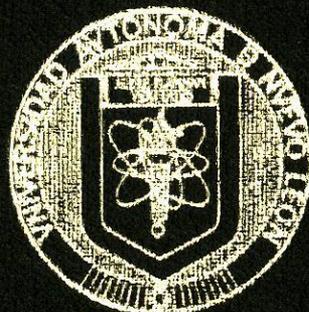


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



ESTUDIO RADICAL EN TRES GENOTIPOS DE  
FRIJOL EN LAS ETAPAS FENOLOGICAS DE  
PREFLORACION, FLORACION Y POSTFLORACION,  
BAJO EL ESQUEMA DE RIEGO-SEQUIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTAN:

JUAN CARLOS GONZALEZ GODOY,  
ARMANDO MIGUEL GARCIA RENDON

MARIN, N. L.

ENERO DE 1987.

T

SB327

G651

c.1



1080060626

20391  
1221

Este trabajo fue realizado dentro del Programa de Mejoramiento de la U.A.N.L., bajo la dirección del Comité Especial indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**ESTUDIO RADICAL EN TRES GENOTIPOS DE  
FRIJOL EN LAS ETAPAS FENOLOGICAS DE  
PREFLORACION, FLORACION Y POSTFLORACION,  
BAJO EL ESQUEMA DE RIEGO-SEQUIA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA**

**PRESENTAN:**

**JUAN CARLOS GONZALEZ GODOY  
ARMANDO MIGUEL GARCIA RENDON**

**MARIN, N. L.**

**ENERO DE 1987.**

0071250

T  
SB 327  
G651

040.635  
FA3  
1987  
C.5



Biblioteca Central  
Magna Solidaridad

F. tesis



UANL  
FONDO  
TESIS LICENCIATURA

Esta tesis fué realizada dentro del Proyecto de Mejoramiento de Maíz, Frijol y Sorgo de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

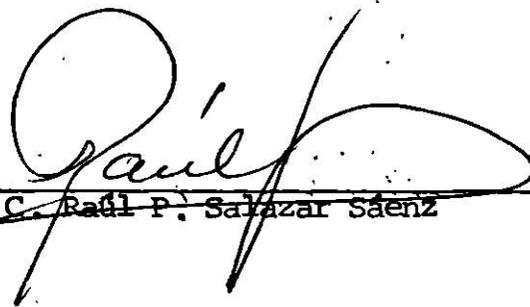
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA



Ing. M.C. Mauro Rodríguez Cabrera



Ing. M.C. Nahúm Espinoza Moreno



Ing. M.C. Raúl P. Salazar Sáenz

## EL SEMBRADOR SALIA A SEMBRAR

Al ir sembrando la semilla, una parte cayó a lo largo del camino; vinieron los pájaros y se la comieron. Otra parte cayó entre las piedras, donde no había mucha tierra, y brotó en seguida por no estar muy honda la tierra; pero cuando salió el sol, la quemó y, como no tenía raíz, se secó. Otra parte cayó entre espinos; éstos al crecer la ahogaron, de manera que no dio fruto. El resto cayó en tierra buena; la semilla creció, se desarrolló y dio fruto; unas produjeron treinta granos por semilla; otras sesenta, y otras cien.

MARCOS 4, 1-8

## DEDICATORIAS

### A DIOS

Viviré siempre dandote gracias Señor por haberme permitido la culminación de mis estudios, sobre todo en aquellas ocasiones que me encontraba en situaciones difíciles y que mediante tu divina gracia me alentaste a seguir adelante, venciendo todos los obstáculos que se me presentaban. Así y siempre sea llevado por el camino del bien ayudado por tu inmensa misericordia,

### A MI MADRE

A esa gran mujer que siempre me espera en casa con amor. A la que con sus cuidados, cariño, dedicación, esfuerzos, desvelos y consejos, hizo de mí un hombre de bien y profesional responsable para servir a mi País.

Sra. Juana Godoy de González

### A MI PADRE

Con el debido respeto que se merece.

Sr. Marcelino González Rivera

### A MI HERMANO

Quien contribuyó notablemente en mi formación profesional, por su valiosa ayuda económica y gran apoyo moral.

C.P. Héctor González Godoy

DEDICATORIAS

A MIS HERMANOS

María Magdalena

Martha Elena

Bella Elvira

Dalila

José

Nicasio

Miguel Angel

Héctor

Luis Eduardo

A MIS CUÑADAS

María de los Angeles Mar

Soyla Delia Rubio

Eva Sánchez

Consuelo De la Rosa

A MI CUÑADO

Emilio Castillo

A MIS SOBRINOS

Claudia Estela

Karla Viviana

Natyely

César Emilio

Juan José

José Edgar

A TODOS MIS AMIGOS Y PARIENTES MAS CERCANOS.

## DEDICATORIA

### A MIS PADRES

Sr. Miguel García Herrera

Sra. Elda Rendón de García

Que con tanto esfuerzo y  
dedicación me han llevado  
por el sendero de la vida,  
con todo el cariño y grati-  
tud como un tributo a los  
sacrificios que hicieron po-  
sible la culminación de mi  
carrera.

### A MIS HERMANOS

Jorge Agustín

Leticia

Elda Deyanira

Mónica Yerenice

Con todo respeto, por el apoyo  
brindado durante esta etapa tan  
importante de mi carrera.

### A MIS CUÑADOS

Raúl Zertuche García

Juana I. Orozco de García

Que en parte me ayudaron lle-  
gar a la meta.

DEDICATORIA

A MI NOYIA

Srita, Ana María Martínez

Por su colaboración, comprensión y  
paciencia durante la realización  
del presente escrito

A MIS TIOS

Sr. Antonio Sánchez

Sra. Indelia Rendón de Sánchez

Sr. José Rendón Gutiérrez

Sra. Magdalena Rostro de Rendón

Mil gracias.

## A G R A D E C I M I E N T O S

AL ING. M.C. MAURO RODRIGUEZ CABRERA

Por su grandiosa ayuda, paciencia y dedicación, lo cual fué decisivo para la realización total de este trabajo de investigación. Además de brindarnos su gran amistad.

AL ING. M.C. NAHUM ESPINOZA MORENO

Por su acertada y valiosa ayuda para la realización del análisis estadístico y revisión del manuscrito.

AL ING. M.C. RAUL P. SALAZAR SAENZ

Por su participación en la revisión y corrección del escrito, además de sus acertadas sugerencias.

AL PASANTE MARCO A. RIVERA PEREZ

Por las facilidades y apoyo brindado durante la realización del trabajo de campo.

AL SR. EULALIO BENAVIDES

Por su oportuna ayuda al facilitarnos el laboratorio de genética para la toma de datos.

AL SR. DAMASIO MEDINA TRISTAN

Por su amistad y ayuda en la toma de datos y facilitarnos la herramienta necesaria para realizar los muestreos de suelo del experimento.

A LOS PASANTES DANIEL BECERRA GARCIA Y ANTONIO DURON ALONSO

Por su valioso asesoramiento brindado en el manejo de la

computadora y de las acertadas sugerencias para el análisis estadístico.

AL PROYECTO DE MEJORAMIENTO DE MAIZ, FRIJOL Y SORGO.

Por el apoyo brindado para la realización del experimento, especialmente a los encargados del Programa de Frijol y al personal técnico y de campo, el cual puso todo su empeño para llevar hasta el final el experimento.

A la memoria del T.A. Raymundo Montalvo Turruiates, quien me brindo su amistad, trasmitió sus valiosos conocimientos y consejos.

A la secretaria Rosa Elia Pérez, por su magnífica colaboración en la realización mecanográfica del presente escrito.

## A G R A D E C I M I E N T O S

A la Facultad de Agronomía y sus maestros que mucho me dieron y poco es lo que puedo retribuirles.

Al Ing. M.C. César H. Rivera Figueroa, quien me brindó su amistad, transmitió sus valiosos conocimientos y consejos.

A mi gran amigo Ing. Agr. Angel Cervantes Z. por su amistad brindada.

Al pasante Antonio García Esteva, por los años de magnífica convivencia que pasamos juntos, venciendo todos los obstáculos que se interponían a nuestra amistad, la cual persistirá sin importar el tiempo y la distancia.

Al pasante Gustavo García Solís, por su valiosa ayuda brindada durante los cinco años de estancia en Monterrey.

A la familia Garza-Contreras, por su apoyo brindado.

A todos aquellos amigos que contribuyeron a la realización del experimento.

## A G R A D E C I M E N T O S

A mis familiares que con su apoyo y palabras de aliento me permitieron culminar mis estudios.

A los pasantes Gerardo Paez Aguilar y Luis Manuel López Sánchez por su amistad desinteresada que me brindaron en todo momento.

A todos mis compañeros de generación y a las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización del presente trabajo.

## CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE CUADROS.....	v
RESUMEN.....	
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1. Características morfológicas y taxonómicas - de las especies estudiadas.....	4
2.1.1. Taxonomía.....	4
2.1.2. Morfología.....	4
2.1.3. Características taxonómicas y morfoló gicas para el frijol tepari.....	6
2.2. Concepto y tipos de sequía.....	7
2.3. Mecanismo de adaptación a la sequía.....	8
2.4. Efectos de la sequía sobre otros cultivos... 2.4.1. Mecanismos de tolerancia a la sequía.	12
2.5. Factores que afectan el desarrollo y distri- bución de la raíz.....	14
2.5.1. Textura.....	14
2.5.2. Compactación.....	16
2.5.3. Humedad.....	17
2.5.4. Aireación.....	17
2.5.5. Temperatura.....	19
2.5.6. Nutrientes.....	20
2.6. Efecto del déficit hídrico sobre algunos pro cesos fisiológicos.....	21

	Página
2.6.1. Floración.....	21
2.6.2. Crecimiento.....	22
2.6.3. Fotosíntesis.....	23
2.6.4. Transpiración.....	23
2.6.5. Respiración.....	25
2.7. Metodología para el estudio del sistema radical.....	26
2.7.1. Método monolito o de bloques.....	26
2.7.2. Método de perfil.....	26
2.7.3. Método de tablas con clavos.....	27
2.7.4. Método de los cilindros.....	28
2.8. Trabajos realizados en otros cultivos.....	28
3. MATERIALES Y METODOS.....	31
3.1. Localización del experimento.....	31
3.2. Materiales.....	31
3.3. Diseño experimental utilizado.....	32
3.4. Construcción de las macetas.....	32
3.5. Siembra.....	35
3.6. Muestreos.....	35
3.7. Prácticas de cultivo.....	37
3.8. Variables bajo estudio.....	38
3.9. Descripción de las variables.....	39
3.10. Análisis estadístico.....	40
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
4.1. Análisis de varianza para muestreo radical..	42
4.2. Follaje materia seca.....	42
4.3. Raíz materia seca.....	44

	Página
4.4. Altura de planta.....	46
4.5. Longitud de raíz primaria.....	48
4.6. Diámetro de raíz primaria.....	49
4.7. Número de raíces secundarias.....	50
4.8. Longitud de raíz secundaria.....	51
4.9. Análisis de varianza para rendimiento y sus componentes.....	59
4.10. Vainas totales/planta.....	59
4.11. Vainas vanas/planta.....	60
4.12. Vainas normales/planta.....	61
4.13. Semillas abortivas/vaina.....	62
4.14. Rendimiento/planta.....	63
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
5.1. Conclusiones.....	75
5.2. Recomendaciones.....	77
6. BIBLIOGRAFIA.....	78

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1 Lista de tratamientos donde son probados los tres genotipos en prefloración, floración y postfloración, bajo riego-sequía.....	33
2 Principales estadísticos descriptivos de las variables estudiadas, bajo el esquema de riego-sequía para muestreo radical.....	53
3 Resumen de los resultados de análisis de varianza efectuados sobre las variables estudiadas, para el muestreo radical, bajo el esquema riego-sequía	54
4. Presentación y resumen de las medias de efectos simples de humedad, etapa fenológica, genotipo para las variables que resultaron con significancia en los muestreos radicales bajo el esquema de riego-sequía.....	55
5 Presentación y resumen de las medias de efectos de la interacción humedad-etapa fenológica para las variables que resultaron con significancia para los muestreos radicales bajo el esquema de riego-sequía.....	56

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
6	Correlación de las variables bajo estudio, para los muestreos radicales, bajo el esquema de riego-se <u>qu</u> ía.....	57
7	Principales estadísticos descriptivos de las variables estudiadas, bajo el esquema de riego-se <u>qu</u> ía para la evaluación del rendimiento y sus componentes.....	66
8	Resumen de los resultados del análisis de varian <u>za</u> , efectuados sobre las variables estudiadas, bajo el esquema de riego-se <u>qu</u> ía para la evaluación del rendimiento y sus componentes.....	67
9	Presentación y resumen de las medias de tratamientos para la prueba de Tukey de las variables que resultaron con significancia, para la evaluación del rendimiento y sus componentes.....	68
10	Correlación de las variables estudiadas para la evaluación del rendimiento y sus componentes, bajo el esquema de riego-se <u>qu</u> ía.....	69

## LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
11 Comparación de las medias de tratamientos de los valores transformados para las variables que resultaron con significancia a excepción de rendimiento/planta, en tres etapas fenológicas bajo riego-sequia para la evaluación del rendimiento y sus componentes.....	70

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Estructura de una maceta con sus dimensiones, en las cuales fué establecido el experimento de muestreo radical en diferentes etapas fenológicas, bajo riego-sequia para tres genotipos de frijol....	34
2 Distribución de las macetas en el campo, croquis del experimento donde son evaluados tres genotipos de frijol en diferentes etapas fenológicas, bajo riego-sequia.....	36
3 Comparación de la componente del rendimiento vainas normales/planta de los genotipos bajo riego-sequia en diferentes etapas fenológicas contra los testigos bajo riego.....	72
4 Comparación de la componente del rendimiento semillas normales/vaina, de los genotipos bajo sequia en diferentes etapas fenológicas contra los testigos bajo riego.....	73
5 Comparación del rendimiento de grano de los genotipos bajo sequia en diferentes etapas fenológicas contra los testigos bajo riego.....	74

## LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Análisis del suelo realizado en las macetas, don <u>de</u> de fué establecido el experimento a 30, 60 y 90 cm de profundidad.....	58
2	Registro climatológico de temperatura y precipitación para los meses de marzo a julio, período en el cual se estableció el experimento.....	71

## RESUMEN

Uno de los problemas que más afecta a la agricultura en México, básicamente en el Centro y Norte, es la deficiencia de agua en el suelo. Debido a esto, existe la necesidad de realizar investigaciones en cultivos que toleren más la sequía. Por ello se planteó el trabajo, tratando de cumplir el siguiente objetivo; observar el crecimiento radical de tres genotipos de frijol en tres etapas fenológicas bajo riego-sequía, donde fué comparado el crecimiento radical de los genotipos de riego con los de sequía.

Se utilizaron tres genotipos de frijol P. vulgaris L. (LEF-1-RB), -P. acutifolius Gray. 102 y 125- en tres etapas fenológicas -prefloración, floración y postfloración- bajo riego-sequía.

Utilizando un diseño completamente al azar, para distribuir las macetas en el campo, donde fueron necesarias 117, con dimensiones de 1. x 1 x .7 m fueron construídas alrededor de la pila. Posteriormente teniendo ya el cultivo, fué aplicada la sequía a los genotipos en cada etapa fenológica destinada y al final de la etapa eran muestreados, sucediendo lo mismo con los testigos (bajo riego). De igual forma se evaluó rendimiento.

La hipótesis planteada consistió en demostrar, si el cre

cimiento radical del P. acutifolius Gray., es mayor que P. vulgaris L., después de un período de déficit de humedad, por lo que se cree que es un mecanismo de "resistencia" a la sequía en dicho genotipo.

Algunos de los resultados más importantes son mencionados a continuación:

- La altura de planta en los tres genotipos bajo riego, es mayor que en sequía.
- La longitud de la raíz primaria y secundaria es mayor en pre floración bajo sequía que en riego.
- La cantidad de materia seca del follaje, fué mayor bajo riego que bajo sequía para los tres genotipos.
- El genotipo P. acutifolius 102 y 125, presentan una baja cantidad de materia seca de raíz, baja altura de planta, menor número de raíces secundarias y una longitud de raíz secundaria menor, comparado con P. vulgaris.
- El mayor número de semillas normales por vaina se encuentra en los genotipos P. acutifolius 102 y 125, mientras que el más bajo lo tenemos en P. vulgaris.
- El aborto de semillas, regularmente se presenta en el genotipo P. vulgaris en mayor cantidad.

De acuerdo con estos resultados, podemos finalmente ver que bajo sequía, la raíz se desarrollo más que bajo riego. Observamos también que el crecimiento es mayor en P. vulgaris y menor en P. acutifolius, excepto en lo que respecta a longitud de raíz primaria, la cual es superada por P. acutifolius 102

unicamente. Por lo que la hipótesis planteada se cumple en parte.

Al evaluar rendimiento, observamos que P. acutifolius es más eficiente en cuanto a número de vainas vanas/planta, obteniéndose el mayor rendimiento, comparado con P. vulgaris, aun encontrándose los genotipos bajo sequía.

## 1. INTRODUCCION

La agricultura ha sido, en el desarrollo cultural del hombre, una base sólida que le sirvió en la antigüedad para hacer prosperar los centros de civilización. En la era moderna el aumento de la productividad agrícola, se considera fundamental para el crecimiento económico de los pueblos, pues una de las características del desarrollo económico es el incremento sustancial en la demanda de productos agrícolas. Desafortunadamente en el territorio nacional, pocas son las extensiones de tierra que gozan de una precipitación pluvial excelente o buena para la producción de frijol. Martínez (1979) menciona que en México el 63% del territorio nacional lo forman las tierras áridas y semiáridas, donde es de suponerse el temporal es malo.

La mayoría de los agricultores del área cultivada del país tienden a seguir sistemas tradicionales de autoconsumo. Cuatro especies de Phaseolus han venido proporcionando alimento a los pueblos de América, en la actualidad se cultivan en forma extensiva en todo el mundo y siguen constituyendo junto con el maíz el alimento básico de gran parte de América. Un alto porcentaje de nuestra población sigue dependiendo del frijol como una fuente importante de proteínas y carbohidratos contribuyendo aproximadamente hasta un 25% de la ingestión diaria.

Los investigadores de la producción de cultivos de grano insisten cada vez más sobre la importancia de obtener conocimientos de procesos fisiológicos, la genética y otros, para inducir una tolerancia o resistencia a la sequía.

Para que se eleve el nivel de vida económico y social de todos aquellos agricultores que viven únicamente de sus siembras de temporal, es necesario buscar y seleccionar plantas que se adapten a condiciones donde el agua juega un papel limitante y aprender a manejar las plantas para que utilicen todos sus recursos (adaptación) para enfrentarse al medio.

La mayoría de las plantas terrestres han sobrevivido gracias a la evolución de mecanismos que le brindan protección ante la sequía. La presencia de cualquier tipo de adaptación que permita a las plantas enfrentarse a condiciones de aridez es de suma importancia para que tenga un buen desarrollo y rendimiento. De acuerdo a lo anterior y debido a que la sequía es una de las causas que más merma la producción de frijol, se considera de utilidad encontrar un procedimiento que nos permita analizar la eficiencia de algunos aspectos tanto morfológicos como fisiológicos de la planta para sobrevivir y prosperar en zonas áridas y semiáridas donde es frecuente la escasez de agua.

El objetivo que se persigue en este trabajo es observar el crecimiento del sistema radical de los genotipos bajo estudio, considerándose tres etapas fenológicas (prefloración, floración y postfloración) bajo tensión hídrica, comparándolos con testigos los cuales no presentaban tensión hídrica (más del 50% de humedad).

## H I P O T E S I S

El crecimiento de la raíz en P. acutifolius (Gray) es mayor que en P. vulgaris (Linneo), después de un período de déficit de humedad, por lo que se cree que es un mecanismo de "resistencia" a la sequía en dicho genotipo.

## 2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Características morfológicas y taxonómicas de las especies estudiadas,

2.1.1. Taxonomía.- De acuerdo con Burkart (1952) mencionado por Lépiz (1983) el frijol común nominado por Linneo en 1753 como Phaseolus vulgaris pertenece a la siguiente clasificación taxonómica.

Clasificación taxonómica del frijol común Phaseolus vulgaris L.(Burkart, 1952).

Orden.....	Rosales
Familia.....	Léguminoseae
Subfamilia.....	Papilionoideae
Tribu.....	Phaseoleae
Subtribu.....	Phaseolinae
Género.....	<u>Phaseolus</u>
Especie.....	<u>vulgaris</u>

2.1.2. Morfología.- De las numerosas especies de frijol que existen en México, únicamente se han domesticado y cultivado cuatro: Phaseolus vulgaris L., P. coccineus L., P. lunatus L. y P. acutifolius Gray

A continuación se describen las partes principales de una planta de frijol.

- i. Raíz: el sistema radical está formado por la raíz principal que se desarrolla a partir de la radícula del embrión. Sobre esta disposición en forma de corona en la parte alta desarrollan las raíces secundarias, terciarias y otras subdivisiones; los pelos absorbentes, órganos epidérmicos especializados en la absorción de agua y nutrientes, se localizan en las partes jóvenes de las raíces laterales, donde viven en simbiosis con la planta, bacterias del género Rhizobium, fijadoras de Nitrógeno atmosférico. Aunque el sistema radical presenta variación, en general se le considera como fibroso con amplio desarrollo de las raíces secundarias.
- ii. Tallo: el tallo joven es herbáceo y semileñoso al final del ciclo; es una sucesión de nudos y entrenudos donde se insertan las hojas y los diversos complejos axilares. El tallo o eje principal es de mayor diámetro que las ramas laterales, de color verde, rosa o morado, glabro o pubescentes, determinado si termina en inflorescencia o indeterminado si su yema apical es vegetativa. Se inicia en la inserción de las raíces y el primer nudo corresponde al de los cotiledones; esta primera parte del tallo se denomina hipocotilo.
- iii. Hojas: son de dos tipos; simples y compuestas, insertadas a los nudos de tallos y ramas mediante el pecíolo. Los cotiledones constituyen el primer par de hojas. El segundo par de hojas y primeras hojas verdaderas, se desarrollan en el segundo nudo, son simples, opuestas y cordadas (Miranda, 1965; Ospina et al., 1980).

Las hojas presentan variación en cuanto a tamaño, color y pilosidad; esta variación está relacionada con la variedad, posición de la hoja en la planta, edad y condiciones ambientales de luz y humedad.

- iy. Flores: las flores de frijol desarrollan una inflorescencia de racimo, la cual puede ser terminal como sucede con las variedades de hábito determinado o lateral, como las indeterminadas. La inflorescencia consta de pedúnculo, raquis, brácteas y botones florales.
- v. Fruto y semilla: el fruto es el ovario desarrollado en forma de vaina con dos suturas que unen las dos valvas; las semillas se unen a las valvas en forma alterna sobre la sutura placentar (Miranda, 1966). La semilla proviene de un óvulo campilótropo, carece de endospermo y consta de testa, embrión y cotiledones.

2.1.3. Características taxonómicas y morfológicas para el frijol tepari.- La especie P. acutifolius presenta algunas diferencias con respecto a P. vulgaris (Miranda, 1966) en lo que a raíz se refiere, el frijol tepari presenta una mayor longitud del sistema radical, hojas pequeñas lanceoladas y por lo tanto más follaje, un tallo herbáceo de crecimiento indeterminado. Las características de flor, fruto y semilla son similares, presenta flores de color blanco, crema y violeta pálido; al madurar su fruto presenta de 2-7 semillas; su vaina tiene de 4-9 cm de longitud, su semilla es de color blanco, amarillo, café, negro, morado y pintos, presenta cotiledones epigeos al igual que P. vulgaris.

## 2.2. Concepto y tipos de sequía

May y Milthorpe, citados por Kramer (1980) definen a la sequía como un evento ambiental y meteorológico, con ausencia de lluvia por un período de tiempo bastante largo como para causar un agotamiento de la humedad del suelo y daño a las plantas.

Para Muñoz (1981) la sequía la define como una deficiencia ambiental del agua, que es función de dos factores; de la variación del potencial hídrico en el ambiente y de la variación en la duración de tales descensos.

Por otra parte Miller (1983) y Chang (1968) mencionados por Saint-Claire (1981) afirman que cuando la sequía se presenta, debe existir una relación de la atmósfera con el suelo, impidiendo que la planta consiga un abastecimiento suficiente de agua para su buen funcionamiento. La sequía se produce cuando la humedad del suelo se agota hasta alcanzar el punto de marchitez,

May y Milthorpe (1962) citados por Turner (1979) y Saint-Claire (1981) utilizan la palabra sequía como un término meteorológico, esto es un período significativo sin lluvia, y sequía a nivel de campo, puede entenderse también como un período de 15 días o más sin lluvia medible; la duración de este período solo tiene importancia cualitativa.

Meineke, citado por Daubenmire (1982) menciona que "el acontecimiento denominado como sequía se presenta cuando la cantidad de lluvia que cae es mucho menor que la normal lo cual

influye en las plantas adversamente".

Sequía agrícola fue definida por Van Bavel y Verlinden citados por Kramer (1980) como la condición existente en que el agua disponible es insuficiente para un cultivo.

Kramer (1980) señala que en la terminología comunmente usada, sequía es una tensión ambiental de suficiente duración para producir un déficit de agua o tensión en la planta, el cual causa disturbios de los procesos fisiológicos. El término tensión biológica es usualmente descrito como un factor que modifica el funcionamiento normal de un organismo.

Existen varios tipos de sequía según su duración y frecuencia de aparición, éstos pueden ser: i) permanente, como en los desiertos, ii) estacionales, refiriéndose a las áreas con estaciones secas y húmedas bien definidas y iii) impredecibles, como en muchos climas húmedos (Kramer, 1980).

Florescano et al., (1983) señalan que la variabilidad de la precipitación y el riesgo a la sequía tiene una alta correlación con las zonas áridas del país. Haciendo un estudio cronológico de la presencia de las sequías en las diferentes regiones del país, encontraron que en general, las sequías no presentan un patrón de comportamiento definido, pudiendo afectar cualquier parte del país.

### 2.3. Mecanismos de adaptación a la sequía

May y Mithorpe citados por Begg y Turner (1976) definen la "resistencia a la sequía" como la aptitud de las especies para

desarrollarse satisfactoriamente en áreas sometidas a déficit de agua periódicos. Kramer (1980) considera más apropiado el término "tolerancia" en sustitución a resistencia a la sequía, ya que este término describe con mayor precisión la respuesta de la planta a la sequía.

Parker citado por Parsons (1979) señala que existen algunas características de las plantas que imparten resistencia a la sequía, entre estas se encuentran el cambio de ángulo de las hojas y sus movimientos, la mayor longitud del sistema radical o incremento en el índice raíz-vástago, células pequeñas y capacidad de realizar ajustes osmóticos; Gates (1968) establece que bajo condiciones de alto nivel de radiación y restricción de la transpiración por el cierre de los estomas, las hojas pequeñas disipan el calor más eficientemente que las grandes.

Ten Eyck, citado por Parker (1968) dividió las plantas que viven en hábitats secos, en cuatro grupos:

1) Las que escapan a la sequía; 2) las que evaden la sequía, 3) las que presentan un endurecimiento a la sequía y 4) las resistentes a la sequía.

Levitt, citado por Hall et al (1979) distingue dos formas básicas por las cuales las plantas pueden sobrevivir en hábitats secos: a) Escape a la sequía, se refiere a evitar el período de sequía. Muchas plantas del desierto son llamadas efímeras por germinar cuando comienza la estación de lluvias y presentan un período de crecimiento corto confinado por el período estrecho de lluvias. Grieve y Monk, citado por Grime (1982)

señalan que las plantas que cuentan con hojas pequeñas y duras son las que más abundan en hábitats que presentan una estación anual húmeda corta. b] Resistencia a la sequía, es decir, las plantas que no pueden escapar al período de sequía, pueden adaptarse a estas condiciones mediante dos maneras que son: evasión a la tensión y tolerancia a la tensión.

La evasión se basa en mantener el balance de agua favorable, ya sea conservando el agua en la planta o bien siendo más eficiente en la absorción. La tolerancia a la tensión se refiere al hecho de mitigarla manteniendo el potencial de agua alto en la planta, resistiendo a la deshidratación y previniendo el colapso celular; así también, a una alta tolerancia a la tensión sobre el metabolismo y la plasticidad.

#### 2.4. Efecto de la sequía sobre otros cultivos.

Por su parte Medina (1978) estudió la resistencia a sequía en arroz, trigo bajo el esquema riego-sequía, y concluye que en ambos cultivos su rendimiento es abatido por la sequía según la etapa de desarrollo en que se encuentre.

Wong (1979) utilizó el método riego-sequía en el cultivo de sorgo encontrando una disminución del 20% en el rendimiento económico y biológico por efecto de la sequía,

Las raíces interceptan más iones nutrientes cuando crecen en un suelo húmedo que cuando crecen en un suelo seco, debido a que su desarrollo es más extenso. Además Palmer y Troeh (1979) nos mencionan que si hay demasiada agua en el suelo y no se dre

na, las raíces de las plantas pueden morir por falta de oxígeno, si hay muy poca agua el crecimiento de las plantas se retarda hasta cesar, apareciendo el marchitamiento.

Para Tamahane et al (1978) el agua es esencial en el crecimiento de la planta, constituye una parte importante de la propia planta, es esencial en el proceso de fotosíntesis; esta actúa como un solvente y portador de los nutrientes desde el suelo hasta la planta y dentro de ella, mantiene la turgencia de la misma.

De acuerdo con lo anterior Hardy (1970) indica que una relación interesante conecta el espacio radical con el agua disponible de un suelo húmedo. Conforme se seca el suelo por debajo de su capacidad de campo, el movimiento de agua es más lento y llega a cesar casi por completo. Las raíces pueden entonces obtener solo humedad, en la suposición de que las dimensiones de los poros sean lo suficientemente grande para permitir el movimiento de las raíces.

Foth (1975) en sus estudios realizados observó que conforme aumenta la presión de agua, la capacidad de las células para absorber humedad del suelo disminuye. Detectó genotipos que bajo sequía no recuperaron la producción de materia seca al final del ciclo vegetativo y otros que si presentaron esta recuperación; otros fueron inconsistentes y finalmente un grupo que no mostró diferencia.

En otros trabajos como el de Castellano (1979) el déficit de humedad, en la que destaca la sequía intraestival, ocurre

frecuentemente en agosto, causa severos efectos sobre el rendimiento debido a que coincide con las etapas de floración y llenado de grano. En este trabajo realizado en maíz obtuvo que el rendimiento de grano durante la sequía esta íntimamente relacionado con la reducción del número de semillas por mazorca, el área foliar y en menor grado con el peso de mil semillas.

Slatyer (1969) mencionado por Lagarda (1977) en su experimento observa la respuesta del frijol en función de un tratamiento de sequía aplicada al cultivo en tres etapas fenológicas y encontró que el tratamiento de sequía en la etapa de floración se asocia con una reducción en el rendimiento promedio del grano de 4,1 gramos por maceta. La sequía, en llenado de grano, también afecta el rendimiento en 3,1 gramos por maceta. En la etapa vegetativa la sequía no se asocia con diferencias en el rendimiento del grano.

2.4.1. Mecanismo de tolerancia a la sequía.- Kramer (1974) define resistencia a la sequía como la relación de los distintos medios por los cuales las plantas sobreviven a períodos de tensión hídrica ambiental. Parker (1968) citado por Kramer (1974) describió los distintos mecanismos que contribuyen a la resistencia contra la sequía en las plantas, mencionandose a continuación:

a) Tolerancia a la desecación: Existen mecanismos que poseen algunos musgos, líquenes, unos pocos helechos y plantas de semillas, de deshidratar su protoplasma hasta la condición de aire casi seco, es decir con muy poca humedad relativa,

sin llegar a morir.

- b) Aplazamiento o evitación de la desecación: Existen tres tipos: i) Ajuste de la estación de crecimiento; muchas plantas del desierto germinan, crecen y florecen en unas pocas semanas, después de que las lluvias han humedecido el suelo superficial. Tales plantas completan su ciclo vital antes de que se presente una grave tensión hídrica. ii) Sistemas extensos de raíces; una de las defensas más eficaces contra los daños causados por la sequía es un sistema de raíces profundo, muy bifurcado y que se extiende mucho. La combinación de una planta que pueda adentrar muy abajo sus raíces y, suelo favorable a un arraigado profundo, proporcionará probablemente condiciones ventajosas para evitar la sequía. iii) Estomas sensibles que cierran rápidamente al iniciarse la tensión hídrica, combinado con las hojas fuertemente cutinizadas, tienen por resultado un control muy eficaz de la transpiración.
- c) Eficiencia del uso del agua: La eficiencia del uso del agua en términos de unidades de agua utilizada por unidad de materia producida, resulta importante en especial donde hay un abastecimiento limitado. Al parecer el método - - - más prometedor para obtener una eficiencia mayor del uso del agua no consiste en reducir el uso sino en fomentar la producción de materia seca.
- d) Endurecimiento: Las plantas sometidas a un período de tensión hídrica moderada están "endurecidas", por lo que generalmente sobreviven a la sequía con menos daños que plantas

que no hayan padecido tensión previa,

## 2.5. Factores que afectan el desarrollo y distribución de la raíz.

2.5.1. Textura.- Black (1980) menciona que la textura del suelo tiene efectos directos e indirectos sobre el crecimiento de las raíces de las plantas. Un efecto directo bien diferenciado, es la limitación del desarrollo radical que puede suceder en suelos con superficie endurecida, otro efecto es la imposibilidad que tienen las raíces de atravesar capas de suelo compactadas o cementadas,

El efecto indirecto es debido a que las raíces crecen entre las unidades estructurales y no dentro de ellas, su tamaño puede alterar la velocidad de suministro de elementos nutritivos y agua desde las partes interiores hasta las raíces que se encuentran en la superficie de aquellas.

Para Gavande (1979), Buckman y Brady (1977) y Richards (1981) la textura y distribución del suelo están relacionadas con el tamaño de las partículas minerales. Estas propiedades ayudan a determinar la facilidad de retención y abastecimiento de nutrientes, agua y aire tan importantes para la vida de las plantas.

Por su parte Thompson (1966) y Ray (1975) describen que los suelos con textura gruesa, arenosa o con grava y bajos en arcillas tienen baja fertilidad, estos suelos pueden retener

una cantidad de agua relativamente pequeña cuando están saturadas, de modo que después de una lluvia el agua desaparece con rapidez de la zona de las raíces por infiltración, evaporación y absorción de agua por las plantas.

Los suelos arcillosos contienen partículas muy finas lo cual le permiten tener la capacidad de abastecer elementos nutritivos en forma asimilable en su superficie y pueden retener una cantidad de agua mucho mayor. Sin embargo, a medida que un suelo arcilloso se seca, tiende a volverse duro y difícil para que las raíces penetren, desarrollando también una gran resistencia al transporte de agua. Russell (1968) menciona que una planta desarrollándose en suelos con arcilla algo plástica, el sistema radical está confinado a los espacios y grietas entre los terrones y grumos de arcilla y a causa de la compresión que las raíces sufren durante el tiempo húmedo por el cierre de estas grietas, provoca un menor crecimiento de las raíces.

Según Ray (1975) los suelos de migajón son aquellos que están formados por arena y arcilla más una porción sustancial de materia orgánica, esta confiere al suelo una textura ligera y esponjosa que favorece la penetración de cantidades considerables de agua por encima del punto de marchitez.

Richards (1981) describe los suelos de textura gruesa como bajos en capacidad de retención de agua y una elevada permeabilidad, mientras que un suelo de textura fina tiene una elevada capacidad de retención de humedad pero una menor permeabilidad.

2.5.2. Compactación.~ En las observaciones de campo realizadas por Baver (1973) encontró que las raíces de muchas especies de plantas rastreadas hasta determinado estrato cambiaron de dirección por la compactación del suelo y con esto concluyó que la densidad de este tiene un papel importante en la penetración de raíces.

En tanto que Veihmayer y Hendrikson (1946) demostrarón que si los suelos son muy compactos, las raíces no penetran en absoluto y en suelos de tipo migajón gravoso con una densidad mayor de  $1,8 \text{ gr.cm}^{-3}$ , las raíces son afectadas en su crecimiento, lo mismo sucede en subsuelos de textura media o fina con densidades mayores de  $1,7 \text{ gr.cm}^{-3}$ .

De acuerdo con Tisdale y Nelson (1982) las características del suelo tienen una pronunciada influencia en la profundidad de penetración de las raíces y los subsuelos con capas compactas son altamente restrictivas. Según Bear (1985) las raíces que penetran en capas muy compactas del subsuelo no son probablemente absorbentes y eficaces, excepto en ciertos puntos en los que existen macroporos, poros mucho mayor que los diámetros capilares.

Para Thompson (1966) y Russell (1968) los suelos de textura más compacta pierde mucha parte de su agua por permanecer cerca de la superficie donde la evaporación se produce más fácilmente y esta a su vez inhibe el desarrollo radical. De este modo las raíces no pueden ramificarse en las capas duras que a veces se presentan en suelos o en subsuelos y solo pueden

penetrar en ellas a través de canales o grietas preexistentes,

2.5.3. Humedad.- Estudios recientes realizados por Tisdale y Nelson (1982) mencionan que el agua es un factor clave en los tres mecanismos de asimilación de nutrientes.

Eventualmente si no se agrega agua al suelo, la planta absorberá agua más lentamente que la que se pierde por la transpiración. Un déficit de agua se origina dentro de la planta y finalmente se presenta el marchitamiento. De opinión contraria Bear (1958) menciona que un contenido relativamente bajo de humedad hasta la profundidad del arado del suelo, favorece un sistema de raíces desarrollado. Esto es cierto, especialmente durante las primeras fases de crecimiento de la planta. Un suelo moderadamente seco es mucho mejor que uno húmedo para un buen desarrollo y para que las raíces profundicen en el suelo.

2.5.4. Aireación.- Basándose en su estudio Russell (1968) establece que la aireación del suelo afecta a las raíces a través de tres factores;

- i. La proporción de Oxígeno
- ii. La proporción de Anhídrido Carbónico
- iii. La proporción de subproductos de la descomposición anaeroubia, tales como Sulfato de Hidrógeno, Metano e Hidrógeno que se acumula en el suelo.

Gavande et al (1979) indican que la mayoría de las reacciones biológicas que se realizan en el suelo consume Oxígeno y producen como subproducto Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). Este pro

ceso general conocido como respiración aeróbica, hace que la aereación del suelo sea un problema importante cuando se considera el crecimiento de las plantas. Foth (1975) determina que el Oxígeno existente en la atmósfera puede difundirse hacia abajo en la zona radicular y el Bióxido de Carbono fuera del suelo, la raíz podrá sobrevivir, de lo contrario se desarrolla una deficiencia de Oxígeno ocasionando una toxicidad por la alta concentración de Bióxido de Carbono. De igual forma Bear (1958) afirma que algunos productos de síntesis ocasionan que el Anhídrido Carbónico sea expulsado principalmente por las raíces. De todo esto se deduce que el proceso de ventilación debe ser continuo para renovar el aire constantemente. De otro modo los productos respiratorios acumulados retardarían el crecimiento y finalmente podría morir la planta. Collis et al (1971) nos dicen que una concentración alta de  $CO_2$  retrasa el crecimiento, así pues una concentración del 37% impide el desarrollo radical en semilleros de cítricos, y parece ser que toda concentración que excede del 30% es generalmente perjudicial para el crecimiento de las plantas, además Hardy (1970) establece que el Oxígeno del aire del suelo es utilizado en los siguientes procesos:

- i. Respiración de las raíces
- ii. Respiración de los microorganismos y animales del suelo.
- iii. Oxidación de residuos de plantas y materia orgánica del suelo.
- iv. Nitrificación del Nitrógeno atmosférico por organismos nitrificantes,

v. Oxidación del ión ferroso a ión férrico liberado por descomposición hidrolítica de los minerales,

Por lo tanto los requerimientos de Oxígeno por las plantas de cultivo asciende a varias toneladas por hectárea durante la época de crecimiento,

2.5.5. Temperatura.- Los principales procesos fisiológicos y actividades de la planta afectados por la temperatura del suelo son: absorción de agua y de nutrimentos por las raíces de la planta; formación de nódulos de la raíz por leguminosas, germinación de las semillas, vernalización, crecimiento y multiplicación de microorganismos del suelo, crecimiento y diseminación de organismos causantes de enfermedades de la raíz (Hardy, 1970).

Las variaciones de temperaturas del suelo constituyen juntamente con las variaciones de humedad, un elemento esencial del microclima del suelo, ambas ejercen una acción importante por una parte sobre el comportamiento de las plantas y por otra sobre la edafogénesis. Un aumento en la temperatura del suelo trae como consecuencia un efecto estimulante en el crecimiento de las plantas y una descomposición del humus y de los fenómenos de alteración siempre y cuando no vaya acompañada por una desecación excesiva del suelo ya que de lo contrario ejerce una acción negativa o de freno (Duchauffour, 1975).

Desde el punto de vista práctico Henin, Gras y Monnier (1972) determinan que la temperatura del suelo presenta una im

portancia agronómica considerable por que determina la velocidad de crecimiento de las plantas, en particular en el momento de la germinación e inmediatamente después el desarrollo de las raíces. Del mismo modo determina la actividad de los microorganismos y gobierna así la nitrificación mediante el bloqueo de los nutrientes. Basado en lo anterior Tamhane et al (1978) descubrieron que el desarrollo de la planta, así como las actividades químicas y biológicas en el suelo, el crecimiento de la planta se detiene a una temperatura de 10°C, así de esta manera también regula en cierto grado el movimiento del aire en el suelo.

2.5.6. Nutrientes. Breazeale (1934) y Volk (1947) mencionados por Thompson (1966) indican que las plantas pueden absorber elementos nutritivos en un suelo donde la humedad se ha reducido por debajo del punto de marchitez, siempre y cuando el subsuelo esté suministrando la cantidad suficiente de agua para mantener la turgencia de la planta. Las plantas absorben los minerales de la solución edáfica que baña las raíces. Soriano y Montaldi (1980) encontraron que conforme el suelo se seca existe menor contacto entre los pelos radicales y la solución. En razón de que el movimiento del agua en el suelo es relativamente lento si el crecimiento de la raíz no es rápido para explorar sitios del suelo donde existe suficiente agua libre y solutos disueltos, el suministro de minerales a la planta se afecta.

Ede et al (1966) afirman que el proceso de absorción solamente puede llevarse a cabo por medio de una intensa actividad

vital de las raíces.

Por su parte Duchaufour (1975) establece que los elementos retenidos por el complejo absorbente (cationes metálicos y Fósforo) constituyen la fuente principal que asegura la alimentación mineral de las plantas.

El complejo absorbente desempeña por lo tanto, un papel fundamental puesto que constituye un almacén de elementos nutritivos inmediatamente utilizables, sin embargo las reservas movilizables de manera más progresiva no son por ello menos importantes.

Tamhane et al (1978) afirman que el proceso de la absorción de iones funciona en las mejores condiciones en un suelo fértil, húmedo y bien aireado.

En recientes estudios realizados por Tisdale y Nelson (1982) encontraron que una fertilización fuerte de la superficie del suelo y un manejo apropiado son importantes para estimular la penetración en profundidad de las raíces. Una nutrición apropiada estimula no solo mayor crecimiento del extremo de la raíz sino también un sistema radical más vigoroso y extenso.

## 2.6. Efectos del déficit hídrico sobre algunos procesos fisiológicos.

2.6.1. Floración. Slatyer (1969) mencionado por Lagarda (1977) comenta que hay tres etapas fenológicas donde los cultivos son especialmente sensibles a la sequía:

- i. Iniciación floral al desarrollo de la inflorescencia; en este período se determina el número potencial de semillas.
- ii. Antesis; es el período donde se fija el número potencial de semillas.
- iii. Llenado de grano; es el período donde el peso de la semilla se incrementa progresivamente.

En general, la sequía induce precocidad, pero en algunos casos se encontró experimentalmente que la falta de agua retarda la floración, debido a que el déficit hídrico retarda la diferenciación de yemas reproductivas. Contrariamente a lo que se suele opinar, el desequilibrio hídrico provoca en la mayoría de los casos un retardo más que una aceleración de la floración aunque apresura la maduración. En las plantas con flores unisexuales la sequía afecta la sexualidad y en este aspecto es más eficiente la sequía atmosférica que la edáfica (Rojas, 1972 y Sivorì et al 1980).

El trabajo realizado con tomate por Rojas (1972) encontró que la caída de los frutos aumenta con la sequía. En la floración del tomate con un 80% de la humedad relativa, la retención del fruto fue de 56% mientras que con un 22% de la humedad relativa bajó al 7% la retención del fruto.

2.6.2. Crecimiento. En trabajos recientes realizados por Sivorì et al (1980) demostraron que la expansión celular es el proceso más sensible al déficit hídrico, mucho más que la división celular. Este efecto de la disminución del potencial de agua hace que la reducción del tamaño de una planta pueda considerarse co

mo denominador común para todas las especies sometidas a sequía. Cuando el déficit hídrico coincide con los períodos de sensibilidad máxima de la planta a la falta de agua (período crítico), el daño es irreversible.

Lagarda (1975] y Marinato (1978] encontraron en trigo, que el incremento de la humedad del suelo esta asociado con incrementos en la altura de planta y con las etapas fenológicas vegetativas, floración y madurez.

Prévot y Billaz (1962] mencionados por Pérez (1982) aplicaron sequía hasta llegar a marchitez permanente en cuatro etapas del cacahuete en comparación con un testigo mantenido a capacidad de campo. El crecimiento se retardó: Un 35% en crecimiento vegetativo, días a primera flor e iniciación de floración, un 15% en intensa floración y un 25% en la fructificación.

De acuerdo con lo anterior Meyer (1972) indica que tanto la división como el aumento de tamaño de las células son adversamente influidos por la deficiencia de agua. Aparentemente la carencia de agua interna tiene influencia negativa mayor sobre la fase de aumento de tamaño del crecimiento que sobre la fase de división celular. Además Kramer (1974] menciona que las plantas sometidas a tensión hídrica muestran una reducción general del tamaño, también revelan modificaciones estructurales muy características especialmente en sus hojas. La superficie de la hoja, el tamaño de las células y el volumen intercelular suelen reducirse.

2.6.3. Fotosíntesis,- Rojas (1972), Saint-Clair (1981) y Sivori et al (1980) establecen que la actividad fotosintética disminuye o cesa por completo cuando la planta está sometida a un desequilibrio hídrico severo, debido principalmente al cierre de los estomas que impiden el paso de  $\text{CO}_2$  hacia los cloroplastos, Si existe un déficit hídrico severo y falta de hidratación en las hojas, altera la maquinaria fotosintética y el proceso de fijación de  $\text{CO}_2$  se paraliza,

Según estudios de Meyer (1972) el agua utilizada en la fotosíntesis es menos del 1% y al parecer los efectos indirectos del factor agua sobre la fotosíntesis son más pronunciados que sus efectos directos, Dicho de otra manera la deficiencia de agua como materia prima rara vez o nunca es factor limitante de la fotosíntesis. Sin embargo, la reducción en el contenido hídrico de las hojas se traduce comúnmente en disminución de la actividad fotosintética, Para Kramer (1974) los efectos indirectos son la reducción de la actividad de la maquinaria protoplásmica deshidratada,

2.6.4. Transpiración,- Saint-Clair (1981) menciona a la transpiración como un fenómeno que está relacionado con la apertura estomática,

Para Kramer (1974) la transpiración causa diariamente déficit momentáneos de agua foliar y cuando se seca el suelo causa retraso en la absorción respecto a la pérdida de agua, se producen déficit hídricos permanentes que causan daños y muerte por desecación, En verdad, es más grande el número de plan

tas lastimadas o muertas como resultado de la transpiración excesiva, que por cualquier otra causa.

En estudios realizados por Rojas (1972) sobre la eficiencia de transpiración encontró que los requerimientos de agua indican la cantidad de materia seca en gramos por kg de agua absorbida. Así una planta necesita medio litro de agua para fabricar un gramo de materia seca.

Devlin (1975) y Sivori (1981) afirman; cuando la velocidad de transpiración sobrepasa la de absorción, puede producirse un déficit de agua y el consiguiente marchitamiento. La transpiración disminuye cuando se somete a la planta a un período de sequía debido principalmente a la disminución del potencial de la hoja, y a consecuencia el cierre de los estomas; naturalmente esto va en detrimento de la planta y si alcanza un cierto límite puede provocar la muerte de la planta.

2.6.5. Respiración.- La respiración en órganos con vida activa (hoja) aumenta en sequía por sobre lo normal; la asociación de alta respiración y baja fotosíntesis determinará un estado de desnutrición si persiste cierto tiempo (Rojas, 1972).

La respiración "obscura" y la "fotorrespiración" disminuye de manera acentuada con un desequilibrio hídrico sea este moderado o severo. Las causas de este efecto no se conocen, pero al parecer se debe a la alteración de las membranas y estructuras internas de las mitocondrias (Sivori et al., 1982).

Brix (1962) y Parker (1952) citados por Kramer (1974) se-

ñalan que los efectos del déficit hídrico sobre la respiración son variables. En algunos experimentos ha habido un aumento transitorio de la respiración, seguido por un descenso al aumentar la gravedad de la tensión hídrica.

De acuerdo con lo anterior Saint-Clair (1981) establece que la respiración es un factor afectado por la sequía. El de equilibrio de la fotosíntesis y la respiración por la utiliza ción de los productos fotosintéticos por esto puede causar un debilitamiento e incluso morir la planta si la respiración es excesiva en relación a la fotosíntesis.

## 2.7. Metodología para el estudio del sistema radical

2.7.1. Método monolito o de bloques. Este método fue elaborado por Roger-Shit, descrito por Kolesnikov (1971) y mencionado por Ayala (1976) y García (1982) consiste en excavar una sección del sistema radical a partir de la base del tronco a determina das distancias del mismo y a diferentes profundidades; al sacar el suelo por zonas distintas y capas, se separan las raíces y se clasifican según su grosor, como una práctica común, se uti liza en los estudios de frutales el peso fresco de raíces. Así es posible tener un cuadro comprensivo del sistema radical en los diferentes horizontes o capas del suelo.

2.7.2. Método de perfil. Este método fue elaborado por Oskamp y Batjer (1932) mencionado por Ayala (1976) consiste en hacer una zanja en el suelo a cierta distancia del tronco, a lo largo de una secante de la proyección de la copa, donde se encuen

tra una gran parte del sistema radical en el perfil del suelo formado, de esta manera se localizan los cortes de las raíces a diferentes profundidades del suelo y su distribución se dibuja en un papel milimétrico,

2.7.3. Método de tablas con clavos.- Este método fué elaborado por Schauvrman y Goedewaagen (1965) consiste en una tabla de dimensiones conocidas que van sujetas con unos pasadores, estos son agujas o clavillos recortados.

Para sujetar los pasadores en el tablón, se usa un tubo pequeño que se encuentra a la misma altura que las agujas o clavillos.

Este tubo tiene una base, lo cual evita que el pasador se tuerza al entrar en el tablón. Los pasadores estan colocados a una distancia de 5 cm hacia los lados. Las dimensiones de la tabla y el largo del pasador se ajustaran al tipo de planta que se ha de muestrear.

Las medidas más comunes son de 1 metro de altura con 30 cm de ancho con el pasador de 8 cm de largo y de 1 metro de altura con 60 cm de ancho, con el pasador de 14 cm de largo.

El primer tipo se utiliza para investigaciones de plantas con sistema de raíces angostas, ejemplo los pastizales. El segundo es utilizado para sistema de raíces extensas, ejemplo las papas y los betabeles.

Antes de preparar la tabla se coloca un plástico negro que cubrirá a esta y a los pasadores hasta su base, también puede

utilizarse una lámina.

El objetivo del plástico es que cuando se lavan las raíces la tierra se elimine fácilmente y las raíces queden intactas sobre la tabla y sea fácil de moverse.

2.6.4. Método de los cilindros.- Este método elaborado también por Schauvrman y Goedewaagen (1965) consiste en un cilindro de concreto el cuál tiene 40 cm de diámetro con una altura de 100 a 125 cm y con cilindros permanentes en el centro de 15 y 30 cm de diámetro con una altura de 75 cm. Los cilindros pequeños de concreto son arreglados en grupos de 18 a todo lo largo. Estos cilindros son rellenos con tierra, estos pueden llegar a pesar hasta 200 kilogramos. La parte superior del cilindro esta a nivel de la superficie del suelo, posteriormente se mantiene a un determinado nivel de agua, esto no necesariamente tiene que ser constante, se puede usar también un nivel variable. Estos cilindros permanentes se transportan en vehículos cerrados, para que el experimento que se llevará a cabo pueda hacerse dentro o fuera de un local, dependiendo de la temperatura.

## 2.8. Trabajos realizados en otros cultivos.

Ayala (1976) en el estudio de tres porta injertos de manzano encontró que en la zona de 70 a 110 cm del tronco hubo mayor cantidad de raíces menores de 1 milímetro de diámetro que en la zona de 30 a 70 centímetros lo cual corresponde a la extensión de la copa del árbol, las raíces gruesas se encontraron en mayor cantidad en la zona más cercana al tronco.

La mayor concentración de raíces menores de 2 mm de diámetro estaban presentes en las capas de 20 a 30 cm y 30 a 40 cm de profundidad y en promedio 88 de todas las raíces se localizarán de 0 a 50 cm.

Medina (1978] en el estudio realizado sobre la distribución y profundidad de porta injertos de limón; concluye que todos los porta injertos estudiados presentaron la mayor densidad de raíces a la distancia de 30 a 80 cm del tronco.

García (1982] en un estudio sobre la distribución radical del tejocote observó que la mayor concentración de raíces estuvo a la profundidad de 0 a 40 cm predominando las raíces finas de 2 mm, además señala que la distribución vertical de las raíces se encuentran de 0 a 200 cm a partir del tronco.

Demolón (1972] nos muestra el desarrollo radical de varios cultivos:

Trigo: el alargamiento de las raíces en condiciones favorables es muy rápido pudiendo pasar de 1 cm por día, alcanzando normalmente 1,20 a 1,50 cm. Un sistema de raíces secundario está constituido por las que se forman al nivel del último entrenudo, éstas se ramifican cerca de la superficie formando en la capa superior del suelo una cabellera más densa cuando mayor sea la humedad y la riqueza del medio en elementos nutritivos.

Centeno: el poder de penetración de sus raíces es más grande que en los otros cereales con frecuencia da lugar a una cabellera más densa que la del trigo o de la avena en igualdad de

condiciones, de ahí su capacidad de adaptarse a tierras menos fértiles.

Avena: las raíces pueden pasar de 1 metro en 60 días, el desarrollo horizontal es de 15 a 25 cm y su superficie media de 75 cm.

Patata: en su primer período vegetativo tiene un sistema radical muy extendido en el sentido horizontal y muy ramificado pero superficial. Luego cierto número de raíces pueden flexionar bruscamente y penetrar más al fondo, según que las condiciones de humedad sean más o menos favorables y que la variedad sea más o menos tardía.

Alfalfa: es el tipo de planta de raíz grande y profunda, alcanzando 1.8 metros en el primer año, de 3 a 3.50 metros en el segundo y hasta 6-8 metros en los siguientes años.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización del experimento

El experimento fué establecido en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., ubicado en la carretera Zuazua-Marín Km. 17, se localiza a los 25°53' de Latitud norte y a los 100°03' Longitud oeste, a una altura de 367.5 msnm.

En cuanto a clima tenemos que la temperatura media anual es de 22°C y la precipitación promedio anual es ligeramente superior a 500 mm. Los subtipos climáticos dominantes son; BSo y BS<sub>1</sub>, que corresponden a los climas secos o esteparios y el suelo es Hc y Rc que corresponden a los calcarios.

#### 3.2. Materiales

El material genético utilizado fué; dos colectas de P. acutifolius var. latifolius F. (PHAACU-102 y PHAACU-125) y una línea experimental avanzada de P. vulgaris L. (LEF-1-RB), éstas fueron proporcionadas por el Departamento de Recursos Genéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) y el Proyecto de Mejoramiento de Maíz, Frijol y Sorgo de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., respectivamente.

En lo que respecta al material no genético se utilizó: pala, machete, azadón, pico, talache, carretilla, plástico, durmientes, (tablón de 2 x .30x.30 m), bolsas grandes de 30x100 cm bolsas de papel, cinta métrica, vernier, báscula granataria y

analítica, cuarto de secado, mufla, manguera, grapadora, etiquetas, estructura de madera para proteger al cultivo contra la lluvia, barrena Veihmeyer para muestreo del suelo a 30, 60 y 90 cm,

### 3.3. Diseño experimental utilizado

Para el establecimiento del experimento fué necesario utilizar un diseño experimental completamente al azar, donde se probaron tres genotipos en tres etapas fenológicas del cultivo bajo el esquema de riego-sequia, generando 12 tratamientos con tres repeticiones,

Las etapas fenológicas consideradas fueron: prefloración, floración y postfloración.

En la Tabla 1, se presenta una lista de los tratamientos que forman el experimento.

### 3.4. Construcción de las macetas

Fueron construidas 117 macetas con una dimensión de 1 m x 1 m x 0,70 m (Figura 11).

La construcción de las macetas fué de la siguiente manera: Parte de la pared que formó a la maceta lo constituyó la pared exterior de la pila, utilizándose los cuatro lados, luego a una distancia de un metro retirado con respecto a la pila, fueron colocados durmientes horizontalmente una sobre otra hasta formar una pared alrededor de la pila de un metro de altura, quedando a nivel con la pared de la pila, formándose al final, un

Tabla 1. Lista de tratamientos donde son probados los tres genotipos en prefloración, floración y postfloración, bajo riego-sequía.

Tratamiento	Etapa	Condición de humedad	Genotipo
1	Prefloración	Riego	<u>P. vulgaris</u>
2	Floración	Riego	<u>P. acutifolius</u> 102
3	Postfloración	Riego	<u>P. acutifolius</u> 125
4	Prefloración	Sequía	<u>P. vulgaris</u>
5	Prefloración	Sequía	<u>P. acutifolius</u> 102
6	Prefloración	Sequía	<u>P. acutifolius</u> 125
7	Floración	Sequía	<u>P. vulgaris</u>
8	Floración	Sequía	<u>P. acutifolius</u> 102
9	Floración	Sequía	<u>P. acutifolius</u> 125
10	Postfloración	Sequía	<u>P. vulgaris</u>
11	Postfloración	Sequía	<u>P. acutifolius</u> 102
12	Postfloración	Sequía	<u>P. acutifolius</u> 125

carril con dimensiones de 1 m x 1 m., posteriormente a cada 0.70 m fué fraccionándose el carril, formando así compartimientos con las dimensiones siguientes 1 m x 1 m x 0.70 m, dando origen a las macetas donde fué establecido el experimento. En la división del carril que formó los compartimientos se utilizaron plásticos con la finalidad de aislar una maceta de la otra, evitando de esta manera que el agua y las raíces pasaran a otra maceta, donde la maceta vecina se encontraba en diferente tratamiento. Posteriormente la maceta fué llenada de tierra de la región y se procedió a realizar la siembra.

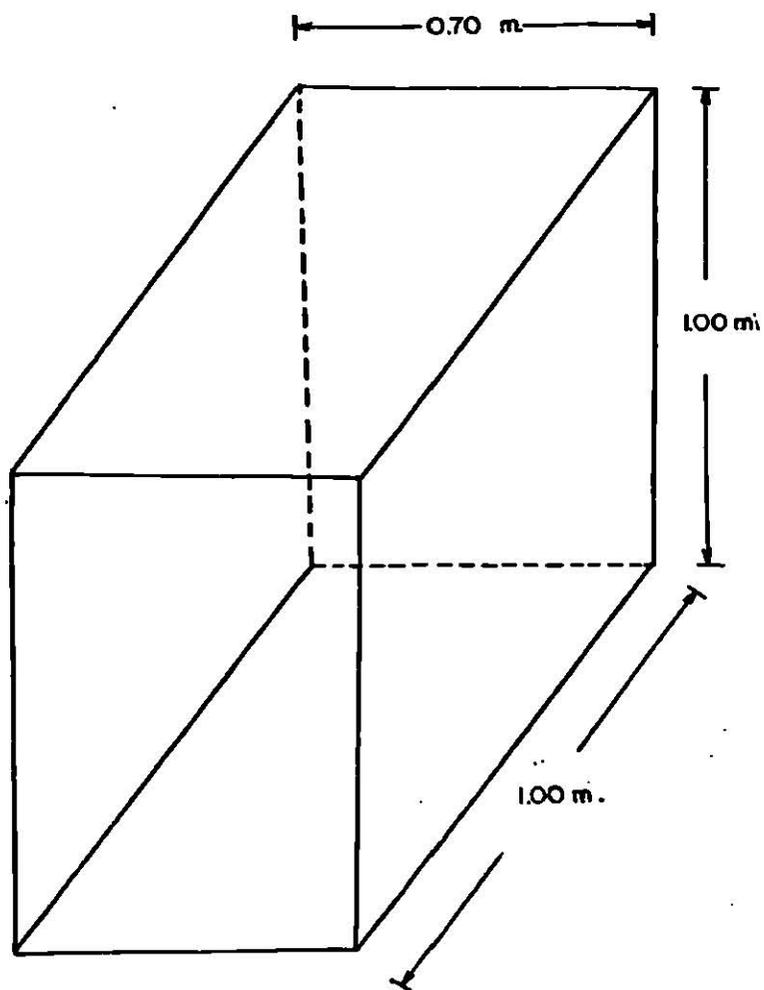


Figura 1. Estructura de una meceta con sus dimensiones, en las cuales fué establecido el experimento de muestreo radical en diferentes etapas fenológicas, bajo riego-sequia para tres genotipos de frijol.

### 3.5. Siembra

La siembra se realizó el 15 de marzo de 1985. Auxiliándose de un croquis, Figura 2; después de un previo sorteo de las macetas, se procedió a sembrar los materiales en las macetas construídas, colocándose en dos puntos de la maceta de dos a tres semillas, dejando al final dos plantas por punto.

Las plantas destinadas al estudio radical se muestreaban después de haber soportado el stress de humedad al final de la etapa fenológica señalada, en cambio para la evaluación de rendimiento y sus componentes, la planta se sometía a sequía en la etapa señalada, después se regaban, hasta alcanzar su total desarrollo y fructificación, observando así el efecto que la sequía causaba al final del ciclo del cultivo en el rendimiento.

Las plantas testigos, siempre tenían la cantidad de agua suficiente para su óptimo desarrollo y crecimiento.

### 3.6. Muestreos

Se realizaron muestreos para las plantas que se encontraban en la etapa fenológica señalada y condición de humedad requerida, realizándose seis muestreos, tres para los testigos (bajo riego) en diferentes etapas fenológicas (prefloración, floración, postfloración), otros tres muestreos para la condición de humedad bajo sequía en las diferentes etapas fenológicas.

Para evaluación de rendimiento y sus componentes, fueron necesarios cuatro muestreos, uno bajo riego durante todo el ciclo (testigo), y los tres restantes bajo sequía aplicada en la

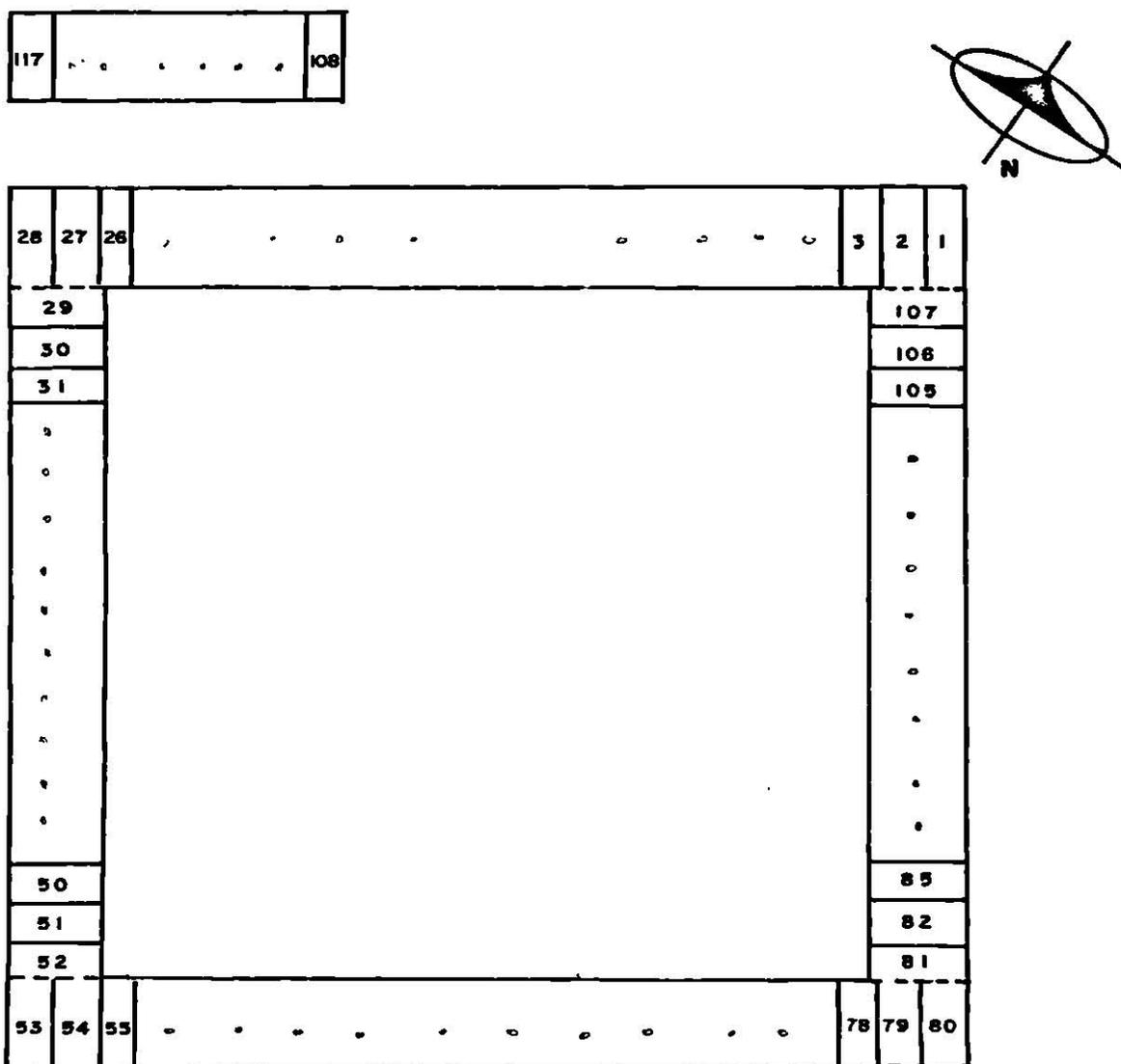


Figura 2, Distribución de las macetas en el campo, croquis del experimento donde son evaluados tres genotipos de frijol en diferentes etapas fenológicas bajo riego-sequia.

etapa fenológica destinada antes señalada.

Fueron muestreadas dos plantas por repetición, siendo la unidad experimental, la maceta.

Uno de los métodos para determinar que la planta se encontraba bajo stress de humedad, consistía en observar la planta, si esta no recuperaba su turgencia por las mañanas, indicaba que la planta se encontraba en castigo (PMP).

Para muestrear la raíz, se procedía a quitar los durmientes, dejando al descubierto el bloque de tierra, en seguida con una manguera, se dirigía el agua a presión hacia la raíz, así el agua desplazaba la tierra quedando al descubierto la raíz.

Posteriormente se tomaban fotografías tanto a la raíz como a la parte aérea de la planta, haciendo comparaciones preliminares entre los tratamientos para observar su crecimiento y desarrollo tanto de la raíz como del follaje de la planta. Finalmente se realizó un muestreo de suelo para ver la textura y salinidad en las macetas (Cuadro 1).

### 3.7. Prácticas de cultivo

Durante el ciclo del cultivo se realizaron dos deshierbes, además en el inicio del ciclo se hizo una escarda al pie de la planta, Los testigos se regaban periódicamente, En el caso de los genotipos bajo tensión hídrica se trataba de proteger al cultivo de las lluvias, cubriéndolos con plástico, sobre una estructura de madera, el cual al pasar las lluvias inmediatamente eran retirados para evitar algún daño a la planta, También

se aplicó un insecticida contra el ataque de un gusano defoliador.

### 3.8. Variables bajo estudio

1. Longitud de la raíz primaria (cm)
2. Longitud de la raíz secundaria (cm)
3. Diámetro de la raíz primaria (cm)
4. Número de raíces secundarias (conteo)
5. Raíz materia seca (gr)
6. Follaje materia seca (gr)
7. Altura de planta (cm)
8. Vainas totales/planta (conteo)
9. Vainas vanas/planta (conteo)
10. Vainas normales/planta (conteo)
11. Longitud de la vaina (cm)
12. Semillas/vaina (conteo)
13. Semillas abortivas/vaina (conteo)
14. Semillas normales/vaina (conteo)
15. Rendimiento/planta (gr)

Nota: Las tres etapas fenológicas del cultivo bajo estudio fueron consideradas de la siguiente manera:

La prefloración fue comprendida desde 15 días antes de que se iniciara la floración hasta la floración; la floración corresponde al período comprendido entre la aparición de las primeras y últimas flores y postfloración, delimitada por la aparición de las últimas flores y la madurez fisiológica de la planta,

### 3.9. Descripción de las variables

A continuación se describe la forma como fueron medidas las variables bajo estudio.

1. Longitud de la raíz primaria.- Tomando en cuenta desde donde empieza el hipocotilo hasta la parte final de la raíz.
2. Longitud de la raíz secundaria.- Se consideró desde donde nace la raíz principal. Para fines estadísticos solo fueron consideradas tres raíces por planta.
3. Diámetro de la raíz primaria.- Mediante un vernier se midió la parte basal o inicial de la raíz primaria.
4. Número de raíces secundarias.- Fueron consideradas únicamente aquellas raíces que alcanzaban una longitud mayor de 15 cm.
5. Raíz materia seca.- La raíz se colocó en el cuarto de secado por 72 horas a 70°C, posteriormente fue pesada en una báscula de precisión.
6. Follaje materia seca.- La parte aérea de la planta fue sometida al mismo procedimiento que la raíz y posteriormente fue pesada.
7. Altura de planta.- Fue medida a partir de donde nace la raíz, hasta donde el follaje se torna más espeso sin tomar en cuenta las guías demasiado largas.
8. Vainas totales/planta.- aquí se consideró las vainas vanas y las dehiscentes.
9. Vainas vanas/planta.- aquí se contaron solamente las vainas que no formaron grano.
10. Vainas normales/planta.- se consideraron únicamente las que se desarrollaron completamente.

11. Longitud de la vaina.- Para obtener su longitud, se consideró desde el pedicelo hasta el ápice de la vaina. Para fines estadísticos se consideraron cinco vainas por planta como muestra.
12. Semillas / vaina.- Aquí se consideraban todas las semillas, e inclusive las abortivas, las dañadas por plagas o enfermedades y las poco desarrolladas.
13. Semillas abortivas / vaina.- Se contabilizaron únicamente aquellas semillas que no lograron un buen desarrollo.
14. Semillas normales / vaina.- Solo es tomada en cuenta las semillas bien desarrolladas.
15. Rendimiento/planta.- Se cosechó todo el grano de las dos plantas después de haber pasado por el cuarto de secado (72 hr a 70°C), posteriormente fue pesado.

### 3.10. Análisis estadístico

En el análisis de las variables bajo las diferentes etapas fenológicas; prefloración, floración y postfloración y en condición de humedad de riego-sequia tanto para muestreos radicales como para la evaluación del rendimiento y sus componentes, fue utilizado el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + H_i + F_j + G_k + (HF)_{ij} + (HG)_{ik} + (FG)_{jk} + (HFG)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

$\mu$  = Media general

$H_i$  = Efecto del nivel  $i$  del factor condición de humedad

$F_j$  = Efecto del nivel  $j$  del factor etapa fenológica

$G_k$  = Efecto del nivel  $k$  del factor genotipo

- (HF)ij = Efecto de la interacción entre el nivel  $i$  del factor condición de humedad y el nivel  $j$  del factor etapa fenológica
- (HG)ik = Efecto de la interacción entre el nivel  $i$  del factor condición de humedad y el nivel  $k$  del factor genotipo
- (FG)jk = Efecto de la interacción entre el nivel  $j$  del factor etapa fenológica y el nivel  $k$  del factor genotipo
- (HFG)ijk = Efecto de la interacción entre el nivel  $i$  del factor condición de humedad, el nivel  $j$  del factor etapa fenológica y el nivel  $k$  del factor genotipo
- Eijkl = Efecto del error

Se tomaron dos plantas por repetición para evaluar las variables bajo estudio, obteniéndose la media entre las dos plantas. Para las variables que se tomaron por conteo como: número de raíces secundarias, vainas totales/planta, vainas vanas/planta, vainas normales/planta, semillas/vaina, semillas abortivas/vaina, semillas normales/vaina, se utilizó la transformación raíz cuadrada  $(\sqrt{X+1})$ , donde las observaciones deben ser números enteros. Finalmente mediante una prueba de Tukey se realizaron comparaciones de medias con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

El experimento fué analizado en dos partes: muestreos ra  
dicales bajo riego-sequia en tres etapas fenológicas del cul-  
tivo y evaluación del rendimiento y sus componentes, utilizán-  
dose un análisis estadístico factorial. Los resultados serán  
mostrados por variable.

### 4.1. Análisis de varianza para muestreo radical

En general se puede observar en el análisis de varianza  
(Tabla 3) que existe significancia para el factor condición  
de humedad, etapa fenológica y genotipo y la interacción de los factores  
condición de humedad-etapa fenológica, mientras que en el res-  
to de las interacciones no se encontró significancia.

Al resultar significancia, fué necesario hacer una compara-  
ción de medias, mediante la prueba de Tukey, con una confiabi-  
lidad de 0.05 .

En la Tabla 2 se observan los valores máximos y mínimos pa  
ra cada una de las variables estudiadas, además del rango, el  
cual nos indica la diferencia entre ambos valores.

### 4.2. Follaje materia seca (m.s.)

El análisis de varianza nos muestra que existe significan-  
cia para el factor condición de humedad, etapa fenológica, ge-  
notipo y la interacción condición de humedad-etapa fenológica  
(Tabla 3). Tenemos que bajo la condición de humedad, existe  
diferencia entre riego con sequia, obteniéndose una mayor can-

tividad de materia seca en riego, la cual es de 36,57 gr (Tabla 4). Los tres genotipos responden favorablemente al riego, esto concuerda con Hsiao y Bunce citado por Villarreal (1981) donde afirma que el crecimiento esta directamente relacionado con la disponibilidad de agua, lo cual significa una mayor cantidad de materia seca al final del ciclo, no sucediendo esto en la condición de sequía,

En cuanto a etapa fenológica, se observa que existe diferencia entre prefloración y floración (Tabla 4), existiendo una mayor acumulación de m.s. en floración que es de 39.46 gr. Nuevamente, una reducción de humedad aplicada en este caso en prefloración sobre los genotipos, reduce como consecuencia la cantidad de materia seca (Apuntes no publicados de Nuñez).

Para el caso de genotipo, se encontró que existe diferencia entre P. vulgaris con respecto a P. acutifolius 102 y 125 (Tabla 4), donde la mayor acumulación de materia seca se obtiene en P. acutifolius 102 y 125, siendo de 36.10 y 37.77 gr respectivamente. Esto se explica debido a que P. vulgaris a pesar de ser una línea con "resistencia" a sequía, aun no esta totalmente adaptada, por lo que es superada por P. acutifolius 102 y 125 en los cuales se encuentran presentes los mecanismos de resistencia a sequía, como son: hojas pequeñas y delgadas, reduciendo la temperatura y radiación cambio de ángulo de la hoja Pearson y Davis (1978) y mayor longitud de la raíz primaria Loredó (1983).

Para el caso de la interacción condición de humedad- etapa

fenológica, se observa que bajo riego, existe diferencia entre prefloración y postfloración (Tabla 5). Esto es de esperarse ya que a medida que la planta crece, se obtiene una mayor cantidad de materia seca, ya que los muestreos se realizaban al final de cada etapa.

En sequía, se puede ver que existe diferencia en floración con respecto a postfloración, teniendo 17.66 gr en postfloración siendo esta la más baja. Mostrándonos que la deficiencia de humedad en dicha etapa, se ve drásticamente afectada. Turner (1979) explica que la senescencia foliar puede ser acelerada al presentarse deficiencia de agua en la planta. Así también podemos ver que la altura de planta está altamente correlacionada con la cantidad de materia seca de follaje como se observa en la Tabla 6,

Finalmente, comparando la etapa fenológica de riego con sequía, observamos (Tabla 5) que en postfloración existe diferencia para ambos factores, se observa que bajo riego encontramos la mayor cantidad de materia seca siendo esta de 53.44 gr viéndose notablemente reducida por la deficiencia de humedad, obteniendo un valor de 17.66 gr, esto es explicado por Turner (1979) con la senescencia foliar ya mencionada anteriormente.

#### 4.3. Razón materia seca (m.s.)

Observando el análisis de varianza (Tabla 3) encontramos significancia para el factor condición de humedad y alta significancia para el factor condición de humedad-etapa fenológica a un nivel de confiabilidad de 0.05 y 0.01 respectivamente.

Auxiliándonos con la prueba de Tukey, se hizo una comparación de medias a un nivel de 0,05

Así tenemos que para la condición de humedad, se observa diferencia en la condición de riego con la de sequía, teniendo la mayor cantidad de materia seca en riego, esta es de 1.99 gr (Tabla 4). Esto sugiere que bajo condición de humedad adecuada la planta elabora carbohidratos, parte de los cuales son acumulados en la raíz, por consiguiente se observa así un mayor peso. Mientras que bajo sequía se obtiene 1.54 gr siendo este bajo.

En el factor etapa fenológica, encontramos diferencia en postfloración con respecto a las otras dos etapas, donde se obtiene 2.47 gr (Tabla 4) siendo la más alta, esto es respaldado por la longitud de raíz primaria y secundaria, las cuales son mayores. Generalmente una planta al entrar en plena producción, requiere de mayores cantidades de agua para realizar la fotosíntesis, la cual es convertida en grano, por lo que los genotipos bajo sequía, la raíz tiende a surtir esta demanda, explicando así la alta cantidad de materia seca en postfloración.

Para la interacción de condición de humedad-etapa fenológica (Tabla 5) se observa que bajo riego en postfloración tenemos 3.82 gr de materia seca que es la más alta, esto es apoyado por los resultados arrojados por la longitud de raíz primaria y secundaria que son los más altos además del diámetro, esperándose dichos resultados por los muestreos realizados cada vez en etapas avanzadas. Generalmente el crecimiento esta

directamente relacionado con la disponibilidad de agua, (Hsiao y Bunce citados por Villarreal ,1981).

En cambio se observa que en prefloración cuando se presenta una deficiencia de humedad, la cantidad de materia seca se reduce, teniendo 1.32 gr (Tabla 5) siendo la más baja. Se observa claramente que en prefloración hay una reducción drástica en la longitud de raíz primaria y secundaria afectando la acumulación de materia seca.

Finalmente comparando la condición de riego con sequía, se encuentra diferencia en cuanto a riego para floración y postfloración (Tabla 5) se observan altas cantidades de materia seca en riego 1.98 y 3.82 gr y baja en sequía 1.82 y 1.46 gr respectivamente, en el caso de prefloración bajo sequía fué rebasada la cantidad de materia seca con respecto a riego.

Aquí solo se explica que la planta al sentir los síntomas en etapas tempranas, adelanta su ciclo, por lo que al haber un crecimiento de la planta, se ve favorecido el crecimiento radical (Apuntes no publicados de Nuñez] esto se observa claramente en la Tabla 6, donde la altura de planta esta altamente correlacionada con longitud de raíz primaria, secundaria y número de raíces secundarias.

#### 4.4. Altura de planta

El análisis de varianza nos muestra que existe diferencia altamente significativa para el factor condición de humedad y significancia para la interacción condición de humedad-etapa fenológica (Tabla 3]. Valiéndose de la prueba de Tukey para la comparación de medias se encontró los siguientes resultados:

Para el factor condición de humedad bajo riego se alcanza una mayor altura, siendo esta de 40.10 cm (Tabla 4) mientras que en sequía es afectada notablemente, alcanzando una altura de 33.27 cm. Partiendo de lo propuesto por Kriedeman y Smart, (1971); Cudlow, (1976) donde la reducción inicial en fotosíntesis bajo deficiencia de agua en el suelo o en la planta se debe principalmente a cambios en la conducción de  $CO_2$  a través de los estomas.

Teniendo como consecuencia un bajo crecimiento de la planta,

En cuanto a la interacción de humedad-etapa fenológica, podemos ver que bajo riego, existe diferencia entre la etapa de prefloración con floración (Tabla 5] obteniendo una altura de 36.44 cm para prefloración, siendo esta la más baja, esto es de esperarse ya que los muestreos se realizaban en etapas avanzadas,

En lo que respecta a la altura en floración y postfloración, se consideran prácticamente iguales ya que no existe diferencia al realizar la comparación de medias.

En el caso de sequía, existe diferencia en la etapa de prefloración con respecto a postfloración (Tabla 5] encontrándose una altura promedio de 29,13 cm esto repercute notablemente en la cantidad de materia seca acumulada, ya que como se puede ver en la Tabla 6 está altamente correlacionada. Aquí se puede explicar, que cuando se presenta deficiencia de humedad, la senescencia foliar se acelera, este es otro proceso adaptativo que reduce el área foliar total, reduciendo como consecuencia la transpiración y respiración, (Turner, 1979].

Finalmente comparando la condición de riego con sequía, encontramos que existe diferencia en floración y postfloración de riego con respecto a sequía, obteniendo los promedios más altos en riego, siendo estos de 44.00 y 39,75 cm respectivamente (Tabla 5). La explicación es lógica, ya que no existe deficiencia hídrica por lo que la planta está en óptimas condiciones para la realización de fotosíntesis, produciendo un buen desarrollo.

#### 4.5. Longitud de raíz primaria

En el análisis de varianza se detectó que existe diferencia altamente significativa para el factor etapa fenológica y la interacción de esta con la condición de humedad (Tabla 3).

En cuanto al factor etapa fenológica (Tabla 4) encontramos que existe diferencia entre etapas, estos resultados son esperados, ya que se realizaron muestreos a medida que la planta crece.

En la interacción de condición de humedad-etapa fenológica, encontramos que bajo riego existe diferencia entre etapas, aquí también no existe punto de comparación, ya que estos resultados son esperados, debido a que los muestreos se realizaban en etapas avanzadas. En postfloración se alcanza una longitud de 128.58 cm (Tabla 5) siendo esta la más alta.

Para el caso de sequía, se observa que no existe diferencia entre etapas fenológicas, comportándose los valores ascendentes a medida que la planta se medía en etapas avanzadas.

Comparando la condición de riego con sequía, encontramos diferencia en las etapas de prefloración y postfloración, se observan valores de 52,11 cm en riego y 87,56 cm en sequía (Tabla 4) para prefloración, esto concuerda con Parker citado por Parson (1979) donde señala que existen algunas características de las plantas que imparten resistencia a la sequía en frijol, entre las que se encuentra la longitud del sistema radical o incremento en la tasa de renuevo de la raíz. Lo anterior se cumple también en floración, no así para postfloración, ya que los genoti

pos bajo riego superan en cuanto a longitud de la raíz primaria a los genotipos de riego, se explica esto como un error en la técnica para la medición de las raíces o bien el método para su extracción no fué adecuado, por lo que al momento de la extracción, las raíces se fragmentaban, quedando en el suelo, ya que de acuerdo al análisis realizado al suelo que contenían las macetas, era del tipo migajón arcilloso en la parte 30-60 cm de profundidad (Cuadro 1) donde se perdió gran parte de raíz.

Este tipo de suelo tiene la característica de ser muy pesado y pegajoso cuando es mojado, por lo que al momento de tratar de secar la raíz, esta fácilmente se fragmentaba, por lo cual era imposible su recuperación total.

Este mismo problema nos impide determinar con exactitud la longitud de la raíz secundaria, donde se muestra que en floración y postfloración bajo riego, no obtenemos los valores esperados, no sucediendo así para el caso de prefloración (Tabla 5).

#### 4.6. Diámetro de raíz primaria

Se presenta significancia para el factor etapa fenológica y la interacción de esta con la condición de humedad (Tabla 3).

Por medio de la prueba de Tukey, se realizó la comparación de medias para dicha variable, encontrando que existe diferencia entre la etapa de prefloración con postfloración. Soriano y Montaldi (1980) señalan que en los órganos herbáceos, el contenido de agua oscila alrededor del 80 al 90%, por lo que es similar para el caso de raíz, comparando un diámetro bajo riego con uno de sequía, se observa que existe una notable reducción

en este último (Tabla 4) afectando más en postfloración, Estos resultados concuerdan con los observados en la interacción condición de humedad-etapa fenológica en sequía (Tabla 5) y de acuerdo a las observaciones hechas al cultivo, dichas macetas en prefloración, todavía no sufrían el efecto de la sequía.

Para la interacción se puede ver que bajo la condición de riego, no existe diferencia entre etapas (Tabla 5). Observamos que el diámetro fue beneficiado por el riego, aumentándolo, mientras que bajo sequía lo reduce.

Como se dijo anteriormente para el factor simple de etapa fenológica (Tabla 4), donde se puede observar también que el diámetro se reduce por efecto de la sequía, obteniéndose un valor de 0.18 cm en postfloración, que es el más bajo.

Al comparar la condición de riego con sequía, tenemos que existe diferencia en prefloración, puesto que el valor promedio en sequía es de 0.48 cm mayor que bajo riego, 0.29 cm (Tabla 5). Esto puede deberse a un error en la técnica de medición ya que pudo haber existido mediciones en diversos puntos de la planta o bien el lugar donde fue tomada la medición no era el mismo en las otras plantas. En lo que respecta a floración y postfloración, los genotipos bajo riego superaban a los de sequía.

#### 4.7. Número de raíces secundarias

El análisis de varianza reportó significancia para el factor etapa fenológica (Tabla 3). Mediante una comparación de medias se encontró que existe diferencia entre las etapas fenoló-

gicas. Este efecto lo explica Klepper et al (1973) al concluir en su experimento realizado, observó que la densidad radical en la superficie seca del suelo decreció debido a la muerte por disecación (Tabla 4). Observaciones hechas en el experimento, detectaron que los genotipos sometidos a sequía en postfloración, presentaban menos raíces, además el conteo resultó ser más eficiente, ya que en plantas jóvenes es más fácil hacer el conteo que en plantas más viejas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en la interacción condición de humedad-etapa fenológica (Tabla 5) para el caso de sequía.

#### 4.8. Longitud de raíz secundaria

En el análisis de varianza mostrado (Tabla 3) se encuentra alta significancia para el factor etapa fenológica y la interacción de esta con la condición de humedad.

Comparando los medias con la prueba de Tukey en etapa fenológica (Tabla 4) se observa que existe diferencia en prefloración con respecto a floración y postfloración, estos resultados son esperados, debido a los muestreos realizados a medida que la planta crece, teniendo como valor máximo en postfloración 92,77 siendo la mayor longitud que la raíz alcanza.

Para el caso de la interacción, se observa que existe diferencia entre etapas para el caso de riego, encontrando que el crecimiento radical sigue un patrón ascendente a medida que la planta crece, lo cual es esperado, teniendo una longitud de 107,06 cm en postfloración (Tabla 5) siendo esta la máxima.

Refiriéndonos a la sequía, se observa que no existe diferencia entre etapas (Tabla 5) siendo en prefloración donde la sequía afecta en mayor grado, alcanzando un valor de 72.55 cm.

Finalmente al hacer la comparación para condición de humedad, solo en prefloración bajo sequía se observó un valor de 72.55 cm (Tabla 5) rebasando al que se encontraba bajo riego siendo de 40.01 cm, por lo que no concuerda con los resultados obtenidos para la condición de humedad presentado en la Tabla 5. Además esto no concuerda con Parker citado por Parson (1979) ya mencionado para la discusión de la variable longitud de raíz primaria. Una explicación a este efecto podría deberse a una técnica no adecuada para su extracción, en la que se perdía gran parte de la raíz, además de que la tierra de la maceta se encontraba excesivamente compacta por la falta de agua por la cual se dificultaba su extracción.

Tabla 2. Principales estadísticos descriptivos de las variables estudiadas bajo el esquema de riego-sequia para muestreo radical.

Variable	Media general	Desv. estándar	Valor		Rango	%C.V.
			mínimo	máximo		
Follaje m,s, (gr)	31,26	22,74	2,00	92,50	9,50	72,75
Raíz m,s, (gr)	1,75	1,17	0,10	5,78	5,68	66,51
Altura de planta (cm)	36,55	7,25	23,00	55,50	32,50	19,83
Longitud raíz primaria (cm)	90,32	27,76	38,25	161,50	123,25	30,73
Diámetro raíz primaria (cm)	0,29	0,17	0,08	0,82	0,74	56,22
Número de raíces secundarias	8,93	2,82	3,00	16,00	13,00	31,56
Longitud raíz secundaria (cm)	76,33	26,08	22,36	126,50	104,17	34,16

Tabla 3. Resumen de los resultados de análisis de varianza efectuados sobre las variables estudiadas, para el muestreo radical bajo el esquema riego-sequia.

Cuadrados medios	Follaje m,s. (gr)	Rafz m,s. (gr)	Altura de planta (cm)	Longitud rafz primaria (cm)	Diámetro rafz primaria (cm)	Nº de raíces secundaria (cm)	Longitud rafz secundaria (cm)
Humedad (H)	1287,787*	3,305*	547,262**	187,099 NS	0,007 NS	0,022 NS	280,237 NS
E, Feno. (F)	1483,624*	8,462**	101,274 NS	6585,455**	0,107*	0,670*	5894,764**
Genotipo (G)	1544,624*	1,886 NS	65,347 NS	14,571 NS	0,008 NS	0,011 NS	509,848 NS
(H x F)	1635,590*	8,939**	132,366*	4585,322**	0,108*	0,240 NS	3131,448**
(H x G)	32,592 NS	0,226 NS	91,082 NS	370,982 NS	0,020 NS	0,065 NS	93,717 NS
(F x G)	549,025 NS	0,440 NS	22,886 NS	565,196 NS	0,016 NS	0,051 NS	732,269 NS
(H x F x G)	633,294 NS	0,518 NS	20,465 NS	271,601 NS	0,026 NS	0,245 NS	244,067 NS
Error	312,682	0,658	31,994	343,125	0,022	0,206	293,320
Media General	31,260	1,753	36,550	90,320	0,297	3,120	76,333
% C.V.	56,56	46,27	15,47	20,50	49,94	14,54	22,43

\* Significancia (0.05)  
 \*\* Alta significancia (0.01)  
 NS No significancia

Tabla 4. Presentación y resumen de las medias de efectos simples de humedad, etapa fenológica, genotipo para las variables que resultaron con significancia en los muestreos radicales bajo el esquema de riego-sequia.

Factores	Follaje m.s. (gr l)	Raíz m.s. (gr l)	Altura de planta (cm)	Long, raíz Prim. (cm)	Diám, raíz Sec. (cm)	Nº raíces Sec.	Long. raíz Sec. (cm)
Cond. de humedad							
Riego	36.57 a	1.99 a	40.10 a	87.48	0.29	9.08	73.21
Seqüa	26.36 b	1.54 b	33.27 b	92.94	0.31	8.79	79.21
Etapa fenológica							
Prefloración	21.70 b	1.05 b	36.19	69.83 c	0.38 a	9.75 a	56.32 b
Floración	39.46 a	1.90 b	39.14	95.61 b	0.26 ab	9.33 b	83.57 a
Postfloración	32.99 ab	2.47 a	33.68	109.86 a	0.24 b	7.36 c	92.77 a
Genotipo							
<u>P. vulgaris</u>	20.29 b	2.15	38.47	90.74	0.27	9.18	81.45
<u>P. acutifolius 102</u>	36.10 a	1.55	34.56	91.65	0.30	8.76	70.71
<u>P. acutifolius 125</u>	37.77 a	1.55	36.63	88.47	0.32	8.84	76.86

Tukey 0.05

Tabla 5. Presentación y resumen de las medias de efectos de la interacción humedad-etapa fenológica para las variables que resultaron con significancia para los muestreos radicales bajo el esquema de riego-sequía.

Factor	Follaje m.s.		Raíz m.s.		Altura de planta (cm)		Long. raíz Prim. (cm)		Diam. raíz Prim. (cm)		Nº raíces Sec.		Long. raíz Sec. (cm)	
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	Sec.	Sec.	(cm)	(cm)
Condición de humedad														
Etapa fenológica														
R	Prefloración	19.03 (A,b)	0.77 (A,c)	36.44 (A,b)	52.11 (B,c)	0.29 (B,a)	9.44	40.01 (B,c)						
I	Floración	42.87 (A,ab)	1.98 (A,b)	44.00 (A,a)	95.44 (A,b)	0.28 (A,a)	10.29	83.78 (A,b)						
E														
G	Postfloración	53.44 (A,a)	3.82 (A,a)	39.75 (A,ab)	128.58 (A,a)	0.30 (A,a)	6.75	107.06 (A,a)						
O														
Condición de humedad														
Etapa fenológica														
S	Prefloración	24.38 (A,ab)	1.32 (A,a)	35.94 (A,a)	87.56 (A,a)	0.48 (A,a)	10.06	72.55 (A,a)						
E														
Q	Floración	36.06 (A,a)	1.32 (B,a)	34.28 (B,ab)	95.78 (A,a)	0.24 (A,ab)	6.39	83.35 (A,a)						
U														
I	Postfloración	17.66 (E,b)	1.46 (B,a)	29.13 (B,b)	95.81 (B,a)	0.18 (A,b)	7.81	82.05 (B,a)						
A														

Tukey 0.05

Nota: Las letras mayúsculas representan la comparación de medias de concición de humedad y las minúsculas, la comparación de medias entre etapa fenológica.

Tabla 6. Correlación de las variables bajo estudio, para los muestreos radicales bajo el esquema de riego-sequia.

	Rafz m.s. (gr)	Altura de planta (cm)	Long. rafz Prim (cm)	Diám. rafz Prim. (cm)	Nº de raíces Sec.	Long. rafz Sec. (cm)
Follaje m.s. (gr)	0.512**	0.462**	0.614**	0.111 NS	0.123 NS	0.517**
Rafz m.s. (gr)		0.551**	0.784**	-0.005 NS	-0.003 NS	0.765**
Altura de planta (cm)			0.333**	0.107 NS	0.408**	0.357**
Long. rafz Prim. (cm)				0.036 NS	-0.090 NS	0.808**
Diám. rafz Prim. (cm)					0.041 NS	-0.074 NS
Nº de raíces Sec.						-0.003 NS

\* Significancia (0.05)

\*\* Alta significancia (0.01)

NS No Significancia

Cuadro 1. Análisis del suelo realizado en las macetas, donde fué establecido el experimento a 30, 60 y 90 cm de profundidad.

Determinación	Prof. (cm)	Análisis	Clasificación agronómica
TEXTURA	00-30	Arena 25.88% Limo 50.00% Arcilla 24.12%	Migajón limoso
	30-60	Arena 23.88% Limo 44.00% Arcilla 32.12%	Migajón arcilloso
	60-90	Arena 17.88% Limo 70.00% Arcilla 12.12%	Migajón limoso
SALES SOLUBLES TOTALES	00-30	C.E. 1,7 a 25°C mmhos/cm	No salino
	30-60	C.E. 2,7 a 25°C mmhos/cm	Ligeramente salino
	60-90	C.E. 2,0 a 25°C mmhos/cm	No salino

C.E. Conductividad eléctrica

Un análisis por separado se realizó para evaluar el rendimiento y sus componentes, donde se aplicó sequía en diferentes etapas fenológicas del cultivo, comparando su rendimiento con los genotipos bajo riego, siendo estos los testigos. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

#### 4.9. Análisis de varianza para rendimiento y sus componentes

Las variables que resultaron con significancia fueron: vainas totales/planta, vainas vanas/planta, vainas normales/planta y rendimiento/planta, mientras que para la variable semillas abortivas/vaina, resultó altamente significativa (Tabla 8).

Los resultados fueron analizados a nivel de significancia de 0.05 y 0.01 respectivamente.

En la Tabla 7 se observan los valores máximos y mínimos para cada una de las variables estudiadas, además del rango, el cual nos indica la diferencia entre ambos valores.

La comparación de medias de tratamientos para las variables que resultaron con significancia, se llevó a cabo mediante la prueba de Tukey con una confiabilidad de 0.05, donde a continuación serán mostrados por variable.

#### 4.10. Vainas totales/planta

La Tabla 9 muestra la comparación de medias entre los tratamientos para esta variable, observándose que existen dos grupos, el primero (a) comprende los tratamientos 2 y 4 con valores de 59.00 y 48.50. El segundo (b) lo constituyen dos tratamientos 7 y 10 con valores de 11.25 y 9.83 respectivamente.

Los resultados indican que P. vulgaris en floración y post floración presenta los valores más bajos, 9.83 y 11.25 respectivamente, cuando es aplicada la sequía comparado con los dos P. acutifolius.

El P. vulgaris bajo condiciones de riego (18.33) supera a los del mismo genotipo que recibieron sequía en las etapas de floración (9.83) y postfloración (11.25). Esto señala que a pesar de ser un material con cierta tolerancia a sequía, fué severamente afectado. Esto explica que un déficit hídrico retarda la diferenciación de las yemas reproductivas. Núñez (1976) afirma que en cultivos anuales donde el grano es la parte económicamente importante, se ha determinado que la etapa fenológica mas sensitiva a la sequía es el inicio y durante la floración.

El tratamiento 4 donde se probó el genotipo P. vulgaris en la etapa de prefloración bajo sequía, no sera discutido, debido a los resultados muy altos que reporta, esto pudo haber sucedido posiblemente a que no se controló eficientemente la humedad, ya que en todas las variables medidas se obtienen altos rendimientos, saliéndose de la normal, inclusive superando al que se encuentra bajo riego.

#### 4.11. Vainas vanas /planta

La Tabla 9 presenta la comparación de medias entre los tratamientos para esta variable. Se observa que existen dos grupos, el primero(a) constituido solamente por el tratamiento 4 con valor de 10.50, el segundo formado por dos tratamientos: 1 y 7 con valores de 1.67 y 1.33 respectivamente. Lo mismo que en vainas totales/planta el genotipo P. vulgaris se comportó igual en las etapas de floración y postfloración para esta variable obteniendo valo-

res de 1.33 y 2.50 respectivamente, dicha variable, esta altamente correlacionada con el número de vainas normales por planta (Tabla 10), como consecuencia de tener una alta cantidad de vainas vanas, resulta un menor número de vainas normales por planta.

El genotipo P. vulgaris reporta un número bajo de vainas vanas por planta, comparado con P. acutifolius 102 y 125, observándose que bajo sequía, en floración, se obtiene el número de vainas vanas más bajo 1.33

Esta variable, así como las semillas abortivas por vaina, se debe a las temperaturas altas, asociado con la escasez de agua en el suelo (Cuadro 2) observando que en los meses de Junio y Julio se reportan las temperaturas más elevadas.

Para el caso de prefloración y postfloración bajo sequía, se presenta el mayor número de vainas vanas en los tres genotipos con 10.50, 6.17, 5.00 y 2.50, 7.67, 6.33 para P. vulgaris, P. acutifolius 102 y P. acutifolius 125 respectivamente.

#### 4.12. Vainas normales /planta

Los resultados de la comparación de medias por la prueba de Tukey, se muestran en la Tabla 9, donde se puede ver que hay dos grupos, uno (a) el cual está formado por el tratamiento 2 con valor de 50.67 y el otro (b) incluye los tratamientos 7 (8.50), y 10 (8.75).

En términos generales el P. vulgaris bajo sequía en floración y postfloración presentaba un menor número de vainas normales, esto se explica de la siguiente manera: La especie tien

de a producir una gran cantidad de flores las cuales pueden convertirse en frutos, sin embargo como existe falta de agua, la planta no funciona adecuadamente en la elaboración de carbohidratos, esto provoca que muchas de las flores, que en un momento dado iban a formar fruto, alcancen un crecimiento reducido sin llegar a completar la formación del grano, por consiguiente se reducirá el número de vainas normales, donde se puede apreciar fácilmente en la Figura 3. Esta reducción de la carga productiva es un comportamiento natural o un mecanismo de resistencia de la planta, para poder llegar a madurez fisiológica aún con poca semilla para perpetuar la especie.

#### 4.13. Semillas abortivas/vaina

En esta variable se pueden observar cuatro grupos distintos, el primero (a) que comprende los valores de 0.87 a 1.55, el segundo (b) de 0.73 a 1.47, el tercero (c) de 0.20 a 0.87 y el cuarto (d) de 0.15 a 0.73, todos estos datos se muestran en la Tabla 9.

El genotipo P. vulgaris en postfloración con 1.55 en sequía y el testigo con 1.47, presenta el mayor número de semillas abortivas, mientras que en prefloración con 0.20 y floración con 0.67, fueron los más bajos (estos dos últimos en sequía).

Mientras que P. acutifolius 102 y 125 tanto para riego (0.27, 0.15) como en sequía en floración (0.20, 0.27) y postfloración (0.73, 0.87) respectivamente, presenta un menor número de semillas abortivas por vaina, esto se explica debido a

que el genotipo está más adaptado a la sequía y altas temperaturas. Se observa que la sequía afecta más a los genotipos P. acutifolius 102 y 125 en postfloración que en cualquier otra etapa. Esto es a causa del comportamiento natural de la planta al eliminar parte de su carga productiva, para poder compensar el déficit hídrico, así de esta manera algo de sus frutos llegan a la madurez fisiológica, perpetuando la especie. Esto concuerda con el trabajo llevado a cabo por Slatyer mencionado por Lagarda (1977) encontrando que el período llenado de grano nos reduce también el rendimiento, lo cual se puede traspolar en el caso de semillas abortivas/vaina, ya que se encuentra altamente correlacionada con rendimiento. La Figura 4 nos orienta, sirviendo esta de referencia para observar el efecto causado por el aborto de las semillas, ya que afecta notablemente al número de semillas normales/vaina.

La comparación de medias para las variables que se analizarán por conteo como son; vainas totales, vainas vanas y vainas normales/planta, así como semillas abortivas/vaina -antes descritas- se pueden apreciar con mayor claridad en la Tabla 11, donde son utilizados los valores transformados de las variables que resultaron con significancia.

#### 4.14. Rendimiento/planta

Se observa que no existe diferencia significativa entre tratamientos (Tabla 9). Posiblemente no se detectó significancia debido a que la prueba de Tukey resultó ser muy estricta al

realizar la comparación de medias del rendimiento. Sin embargo se puede observar que los valores obtenidos de rendimiento están alejados entre sí.

Generalmente en P. vulgaris tanto para riego como para sequía en las tres etapas (prefloración, floración y postfloración) presentan un bajo rendimiento comparado con P. acutifolius 102 y 125 resultando estos más eficientes, debido a su adaptación a la sequía.

El genotipo P. acutifolius 102 en prefloración y floración bajo sequía, obtuvo el mayor rendimiento por planta comparado con P. acutifolius 125 en las etapas ya mencionadas. Mientras que en postfloración bajo sequía el genotipo P. acutifolius 125 con 10.29 gr rebasó al 102 con 9.85 gr.

En la Figura 5 se puede observar claramente el rendimiento de los genotipos en las tres etapas fenológicas testigo.

Los rendimientos más bajos entre los tres genotipos bajo sequía fueron para P. vulgaris en postfloración con 2.94 gr, P. acutifolius 102 en postfloración con 9.85 gr y P. acutifolius 125 en floración con 9.74 gr. Mientras que los más altos se encuentran bajo riego para los tres genotipos con 5.61, 18.48 y 15.71 para P. vulgaris, acutifolius 102 y acutifolius 125 respectivamente, sin considerar al P. vulgaris en prefloración bajo sequía.

El rendimiento está altamente correlacionado con las componentes del rendimiento: vainas totales, normales y semillas normales/vaina.

Medina (1978) al realizar estudios en arroz y trigo encontró que el rendimiento es abatido por la sequía según la etapa de desarrollo en que se encuentre,

Mientras que Wong (1979) en sorgo encontró una disminución del 20% en el rendimiento económico y biológico por efecto de la sequía,

Por otra parte Slatyer (1969) mencionado por Lagarda (1977) encontró que la sequía afecta severamente el rendimiento en floración y llenado de grano mientras que en la etapa vegetativa no hay efecto negativo,

Tabla 7. Principales estadísticos descriptivos de las variables estudiadas, bajo el esquema de riego-sequia para la evaluación del rendimiento y sus componentes.

	Media general	Desv. estandar	Valor		Rango	% C.V.
			mínimo	máximo		
Vainas totales	33,34	18,45	3,00	74,00	71,00	55,33
Vainas vanas	5,11	3,52	0,00	14,00	14,00	68,87
Vainas normales	28,55	16,69	2,00	67,00	65,00	58,45
Follaje m.s. (gr)	44,12	79,58	2,23	406,85	404,62	180,35
Sem/vaina	4,66	0,83	1,60	5,90	4,30	17,81
Sem. Norm./vaina	4,08	1,02	1,00	5,40	4,40	24,93
Sem. Abort./vaina	0,59	0,50	0,00	1,80	1,80	84,45
Long. de la vaina (cm)	6,52	0,99	2,20	7,80	5,60	15,17
Rend./planta (gr)	11,16	6,76	0,10	26,69	26,59	60,61

Tabla 8. Resumen de los resultados del análisis de varianza, efectuados sobre las variables estudiadas, bajo el esquema de riego-sequia para la evaluación del rendimiento y sus componentes.

	C.M. Tmto.	C.M. Error	Sign.	Media general	% C.V.
Vainas totales	4.95	1.56	*	5.63	22.19
Vainas vanas	0.86	0.33	*	2.37	24.23
Vainas normales	4.34	1.59	*	5.20	24.23
Follaje m.s. (gr)	7738.96	5559.52	N.S.	44.12	168.98
Sem./vaina	0.03	0.03	N.S.	2.37	8.22
Sem. Norm/vaina	0.09	0.04	N.S.	2.24	9.14
Sem.Abort/vaina	0.08	0.01	**	1.25	7.58
Long. de la vaina (cm)	0.58	1.20	NS	6.52	16.77
Rend./planta (gr)	76.61	28.76	*	11.16	48.06

\* Significancia (0.05)

\*\* Alta Significancia (0.01)

NS No Significancia

C.V. Coeficiente de variación

Tabla 9. Presentación y resumen de las medias de tratamiento para la prueba de Tukey de las variables que resultaron con significancia, para la evaluación del rendimiento y sus componentes.

Tmto.	Vainas totales	Vainas vanas	Vainas normales	Follaje M.S. (gr)	Sem/vaina	Semilla Abort/vaina	Semilla norm/vaina	Long de la vaina (cm)	Rend/plan (gr)
1 G <sub>1</sub> R	18.33ab	1.67 b	16.67ab	17.04	4.50	1.47ab	3.03	7.10	5.61a
2 G <sub>2</sub> R	59.00a	10.00ab	50.67a	32.25	4.93	0.27 c	4.83	6.72	18.48a
3 G <sub>3</sub> R	42.25ab	3.75ab	38.50ab	225.43	4.85	0.15 d	4.70	6.16	15.71a
4 G <sub>1</sub> S	48.50a	10.50a	38.00ab	12.92	4.90	0.20 cd	4.70	6.05	10.06a
5 G <sub>2</sub> S	46.33ab	6.17ab	40.17ab	18.12	5.23	0.40 cd	4.83	7.18	16.91a
6 G <sub>3</sub> S	35.00ab	5.00ab	31.67ab	36.46	4.20	0.28 cd	3.92	6.45	12.09a
7 G <sub>1</sub> S	9.83 b	1.33 b	8.50 b	28.65	3.53	0.67 cd	2.90	5.87	3.17a
8 G <sub>2</sub> S	38.83ab	4.67ab	34.17ab	92.98	5.30	0.20 cd	5.10	7.17	17.08a
9 G <sub>3</sub> S	31.33ab	4.00ab	27.33ab	33.28	4.77	0.27 cd	4.50	6.28	9.74a
10 G <sub>1</sub> S	11.25 b	2.50ab	8.75 b	8.13	4.50	1.55a	2.95	6.55	2.94a
11 G <sub>2</sub> S	30.17ab	7.67ab	22.50ab	14.54	4.57	0.73 bcd	3.83	6.11	9.85a
12 G <sub>3</sub> S	35.00ab	6.33ab	28.67ab	37.32	4.80	0.87abc	3.93	6.22	10.29a

Tukey 0.05

R. Riego

S. Segufa

G<sub>1</sub> P. vulgaris

G<sub>2</sub> P. acutifolius 102

G<sub>3</sub> P. acutifolius 125

Tabla 10. Correlación de las variables estudiadas, para la evaluación del rendimiento y sus componentes, bajo el esquema de riego-sequia.

	Vainas vanas	Vainas normales	Follaje m.s. (gr)	Sem/ vaina	Sem norm/ vaina	Sem abort/ vaina	Long de la vaina (cm)	Rend/ planta (gr)
Vainas totales	0,645**	0,985**	0,215 <sup>NS</sup>	0,416*	0,601**	-0,491**	0,259 <sup>NS</sup>	0,916**
Vainas vanas		0,514**	-0,038 <sup>NS</sup>	0,287 <sup>NS</sup>	0,422*	-0,371*	0,079 <sup>NS</sup>	0,462**
Vainas normales			0,244 <sup>NS</sup>	0,401*	0,581**	-0,474**	0,265 <sup>NS</sup>	0,920**
Follaje m,s, (gr)				0,080 <sup>NS</sup>	0,212 <sup>NS</sup>	-0,299 <sup>NS</sup>	0,053 <sup>NS</sup>	0,197 <sup>NS</sup>
Sem, /vaina					0,865**	-0,092 <sup>NS</sup>	0,653**	0,449*
Sem, Abort/vaina						-0,572**	0,527**	0,635**
Sem, Norm/vaina							0,018 <sup>NS</sup>	-0,507**
Long, de la vaina (cm)								0,316 <sup>NS</sup>

\* Significancia

\*\* Alta significancia

NS No Significancia

Tabla 11. Comparación de las medias de tratamientos de los valores transformados para las variables que resultaron con significancia a excepción de rendimiento/planta, en tres etapas fenológicas bajo riego-sequía para la evaluación del rendimiento y sus componentes.

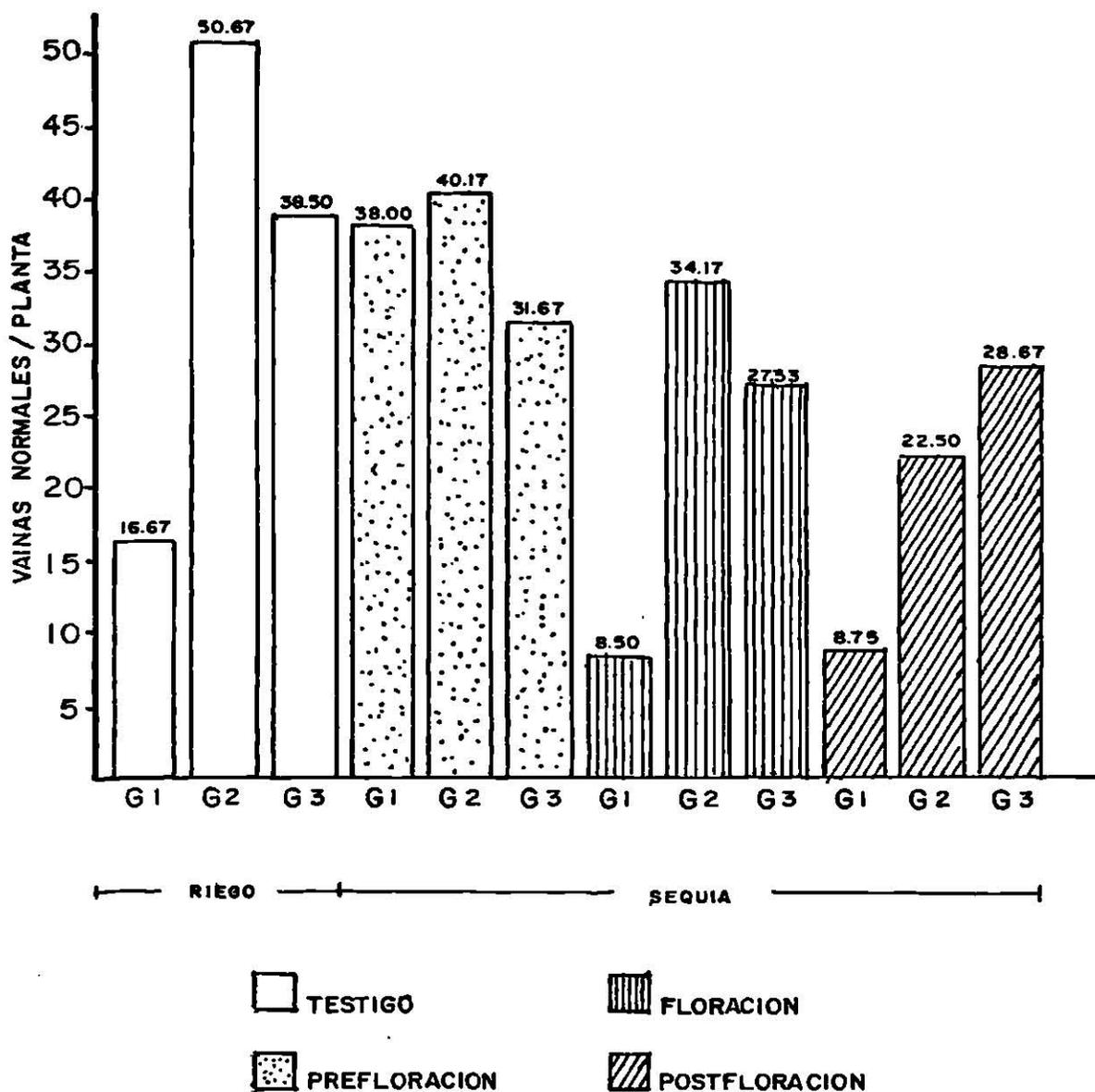
Vainas totales		Vainas vanas		Vainas normales		Semilla abortiva/vaina		Rendimiento/planta (gr)	
Tmto	- media	Tmto	- media	Tmto	- media	Tmto	- media	Tmto	- media
2	7.75a	4	3.39a	2	7.18a	10	1.60a	2	18.48a
4	7.04a	2	3.28ab	3	6.24ab	1	1.56ab	8	17.08a
5	6.73ab	11	2.73ab	4	6.24ab	12	1.36abc	5	16.91a
3	6.54ab	12	2.70ab	5	6.23ab	11	1.31 bcd	3	15.17a
8	6.16ab	5	2.67ab	8	5.75ab	7	1.28 cd	6	12.09a
12	6.00ab	6	2.45ab	6	5.50ab	5	1.18 cd	12	10.29a
6	5.83ab	8	2.37ab	12	5.44ab	6	1.13 cd	4	10.06a
9	5.58ab	9	2.19ab	9	5.23ab	2	1.12 cd	11	9.85a
11	5.41ab	3	2.18ab	11	4.74ab	9	1.12 cd	9	9.74a
1	4.39ab	10	1.78ab	1	4.19ab	4	1.10 cd	1	5.61a
10	3.49 b	1	1.58 b	10	3.12 b	8	1.09 cd	7	3.17a
7	3.15 b	7	1.52 b	7	2.90 b	3	1.07 d	10	2.94a
DMSH	3.75		1.72		3.79		0.28		16.10

Tukey 0.05

Cuadro 2. Registro climatológico de temperatura y precipitación para los meses de marzo a julio, período en el cual se estableció el experimento.

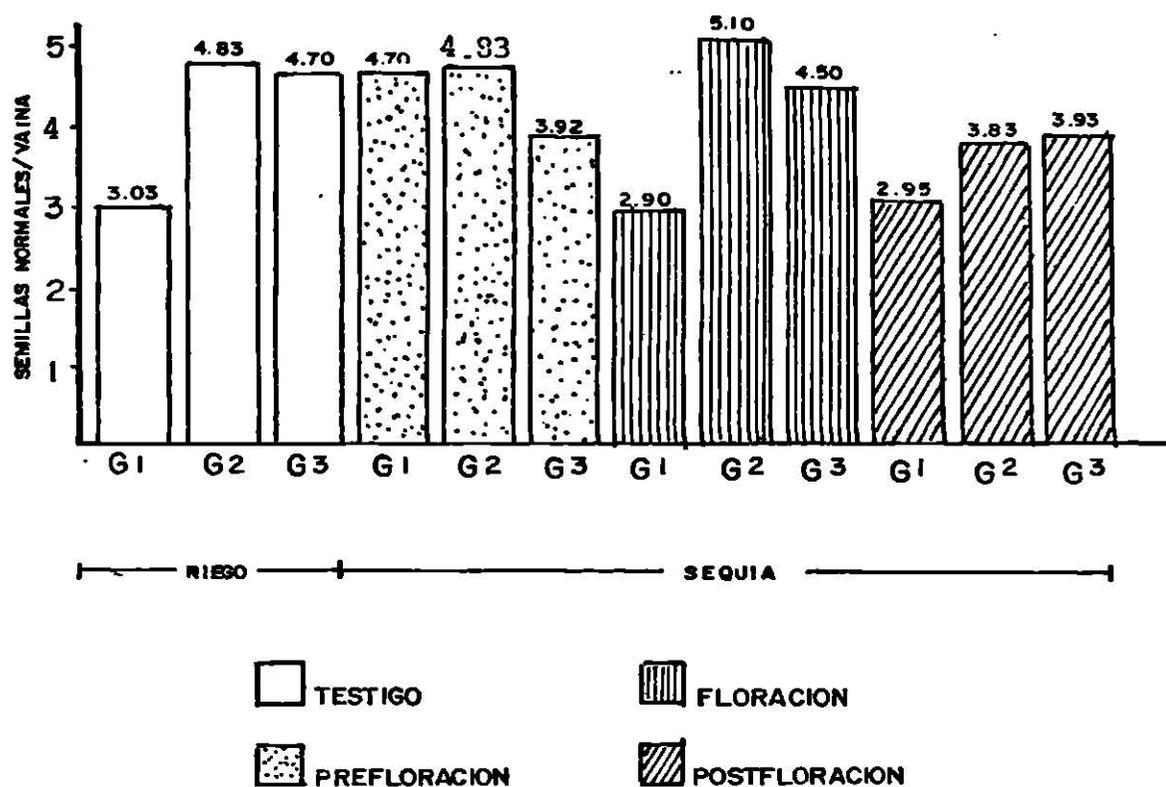
Mes	Temp. promedio mensual (°C)	Precipitación total (mm)	Precipitación prom. diaria (mm)
Marzo	21,6	17,6	0,567
Abril	23,2	122,0	4,066
Mayo	27,1	22,8	0,735
Junio	28,8	30,2	1,006
Julio	29,4	35,7	1,156

Fuente: Estación Meteorológica de la F.A.U.A.N.L.



G1 *P. vulgaris*  
 G2 *P. acutifolius* 102  
 G3 *P. acutifolius* 125.

Figura 3. Comparación de la componente del rendimiento vainas normales/planta de los genotipos bajo sequía en diferentes etapas fenológicas contra los testigos bajo riego.



G1 *P. vulgaris*  
 G2 *P. acutifolius* 102  
 G3 *P. acutifolius* 125

Figura 4. Comparación de la componente del rendimiento semillas normales/vaina de los genotipos bajo sequía en diferentes etapas fenológicas contra los testigos bajo riego.

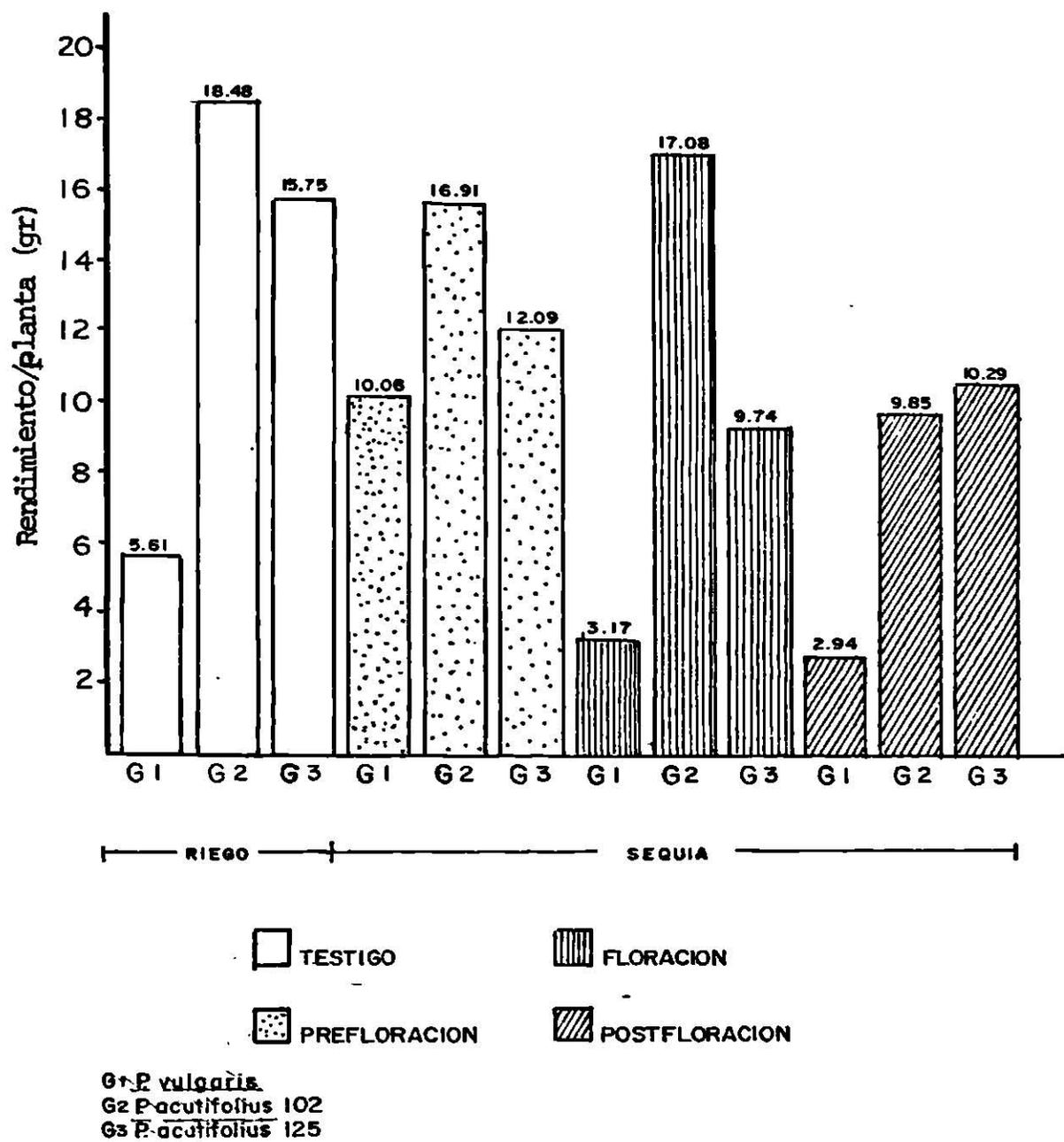


Figura 5, Comparación del rendimiento de grano de los genotipos bajo sequía en diferentes etapas fenológicas contra los testigos bajo riego.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

1. La altura de planta para los tres genotipos bajo riego, es mayor que en sequía.
2. La longitud de la raíz primaria y secundaria es mayor en prefloración bajo sequía que en riego. En floración son iguales sus crecimientos. Mientras que en postfloración bajo riego, ambas raíces superan a las que se encuentran en sequía.
3. La cantidad de materia seca del follaje, fué mayor bajo riego que bajo sequía para los tres genotipos.
4. El genotipo P. acutifolius 102 y 125, presenta una baja cantidad de materia seca de raíz, baja altura de planta, menor número de raíces secundarias y una longitud de raíz secundaria, comparado con P. vulgaris.
5. Se observó que a medida que los genotipos presentan un mayor número de vainas totales, mayor será el número de vainas vanas.
6. El mayor número de semillas normales por vaina se encuentra en los genotipos P. acutifolius 102 y 125, mientras que el más bajo se encuentra en P. vulgaris.
7. El aborto de semillas, regularmente se presenta en el genotipo P. vulgaris en mayor cantidad.

De acuerdo con la hipótesis planteada podemos asegurar que esta se cumple en parte, puesto que bajo sequía, la raíz se desarrolla más que bajo riego, pero el crecimiento radical es ma

yor en P. vulgaris y menor en P. acutifolius excepto en longitud de raíz primaria que es superada por P. acutifolius 102 únicamente.

Esto es respaldado al evaluar rendimiento, observándose que P. acutifolius es más eficiente en cuanto a número de vainas normales obteniéndose el mayor rendimiento comparado con P. vulgaris aún encontrándose los genotipos bajo sequía.

## 5.2. Recomendaciones

1. Que los muestreos sean más frecuentes para que pueda ser comparada las etapas fenológicas.
2. Mejorar la técnica del muestreo radical.
3. Utilizar macetas de un mayor tamaño y separar una de otra, ya que las raíces se pasaban a la maceta contigua, debido a su amplia distribución radical que presentaban, motivada por la escasez de humedad.
4. Utilizar una mezcla de tierra con un 80% de arena, ya que un suelo arcilloso es difícil de manejar para la extracción de la raíz.
5. Registrar la velocidad de crecimiento de la raíz para cada etapa fenológica.
6. Construir estructuras lo suficientemente seguras y prácticas para proteger a el cultivo de las lluvias impredecibles, para el caso de tratamientos bajo sequía.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Ayala L., S. 1976, Estudio de la distribución radical de tres porta-injertos de manzano (MM-111, M-7 y M-26) por dos métodos diferentes. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo., México, p. 90
- Baver, L.D. 1973, Física de suelos, Hispano-Americano. México. p. 227
- Bear, F.E. 1958, Suelos y fertilizantes. Omega, S.A. Barcelona. pp. 121, 128, 132
- Black, A.C. 1975. Relación suelo-planta. Tomo I, Hemisferio Sur, Buenos Aires., Argentina. pp. 1, 34, 37, 41
- Buckman, O.H. y C.N. Brady 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Montaner y Simon, S.A. Barcelona. p. 42
- Castellano O., J. de J. 1979. Resistencia a heladas y sequía en maíces de la Meseta Central y Sierra de Chihuahua. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo., México. pp. 1, 71
- Collis, G.N., B.G. Davey, D.E. Smiles. 1971. Suelo, atmósfera y fertilizantes fundamentos de agricultura moderna. Aedos. Barcelona, p. 180

- Demolón, A. 1972. Principios de agronomía, crecimiento de vege  
tales cultivados. Omega, S.A., Tomo II, pp. 90-103
- Devlin, R.M. 1975. Fisiología vegetal. Omega, S.A. Barcelona.,  
España. p. 70
- Duchaufour, P., M. Bonneau, F. Jacquín, B. Souchier. 1975. Ma-  
nual de edafología. Toray-Masson, S.A. Barcelona. pp. 81,  
118
- Ede, R. y J.B.E. Peterson. 1966. Suelos y abonos para arboles  
frutales. Manual de técnicas agropecuarias. Acribia. Zarau  
goza., España. p. 52
- Engleman, E.M. 1979. Contribuciones al conocimiento del frijol  
(Phaseolus) en México. Colegio de Postgraduados. Chapin-  
go., México. pp. 19, 20, 50, 59
- Florescano, E., C.J. Sancho, y A.D.P. Gavilán. 1983. Las sequías  
en México: historia, características y efectos. In. Desieru  
to y ciencia, edición de febrero, CIQA, Saltillo, Coahui-  
la., México. pp. 16-28
- Foth, H.D. y L.M. Turk. 1975. Fundamentos de la ciencia del sueu  
lo. Continental, S.A. México. pp. 69, 70
- García, C., C. 1982. Estudio de la distribución radical del te-  
jocote (Cartaegus pubescens) en dos localidades. Tesis de

Maestría, Colegio de Postgraduados. Chapingo., México.  
p. 102

Gavande, S.A. 1979. Física de suelos, principios y aplicaciones. LIMUSA. México. pp. 34, 82, 83, 107

Hall, A.E. , G.H. Cannell y H.W. Lawton. 1979. Crop adaptation to semi-arid environments. In. Agriculture in semi-arid environments, Hall A.E., G.H. Canell, H. W. Lawton. New York., E.U. pp. 148-160

Hardy, F. 1970. Edafología tropical. Herreros Hermanos Sucesores, S.A. México. pp. 49, 127, 241

Henin, S., R. Gras, y G. Monnier. 1972. El perfil cultural el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Mundi-Prensa. Madrid., España, p. 120

Kramer, P.J. 1974. Relaciones hídricas del suelo y plantas. Edutex, S.A. pp. 336, 405, 425

Lagarda M., R. 1977. Estudio de la respuesta de seis especies cultivadas a la marchitez permanente, cuando esta se aplica en el invernadero, selectiva y repetidamente en tres etapas del desarrollo. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. Chapingo., México. pp. 38, 40, 42

- Lépiz I., R. y F.J. Navarro, 1983, Frijol en el Noreste de México, SARH, INIA, Culiacán, Sinaloa., México. pp. 29, 31, 32 37, 39
- Marinato, R, 1978. Respuesta del cultivo de trigo a variaciones de humedad en el suelo en diferentes etapas del crecimiento. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo., México. p. 69
- Martínez M., G. 1979. Inducción de resistencia a la sequía de maíz (Zea mays L., L. Tesis profesional. Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., Monterrey, N.L., México. p. 1
- Medina Ch., S. 1978. Interacción de variedad por riego-sequía en arroz y trigo. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo., México. p. 85, 86
- Medina U., V.M. 1978. Evaluación de distintos porta-injertos y su interacción con el cultivar, en la distribución radical, producción y nutrición mineral del limón. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados. Chapingo., México. p. 240
- Meyer, S.B., D.B. Anderson y R. Bohning. 1972. Introducción a la fisiología vegetal. Universal. Buenos Aires., Argentina. pp. 117, 127, 480, 481, 482, 483.
- Miranda C., S. 1966. Identificación de las especies mexicanas y cultivadas del género Phaseolus. Serie de Investigación N° 8. Colegio de Postgrado. Chapingo, México, pp. 9-10.

- Muñoz O., A. 1981. Apuntes mimeografiados de la clase: resistencia a sequía y mejoramiento genético. Colegio de Postgraduados, Chapingo., México.
- Núñez S., J. 1976. Supervivencia de plantas de maíz bajo diversos tratamientos de resistencia a sequía. Tesis profesional, Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., Monterrey, Nuevo León., México. pp. 1, 2
- Palmer, R.G. y F.R. Troeh. 1980. Introducción a la ciencia del suelo. Manual de Laboratorio, Editor, S.A., México. p. 52
- Parker, J. 1968. Drought resistance mechanisms. In. Water deficits and plant growth. Vol. I. Kozlowski T.T., Academic Press. pp. 195-234
- Pérez G., R. 1982. Efecto del régimen de humedad residual sobre las características de 18 variedades de cacahuate bajo el sistema de riego-sequía. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo., México. pp. 16
- Ray, P.M. 1975. La planta viviente. Serie: Biología Moderna. CECSA. México. p. 124, 125
- Richards, L.A. 1981. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. LIMUSA. México. pp. 32, 36
- Rojas G., M. 1972. Fisiología vegetal aplicada. McGraw-Hill. México. pp. 64, 65, 76, 77

- Rulfo, V.F. y H. Miranda. 1972. Leguminosa de grano. Pro-Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA), Décima octava reunión anual. Managua., Nicaragua. pp. 2, 17
- Russell, E.J. y E.R. Walter. 1968. Las condiciones del suelo y su crecimiento de las plantas. Aguilar. Madrid., España. pp. 518-535
- Saint-Clair, P.M. 1981. Gufa para estudiar la resistencia de las plantas a la sequía. Informe Técnico. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza (CATIE). Turrialba., Costa Rica. pp. 7, 41
- Schuurman, J.J. and M.A.J. Goedewaagen. 1965. Methods for the examination of root systems and roots. Agricultural publication and documentation Wageningen. pp. 9-73
- Sivori, E.M., E.R. Montaldi y O.H. Caso. 1980. Fisiología vegetal. Hemisferio Sur, S.A. Argentina. pp. 54, 57
- Tamhane, R.V., D.P. Motiramani y Y.P. Bali. 1978. Suelo; su química y fertilidad en zonas tropicales. Diana. México. pp. 54, 57, 289
- Thompson, L.M. 1966. El suelo y su fertilidad, propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo en relación con su

formación, clasificación y tratamiento desde el punto de vista de la fertilidad. Reverete, S.A. México. pp. 18, 19, 20, 58

Tisdale, S.L. y W.L. Nelson, 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Hispano-Americano, S.A. México. pp. 550, 684.

Wong R., R. 1979. Comportamiento de las características agronómicas, índices fisiológicos y patrones de crecimiento de 50 genotipos de sorgo, bajo el esquema de riego-sequia. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Chapingo., México. p. 37

