muestran la transpiración ocurrida a diferentes edades de las plantas y por variedad se ven en la Figura 11, en donde se aprecia que las curvas que alcanzan mayores magnitudes corresponden a los testigos a 0,7 bares. Esta misma respuesta puede apreciarse también en la Figura 12, que muestra una curva basada en datos estimados cuyas tasas de incremento no fueron significativas (Cuadro 8).

#### 4.8. Efecto de los tratamientos sobre la nutrición mineral

El análisis de la variancia (Cuadro 4) mostró efecto significativo de las tensiones osmóticas sobre la absorción de todos los nutrientes estudiados.

##### 4.8.1. Absorción del N total

El análisis de significancia por variedades y tratamientos (Cuadro 3) mostró que en la variedad Porrillo el tratamiento que produjo diferencia significativa en absorción de N fue de 3,0 bares mientras que en las otras dos fue 1,8 bares.

En el Cuadro 2 en que se muestran los consumos de N en porcentaje se nota que el tratamiento de 1,8 bares no disminuyó la toma de N en la variedad Porrillo y que las variedades en general bajaron en

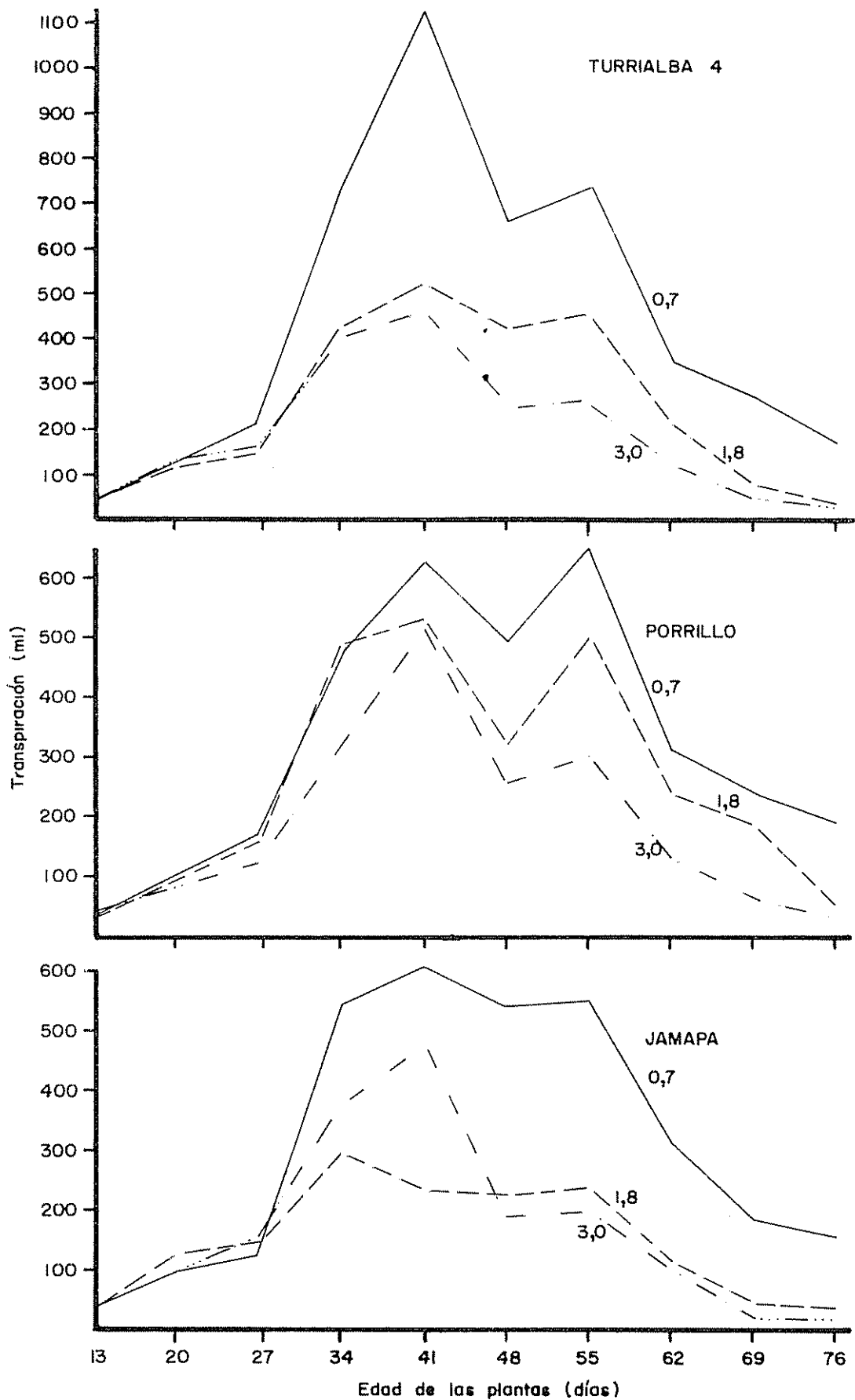


Fig II - Transpiración promedio a diferentes edades de las plantas, en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas. Datos observados.

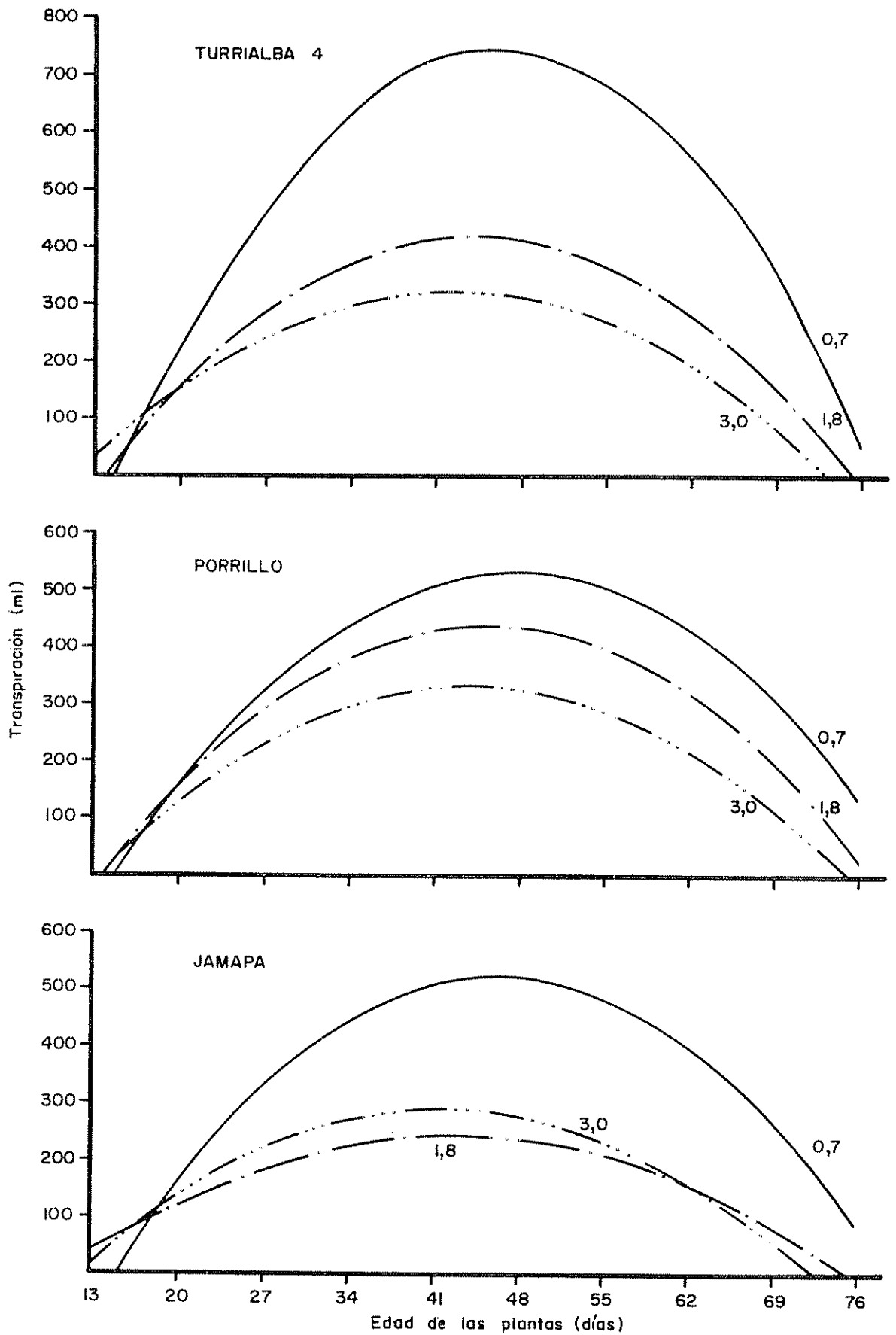


Fig. 12— Transpiración promedio a diferentes edades de las plantas en tres variedades de frijol y tres tensiones osmóticas. Datos estimados.

más de un 30% su consumo de N cuando se pusieron a 3,0 bares de tensión.

El consumo total del elemento nitrógeno por cada variedad y en cada tratamiento de tensión se observa en el Cuadro 3. El análisis de los parámetros de las curvas de predicción (Cuadro 8) mostró efecto significativo de los tratamientos sobre el consumo de nitrógeno.

#### 4.8.2. Absorción del P.

En el caso del P los tratamientos de tensión hicieron disminuir su absorción en las variedades Porrillo y Jamapa mientras que en la variedad Turrialba-4 no ocurrió esto (Cuadro 3).

Los datos expresados en por ciento muestran que el P disminuyó en las 3 variedades, en promedio, un 7% en relación a sus respectivos testigos cuando la tensión fue de 3,0 bares (Cuadro 2). En Jamapa, a 1,8 bares ocurrió un descenso en el consumo de este elemento, pero no en el tratamiento de 3,0 bares.

#### 4.8.3. Absorción de K

Al analizar la significancia de las variaciones dentro de cada variedad, lo que se aprecia en el Cuadro 3, vemos que el K disminuyó en forma significativa en todos los niveles de tensión y en todas las variedades excepto en el caso de la variedad Turrialba-4 a 1,8 bares.

En el Cuadro 2 se muestra que el porcentaje de disminución en la absorción del K fue bastante uniforme en las tres variedades

reduciéndose en aproximadamente un 55% en el nivel de tensión correspondiente a 3,0 bares.

En este elemento como en el caso del N el análisis de las curvas de predicción resultó significativo.

#### 4.8.4. Absorción de Ca

El consumo de Ca varió en forma altamente significativa bajo la influencia de los tratamientos de tensión osmótica, lo cual puede comprobarse observando el Cuadro 4.

Al analizar significancia de los datos individuales del Cuadro 3 vemos que el consumo del Ca bajó en forma significativa (0,05) para todos los niveles de tensión y en todas las variedades, sin excepción.

Los descensos relativos de este elemento producido por las tensiones pueden verse expresados en porcentaje en el Cuadro 2 y fue de un 30% aproximadamente con las tensiones de 3,0 bares.

#### 4.8.5. Absorción de Mg

La absorción de Mg se encontró afectada por los tratamientos de tensión en forma significativa al 0,01 (Cuadro 4).

La absorción de este elemento fue afectada en todas las variedades en las tensiones de 3,0 bares. En la variedad Turrialba-4 ya a 1,8 bares su consumo bajó (Cuadro 3).

El porcentaje en que se redujo el consumo del Mg a 3,0 bares de tensión fue de aproximadamente un 21% en todos los casos (Cuadro 2).

#### 4.8.6. Absorción de S

Igual que todos los demás nutrimentos de S también respondió a los tratamientos en forma significativa al 0,01 (Cuadro 4).

En el Cuadro 3 vemos que el consumo del azufre bajó en forma significativa tanto al 1,8 como a 3,0 bares en las variedades Porri-llo y Turrialba-4. Los tratamientos de tensión no afectaron la absorción del S en la variedad Jamapa. Los datos en porcentaje (Cuadro 2) indican que el descenso relativo en la absorción de S fue, a 3,0 bares, de aproximadamente de un 18 por ciento.

#### 4.9. Correlaciones entre todas las variables

En el Cuadro 6 se presentan las diversas asociaciones entre las variables en estudio. Es de notarse que todas están asociadas negativamente con las tensiones osmóticas y en forma significativa, excepto en el caso del peso seco de raíces.

Los rendimientos muestran un alto grado de asociación con las otras variables observadas por ser sus coeficientes de magnitud alta mente significativo (Cuadro 6) y consecuentemente entre estos últimos se encuentra la tensión osmótica cuyo efecto es negativo.

## 5. DISCUSION

### 5.1. Reacción de dos plantas al GP-1540

El aspecto de las plantas a tensiones osmóticas producidas por el glicol polietilénico, se diferenció de las características sintomáticas de la sequía descritas por Asomaning (5) y otros experimentadores, no presentando su follaje coloración más oscura que la de los testigos, ni diferencias aparentes en su textura. Sin embargo fue evidente la apariencia descrita por Lawlor (44) y Langerwerff (42) de manchas internervales cloróticas de bordes angulares y florescencia, dando a estas una apariencia húmeda. El encrespamiento de las hojas mencionado, sugiere que hay una diferencia de tensiones entre las células del haz y del envés de la lámina foliar, alterándose la estructura normal de la hoja, no pudiéndose afirmar que estos síntomas sean causados únicamente por las presiones osmóticas.

### 5.2. Efecto de los tratamientos sobre las características estudiadas

#### 5.2.1. En la floración

La tensión osmótica tuvo un efecto negativo en la producción total de flores aunque sin significancia. Este efecto negativo es explicado por Tatum y Kehn (73) como una consecuencia de la perturbación del balance hídrico interno en las plantas en este estado particular de su desarrollo.

El comportamiento de las tres variedades fue diferente en cuanto

a número de flores pero la tendencia fue la misma o sea a disminuir lo cual no corresponde con lo que sucede en algunas especies, que según Aspinall (6) tienden a aumentar su floración con el incremento de tensión osmótica actuando esta última como efecto fotoinductor.

El tiempo en días que transcurrió para que ocurriera el 50% de la floración varió en forma significativa entre los tratamientos es decir que el déficit de humedad permanente a que se sometieron las plantas aceleró la ocurrencia del 50% de floración. Sin embargo la iniciación de la floración no fue afectada.

Koslowski (44) afirma que altas tensiones van en detrimento de la producción de inflorescencias y aumenta el aborto de pistilos. Por otra parte, Gates (23) concluyó en que hay un marcado retardo en el desarrollo de tejidos. Estos efectos pueden haber actuado simultáneamente sobre la diferenciación floral reduciendo el número de flores y acelerando la ocurrencia del 50%.

#### 5.2.2. En los frutos

Los tratamientos de tensión causaron la disminución del número de frutos, en forma significativa, lo cual corresponde con lo reportado por Magistad et al. (48) que en frijol obtuvieron un 50% de reducción en rendimiento con 2.4 atmósferas. El número de frutos por planta no fue afectado significativamente en Porrillo por lo que se puede considerar que, en este aspecto, fue la variedad más estable. Además, esta variable al asociarse significativamente al rendimiento e inversamente a la tensión osmótica podría ser considerada una



característica de importancia para evaluar variedades de frijol en su tolerancia a la sequía.

Por estar el índice Frutos buenos/Flores totales, asociado en forma significativa con las variaciones en tensión, solamente en la variedad Turrialba-4 se lo podría considerar una respuesta característica de esta variedad. La variación de este índice podría explicarse en parte por el efecto inductor que la tensión osmótica tiene sobre la abscisión de flores (65).

Williams (78) comenta el efecto estimulador de la tensión hídrica sobre el aborto de frutos jóvenes, dando como una posible explicación el desbalance nutricional producido por la tensión hídrica.

El grado de asociación del índice Frutos vanos/Frutos buenos con la tensión osmótica fue significativo para la variedad Jamapa siendo esto una indicación de que produjo proporcionalmente más frutos vanos en los que la planta invierte parte de sus productos metabólicos produciendo solamente cáscara.

De los dos índices comentados, el primero es un estimador de la magnitud de la abscisión floral y el segundo de la ocurrencia de frutos vanos y en consecuencia aborto de óvulos, por lo que sus fluctuaciones tienen repercusión económica.

Los frutos con 7 semillas pueden ser un indicador de la forma como reacciona la planta a altas tensiones como muestran las variedades Jamapa y Turrialba-4 a 3,0 bares, pudiéndose atribuir esta manifestación al efecto de las tensiones sobre la fecundación y la estructura de los pistilos. Así mismo la predominancia de estos frutos

sobre los de 5, 6 y 8 semillas, hacen que los efectos de tensión sean más evidentes.

### 5.2.3. En los rendimientos

Otro criterio que permite evaluar las variedades en estudio, es el rendimiento encontrándose una evidente diferencia significativa entre los tratamientos. La variedad Turrialba-4 y Porrillo fueron más afectadas que la Jamapa a tensiones de 3 bares, reduciéndose el número de semillas con el incremento de las tensiones, resultados que coinciden con los de Camacho (12).

Sobre el número de semillas reportan Gabelman y Williams (22) así como Kattang y Fleming (37) que evitando el déficit de agua en la época de floración se incrementaba el número y peso de semillas en frijol, resultados que confirman los obtenidos en este trabajo. Williams (78) encontró que en condiciones de tensión de agua no hay efecto apreciable en el porcentaje de óvulos fecundados a diferentes etapas de la floración, pero que dicha tensión de humedad causó desbalance nutricional y en consecuencia aborto de óvulos. Probablemente por esta razón las variedades en estudio se afectaron notablemente en el número de frutos que lograron llegar al final del ciclo de vida de la planta y que en este caso la mayoría provienen de frutos con 7 semillas. Al incrementar la presión osmótica hubo tendencia a disminuir este tipo de frutos pero en mayor proporción que los otros. En lo que a rendimientos se refiere las tres variedades estudiadas respondieron al efecto de la tensión osmótica en forma semejante.

En las tres variedades la disminución de rendimiento a 3,0 bares fue de aproximadamente un 60% y en cada caso esta magnitud fue significativa debido probablemente a disturbios en el metabolismo que afectaron la floración y posteriormente la formación de semillas, lo cual se reflejó en las asociaciones significativas del rendimiento con la floración y fructificación.

Resultados parecidos a los reportados fueron obtenidos por Magistad et al. (48) y Denmead y Shaw (17), lo que demuestra que cualquier efecto de tensión hídrica sobre las etapas de floración, repercute al final en el peso total de semillas.

#### 5.2.4. En las raíces

Al estudiar la significancia en el volumen máximo de raíces se comprobó que solamente en la variedad Jamapa y a 1,8 bares hubo diferencias altamente significativas con el testigo. A pesar de no haber significancia en los demás casos fue evidente el efecto depresivo que tuvo la tensión sobre el volumen radical. Esta disminución fue también observada por Magistad et al. (48) en frijoles y por Eaton (19) y Hayward y Spurr (26) en otras especies.

Jarvis (34) menciona que la interacción aireación y tensión osmótica relativamente alta puede en algunos casos contribuir a un estímulo del crecimiento de raíces, lo que se supone podría haber sucedido con la variedad Jamapa.

La asociación del volumen de raíces al rendimiento hace pensar que esta variable es también determinante en la producción de grano.

Los resultados obtenidos en Peso fresco y peso seco de raíces hace suponer que ambas características están íntimamente asociadas. La primera variable fue empleada por Serrano (67) y la segunda por Ruff (62), empleándose ambas como variables estimadoras del crecimiento y rendimiento en frijol. Los valores de peso fresco aumentaron en la variedad Turrialba-4 y Jamapa a 3,0 bares en relación con los correspondientes testigos a 1,8 bares este hecho es también reportado por Woolley (80) quien dijo haber observado un estímulo del crecimiento aparente del peso de las raíces al incrementar la concentración de glicol polietilénico en la solución nutritiva por ser difícil eliminar dichos compuestos de las raíces al momento de efectuar las pesadas. Efecto similar sobre el porcentaje de materia seca fue también reportado por Gauch y Wadleigh (24).

#### 5.2.5. En el área foliar

El aumento de tensiones causó una marcada disminución de la superficie foliar en relación a los testigos que siempre tuvieron hojas con dimensiones mayores. Estos efectos fueron también obtenidos por Wadleigh y Gauch (77) en el género Gossipium sp. en que se tomó en cuenta el largo de la hoja para evaluar el área foliar. Las diferencias encontradas en el ancho del foliolo en este experimento fueron poco manifiestas entre hojas individuales, pero fue suficiente como para afectar significativamente el área foliar total.

La variedad que demostró mayor área foliar total entre los testigos fue Turrialba-4 y la variedad Porrillo fue la que aparentemente se afectó menos en esta característica con la tensión de 3,0 bares

por lo que se puede asumir que dicha variedad se afectaría menos en su capacidad fotosintética con las tensiones de agua. Dermont y Serrano (18) especifican que en condiciones de sequía las variedades resistentes mantuvieron siempre mayores áreas foliares y citan el ejemplo del Phaseolus acutifolius v. Tepary. Basándose en este criterio la variedad Porrillo sería la más resistente a la escasez de agua.

#### 5.2.6. En la transpiración

La transpiración diaria máxima alcanzada por las variedades, decreció con el aumento en tensión osmótica a que se sometieron. Slatyer (70) afirma que la intensidad de transpiración está relacionada a varios factores ambientales y fisiológicos siendo uno de ellos la sensibilidad para cerrar los estomas cuando hay tensión de agua por lo que se puede suponer que esta característica en la variedad Turrialba-4 puede ser más notable.

Desde otro punto de vista se considera que una planta al ser poco afectada en la transpiración por las tensiones, también lo es en otros procesos fisiológicos como fijación de  $CO_2$  y por lo tanto el rendimiento se mantendría relativamente menos afectado. Este comportamiento no se confirmó en las variedades estudiadas.

El cociente de transpiración (área foliar necesaria para transpirar un ml de agua) fue estudiado por Serrano (67) concluyendo que este valor tiende a reducirse con los aumentos de tensión osmótica. Este valor se redujo en Jamapa y Porrillo aumentando en Turrialba-4, variedad que transpiró menos.

### 5.2.7. En la absorción de nutrimentos

En términos generales los datos de significación muestran que la absorción de nutrimentos fue uno de los procesos fisiológicos más afectados por las tensiones del ambiente radical, probablemente debido a alteraciones en el metabolismo de las células de las raíces.

#### 5.2.7.1. Absorción de N

La absorción de nitrógeno sigue una tendencia a disminuir a medida que se incrementa la tensión, lo que concuerda con la mayoría de los trabajos de investigación en este campo, sin embargo Gates (23) reportó haber obtenido plantas con alto contenido de nitrógeno en condiciones de deficiencia de agua, así también Wadleigh y Ayers (77) encontraron un incremento de nitrógeno nítrico y orgánico en las hojas con aumentos de tensión.

Los datos mostraron también que hubieron diferencias en respuesta entre las variedades estudiadas, lo cual podría atribuirse en parte a diferencias varietales en la absorción.

#### 5.2.7.2. Absorción de P

En cuanto al fósforo se obtuvieron diferencias significativas en su absorción total, excepto en la variedad Turrialba-4 en la cual las tensiones no afectaron el consumo de fósforo por la planta. En la variedad Jamapa se acentúa más este comportamiento. Resultados similares encontraron Olsen et al. (57) que mostraron que la absorción de fósforo variaba directamente con la humedad del suelo y los de

Wright y Barton (81) quienes encontraron una relación inversa entre la absorción de este elemento y la transpiración.

#### 5.2.7.3. Absorción de K

El potasio fue significativamente afectado por la tensión osmótica que redujo su absorción; concordando esto con el trabajo de Nederski y Wilson (50) quienes encontraron que tanto el porcentaje como el total de potasio y fósforo absorbido por las plantas se incrementaba con la humedad del suelo.

#### 5.2.7.4. Absorción de Ca

Este elemento tiende a disminuir apreciablemente aun con tensiones bajas de 1,8 bares en las tres variedades, siendo menos afectada la variedad Porrillo que disminuyó en 38% en comparación de 43% y 39% en la Jamapa y Turrialba respectivamente. En términos generales se puede afirmar por lo obtenido en el experimento que el calcio es afectado en su absorción por el incremento de tensión osmótica, resultados que están de acuerdo con los obtenidos por Langerweff (42) en que el contenido de este elemento y el sodio de los jugos de hojas decrece por el efecto de tensiones osmóticas.

#### 5.2.7.5. Absorción del Mg

La absorción total de magnesio es afectada a altas tensiones aunque cada variedad se comportó de manera diferente, la Porrillo no fue afectada a 1,8 bares, a diferencia de la Turrialba-4 y Jamapa que disminuyeron en 24% y 14%. Por los valores obtenidos en la

Turrialba-4, se puede opinar que es la más afectada en la absorción de este elemento.

Básicamente los resultados concuerdan con los obtenidos por Mederski y Wilson (50) en que cuando hay déficit de agua en medio radical hay disminución de magnesio en el contenido de la planta.

#### 5.2.7.6. Absorción de S

La absorción de azufre por las plantas sometidas a tensiones osmóticas, decae imperceptiblemente en la variedad Jamapa en cambio en la Porrillo y Turrialba-4 son afectadas en mayor proporción asumiéndose que este efecto podría repercutir sobre la calidad de la semilla más que en el rendimiento. Lugg, citado por Crocomo (15) demostró que la síntesis de proteínas puede ser limitada por la cantidad de metionina en las semillas causada por un desequilibrio en la asimilación del azufre.

En general, al analizarse los nutrimentos no se efectuaron correcciones por lo que podrían excretar las plantas a la solución nutritiva, hecho comprobado por Grineva, citado por Crocomo (15) quien trabajando con Helianthus annuus y Zea mays L. encontró que ocurría este fenómeno.



## 6. CONCLUSIONES

1. Las características que se analizaron en las tres variedades estudiadas tendieron a responder en relación inversa al aumento de tensión osmótica de la solución. La transpiración, área foliar y volumen de raíces se asociaron negativamente a las tensiones osmóticas, y característicamente en cada variedad en cuanto a la intensidad de sus efectos.
2. La tasa de absorción N y K fue afectada significativamente y la absorción total de estos elementos disminuyó con el incremento de las tensiones al igual que los demás elementos.
3. En las condiciones del experimento los testigos de la variedad Turrialba-4 dieron mayores rendimientos pero en porcentaje estos fueron más afectados por las tensiones osmóticas que en las otras variedades. La variedad Jamapa tuvo un comportamiento *sui-generis* en transpiración y área foliar; no permitiendo dar apreciaciones categóricas. Aunque no se notaron diferencias significativas entre variedades en las características estudiadas, se podría decir que la variedad Porrillo fue relativamente la menos afectada en la mayoría de ellas por lo que podría ser considerada como la más tolerante a la escasez de agua de las tres variedades estudiadas.
4. En base a la significancia de los tratamientos es posible estimar los efectos de tensiones osmóticas sobre las variedades estudiadas en las siguientes características: Tiempo de ocurrencia del

50% de floración, número de frutos buenos, índice de frutos buenos/ flores totales, número de frutos con 7 semillas, número total de semillas, máximo volumen de raíces, máxima área foliar, máxima transparencia, y peso de semillas o rendimiento.

## 7. RESUMEN

En condiciones de invernadero se cultivaron las variedades de frijol Jamapa, Porrillo y Turrialba-4 en soluciones nutritivas Hoagland a tres niveles de tensión osmótica; 0,7, 1,8 y 3,0 bares. El agente osmótico fue el glicol de polietileno de peso molecular promedio 1540.

El aumento de tensión afectó significativamente el rendimiento de las tres variedades, siendo la Porrillo la menos afectada, considerando los resultados en porcentaje en relación a los testigos de la misma variedad. La ocurrencia del 50% de la floración, se adelantó también en todas las variedades en la que la menos afectada fue la Porrillo. Sin embargo la iniciación del proceso de floración no se alteró con los tratamientos.

El número total de flores aparentemente no se afectó con las tensiones pero debido a que hubieron diferencias significativas en el número total de frutos hace suponer que las tensiones promovieron la abscisión de flores. Estos resultados concuerdan con resultados de otros investigadores.

Otro proceso fisiológico afectado en forma negativa por las tensiones más altas fueron el área foliar y transpiración, en ambos casos también la variedad Porrillo mostró afectarse menos en relación con sus respectivos testigos. Aparentemente la variedad Turrialba-4 se afectó más en dichos procesos.

El volumen radical máximo se redujo en forma significativa solamente en el caso de la variedad Jamapa, en las otras variedades no

hubieron alteraciones significativas de esta característica probablemente por la variabilidad de las observaciones ya que los promedios expuestos en porcentaje muestran una reducción de hasta un 34% en el caso de la variedad Porrillo.

El cociente Area foliar/Peso de semillas fue el que mostró variaciones de mayor magnitud, aumentando en relación directa con las tensiones.

El coeficiente de correlación de mayor magnitud entre las asociaciones a las tensiones osmóticas fue la máxima transpiración ( $r = -0,653$ ) así mismo esta variable fue la asociada a los rendimientos con coeficiente más elevado ( $r = 0,932$ ).

En términos generales la absorción de nutrimentos fue un proceso fisiológico muy afectado por la tensión osmótica especialmente en los casos del N, K y Ca los cuales en todas las variedades tendieron a disminuir notablemente en comparación con los respectivos testigos.

Los resultados considerados en forma global y en comparación con los respectivos testigos permitieron evaluar la magnitud del efecto de las tensiones hídricas sobre las variables estudiadas. En esta forma se puede considerar a la variedad Porrillo como más tolerante a la escasez de agua. Por otra parte, y con base en el mismo criterio, la variedad Turrialba-4 fue la menos tolerante a dichas condiciones. La variedad Jamapa tuvo un comportamiento errático en muchas de sus características ya que la tensión de 1,8 bares pareció afectarla más que la de 3,0 bares.

7a. SUMMARY

Three varieties of dry beans: Jamapa, Porrilo and Turrialba-4, were cultivated under greenhouse conditions in Hoagland nutrient solution, at three osmotic levels, 0.7, 1.8 and 3.0 bars. The osmotic agent was Polyethylene glycol with a molecular weight of 1540.

Considering the results in percentage and in relation to the check plants of the same varieties, the increase in osmotic pressure significantly affected the yields of the three varieties. Porrilo was the least affected variety. The time period to attain 50% flowering was reduced in all the varieties. Porrillo was the least affected. Nevertheless, the initiation of the flowering was not altered with the treatments.

The total number of lowers, apparently was not affected with the osmotic pressures but due to the fact that there were significant differences in the total number of fruits, pressures caused flower abscission. The same results have been reported by other researchers.

Other physiological processes that were affected negatively by the osmotic pressures were leaf area and transpiration. In both cases Porrillo seemed to be less affected in comparison with the check plants. Turrialba-4 was apparently affected by such processes. In the case of Jamapa, the maximum root volume was reduced significantly. This characteristic was not affected statistically in the other

varieties. In spite of this, the averages in percentage showed a reduction of up to 34% on the Porrillo variety.

The leaf area/seed weight ratio showed greater variations than the other characteristics studied, increasing its value with the osmotic pressure. The correlation coefficient of highest magnitude among the ones associated with osmotic pressures was maximum transpiration ( $r = 0.653$ ). This variable was also associated with yields with a high value ( $r = 0.932$ ).

Absorption of nutrients was a physiological process very much affected by the osmotic pressure, especially in the cases of N, K, and Ca, which in all of the varieties was decreased notably in comparison with the respective check plants.

Evaluating the effects of the osmotic pressure on the studied characteristics and on each variety made it possible to consider Porrillo as a variety that can stand water stress better than the other studied varieties. On the other hand Turrialba-4 was the least tolerant to this condition. Jamapa had an erratic behaviour in many of its characteristics since the pressure of 1.8 bars seems to have affected it more than 3.0 bars.

8. LITERATURA CITADA

1. ACKLEY, B. W. The use of linear measurement in estimating leaf areas. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 72:326-330. 1958.
2. AGUIRRE, J. A. y SALAS, J. A. Zonificación del frijol en Centro América y Panamá. Turrialba 15:300-306. 1965.
3. AL-ANI, T. A. y KOONTZ, N. V. Distribution of calcium by all or part of root system of beans. Plant Physiology 44: 711-716. 1916.
4. ARNON, A. y HOAGLAND, D. Crop product in artificial culture solutions and in soils with special reference to morphogenesis. Soil Science 50:463-485. 1940.
5. ASOMANING, E. J. Note on estimation of leaf areas of cocoa from leaf length data. Canadian Journal of Plant Science 43: 243-245. 1963.
6. ASPINALL, D. et al. The effects of soil moisture stress on the growth of barley. I. Vegetative development and grain yield. Australian Journal of Agricultural Research 15: 729-745. 1964.
7. ~~\_\_\_\_\_~~ y HUSSAIN, I. The inhibition of flowering by water stress. Australian Journal of Biological Science 30:925-936. 1970.
8. ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official method. 9th ed. Washington, D. C., 1960. 853 p.
9. BERNSTEIN, L. y PEARSON, G. A. Influence of integrated moisture stress achieved by varying the osmotic pressure of culture solutions on growth of tomato and pepper plant. Soil Science 77:355-368. 1954.
10. BILLINGS, S. D. Las plantas y el ecosistema. Trad. por Javier Valdez Gutiérrez. México D. F., Herrero, 1968. 168 p.
11. BRITISH COLOUR COUNCIL. Horticultural colour chart. Londres, Henry Stone, 1942. v. 2, 250 p.
12. CAMACHO, L. H. Relación entre el hábito de crecimiento y los componentes del rendimiento en frijol (Phaseolus vulgaris L.). In Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios 14a. Tegucigalpa, Honduras, Febrero-Marzo 1968. Guatemala. IICA-Zona Norte, 1969. pp. 71-72.

13. CHAPMAN, H. y PRATT, B. Methods of analysis for soils plants and waters. California, University of California, 1961. 309 p.
14. CLARK, J. A. y LEVITT, J. The basis of drought resistance in the soybean plant. *Physiologia Plantarum* 9:598-606. 1956.
15. CROCOMO, J. O. Absorción de iones por las plantas. Maracaibo, Universidad del Zulia, 1965. 188 p.
16. DAVID, D. J. Emission and atomic absorption spectrochemical methods. In Linkens, H. F. y Tracy, M. V., eds. Modern methods of plant analysis. Berlin, Springer, 1962. v. 5, pp. 1-25.
17. DENMEAD, O. T. y SHAW, R. H. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agronomy Journal* 52:272-274. 1960.
18. DERMONT, P. C. y SERRANO, J. L. Some physiological diurnal changes in drought tolerant on susceptible beans species and varieties. In Bean Improvement Cooperative. Annual Report no. 7. 1964. s.n.t. pp. 10-11.
19. EATON, M. F. Water uptake and root growth as influenced by inequalities in the concentration of the substrate. *Plant Physiology* 16:545-564. 1941.
20. GABELMAN, W. y WILLIAMS, D. D. Development with irrigated snap beans. Wisconsin. Agricultural Experiment Station. Research Bulletin no. 221. 1960. 57 p.
21. GARCIA B., J. Determinación de la duración, variabilidad y fecha óptima de siembra en cultivos anuales. Estudios de un caso Phaseolus vulgaris L. en Turrialba. *Turrialba* 21: 300-303. 1971.
22. GATES, C. T. Water deficit and growth of herbaceous plants. In Kozlowski, T. T. Water deficit in plant growth. New York, Academic Press, 1968. v. 2, pp. 135-190.
23. \_\_\_\_\_. The response of the young tomato plant to brief period of water shortage. *Australian Journal Biology Science* 108:125-146. 1957.
24. GAUCH, H. G. y WADLEIGH, C. H. Effects of high concentrations of Sodium, Calcium, Chloride and Sulfate on ionic absorption by bean plants. *Soil Science* 59:139-153. 1945.
25. HAGAN, M. R. Water soil plant relations. *California Agriculture* 11:9-12. 1957.



26. HARWAYD, H. E. y SPURR, W. B. The entry of water into corn roots effect of osmotic concentration of the substrate. *Plant Physiology* 16:545-564. 1943.
27. \_\_\_\_\_ y SPURR, B. W. Effect of osmotic concentration of substrate on the entry of water into corn roots. *Botanical Gazette* 105:162-174. 1943.
28. HEWITT, E. J. Sand water culture methods used in the study of plant nutrition. 2nd. ed. Bucks, England, Commonwealth Agriculture Bureau, 1966. 547 p.
29. HOLDRIDGE, L. R. Life zone ecology. San José, Costa Rica. Tropical Science Center, 1964. 190 p.
30. HUSAIN, I. y ASPINALL, D. Water stress and apical morphogenesis in barley. *Annals of Botany* 34:393-407. 1970.
31. ILJIN, W. S. Drought resistance in plants and physiological processes. *Annual Review of Plant Physiology* 8:237-274. 1957.
32. JACKSON, T. W. Use of carbowax (Polyethylene glycols) as osmotic agents. *Plant Physiology* 37:512-529. 1962.
33. JANES, E. B. Adjustment mechanisms of plants subjected to varied osmotic pressures of nutrient solution. *Soil Science* 101:180-188. 1966.
34. JARVIS, P. G. y JARVIS, S. M. Effects of several osmotic substrate on growth of Lupinus albus seedlings. *Physiologia Plantarum* 16:485-500. 1963.
35. JIMENEZ, E. J. et al. Un método para medir volumen radical de plantas de cacao (Theobroma cacao L.) cultivada en hidropo-  
nia. *Turrialba* 17:98-101. 1967.
36. JURSANOV, A. L. Recent advance in plant physiology in U.S.S.R. *Annual Review of Plant Physiology* 7:401-436. 1932.
37. KATTANG, A. A. y FLEMING, J. W. Effect of irrigation at specific stage of development on yield, quality growth and composition of snap beans. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 68:329-342. 1956.
38. KENWORTHY, A. L. Soil moisture and growth of apple trees. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 54:29-39. 1949.

39. KOZLOWSKI, T. T. Water deficit and plant growth. New York, Academic Press, 1968. v. 1, 390 p.
40. \_\_\_\_\_. Water metabolism in plants. London, Harper and Row, 1964. 227 p.
41. KRAMER, Y. y KOZLOWSKI, T. T. Physiology of trees. New York, Mc Graw-Hill, 1960. 642 p.
42. LAGERWERFF, J. V. y HOLLAND, J. P. Growth and mineral content of carrots and beans as related to varying osmotic and ionic composition effects in saline sodic sand culture. Agronomy Journal 52:603-608. 1960.
43. \_\_\_\_\_, OGATA, G. y EAGLE, H. E. Control of osmotic pressure of culture solutions with polyethylene glycol. Science 133:1486-1487. 1961.
44. LAWLOR, D. W. Absorption of polyethylene glycols by plants and their effects on plant growth. New Phytologist 69:501-513. 1970.
45. LESHEN, B. Toxic effects of Carbowaxes (Polyethylene glycols) Pinus halopensis Mill seedlings. Plant and Soil 24:322-323. 1966.
46. LEVITT, J. Frost drought and heat resistance. Annual Review of Plant Physiology 2:245-248. 1951.
47. LYON, CH. J. A factor method for the area of tomato leaves. Plant Physiology 23:634-635. 1948.
48. MAGISTAD, O. C. et al. Effect of salt concentration, kind of salt and climate on plant growth in sand cultures. Plant Physiology 18:151-156. 1943.
49. MASAYA, S. P. Estudio de la absorción de nutrimento y crecimiento de raíces en la planta de frijol. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1971. 57 p.
50. MEDERSKI, H. J. y WILSON, J. H. Relation of soil moisture to ion absorption by corn plants. Soil Science Society of America Proceedings 24:149-152. 1960.
51. MIELKE, L. y PECK, O. A. Evapotranspiration by snap beans grown in sand nutrient culture. Agronomy Journal 59:602-604. 1967.

52. MILTHORPE, F. L. Changes in the drought resistance of wheat seedling during germination. *Annals of Botany* 14:79-89. 1950.
53. MIRANDA, H. M., ECHANDI, E. y PINCHINAT, A. M. Pruebas regionales de frijoles en Costa Rica. *In* Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios. 12a, Managua, Nicaragua, Marzo-Abril, 1966. pp. 63-66.
54. MONTOYA, M. J. H. Zonas ecologicas para frijol en América Central, una metodología. *In* Reunión Técnica para Programación de Investigación y Extensión del frijol y otras leguminosas de grano. Turrialba, IICA, 1969. pp. 26-34.
55. MÜLLER, L. Un aparato Micro-Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materiales vegetales. Turrialba 11: 17-25. 1961.
56. NICHOLLS, P. B. y MAY, L. H. Studies on the growth of the barley apex. Interrelationships between primordium formation, apex length and spikelet formation. *Australian Journal of Biological Science* 16:561-571. 1963.
57. OLSEN, S. R. y DANIELSON, R. E. Phosphorus absorption by corn root as effects by moisture and phosphorus concentration. *Soil Science Society of American Proceedings* 24:149-152. 1960.
58. OSAWA, T. y LORENZ, O. A. Effect of nitrite and phosphorus levels in nutrient solution on growth of vegetable crops. *Proceeding of American Society for Horticultural Science* 92:595-902. 1968.
59. PARKER, J. Drought resistance in woody plants. *Botanical Review* 22:241-289. 1956.
60. PARMAR, M. T. y MOORE, R. P. Effects of simulated drought by polyethylene glycol solutions of corn (*Zea mays*) germination and seedling development. *Agronomy Journal* 58:391-392. 1966.
61. PINCHINAT, A. M. Factores limitantes en cultivos del frijol en Centro América. *In* Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios 11a. Panamá, Marzo 1965. pp. 69-73.
62. RUFF, R. H. *et al.* Osmotic adjustment of cell sap to increases in root medium osmotic stress. *Soil Science* 96:326-330. 1963.

63. SALTER, P. J. The effect of different water regimes on the growth of plant-under glass. *Journal of Horticultural Science* 29:258-268. 1954.
64. \_\_\_\_\_ y DREW, D. H. Root growth as a factor in the response to water *Pisum sativum* L. *Nature* 206:1063-1064. 1950.
65. \_\_\_\_\_ y GOODE, J. E. Crop response to water a different stages of growth. Bucks, England, Commonwealth Agricultural Bureau, 1967. p. 20.
66. SELASSIER, J. y GALVAO, J. D. Efeito dos niveis de agua no solo sobre a producao do feijoeiro (*Ph. vulgaris* L.). *Seiva* 70:7-24. 1970.
67. SERRANO, J. L. Algunas diferencias fisiológicas y morfológicas de especies y variedades de frijol tolerantes a la sequía. *Agricultura Técnica en México* 2:161-164. 1963.
68. SINGH, M. M. Effect of osmotic system on germination of peas (*Pisum sativum* L.). *Planta* 71:81-86. 1966.
69. SLATYER, R. O. Absorption of water from atmospheres of different humidity and its transport through plants. *Australian Journal of Biological Science* 9:552-558. 1956.
70. \_\_\_\_\_. Influence of progressive increases in total soils moisture stress on transpiration growth and internal water relationships of plants. *Australian Journal of Biological Science* 10:320-336. 1957.
71. STANHILL, G. The effect of differences in soil-moisture status on plant growth. A review and analysis of soil moisture regime experiments. *Soil Science* 84:205-214. 1957.
72. TARQUINO, P. N. y OLEARY, J. W. Osmotic and toxic effects of salinity on germination of *Phaseolus vulgaris* L. seeds. *Turrialba* 20:177-183. 1970.
73. TATUM, L. A. y KEHR, W. R. Observation on factors affecting seed-set with inbred strains of dent corn. *Agronomy Journal* 43:270-279. 1951.
74. TURREL, F. M. Growth of photosynthetic area of citrus. *Botanical Gazette* 122:284-297. 1961.
75. UHITS, R. Effect of osmotic pressure on water absorption and germination of alfalfa seed. *American Journal of Botany* 33:278-285. 1946.

76. WADLEIGH, C. H. y AYERS, A. D. Growth and biochemical composition of bean plants as condition by soil moisture tension and salt concentration. *Plant Physiology* 20:106-132. 1945.
77. \_\_\_\_\_ y GAUCH, H. G. Rate of leaf elongation as affected by the intensity of the total soil moisture stress. *Plant Physiology* 23:485-495. 1948.
78. WILLIAMS, D. F. Influence of soil moisture level on flower abscission ovule abortion and seed development in the snap bean (Phaseolus vulgaris L.). Tesis Ph. D. Madison, University of Wisconsin, 1962. 64 p.
79. WILSIE, C. P. Cultivos: aclimatación y distribución. Trad. por Manuel Serrano García. Zaragoza, Acribia, 1966. 491 p.
80. WOOLLEY, D. G. Effects of nutrition, osmotic pressure and temperature of the nutrient solution on plant growth and chemical composition. *Canadian Journal of Plant Science* 43:44-49. 1963.
81. WRIGH, K. E. y BARTON, N. L. Transpiration and the absorption and distribution of radioactive phosphorus in plants. *Plant Physiology* 30:386-388. 1955.