

LA TURGENCIA RELATIVA Y LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
COMO CRITERIOS PARA EVALUAR LA RESISTENCIA A SEQUIA
EN EL CULTIVO DEL FRIJOL

Tesis de Grado de
MAGISTER SCIENTIAE

JORGE L. ARMENTA SOTO



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

LA TURGENCIA RELATIVA Y LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
COMO CRITERIOS PARA EVALUAR LA RESISTENCIA A SEQUIA
EN EL CULTIVO DEL FRIJOL

Tesis

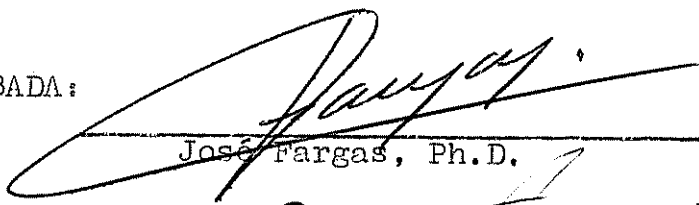
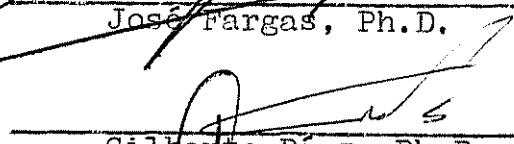
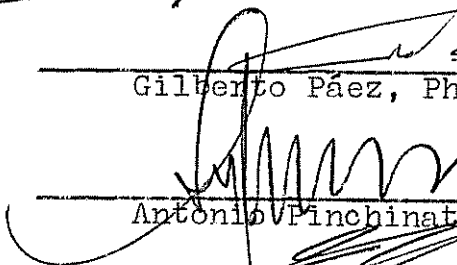
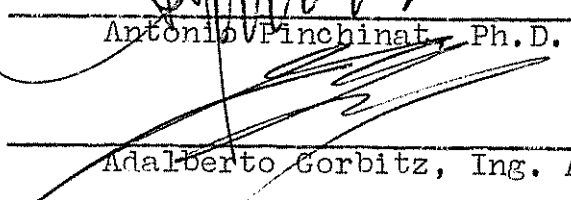
Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:

	Consejero
José Fargas, Ph.D.	
	Comité
Gilberto Páez, Ph.D.	
	Comité
Antonio Pinchinat, Ph.D.	
	Comité
Adalberto Corbitz, Ing. Agr.	

Agosto 1973

A mi madre Julieta y abuelita Felicitas

A mi esposa Yolanda e hijo Jorgito
con amor

A la memoria de mi abuelito Tomás

A mis hermanos

AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su agradecimiento:

Al profesor y amigo, Dr. José Fargas, por su valiosa orientación en la elaboración del presente trabajo.

Al Ing. Adalberto Gorbits y a los Drs. Gilberto Páez y Antonio Pinchinat, miembros del Comité, por la ayuda y enseñanzas proporcionadas.

Al Gobierno de Holanda por la desinteresada ayuda otorgada para su mantanimiento en este Centro.

A su querida Universidad Autónoma de Sinaloa, por la confianza depositada en ese servidor y ayuda económica facilitada.

Al señor José Joaquín Salazar por su amistad, consejos y asesoría prestada en los análisis químicos realizados.

Al personal de Estadística y Computación del IICA y Biblioteca del CIDIA-IICA.

BIOGRAFIA

El autor nació en Navolato, Sinaloa, México el 26 de mayo de 1944.

Realizó sus estudios primarios en la Escuela Benito Juárez de la misma ciudad y secundarios en la Escuela de Enseñanzas Especiales No. 23 en Culiacán, Sinaloa.

Cursó estudios universitarios en la Escuela Superior de Agricultura de la Universidad Autónoma de Sinaloa, sito en Culiacán, graduándose de Agrónomo en 1965 y de Ingeniero Agrónomo especialista en Administración Agrícola en 1968.

En 1966 se inició en la docencia universitaria como ayudante de cátedra en la rama de Botánica y laboratorista de Biología. Actualmente es Profesor de Tiempo Completo en la misma escuela donde estudió.

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

CONTENIDO

	<u>Página</u>
LISTA DE CUADROS	viii
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	
2.1 Origen Morfofisiológico de la Resistencia a Sequía	2
2.2 Efectos Morfofisiológicos de la Sequía	5
2.3 Medición de Tensión de agua en las Plantas	7
3. MATERIALES Y METODOS	
3.1 Localización del Experimento	9
3.2 Condiciones Climáticas dentro del Invernadero	9
3.2.1 Temperatura y humedad relativa	9
3.2.2 Radiación solar	9
3.3 Material Vegetal Empleado	9
3.4 Establecimiento del Experimento	10
3.4.1 Germinación	10
3.4.2 Trasplante a recipientes definitivos	10
3.5 Diseño Experimental	11
3.5.1 Tratamientos	11
3.6 Inducción de TO	12
3.7 Procedimientos Analíticos	13
3.7.1 Turgencia relativa (TR)	13
3.7.2 Conductividad eléctrica (CE)	14
3.8 Cambios de Solución Nutritiva	15
3.9 Determinación del Area Foliar	16
3.10 Determinación de Volumen de Raíces	16
3.11 Análisis Químico del Material Vegetal	17
3.12 Determinación de los Componentes eel Rendimiento	17
3.13 Análisis de la Información	18
4. RESULTADOS	
4.1 Condiciones Ambientales del Invernadero	20
4.2 Efecto de los Tratamientos sobre la TR y la CE	20
4.2.1 TR	21
4.2.2 CE	21
4.3 Efecto de los Tratamientos sobre los Componentes del Crecimiento	22
4.3.1 Volumen de raíces	22
4.3.2 Area foliar	24
4.3.3 Peso seco de raíces	26
4.3.4 Peso seco de hojas	26
4.3.5 Peso seco de tallos	27
4.3.6 Peso seco de vainas vacías	27
4.4 Efecto de los Tratamientos sobre los Componentes del Rendimiento	28

4.4.1	Número de vainas por planta	28
4.4.2	Número de semillas por vaina	28
4.4.3	Peso de 100 semillas	28
4.4.4	Peso semillas o rendimiento por planta	29
4.5	Efecto de los Tratamientos en el Contenido de Azufre y Sodio de las Plantas	29
4.5.1	Contenido de azufre y sodio en raíces	29
4.5.2	Contenido de azufre y sodio en tallos	30
4.5.3	Contenido de azufre y sodio en hojas	33
4.5.4	Contenido de azufre y sodio en semillas	34
5.	DISCUSION	38
6.	CONCLUSIONES	44
7.	RESUMEN	46
7a.	SUMMARY	48
8.	LITERATURA CITADA	50
	APENDICE	54

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro no.</u>		<u>Página</u>
TEXTO		
1	Fluctuaciones de la TO (bares) en relación a la edad de las plantas en cada tratamiento	12
2	Composición de la solución nutritiva Hoagland No. 2	15
3	Condiciones ambientales de invernadero observadas en el curso del experimento	20
4	Valores promedios observados y desviación estándar de TR (%) y CE(bares) bajo diferentes tratamientos en plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')	21
5	Cuadrados medios de los valores observados de TR (%) y CE (bares) en las variedades de frijol ("jamapa" y "Turrialba-4")	22
6.	Valores promedios de tratamientos y diagrama de Duncan	22
7	Efectos de tratamientos de TO sobre 10 variables de crecimiento y rendimiento, en plantas de frijol (variedad 'Jamapa')	23
8	Efectos de tratamientos de TO sobre 10 variables de crecimiento y rendimiento, en plantas de frijol (variedad 'Turrialba-4')	23
9	Efectos de tratamientos de TO sobre 10 variables de crecimiento y rendimiento, en plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')	24
10	Cuadrados medios de 10 variables de crecimiento y rendimiento observados en plantas de dos variedades de frijol bajo tensiones osmóticas diferentes	24
11	Valores promedios de 10 variables y diagrama de Duncan	25
12	Datos promedios, en por ciento, del contenido de azufre en varios órganos de plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')	31
13	Datos promedios, en por ciento, del contenido de sodio en varios órganos de plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')	31

<u>Cuadro no.</u>		<u>Página</u>
14	Cuadrados medios del contenido de azufre en diferentes órganos de plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')	32
15	Cuadrados medios del contenido de sodio en diferentes órganos de plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')	32
16	Valores promedio y representación gráfica de la significancia de Duncan, del contenido de azufre en plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')	32
17	Valores promedio y representación gráfica de la significancia de Duncan del contenido de sodio en plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')	33
18	Matriz de correlación entre las variables estudiadas en las variedades de frijol común 'Jamapa' y 'Turrialba-4'	36

APENDICE

1A	Valores observados de TR (%) a diferentes edades y tratamientos en plantas de frijol variedad 'Jamapa'	55
2A	Valores observados de TR (%) a diferentes edades y tratamientos en plantas de frijol variedad 'Turrialba-4'	56
3A	Valores de CE expresada en bares, determinados en diferentes tratamientos y edades en plantas de frijol (variedad 'Jamapa')	57
4A	Valores de CE expresada en bares, determinados en diferentes tratamientos y edades en plantas de frijol (variedad 'Turrialba-4')	58
5A	Efectos de los tratamientos en por ciento relativo sobre las variables anotadas en el frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')	59
6A	Efectos de los tratamientos en por ciento relativo sobre las variables anotadas en el frijol (variedad 'Jamapa')	59
7A	Efectos de los tratamientos en por ciento relativo sobre las variables anotadas en el frijol (variedad 'Turrialba-4')	59

<u>Cuadro no</u>		<u>Página</u>
8A	Datos promedios del contenido de azufre en por ciento en varios órganos de plantas de frijol var. 'Jamapa'	60
9A	Datos promedios del contenido de azufre en por ciento en varios órganos de plantas de frijol var. 'Turrialba-4'	60
10A	Datos promedios del contenido de sodio en por ciento en varios órganos de plantas de frijol var. 'Jamapa'	60
11A	Datos promedios del contenido de sodio en por ciento en varios órganos de plantas de frijol var. 'Turrialba-4'	60
12A	Datos promedios del contenido de azufre en por ciento relativo en varios órganos de plantas de frijol variedad 'Jamapa'	61
13A	Datos promedios del contenido de azufre en por ciento relativo en varios órganos de plantas de frijol variedad 'Turrialba-4'	61
14A	Datos promedios del contenido de sodio en por ciento relativo en varios órganos de plantas de frijol variedad 'Jamapa'	61
15A	Datos promedios del contenido de sodio en por ciento relativo en varios órganos de plantas de frijol variedad 'Turrialba-4'	61

1. INTRODUCCION

La evaluación de la resistencia del frijol (Phaseolus vulgaris L.) a la sequía es un aspecto que ha sido poco estudiado en el trópico (20).

Un alto grado de resistencia a sequía en una variedad de frijol es una característica fisiológica muy favorable, ya que en áreas sin riego, este cultivo está expuesto a sequías imprevistas que reducen mucho los rendimientos. La obtención de variedades con alta resistencia a la sequía es un logro que tendría gran repercusión económica. Por lo tanto, la evaluación de esta característica en las variedades de frijol es de capital importancia.

Existen varios métodos para poder evaluar resistencia a la sequía, pero se desconoce su eficiencia en el caso de aplicarlos al frijol. Las determinaciones de Turgencia Relativa (TR) y Conductividad Eléctrica (CE) han sido empleadas con frecuencia como índices para evaluar el grado de resistencia a la sequía de muchas plantas (7, 16, 21, 25, 42), por lo que se justificaría hacer un estudio detallado de su aplicabilidad al frijol.

El presente trabajo tuvo los siguientes objetivos:

1. Determinar la bondad de los métodos de TR y CE para estimar el grado de resistencia a la sequía del frijol.
2. Relacionar la TR y CE con el grado de tensión hídrica en que se encuentra el sistema radical del frijol.

2. REVISION DE LITERATURA

Las deficiencias de agua a que comunmente están sujetas las plantas se originan por una excesiva transpiración , inadecuada absorción o combinación de ambas (25). El estado hídrico de las plantas está condicionado por el equilibrio de estos dos procesos, el cual cambia continuamente durante el día y la noche (24). El déficit de agua durante el mediodía tiene efecto sobre el crecimiento; esto se ha probado en el cultivo del maíz en zonas calientes, donde la tasa de crecimiento es mayor por la noche que en el día. Actualmente se considera que el crecimiento y rendimiento de las plantas están directamente controlados por la tensión interna de agua de las plantas y, de una forma indirecta, por la tensión de agua del suelo (25).

2.1 Origen Morfofisiológico de la Resistencia a Sequía

Por lo general se define resistencia a sequía como la capacidad de una planta para soportar escasez de agua, sufriendo poca o ninguna alteración en sus procesos metabólicos normales (27). El concepto se usa también para referirse a especies o variedades de plantas que tienen la capacidad de crecer y producir satisfactoriamente en áreas sujetas a sequías periódicas (35).

La resistencia a sequía se considera como un componente del xerofitismo (30), el cual además incluye adaptaciones morfofisiológicas de las plantas que les confieren capacidad para sobrevivir, crecer, desarrollar, y reproducirse bajo condiciones de sequía.

Maximov, citado por Serrano (41), concluyó que las características morfológicas asociadas con resistencia a sequía son: a) hojas pequeñas, b) débil desarrollo del mesófilo, c) células de

tamaño pequeño, d) estomas sensitivos y e) buena distribución y desarrollo del sistema radical. Por otra parte, las características fisiológicas asociadas son: a) baja transpiración y b) capacidad de las plantas para almacenar agua dentro de sus tejidos.

Las xerófitas presentan adaptaciones morfológicas muy peculiares en sus órganos para poder sobrevivir a largos períodos de sequía (39), siendo éstas: a) ausencia de hojas o escaso desarrollo de láminas foliares; b) formación de espinas; c) succulencia; d) cutícula gruesa; e) revestimiento ceroso; f) espacios intercelulares reducidos; g) protección estomática y h) amplia distribución de raíces.

Las plantas que no pertenecen al grupo de las xerófitas tienen también diferentes grados de resistencia a la sequía. Según Levitt (29) el grado de resistencia de estas plantas parece estar asociado a la característica de sus proteínas de tener mecanismos moleculares que impiden la unión de sus grupos sulfidrilos para formar disulfidos cuando hay escasez de agua. Estas uniones son causantes de la distorsión de las moléculas de proteína y pérdida de la actividad enzimática.

Según May y Milthorpe (34) la resistencia a sequía puede deberse a: a) escape a sequía, b) mantenimiento de alto contenido de agua en los tejidos, c) mantenimiento de bajo contenido de agua. En el primer tipo se incluyen plantas que completan su ciclo de vida, antes de estar sujetas a serias tensiones de agua impuestas por cambios estacionales. Esta forma de escapar al efecto de la sequía es considerada por algunos investigadores como la más importante (34). El segundo tipo incluye a plantas con alto contenido interno de agua, el cual es mantenido durante el período de

sequía. Al último tipo pertenecen plantas que tienen bajo contenido de agua durante la sequía, pero con la capacidad de recuperarse y crecer rápidamente al haber agua disponible en el suelo.

Por otro lado, Levitt (28, 30) considera la resistencia a sequía como el resultado de dos características internas de las plantas que él llama 'evitación' y 'tolerancia'. La primera se presenta si la planta puede mantener su presión de vapor interna por encima de la del ambiente durante la sequía, lo cual se logra mediante un incremento en la absorción y mejoramiento de la translocación del agua. El segundo mecanismo es posible si el protoplasma de las células de la planta puede sobrevivir a una disminución en la presión de vapor.

La capacidad de las plantas para tolerar deshidratación depende también de una elevada elasticidad y viscosidad del protoplasma, capacidad de hidrorretención de éste, alto grado de hidratación de los coloides y naturaleza del metabolismo de las plantas (7, 17).

Stadelman (45) afirma que el protoplasma contribuye directamente a la resistencia a sequía, a través del control de la tensión osmótica en la savia celular y por la habilidad estructural del protoplasma a soportar sequía.

Una relación favorable entre la superficie radical de absorción y la de transpiración pueden evitar la presencia de altas tensiones hídricas dentro de las plantas. Los componentes más importantes de la superficie de absorción son, la concentración de raíces, y la profundidad enraizamiento (7, 34). Miller (37) explicó que la mayor resistencia a sequía mostrada por el sorgo en comparación con el maíz fue debida a diferencias en concentración de raíces,

ya que la profundidad de raíces fue igual en ambos cultivos pero el sorgo tuvo el doble de concentración de raíces secundarias.

La reducción de la transpiración cuando hay deficiencias de agua en el suelo, se considera como un mecanismo muy generalizado de protección que tienen las plantas contra los efectos de la sequía (28, 30, 39).

Los componentes de la superficie de transpiración son la conductividad cuticular y la respuesta estomática (7, 34).

2.2 Efectos Morfofisiológicos de la Sequía

Los efectos principales de tensión de agua en las plantas según Kramer (25), son: a) reducción del crecimiento y alargamiento celular, b) aumento en la proporción de renuevo de raíces así como del espesor de la pared celular, la cutinización y la lignificación, c) cierre prematuro de estomas y la consecuente reducción en la fotosíntesis por efecto de la disminución en entrada de bióxido de carbono, d) conversión de almidón a azúcar osmóticamente activo, alteración del metabolismo del nitrógeno y destrucción del ARN.

En plantas que experimentan fuertes deficiencias de agua, no solo se presenta una deshidratación parcial de las células sino que aumenta la temperatura de sus tejidos, debido a la disminución del efecto termorregulador de la transpiración. Parece existir un grado de similitud entre los mecanismos fisiológicos que confieren a las plantas resistencia a la sequía, a congelación y a las altas temperaturas, o sea que, el incremento en resistencia a un factor comúnmente conlleva a un incremento en resistencia a uno o más de los otros factores (7, 17).

Plantas de soya sometidas a sequía comparadas con otras en condiciones normales de abastecimiento de agua presentaron las siguientes particularidades (9): a) tenían las paredes celulares menos elásticas, b) transpiraban menos y c) acumulaban más lípidos por unidad de área foliar. No se encontró diferencia en resistencia a deshidratación entre plantas sometidas a sequía y testigos, considerándose que la resistencia a sequía que mostraron las primeras fue un fenómeno de 'evitación' debido al depósito de más lípidos en las hojas.

Parecen existir en las células ciertas condiciones, a nivel molecular, que confieren al protoplasma resistencia a sequía, calor y frío. Stocker, citado por Parker (39), ha concebido al protoplasma como un enrejado de proteínas, cuyos puntos de unión son enlaces de valencia química y fuerzas eléctricas adsortivas y atractivas, presentándose la resistencia a sequía al existir reforzamientos en estas uniones o enlaces. Estudios del efecto perjudicial de la sequía sobre el protoplasma sugieren que el daño ocurre en el complejo ADN-ARN.

Webb, citado por Parker (39), demostró el efecto protector de ciertas sustancias contra la deshidratación, como hidrocarburos polihidroxicíclicos saturados, especialmente el inositol. Aquel observó que en plantas expuestas a sequía o frío hay cambios de almidón a azúcares y viceversa, existiendo la posibilidad de que haya ciertos azúcares que protejan al complejo ADN-ARN.

Se ha comprobado que una tensión de agua en el suelo, relativamente baja, algunas veces produce disminución del crecimiento y rendimiento. Por ejemplo, tensiones de humedad del suelo de 1,5 bares han reducido el rendimiento y calidad del tabaco y en el

cultivo del manzano, tensiones de agua menores de un bar han disminuído el crecimiento de las partes vegetativas y de los frutos (25).

2.3 Medición de Tensión de Agua en las Plantas

Son varios los métodos que se han usado para medir la tensión de agua de los tejidos de las plantas, siendo difícil opinar sobre la eficiencia de uno sobre el otro, ya que la eficiencia depende en gran parte del tejido vegetal que se analice. Entre los principales métodos se tienen los siguientes: a) determinación del contenido de agua, déficit de agua y déficit de saturación (8, 25, 38); b) presión osmótica del jugo celular obtenida por conductividad eléctrica (15, 42) por refractometría (12) o solamente por crioscopía (42); c) déficit de presión de difusión (48), turgencia relativa en hojas enteras (16), y turgencia relativa en discos flotantes (3, 7, 16, 21, 25, 35, 43, 47, 48).

Esta última técnica consiste esencialmente en comparar el contenido de agua de tejidos de hoja recién muestreada de plantas en tensión hídrica, con el contenido de agua de estos mismos tejidos totalmente túrgidos, expresándose el resultado en porcentaje.

Antes de 1962 se criticaba el método de turgencia relativa por los errores que se cometían al realizarlo, tales como: a) cambios en peso seco de los discos, b) incremento continuo en contenido de agua después de alcanzar la turgidez total, c) introducción de agua a los espacios intercelulares por la orilla del corte de los discos. En 1962, Barrs y Weatherley (3), mejoraron la técnica e hicieron las siguientes observaciones: a) alumbrando los tejidos al momento de hidratarse con una intensidad de luz próxima

al punto de compensación de cada planta en particular, los cambios en peso seco podían reducirse a magnitudes sin importancia, evitándose así la toma de muestras duplicadas, ya que el peso seco final puede ser usado para calcular el contenido de agua inicial y túrgido de los discos; b) la toma de agua por los discos flotantes se puede dividir en dos fases: la primera es en respuesta a un déficit de agua inicial y la segunda, una absorción continua debido al crecimiento, sirviendo la técnica para medir sólo la primera fase; c) la magnitud de los errores por introducción de agua en las orillas del corte varía según las especies (por ejemplo, en Ricinus fue escasa, en cambio en Sambucus fue considerable).

Una reacción fisiológica de las plantas que tienen cierto grado de resistencia a la sequía consiste en el incremento del contenido de sales y carbohidratos osmóticamente activos en el interior de sus células cuando se presentan las condiciones de tensión hídrica (4, 5, 11, 35). Un incremento en concentración salina lleva a un aumento en CE y dentro de ciertos límites el incremento es proporcional a la concentración de sales.

Para evaluar el aumento en el contenido de sales ionizables se ha empleado con éxito el método de la conductividad eléctrica del jugo celular de los tejidos de las hojas y otras partes de las plantas (15, 42). Este método se ha utilizado mucho en conjunto con la técnica del cultivo de plantas en solución nutritiva en el cual se pueden producir condiciones de sequía fisiológica mediante la adición de sales y otras sustancias osmóticamente activas (18).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del Experimento

El trabajo experimental se llevó a cabo en el invernadero y laboratorio de la Unidad de Ecofisiología del Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del IICA, en Turrialba, Costa Rica.

3.2 Condiciones Climáticas dentro del Invernadero

Con el fin de precisar las condiciones climáticas dentro del invernadero se realizaron observaciones continuas diarias mediante instrumentos apropiados. Los factores observados fueron los siguientes:

3.2.1 Temperatura y humedad relativa

Para la observación de estos factores se utilizó un termógrafo y un higrógrafo respectivamente, ambos de registro semanal.

3.2.2 Radiación solar

Para medir este factor se dispuso de un actinómetro de alcohol de lectura directa obteniéndose la radiación solar acumulada en $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Diariamente la columna de alcohol se puso en cero, tomándose la lectura al finalizar el día, calculándose la radiación solar aplicando la fórmula (1):

$$Q = h \times k$$

siendo: $Q =$ radiación solar en cal cm^{-2} unidad de tiempo⁻¹

$h =$ altura de la columna de alcohol en cm

$k =$ constante del aparato, equivalente a 18,8.

3.3 Material Vegetal Empleado

Las semillas utilizadas en el presente trabajo provinieron de líneas puras de las variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L.): 'Jamapa' (NH-469/52515) y 'Turrialba-4' (NH-483/52529).

3.4 Establecimiento del Experimento

3.4.1 Germinación

Antes de ponerlas a germinar, las semillas se desinfectaron previamente en solución al 15 por ciento de hipoclorito de sodio durante 30 segundos y luego se lavaron varias veces con agua destilada. Para la germinación de las semillas se siguió la técnica utilizada en trabajos previos (1, 10, 31, 33, 44) la cual consiste en poner cada semilla entre dos hojas de papel absorbente de forma rectangular cubiertas por una hoja de polietileno negro, las cuales se enrollaron juntas y colocaron verticalmente en recipientes de vidrio de 130 ml de capacidad, con 65 ml de solución nutritiva Hoagland No. 2 (19) al 50% de su concentración original.

3.4.2 Trasplante a recipientes definitivos

Once días después de la siembra, las plantas tenían de 10 a 15 cm de longitud y se trasplantaron a recipientes de plástico de 8 litros de volumen que contenían 7 litros de la solución Hoagland No. 2, a razón de una planta por recipiente. Los recipientes se colocaron por grupo de 12 en mesas de madera, quedando colocadas las plantas a una distancia promedio de 50 x 50 cm.

El soporte de las plantitas en cada recipiente se hizo en la primera semana con cinta adhesiva y posteriormente con hilos de cáñamo fijados al tutor previamente colocado en el recipiente.

La aireación de la solución fue permanente y se realizó mediante un sistema de tuberías conectadas directamente a un compresor haciendo burbujear aire dentro de cada recipiente mediante capilares (1).

3.5 Diseño Experimental

Se cultivaron 28 plantas por variedad de frijol y los recipientes correspondientes se distribuyeron en las mesas del invernadero de acuerdo a un diseño irrestrictamente al azar.

3.5.1 Tratamientos

El arreglo de los tratamientos fue un factorial 2×7 (2 = variedades, 7 = tratamientos), con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron iguales para las dos variedades ya indicadas y consistieron en tres niveles de tensión osmótica de la solución nutritiva (0,7, 2,4 y 4,1 bares), variando el tiempo de aplicación y edad de las plantas al recibirlas según se describe a continuación:

T_0 = tratamiento testigo con tensión osmótica (TO) continua de 0,7 bares hasta la muerte de las plantas.

T_1 = TO de 2,4 bares que se alcanzaron en un lapso de 15 días, a partir del segundo día del trasplante, habiéndose mantenido hasta la muerte de las plantas.

T_2 = TO de 4,1 bares alcanzados en un período de 15 días a partir del segundo día del trasplante, habiéndose mantenido hasta la muerte de las plantas.

T_3 = TO inicial de 0,7 bares y entre los 25 y 40 días después del trasplante, paulatinamente se elevó a 4,1 bares, bajándose luego a 0,7 bares hasta la muerte de las plantas. En el período arriba mencionado las plantas tuvieron una edad de 36 y 51 días respectivamente.

T_4 = TO continua de 0,7 bares y entre 40 y 55 días después del trasplante, progresivamente se elevó a 4,1 bares y después de este período se bajó otra vez a 0,7 bares donde se mantuvo hasta el fin del ciclo vegetativo de las plantas. La edad

que tenían las plantas en este lapso fue de 51 y 66 días respectivamente.

T_5 = T_0 constante de 0,7 bares y durante tres períodos de 15 días cada uno se subió progresivamente a 4,1 y bajó a 0,7 ocurriendo ésto entre los 25 a 40, 40 a 55 y 55 a 70 días después del trasplante. En este último período la edad correspondiente de las plantas fue de 66 a 81 días.

T_6 = Se elevó progresivamente la T_0 de 0,7 a 4,1 bares en un período de 70 días después del trasplante. Esta tensión se alcanzó solo en las plantas que lograron vivir 81 días como mínimo.

La toma de muestras que correspondieron en tiempo a elevaciones de tensión osmótica se hicieron cuando éstas alcanzaron sus valores máximos, (Cuadro 1).

Cuadro 1. Fluctuaciones de la T_0 (bares) en relación a la edad de las plantas en cada tratamiento

Tratamiento	Edad (días)			
	13-28	36-51	51-66	66-81
T_0	0,7	0,7	0,7	0,7
T_1	2,4	2,4	2,4	2,4
T_2	4,1	4,1	4,1	4,1
T_3	0,7	4,1	0,7	0,7
T_4	0,7	0,7	4,1	0,7
T_5	0,7	4,1	4,1	4,1
T_6	1,5	2,7	3,2	4,1

3.6 Inducción de T_0

El aumento en la tensión osmótica de la solución nutritiva se inició dos días después del trasplante para los tratamientos T_1 , T_2 y T_6 . La sustancia empleada para este fin, fue el sulfato de sodio anhidro (13, 14, 35), habiéndose requerido 28 y 56 g en 7 litros para alcanzar 2,4 y 4,1 bares respectivamente.

Con el objeto de que las plantas se adaptaran en forma progresiva al aumento de tensión osmótica del ambiente radical y evitar la muerte por aumento brusco de tensión y salinidad, las cantidades sulfato de sodio previamente citadas se aplicaron en períodos de 15 días para los tratamientos T₁ al T₅ y de 70 días para el tratamiento T₆. Se necesitaron 1,866, 3,733 y 0,800 g diarios de sulfato de sodio anhidro, para elevar la tensión de agua a 2,4 en el primer caso y a 4,1 bares en los dos últimos.

3.7 Procedimientos Analíticos

3.7.1 Turgencia relativa (TR)

Cada planta, según su altura, se dividió teóricamente en cuatro cuartos, los cuales sirvieron para aleatorizar las muestras. Por cada parcela (planta) se tomó una muestra compuesta de cinco discos de 1,1 cm² de área proveniente de una hoja trifoliada y obtenidos por medio de un perforador de tapones, evitándose las nervaduras principales.

Se hizo el primer muestreo de discos y hojas para obtener TR y CE a los 31 días de edad de las plantas y las dos muestras restantes de los 51 y 68.

La toma de muestras en todos los casos se realizó entre las 4:30 y 6:00 de la mañana para aprovechar la humedad relativa alta del ambiente (la cual osciló en todos los casos entre 95 y 100 por ciento) y la máxima hidratación de tejidos de las plantas.

Después de tomar la muestra, los discos se colocaron inmediatamente en un frasquito tarado con su tapa, lo cual sirvió para obtener el peso fresco de los discos. Posteriormente, para lograr la turgencia máxima de los tejidos por osmósis, los discos se

pusieron a flotar en vasos de precipitación de 50 cc que contenían 40 cc de agua destilada. Durante cuatro horas los discos se mantuvieron bajo luz artificial recibiendo entre 1100 y 1250 lux de intensidad lo cual es próximo al punto de compensación de luz del frijol según estimaciones hechas en el laboratorio por el personal de la Unidad de Ecofisiología. Estas operaciones se hicieron en un cuarto oscuro que tenía como única fuente de luz una lámpara fluorescente de 40 watts, colocada por encima de los recipientes a 30 cm de distancia y a una temperatura ambiental de 20 ± 2 C. Una vez cumplido el tiempo para turgidez máxima bajo luz, los discos se secaron entre dos hojas de papel absorbente, poniéndoles una pesa de 500 gramos (3, 21) por tres segundos, y se pesaron en los mismos frasquitos tarados para obtener el dato de peso túrgido. Posteriormente se pusieron en una estufa a 90 C por 12 horas para obtener el peso seco correspondiente.

3.7.2 Conductividad eléctrica (CE)

Las hojas trifoliadas seleccionadas para obtener las muestras de discos, inmediatamente tomados éstos, se cortaron y guardaron en bolsas de plástico que luego se colocaron en un congelador. Después de ocurrir la congelación de los tejidos se extrajo el jugo celular a cada hoja aplicándoles una presión de 280 kg/cm^2 mediante una prensa hidráulica (21). Del extracto se tomó un mililitro y se llevó a 100 ml con agua destilada, luego se filtró este volumen en papel Whatman No. 1. Esta solución filtrada sirvió para medir la CE en micromhos cm^{-1} , cuyo valor se transformó en bares multiplicándolo por el factor 0,000364.

3.8 Cambios de Solución Nutritiva

Después de 21 días del trasplante se hizo el primer cambio de solución nutritiva Hoagland No. 2 y los cambios posteriores se realizaron a los 41 y 57 días correspondiendo a la edad real de la planta de 32, 52 y 68 días respectivamente. El volumen de la solución nutritiva en los recipientes se mantuvo en 7 litros agregando diariamente agua de lluvia.

La conductividad iónica del agua de lluvia usada en las adiciones diarias y preparación de soluciones nutritivas, fue la correspondiente a 2,0 ppm de sales totales ajustándose a las exigencias del presente trabajo (18). En los tres cambios de solución el pH se ajustó a 6,0.

Los componentes de la solución Hoagland No. 2 empleada en el experimento fueron los siguientes:

Cuadro 2. Composición de la solución nutritiva Hoagland No. 2 (19)

Elementos	ppm	mg/7000 cc
Nitrógeno de nitratos	196,000	1372,000
Nitrógeno amoniacal	14,000	98,000
Fósforo	31,000	217,000
Potasio	245,000	1715,000
Calcio	160,000	1120,000
Magnesio	48,000	336,000
Azufre	64,000	447,000
Hierro	5,000	35,000
Boro	0,500	3,500
Manganeso	0,500	3,500
Zinc	0,050	0,350
Cobre	0,020	0,140
Molibdeno	0,010	0,070
Sodio	1,950	13,650
Cloro	3,330	23,310
Cobalto	0,005	0,035

3.9 Determinación del Area Foliar

A los 62 días de edad de las plantas, de acuerdo con Ascencio (1), se midió el ancho de los folíolos centrales de cada planta en ambas variedades, para proceder al cálculo del área foliar. Este cálculo se basa en la correlación alta existente entre el área de las hojas trifoliadas y el ancho de su foliolo central y ha sido empleado por varios autores (1, 10, 31, 33). La función matemática empleada fue $Y = -3,73939X^{1,918629}$. El ajuste de esta curva logarítmica correspondió un R^2 de 0,94. Se puede considerar esta ecuación como promedio de las resultantes para las variedades de frijol: 'Porrillo no. 1' (NH-470), 'Turrialba-5' (RH-215), 'S-184-N' (NH-504), '27-R' (RH-29) y 'Santo Tomás' (NH-406), con base en datos (sin publicar) obtenidos por el personal del laboratorio de Ecofisiología en la Unidad de Estadística y Computación del IICA.

Las variedades indicadas se cultivaron bajo igualdad de condiciones de invernadero y épocas de siembra que la 'Jamapa' y 'Turrialba-4' utilizadas en la presente investigación.

3.10 Determinación de Volumen de Raíces

La determinación del volumen de raíces se realizó basándose en el principio de desplazamiento de volúmenes, con la siguiente secuencia:

- a) corte de raíz a la altura del cuello de la planta.
- b) suspensión de la raíz en un gancho para permitir el escurrimiento de agua externa, por aproximadamente 40 minutos.
- c) colocación de la raíz en una probeta graduada y lectura del volumen desplazado.

3.11 Análisis Químico del Material Vegetal

Debido a que se emplearon cantidades relativamente altas y diferentes de sulfato de sodio para producir las tensiones osmóticas se decidió analizar el azufre y sodio en los diversos órganos de las plantas, habiéndose procedido a moler por separado la raíz, el tallo, las hojas, y las semillas de cada planta para el análisis. De las cuatro repeticiones por tratamiento se tomaron al azar muestras iguales del material molido para formar por órgano una sola muestra compuesta.

De ésta se tomaron 0,5 g para la digestión nítrico-perclórica en proporción 5:1 utilizándose frascos Erlenmeyers de 125 ml (2). Para la molienda de los órganos mencionados se usó un molino Willey con malla 40 guardándose el polvo resultante en frascos de vidrio hasta el momento del análisis.

3.12 Determinación de los Componentes del Rendimiento

Los componentes del rendimiento que se evaluaron fueron:

- 1) Peso total de semillas o rendimiento por planta, al 12 por ciento de humedad (W)
- 2) Número de frutos por planta (X)
- 3) Número de semillas por fruto (Y)
- 4) Peso de 100 semillas al 12 por ciento de humedad (Z)

El peso de semillas al 12 por ciento de contenido de humedad se determinó aplicándose la siguiente fórmula: (Peso y humedad de semillas)

$$P_f = \frac{P_o (100 - H_o)}{88}$$

donde: P_f = peso final de las semillas, corregido al 12 por ciento de humedad

P_o = peso inicial de semillas recién cosechadas

H_0 = humedad inicial expresada en porcentaje de las semillas recién cosechadas

88 = constante para obtener el peso de semillas corregida al 12 por ciento de humedad (o sea 100 - 12).

El valor H_0 se calculó usando la expresión $H_0 = \frac{PH-PS}{PH} \times 100$

donde: PH = peso inicial de las semillas recién cosechadas

PS = peso seco de las semillas, después de haberlas mantenido en una estufa durante 72 horas, a 70 C.

La determinación de X y Y se hizo en forma individual en las 56 plantas del experimento. Para el cálculo de Z, se tomó una muestra de 100 semillas del total cosechadas por parcela, obteniéndose un peso promedio de las cuatro repeticiones por tratamiento.

3.13 Análisis de la Información

Con el fin de investigar los efectos de tratamientos (T), variedades (V) y la interacción de éstos, se analizaron los componentes del rendimiento y crecimiento realizando un análisis de variancia para cada variable y se interpretaron los datos por la prueba de Duncan al nivel de 0,05.

El modelo de análisis de variancia aplicado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + V_j + (TV)_{ij} + E_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = variable de respuesta

μ = media general

T_i = efecto del tratamiento 'i'

V_j = variedad 'j'

$(TV)_{ij}$ = interacción del tratamiento 'i' con la variedad 'j'

E_{ijk} = error experimental del tratamiento 'i', la variedad 'j' y la observación 'k'

Se utilizó la prueba de Duncan en la comparación de promedios por tratamientos de las variables estudiadas.

El grado de asociación entre las variables estudiadas se determinó por el análisis de correlación.

Debido a la asimetría de los tratamientos no fue posible aplicar la técnica de regresión para reducir a una función de respuesta definida los efectos de tratamientos.

4. RESULTADOS

4.1 Condiciones Ambientales del Invernadero

Se consideró importante medir las condiciones ambientales en el transcurso del experimento, con el fin de seleccionar las horas apropiadas para la toma de muestras de discos y hojas y tener conocimiento de las condiciones de microclima del invernadero. Los datos observados se indican en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Condiciones ambientales de invernadero observadas en el curso del experimento

Factor ambiental	Media		Media
	Máxima	Mínima	
Temperatura (C)	34,2	18,4	26,3
Humedad relativa (%)	99,0	39,9	69,5
Radiación solar ($\text{cal cm}^{-2} \text{día}^{-1}$)			169

4.2 Efecto de los Tratamientos sobre la TR y la CE

La idea original fue hacer cuatro muestreos, los cuales serían a los 17, 40, 55 y 70 días después del trasplante, correspondiendo en edad real de las plantas a 28, 51, 66 y 81 días. Debido a efectos de tratamiento, la mayoría de las plantas (de las dos variedades) que se deberían muestrear en el último período murieron antes de alcanzar la TO de 4,1 bares, no pudiéndose obtener los datos de TR y CE, especialmente en las plantas bajo los tratamientos T_5 y T_6 las cuales eran las de mayor interés en este último muestreo.

Los tratamientos T_1 , T_2 y T_6 se iniciaron cuando las plantas tenían 13 días de edad y se concluyeron a los 27 en los dos primeros casos y a los 81 en el último. Cuatro días después de alcanzar 2,4 bares el tratamiento T_1 y 4,1 bares el tratamiento T_2 , se hizo el muestreo de discos y hojas trifoliadas, y cuatro días más tarde se inició el tratamiento T_3 ; aplicándose la cantidad de sales

correspondiente a 4,1 bares en un período de 15 días y en forma similar a los tratamientos T_2 , T_4 y T_5 . Cuando se efectuaron los tres muestreos, las plantas con el tratamiento T_6 tenían diferente tensión osmótica en la solución nutritiva, habiéndoles correspondido 1,7, 2,6 y 3,4 bares en cada ocasión.

4.2.1 TR

Los datos de TR, expresados en por ciento, que correspondieron a las plantas testigo de ambas variedades fueron muy semejantes al de las tratadas (Cuadro 4). El análisis de variancia (Cuadro 5) de los datos no mostró diferencia significativa entre variedades, tratamientos e interacción de éstos.

Cuadro 4. Valores promedios observados y desviación estandar de TR (%) y CE (bares) bajo diferentes tratamientos en plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')

Tratamientos	TR		TR	
	Variedad		Variedad	
	"Jamapa"	"Turrialba-4"	"Jamapa"	"Turrialba-4"
T_0	90,2 \pm 5,9	93,7 \pm 3,1	10,0 \pm 0,3	10,4 \pm 0,9
T_1	90,4 \pm 3,9	91,5 \pm 3,9	11,2 \pm 0,7	12,6 \pm 1,4
T_2	89,4 \pm 2,8	89,2 \pm 2,6	13,1 \pm 1,7	13,3 \pm 0,7
T_3	91,3 \pm 3,9	93,6 \pm 2,1	11,2 \pm 0,7	11,8 \pm 0,6
T_4	86,5 \pm 9,5	92,7 \pm 1,2	11,5 \pm 1,3	12,3 \pm 1,5
T_5	90,3 \pm 6,7	90,6 \pm 4,9	11,5 \pm 0,7	13,9 \pm 2,1
T_6	95,4 \pm 0,44	90,2 \pm 1,6	11,1 \pm 0,6	11,3 \pm 0,5

4.2.2 CE

En el Cuadro 4 se nota que los valores de CE obtenidos de plantas tratadas en ambas variedades fueron siempre superiores a los del testigo, manifestándose mayormente con el tratamiento T_2 en plantas de la variedad 'Jamapa' y con T_2 y T_5 en las de 'Turrialba-4'.

El análisis de variancia conjunto para ambas variedades mostró diferencia significativa entre éstas y los tratamientos

Cuadro 5. Cuadrados medios de los valores observados de TR (%) y CE (bares) en las variedades de frijol ('Jamapa' y 'Turrialba-4')

Fuente de variación	GL	TR		CE	
		Cuadrados medios		Cuadrados medios	
Variedades (V)	1	36,9687	ns	10,3716	**
Tratamientos (T)	6	21,2763	ns	7,7689	**
V x T	6	27,3899	ns	1,3128	ns
Error Exp.	42	28,1414		1,2576	

ns = sin diferencia significativa

** = hay diferencia significativa al 0,01

Cuadro 6. Valores promedios de tratamientos y diagrama de Duncan*

Método	Promedios de tratamientos						
	T ₂	T ₅	T ₄	T ₁	T ₃	T ₆	T ₀
Conductividad eléctrica	13,2a	12,7ab	11,9abc	11,9abc	11,5abc	11,2bc	10,2c
Turgencia relativa	T ₆ 92,8a	T ₃ 92,4a	T ₀ 91,9a	T ₁ 90,9a	T ₅ 90,4a	T ₄ 89,6a	T ₂ 89,3a

* Todos los promedios seguidos de una letra común no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad de 0,05.

(Cuadro 5). Al aplicar la prueba de Duncan a las medias de los tratamientos se encontraron diferencias significativas entre T₂ y T₆ así como también entre T₅ y T₀ (Cuadro 6).

4.3 Efecto de los Tratamientos sobre los Componentes del Crecimiento

4.3.1 Volumen de raíces

En el Cuadro 9 en que se agrupan los datos de ambas variedades, puede observarse que el tratamiento T₂ fue el que más afectó este componente.

Las plantas de la variedad 'Jamapa' fueron afectadas más con los tratamientos T₂ y T₁ y las de 'Turrialba-4' con T₂ y T₅. Esta última variedad se afectó más que la 'Jamapa' en el volumen de raíces, con la mayoría de los tratamientos (Cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Efectos de tratamientos de T₀ sobre 10 variables de crecimiento y rendimiento en plantas de frijol (variedad 'Jamapa')

Variables	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Volumen raíces (ml)	168,7	89,0	59,0	121,7	152,4	113,9	98,3
Peso seco raíces (g)	8,1	5,1	2,5	7,0	6,7	4,9	4,8
Peso seco hojas (g)	29,4	18,4	5,8	28,2	21,3	14,6	14,0
Peso seco tallos (g)	31,2	18,2	7,8	28,0	26,3	16,3	17,2
Peso seco vainas vacías(g)	19,3	13,8	6,9	16,0	20,0	16,7	15,1
No. vainas/planta	63,7	52,5	27,0	58,5	69,2	64,5	54,0
No. semillas/vaina	6,8	6,1	5,4	6,6	6,7	6,3	6,4
Peso 100 semillas (g)	21,7	20,5	17,3	19,9	19,6	16,8	18,1
Peso semillas/planta (g)	95,9	66,5	28,5	76,9	92,0	68,9	63,3
Area foliar (dm ²)	179,5	116,1	53,3	130,6	157,2	131,2	125,2

Cuadro 8. Efectos de tratamientos de T₀ sobre 10 variables de crecimiento y rendimiento en plantas de frijol (variedad 'Turrialba-4')

Variables	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Volumen raíces (ml)	168,2	77,0	45,3	91,7	162,8	55,9	101,7
Peso seco raíces (g)	7,9	3,4	1,6	4,4	7,4	2,4	4,4
Peso seco hojas (g)	31,7	12,3	4,2	22,7	29,4	8,5	16,6
Peso seco tallos (g)	31,8	12,6	6,0	19,3	30,2	11,8	16,4
Peso seco vainas vacías(g)	23,5	9,5	6,7	16,6	17,1	10,9	14,6
No. vainas/planta	72,2	35,7	24,5	59,2	54,2	37,0	52,5
No. semillas/vaina	6,5	6,5	5,8	6,5	6,5	5,4	6,4
Peso 100 semillas (g)	20,2	18,0	16,7	19,0	21,0	15,2	20,1
Rendimiento/planta(g)	95,6	43,6	24,9	72,8	77,9	39,1	69,2
Area foliar (dm ²)	138,0	63,5	42,4	107,4	127,0	119,2	109,3

El análisis de variancia aplicado a la información del Cuadro 9 sobre este componente, indicó que hubo diferencias significativas por efecto de tratamientos en las plantas de las variedades mencionadas.

Al aplicar la prueba de Duncan a las medias de tratamientos de ambas variedades (cuadro 11) se encontró que no hubo diferencia significativa entre T₀ y T₄ pero sí entre éstos y el resto de tratamientos.

Cuadro 9. Efectos de tratamientos de T₀ sobre 10 variables de crecimiento y rendimiento, en plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')

Variables	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Volumen raíces (ml)	168,4	83,0	52,2	106,7	157,6	84,9	100,0
Peso seco raíces (g)	8,0	8,6	2,1	5,7	7,0	3,6	4,6
Peso seco hojas (g)	30,5	15,3	6,9	23,6	28,2	14,0	16,8
Peso seco tallos (g)	31,5	15,4	6,9	23,6	28,3	14,1	16,8
Peso seco vainas vacías (g)	21,4	11,6	6,8	16,0	18,5	13,8	14,8
No. vainas/planta	68,0	44,1	25,7	58,4	61,7	50,7	53,2
No. semillas/vaina	6,7	6,3	5,6	6,6	6,8	5,8	6,4
Peso 100 semillas (g)	21,0	19,3	17,0	19,5	20,3	16,0	19,1
Peso semillas/planta (g)	95,7	54,7	26,7	74,9	84,9	54,0	66,3
Area foliar (dm ²)	158,8	89,8	48,0	119,0	142,0	125,2	114,7

4.3.2 Area foliar

El tratamiento T₂ fue el que más afectó a esta característica en plantas de ambas variedades (Cuadros 7, 8, 9). Las plantas de la variedad 'Turrialba-4' se afectaron más con el tratamiento T₁ que las de 'Jamapa'.

El análisis de variancia de los datos de esta característica no mostró diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Cuadrados medios de 10 variables de crecimiento y rendimientos observados en plantas de dos variedades de frijol bajo tensiones osmóticas diferentes*

Variables	Fuentes de variación'	
	Tratamientos	Error Experimental
Volumen de raíces (ml)	13940,60**	1222,50
Peso seco de hojas (g)	655,51**	42,84
Peso seco de tallos (g)	601,21**	34,52
Peso seco de vainas vacías (g)	178,76**	11,51
No. de vainas/planta	1527,11**	123,18
Peso de 100 semillas (g)	25,06**	6,02
Rendimiento/planta (g)	4178,07**	309,42
Peso seco de raíces (g)	45,40ns	25,35
Area foliar (dm ²)	4329,91ns	4339,61
No. de semillas/vaina	1,15ns	0,52

* No se incluyen variables en las cuales no hubo significancia
' El número de GL correspondiente a tratamientos es 6 y al error experimental 42

** Hay diferencia significativa al nivel de probabilidad de 0,01
ns Sin diferencia significativa.

Cuadro 11. Valores promedios de 10 variables y diagrama de Duncan*

Variables	Promedios de tratamientos					
	T ₀	T ₄	T ₃	T ₆	T ₅	T ₂
Volumen de raíces (ml)	168,4a	157,6a	106,7b	100,0b	84,9b	52,2b
Peso seco de raíces (g)	T ₁ 8,6a	T ₀ 8,0a	T ₄ 7,0a	T ₃ 5,7a	T ₆ 4,6a	T ₂ 2,1a
Peso seco de hojas (g)	T ₀ 30,5a	T ₃ 25,5ab	T ₄ 25,4ab	T ₁ 15,3c	T ₆ 15,2cd	T ₂ 5,0e
Peso seco de tallos (g)	T ₀ 31,5a	T ₄ 28,2a	T ₃ 23,6ab	T ₆ 16,8bc	T ₁ 15,4bcd	T ₂ 6,9d
Peso seco vainas vacías (g)	T ₀ 21,4a	T ₄ 18,5ab	T ₃ 16,0bc	T ₆ 14,8bcd	T ₁ 13,8bcde	T ₂ 7,6f
Area foliar (dm ²)	T ₀ 158,8a	T ₄ 142,0a	T ₃ 125,2a	T ₆ 119,0a	T ₁ 114,7a	T ₂ 48,0a
No. de vainas/planta	T ₀ 68,0a	T ₄ 61,7ab	T ₃ 58,7abc	T ₆ 53,2abcd	T ₁ 50,7atde	T ₂ 25,7f
No. de semillas/vaina	T ₄ 6,8a	T ₀ 6,7a	T ₃ 6,6a	T ₆ 6,4a	T ₁ 6,3a	T ₂ 5,6a
Peso de 100 semillas (g)	T ₀ 21,0a	T ₄ 20,3ab	T ₃ 19,5ab	T ₆ 19,3ab	T ₁ 17,0b	T ₂ 16,0c
Rendimiento/planta (g)	T ₀ 95,7a	T ₄ 84,9ab	T ₃ 74,9abc	T ₆ 66,3bcd	T ₁ 54,7cde	T ₂ 26,7f

* Todos los proedios seguidos de una letra común no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad de 0,05.

4.3.3 Peso seco de raíces

Al observar los datos del Cuadro 9, se nota que los tratamientos T_2 y T_5 afectaron más a las plantas de ambas variedades que el resto de los tratamientos en este componente.

Esta variable junto a la del peso seco de hojas y tallos que analizaremos posteriormente fueron las más afectadas por el tratamiento T_2 con respecto al testigo, observándose esto con los datos individuales de cada variedad (Cuadros 7 y 8).

En estos mismos cuadros se observa que los tratamientos T_1 , T_3 y T_5 afectaron más a las plantas de la variedad 'Turrialba-4' que a las de 'Jamapa'. A pesar de las grandes diferencias encontradas entre tratamientos y variedades en esta variable, al analizar los datos del Cuadro 9 estadísticamente, en forma conjunta para ambas variedades, no fueron significativamente distintos (Cuadro 10).

4.3.4 Peso seco de hojas

Como en los casos anteriores esta variable disminuyó bajo el efecto de los tratamientos (Cuadro 9).

En los Cuadros 7 y 8, los datos individuales por variedad muestran que las plantas de la variedad 'Turrialba-4' se afectaron mucho más que las 'Jamapa' con los tratamientos T_1 , T_3 y T_5 . Pero bajo el tratamiento T_4 se afectaron más las de esta última variedad.

El efecto de los demás tratamientos sobre esta variable fue semejante en ambas variedades. El análisis de variancia de la información del Cuadro 9 sobre esta variable mostró diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 10).

Al comparar las medias de tratamientos del Cuadro 9 por la prueba de Duncan (Cuadro 11) se encontró que los tratamientos T_1 , T_6 , T_5 y T_2 disminuyeron significativamente el peso seco de hojas con respecto al testigo. No hubo significancia entre los tratamientos T_0 , T_3 y T_4 .

4.3.5 Peso seco de tallos

En el Cuadro 9, que agrupa las medias de tratamientos de ambas variedades, se nota una disminución del peso seco de tallos por efecto de tratamientos, habiéndose encontrado diferencia significativa entre éstos (Cuadro 10).

La prueba de significancia de Duncan (Cuadro 11) nos muestra en orden de importancia que los tratamientos que afectaron significativamente a esta variable fueron el T_2 , T_5 , T_1 y T_6 , por otro lado, no hubo significancia entre T_0 , T_4 y T_3 .

Al comparar una variedad con otra en base a los datos observados (Cuadros 7 y 8) se nota que la T_0 constante de 4,1 bares (T_2) afectó esta variable en igual magnitud a las plantas de ambas variedades. Los tratamientos T_1 y T_3 afectaron más a las plantas de la variedad 'Turrialba-4' que a las de 'Jamapa'.

4.3.6 Peso seco de vainas vacías

En el Cuadro 9 se muestra la agrupación de los datos de ambas variedades, notándose que el tratamiento T_2 produjo el efecto más reductor en el peso seco de las vainas vacías que los demás tratamientos.

El análisis de variancia mostró diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 10). Al aplicar la prueba de Duncan (Cuadro 11), se confirmó lo antes dicho, es decir, que el efecto del tratamiento T_2 fue significativamente diferente del efecto generado por

los demás tratamientos. No se presentó significancia entre T_0 y T_4 .

Al comparar las variedades en la reducción del peso de esta variable (Cuadros 7 y 8) por efecto de tratamientos se observa que T_1 , T_4 y T_5 afectaron más en este componente a las plantas de la variedad 'Turrialba-4' que a las de 'Jamapa'.

4.4 Efecto de los Tratamientos sobre los Componentes del Rendimiento

4.4.1 Número de vainas por planta

En base a la información del Cuadro 9 y el análisis de variancia del Cuadro 10, se puede afirmar que las plantas de ambas variedades se afectaron significativamente en este componente, por efecto de los tratamientos utilizados en esta investigación.

La prueba de significancia de Duncan (Cuadro 11) indicó que el tratamiento T_1 fue significativamente diferente del T_0 y T_4 ; por otro lado, el tratamiento T_2 mostró diferencia significativa con el resto de tratamientos, siendo este el causante del mayor efecto reductor de la variable en estudio en las plantas de ambas variedades.

En los Cuadros 7 y 8 se puede observar que la tendencia de esta variable fue la de disminuir bajo el efecto de los tratamientos, principalmente el T_2 y T_6 para las plantas de la variedad 'Jamapa' y T_2 y T_1 para las de la variedad 'Turrialba-4'.

4.4.2 Número de semillas por vaina

En los Cuadros 7, 8 y 9 se aprecia que esta variable fue poco afectada por los tratamientos, no existiendo significancia entre ellos al nivel de 0,05 de probabilidad (Cuadro 10).

4.4.3 Peso de 100 semillas

El análisis de variancia de los datos del Cuadro 9 mostró diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 10). La prueba

de Duncan indicó significancia entre los tratamientos T_0 con T_2 y T_4 con respecto a T_5 (Cuadro 11). Los tratamientos T_5 y T_2 en orden de importancia fueron los que mas afectaron a las plantas de ambas variedades en este componente (Cuadros 7, 8 y 9).

4.4.4 Peso semillas o rendimiento por planta

De acuerdo con los datos observados en el Cuadro 9 y el análisis de variancia en el Cuadro 10, se puede decir que las plantas de ambas variedades fueron afectadas significativamente en sus rendimientos con los tratamientos aplicados.

La prueba de significancia de Duncan aplicada a las medias de tratamientos (Cuadro 11) nos muestra que el T_2 fue el más perjudicial en el rendimiento, presentando diferencia significativa con el resto de tratamientos. No hubo significancia entre T_0 , T_3 y T_4 .

En plantas de la variedad 'Turrialba-4' el efecto del tratamiento T_1 fue mucho más notable que en las de 'Jamapa', lo mismo puede decirse del tratamiento T_5 (Cuadros 7 y 8).

El peso de semillas que se obtuvo de las plantas testigo de ambas variedades fue aproximadamente 96 g.

4.5 Efecto de los Tratamientos en el Contenido de Azufre y Sodio de las Plantas

4.5.1 Contenido de azufre y sodio en raíces

Azufre

Los tratamientos en ambas variedades no influyeron en el contenido de azufre de la raíz ya que según se ve en los Cuadros 12 y 13 los valores observados en plantas tratadas fueron iguales o inferiores al testigo, es decir, que no hubo acumulación de este elemento en las raíces.

En ambas variedades los tratamientos T_3 y T_5 provocaron una disminución notable en el contenido de azufre en las raíces. Este efecto fue mayor en plantas de la variedad 'Jamapa' con el tratamiento T_4 .

El análisis de variancia de este elemento en las raíces de ambas variedades (Cuadro 14) no alcanzó diferencia significativa entre tratamientos.

Sodio

Al contrario de lo que ocurrió con el azufre, el sodio en las raíces tendió a acumularse con los tratamientos. Esto fue especialmente notable en los tratamientos T_1 y T_6 ; en estos tratamientos la magnitud de la acumulación fue mucho mayor en las raíces de plantas de frijol variedad 'Turrialba-4'; en la que se llegó a concentraciones entre 12 y 13 veces superiores a las del testigo, mientras que en las de 'Jamapa' solo se encontraron concentraciones entre 5 y 6 veces superiores a las raíces de plantas testigo (Cuadro 13).

En análisis de variancia de los datos de esta variable (Cuadro 15) mostró diferencia significativa entre tratamientos.

Entre los tratamientos T_1 y T_6 hubo diferencia significativa y ambos a su vez fueron significativamente diferentes al testigo (Cuadro 17).

4.5.2 Contenido de azufre y sodio en tallos

Azufre

En todos los casos la concentración de azufre aumentó en los tallos contrastando con lo observado en las raíces.

Los tratamientos que provocaron más acumulación de azufre en los tallos, en ambas variedades fueron el T_2 y T_5 . Esto fue mucho

Cuadro 12. Datos promedios, en por ciento, del contenido de azufre en varios órganos de plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')

Organos	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Raíz	0,950	0,770	0,985	0,500	0,610	0,640	0,790
Tallo	0,170	0,875	2,440	0,430	0,485	0,885	0,800
Hoja	0,085	0,815	2,400	0,235	0,475	0,920	0,900
Semilla	0,080	0,170	0,200	0,450	0,115	0,140	0,130
Total	1,28	2,63	6,02	1,31	1,68	2,58	2,62

Cuadro 13. Datos promedios, en por ciento, del contenido de sodio en varios órganos de plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')

Organos	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Raíz	0,230	1,043	1,150	0,345	0,680	0,800	1,950
Tallo	0,115	1,800	4,355	0,685	0,935	2,150	2,200
Hoja	0,130	0,675	1,985	0,220	0,515	1,120	1,200
Semilla	0,068	0,083	0,090	0,072	0,070	0,085	0,087
Total	0,54	3,60	7,58	1,32	2,20	4,15	5,44

más notable en plantas de la variedad 'Turrialba-4' con estos mismos tratamientos pero especialmente con el último (Cuadros 12, 8A y 9A, estos dos últimos del Apéndice).

Bajo los otros tratamientos la acumulación de azufre fue aproximadamente igual en los tallos de ambas variedades, aunque de todas maneras fue superior al testigo en aproximadamente cuatro veces.

El análisis estadístico de los datos del contenido de azufre en tallos, mostró diferencia significativa entre tratamientos, siendo el testigo diferente al T₅ y T₂ y éstos entre sí (Cuadros 14 y 16).

Sodio

En los Cuadros 13, 10A y 11A se nota que hubo una tendencia general a incrementarse la concentración de sodio con los tratamientos. El tratamiento T₂ fue el que causó mayor acumulación de sodio

Cuadro 14. Cuadrados medios del contenido de azufre en diferentes órganos de plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')

Organos	Fuentes de variación*	
	Tratamientos	Error experimental
Raíz	0,0638 ns	0,0283
Tallo	1,1006 **	0,0642
Hoja	1,1710 **	0,0869
Semilla	0,0029 ns	0,0013

* El número de GL que corresponde a los tratamientos y al error experimental es 6

** Diferencia significativa al nivel de probabilidad de 0,01

ns Sin diferencia significativa

Cuadro 15. Cuadrados medios del contenido de sodio en diferentes órganos de plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')

Organos	Fuentes de variación*	
	Tratamientos	Error experimental
Raíz	0,9579 **	0,0684
Tallo	3,8742 **	0,1230
Hoja	0,8467 **	0,0883
Semilla	0,0010 ns	0,00009

* El número de GL que corresponde a los tratamientos y al error experimental es 6

** Diferencia significativa al nivel de probabilidad de 0,01

ns Sin diferencia significativa

en los tallos en ambas variedades aunque este aspecto fue más notable en los tallos de plantas de la variedad 'Turrialba-4'.

Cuadro 16. Valores promedio y representación gráfica de la significancia de Duncan*, del contenido de azufre en plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')

Variables	Promedios de tratamientos						
	T ₂	T ₀	T ₆	T ₁	T ₅	T ₄	T ₃
Raíz	0,985a	0,950a	0,790a	0,770a	0,640a	0,610a	0,500a
Tallo	2,440a	0,5885b	0,1875bc	0,6800bcd	0,485bcde	0,3430bcde	0,170e
Hoja	2,400a	0,5920b	0,900bc	0,815bcd	0,475bcde	0,235e	0,085e
Semilla	0,200a	0,170a	0,3150a	0,5140a	0,6130a	0,4115a	0,080a

* Todos los promedios seguidos de una letra común no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad de 0,05.

Cuadro 17. Valores promedio y representación gráfica de la significancia de Duncan* del contenido de sodio en plantas de frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')

Variabes	Promedios de tratamientos						
Raíz	T ₆ 1,950a	T ₂ 1,150b	T ₁ 1,043bc	T ₅ 0,580bcd	T ₄ 0,680bcd	T ₃ 0,345d	T ₀ 0,230e
Tallo	T ₂ 4,355a	T ₆ 2,200b	T ₅ 2,150bc	T ₁ 1,800bc	T ₄ 0,935d	T ₃ 0,695de	T ₀ 0,115e
Hoja	T ₂ 1,985a	T ₆ 1,200b	T ₅ 1,120bc	T ₁ 0,675bcd	T ₄ 0,515d	T ₃ 0,220d	T ₀ 0,130e
Semilla	T ₂ 0,090a	T ₆ 0,087a	T ₅ 0,085a	T ₁ 0,083a	T ₃ 0,072a	T ₄ 0,070a	T ₀ 0,068a

* Todos los promedios seguidos de una letra común no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad de 0,05.

T₃ fue el tratamiento que produjo menos acumulación de sodio en tallos aunque de todas maneras fue aproximadamente seis veces superior al testigo considerando el efecto en ambas variedades (Cuadro 13).

El análisis de variancia mostró que hubieron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 15); y la prueba de Duncan que los tratamientos T₁, T₂, T₄, T₅ y T₆ produjeron diferencias significativas en concentraciones de sodio con respecto a las plantas testigo (Cuadro 17).

4.5.3 Contenido de azufre y sodio en hojas

Azufre

El contenido de azufre en las hojas tuvo tendencia a aumentar con los distintos tratamientos, acumulándose más en el tallo y hojas que en el resto de órganos, en ambas variedades (Cuadros 12, 8A y 9A).

En el tratamiento T₃ después del testigo fue el que produjo menos acumulación de azufre comparado con el resto de tratamientos, aún así el promedio de ambas variedades superó al testigo en casi

tres veces (Cuadro 12). De los valores de concentración de azufre encontrados en todos los órganos de las plantas los más altos correspondieron a los tallos y hojas.

El análisis de variancia de los datos agrupados de ambas variedades (Cuadro 14), mostró diferencia significativa entre tratamientos. En el Cuadro 16 se puede observar que el tratamiento T_2 produjo la mayor acumulación de azufre en las hojas, siendo significativamente diferente de T_5 y éste a su vez de T_3 y T_0 .

En plantas de la variedad 'Jamapa' el tratamiento T_2 y el T_6 produjeron la mayor acumulación de azufre en las hojas; y el T_2 y T_5 en las de 'Turrialba-4' alcanzándose en ambas el valor más alto con el tratamiento T_2 , según los Cuadros 10A y 11A del Apéndice.

Sodio

En el Cuadro 13 se agruparon los datos de esta variable cuyo análisis de variancia mostró diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 14).

Los tratamientos T_2 y T_6 produjeron la mayor acumulación de sodio en las hojas y estos resultaron ser significativamente diferentes entre sí (Cuadro 17). Por otro lado, después del testigo el tratamiento T_3 fue el que provocó menos aumento en concentración de este elemento que los tratamientos restantes.

Las plantas de frijol variedad 'Jamapa' bajo los tratamientos T_2 y T_5 acumularon menos sodio en las hojas que las de 'Turrialba-4', en los tratamientos restantes se observa escasa diferencia entre estas variedades (Cuadros 10A y 11A).

4.5.4 Contenido de azufre y sodio en semillas

Azufre

Los datos del Cuadro 13 indican que hay una tendencia a aumentar

el contenido de azufre en las semillas, con los distintos tratamientos aplicados a las plantas de ambas variedades.

Las plantas de frijol variedad 'Turrialba-4' mostraron, bajo todos los tratamientos, una mayor capacidad de acumulación de este elemento que las de 'Jamapa' (Cuadros 8A y 9A). En esta variedad el contenido de azufre en las semillas aumentó un poco más que el testigo y alcanzaron valores muy semejantes con todos los tratamientos. Lo mismo se puede observar en la variedad 'Turrialba-4' con los tratamientos T_3 , T_4 , T_5 y T_6 .

El análisis de variancia no detectó diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 14).

Sodio

La concentración de este elemento en las semillas aumentó más o menos igual con todos los tratamientos en ambas variedades, excepto con el T_1 , T_4 y T_5 en las semillas de la variedad 'Jamapa', en que los valores son un poco inferiores al testigo (Cuadros 13, 10A y 11A).

El análisis de variancia no mostró diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 15).

4.6 Correlación entre las Variables Estudiadas

En el Cuadro 18 se puede observar que existe una correlación significativa entre los componentes del crecimiento. Solo el peso seco de raíces no fue significativo con el área foliar, peso seco de vainas vacías y peso seco de tallos.

El grado de asociación que presentan las variables del crecimiento con las del rendimiento es significativo, excepto entre el peso seco de raíces y el número de vainas por planta, número de

Guadro 15. Matriz de correlación entre las variables estudiadas en las variedades de frijol común Jamapa y Turrialba-4

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉
X ₂	0,87**																	
X ₃	0,99**	0,89**																
X ₄	0,68ns	0,92**	0,72*															
X ₅	0,97**	0,93**	0,98**	0,81*														
X ₆	0,90**	0,87**	0,92**	0,80*	0,95**													
X ₇	0,62ns	0,77*	0,63ns	0,80*	0,69ns	0,65ns												
X ₈	0,91**	0,92**	0,92**	0,85**	0,96**	0,91**	0,72*											
X ₉	0,93**	0,92**	0,95**	0,83*	0,98**	0,97**	0,70ns	0,98**										
X ₁₀	0,98**	0,86**	0,98**	0,72*	0,98**	0,95**	0,62ns	0,92**	0,96**									
X ₁₁	0,78*	0,57ns	0,80*	0,47ns	0,79*	0,87**	0,27ns	0,73*	0,81**	0,86**								
X ₁₂	-0,39ns	-0,35ns	-0,38ns	-0,02ns	-0,28ns	-0,13ns	-0,13ns	-0,29ns	0,25ns	0,26ns	-0,02ns							
X ₁₃	-0,96**	-0,86**	-0,95**	-0,66ns	-0,92**	-0,79*	-0,73*	-0,87**	-0,86**	-0,91**	-0,60ns	0,48ns						
X ₁₄	-0,95**	-0,86**	-0,94**	-0,69ns	-0,92**	-0,79*	-0,74*	-0,90**	-0,87**	-0,90**	-0,59ns	0,50ns	0,99**					
X ₁₅	-0,92**	-0,74*	-0,92**	-0,62ns	-0,92**	-0,92**	-0,52ns	-0,81**	-0,87**	-0,96**	-0,89**	0,07ns	0,82*	0,79*				
X ₁₆	-0,47ns	-0,35ns	-0,49ns	-0,31ns	-0,49ns	-0,51ns	-0,39ns	-0,63ns	-0,60ns	-0,50ns	-0,55ns	0,24ns	0,43ns	0,51ns	0,36ns			
X ₁₇	-0,95**	-0,89**	-0,95**	-0,75*	-0,94**	-0,85**	-0,77*	-0,95**	-0,93**	-0,92**	-0,65ns	0,42ns	0,96**	0,81*	0,61ns			
X ₁₈	-0,87**	-0,86**	-0,87**	-0,76*	-0,88**	-0,78*	-0,82**	-0,93**	-0,89**	-0,84**	-0,54	-0,44ns	0,92**	0,95**	0,69ns	0,66ns	0,98**	
X ₁₉	-0,83*	-0,84**	-0,86**	-0,77*	-0,89**	-0,89**	-0,67ns	-0,96**	-0,95**	-0,86**	-0,75*	0,32ns	0,77*	0,81*	0,72*	0,78*	0,89**	0,89**

X₁ = No. de vainas/planta
 X₂ = No. de granos/vaina
 X₃ = No. de granos/planta
 X₄ = Peso de 100 granos
 X₅ = Área foliar
 X₆ = Volumen de raíces
 X₇ = Peso seco de raíces
 X₈ = Peso seco de hojas
 X₉ = Peso seco de tallos
 X₁₀ = Peso seco de vainas vacías
 X₁₁ = Área foliar
 X₁₂ = Contenido de azufre en raíz
 X₁₃ = Contenido de azufre en tallo
 X₁₄ = Contenido de azufre en hoja
 X₁₅ = Contenido de azufre en semilla
 X₁₆ = Contenido de sodio en raíz
 X₁₇ = Contenido de sodio en tallo
 X₁₈ = Contenido de sodio en hoja
 X₁₉ = Contenido de sodio en semilla

* Diferencia significativa al 0,05
 ** Diferencia significativa al 0,01
 ns Sin diferencia significativa

semillas por planta y rendimiento por planta; el área foliar resultó también no significativo con el número de semillas por vaina y peso de 100 semillas.

La correlación encontrada entre las variables del crecimiento y contenido de azufre y sodio en las plantas fue negativa y significativa. Los componentes que se salen de esta afirmación son: el contenido de azufre y sodio que no mostraron significancia con todas las variables del crecimiento, además el peso seco de raíces con el contenido de azufre y sodio en semilla y el área foliar con las variables del contenido de azufre en el tallo y hoja y del contenido de sodio en el tallo.

La correlación entre sí de las variables del rendimiento fue significativa, excepto entre el número de vainas por planta y el peso de 100 semillas. El grado de asociación entre los componentes del rendimiento y el contenido de azufre y sodio en las plantas fue negativo y significativo con excepción del peso de 100 semillas con respecto al contenido de azufre en tallo y hoja y contenido de sodio en la semilla.

La correlación entre sí de los contenidos de azufre y sodio en las plantas fue positiva y significativa en la mayoría de los casos; el contenido de azufre en la raíz no presentó correlación significativa con el resto de variables.

Entre el contenido de sodio en tallo, hoja y semilla no hubo correlación significativa con el contenido de sodio en la raíz. El contenido de azufre en la semilla y de sodio en la raíz no mostraron significancia con el contenido de sodio en la hoja.

5. DISCUSION

En términos generales, este trabajo mostró que las plantas de frijol se afectaron negativamente en su crecimiento vegetativo y rendimiento al someterse a tensiones hídricas. La magnitud del efecto estuvo en función de la tensión osmótica a que se mantuvieron sus raíces y la época y manera en que se aplicó, concordando estas observaciones con los resultados obtenidos previamente por Malagamba (33), Loayza (31), Meiri y Poljakoff-Mayber (35) y Janes (21).

En las condiciones en que se realizó este experimento, las determinaciones de Turgencia Relativa no tuvieron la suficiente sensibilidad para servir de indicatoras de la tensión osmótica del ambiente radical que se aplicó en los diferentes tratamientos, o del grado de tensión hídrica que debió existir como consecuencia, en el interior de las plantas de frijol de las variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4'.

En lo relacionado a la Turgencia Relativa, era de esperarse que las plantas testigo tuvieran valores significativamente más altos que el de las plantas tratadas. Esto se pudo notar en magnitud no significativa en las plantas de la variedad 'Turrialba-4' pero no en el caso de la variedad 'Jamapa'. Las hojas del frijol son muy delgadas y el peso seco de los discos que se extraen de ellas es muy bajo siendo consecuentemente muy afectado por pequeñas variaciones en humedad, presencia de polvo en el aire, etc. Esta pudo haber sido la causa de la baja sensibilidad de este método analítico en relación con las variaciones en tensión hídrica, por lo que no se pudieron obtener los resultados favorables que con

otras plantas han obtenido Barrs y Weatherley (3), Cabrera (7), Janes (21), Meiri y Poljakoff-Mayber (35) y Weatherley y Slatyer (48).

En el caso de la Conductividad Eléctrica expresada como bares de tensión osmótica se notó una tendencia a aumentar sus valores las hojas de plantas de ambas variedades bajo los diferentes tratamientos, en comparación con el testigo. Estos valores de CE, en las plantas de la variedad 'Turrialba-4' fueron un poco superiores a las de 'Jamapa' debido quizás a la mayor capacidad de acumulación de S y Na que mostraron aquellas.

Los datos del efecto de los tratamientos sobre las plantas de ambas variedades mostraron que las de la 'Jamapa' toleran mejor el efecto de la sequía y en ningún caso se apreciaron síntomas visibles de toxicidad de sales en el follaje.

Un aumento en CE producido por una alza en el contenido de sales del extracto de las hojas no significa que necesariamente se tendrá una mayor resistencia a la sequía ya que ésta también depende de la concentración de carbohidratos solubles que contenga dicho extracto.

Al aumentarse el contenido de sales en los tejidos como ocurrió en las plantas de la variedad 'Turrialba-4', podría producirse toxicidad oculta que, aunque no se apreciara visualmente, podría afectar el metabolismo de las plantas reduciendo su resistencia a factores adversos como la falta de agua. Estos resultados obtenidos no coinciden con los obtenidos por Shimshi y Levine (42) y Greathouse (15) en otras plantas.

En general, una tensión osmótica constante de 2,4 y 4,1 bares trajo como consecuencia una reducción promedio en rendimiento de

42,8 y 72,1 por ciento, respectivamente, para las variedades 'Jama-pa' y 'Turrialba-4'. Esto se debió probablemente a que las plantas no tuvieron oportunidad de tener un período de recuperación durante su ciclo vegetativo, ya que se sabe, que cuando se presenta sequía antes de la época de máxima formación y desarrollo de frutos (40 a 55 días de edad) las plantas tienen la capacidad de recuperarse (33).

En el presente trabajo se encontró que el tratamiento T_4 fue el que menos afectó a las plantas en sus diferentes componentes, el cual consistió en aplicar a la solución nutritiva 4,1 bares entre los 51 a 66 días de edad de las plantas, coincidiendo este resultado con el de Malagamba (33) el cual informa que hay un período crítico en la edad del frijol en que el efecto de escasez de agua es muy severo coincidiendo éste con los 40 a 55 días de edad y que después de este período cualquier déficit hídrico temporal que sufra la planta es capaz de compensarlo. La edad en que se aplicó el tratamiento T_4 incluyó solamente los últimos cuatro días del período crítico mencionado.

La acción reductora que sufrieron las plantas por efectos de sequía en las variables estudiadas, fue menor con el tratamiento intermitente (T_5) que con el constante de 4,1 bares (T_2), debiéndose esto a que las plantas tuvieron, en el primer caso, períodos de recuperación en los que la planta retornó a la tensión hídrica normal. Estas observaciones concuerdan con las de Meiri y Poljakoff-Mayber (36), quienes encontraron que los efectos restrictivos de la falta de agua son menores con ciclos intermitentes de sequía que con sequía constante.

El efecto perjudicial de los tratamientos sobre el rendimiento es resultado de la falta de agua sobre todos los procesos bioquímicos necesarios para el crecimiento y diferenciación de las células de los tejidos de las plantas. Este efecto fue más notable con los tratamientos de tensión osmótica constante, ya que la condición de escasez de agua estaba presente en la etapa de floración, trayendo como consecuencia un desbalance hídrico y nutricional de las plantas que conduce al aborto de óvulos y caída de flores y por lo tanto reducción del rendimiento. Estos efectos de la tensión hídrica sobre la floración fueron también observados por Tatum y Kehr (46), Williams (49) y Kattan y Flemming (23).

En todos los tratamientos aplicados, la sequía redujo el crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas, concordando ésto con los resultados obtenidos por Malagamba (33), Loayza (31), Janes (22), Brouwer (6), Lagerwerff y Eagle (26) y Meiri y Poljakoff-Mayber (36).

El volumen de raíces se redujo significativamente con la mayoría de los tratamientos aplicados siendo el T_2 y T_1 los de mayor efecto; este resultado concuerda con los obtenidos por Magistad et al. (32) y Loayza (31). La no significancia por efecto de tratamientos, en el peso seco de raíces quizás se deba al comportamiento individual que presenta este órgano del resto de la planta según lo afirmado por Malagamba (33).

El desarrollo de las hojas se redujo más en las plantas que estuvieron bajo condiciones de sequía constante. La reducción del área foliar encontrada en las dos variedades de frijol utilizadas estuvo en función de la época, manera de aplicación y grado de tensión osmótica presente en la solución nutritiva. Lagerwerff y Eagle

(26) y Janes (22) también encontraron que a diferentes niveles de tensión osmótica del substrato se presenta una reducción proporcional del área foliar, tasa de transpiración y volumen de agua absorbido por las plantas.

El menor efecto reductor del tratamiento T_4 , sobre el rendimiento y el resto de variables estudiadas coincide con los resultados obtenidos por Malagamba (33) el cual encontró que la menor intensidad del efecto de la sequía inducida al final del ciclo de vida sobre el rendimiento, se debe probablemente a que la planta ya pasó el período de floración y fructificación y además su crecimiento está próximo a finalizar.

El efecto de tensiones hídricas sobre el crecimiento y desarrollo de los tallos se evaluó con base en el peso seco sin encontrar significancia entre el testigo y tratamiento T_4 , pero sí entre estos dos y el tratamiento T_2 . El mayor efecto reductor de este último tratamiento sobre los otros se debe principalmente a la tensión osmótica constante de 4,1 bares que estuvo por lo tanto presente entre los 30 y 40 días de edad de las plantas, considerada ésta como crítica en la producción de peso seco de tallos de acuerdo con los resultados de Malagamba (33).

Plaut y Ordin (40) opinan que la acción reductora del desarrollo de los tallos por efecto de sequía se debe a una disminución del potencial reproductivo y alargamiento celular a pesar de no detenerse la mitosis. Los resultados de este trabajo concuerdan con los de estos autores ya que el tamaño de las plantas al final del ciclo vegetativo fue bastante menor.

En lo que respecta a los contenidos de azufre y sodio en los órganos de las plantas, hay una relación directa entre la acumulación

y el tratamiento aplicado. En los datos observados se advierte que las plantas de frijol tienen la capacidad intrínseca de trasladar y movilizar los iones $\text{SO}_4^{=}$ y Na^+ para lograr ajustes osmóticos internos favorables a través de procesos homeostáticos lo cual también fue comprobado por Bernstein (4, 5) y Lagerwerff y Eagle (26).

Así, se encontró que las plantas de la variedad 'Jamapa' acumularon menos azufre y sodio en sus órganos que las de 'Turrialba-4'. Esto podría ser en parte la causa del menor efecto que tuvieron los tratamientos sobre aquella variedad en casi todas las variables estudiadas.

Es de suponerse que los resultados observados en este trabajo y atribuidos a déficits de agua estén también en alguna forma afectados por la alta concentración de azufre y sodio en los órganos de las plantas. Esta opinión no concuerda con la emitida por Neiri y Poljakoff-Mayber (36) y Magistad et al. (32) los cuales dicen que las plantas de frijol son insensibles al sodio en la solución y que los resultados obtenidos en sus trabajos sobre salinidad son por efecto de la tensión osmótica y no por toxicidad específica del sodio.

6. CONCLUSIONES

- 1- En casi todas las características que se estudiaron las plantas de frijol de la variedad 'Turrialba-4' se afectaron más por los tratamientos que las de la variedad 'Jamapa'. Como esta diferencia fue muy notable, especialmente en los rendimientos, se comprobó que las plantas de la variedad 'Jamapa', son bastante más tolerantes a condiciones de sequía que las de la variedad 'Turrialba-4'.
- 2- En las condiciones de este trabajo de investigación, el método de Turgencia Relativa no tuvo suficiente sensibilidad para detectar diferencias en resistencia a sequía entre las plantas de las variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4'.
- 3- El método de Conductividad Eléctrica detectó diferencias en tensión hídrica del ambiente radical dentro de cada una de las variedades de frijol estudiadas, pero no sirvió para estimar el mayor grado de tolerancia a sequía de una variedad sobre la otra.
- 4- Los tratamientos consistentes en tensión osmótica constante de 2,4 y 4,1 bares (tratamientos T_1 y T_2), y el de elevación temporal de la tensión osmótica de 0,7 a 4,1 bares durante los 36 a 51 días, de vida de las plantas (tratamiento T_3) podrían emplearse, además del de CE, como método para evaluar la característica de resistencia a sequía de variedades de frijol.
- 5- La falta de correlación entre el peso seco de las raíces y su volumen hace suponer que bajo el efecto de los tratamientos de tensión osmótica las raíces variaron su volumen sin que necesariamente hayan cambiado su peso seco.

- 6- A pesar de que las raíces de las plantas tratadas estuvieron en contacto directo con las soluciones nutritivas con alto contenido de azufre y sodio, estos elementos se encontraron en menor cantidad que en las raíces de las plantas testigo.
- 7- En general, en las plantas tratadas se acumuló más sodio que azufre. El primer elemento se acumuló principalmente en los tallos y el segundo en los tallos y hojas.
- 8- Las plantas de la variedad 'Turrialba-4' acumularon más azufre y sodio en sus diferentes órganos que las de la variedad 'Jamaica'.

7. RESUMEN

La evaluación de la resistencia a sequía en el frijol (Phaseolus vulgaris L.) es un aspecto al que se le ha dado escasa atención en el trópico. Por esta razón, se realizó el presente trabajo de investigación que tuvo los siguientes objetivos:

a. Determinar la eficiencia de los métodos de Turgencia Relativa (TR) y la Conductividad Eléctrica (CE) como estimadores de la resistencia a la sequía del frijol, y b. Tratar de relacionar la TR y CE con el grado de tensión hídrica en que se encuentra el sistema radical.

Plantas de variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4' fueron cultivadas bajo condiciones de invernaderos en solución Hoagland No. 2 y sometidas a siete tratamientos de tensión hídrica: tres de 0,7; 2,4 y 4,1 bares mantenidos constantemente durante la vida de las plantas; dos con períodos individuales de incremento de tensión en 15 días hasta 4,1 bares; uno intermitente compuesto de tres períodos individuales de incremento de tensión hasta 4,1 bares y finalmente uno que consistió en un aumento gradual de tensión hasta alcanzar 4,1 bares en 70 días.

Además de determinar la TR y la CE en las plantas sometidas a diversos tratamientos también se estudiaron las siguientes características:

a. Componentes de crecimiento (área foliar, volumen de raíces, peso seco de raíces, peso seco de tallos, peso seco de hojas, peso seco de vainas vacías).

b. Componentes del rendimiento (No. de vainas por planta, No. de semillas por vaina, peso de 100 semillas, peso total de semillas por planta).

c. Contenido de azufre y sodio en: raíz, tallo, hoja y semillas.

De los datos obtenidos se concluyó que el método de TR no fue lo

suficientemente sensible para detectar diferencias en resistencia a sequía entre las plantas de las variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4'. En cambio el método de CE detectó diferencias en tensión hídrica del ambiente radical dentro de cada una de las variedades mencionadas, pero no sirvió para estimar el mayor grado de tolerancia a sequía de una variedad sobre la otra.

En casi todas las características que se estudiaron las plantas de frijol de la variedad 'Turrialba-4' se afectaron más por los tratamientos que las de la variedad 'Jamapa', especialmente en los rendimientos, comprobándose a la vez que las plantas de esta última variedad, son más tolerantes a condiciones de sequía que las de la variedad 'Turrialba-4'.

En general, en las plantas tratadas se acumuló más sodio que azufre. Acumulándose principalmente el primer elemento en los tallos y el segundo en los tallos y hojas.

Las plantas de la variedad 'Turrialba-4' acumularon más azufre y sodio en sus diferentes órganos que las de la variedad 'Jamapa'.

Las plantas testigos (0,7 bares) de ambas variedades dieron un rendimiento muy semejante de aproximadamente 96 g. por planta.

7a. SUMMARY

The evaluation of resistance to drought in beans (Phaseolus vulgaris L.) has received little attention in the tropics. For this reason the present study was carried out with the following objectives:

- a. To determine the efficiency of Relative Turgency (RT) and Electric Conductivity (EC) as estimators of drought resistance in beans, and
- b. To find out if the data of RT and EC can be related to the degree of water stress to which the root systems are subjected.

Bean plants from the varieties 'Jamapa' and 'Turrialba-4' were grown in Hoagland No. 2 nutrient solution and under greenhouse conditions. They were subjected to seven treatments of water stress: three at 0,7; 2,4 and 4,1 bars maintained constant throughout the life of the plants; two with individual periods of 4,1 bars of stress applied during 15 days and at two different plant ages; one intermittent made up of three individual periods of 4,1 bars that were applied at three different plant ages; and finally one which consisted of a gradual increase in stress up to 4,1 bars during 70 days.

After determining the RT and EC in plants submitted to diverse treatments, the following characteristics were studied:

- a. Growth components : leaf area, root volume, dry weight of stems, dry weight of leaves, dry weight of empty pods.
- b. Yield components: number of pods per plant, number of seed per pod, weight of 100 seeds, total seed weight per plant.
- c. Sulphur and sodium content in roots, stems, leaves and seeds.

In almost all the characteristics studied the plants from 'Turrialba-4' were more affected by the treatments than the ones from 'Jamapa'

specially in yield. This fact showed that the plants from 'Jamapa' variety were more tolerant to drought conditions.

From the data obtained it was concluded that the RT method was not sufficiently sensitive to detect differences in resistance to drought in the plants from the tested varieties. On the other hand, the EC method detected differences in water stress of root environment within each of the mentioned varieties, but it was not good in estimating the greater degree of tolerance to drought of one variety over the other.

In general, the treated plants accumulated relatively more sodium than sulphur in comparison with the control plants. The first element was accumulated mainly in the stems and the second in the stems and leaves.

Plants of 'Turrialba-4' variety accumulated more sulphur and sodium in the different organs than 'Jamapa', which seems to be in contradiction with the general concept that a greater salt concentration in the sap corresponds to a greater drought resistance.

The control plants (at 0,7 bars) of both varieties gave an almost similar yield of 96 g. per plant as average.

LITERATURA CITADA

1. ASCENCIO, J. Análisis de crecimiento y eficiencia fotosintética del frijol (Phaseolus vulgaris L. var. 'Turrialba-4') cultivado en solución nutritiva. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 98 p.
2. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 9 ed. Washington, D. C., 1960. 1009 p.
3. BARRS, H. D. y WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. Australian Journal of Biological Science 15:413-428. 1962.
4. BERNSTEIN, L. Osmotic adjustment of plants to saline media. I. Steady state. American Journal of Botany 48(10):909-918. 1961.
5. _____. Osmotic adjustment of plants to saline media. II. Dynamic phase. American Journal of Botany 50(4):360-370. 1963.
6. BROUWER, R. The influence of the suction tension of the nutrient solution on growth, transpiration and DPD of bean leaves. Acta Botanica Neerlandica 12:248-260. 1963.
7. CABRERA, G. F. Algunos aspectos del aumento de la resistencia de las plantas a la sequía. Traducción de tesis para M.S. presentada en la Universidad de Nottingham, Inglaterra; presentada en la Universidad Central de Venezuela para optar al ascenso en escalafón universitario. Maracay, Venezuela, Facultad de Agronomía, 1972. 65 p.
8. CATSKY, J. Water saturation deficit and photosynthetic rate as related to leaf age in the wilting plant. In Slavik, B. ed. Water stress in plants; proceedings of a symposium held in Prague, 1963. Praga, Czechoslovak Academy of Sciences, 1965. pp. 203-209.
9. CLARK, J. A. y LEVITT, J. The basis of drought resistance in the soybean plant. Physiologia Plantarum 9:508-606. 1956.
10. CHAVEZ, L. A. Características morfofisiológicas de las raíces en frijoles (Phaseolus vulgaris y Vigna sinensis). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 81 p.
11. EATON, F. M. Toxicity and accumulation of chloride and sulfate salts in plants. Journal of Agricultural Research 64(7): 357-399. 1964.
12. FILIPPOV, L. A. The refractometric method of diagnosing water deficit in plants. In Slavik, B. ed. Water stress in plants; proceedings of a symposium held in Prague, 1963. Praga, Czechoslovak Academy of Sciences, 1965. pp. 136-144.

13. GAUCH, H. G. y WADLEIGH, C. H. Effects of high salt concentrations on growth of bean plants. *Botanical Gazette* 105(3): 379-387. 1944.
14. _____. Effect of high concentrations of sodium, calcium, chloride and sulfate on ionic absorption by bean plants. *Soil Science* 59:139-153. 1954.
15. GREATHOUSE, G. A. Conductivity measurements of plant sap. *Plant Physiology* 13:553-569. 1938.
16. HELLMUTH, E. O. Measurement of leaf water deficit with particular reference to the whole leaf method. *Journal of Ecology* 58(2):409-417. 1970.
17. HENKEL, P. A. Drought resistance in plants: methods of recognition and of intensification. In *Plant water relationship in arid and semi-arid conditions*. Proceedings of the Madrid Symposium. Paris, UNESCO, 1961. pp. 167-174.
18. HEWITT, E. J. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. 2 ed. Bucks, England, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1966. 547 p.
19. HOAGLAND, D. R. y ARNON, D. I. Physiological aspects of an availability of nutrients for plant growth. *Soil Science* 51:431-443. 1941.
20. INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA. CENTRO INTERAMERICANO DE DOCUMENTACION E INFORMACION AGRICOLA. Frijol (*Phaseolus* spp.). Ed. acum. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 299 p. (IICA Bibliografía no. 4).
21. JANES, B. E. Adjustment mechanism on plants subjected to varied osmotic pressures of nutrient solution. *Soil Science* 101(3): 180-188. 1966.
22. _____. Effects of extended periods of osmotic stress on water relationships of pepper. *Physiologia Plantarum* 21(2):334-345. 1968.
23. KATTAN, A. A. y FLEMING, J. W. Effect of irrigation at specific stage of development on yield quality and composition of snap beans. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 68:329-342. 1956.
24. KOZLOWSKY, T. T. Introduction. In _____, ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press, 1968. v. 1, pp. 1-21.
25. KRAMER, P. J. Water stress and plant growth. *Agronomy Journal* 55(15):31-35. 1963.

26. LAGERWERFF, J. V. y EAGLE, H. E. Transpiration related to ion uptake by beans from saline substrates. *Soil Science* 93: 420-430. 1962.
27. LEINWEBER, CH. L. Forage plant physiology in the improvement rangelands. In American Society of Agronomy. Forage plant physiology and soil-range relationships. Madison, Wisconsin, 1964. p. 250 (Special publication no. 5).
28. LEVITT, J. A. Frost, drought and heat resistance. *Protosplasmologia* 8(6):87. 1958.
29. _____. A sulfhidril-disulfide hypothesis of frost injury and resistance in plants. *Journal Theoretical Biology* 3: 335-391. 1962.
30. _____. Drought. In American Society of Agronomy. Forage plant physiology and soil-range relationships. Madison, Wisconsin, 1964. pp. 57-66 (Special publication no. 5).
31. LOAYZA TORRES, J. M. Respuesta de tres variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L.) a tres tensiones osmóticas en soluciones nutritivas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 75 p.
32. MAGISTAD, O. C. et al. Effect of salt concentration, kind of salt and climate on plant growth in sand cultures. *Plant Physiology* 18:151-166. 1943
33. MALAGAMBA, J. P. Respuesta de compensación fisiológica del frijol (Phaseolus vulgaris L.) al desbalance de agua provocado por salinidad. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1973. 95 p.
34. MAY, L. H. y MILTHORPE, F. L. Drought resistance of crop plants. *Field Crop Abstracts* 15(3):171-179. 1962.
35. MEIRI, A. y POLJAKOFF-MAYBER, A. Effect of variations in substrate salinity of the water balance and ionic composition of bean leaves. *Israel Journal of Botany* 18(3):99-112. 1969.
36. _____. Effect of various salinity regimes on growth, leaf expansion and transpiration rate of bean plants. *Soil Science* 109(1):26-34. 1970.
37. MILLER, E. C. Comparative study on the root systems and leaf areas of corn and the sorghums. *Journal of Agricultural Research* 6(9):311-312. 1916.
38. NATR, L. Water saturation deficit of intensely photosynthesizing leaf tissue well supplied with water. In Slavik, B. ed. Water stress in plants; proceedings of a symposium held in Prague. Praga, Czechoslovak Academy of Sciences, 1965. pp. 219-221.

39. PARKER, J. Drought resistance mechanisms. In Kozlowsky, T. T., ed. Water deficits and plant growth. New York, Academic Press, 1968. v. 1, pp. 195-234.
40. PAUT, Z. y ORDIN, L. The effect of moisture tension and nitrogen supply on cell wall metabolism of sunflower leaves. *Physiologia Plantarum* 17:279-286. 1964.
41. SERRANO, J. L. Algunas diferencias fisiológicas y morfológicas de especies y variedades del frijol tolerantes a la sequía. *Agricultural Técnica en México* 2:161-164. 1963.
42. SHIMSHI, D. y LEVINE, A. The estimation of the osmotic potential of plant sap by refractometry and conductimetry: A field method. *Annals of Botany* 31(123):505-511. 1967.
43. SLATYER, R. O. The measurement of diffusion pressure deficit in plants by a method of vapor equilibration. *Australian Journal of Biological Science* 11:349-365. 1958.
44. SOTOMAYOR RIVERA, J. S. Respuesta de dos cultivares de frijol (Phaseolus vulgaris L.) a varios niveles de N y P en soluciones nutritivas. Tesis M.S. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 81 p.
45. STADELMANN, E. J. Protoplasmic resistance of plants to drought. In *Physiological limitations on crop production under temperature and moisture stress*. Washington, D. C., National Academy of Sciences, 1969. pp. 11.
46. TATUM, L. A. y KEHR, W. R. Observations on factors affecting seed-set with inbred strains of dent corn. *Agronomy Journal* 43:270-279. 1951.
47. UNGER, P. W. y DANIELSON, R. E. Water relations and growth of beans (Phaseolus vulgaris L.) as influenced by nutrient solution temperatures. *Agronomy Journal* 59:143-146. 1967.
48. WEATHERLEY, P. E. y SLATYER, R. O. Relationship between relative turgidity and diffusion pressure deficit in leaves. *Nature* 179:1085-1086. 1957.
49. WILLIAMS, D. F. Influence of soil moisture level on flower abscission ovule abortion and seed development in the snap bean (Phaseolus vulgaris L.). Thesis Ph.D. Madison, University of Wisconsin, 1962. 64 p.

APENDICE

Cuadro 1A. Valores observados de TR* (%) a diferentes edades y tratamientos en plantas de frijol (variedad 'Jamapa')

Trata- miento	Edad en días			Promedio de muestras
	29	51	66	
T ₀	63,5	97,1	92,0	84,2
	-	96,3	92,0	94,1
	97,0	99,4	92,4	96,2
	68,4	98,0	92,4	86,2
	76,3	97,7	92,2	90,2
T ₁	-	95,5	76,0	85,7
	-	92,0	95,0	93,5
	-	93,0	93,3	88,6
	79,5	93,0	93,3	88,6
	-	93,0	94,6	93,8
	79,5	93,4	89,7	90,4
T ₂	-	71,5	-	71,5
	91,0	88,0	89,2	89,4
	88,6	93,0	-	90,8
	-	93,2	95,0	94,1
	89,8	86,4	92,1	86,4
T ₃	-	94,4	-	94,4
	74,0	97,2	96,6	89,2
	-	90,6	83,5	87,0
	-	95,3	95,2	95,2
	74,0	94,4	91,8	91,5
T ₄	-	95,2	94,2	94,7
	63,5	76,4	90,5	76,8
	-	-	80,0	80,0
	-	98,1	91,4	94,7
	63,5	89,9	89,0	86,5
T ₅	-	93,6	95,0	94,3
	-	92,4	90,6	91,5
	-	95,0	-	95,0
	61,1	91,2	89,4	80,6
	61,1	93,0	91,6	90,3
T ₆	97,4	96,3	92,1	95,3
	97,4	98,3	90,0	95,2
	96,0	96,1	-	96,1
	96,1	99,1	90,0	95,1
	96,7	97,4	90,7	95,4

* TR = turgencia relativa o contenido relativo de agua.

Cuadro 2A. Valores observados de TR* (%) a diferentes edades y tratamientos en plantas de frijol (variedad 'Turrialba-4').

Tratamiento	Edad en días			Promedio de muestreos
	29	51	66	
T ₀	98,0	-	95,4	96,7
	96,3	96,7	93,0	95,3
	77,3	96,2	92,0	88,5
	-	97,7	95,3	96,5
	90,5	96,8	93,9	94,2
T ₁	-	94,0	-	94,0
	-	97,3	93,6	95,4
	72,6	96,2	92,0	86,9
	82,5	93,0	93,6	89,7
	77,5	95,1	93,1	91,5
T ₂	86,2	94,1	92,0	90,7
	-	88,4	85,4	86,9
	86,5	88,4	87,4	87,4
	-	94,3	95,5	94,9
	86,3	91,3	90,1	89,9
T ₃	98,0	94,0	90,3	94,1
	92,7	95,0	92,0	93,2
	97,2	94,2	94,2	95,2
	-	84,5	95,1	89,8
	96,0	91,9	92,9	93,1
T ₄	-	97,0	93,0	95,0
	79,7	95,0	93,5	89,4
	96,7	88,0	91,2	92,0
	98,9	96,6	91,3	95,6
	91,7	94,1	92,2	92,9
T ₅	98,5	69,0	-	83,7
	97,1	94,1	80,2	90,4
	99,7	95,5	88,6	94,6
	95,4	95,0	90,4	93,6
	97,7	88,4	86,4	90,6
T ₆	83,8	96,2	94,3	91,4
	81,0	94,4	94,0	89,9
	-	89,3	87,1	88,2
	-	90,2	93,0	91,6
	82,4	92,5	92,1	90,2

* TR = turgencia relativa o contenido relativo de agua.

Cuadro 3A. Valores de CE* expresada en bares, determinadas en diferentes tratamientos y edades en plantas de frijol (variedad 'Jamapa')

Trata- miento	Edad en días			Promedio de muestras
	29	51	66	
T ₀	10,0	10,0	9,8	9,9
	12,1	8,6	9,0	9,9
	11,0	11,0	9,6	10,5
	9,5	9,7	10,5	9,9
	10,6	9,8	9,7	10,0
T ₁	11,5	6,3	18,7	12,2
	12,0	10,8	10,5	11,1
	11,1	10,0	10,3	10,5
	12,2	10,0	10,8	11,0
	11,7	9,3	12,6	11,2
T ₂	12,7	17,9	-	15,3
	12,5	13,4	12,6	12,8
	10,0	12,1	-	11,2
	14,0	13,0	13,0	13,0
	12,3	14,1	12,8	13,1
T ₃	11,5	11,5	9,6	10,9
	11,0	13,6	12,7	12,4
	12,0	11,2	9,1	10,8
	11,0	12,0	9,4	10,8
	11,4	12,1	10,2	11,2
T ₄	9,7	7,5	12,6	9,9
	10,1	12,0	12,2	11,4
	11,7	7,6	15,2	11,5
	11,5	10,5	17,6	13,2
	10,7	9,4	14,4	11,5
T ₅	11,9	11,5	11,5	11,6
	11,9	7,3	14,1	11,1
	11,5	10,0	-	10,8
	11,5	10,5	16,0	12,5
	11,6	9,8	13,8	11,5
T ₆	11,0	11,6	12,2	11,6
	11,0	10,0	11,2	10,7
	11,0	10,0	-	10,5
	11,5	-	12,0	11,7
	11,1	10,5	11,8	11,1

*CE = conductividad eléctrica

Cuadro 4A. Valores de CE* expresada en bares, determinados en diferentes tratamientos y edades en plantas de frijol (variedad 'Turrialba-4')

Trata- mientos	Edad en días			Promedios de muestreos
	29	51	66	
T ₀	11,6	10,0	9,0	10,2
	12,0	10,7	9,3	10,7
	12,6	10,6	11,0	11,4
	11,4	7,2	9,4	9,3
	11,9	9,6	9,7	10,4
T ₁	9,7	12,2	-	11,0
	12,2	10,4	13,1	11,9
	12,7	13,7	13,0	13,3
	11,1	11,5	20,4	14,3
	11,4	11,9	15,5	12,6
T ₂	13,0	12,0	12,6	12,5
	13,0	15,0	14,0	14,0
	13,7	11,7	16,2	13,9
	12,7	12,1	14,1	13,0
	13,1	12,7	14,2	13,3
T ₃	10,6	10,1	12,7	11,1
	11,0	14,4	11,6	12,3
	12,2	12,0	13,0	12,4
	10,8	11,7	12,0	11,5
	11,1	12,0	12,0	11,8
T ₄	12,3	10,4	12,0	11,6
	11,2	10,0	22,3	14,5
	12,3	11,5	12,2	12,0
	11,9	10,0	11,5	11,1
	11,9	10,5	14,3	12,3
T ₅	12,0	22,0	-	17,0
	12,0	11,6	13,8	12,5
	12,0	11,3	15,1	12,8
	11,2	11,5	16,6	13,4
	11,8	14,1	15,1	13,9
T ₆	10,1	10,4	12,0	10,8
	10,8	11,2	11,4	11,1
	12,9	11,1	12,2	12,1
	11,6	11,0	11,5	11,4
	11,3	10,9	11,8	11,3

* CE = conductividad eléctrica

Cuadro 5A. Efectos de los tratamientos en por ciento relativo, sobre las variables anotadas en el frijol (variedades 'Jamapa' y 'Turrialba-4')

Variables	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Volumen de raíces (ml)	100	49	41	63	93	50	59
Peso seco raíces (g)	100	107	26	71	88	45	58
Peso seco hojas (g)	100	50	16	83	83	38	50
Peso seco tallos (g)	100	49	22	75	39	44	53
Peso seco vainas vacías (g)	100	54	31	75	86	64	69
Peso semilla/planta	100	57	28	78	89	56	69
No. vainas/planta	100	65	58	86	81	74	78
No. semillas/vaina	100	94	84	98	101	87	95
Peso 100 semillas (g)	100	97	81	93	97	76	91

Cuadro 6A. Efectos de los tratamientos en por ciento relativo sobre las variables anotadas en el frijol (variedad 'Jamapa')

Variables	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Volumen de raíces (ml)	100	53	35	72	90	67	58
Peso seco raíces (g)	100	62	31	86	82	60	59
Peso seco hojas (g)	100	62	20	96	72	49	47
Peso seco tallos (g)	100	58	25	90	84	52	55
Peso seco vainas vacías (g)	100	71	36	83	103	86	78
No. vainas/planta	100	82	42	92	108	101	85
No. semillas/vaina	100	89	79	96	99	92	93
Peso 100 semillas (g)	100	94	79	92	90	77	83
Peso semillas/planta (g)	100	69	30	80	96	80	66

Cuadro 7A. Efectos de los tratamientos en por ciento relativo sobre las variables anotadas en el frijol (variedad 'Turrialba-4')

Variables	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Volumen de raíces (ml)	100	46	27	54	97	33	60
Peso seco raíces (g)	100	43	21	55	94	40	56
Peso seco hojas (g)	100	39	13	71	93	27	52
Peso seco tallos (g)	100	39	19	61	95	37	51
Peso seco vainas vacías (g)	100	40	28	68	73	46	62
No. vainas/planta	100	40	28	68	73	46	62
No. semillas/vaina	100	99	88	100	100	82	98
Peso 100 semillas (g)	100	89	83	94	104	75	99
Peso semillas/planta (g)	100	45	26	76	81	41	72

Cuadro 8A. Datos promedios del contenido de azufre en por ciento, en varios órganos de plantas de frijol var. 'Jamapa'

Organos	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Raíz	1,12	0,78	1,12	0,63	0,43	0,70	0,79
Tallo	0,18	0,85	1,98	0,43	0,57	0,87	0,75
Hoja	0,11	0,81	2,00	0,32	0,60	0,62	0,99
Semilla	0,10	0,15	0,14	0,15	0,11	0,14	0,14
Total	1,51	2,59	5,24	1,53	1,71	2,33	2,67

Cuadro 9A. Datos promedios del contenido de azufre en por ciento, en varios órganos de plantas de frijol var. 'Turrialba-4'

Organos	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Raíz'	0,78	0,76	0,85	0,37	0,79	0,58	0,79
Tallo	0,16	0,90	2,90	0,43	0,40	0,90	0,85
Hoja	0,06	0,82	2,80	0,15	0,35	1,22	0,81
Semilla	0,06	0,19	0,26	0,15	0,12	0,14	0,12
Total	1,06	2,67	6,81	1,10	1,66	2,84	2,57

Cuadro 10A. Datos promedios del contenido de sodio en por ciento, en varios órganos de plantas de frijol var. 'Jamapa'

Organos	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Raíz	0,30	1,90	1,30	0,44	0,42	1,00	1,70
Tallo	0,14	2,00	3,97	0,66	1,10	1,90	2,50
Hoja	0,13	0,70	1,57	0,18	0,55	0,74	1,30
Semilla	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,09
Total	0,65	4,68	6,91	1,35	2,14	3,71	5,59

Cuadro 11A. Datos promedios del contenido de sodio en por ciento, en varios órganos de plantas de frijol var. 'Turrialba-4'

Organos	T r a t a m i e n t o s						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Raíz	0,16	1,87	1,01	0,25	0,94	0,60	2,20
Tallo	0,09	1,60	4,74	0,71	0,77	2,40	1,90
Hoja	0,13	0,65	2,40	0,26	0,48	1,50	1,10
Semilla	0,06	0,08	0,09	0,07	0,07	0,10	0,08
Total	0,44	4,20	8,24	1,29	2,26	4,60	5,28

Cuadro 12A. Datos promedios del contenido de azufre en por ciento relativo en varios órganos de plantas de frijol var. 'Jamapa'

Organos	T r a t a m i e n t o						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Raíz	100	69	100	56	38	62	70
Tallo	100	472	1100	239	316	483	416
Hoja	100	736	1818	291	545	563	900
Semilla	100	150	140	150	110	140	140
Total	400	1427	3158	736	1009	1248	1526

Cuadro 13A. Datos promedios del contenido de azufre en por ciento relativo en varios órganos de plantas de frijol var. 'Turrialba-4'

Organos	T r a t a m i e n t o						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Raíz	100	97	109	47	101	74	101
Tallo	100	562	1812	269	250	1818	531
Hoja	100	1366	4666	250	583	2033	1350
Semilla	100	316	433	250	200	233	200
Total	400	2341	7020	816	1134	4158	2182

Cuadro 14A. Datos promedios del contenido de sodio en por ciento relativo en varios órganos de plantas de frijol var. 'Jamapa'

Organos	T r a t a m i e n t o						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Raíz	100	633	433	146	140	333	566
Tallo	100	1428	2836	471	786	1357	1786
Hoja	100	538	1207	138	423	569	1000
Semilla	100	108	110	93	87	92	117
Total	400	2707	4586	848	1435	2351	3469

Cuadro 15A. Datos promedios del contenido de sodio en por ciento relativo en varios órganos de plantas de frijol var. 'Turrialba-4'

Organos	T r a t a m i e n t o						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Raíz	100	1169	631	156	587	375	1375
Tallo	100	1778	5266	789	855	2666	2111
Hoja	100	500	1846	200	369	1154	846
Semilla	100	140	158	120	123	165	140
Total	400	1987	7901	1265	1934	4360	4472